

マレーシア国サバ地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第一年次

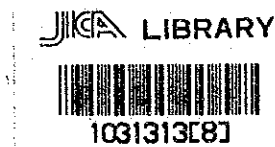
昭和61年10月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



マレーシア国サバ地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第一年次



昭和 61 年 10 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

国際協力事業団	
受入 月日 87. 1. 12	113
登録 No. 15729	66.1
	MPN

## は し が き

日本国政府はマレーシア連邦政府の要請に応え、同国サバ州ラナウ地区周辺の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査等の鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託した。

本調査団は昭和60年度が第一年次にあたり、金属鉱業事業団は、14名からなる調査団を編成して、昭和60年8月4日から昭和61年8月12日まで現地派遣し、その調査を実施し報告書を作成した。

調査はマレーシア政府関係機関、特にマレーシア地質調査所の多大なる協力を得て完了した。

本報告書は第一年次の調査結果をまとめたものであり最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたって御協力いただいたマレーシア政府関係機関並びに日本国外務省、在マレーシア日本大使館、日本領事館及び関係会社の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

昭和61年8月

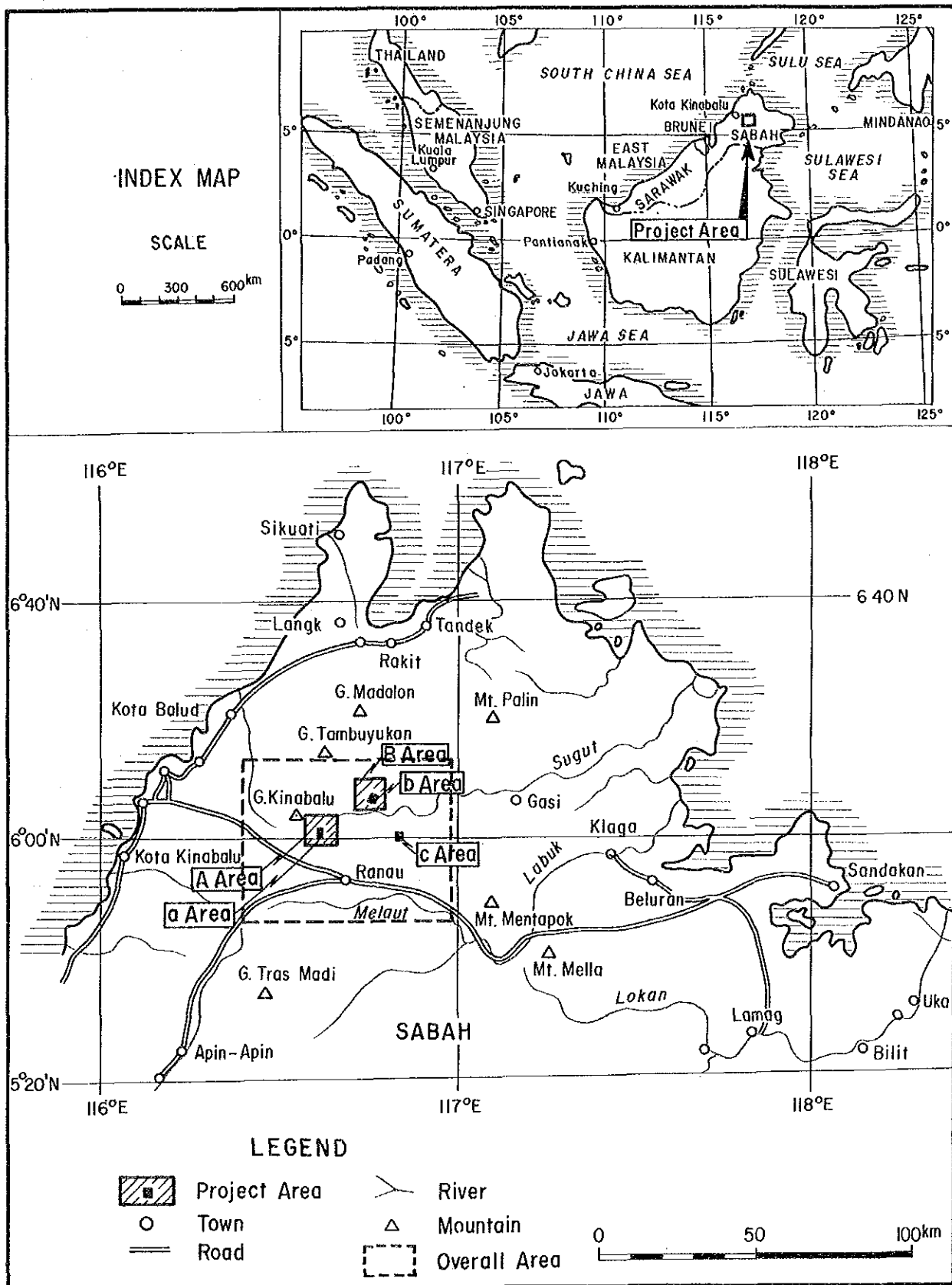
国際協力事業団

総 裁 有 田 圭 輔

金属鉱業事業団

理事長 西 家 正 起





第 1 図 調査地区位置図





# 目 次

はしがき

調査地域位置図

目 次

要 約

## 第 I 部 序 論

第 1 章 調査概要	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 調査の内容	1
1-3 調査団の編成	3
第 2 章 調査地域の地理	7
2-1 位置及び交通	7
2-2 地 形	7
2-3 気候及び植生	8
第 3 章 調査地域の地質と経緯	11
3-1 サバ地域の地質	11
3-2 調査対象地域の地質及びその周辺の地質	12
3-3 従来の調査	20

## 第 II 部 A, a (BAMBANGAN) 地区

第 1 章 地質及び鉍化作用	25
1-1 地 質	25
1-2 鉍化作用	25
第 2 章 物理探査	29
2-1 CSAMT 法	29
2-1-1 調査内容	29
2-1-2 解析方法	33
2-1-3 調査結果	34
2-1-4 考 察	56

2-2	IP法及びSIP法	61
2-2-1	調査内容	61
2-2-2	解析方法	66
2-2-3	調査結果	81
2-2-4	考察	106
第3章	ボーリング調査	109
3-1	ボーリング工法及び使用機械	109
3-2	調査結果	141
第4章	総合検討	169

### 第Ⅲ部 B, b (MANKADAU) 地区

第1章	地質及び鉍化作用	171
1-1	地質	171
1-2	鉍化作用	182
第2章	土壌による地化学探査	195
2-1	調査方法	195
2-2	分析方法	195
2-3	解析方法	195
2-4	調査結果	205
2-5	考察	207
第3章	物理探査 (CSAMT法)	211
3-1	調査内容	211
3-2	調査結果	211
3-3	考察	230
第4章	総合検討	233

### 第Ⅳ部 c (PALIU) 地区

第1章	地質及び鉍化作用	235
1-1	地質	235
1-2	鉍化作用	250
第2章	地化学探査	257

2-1	土壌による地化学探査	257
2-1-1	調査方法及び解析方法	257
2-1-2	調査結果	257
2-1-3	考察	268
2-2	沢砂による地化学探査	271
2-2-1	調査方法	271
2-2-2	分析方法	271
2-2-3	解析方法	271
2-2-4	調査結果	276
2-2-5	考察	277
第3章	総合検討	281

## 第V部 結論及び提言

1.	結論	283
2.	第2年次調査への提言	284
	参考文献	285



## 挿入図表一覧

第1図	調査地区位置図
第2図	第一年次調査地区位置図
第3図	サバ州概略地質図
第4図	サバ州西部概略地質図
第5図	キナバル地域地質図
第6図	層序模式断面図
第7図	A地区地質図
第8図	CSAMT法三次元表示例
第9図	CSAMT法測定概念図
第10図	A地区見掛比抵抗平面図(2048Hz)
第11図	A地区見掛比抵抗平面図(1024Hz)
第12図	A地区見掛比抵抗平面図(512Hz)
第13図	A地区見掛比抵抗平面図(256Hz)
第14図	A地区見掛比抵抗平面図(128Hz)
第15図	A地区見掛比抵抗断面図(A断面)
第16図	A地区見掛比抵抗断面図(B断面)
第17図	A地区見掛比抵抗断面図(C断面)
第18図	A地区見掛比抵抗断面図(D断面)
第19図	A地区比抵抗構造平面図(50m)
第20図	A地区比抵抗構造平面図(150m)
第21図	A地区比抵抗構造平面図(200m)
第22図	A地区比抵抗構造断面図(A断面)
第23図	A地区比抵抗構造断面図(B断面)
第24図	A地区比抵抗構造断面図(C断面)
第25図	A地区比抵抗構造断面図(D断面)
第26図	A地区CSAMT法総合解析図
第27図	A地区SIP・IP測線位置図
第28図	電位電極配置図
第29図	SIP法電気探査測定装置概念図
第30図	物性測定概念図
第31-1~4図	岩石試料のスペクトル特性

第 32-1 ~ 5 図	モデルシミュレーション
第 33-1 ~ 3 図	見掛比抵抗擬似断面図
第 34-1 ~ 3 図	PFE 擬似断面図
第 35-1 ~ 2 図	位相差擬似断面図
第 36-1 ~ 2 図	3-pt デカップル位相差擬似断面図
第 37-1 ~ 3 図	見掛比抵抗平面図
第 38-1 ~ 3 図	PFE 平面図
第 39 図	位相差スペクトル図
第 40 図	マグニチュードスペクトル図
第 41 図	コール・コール図
第 42 図	A 地区物理探査結果総合解析図
第 43 図	試錐位置図
第 44-1 ~ 10 図	試錐工程図 (MJM-1 ~ MJM-10)
第 45-1 ~ 10 図	試錐柱状図 (MJM-1 ~ MJM-10)
第 46 図	コアスケッチ
第 47-1 ~ 10 図	試錐断面図 (MJM-1 ~ MJM-10)
第 48 図	a 地区地質断面図
第 49 図	貫入岩のノルム $Q-Kf-P1$ 図
第 50 図	蛇紋岩の変質
第 51 図	MJM-6 及び MJM-9 における Pinosuk 礫層の特徴
第 52 図	b 地区地質図
第 53 図	b 地区模式層序断面図
第 54 図	玄武岩の $Na_2O + K_2O - SiO_2$ 図
第 55 図	玄武岩の $SiO_2 - 全 FeO/MgO$ 図
第 56 図	b 地区地質構造図
第 57 図	b 地区地質構造要素別ローズダイヤグラム
第 58 図	b 地区変質帯分布図
第 59 図	塊状硫化銅鉍転石スケッチ及び分布図
第 60 図	クローム鉄鉍転石スケッチ及び分布図
第 61 図	b 地区土壌試料採取位置図
第 62 図	b 地区土壌データ用ヒストグラム
第 63 図	b 地区土壌データ用累積頻度分布図
第 64 図	b 地区土壌地化学探査結果解析図

第65図	B地区見掛比抵抗平面図(2048Hz)
第66図	B地区見掛比抵抗平面図(1024Hz)
第67図	B地区見掛比抵抗平面図(512Hz)
第68図	B地区見掛比抵抗平面図(256Hz)
第69図	B地区見掛比抵抗平面図(128Hz)
第70図	B地区見掛比抵抗断面図(E断面)
第71図	B地区見掛比抵抗断面図(F断面)
第72図	B地区見掛比抵抗断面図(G断面)
第73図	B地区比抵抗構造平面図(50m)
第74図	B地区比抵抗構造平面図(150m)
第75図	B地区比抵抗構造平面図(200m)
第76図	B地区比抵抗構造断面図(E断面)
第77図	B地区比抵抗構造断面図(F断面)
第78図	B地区比抵抗構造断面図(G断面)
第79図	B地区CSAMT法総合解析図
第80図	c地区地質図
第81図	c地区模式層序断面図
第82図	c地区地質柱状図
第83図	貫入岩のノルムQ-Kf-P1図表
第84図	c地区地質構造図
第85図	c地区地質構造要素別ローズダイヤグラム
第86図	c地区変質帯分布図
第87図	石英脈スケッチ
第88図	鉍化帯露頭スケッチ
第89図	c地区土壌試料採取位置図
第90図	c地区土壌データ用ヒストグラム
第91図	c地区土壌データ用累積頻度分布図
第92図	c地区土壌地化学探査結果解析図
第93図	c地区沢砂試料採取位置図
第94図	c地区沢砂データ用ヒストグラム
第95図	c地区沢砂データ用累積頻度分布図
第96図	c地区沢砂データ用スコア・サム図

第1表	第一年次調査工程
第2表	月別降雨記録
第3表	A地区CSAMT法調査内容及び調査量
第4表	A地区IP, SIP法調査内容及び調査量
第5表	物性測定結果一覧表
第6-1~9表	使用機器一覧表
第7-1~3表	ダイヤモンドビット使用状況表
第8表	消耗品使用明細表
第9-1~2表	作業時間総括表
第10-1~11表	掘進成績総括表
第11表	CSAMT示徴一覧表
第12表	超塩基性岩の化学組成
第13表	玄武岩の化学組成
第14表	塊状硫化銅鉍の化学成分
第15表	クローム鉄鉍の化学成分
第16表	b地区土壤データ用統計値一覧
第17表	B地区CSAMT法調査内容及び調査量
第18表	貫入岩の化学組成とCIPWノルム
第19表	c地区土壤データ用統計値一覧
第20表	因子分析結果一覧
第21表	c地区沢砂データ用統計値一覧

## 付 録 一 覧

A-1	岩石薄片顕微鏡写真
A-2	鉍石研磨片顕微鏡写真
A-3	岩石薄片検鏡結果一覧
A-4	鉍石研磨片検鏡結果一覧



A - 5	X線解析一覽
A - 6	鉍石化学分析一覽
A - 7	全岩化学分析一覽
A - 8	檢出限界及び化学分析方法
A - 9	土壤試料化学分析一覽
A - 10	沢砂試料化学分析一覽
A - 11	コア分析一覽
A - 12	SIP位相差断面図
A - 13	掘進作業実績表



## M A P 一 覽

Map-1	Geological Map of KINABALU Area
Map-2	Location Map of Survey Area and Current Dipole
Map-3	Location Map of Stations and Sections ("A" Area)
Map-4	Apparent Resistivity Plan Map [2048 Hz] ("A" Area)
Map-5	Apparent Resistivity Plan Map [1024 Hz] ("A" Area)
Map-6	Apparent Resistivity Plan Map [512 Hz] ("A" Area)
Map-7	Apparent Resistivity Plan Map [256 Hz] ("A" Area)
Map-8	Apparent Resistivity Plan Map [128 Hz] ("A" Area)
Map-9	Apparent Resistivity Plan Map [64 Hz] ("A" Area)
Map-10	Apparent Resistivity Plan map [32 Hz] ("A" Area)
Map-11	Apparent Resistivity Plan map [16 Hz] ("A" Area)
Map-12	Apparent Resistivity Plan Map [8 Hz] ("A" Area)
Map-13	Apparent Resistivity Plan Map [4 Hz] ("A" Area)
Map-14	Resistivity Structure Map [50 m] ("A" Area)
Map-15	Resistivity Structure Map [150 m] ("A" Area)
Map-16	Resistivity Structure Map [200 m] ("A" Area)
Map-17	CSAMT Interpretation Map ("A" Area)
Map-18	Location Map of Survey Area and SIP, IP Line ("A" Area)
Map-19	Apparent Resistivity Section Map [Line-A,B,C] ("A" Area)
Map-20	Apparent Resistivity Section Map [Line-D,E,F] ("A" Area)
Map-21	Apparent Resistivity Section Map [Line-G,H,SE] ("A" Area)
Map-22	Frequency Effect Section Map [Line-A,B,C] ("A" Area)
Map-23	Frequency Effect Section Map [Line-D,E,F] ("A" Area)
Map-24	Frequency Effect Section Map [Line-G,H,SE] ("A" Area)
Map-25	Apparent Resistivity Map [N-Spread(1)] ("A" Area)
Map-26	Apparent Resistivity Map [N-Spread(3)] ("A" Area)
Map-27	Apparent Resistivity Map [N-Spread(5)] ("A" Area)
Map-28	Frequency Effect Map [N-Spread(1)] ("A" Area)
Map-29	Frequency Effect Map [N-Spread(3)] ("A" Area)
Map-30	Frequency Effect Map [N-Spread(5)] ("A" Area)
Map-31	Geophysical Interpretation Map ("A" Area)
Map-32	Drilling Core Record (1/200)

Map-33	Geological Map ("b" Area)
Map-34	Geological Profile ("b" Area)
Map-35	Distribution of Alteration Zone ("b" Area)
Map-36	Location Map of Tested Samples ("b" Area)
Map-37	Location Map of Soil Samples ("b" Area)
Map-38	Distribution of Cu in Soil Samples ("b" Area)
Map-39	Distribution of Pb in Soil Samples ("b" Area)
Map-40	Distribution of Zn in Soil Samples ("b" Area)
Map-41	Score-Sum Map of Soil Samples ("b" Area)
Map-42	Geochemical Interpretation Map ("b" Area)
Map-43	Location Map of Stations and Sections ("B" Area)
Map-44	Apparent Resistivity Plan Map [2048 Hz] ("B" Area)
Map-45	Apparent Resistivity Plan Map [1024 Hz] ("B" Area)
Map-46	Apparent Resistivity Plan Map [512 Hz] ("B" Area)
Map-47	Apparent Resistivity Plan Map [256 Hz] ("B" Area)
Map-48	Apparent Resistivity Plan Map [128 Hz] ("B" Area)
Map-49	Apparent Resistivity Plan Map [64 Hz] ("B" Area)
Map-50	Apparent Resistivity Plan Map [32 Hz] ("B" Area)
Map-51	Apparent Resistivity Plan Map [16 Hz] ("B" Area)
Map-52	Apparent Resistivity Plan Map [8 Hz] ("B" Area)
Map-53	Apparent Resistivity Plan Map [4 Hz] ("B" Area)
Map-54	Resistivity Structural Map [50 m] ("B" Area)
Map-55	Resistivity Structural Map [150 m] ("B" Area)
Map-56	Resistivity Structural Map [200 m] ("B" Area)
Map-57	CSAMT Interpretation Map ("B" Area)
Map-58	Geological Map ("c" Area)
Map-59	Geological Profile ("c" Area)
Map-60	Geological Columnar Section ("c" Area)
Map-61	Distribution of Alteration Zone ("c" Area)
Map-62	Location Map of Tested Samples ("c" Area)
Map-63	Location Map of Soil Samples ("c" Area)
Map-64	Distribution of Cu in Soil Samples ("c" Area)
Map-65	Distribution of Pb in Soil Samples ("c" Area)
Map-66	Distribution of Zn in Soil Samples ("c" Area)

Map-67	Distribution of Mo in Soil Samples ("c" Area)
Map-68	Distribution of Au in Soil Samples ("c" Area)
Map-69	Score-Sum Map of Soil Samples ("c" Area)
Map-70	Distribution of Factor Score for Whole Rock in Soil Samples ("c" Area)
Map-71	Distribution of Factor Score for Intrusive Rock in Soil Samples ("c" Area)
Map-72	Distribution of Factor Score for Sedimentary Rock in Soil Samples ("c" Area)
Map-73	Geochemical Interpretation Map ("c" Area)
Map-74	Location Map of Stream Sediment Samples ("c" Area)
Map-75	Distribution of Cu in Stream Sediment Samples ("c" Area)
Map-76	Distribution of Pb in Stream Sediment Samples ("c" Area)
Map-77	Distribution of Zn in Stream Sediment Samples ("c" Area)
Map-78	Score-Sum Map of Stream Sediment Samples ("c" Area)



## 要 約

マレーシア国サバ州のキナバル山地域には、白亜紀後期から中新世初期の地向斜堆積物が広く分布し、中新世後期に生じた激しい褶曲及び隆起運動に関係して、カンラン岩が侵入している。中新世末期には、さらに造山運動末期の深成活動として中性ないし酸性の火成岩の貫入があり、引き続き浅所の火山活動が起こっている。

現在操業中のマムート鉱床は、上記深成活動の一つであるアダメロ斑岩の貫入に伴うポーファイリー銅鉱床で、N-S方向に約800m、E-W方向に約300mの規模を有する。

この資源開発協力基礎調査では、過去の調査から銅鉱床賦存の可能性の高いと考えられる次の3地区について、地質調査、地化学探査、物理探査(CSAMT法、IP法、SIP法)及びボーリング調査を実施した。

調査結果を要約すると次のとおりである。

### (1) A, a (Bambangan) 地区

本地区はマムート鉱床の西側に位置し、第四紀のPinosuk礫層が広く分布している。中央を南下するBambangan沢に沿って、アダメロ斑岩に伴う銅の鉱化帯があり、これらを中心として、沢砂及び土壌中の銅の地化学異常帯が得られている。

物理探査は、このPinosuk礫層下の比抵抗構造を明らかにするため、全域100km<sup>2</sup>のA地区につきCSAMT法電気探査を行い、50Ωm以下の低比抵抗帯3箇所を検出した。そのうち最も有望と考えられる1箇所を選び、鉱化変質及び硫化物の有無を確認するため、引き続きIP法及びSIP法電気探査を実施した。その結果、Bambangan沢西岸において、南北に伸びるIP異常を捕捉し、これは硫化銅鉱染帯内の脈状鉱床に起因すると推定された。

ボーリング調査は、Bambangan沢付近にある銅鉱化帯の下部状況及び上記IP異常によって推定された鉱床の存否を確認するため、全10孔、掘進長計3,456.20mが実施された。その結果次の諸点が明らかになった。

- (a) 既知鉱化帯の下部では、アダメロ斑岩の岩脈が細くなり、鉱化作用は劣化する傾向にある。
- (b) IP異常を得た箇所では、掘進長約83.80mのアダメロ斑岩に伴う銅の鉱化帯を捕捉した。良好部は銅1%以上の含有量を示している。
- (c) Pinosuk礫層は、Bambangan沢より東に向かって急激に厚さを増し、270m以上に達するところがある。

### (2) B, b (Mankadau) 地区

本地区にはカンラン岩が広く分布し、Mankadau川の一支流Linganaga沢中には、高品位の塊状含銅硫化鉄銅の巨礫が散在している。

この根源を探査するため、4km<sup>2</sup>(b地区)の範囲につき土壌による地化学精査と、更に100

km<sup>2</sup> ( B 地区 ) に範囲を広げて CSAMT 法電気探査を行った。

地化学探査の結果、銅、鉛、亜鉛の3成分とも低い値を示し、鉍化帯を示唆する異常は得られなかった。

CSAMT 法電気探査は、カンラン岩の分布に対応する高比抵抗帯を検出したが、その周辺には断層が発達し、強い粘土化変質を受けている可能性があることが判明した。

### (3) C ( Pal i u ) 地区

本地区は、1982年マレーシア・西独協同調査団が、フォローアップ調査が必要とした所の一つで、沢砂による銅・鉛・亜鉛の地化学異常帯が2箇所抽出されている。

この異常帯の起源を明らかにするため、4 km<sup>2</sup> ( c 地区 ) の範囲について、地質調査と沢砂・土壌による地化学精査を行った。

地質調査の結果、鉍化作用は花崗閃緑斑岩の貫入に伴う周辺Trusmadi 累層中の硫砒鉄鉍鉍脈又は黄鉄鉍・砒硫鉄鉍の鉍染帯で、微量の黄銅鉍を伴うことが確認された。

地化学探査では沢砂・土壌とも Au, Cu, Pb, Zn, Mo の5成分はいずれも低い値を示し、僅かに地区中央部付近で小範囲の異常帯を検出したにとどまった。



# 第 I 部 序 論



## 第1章 調査概要

### 1-1 調査の経緯及び目的

本地域は、稼行中のマムート(Mamut)銅鉱山を包含する地域であり、現在までに各種の調査が実施されている。また地質鉱床についても、マムート鉱山を中心として、詳細な調査が実施されている。しかし、これらの調査は鉱床を対象としているため局部的であり、かつ地域を中心を占める東南アジア第一の高峰であるキナバル(Kinabalu)山の急峻な地形と、その周囲に厚く分布する更新世の氷河堆積層である Pinosuk 礫層にはばまれて、必ずしもその地質構造や火成活動と鉱化作用の関係が充分には解明されていない。

したがって、本プロジェクトは、既知資料により有望視される鉱徴地区に対して、基礎調査を含む各種調査を実施し、より精度の高い地質構造の解明及び鉱床賦存に結びつく地質環境を把握して、最終的に鉱床確認の可能性を評価することを目的とする。

### 1-2 調査の内容

#### 1-2-1 調査範囲

本調査範囲は、マレーシア国総理府経済企画部(Economic Planning Unit)及び日本側の事前調査、協定折衝調査団の間で、昭和60年6月15日に合意、Scope of Workに規定された範囲で東西約52km×南北約40km、キナバル山(標高4,101m)の南東側に位置する(第1図)。第一年度に当たる本年度は、過去の多くの調査結果から、鉱床賦存のポテンシャルに、地域差が認められることから、調査選定地区を概査地区、準精査地区、及び精査地区に区別して、異なる精度で調査を実施した。

その対象地域は、第2図の通り、サバ州州都のコタキナバル(Kota Kinabalu)東方直距70kmのラノウ(Ranau)の北側にあり、各地区について第1表に示す調査を行った。

#### 1-2-2 調査方法

現地調査の作業内容は、下記の通りである。

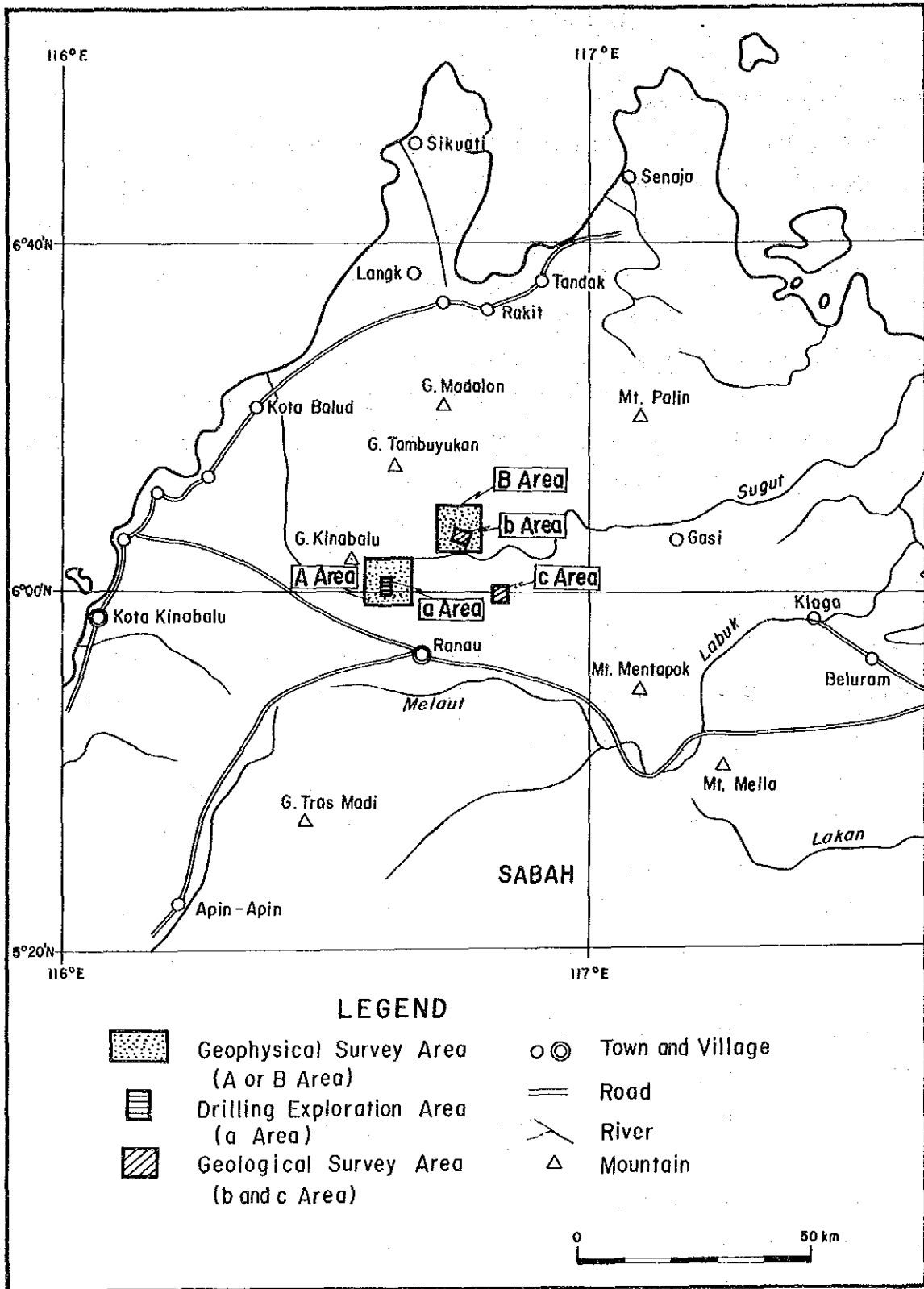
##### 地質調査・地化学探査

既存の縮尺50,000分の1の地形図を参考にして、簡易測量により縮尺2,500分の1のスケールにより踏査を行い、ルートマップを作成した。

地質調査と平行して、地化学探査を実施したが、そのための試料としてb、c地区共に、土壌を50m×50mのグリッドで、さらにc地区では、沢砂を50m間隔で採取した。

##### 物理探査(CSAMT法)

測点間隔をほぼ400mとし、特にa地区については、今後のボーリング調査の位置選定の目的を含め測点を追加し、本地区の探査を他地区に優先して実施した。なおb地区については、



第 2 図 第一年次調査地区位置図

地質調査・地化学探査の測線を利用して測定を行った。

概査地区は、測点が片寄らないように主として尾根及び沢沿いに測点を配置することとした。

#### 物理探査（SP法，SIP法）

CSAMT法によりA地区から抽出された有望箇所について、測線8本、総延長10.8km（測線間隔200m，測点間隔100m）を設け、n=1~5の測定を実施した。

#### ボーリング調査

今年度の調査は、マムート鉱床に近接するa地区を対象とし、既存の鉱徴及び物理探査によって検出された有望示徴に対し、錐進長400m×1孔，350m×7孔，及び300m×2孔，計10孔3,450mを実施した。

### 1-3 調査団の編成

本プロジェクトの計画と折衝及び第一年次調査のための折衝と検討、並びに現地調査に参加した調査員は次の通りである。

#### 日本側調査計画と折衝

石田 真	金属鉱業事業団
中山 健	"
上田 英二	国際協力事業団
小村 幸二郎	資源エネルギー庁
下田 道久	金属鉱業事業団
納 篤	"
遠藤 泰生	"

#### マレーシア側調査計画と折衝

Yin Ee Heng	地質調査所（クアラルンプール本部）
Dato Seri Radin Soenarno	Al-Haj Epu
David Lee Tain Choi	地質調査所（サバ支所）

#### 日本側調査団

清水 肇	（団長，地質・地化学，コア調査，報告書）	大手開発株式会社
淵本 決	（地質・地化学探査）	"
武田 尚雄	（地質・地化学探査）	"
山川 正	（地質・地化学探査）	"
田中 富雄	（物理探査）	"
菅原 公平	（ " ）	"
松久保 和人	（ " ）	"

工藤康治	(ボーリング調査)	大手開発株式会社
鬼沢富衛	( " )	"
村山歳男	( " )	"
浜崎真人	( " )	"
安保満	( " )	"
松岡勇雄	( " )	"
斉藤寛	( " )	"

マレーシア側調査団

Lim Peng Siong	(総括, 報告書)	マレーシア地質調査(サブ支所)
Tungah B. Surat	(物理探査)	"
Muhd. Yusof Ramli	(地質・地化学探査)	"
Chan Fook On	(化学分析)	"
技術助手 Kwan Houng En		(地質・地化学探査) "
Kiaman B. Sukardi		(ボーリング調査) "
Salleh Adanan		(地質・地化学, 物理探査) "
Jinijo Bin Tor a Roger		(物理探査) "
Kamil Kamaruddin		(ボーリング調査) "

第1表 第一年度調査工程

	Duration	Survey Figures		Remarks
		Area	Length	
Preparatory Work	Aug. 8 ~ 16, '85 9 days	-	-	
Geological & Geochemical Survey	Aug. 17 ~ Oct. 24, '85 69 days	b ... 4 Km <sup>2</sup> c ... 4 Km <sup>2</sup>	85.2Km 117.7Km	Soil Samples b...1681 pcs c...1681 pcs Stream Sediments b... 665 pcs
Geophysical Survey	Sept. 28 ~ Dec. 1, '85 65 days Apr. 3 ~ May 24, '86 52 days	A... 100Km <sup>2</sup> B... 100Km <sup>2</sup>	204 Stations 5.4Km 5.4Km 203 Stations	CSAMT Method SIP Method IP Method CSAMT Method
Drilling	Sept. 21, '85 ~ Aug. 7, '86 321 days	MJM-1 -2 -3 -4 -5 -6* -7 -8 -9* -10 Total	305.30 m 351.00 m 300.50 m 351.00 m 350.60 m 302.60 m 350.20 m 351.00 m 401.10 m 351.90 m 3,460.20 m	Inclination * -90° Others -50°





## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置及び交通

本調査地域は、東マレーシア北部のサバ州内にある。サバ州は、北部でスルー海峡を経て、フィリピンのパラワン島に接し、南はいずれも陸続きで、インドネシアのカリマタン、新興国のブルネイ、及び同じマレーシア連邦のサラワク州に隣接している。世界第3位の大島であるボルネオ島の最北端に位置するサバ州は、面積約76,000 km<sup>2</sup>で、我が国の北海道とほぼ同じ大きさである。調査地域は、サバ州都コタキナバル市の東方直距70 km付近のラナウ〔人口約2,000〕を中心とし、東西約52 km、南西約40 kmの範囲である。

地域内には、東南アジアで最高峰を占めるキナバル山（標高4,101 m）が、調査地域内のやや西北寄りに位置する。州都のコタキナバルは、東経116°、北緯6°に位置する。

第1年次の調査地域は、ラナウ市街地の北側に位置する。州都コタキナバルからラナウまでは、アスファルト舗装道路により105 km、車で2時間で達するが、それ以降、各調査地区までは、非舗装、不整備の道路によるため、降雨期の増水時に橋りょうの不備で交通が遮断され、移動に難行することがある。通常の場合は、それぞれの調査地区の入口までは、四輪駆動車によってラナウから1時間弱で到達する（コタキナバルーラナウ間の道路が完全舗装される以前にあった航空機の運行は現在中止されており、ラナウの滑走路は未整備のまま放置されている）。

なお、それぞれの調査地区内は、一部に車輛の使用が可能な部分もあるが、第1年次の調査の大部分は徒歩によった。

### 2-2 地 形

サバ州の地形を大きく支配するのは、西側の南支那海に面した海岸沿いに、北東-南西方向に走るCrocker山脈で、その山脈中の最高峰であるキナバル山が標高4,101 mを示す以外は、ほぼ標高900～1,500 mの山脈である。

その西側には、幅10 km程度の沖積平野があり、一部は海岸のマングローブ低湿地帯に続いている。

Crocker山脈の東側には、標高200～1,000 mの広大な中央高地が広がり、その北東部及び東部の方向に流域を広げる州内の大きな河川が、それぞれ低地帯を形成し、河口のマングローブ低湿地帯を経て、東のセレベス海に流入している。

調査地域のうちA地区は、キナバル山の南東にあり、その山頂部を構成するアダメライト貫入岩体の南側急斜面の標高3,600 m付近から南部で、標高2,000～1,300 mの東西系の顕著な断層崖により、その南側はやや緩傾斜の第三紀堆積岩層の分布する丘陵地帯で、さらにその南側には、その末端部がラナウ市街地にまで及ぶ氷河並びにその泥流堆積物から成るピノスク（

Pinosuk)礫層の台地が広がっている。

これらの台地を侵食してキナバル山塊に源を発する急流が、比較的軟弱な堆積岩層を、東にあるいは南に流下し、各所に深い峡谷を形成している。

ボーリング対象地区のa地区は、この急流河川の1つであるBambangan沢沿いの峡谷地区に位置する。

B地区は、キナバル山塊の東側にあり、Crocker山脈を離れ中央高地に入る地域にあり、その西縁部は標高1,300mの高地であるが、キナバル山塊を深くえぐるように東に流下する急流が、丘陵低地帯に流入して流れを緩かにし、局部的ながら開析台地を形成するに及んで標高を下げ、地区内の南東部のパランチャンガン(Paranchangan)村落付近では、標高250m程度となっている。b地区は標高550~300mにあるが、北東側の大半は、玄武岩及び超塩基性岩による急峻な地形を示し、その西側は断層及びその線上を南下するマンカドウ(Mankadaw)川の支流サンソゴン(Sansogon)によって境されて、堆積岩の分布地帯となり平坦な地形を示す。

c地区は、北側に貫入岩からなる2つのピークがそびえ、その周囲は(傾斜50°を越える箇所が多い)きわめて急峻な地形を示す。

南側の堆積岩類分布地区も、貫入岩分布地区に源流を発する小河川によってV字谷が開析されている。地区の南縁部に近づくにつれて、なだらかな地形を示す。

### 2-3 気候及び植生

サバ州の気候は熱帯性の海洋気候であり、モンスーンの地域でもある。しかし、一部の海岸地帯を除いて、季節による降雨量の変化は少ない。10月から3月までは、北東からのモンスーンがあり、5月~8月は南西からのモンスーンとなる。従ってこれらの海岸地帯は、それぞれその時期には雨量が比較的多くなる。

内陸部の本調査地域、即ちラナウ地域は、一般に雨季は10月から2月上旬までといわれているが、雨量そのものは特にその時期に多いというのではなく、通常のスコールが少なく、いわゆる長雨の様相を示すものである。

年間降雨量は、内陸山間部では1,500~2,000mmであり、海岸あるいは山岳地帯で3,000mmを越すことが多い。マムート鉤山では、2,100~4,000mmの降雨量が記録されている(第2表)。

気温も季節的な変化はなく、年間を通じて海岸地方では24~30℃、最高34℃を示すが、山岳部は12~22℃と温度差が大きい。また、一般にどの地域も湿度が高い。

植生は、丘陵・山岳地帯はいわゆるジャングルであり、また海岸部は湿地帯となり、マングローブが広く繁茂している。

調査地域は、ジャングル地域で、高・低木、草木植物、羊歯植物等が、高温・多雨、多湿のため、よく繁茂しており、調査のための伐開に相当の時間を要した。

第 2 表 月別降雨記錄

Year 1975-1985

Ranau Agricultural Station  
549 Metres AMSL 5°58'N 116°42'E

YEAR	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	TOTAL	WET DAYS
1975	374.3 17	158.7 7	170.9 10	80.3 7	296.1 17	189.5 3	257.0 18	324.3 15	208.8 19	226.5 9	203.4 19	195.8 17	2685.6	168
1976	279.4 18	72.1 8	121.2 9	117.2 8	57.9 5	97.3 8	84.3 7	195.9 10	55.5 5	252.0 17	213.6 18	160.3 9	1706.7	122
1977	236.6 12	615.1 18	71.3 9	126.9 10	199.8 13	289.9 7	101.3 12	264.3 11	70.1 5	253.7 13	213.0 11	126.8 16	2568.8	147
1978	185.4 11	122.4 7	82.8 4	227.0 10	184.7 10	288.2 1	140.0 13	72.4 4	169.7 7	170.4 15	96.0 12	268.6 20	2007.6	130
1979	101.4 16	88.5 9	170.0 13	88.7 6	195.5 13	177.1 6	192.1 12	44.0 7	181.2 12	221.0 13	265.2 19	81.0 8	1805.7	144
1980	237.8 18	229.6 11	214.0 11	122.0 11	139.3 9	133.7 4	225.3 11	166.3 15	107.7 6	140.7 13	105.1 12	362.9 21	2184.4	152
1981	556.4 22	148.2 10	86.1 6	84.8 7	-	73.8 7	131.5 13	113.8 6	164.3 14	168.8 9	148.4 11	129.1 11	1803.2	-
1982	253.2 12	124.6 13	79.8 4	138.4 11	278.0 16	193.4 0	124.5 10	112.4 15	220.7 10	122.6 12	136.1 13	100.6 10	1884.3	136
1983	102.3 8	61.4 6	0.0 0	1.3 1	160.3 6	266.6 6	172.2 430.8	391.5 22	205.8 19	119.7 14	190.4 14	301.0 24	1972.5	142
1984	256.7 24	368.0 26	138.5 15	245.5 19	362.6 23	197.0 4	17 430.8	26.4 5	221.9 18	79.1 10	147.2 16	284.1 23	2757.8	210
1985	152.5 6	301.7 17	48.6 7	140.9 11	175.8 11	109.0 8	175.4 11	192.6 11	212.8 17	155.4 12	178.7 11	92.0 11	1935.4	140

Remarks: - not available



### 第3章 調査地域の地質と経緯

#### 3-1 サバ地域の地質

地理的に、サバ州はボルネオ島の北部を占め、本協力調査の地域は、そのうちの西側にある。広域的にその地質を概観すると、ボルネオ島の北西部即ちサバ州の西半部からブルネイ及びサラワク州にかけて、NE-SW方向に長さ800km以上幅300kmに及ぶ、白亜紀後期から新世代第三紀全般にかけての地向斜・造山帯が分布しており、これは“北西ボルネオ地向斜”(Haile 1969)と呼称される(第3図参照)。

この地向斜(調査地域もこの中にある)は、さらに北東にスルー海峡を経てフィリピンのパラワン島にまで及ぶとも言われる。

一方、近年(1970年代以降)、斑岩銅鉱床の生成に関して、いわゆるプレート・テクニクスの地殻構造論から“大きな銅の濃集”(斑岩銅鉱床型)は、プレートの収斂部に限られるといわれている。

また、サバ州の北東側は、スルー海峡方面からの島弧と島弧のコリジョン(衝突)の構造の場として提供されたため、その複雑な地質と乙字形に屈曲した構造により造山運動の歴史も簡単には解明できていない。

本調査地域の中央にあるキナバル山を形成した深成岩体の貫入も、その複雑な造山運動の関係により、地域の鉱化作用の解明をより複雑化している。

北西ボルネオ地向斜帯には、白亜紀後期のスピライト噴出と、それに伴う堆積岩類、これに引続く地向斜の産物であるフリッシュ型堆積物より構成されるラジャン(Rajang)層群(始新世~中新世初期)の分布が顕著である。また白亜紀後期に属する超塩基性岩類の貫入、造山期中にあるいはその後の深成岩類の貫入(中新世初期~鮮新世)さらにその後の安山岩・玄武岩噴出と続く即ち一連の典型的な地向斜造山運動の地質とその構造を示している。

なお、サバ州のやや北部寄りに、キナバル山塊を包含するNW-SE系の構造線地帯(幅100km以上にわたる中・小規模の断層の集合体)が存在し、“キナバル断層”と呼ばれる(Tokuyama Yosida 1974)。この地帯はRajang層群を大きく水平的に転位させ、数多くの酸性あるいは超塩基性火成岩類の貫入・噴出の場となっている。

基盤岩と見なされるものは、ジュラ紀或いはそれ以前の結晶質基盤岩(Crayatalline Basement)と呼ばれる片岩・片麻岩類であり調査対象地域内でも局部的に分布が知られている。

この基盤岩以後の火成活動については、Kirk(1968)によって次のようにまとめられている。

#### 第一期火成活動

地向斜初期のスピライト・ケラトファイアのソーダに富む海底の塩基性火成活動でサバ州の

東部並びに北部に分布する。チャート・スピライト層群中の塩基性火成岩，中央部のスピライト枕状溶岩が主なもので，前者は白亜紀～始新世，後者は中新世前期の活動によるものである。このチャート・スピライト層群と超塩基性岩の分布は，ほぼ同じ地域にあり，サバ州における分布は北西－南東方向を示している。

### 第二期火成活動

造山期から造山期後に及ぶ酸性～中性の火成活動である。それは Crocker 層群に貫入しているキナバル山深成岩体と，その周辺の酸性～中性の小規模貫入岩体である。貫入時期は第三紀中新世後期～鮮新世前期（造山期直後）のものである。また同時期の安山及び石英安山岩を主体とする火山活動が東側地域に見られる。

北西ボルネオ地向斜期の最後の火成活動は，洪積世の玄武岩溶岩の噴出であった。（第4図参照）。

### 3-2 調査対象地域及びその周辺の地質

標高4,101mの特異な地形を示すキナバル山の主岩体を構成するアダメロ岩の貫入底盤は，地表面積が155km<sup>2</sup>（60Mile<sup>2</sup>）のやや北東－南西に伸長する突出した形で分布するが，地下では1,300km<sup>2</sup>（500Mile<sup>2</sup>）の広大な面積を占めるという（Jacobson 1970）。

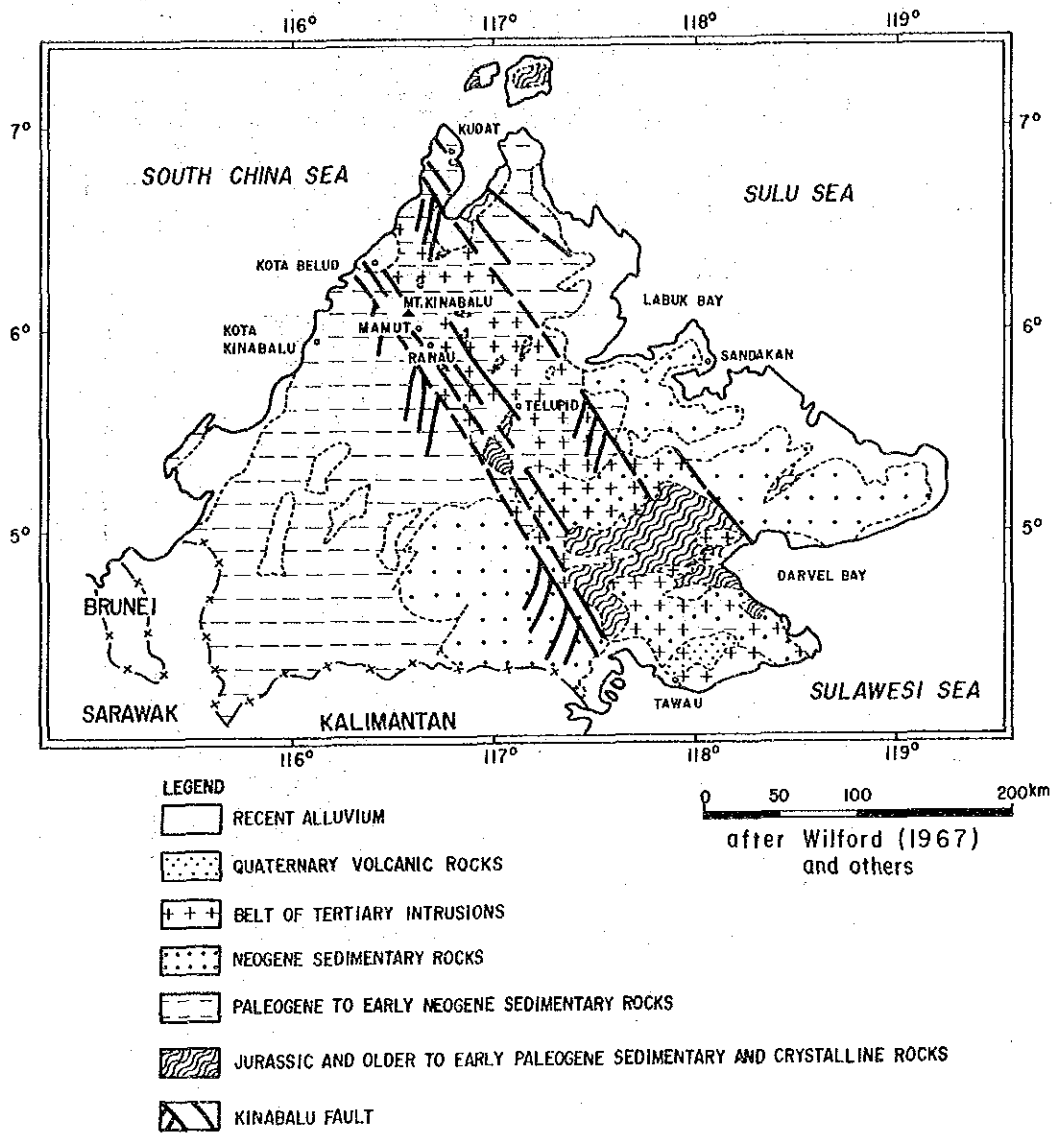
したがって，調査地域のほぼ全域にわたって底盤として分布することとなる。その周辺部は斑岩化し，アダメロ斑岩としてキナバル山塊の周辺部を，特にその南側及び西側に帯状に取囲むように分布する。また山塊の東方，ポーリング（Poring）部落の北側でも直径5kmのキナバル山塊と類似する北東－南西に伸長した山塊（標高750m前後）を形成している（第5図，第6図参照）。

キナバル山塊の南東側に近接するマムート鉱床区域は，すべてこの底盤上の範囲内に入っていると考えられる。鉱床付近及び鉱床内に分布し，また鉱床母岩の主体を占め，さらに鉱化作用に直接関与しているアダメロ斑岩類の岩株（南北約800m，東西約300m，全体として東に約40°の傾斜を示す——高坂，脇田，1975），並びにキナバル山頂部付近及び周縁部に数多く見られる岩脈部は，いずれもキナバル山アダメロ岩底盤のキュボラ及びその分岐岩脈である。

本地域の基盤岩を構成するものは，既述の通り片岩及び片麻岩類より成る“結晶質基盤岩”であり，時代はジュラ紀～三畳紀あるいはそれ以前とされている。

この基盤岩を覆って，チャート，スピライト及び堆積岩類で構成されるチャート・スピライト累層，並びにフリッシュ型堆積物で構成されるRajang層群が分布する。前者は，白亜紀後期～暁新世に属し，後者は暁新世～中新世初期の堆積物である。

このRajang層群は，トルスマディ（Trusmadi）累層とクロッカー（Crocker）累層の二つに区分され，一応前者が暁新世～始新世，後者がそれ以後（漸新世～中新世初期）のものとされるが，両累層が同時異相として指交関係をなす地域もある由で，地域の地質構造の複雑さ

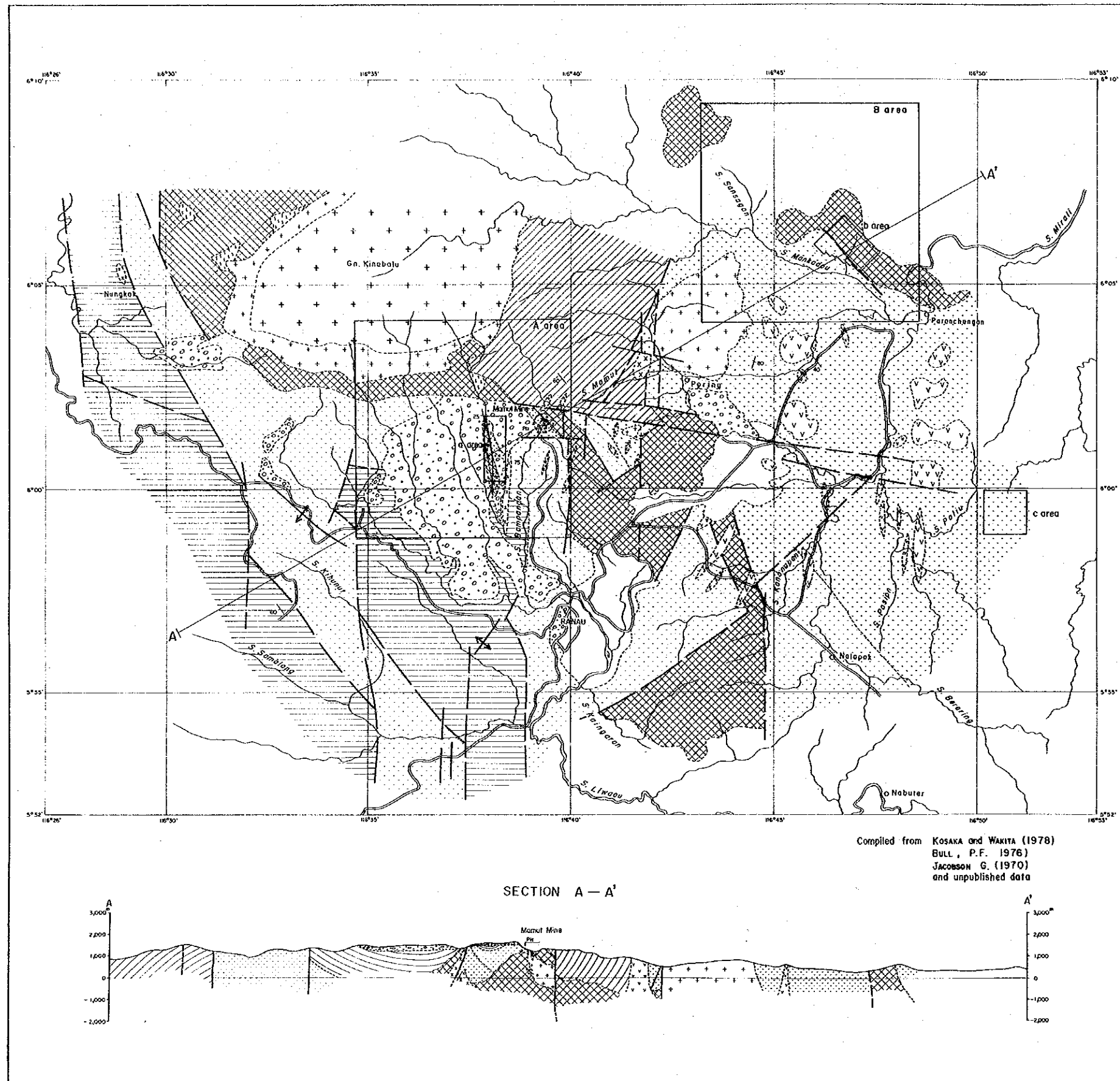


第3図 サバ州概略地質図





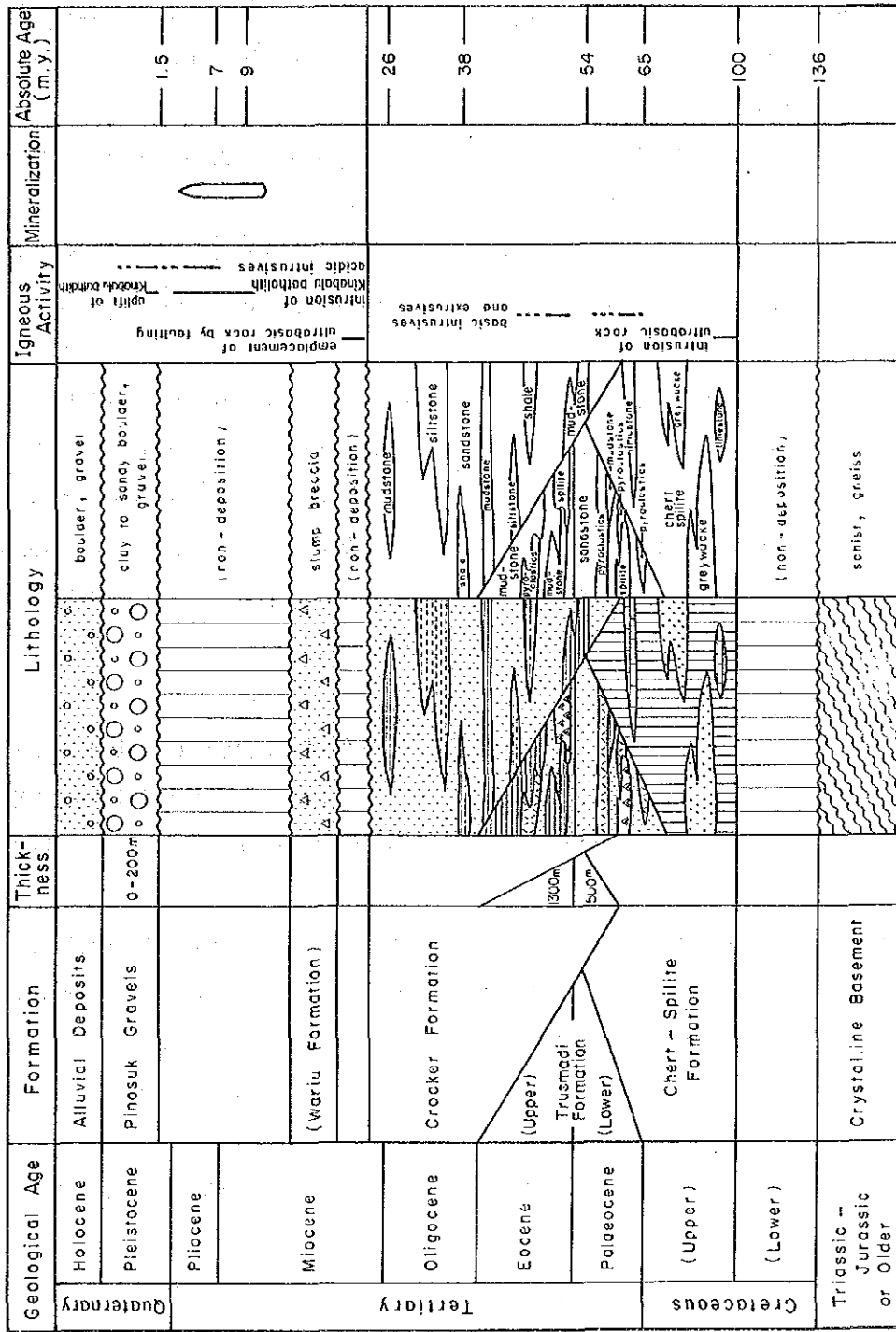




第5図 キナバル地域地質図







(Compiled mainly from Kosaka and Wakita, 1975)

第 6 图 層序模式断面图

から、両累層の層序の確立にまでは至っていない。

岩相的にはTrusmadi累層は、灰色～暗灰色の泥質岩、粘板岩及び部分的にシルト岩、砂岩、まれに火山碎屑物により構成される。Crocker累層は、Trusmadi累層に比較して砂質であり、砂岩、シルト岩、灰色～赤色の頁岩より成る。

また、チャート・スピライト累層群が、その上位のTrusmadi累層とも同時異相として、水平的に漸移関係を示す地域もあり、これらの層序は未だ確立されていない。

b地区のカンラン岩の南側低地に分布する堆積岩類も、従来Trusmadi累層とされているが、上方のスピライト質玄武岩溶岩との関係からすれば、むしろChert-Spilite累層の可能性がある。

Rajang層群のTrusmadi累層は、マムートとラナウを結ぶ南北線より東側に分布し、Crocker累層は、その線から西方のクダサン(Kundasang)付近までとキナバル山塊の西において、アダメロ岩よりなる小山塊のヌンコク(Nungkok)山の周辺に広く分布している。

両累層は、褶曲・断層の運動を繰り返して地質構造を一層複雑化しているが、これはRanau, Kundasang間のコタキナバルへ通ずる幹線道路の数多くのカッピングに見られるCrocker累層の複雑な分布状況を見ても明らかである。マムート鉱床の母岩の一部を構成する堆積岩類は、Trusmadi累層に分類されている。

なお、マムート鉱床の北側を通るM1地区の東西系の断層の北側に広く分布する堆積岩類(一部変成岩類を含む)は、一時Trusmadi累層に区分されたこともある(1970年以前)が、現在では“Undifferentiated Sedimentary Metamorphic rocks”として未詳岩扱いしている。

これらの累層、特にTrusmadi累層の、キナバル山底盤に接近した部分(山塊の東側及び南側)は、その境界部より1,500mにも及び接触変成作用を受け、ホルンフェルス化、あるいは片岩、珪岩化している。これは試錐地区のBambangan沢の堆積岩にも見られる。

貫入火成岩の時期は、カンラン岩類が早期であり、既述のキナバル山深成岩類はその後の貫入である。

カンラン岩は、地域内ではキナバル山塊のアダメロ岩類の南側及び西側、調査地域のB地区、及びマムート南東部とラナウ南東部に分布する。

岩石は主にカンラン岩で、一部にはダナイトも見られる。いずれも剪断、破碎を伴い角礫化していることが多く、蛇紋岩化作用を普遍的に受けている。サバ州では、スピライト溶岩類と接して分布することが多く、調査地域のb地区でも、東西系の断層を介してスピライト質玄武岩溶岩に南接して広く分布する。

キナバル山塊を構成するアダメロ岩類は、その貫入時期がほぼ900万年と絶対年代が測定されており、第三紀中新世後期ないし鮮新世前期の造山期末あるいは直後のものである。

Jacobson (1970) によれば、Bambangan 沢西岸のアダメロ岩類は、カンラン岩中に垂直に貫入している。

キナバル岩体は、アダメロ岩とその外縁部の斑状アダメロ岩及びアダメロ斑岩より成り、それらは岩体周辺のキュボラにおいても同様である。マムート地区では、これらキュボラの貫入により上位のカンラン岩岩体、さらにその上部の堆積岩類共にドーム状の構造を示している。

マムート鉱床においては、花崗閃緑斑岩岩脈が明らかにアダメロ斑岩を切っており、したがってマムート鉱化作用と密接に関係するアダメロ斑岩より後期のものであるが、鉱化作用を受けている(品位的には、他の鉱床母岩であるアダメロ斑岩、カンラン岩、堆積岩類に比し、約1/3程度である)。キナバル山アダメロ岩体の一連の深成岩活動の末期の貫入岩であろう。

そのほかマムート鉱床の周辺には、南北系の微閃緑岩類の岩脈がある。本岩類は、従来斑状岩(Hpabyssalな porphyritic rock)として記載されている(昭和46年1月、マムート調査報告、OMRD)もののうち、Por-2に相当する(Por-1は、現在マムート鉱床の主母岩であるアダメロ斑岩に相当。今年度の試錐、MJM-1孔中ではPor-2が約220m間連続した)。ザクロ石斑晶が明瞭で、局部的に斑状組織を示す(MJM-1は上記昭和46年調査当時の試錐孔BA-1の付近にて実施されるものである)。貫入時期は明確ではないが、変質作用を伴うこと、また方解石あるいは石英細脈が全般的に見られること、また鉱石鉱物が確認できないことなどから、キナバル山深成岩の活動の末期で、その貫入に関連する鉱化作用の末期、あるいはその終結期のものと見られる。

調査対象地域の東側には、広く分布するTrusmadi累層中に、岩株状及び岩脈状、あるいは一部は溶岩として、石英安山岩及び安山岩類の分布が認められるが、前記の微閃緑岩同様に、新第三紀火成岩活動の末期の活動によるものと思われる。

第三紀の造山運動、火成活動あるいは鉱化作用には無関係であるが、調査対象地域の探査活動において大きな障害となっているものは、第四紀の堆積物であるピノスク礫層である。

本層は、キナバル山南側に分布し、貫入岩体が形成する急峻な地形から、傾斜度をやや緩やかに転じた斜面部より南に向かってピノスク部落を含む標高1,500~1,200mの約50km<sup>2</sup>の範囲に広がっている。その末端部は流出した土石流となり、南東方面のラノウ氾濫原まで及び、ラノウ盆地の西縁部あるいは沖積氾濫原を流れる大・小河川の河床中にも、その巨礫を残している。礫の種類は、アダメロ岩、同斑岩、カンラン岩類、第三紀堆積岩類など地域全般を構成する岩石のすべてに及び、時に鉱化作用を受けた岩石の礫をも含んでいる。

礫の大きさは多様であり、径1~50cmのもの、1~5mのもの、さらには稀に10~20mにも及ぶものもある。亜角礫のものが一般であるが、時には角礫、あるいは稀に円礫のものも見られる。基質は、主としてアダメロ岩起源の粗粒の砂であり、固結の様相は種々雑多である。

埋没木片の炭素による年代測定により、最上部は7980年±100年、その他では34,000年

(+2,200~1,800年), 39,900年+ $\alpha$ が得られており, 洪積世末期のものと見られる。

Jacobson (1970) は, 成因について, 本層をその不整合面で2つに区分し, 下位のはキナバル山の氷河期の周氷河現象による礫層とし, 上位層は高山の泥流による堆積物で, 一部には氷河のモレーンの再堆積層も存在するとしている。

本地域の地質構造は, 断層の方向がN-S系の断層が顕著で, これらに斜交するNW-SE系の断層によりそれぞれ地塊に分断され, キナバル山塊の東から南にかけて南及び東側が落下する地塊運動を繰り返している。またE-W系及びNE-SW系のものも存在し, 前記の系統の断層よりは小規模ではあるが局部的構造を支配する。一例として, マムート鉱床ではNE-SW系の弱破砕帯が雁行状に発達し, 全体としてN-Sの方向に伸長する形態を示す。さらにE-W系は, 鉱床に北接するものが顕著で, アダメロ斑岩を切断し, 南側が落ち込んでいる。これはキナバル山の隆起運動に伴う断層系と思われ, その活動の時期は鉱床生成から鉱化作用の終結にまで及ぶものと見なされている。

### 3-3 従来の調査

1882 : F. Hatton は Tambuyukon 山地域を踏査して, 黄銅鉱の分布を確認した。

(Hatton F., North Borneo exploration and adventures on the equator, London 1885)

1908-1912 : British Borneo Explortion Company が北ボルネオの鉱物資源の組織的調査を行った。

(R. R. pily, Geologische Studiam im Britische Nord Borneo, Jahresher Freiberge Geol. Ges VI 1913)

1949 : North Borneo 地質調査所の設立により, 基礎的・全般的な地質鉱床の調査を開始。

1955-1956 : マレイシア地質調査所サブ支所は Royal school of Mines (London) の協力を得て, Telupid の Karang 地区を中心に地化学探査を実施した。これにより地化学探査法がジャングル地帯での銅鉱探査に有効であることを認める (Memoir 9)。

1958 : F. H. Fitch が Sandakan-Labuk 地域の図幅調査を完成 (Memoir 9)。

Labuk 地域について組織的地化学探査の必要性を強調した。

P. Collenette が, Jesselton (今の Kota Kinabalu) - キナバル地域につき, 地質と鉱床の分布全般の調査を完成した。

(Collenette P., The Geology and Mineral Resources of jesselton-Kinabalu Area 1958)

1959 : Soriano Y. Cia が Au, Cu, Pb, Zn, Ni に関し, 探鉱権 (1,118 mile<sup>2</sup>) を Tambukon, Karamuak, Darvel 湾地域で取得。



1960 : Soriano Y. Cia が Karang 地区の探鉱権 (1,000 mile<sup>2</sup>) を取得。

1962 : マレーシア地質調査所サバ支所は Randagong (Ranau 南西) のアンチモン露頭の下流で、パンニングにより辰砂の存在を知る。

Malayan Mines Ltd., は Bidu - Bidu Hill で 29 mile<sup>2</sup> の鉱区を取得。

Borneo Mining Ltd., は Labuk 地域の Bidu - Bidu 地区にて試錐を実施、クロムの探鉱を実施した。また同地域の Tavai 山地区で、地質調査所の図幅調査で発見された鉄鉱床につき試錐探鉱を実施し、かなりの鉱量を獲得した。

Soriano Y. Cia, はサバ州各地の銅鉱床の探査に着手した。

Karang - Karamuak 地区では、地化学探査を実施し、Tambuykon 地域の Mankadau 北部地区で銅異常を認め、同じく同地区の Sansogon 川、Lingangaa 沢で銅鉱石の転石を発見、この地区に鉱区を設定した。

1963 : Labuk Valley プロジェクトが実施された。国連の特別基金により、まず Labuk - Karamuak 地域の予察地化学探査に着手した。Soriano Y. Cia は広域の川砂による地化学探査を継続する一方、Mankadau 地区でも、電気探査、ビット探鉱を実施したが、露頭の如き塊状銅鉱床を捕捉することができず、探鉱を打ち切った。

(Annual Report 64 P.163)

(1963.9.16 Malaysia 連邦独立)

1964 : Soriano Investment Co. (Soriano Y. Cia の後身)

Karamuk 地区の Karang 探鉱権取得地域で、地化学探査・電気探査の異常を見出した。また、キナバル山域の地質概査により、ヌンコックで銅鉱の転石を発見、前年に引き続き、Karamuak 地区について予察地化学探査を実施 (合計 640 mile<sup>2</sup>)。これにより発見された Bidu - Bidu Hill の Sualong, Bangau 地区の銅異常につき追跡調査を開始 (Annual Report 64)。

マレーシア地質調査所サバ支所

図幅調査の際、キナバル山の南麓 Tenompok から Konborongah に至る道路沿いに、黄銅鉱を含む石英を発見し、キナバル地域の銅鉱床賦存の可能性を指摘した。

1965 : Soriamont Investment Co.

1月 Nungkok 地区に 60 mile<sup>2</sup> の探鉱権を新たに取得、地質調査・地化学探査を実施し、Nungkok 山の西斜面で銅鉱化帯 (石英閃緑岩に貫かれた珪化泥岩中) を発見した。

Labuk Valley Project (国連)

Kinabalu - Mankadau 地区について、予察地化学探査を実施し、キナバル山南東麓の M-1, M-2 等 8カ所の銅異常地域発見し、このうち M-2, M-1 及び Bambang 地域について追跡調査を行った (Annual Report 65)。

マレーシア地質調査所サバ支所

Labuk Valley プロジェクトで発見された地化学探査異常地区のうち、国連の追跡調査が行われたマムート (M-1, M-2), Bambangan 地区につき地質調査を実施し、M-2 上流で斑岩銅鉛床の存在を認める。

1966 : Soriamont Investment Co.

Nungkok 地区の調査を継続し、1,000m×400m の鉛化範囲について、電気探査と5孔の試錐を実施した。

マレーシア地質調査所サバ支所

M-2 地区を中心に浅掘試錐30孔、ピット200筒以上を実施し、150,000 m<sup>2</sup>の平面積、銅品位0.7%の鉛化帯を捕捉した。Bambangan 地区についてはピットとオーガーによる探鉛を行ったが、経済価値に乏しいと判断した。

一方、サバ州政府は Mamut, Bambangan 地区の探掘権を国際入札により付与することを決定した (Annual Report 66)。

1967 : Soriamont Investment Co.

Nungkok 地区の探鉛を継続したが、開発を進めることに至るまでの鉛量は獲得できずに終わった。

OMRD 社

この年の12月、Mamut, Bambangan 地区の50mile<sup>2</sup>の探鉛権を、世界の大鉛山会社との激しい競争の末落札、取得した。

1968 : OMRD 社

4月-11月 第1期探査(測量、地質調査、電探、試錐)を実施した。

1969 : OMRD 社

11月、第2期探査終了。

一方、5月に OMRD-Sabah 社を現地法人として設立、日本においては12月にマムート鉛山開発KKを設立し、同社に開発計画のF/R作成に当たらしめた。

1973 : 探掘権が OMRD-Sabah 社に下る。引続き開発起業に入る。

1975 : 5月、マムート鉛山開山

1968~69 : G. Jacobson が Kinabale 地域の地質図幅の作成を実施し、キナバル山とそれに関連した鉛化作用の様相を研究した。(Report 8)

1971 : A. Tokuyama and S. Yoshida は Ranau-Kinabale 地区の Crocker 累層の構造を調査し、走向断層のキナバル断層の存在を提唱した。

1978 : K. M Leong はサバ州の変成岩類の分布を調査し、Blueschist Belt の存在を推定した。

- 1980 : D. T. Leeはサバ州西海岸部の衛星画像を研究した。
- 1981 : P. Hoppe H. S. Weber and A. Yanは、マレーシア-西独協同探鉱対象として、先に UNDPプロジェクトとして採取されている Labuk 地域全般の河床堆積物につき Cu, Pb, Zn, Ni, Co の再分析を実施し、地化学異常帯の再抽出と評価を行った。
- 1981~82 : P. Hoppeは マレーシア-西独協同探鉱対象として、5万分の1, 2万5千分の1のランドサット画像により、ラナウ-キナバル地域の写真解析を実施した。
- 1983 : H. D. Tjia はラナウ-キナバル地域の第四紀造構造運動を研究した。



## 第II部 A.a(BAMBANGAN)地区



## 第1章 地質及び鉱化作用

### 1-1 地質

本地区は、白亜紀後期～中新世初期の地向斜堆積物（Trusmadi及びCrocker累層）と、貫入時期は白亜紀以降で、断層によって中新世初期に転移したと考えられるカンラン岩、両者を貫く中新世末期のアダメロ岩類及びこれらを不整合に覆う第四紀のPinosuk礫層で構成される（第7図）。

このうち、Pinosuk礫層が本地区の中央部から南部にかけて広く分布するため、地質や地質構造に不明の点が多いが、周辺の状況から、Trusmadi及びCrocker両累層及びカンラン岩はNW-SE系の走向を有し、30-45°南傾斜すると考えられる。

アダメロ岩類にはキナバル山塊を形成するバソリス状のアダメロ岩と、岩脈状に分布するアダメロ斑岩、微閃緑岩及び花崗閃緑斑岩があるが、アダメロ斑岩にはカリ長石の巨晶が特徴的に含まれている。

断層系にはN-S、NS-SW、E-Wの3系統が認められ、今回ボーリング調査を実施したBambangan沢はN-S系の断層線谷であり、この構造線に沿って、アダメロ斑岩や微閃緑岩の岩脈が貫入している。

### 1-2 鉱化作用

本地区の鉱化帯として、マムート鉱床のほかBambangan露頭がある。

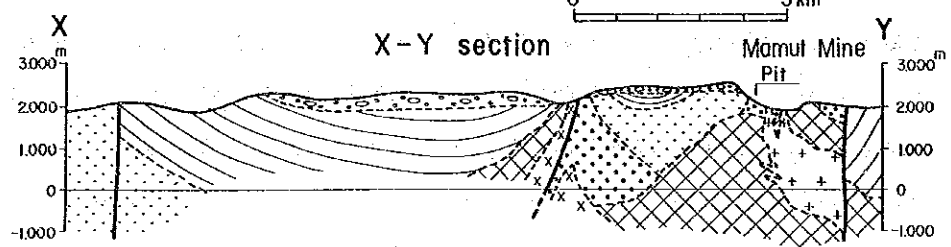
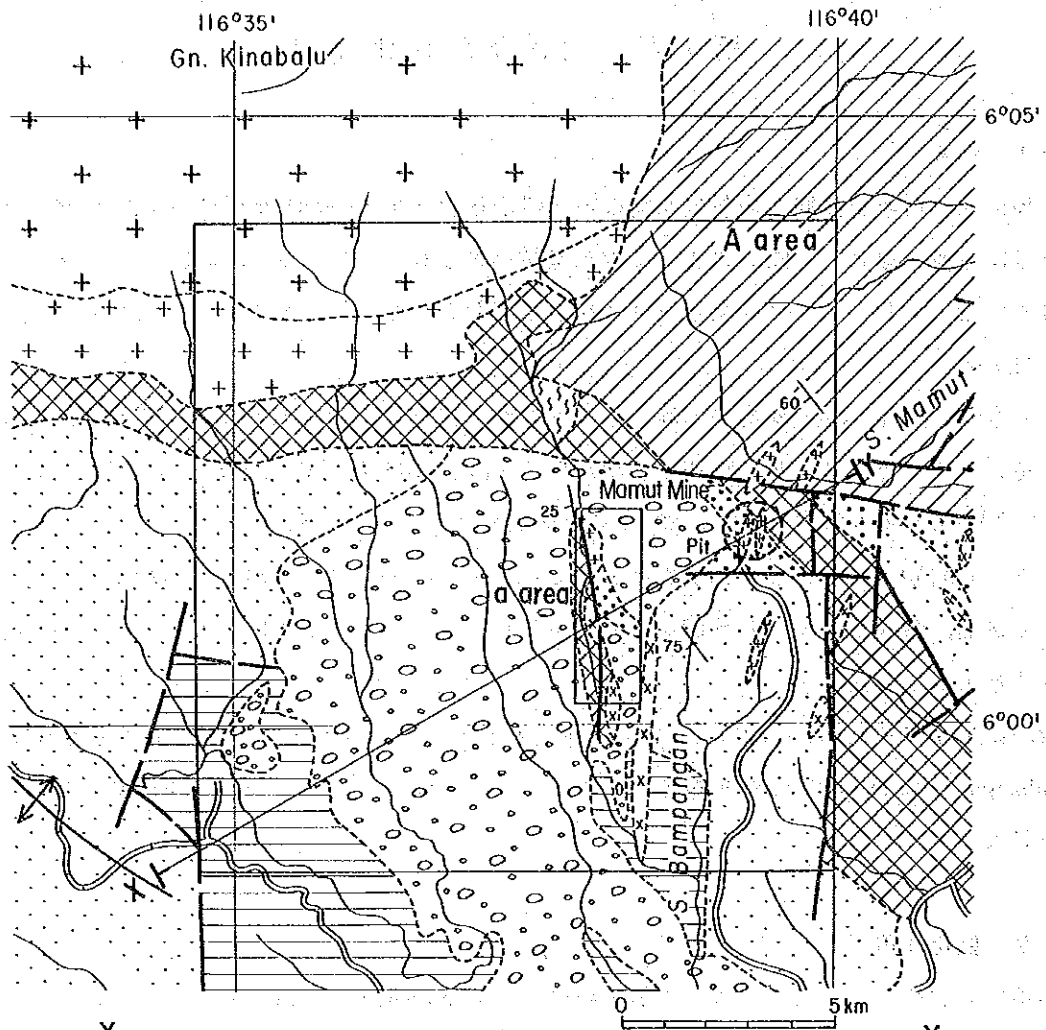
記録によると、この露頭はマムート鉱山のBambangan用水道路の下方約20mの所にあり、破碎したアダメロ斑岩及び砂岩中に胚胎している。鉱石鉱物は黄銅鉱、磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱、磁鉄鉱で、部分的にはCu 10%以上を示した。1970年、海外鉱物資源開発株式会社(OMRD)がこの露頭の40m下部を狙ってボーリング調査を行ったが、着鉱しなかった。

この露頭は埋設(?)して現在不明であるが、これより東北東に100m離れた、用水道路のすぐ上の地滑り箇所アダメロ斑岩中にくじやく石-黄鉄鉱が鉱染した弱い鉱化帯があり、これらは一連の鉱化帯と考えられる。

又、用水道路の終点にある取水口より、Bambangan沢を約800mさかのぼった西側地点にアダメロ斑岩が露出するが、割れ目に沿ってくじやく石が晶出している。

国連(1963-1965)やOMRD(1970)の地化学探査によると、Bambangan沢中流と、Masilau沢の上流と中流において、480-960 ppm銅含有量を検出しており、Bambangan沢の東斜面においては、土壌中の銅含有量が上記露頭付近で1,000-3,000 ppmと非常に高い値を示し、Pinosuk礫層中にも広がっている。

西独による協力調査(1981)によると、Bambangan沢のほぼ同じ地点で、延長3.0kmに



LEGEND

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>Pinok<br/>Gravels</p> <p>Crocker<br/>Formation</p> <p>Trusmadi<br/>Formation</p> <p>(unknown)</p> <p>Crystalline<br/>Basement</p> | <p>Alluvial deposits</p> <p>Boulders and gravels</p> <p>Sandstone, siltstone and mudstone</p> <p>Sandstone, mudstone and spilit<br/>and its pyroclastics</p> <p>Sandstone, mudstone and spilit<br/>and its pyroclastics</p> <p>Undifferentiated sedimentary and<br/>metamorphic rocks</p> <p>Schist and gneiss</p> | <p><b>Igneous Rock</b></p> <p>Microdiorite and Micro quartz<br/>diorite</p> <p>Adamellite porphyry</p> <p>Adamellite</p> <p>Serpentinized peridotite</p> | <p>Fault(certain)</p> <p>Strike and dip</p> <p>Geological profile line</p> <p>Area Survey area</p> <p>Fault(inferred)</p> <p>Anticline</p> |
|--|--|--|--|

第7图 A地区地质图



わたる銅の高異常（最高値：1,790 ppm）が再確認され、Pinosuk 礫層に覆われた大規模な  
鉍化帯が存在する可能性がある」と指摘している。

一方、上記地化学異常をチェックするため、その後Pinosuk 礫層が分布する範囲を除いて、  
OMRDが電気探査（IP法及びSP法）を実施したが、Nasapang 沢の東岸にNE-SW 方向  
に帯状に細く伸びるIP異常を得たにとどまった。たゞマムート鉍床の直上に表われたIPの  
高異常はNW-SE方向に伸び、北部では西方に湾曲する傾向が認められている。

以上のように、川砂や土壌による銅の地化学異常が得られていること、マムート鉍床地区と  
類似の地質及び断層系を示すこと、マムート鉍床に近接していて開発が容易であること等より、  
Bambangan地区は以前より有望地区として注目されていた。

本年次実施した電気探査（CSAMT法、IP法及びSIP法）及び試錐探査は、既知露頭の下  
部への広がり、Pinosuk 礫層下の潜在性鉍床を探索することを目的とした。



## 第2章 物理探査

### 2-1 CSAMT法

#### 2-1-1 調査内容

本調査は、サバ州マムート鉱山周辺のA地区においてCSAMT法電気探査を実施し、比抵抗マッピングを行い、その地質及び鉱床との関連から鉱床賦存の可能地域を抽出し、調査地区内の鉱床賦存を検討するとともに、今後の鉱床探査に指針を与えることを目的として実施された。

##### (1) 調査方法

CSAMT法(Controlled Source Audio Frequency Magneto-Telluric Method)は、深部探査法として開発された電磁探査の一手法である。

探査深度は、大地の比抵抗と周波数の関数であり、低周波数ほど深い比抵抗情報を得ることが可能である。

電磁場の深さが地表の1/e(約37%)になる深さを表皮深度(Skin depth)と呼び探査深度の目安としている。

表皮深度は次式より求められる。

$$d = 503\sqrt{\rho/f}$$

ここに d = 表皮深度 (m)

$\rho$  = 比抵抗 ( $\Omega\text{m}$ )

f = 周波数 (Hz)

本調査では可聴周波数帯に当たる、4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048Hzの10周波数を使用した。

これらの周波数を用い各測点でNear-field, Transition Zone, Far-fieldを測定し、比抵抗曲線を作成する。

この比抵抗曲線を解析することにより、比抵抗構造を知ることができる。

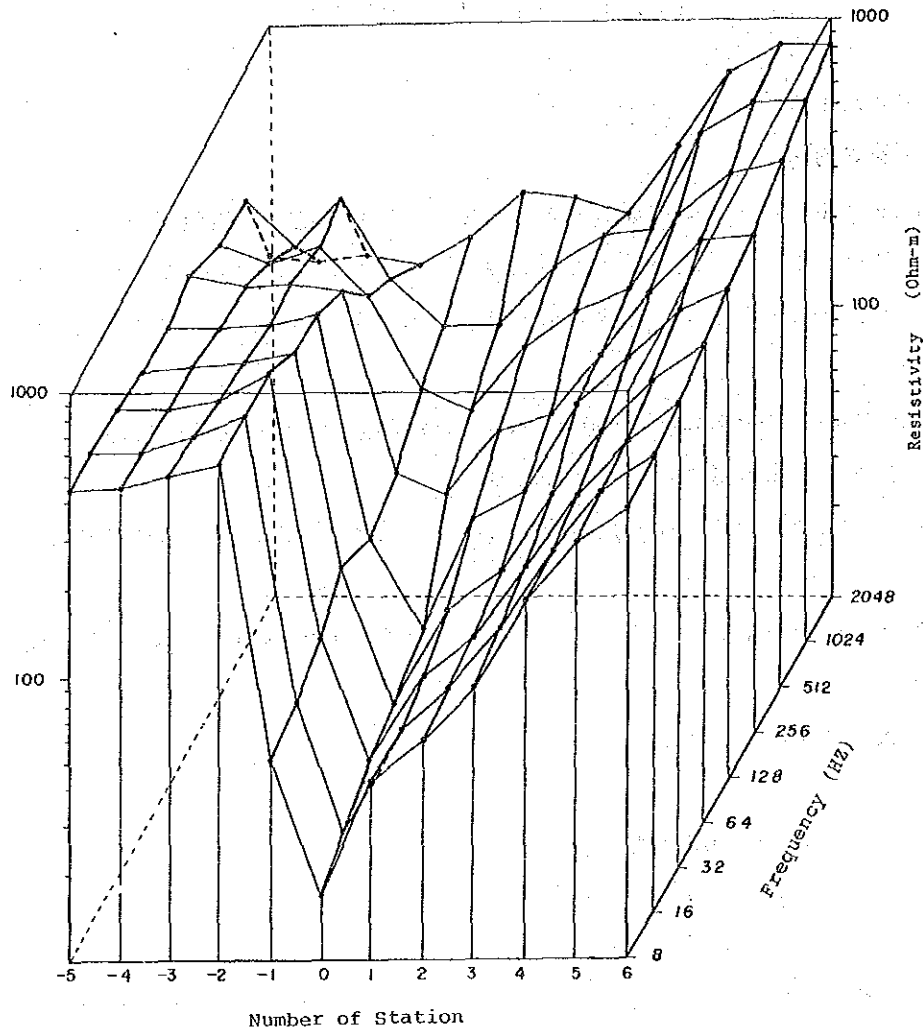
因みに、塊状硫化物鉱床の場合、母岩と鉱床との比抵抗差が大きいため第8図の如き三次元の表示が可能となる。

##### (i) 測点・電流電極の配置

測点設定にあたっては、ポケットコンパスとエスロンテープを用い尾根、沢沿いに簡易測量を実施した。その調査内容を第3表に示す。

第3表 A地区CSAMT法調査内容及び調査量

A地区	測点間隔	400~500m	測点点数	204点
	電流電極	Tx1 1550m Tx2 1650m	調査範囲	100km <sup>2</sup>



第8図 CSAMT法三次元表示例

電流電極は、送信された電磁波が平面波として観測されるように測定点から充分遠隔地に設定することが望ましい。理論的には、送受信点距離が表皮深度の3倍以上必要とされており、これより近い場合、磁場の減衰率より大きいため見掛け抵抗が実際より大きく観測される。この現象はNear-Field（ニアフィールド）と呼ばれている。しかしこの現象は周辺地質、地下構造に起因する場合が多く、むやみに電流電極を広げることは最良の方法とは言えない。また、測定点が高密度岩体に覆われ、沢底にある場合見掛け抵抗に急激な変化が認められる。この現象は三次元効果と呼ばれ、高密度岩体による極端な磁場減衰に起因する。したがってこれらの現象を最小限にとどめるには計画段階において充分検討が必要である。

本調査の測点図をMAP-3に示す。

(ii) 測定

電位電極は電流電極に対し平行に設定した，その時の接地抵抗は 10 kΩm 以下になるようにした。

また，磁場は電流電極と直交する方向に設置したコイルにより測定され，デジタル・プロセッサに入力され計算される。計算結果はカセット・プリンターに出力される。

以下にその例を示す。

記号説明

ST	: 測点番号	*****017
FREQ	: 周波数番号	ST 0192 FREQ 4 HZ CSANT
GAINS	: レシーバ増幅率	GAINS 13 13 FILTER 00 STKS 0277
FILTER	: ノッチフィルター (00 = off)	A-SP050. COIL 1 GAIN01 CRNT 05.0
STAKS	: スタッキング回数	ME +.1171113E-4 PE +.7063354E-1
A-SP	: 電位電極間の距離 (m)	MH +.1074730E-4 PH -.4316460E+0
COIL	: コイルチャンネル	E +.2342221E-6 H +.2331752E-4
GAIN	: コイルの増幅率	RHO +.5045001E+1 PD +.5102001E+0
ME	: 電位電極間の電位 (Volts)	CK +.0040003E+05EH +.0000000E+0
PE	: 電界の位相 (rad)	*****018
MH	: コイルの起電力 (Volts)	ST 0192 FREQ 4 HZ CSANT
PH	: 磁界の位相 (rad)	GAINS 13 13 FILTER 00 STKS 0265
E	: 電界 (Volts/km)	A-SP050. COIL 1 GAIN01 CRNT 05.0
H	: 磁界 (millivolts/gamma)	ME +.1073335E-4 PE -.1149625E+0
RHO	: 見掛比抵抗 (Ωm)	MH +.1679700E-4 PH -.4240700E+0
PD	: 位相差 (PE-PH)	E +.2147667E-6 H +.2009170E-4
CK	: コイル定数	RHO +.5200935E+1 PD +.3001000E+0
		CK +.0040003E+05EH +.0000000E+0

印字記録例

(2) 使用機器

本調査は，Zonge Engineering & Research Organization, Inc. (U.S.A.) の測定機を用いて実施した。

各部の名称，使用台数及び主な規格を以下に示す。

送信部

- (a) エンジン・ジェネレーター (ZMG-20) ..... 1台  
出力 20KVA, 3200RPM, 400Hz, 三相
- (b) トランスミッター (GGT-25) ..... 1台  
出力最大 25Kw

電 流 0.2~20A

電 圧 最大1KV

周波数 DC~12KHz

(c) トランスミッターコントローラ (XMT-2) ..... 1台

制御周波数範囲 1/16~2,048Hz

#### 受信部

(a) データ・プロセッサ (GDP-12/2GB) ..... 2台

周波数 1/16~2,048Hz

A/D変換器 12ビット

コンピュータ内臓, フートROM内臓, 16KバイトRAM

50/60Hz ノッチフィルター

入力電圧 最小0.2 $\mu$ V/1024スタッキング

出 力 RS-232Cインターフェースにより測点, スタッキング回数,  
周波数, 電場, 磁場, 見掛比抵抗, 位相差, 他

サイズ 36.1 $\times$ 31.8 $\times$ 24.2(cm), 15kg

(b) カセット・プリンター (CAP-12) ..... 2台

カセットテープ (ミニカセット)

書込み, 読取り速度 2,400 ボー

巻き戻し時間 45秒

8,000Kビット 100~400データブロック記録可能

プリンター

放電プリンター

印刷速度 530~170mm/sec

入 力 RC-232Cインターフェース

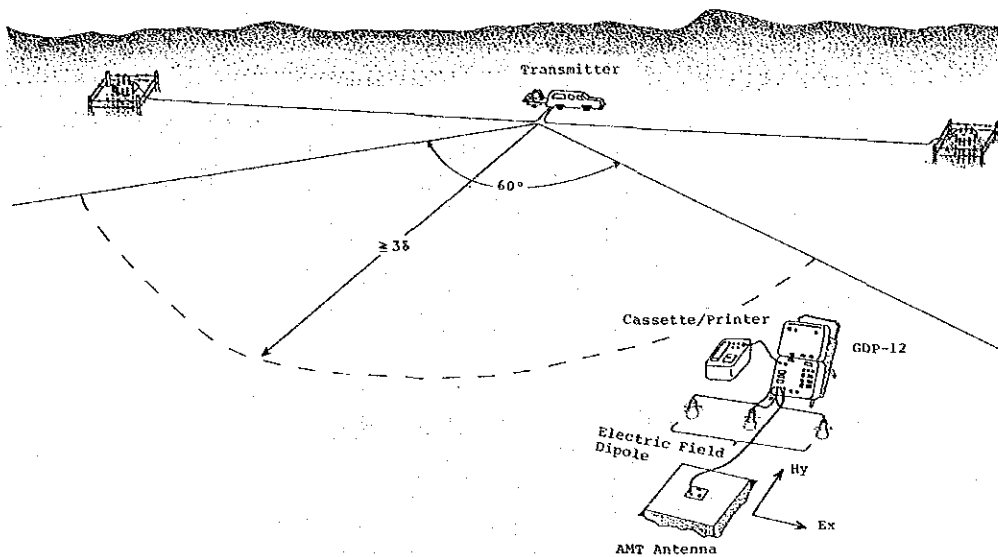
サイズ 29.8 $\times$ 23.9 $\times$ 20.5(m), 9.8kg

(c) アンテナ・コイル

2軸フェライト・コイル

コイル感度 0.2mv/Hz

サイズ 40.4 $\times$ 40.7 $\times$ 8.9(cm), 9.8kg



第9図 CSAMT法測定概念図

### 2-1-2 解析方法

現地調査において使用各周波数で得られた見掛け比抵抗値は、地下の真の比抵抗値を示すものではなく、その深度までの比抵抗情報をすべて含んでいると考えるので、地下構造を水平多層構造と仮定して一次元解析を行った。

まず、水平多層構造の層数及び層厚・比抵抗値をパラメーターとし、試行錯誤的に実測値に近い計算結果をもたらすモデル構造を求める。次に求められた層厚・比抵抗値を初期値として最小二乗法による逆解析を繰り返し、最適値を求める。

水平  $n$  層構造の波動インピーダンス  $Z$  は、次式により求められる。

$$Z = \frac{i\omega\mu}{r_1} \coth \left[ r_1 h_1 + \coth^{-1} \left\{ \frac{r_1}{r_2} \coth \left( r_2 h_2 + \coth^{-1} \frac{r_2}{r_3} \right) \right\} \right]$$

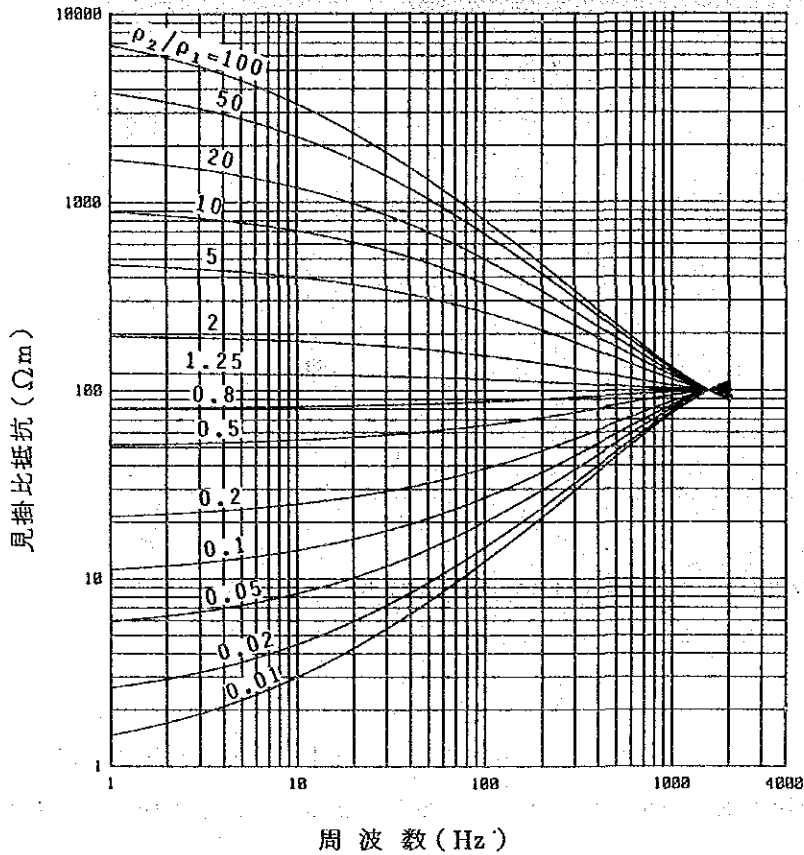
これより、見掛け比抵抗  $\rho_a$  は、

$$\rho_a = -i \frac{Z}{\omega\mu} \text{で求められる。}$$

ここに、 $\omega$  : 角速度 ( $2\pi f$ )

本調査地区で得られた比抵抗値の多くは垂直方向への変化に乏しい曲線を示し、一層構造として処理できるものであったが、実際の解析にあたっては、Pinosuk層とその下位の岩層と層分離を行う必要があったため、2048Hz ~ 128Hz の  $\Omega\text{m}$  ~ 数 +  $\Omega\text{m}$  の比抵抗変化に注目し層構造解析を行った。

二層構造モデル曲線



	比抵抗	厚さ
第1層	$\rho_1=100\Omega\text{m}$	100 m
第2層	$\rho_2$	$\infty$

2-1-3 調査結果

測定された10周波数の見掛比抵抗は、周波数ごと比抵抗値がマッピングされ各周波数の見掛比抵抗平面図が作成される。

本調査では作成された10種類の平面図から、2048Hz、1024Hz、512Hz、256Hz及び128Hzの5種類を選び解析した。

なお、本地区では高周波数域で得られた比抵抗分布が低周波数域でもほぼ同形態で観測され、平面的変化に乏しいため周波数ごとの解析は行なわなかった。

(1) 見掛比抵抗平面図 (第10～14図, MAP-4～13)

本調査地区の比抵抗分布は調査地区中央クダサン(Kundasang)周辺を除き比抵抗差の大きい複雑な分布を呈する。

(i) 100Ωm以上の比抵抗は、調査地区北、西及び東部に認められ、これらが調査地区中央に広く分布する100Ωm以下の比抵抗を取り巻き、調査地区縁辺部に“ $\sqcap$ ”字型に分布する。

これらの100Ωm以上の比抵抗帯は断層によりブロック化され、それぞれ独立した分布形態を呈する。比抵抗帯のブロック化はマムート鉱山周辺に顕著に認められ、複雑な地質構造を示唆している。



(ii) 調査地区北部および西部の  $100\Omega\text{m}$  以上の高比抵抗帯は、主にカンラン岩に起因すると思われる。一方、東部 (pit-site の南) の高比抵抗帯は、砂質及び泥質岩の影響を反映したものであると考えられ、その分布形態は地質と調和的である。

また、これらの高比抵抗帯は  $1024\text{Hz} \sim 64\text{Hz}$  まではほぼ同形態で認められ、深部はさらに高比抵抗である。一応の目安として、この高比抵抗帯の平均比抵抗値を  $300\Omega\text{m}$  と仮定した場合の表皮深度は、 $128\text{Hz}$  で  $770\text{m}$  となる。したがって、この高比抵抗帯は地表下  $800\text{m}$  以上の厚さを有し、深部ほど緻密な岩体であると推定される。

(iii) マムート鉱山周辺の比抵抗はコントラストの強い分布を示す。

$100\Omega\text{m}$  以下の比抵抗は Pit を横断し東西に分布する。それを挟在する鉱化に關係の深い  $100\Omega\text{m}$  以上の高比抵抗帯が南北に分布する。ほぼ Pit の縁辺部と考えられる測点 167 及び 60 の比抵抗は、 $1024\text{Hz}$  で  $150\Omega\text{m}$  以上として検出されたが、 $128\text{Hz}$  では  $100\Omega\text{m}$  以下の比抵抗へと変化している。この比抵抗は地表下約  $100 \sim 200\text{m}$  付近で Pit-site 西方の  $100\Omega\text{m}$  以下の比抵抗帯へ連続し、東西へ分布する比抵抗帯を構成する。さらにこの比抵抗帯は "a" 地区、Kundasang 一帯の比抵抗帯と会合し扇状に分布する大規模な比抵抗帯を形成する。

この大規模な  $100\Omega\text{m}$  以下の比抵抗帯には興味ある  $50\Omega\text{m}$  以下の比抵抗帯が 3 箇所に検出された。これら 3 箇所の低比抵抗帯を A-1、A-2 及び A-3 比抵抗帯と仮称する。

#### ○A-1 比抵抗帯

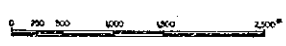
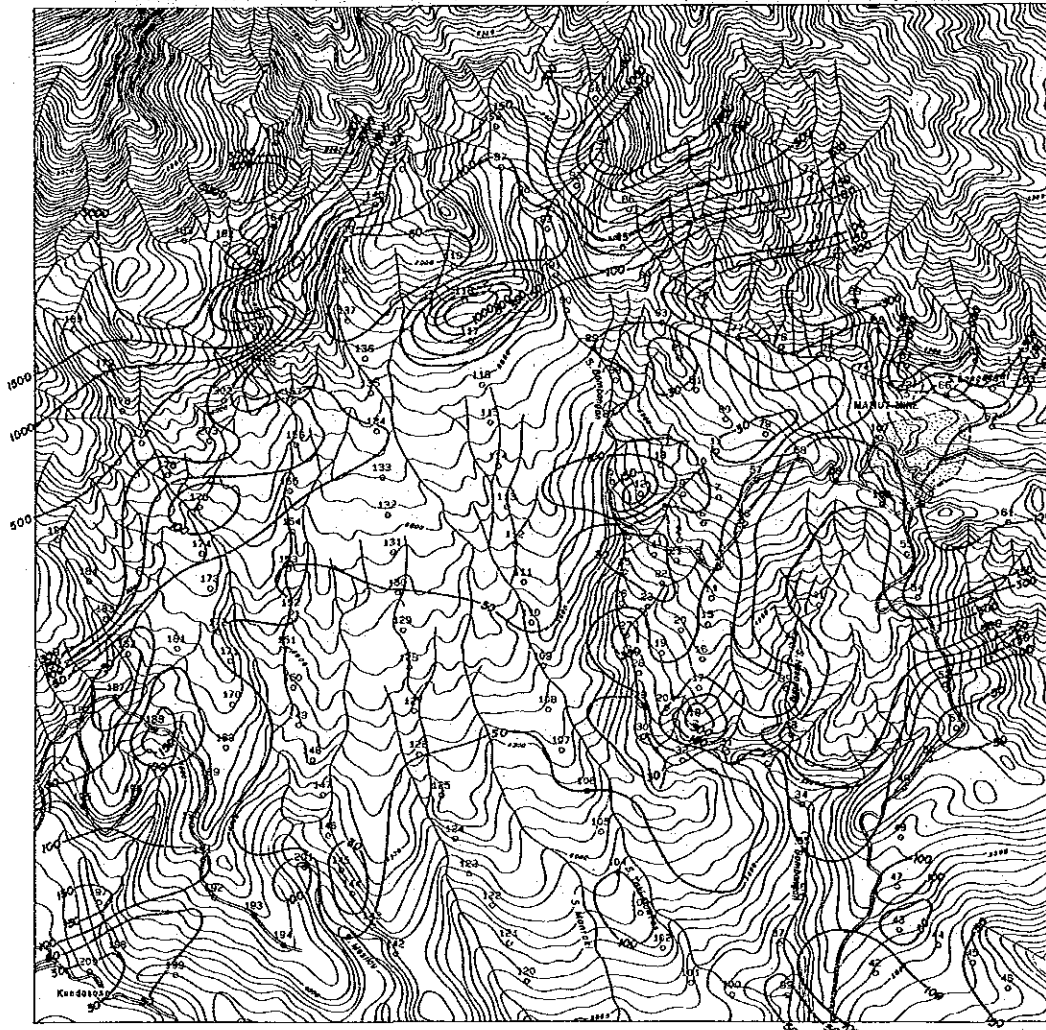
この比抵抗帯は Pit-site の西に検出された楕円形を呈するものであり、空中磁気探査の結果検出された Pit-site から西伸する磁気異常に対応する。この比抵抗帯には  $40 \sim 50\Omega\text{m}$  の比抵抗が優勢に分布するが、一部断層破碎帯の影響を反映していると考えられる  $30\Omega\text{m}$  以下の比抵抗を含有する。また、この比抵抗帯は  $512\text{Hz}$  以下の周波数域に変化が認められ、深部で高くなる傾向を示す。この変化は地表付近に分布する Pinosuk 層とその下位に分布する地層との比抵抗差であると考えられる。Pinosuk 層は  $50\text{m}$  程度と推定されることから、地表下約  $50\text{m}$  以深に分布する  $40 \sim 50\Omega\text{m}$  の比抵抗帯は鉱化・変質作用に起因した比抵抗帯である可能性が強い。その深部はさらに低い比抵抗が検出されていることから、強い粘土化が進んでいると考えられる。

#### ○A-2 比抵抗帯



"a" 地区内に検出されたこの比抵抗帯は、A-1 比抵抗帯と連続する傾向を呈しながら、西伸し調査地区中央に東西に分布するものである。

"a" 地区一帯は、既に IP 法電気探査が実施されており、その結果、IP 異常はまったく認められていないため、少なくとも地表下  $200\text{m}$  深までは鉱化帯は存在しないと考えられる。

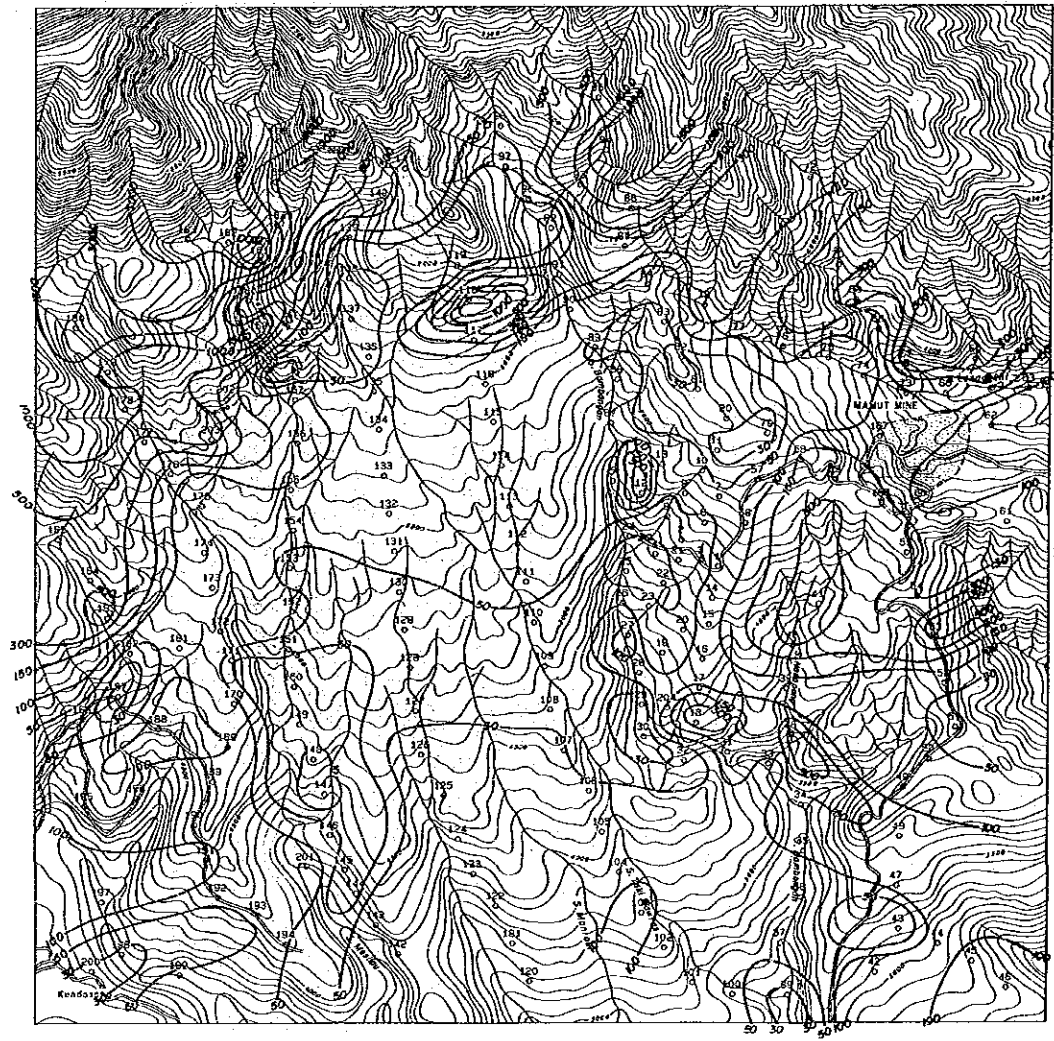
また、"a" 地区内には多くの断層構造を推定出来る比抵抗分布が得られた。Bamban-



LEGEND

-  Station and No.
-  Resistivity Contour

第10图 A地区見掛比抵抗平面图(2048Hz)

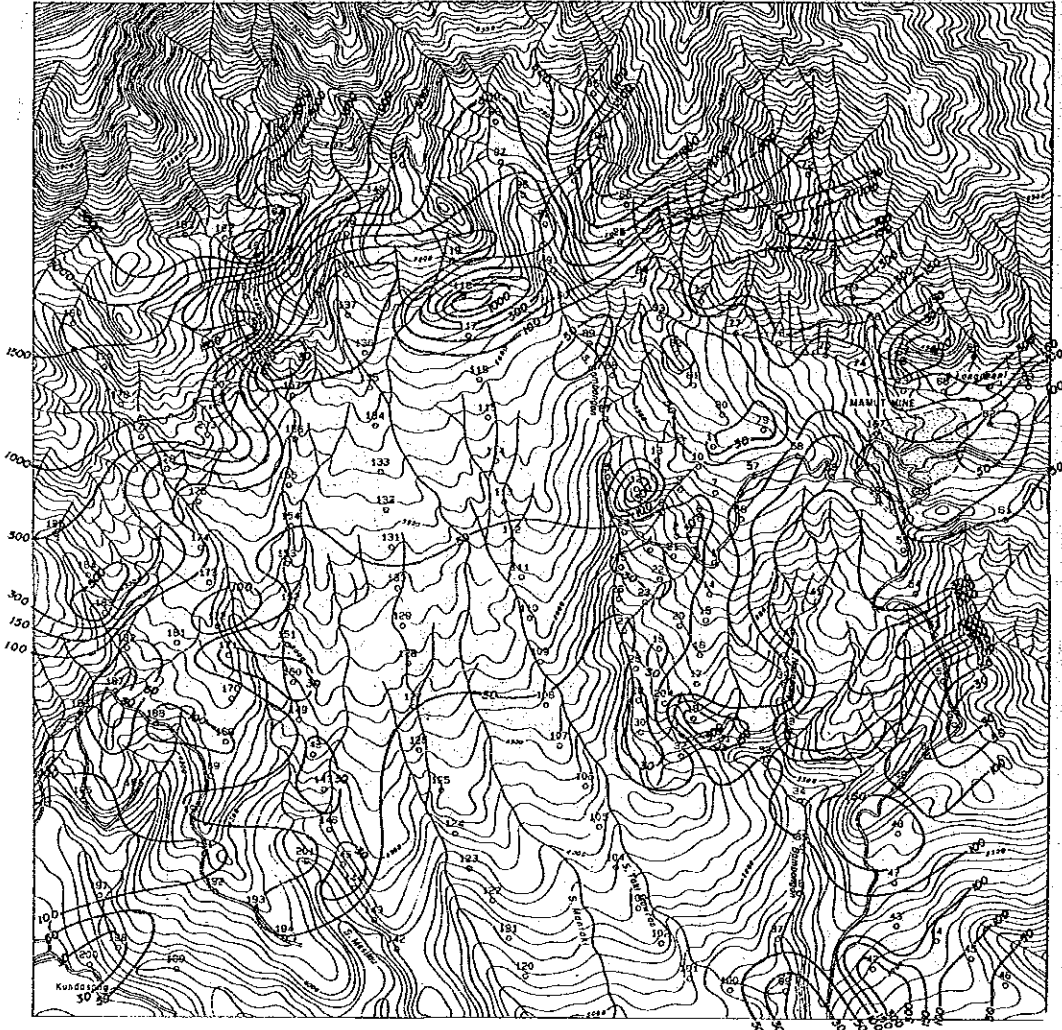


LEGEND

100  
○ Station and No.

 Resistivity Contour

第 1 1 图 A 地区見掛比抵抗平面图 (1024Hz)

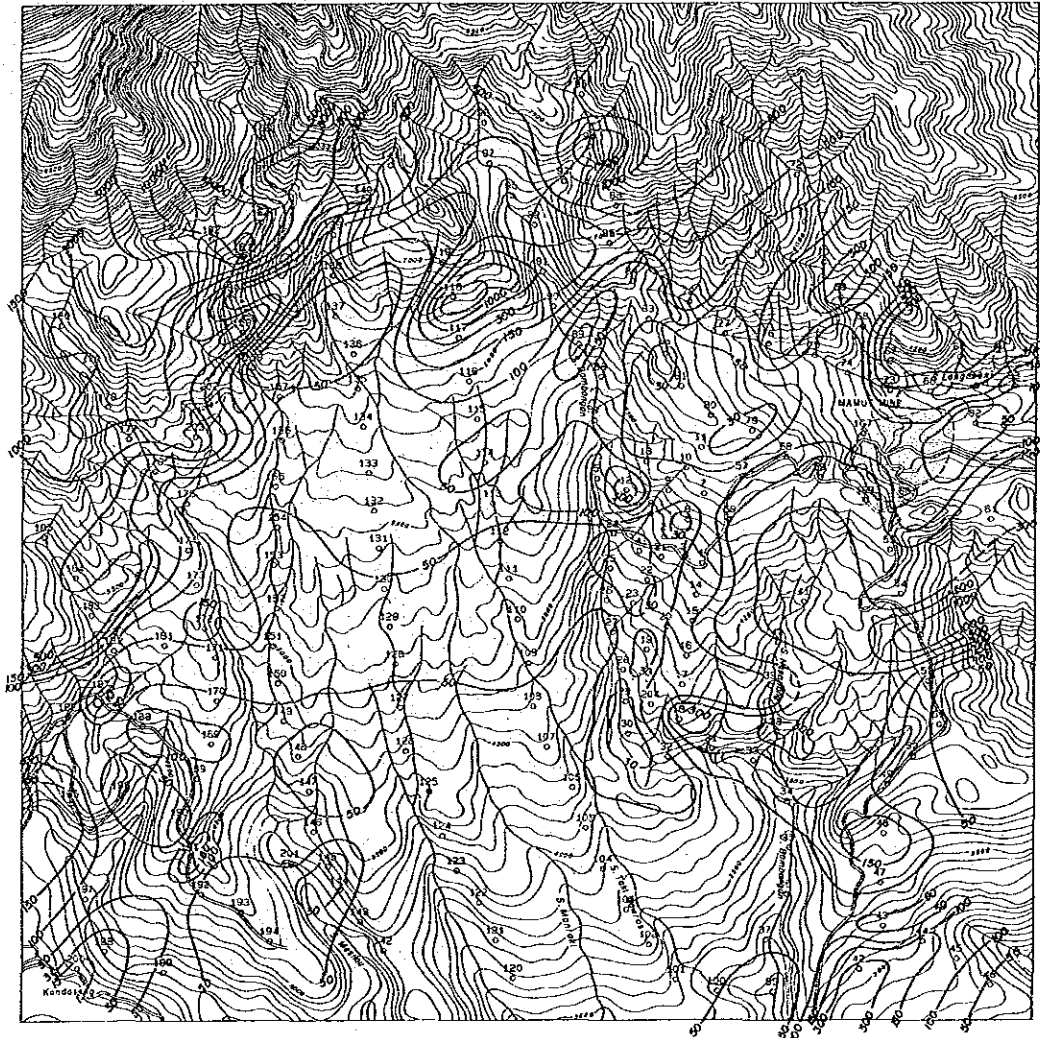


LEGEND

100  
○ Station and No.

 Resistivity Contour

第 1 2 图 A 地区見掛比抵抗平面图 (512 Hz)

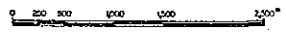
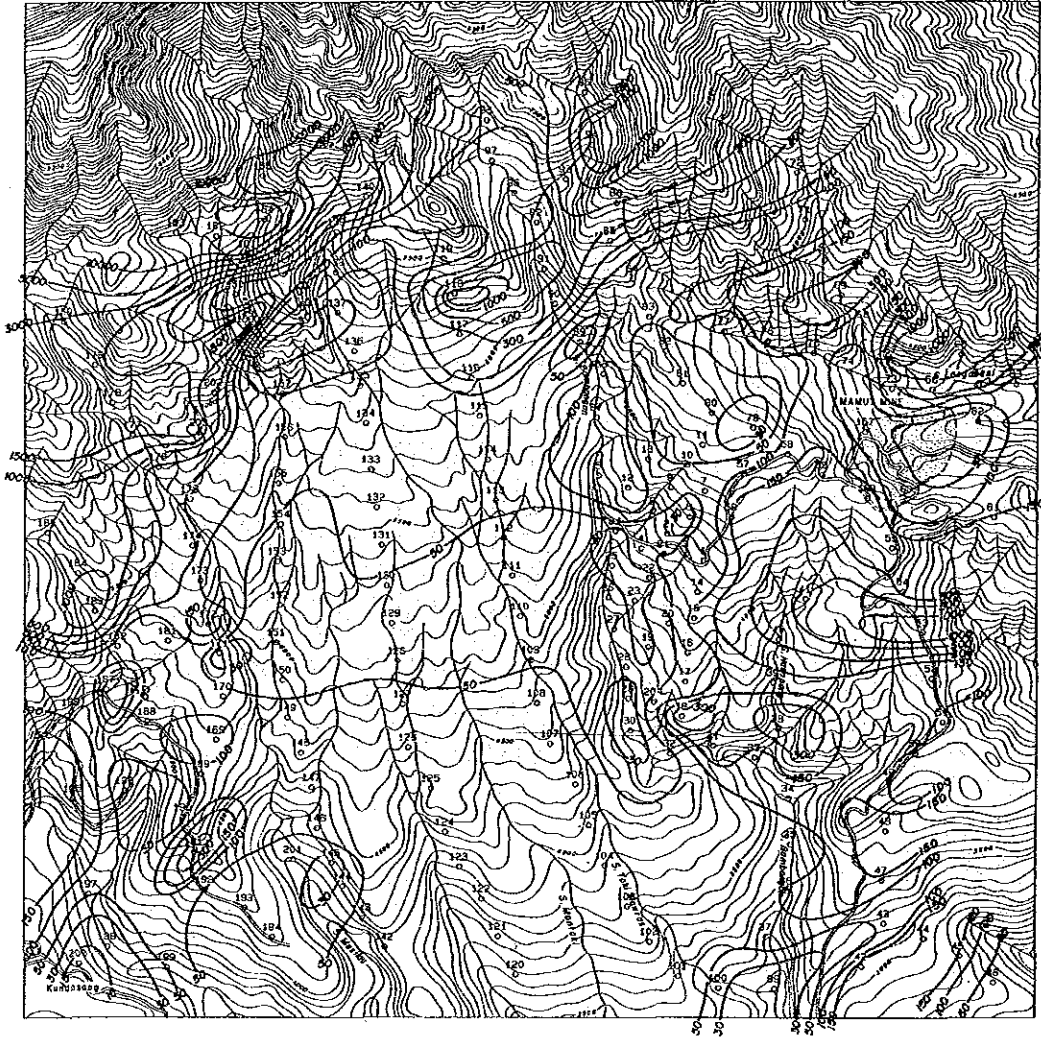


LEGEND

100  
○ Station and No.


 Resistivity Contour

第 1 3 图 A 地区見掛比抵抗平面图 (256 Hz)



LEGEND

100  
○ Station and No.

 Resistivity Contour

第 1 4 図 A 地区見掛比抵抗平面図 (128Hz)

gan 川沿いの大規模な断層とそれに派生する小規模断層が推定される。したがって、この比抵抗帯は断層沿いに発達した破砕帯を充填する水あるいは粘土鉱物質に起因していると考えられる。

#### ○A-3 比抵抗帯

この比抵抗帯は、調査地区北西端にややNE-SWの方向性を持って分布し、高比抵抗帯との接触部に検出されている。したがって、この比抵抗帯はA-2比抵抗帯と同様、断層破砕帯に起因する比抵抗帯と考えられるが、周辺の比抵抗構造から推定すると、高比抵抗帯内の低比抵抗と考えられ、A-1比抵抗帯と同様、鉱化に伴う粘土化変質に起因する比抵抗帯である可能性が高い。

(4) Bambang 川の西に広範囲に分布する50~100Ωmの比抵抗帯は“a”地区から西伸する50Ωm以下の低比抵抗帯により2分割され、Kundasang 一帯に分布する。

この地域は比抵抗分布が単調であるが、二層構造が推定できる2種類の比抵抗曲線認められる。

その1つは、第1層目の比抵抗が50~70Ωm、層厚100m程度、第2層目の比抵抗は第1層より高い70~80Ωmと推定できるものであり、他は、100~200m深で比抵抗が相対的に高いものであり、Bambang 川とNasapang 川との合流点付近に認められる。前者は測点番号149、128及び109の北部に認められる。

したがって、Pinosuk 層の比抵抗を50~70Ωmと仮定すると、その厚さは100~150mと考えられ、調査地区南部ほど徐々に厚くなっていると推定される。

(5) 調査地区南西部には100Ωm以上の比抵抗帯が散在している。この地域は100Ωm以上の比抵抗をもたらす地層が一様に分布していると推定されるが、この地層(岩体)は断層により分割されているため、100Ωm以上の局部的比抵抗分布を呈していると考えられる。

#### (iv) 見掛比抵抗断面図(第15~18図)

見掛比抵抗断面は、各測点で得られた見掛比抵抗を断面上に表現したものである。本調査地区では、平面図より抽出された興味ある比抵抗帯を切る4断面を選出した。

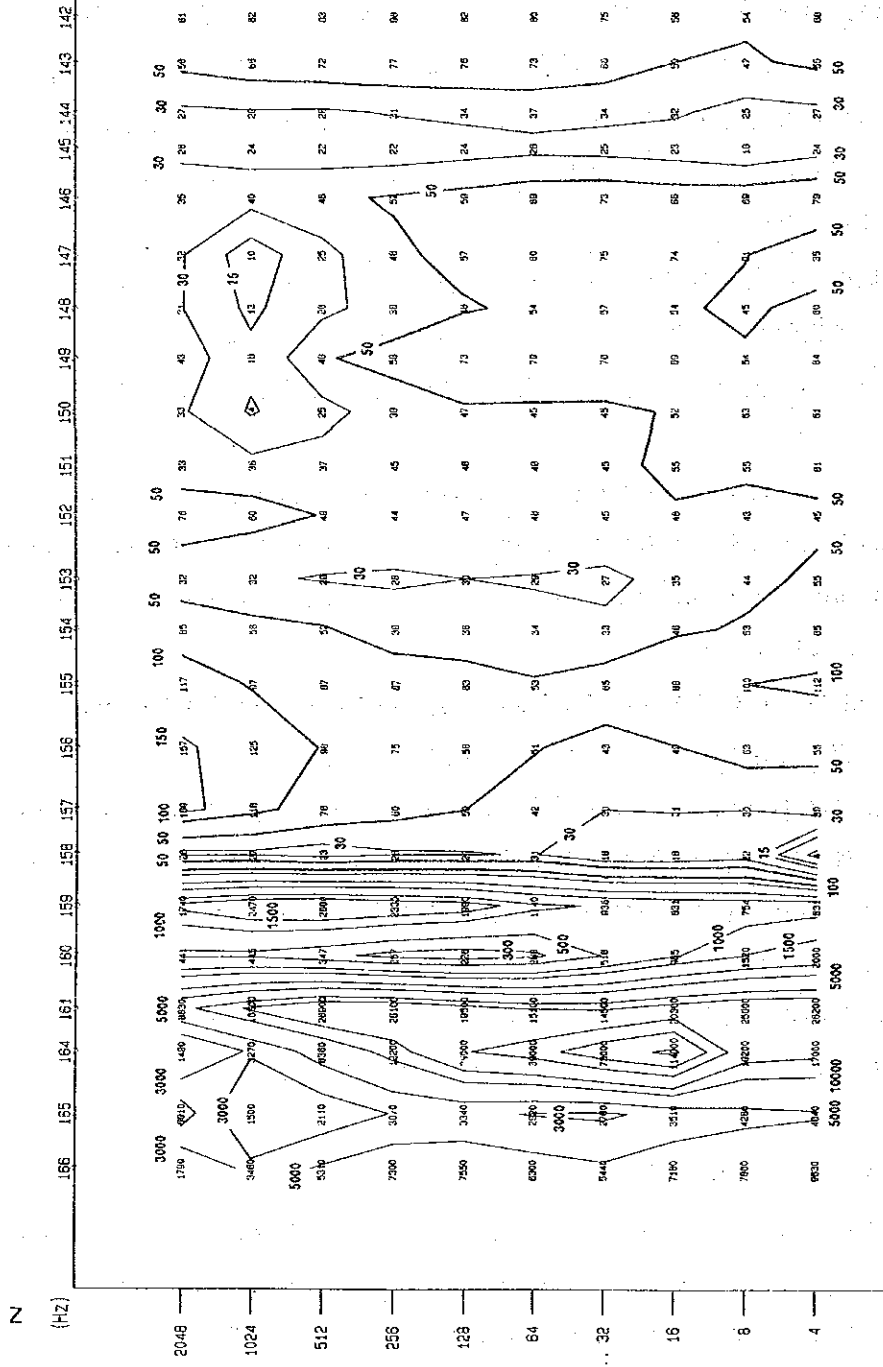
#### ○A断面

この断面は、A-3低比抵抗帯を南北に縦断するN-3測線である。

測点番号158付近には比抵抗境界が認められ、断層の存在が推定される。測点158以北には高比抵抗、以南には低比抵抗が広範囲に分布する。高比抵抗はカンラン岩に対応し、比抵抗が深部で高いため、このカンラン岩は深部ほど緻密であると考えられる。

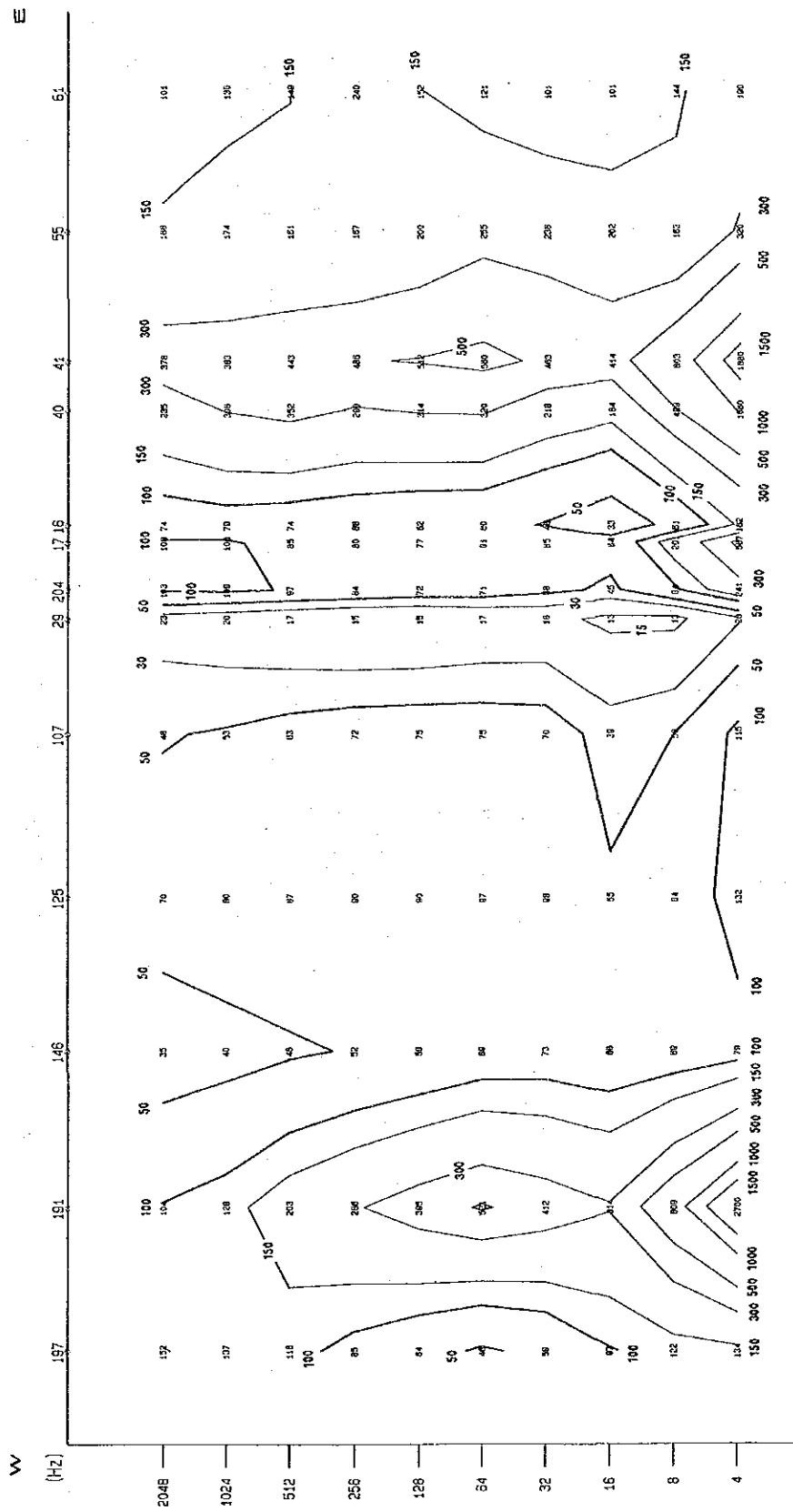
測点157以南は2層構造が推定される。測点151以南では地表付近の比抵抗が低く、その深部は高い。地表付近の低比抵抗は、幅約1kmのプール状の帯水層が局部的に存在し、その影響を反映したと考えられる。測点158~154付近は地表が高く、深部が低いもので

S



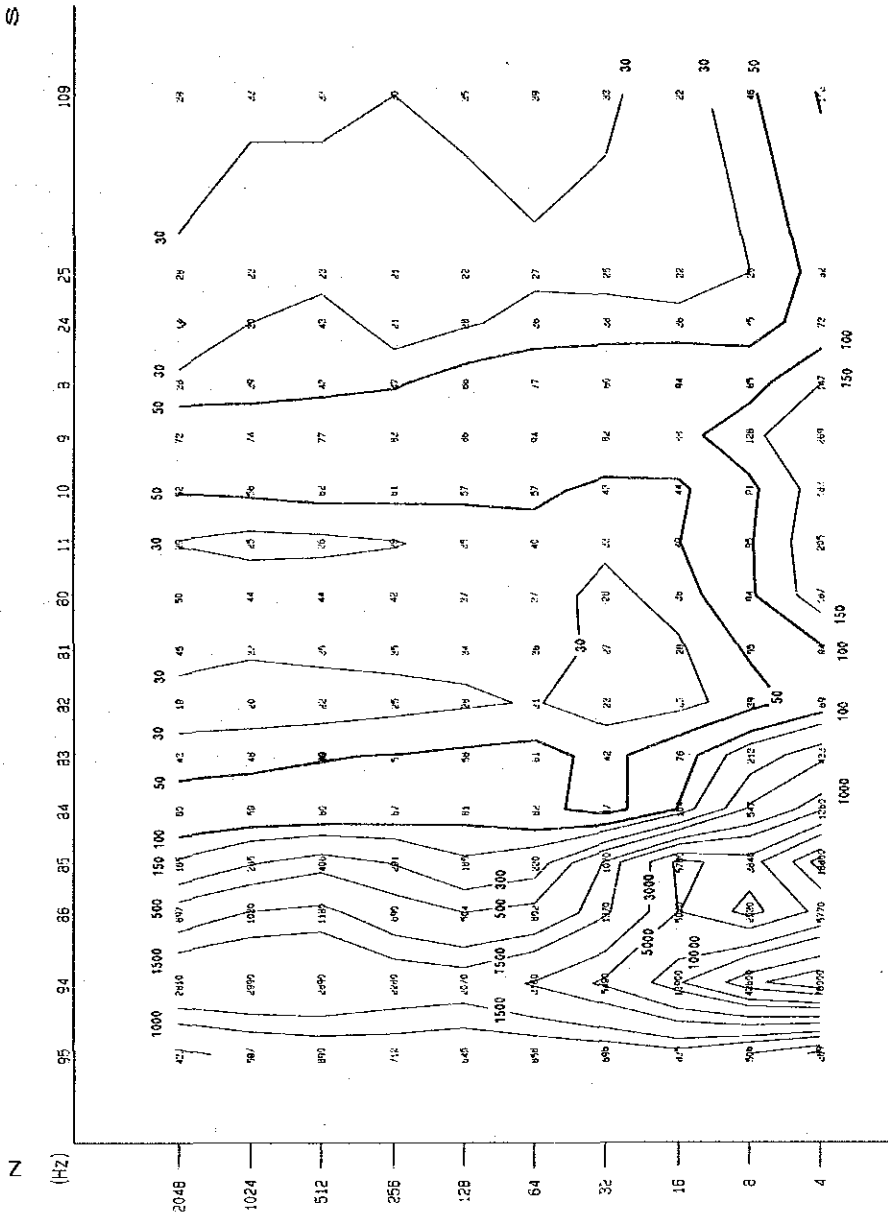
第 15 图 A 地区見掛比抵抗断面图 (A 断面)





第 16 图 A 地区見掛比抵抗断面図 (B 断面)





第 18 图 A 地区見掛比抵抗断面図 (D 断面)

あり、測点151以南の第2層目の隆起に起因すると考えられる。断層は測点160, 158及び145付近に推定される。その他、深部に小規模断層が幾つか認められるが、本調査目的には関係がうすいと思われる。以後の断面においても同様である。

#### ○B断面

この断面は、クンダサン(Kundasang) - "a"地区南端 - Pit-siteの南を通るNW-SE断面である。

高比抵抗は100Ωm以下の比抵抗を挟み測線の両側(東西)に認められる。測点191 - 146以西の高比抵抗は2層構造を呈しており、1層目は地表浅部に分布するTrusmadi累層、2層目はTrusmadi累層下部にダイク状に分布するカンラン岩にそれぞれ対応し、測点40以東の高比抵抗は、厚いち密な砂岩および泥質岩に起因すると考えられる。また、測点146~107に認められる50Ωm~100Ωmの比抵抗は、厚く分布するCrocker累層とその上位のPinosuk層を反映していると推定される。

#### ○C断面

この断面は、"a"地区を縦断するBambangan川沿いの断面であり、複雑な地質構造を反映している。測点96~87間の16Hz以下の周波数域には極端な比抵抗変化が認められる。高比抵抗は測線全体にわたり検出され、断層によりブロック化された形態を呈する。測線北部の高比抵抗はカンラン岩に対応し、南部は泥岩等の高比抵抗岩体分布域に対応する。また、測点96~5付近の地表部にはPinosuk層に対応すると考えられる低比抵抗層が分布している。

#### ○D断面

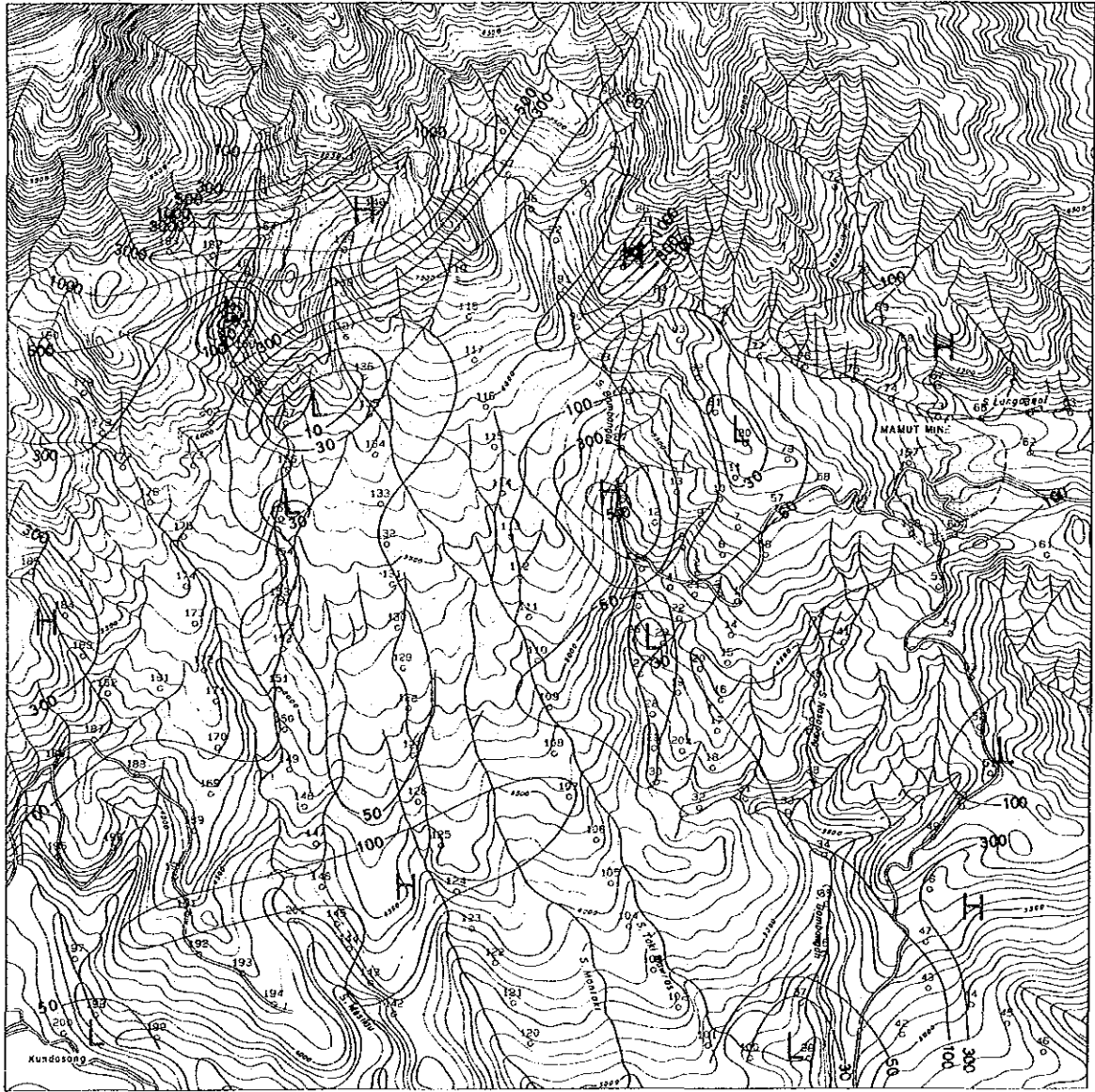
この断面は、A-1低比抵抗帯を縦断する断面である。

測点85以北にはカンラン岩に起因する高比抵抗が分布している。以南には、地質図ではTrusmadi累層下部層が分布する地域であり、緻密な砂岩、泥岩の分布が予想されるが、50Ωm前後の比抵抗が優勢に分布する。この50Ωm前後の比抵抗は粘土化変質、あるいは鉍化変質を受けたTrusmadi累層下部に起因すると判断される。また、50Ωm前後の比抵抗帯には30Ωm以下の比抵抗が局部的に認められる。この30Ωm以下の比抵抗のうち、測点25~25のものは断層、測点82~11のものは小規模断層あるいは粘土化変質帯に起因すると考えられる。

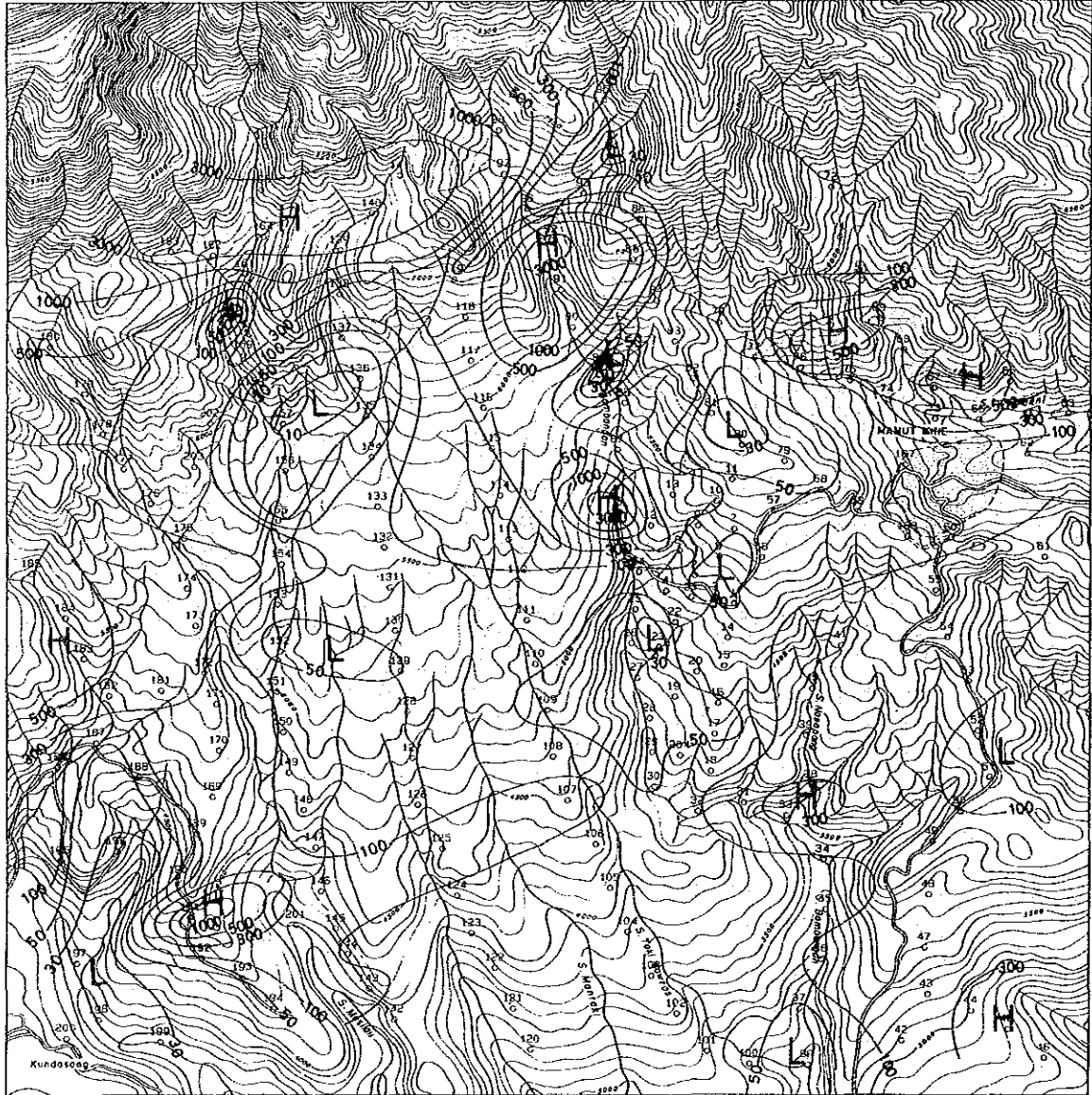
この地区はPinosuk層の分布する地域ではあるが、2048Hz以下の比抵抗には有意差が認められないため、このPinosuk層は薄層か風化変質の強い層であると推定される。

#### (3) 比抵抗構造平面図(第19~21図, MAP. 14~16)

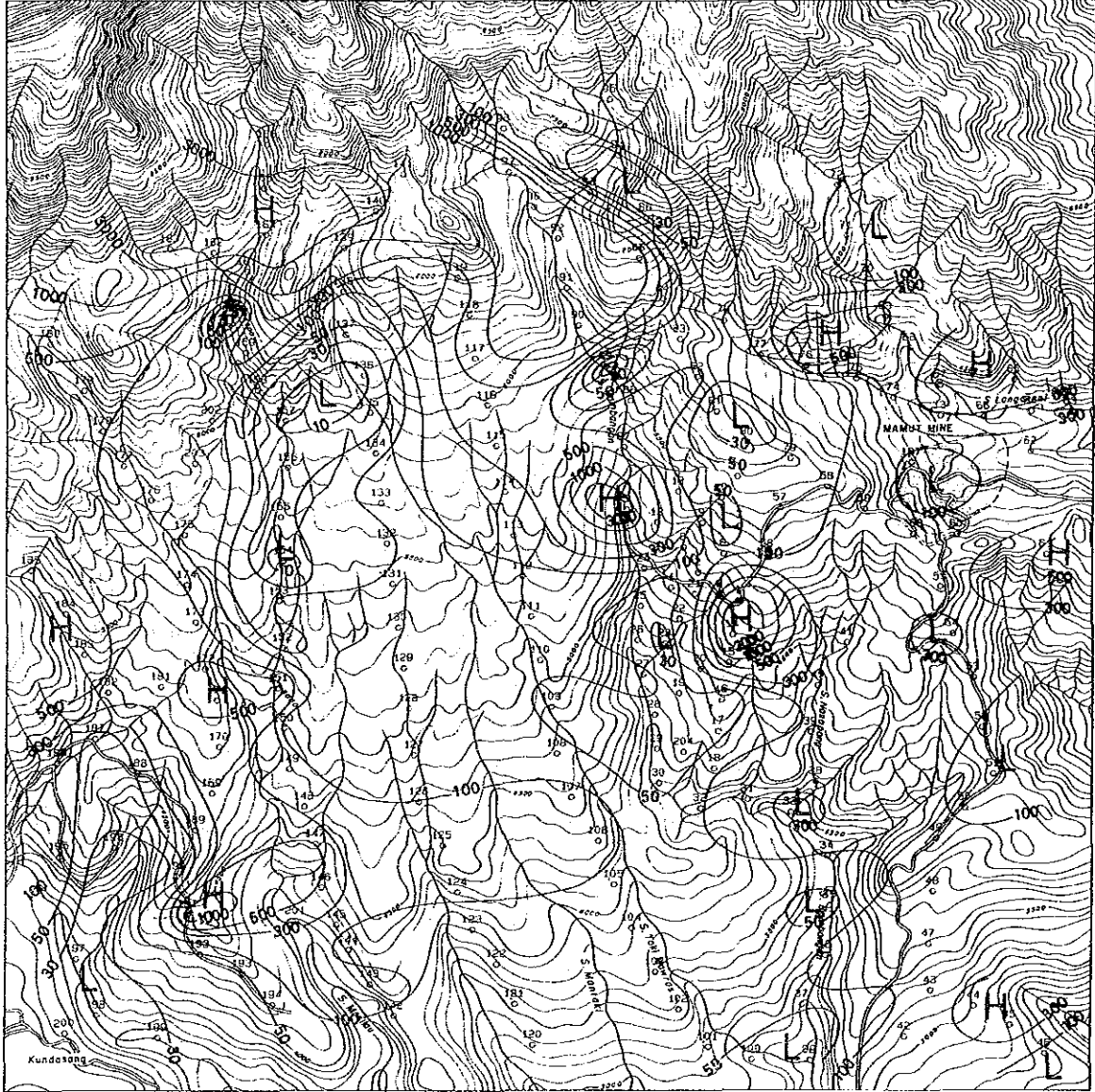
各測点での1次元逆解析結果と、2次元解析結果から、地表下50m, 150m及び200m深での比抵抗を抽出し、比抵抗構造平面図を作成した。



第 19 图 A 地区比抵抗構造平面图 (50m)



第20图 A地区比抵抗構造平面图(150m)



第 2 1 图 A 地区比抵抗构造平面图 (200m)

(i) 100 $\Omega$ m以上の高比抵抗は、調査地区北西部、北西及び東部に広く分布しており、深度が大きくなるにつれてその分布範囲は広がっている。また、北西部及び西部の高比抵抗帯は深くなるに従い、比抵抗が増加し、深部程ち密であると考えられる。

北西部及び西部の高比抵抗帯はカンラン岩に、東部のものは砂質及び泥質岩に対応すると考えられる。

(ii) (i)の高比抵抗帯及びこれらに囲まれた100 $\Omega$ m以下の比抵抗帯は深部程、ブロック化が著しく、多数の断層構造が存在が推定される。

(iii) 見掛比抵抗分布図で抽出した3比抵抗帯の分布は以下の通りである。

#### ○A-1比抵抗帯

浅所では南北に伸びた広い分布を示しているが、深くなるに従い、分布範囲は狭まくなり、200m深では測点81周辺のみが30 $\Omega$ m以下の比抵抗を示している。A-1比抵抗帯は浅所ではPinosuk層に対応し、深部では鉍化変質作用または粘土化に起因している可能性が考えられる。

この比抵抗帯は南西部でA-2比抵抗帯に接続している。

#### ○A-2比抵抗帯

いずれの深度でも、この比抵抗帯は東、西2個の独立した比抵抗帯として表現されている。東側の比抵抗帯はA-1比抵抗帯と連続する傾向を示し、一方、西側の比抵抗帯は後述のA-3比抵抗帯と連続する傾向がみられる。

#### ○A-3比抵抗帯

いずれの深度でも10 $\Omega$ m以下の低比抵抗が分布しており、深くなるに従って30 $\Omega$ m以下の比抵抗域が広がり、A-2比抵抗帯の西側と連続している。NE-SW系断層及びこれに斜交する断層群に伴う低比抵抗の可能性の他に、鉍化・粘土化変質に起因する低比抵抗である可能性とも考えられる。

(iv) マムート鉍山周辺は、深度50m、150mでは50 $\Omega$ m以上100 $\Omega$ m未満の比抵抗を示し、南北両側は100 $\Omega$ m以上の高比抵抗を示している。

### (3) 比抵抗構造断面図(第22~25図)

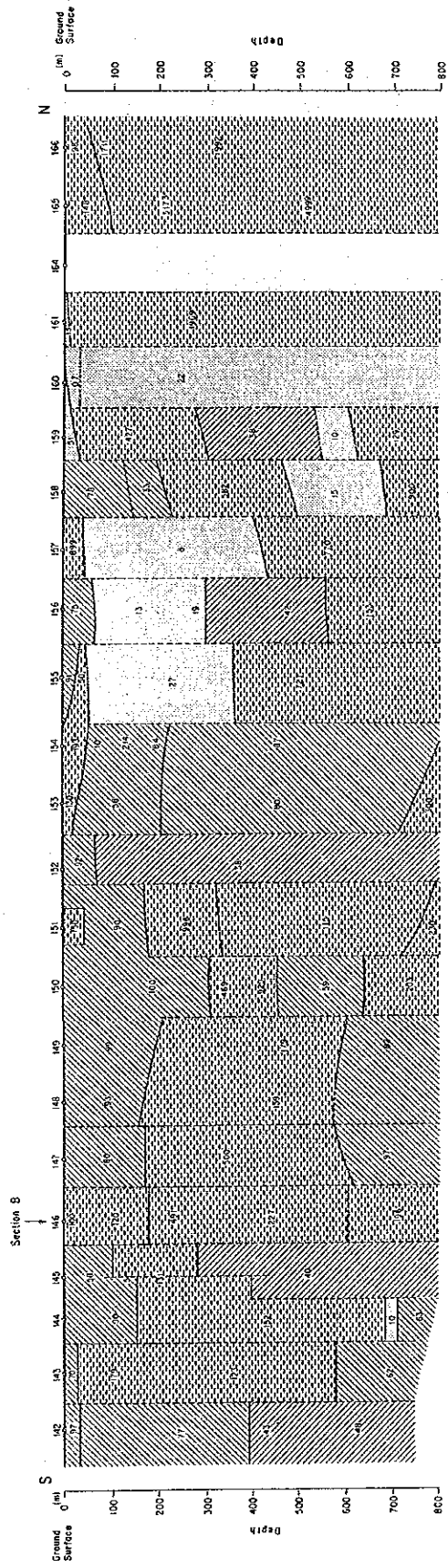
本断面は、一次多層構造解析を実施した結果にもとづき二次元モデルを作成し、計算した結果を表現したものである。

#### ○断面A

測線中央部(測点158~146)は4層構造、測点158付近に推定される断層より北方は高比抵抗岩体の存在を示唆する単層構造を呈する。

測点158~146間の第1層は50~60mの層厚を有する40 $\Omega$ m未満の比抵抗層である。第2層は第1層と比抵抗差のほとんど認められない50 $\Omega$ m程度の比抵抗層である。



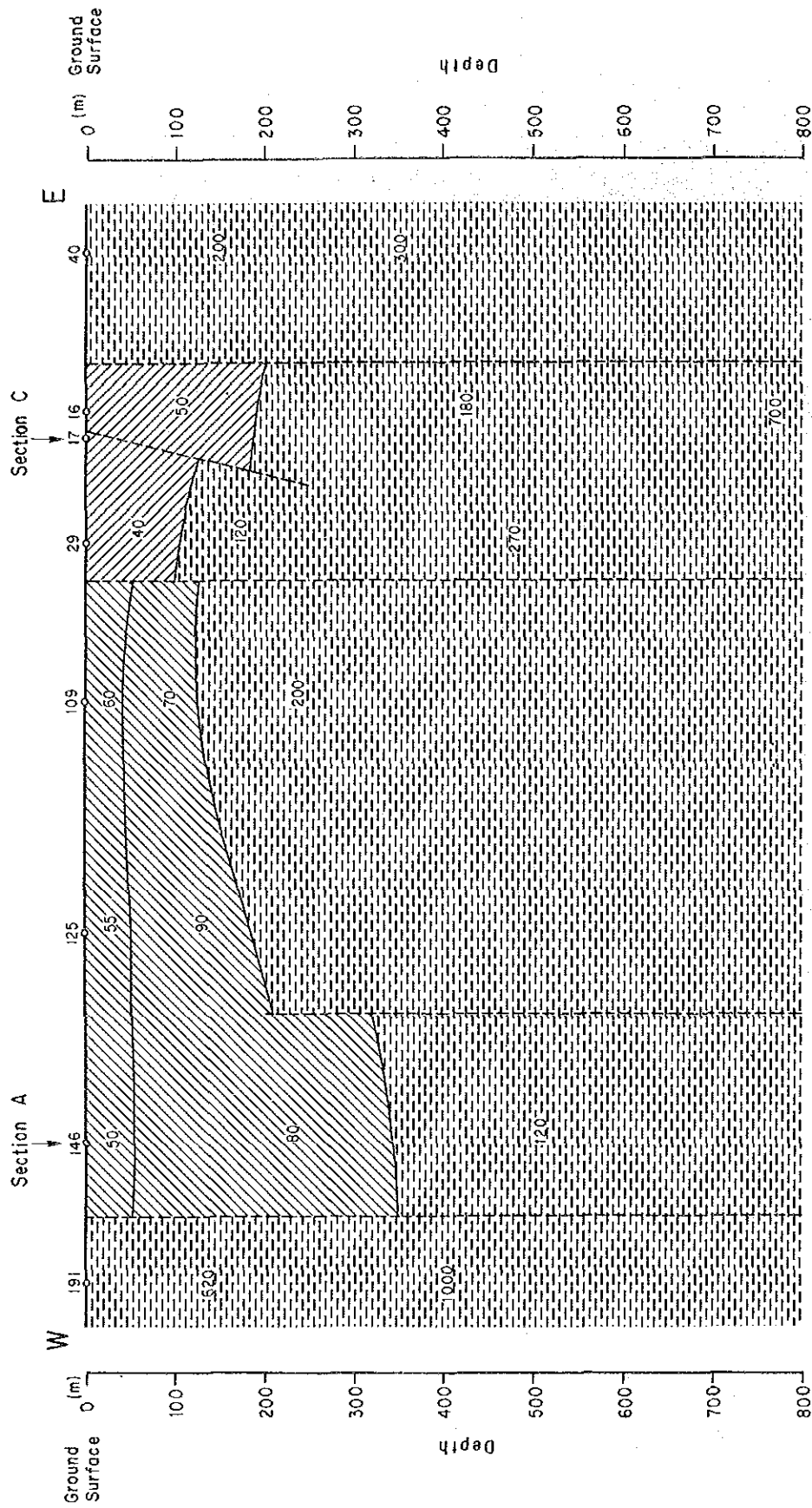


凡例

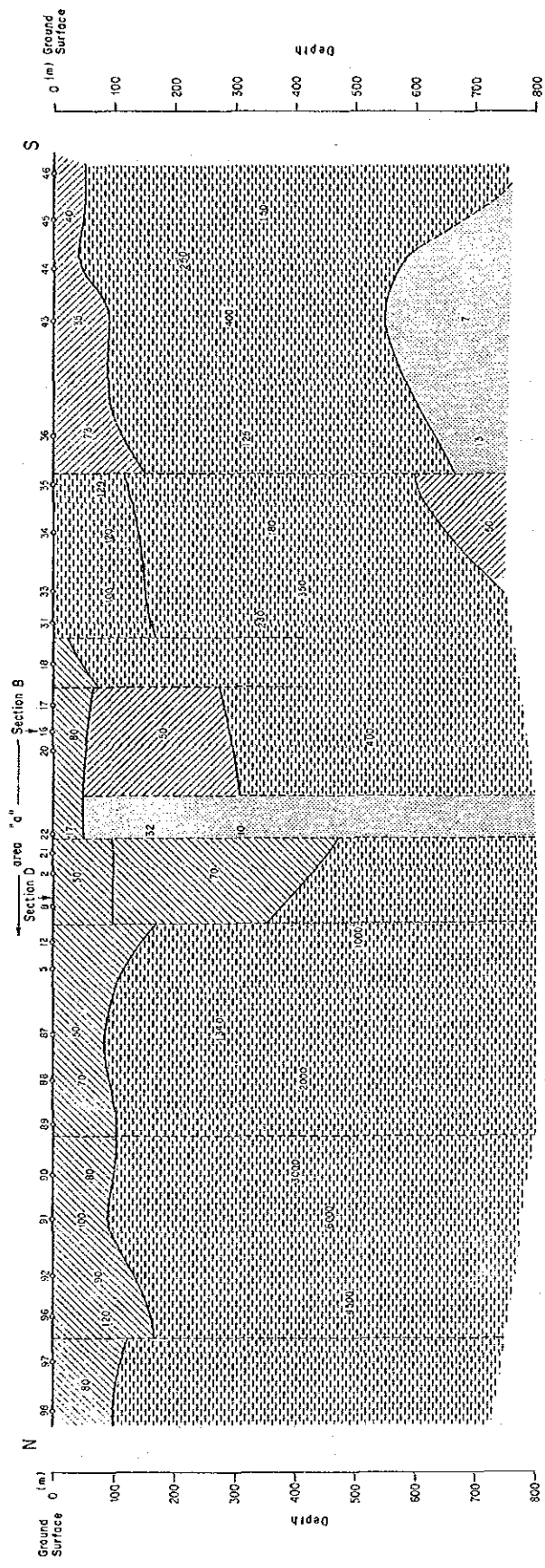
比抵抗( $\rho$ )

- $\rho < 30 \Omega m$
- $30 \Omega m \leq \rho < 50 \Omega m$
- $50 \Omega m \leq \rho < 100 \Omega m$
- $100 \Omega m \leq \rho$
- 推定比抵抗不連続線

第22图 A地区比抵抗構造断面图(A断面)

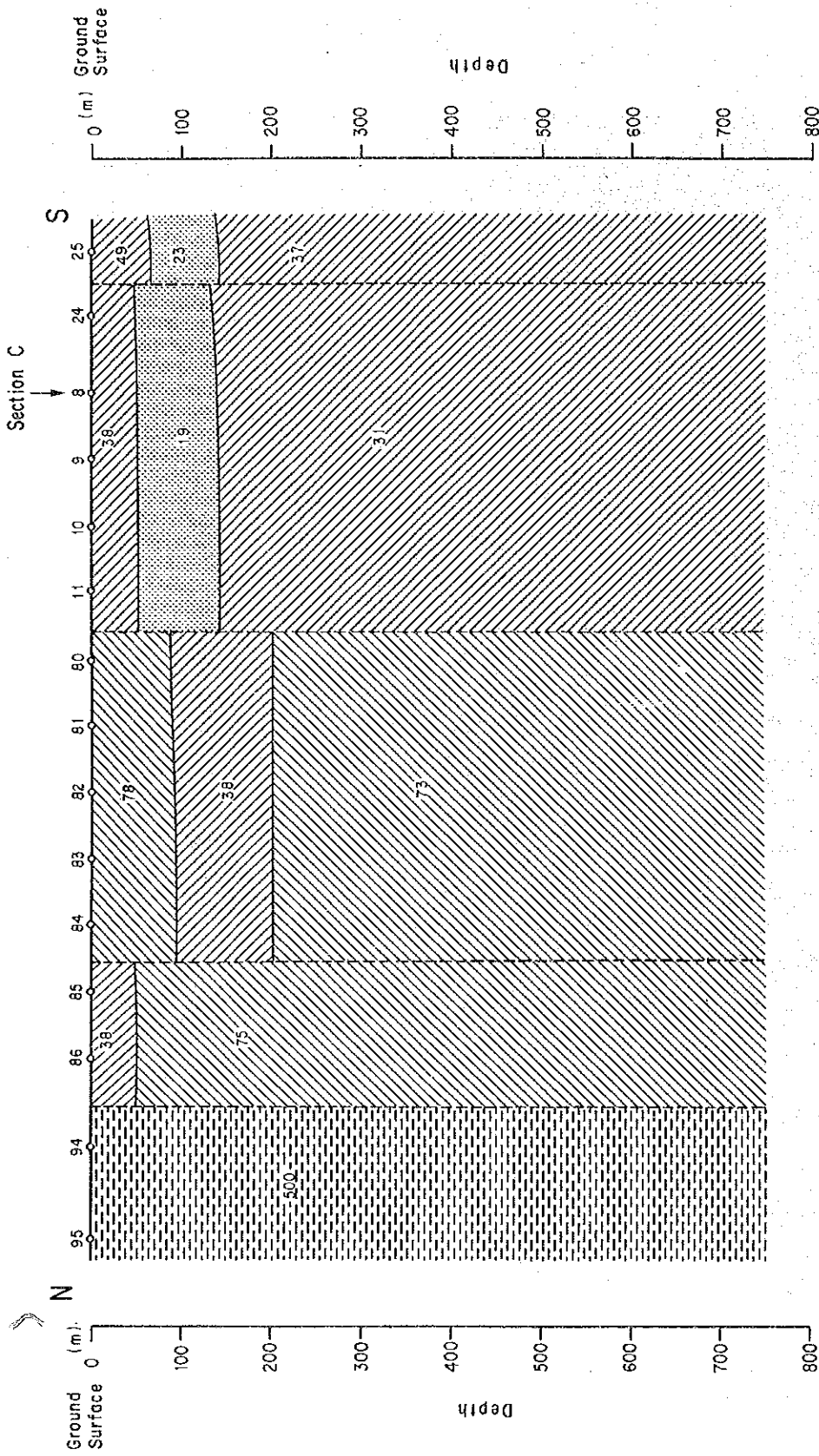


第 2 3 图 A 地区比抵抗構造断面图 (B 断面)



- 凡例
- 比抵抗 ( $\rho$ )
  - $\rho < 300\Omega m$
  - $300\Omega m \leq \rho < 500\Omega m$
  - $500\Omega m \leq \rho < 1000\Omega m$
  - $1000\Omega m \leq \rho$
  - 推定比抵抗不連続線

第 2 4 图 A 地区比抵抗構造断面图 (C 断面)



第 2 5 图 A 地区比抵抗構造断面图 (D 断面) 凡例

この比抵抗層は測点151付近に推定される断層付近での層厚は120m、測点155付近では150m程度であるが、測点155～158付近では30mと薄くなっている。

測点158～146間はPinosuk層の分布域であり、第1～2層はPinosuk層を反映した比抵抗層である可能性が強い。この間の第3層は測点153～146間で最も厚く、層厚650m程度の70 $\Omega$ m以上の比抵抗層である。測点156～154間の深部にはダイク状の高比抵抗岩体の存在を示唆する100 $\Omega$ m以上の比抵抗層があり、この間の第3層は100m程度と薄くなっている。この第3層はPinosuk層下位に分布する砂岩を主としたCrocker累層に対応する比抵抗層であると考えられる。

一方、測点158以北の高比抵抗層は地質図のカンラン岩等火成岩の分布と調和的であり、カンラン岩等火成岩が地表より厚く分布していると推察される。

#### ○断面B

測点146以西及び測点16以東（本測線両端）は単層構造を呈し、高比抵抗岩体が地表から存在することを示唆する構造を呈する。

測点146～16間には2～3層構造が認められる。この間の第1層は50 $\Omega$ m前後の比抵抗層であり、測点146～17間での層厚は50～70mであるが、測点16付近では250mである。第2層は70～90 $\Omega$ mの比抵抗で南ほど層厚を増す傾向がみられるが、測点29以北の第2層にはこの比抵抗層は認められず、測点146～109間の第3層と同比抵抗層である。

測点146～107間の第3層は地表下200m以深に厚く分布する100 $\Omega$ m以上の比抵抗層である。

測点146～16間にはPinosuk層が分布し、この間の第1～2層はPinosuk層を反映していると考えられる。100 $\Omega$ m以上の比抵抗層は断面Aと同様火成岩体に対応する比抵抗層であると推定される。

断層（構造線）は測点146、146～125間の深部、107～29間、17付近及び16～40間の5箇所推定される。

#### ○断面C

この断面は3層構造を示し、測点33～44の最下層が低比抵抗層であるドーム構造を呈する。

測点12以北の第1層の比抵抗は100 $\Omega$ m、層厚100m程度であるが、第2層は100 $\Omega$ m以上の高比抵抗層である。

測点12～20間の第1層は50 $\Omega$ m未満の比抵抗層が認められ、第2層は測点12以北の第1層と同様の比抵抗層が認められる。この比抵抗層の比抵抗は50～100 $\Omega$ mであり、測点31以南では第1層に分布する。

測点12～16間を除く全地域の第2層は100 $\Omega$ m以上の比抵抗層である。この比抵抗層

はアダメロ岩及びカンラン岩等火成岩体に起因すると考えられる。Pinosuk層は測点89～5付近に認められる。この間の第1層はPinosuk層に起因すると考えられる、40～70Ωmの比抵抗層である。

測点12～16間の低比抵抗層はこの断面に平行に認められるBambangan断層及び小断層等断層破碎帯に起因すると考えられる。

本断面には数本の断層が推定され、その周辺は低比抵抗層を形成している。本断面に交差する断層は測点9, 12～8間, 16付近, 35付近および46の4箇所推定されるものが顕著である。

#### ○断面D

本断面は水平3層構造を呈し、測点86～109間は上下層が高く中間層が低い比抵抗構造を示す。測点11以南の第1層及び第3層は30～50Ωmの比抵抗層で測点84～80間の第2層と同比抵抗層である。測点84～80間には測点11以南に認められる第2層の30Ωm未満の比抵抗層は認められない。

測点86～85間の比抵抗層は第1層が30～50Ωm、第2層が70Ωm以上である。測点86～25間にはPinosuk層が分布する地域である。このPinosuk層は第1層の比抵抗層に対応すると考えられるが、測点84～80間の比抵抗層は両側の第1層の比抵抗層に比べ、比抵抗値が高く層厚もあるため、この間に分布するPinosuk層は薄層であると考えられる。

また、測点84～80間の第2層の比抵抗層はその値から判断してCrocker累層に対応すると考えられるが40Ωm未満への比抵抗変化は何に起因するのか不明である。

一方、測点94以北の高比抵抗層は地表より分布するカンラン岩等火成岩を反映した比抵抗層であると考えられる。

#### 2-1-4 考察

CSAMT法は、水平方向の比抵抗変化、即ち断層帯及び高比抵抗帯内に分布する小規模な脈状の低比抵抗を検出するには有効な手法であるが、垂直方向の比抵抗変化に有意差が認められない単調な地層における層分離には劣る。

本調査では、高比抵抗帯と低比抵抗帯との比抵抗差を明確に検出することが出来たが、地質的には同一地層を反映していると考えられても、検出される比抵抗は周辺の比抵抗及び地層の分布状況、あるいは地域性により異なる。このため、本調査地域のように100Ωm以下の比抵抗帯にはPinosuk層とCrocker累層が分布し、それらの層に比抵抗の有為差が認められない場合、地層の境界を明確に分離することは困難である。高比抵抗をもたらしたカンラン岩や泥岩、砂岩は緻密度により局部的に非常に高い値を示したり、断層破碎帯付近のフラチャーの発達度及び、その破碎帯を充填する地下水の存在により低比抵抗を示したり、変化に富んでいる。また、比抵抗コントラストの強い地域は複雑な地質構造を反映しており、鉍化変質帯あるいは鉍床賦存

の可能性の高い地域であると考えられる。鉾床・胚胎及び変質帯の可能性の高い地域としては、大局的には第8図に示した低比抵抗構造を呈する地域を抽出する必要がある。

マムート鉾山は比抵抗構造の複雑な地域に認められ、周辺の比抵抗分布から判断して高比抵抗岩体内の低比抵抗帯であると考えられる。鉾床自体の比抵抗は、強変質地帯で $50\sim 100\Omega\text{m}$ 、弱変質地帯は $100\sim 150\Omega\text{m}$ 程度と考えられ、母岩の比抵抗は $150\Omega\text{m}$ 以上と推定される。したがって、今回の調査結果では高比抵抗帯内の低比抵抗帯が有望であると推定され、マムート鉾山に類似する比抵抗帯は比抵抗構造から推察するとA-1、A-3比抵抗帯が考えられる。この意味では一応の成果はあったと考えられる。しかし、本調査の目的の一つでもあったA地区のPinosuk層の分布状態及びその層厚を検出するためには $100\Omega\text{m}$ 以下の比抵抗帯を解析しなければならず、また本手法は低周波数域ほど周辺比抵抗の影響を反映しやすく、本調査地区の $100\Omega\text{m}$ 以下の比抵抗のように検出された比抵抗に差が認められない場合、深部でどの程度周辺比抵抗の影響を反映しているか知る必要があったため、今回2次元解析を行った。その結果、Pinosuk層とCrocker累層との境界は、Crocker累層上部が変化に富むため、Pinosuk層の比抵抗と考えられる $50\sim 70\Omega\text{m}$ 程度に変化しているか、地質境界面には帯水層が想定されるため、明確に検出されなかったものと考えられる。調査地区南部では、Pinosuk層が所により $200\text{m}$ 以上の層厚を有る地域も存在する可能性もあるが、地域中央クンダサン周辺ではPinosuk層の平均層厚は $100\sim 150\text{m}$ 程度であると推定される。

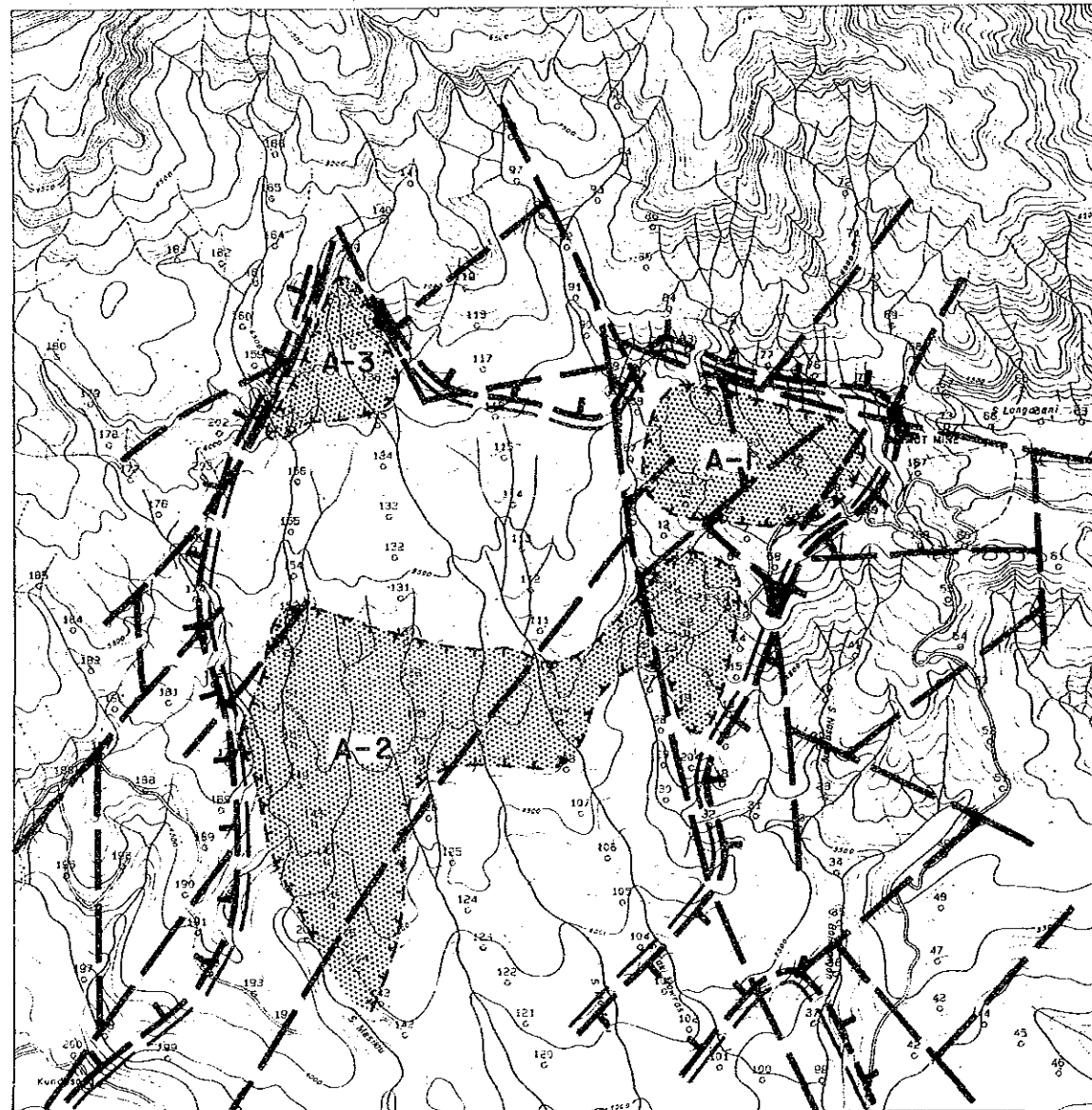
A-1比抵抗帯に分布するPinosuk層は、地表付近の情報を含む $2048\text{Hz}\sim 1024\text{Hz}$ でPinosuk層の比抵抗と推定される $50\sim 70\Omega\text{m}$ の比抵抗値は検出されなかった。これは、Pinosuk層が範層であるか、風化変質が進んでいるためか、または、この地域のPinosuk層が帯水率の高い層であるため、 $50\Omega\text{m}$ 程度の比抵抗帯として検出されたと考えられる。しかし、周辺の地質状況及び比抵抗構造から判断すると、Pinosuk層は平均 $50\text{m}$ 程度の層厚と推定される。

以上、考察した結果について記述したが、解明された各比抵抗帯のうち鉾化変質帯に起因すると考えられる比抵抗帯は、A-1、A-2比抵抗帯である。














LEGEND

-  Station and No.
-  Line of Discontinuity
-  High Resistivity Zone
-  Resistivity Zone
-  Resistivity Contour (Dip 150m)

第26図 A地区CSAMT法総合解析図





## 2-2 IP法及びSIP法

### 2-2-1 調査内容

#### (1) 調査目的

本調査は、CSAMT法により欽化変質による低比抵抗帯の可能性が高いと考えられるA-1比抵抗帯において、IP法、SIP法電気探査を実施することにより、欽化変質及び硫化物の有無を確認すること、また、低比抵抗帯の性質を説明することを目的として実施された。

#### (2) 調査方法

##### (i) IP, SIP法の概要

IP法、SIP法電気探査とは、電気伝導・イオン伝導により誘起された過渡現象（IP現象）を測定する方法である。

IP法には、IP現象の測定方式により“周波数領域法”と“時間領域法”とがある。本調査ではSIP法との関連をもたせるため、周波数領域法を用いた。測定時の使用周波数は、3Hz、0.375Hz及び0.03Hzである。

一方、SIP法は0.1Hz～100Hzまでの広帯域の周波数を用い、マグニチュード及び位相差等を測定することによりIP現象を生じさせる異常源の性質、形態及び地層や鉱床の周波数特性（スペクトル特性）を識別する方法である。

##### (ii) 測定及び電極配置

測線は、ポケットコンパス、エスロンテープを用いた開放トラバース測量を行い設定した。

測点は、50m間隔で設定した。また、SIP法測定用に受信線についても同様の方法で、本線より25～30mの間隔をおいて設定した。測線位置図を第27図とMAP-19に示す。

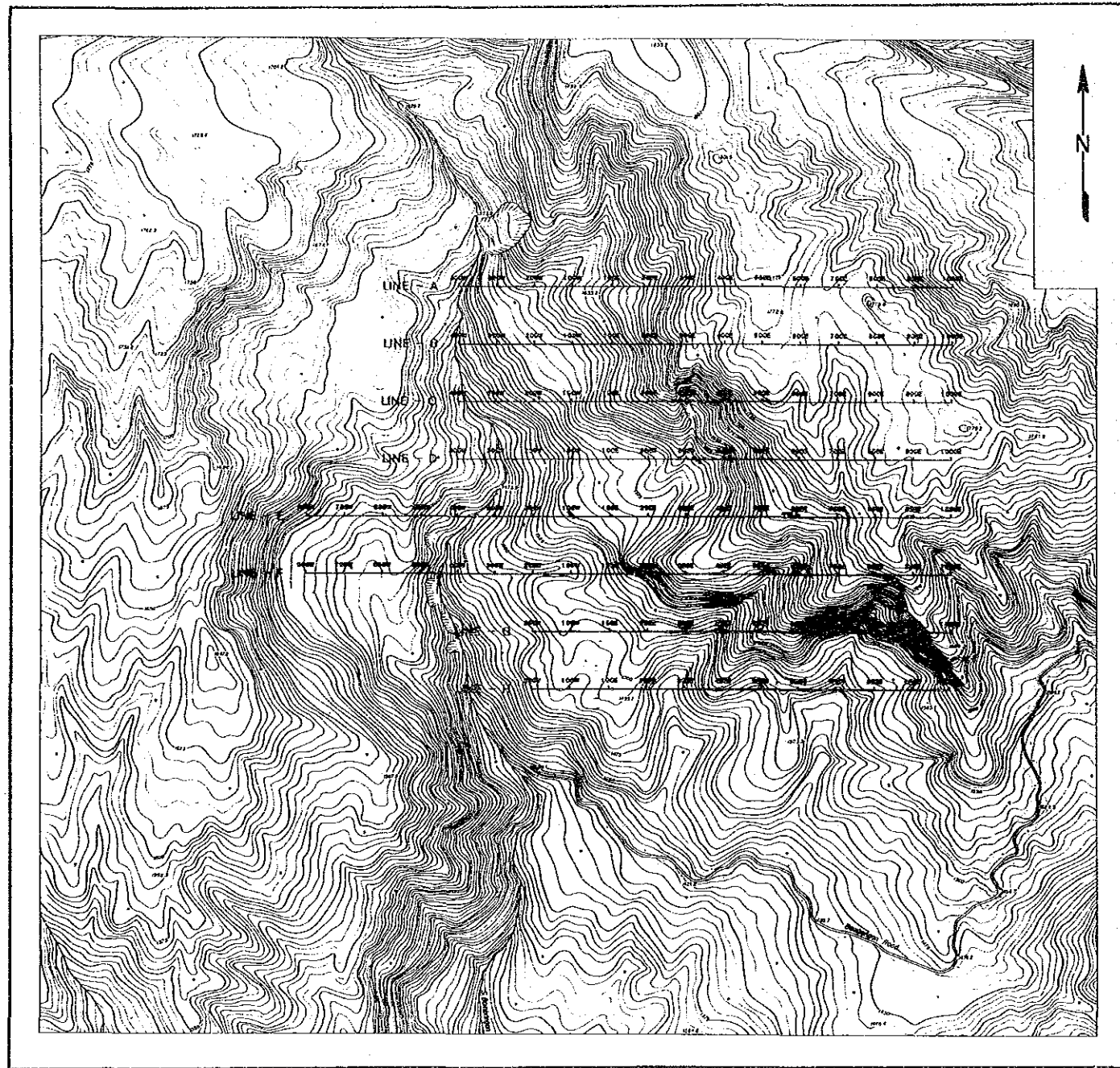
電極配置は第28図に示すとおりであり、受信電極は3電極を用いた。また調査内容及び調査量は第4表に記載した。

第4表 A地区IP, SIP法調査内容及び調査量


方法	測線長	測定点数	測定間隔及び電極隔離係数	電極配置
SIP法	1.1Km×1本 1.3Km×2本 1.7Km×1本 (計5.4Km)	166点	a=100m n=1～5	DiPole-Dipole
IP法	1.1Km×1本 1.3Km×2本 1.7Km×1本 (計5.4Km)	190点	a=100m n=1～5	Dipole-Dipole







LEGEND

LINE-A  Survey Line  
 SIP (B,D,F,H)  
 IP (A,C,E,G)

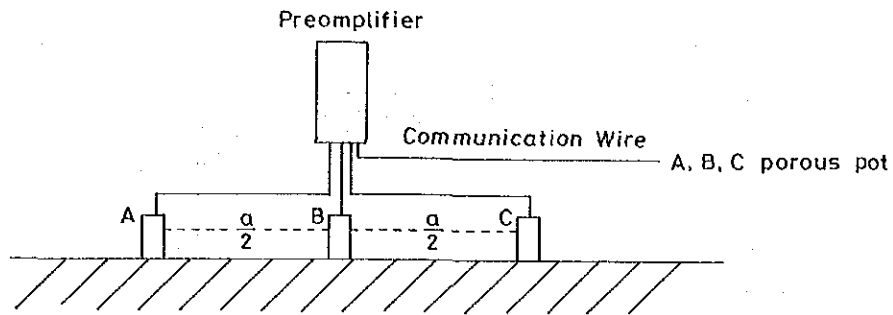


第27図 A地区SIP・IP測線位置図









第 2 8 図 電位電極配置図

(ii) 調査使用機器

SIP法では, CSAMT法で採用した Zonge Engineering & Resrch Organization., (ZERO., U.S.A.) 社製のシステムを用いた(2-1-1(2)参照)。

以下に I P 法使用機器を列記する。

送信部 発電機 Geotronics 社製 (U.S.A.)

モデル 421

出力 5Hp, 400Hz 単相

トランスミッター 千葉電子研究所製

モデル CH-T7801

出力電流 0.1~2.5A

電圧 最大 800V

周波数 0.05.0.1.00.3.1.3Hz

受信部 I P レシーバー 千葉電子研究所製

モデル CH-R7802

受信周波数 0.3, 3Hz

最大入力抵抗 2HΩ