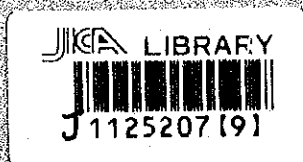


マレーシア国 サバ中央地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次



平成 7 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱調査
CR(3)
95-054



マレーシア国 サバ中央地域

# 資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

平成 7 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



1125207(9)

## は し が き

日本国政府は、マレーシア国政府の要請に応え、同国東部に位置するサバ州の中央地域における鉱物資源賦存の可能性を確認するため地質調査、地化学探査・ピット調査等、物理探査など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、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は、平成6年度を第1年次とする初年次にあたり、金属鉱業事業団は5名の調査団を編成し、平成6年10月から平成7年1月まで現地に派遣した。現地調査は、マレーシア国一次産業省地質調査所サバ支所の協力を得て予定どおり完了した。本報告書は、本年度の調査で実施した地質調査、地化学探査・ピット調査等及び物理探査をとりまとめたもので、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ご協力いただいたマレーシア国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在マレーシア国日本大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

平成7年3月

国際協力事業団  
総裁 藤田公朗

金属鉱業事業団  
理事長 石川丘



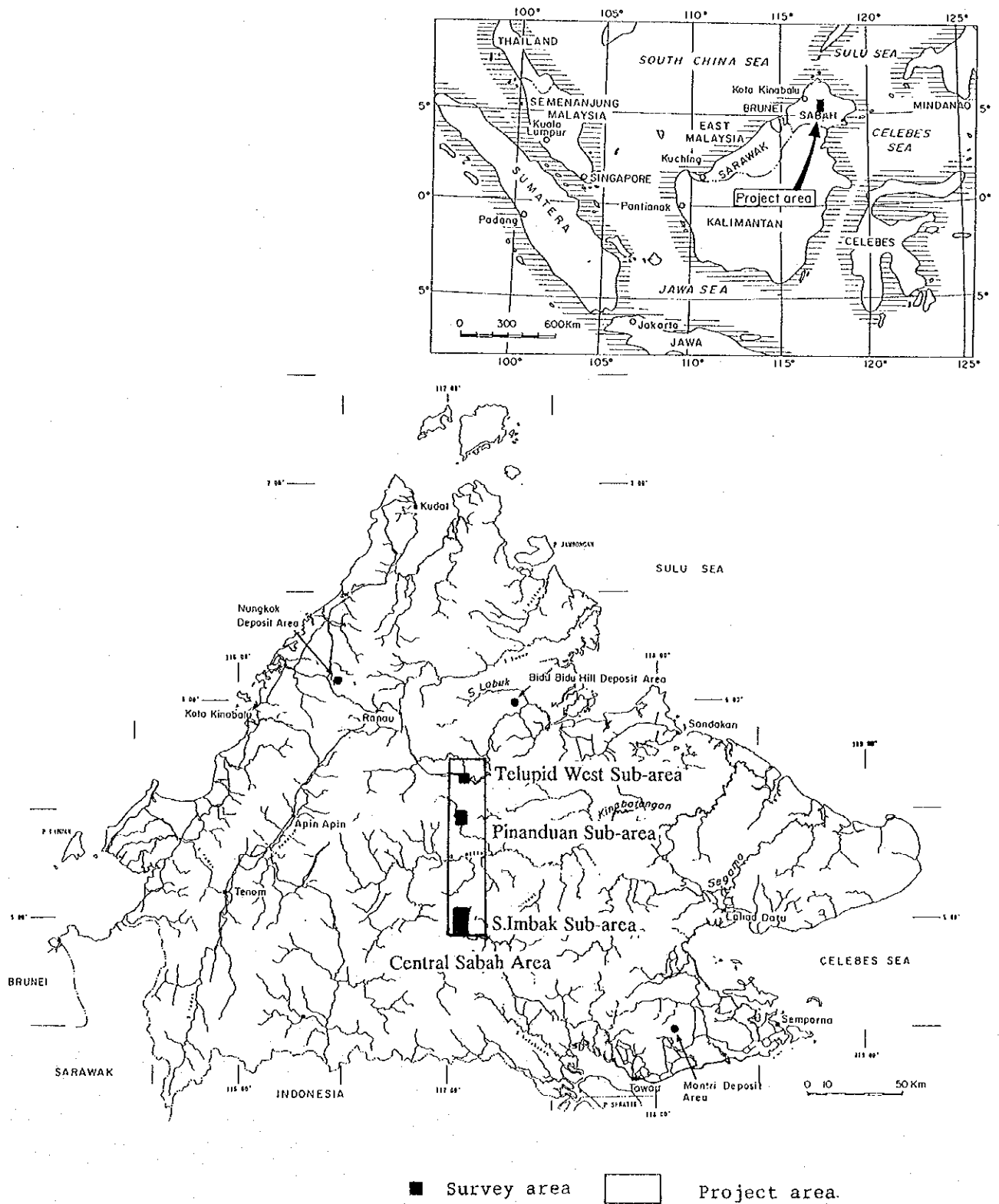


Fig. 1 Location map of the project area





## 要 約

本調査は、日本国政府とマレーシア国政府との間で平成6年9月1日に締結された作業協定 (Scope of Work) に基づき同国サバ中央地域において鉱物資源賦存の可能性を調査することを目的とする。本調査は平成6年度を初年度とし、3カ年で実施される計画である。

初年度である本年度は、テルピド西方地区においてハンドオーガー及びピットによる調査を、ピナンドアン地区及びインバック川地区北部において地質調査 (準精査) 及び物理探査を、さらにインバック地区南部 (グノングクリ地区) においては土壤による地化学探査 (準精査) を実施した。

### (1) テルピド西方地区

本地区の土壤の層序は、最上部の腐食土壤、ラテライト土壤、ラテライト土壤に超塩基性岩の風化した岩片を含むもの、風化した超塩基性岩 (サポロライト)、基盤岩の超塩基性岩からなる。中央部の丘陵地北部では、土壤の発達が悪く、2.0 m 前後でラテライト土壤からサポロライトを経ないで直接、超塩基性岩の礫に富む層ないしは岩盤に達する。中央部丘陵地の東西の斜面では、ラテライト土壤及びサポロライトの発達は、2 m から4 m で、平坦地においては5 m 以上に達する。

化学分析の結果、Alは深度の増加に伴い減少する。Co、Cr、FeはNiと正の相関を示すが、前三者は、ラテライト土壤で濃度が最大となり、サポロライトで減少する。Niは深度と共に濃度が増加し、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壤及びサポロライトで最大となる。Niの品位は数100ppmから2.0%に達するものまで非常に広い値を持ち、ニッケルラテライト鉱床の対象と成りうる品位のものから、超塩基性岩の残留風化土壤とは考えづらい、Ni数100ppmのものまでである。さらに、それぞれのオーガー及びピット地点で、垂直的な変化はあるが、その変化は非常に少なく、それぞれの地点が特有の値を持つなどの点から、本地区のラテライト土壤は、やや発達が不十分なラテライト土壤の可能性がある。Ni0.8%以上のやや高い濃度を示すものは中央部の丘陵地域に分布するが、これらの地点では土壤の発達状況は悪く厚さは2から3 mである。一方、平坦地では、土壤の発達は5 m以上に達するが、Niの濃度は数100から数1,000ppmで低い。従って、本地域には、Ni濃度の高いラテライト土壤が存在するものの、その分布面積は狭く、その発達する深度も浅いため、開発するのに十分な鉱量としてはもの足りないと考えられる。

### (2) ピナンドアン地区

本地区の地質は主にハルツバージャイトからなるカンラン岩とそれにレンズ状に伴うダンカンラン岩及びカンラン岩中に貫入するハンレイ岩の小岩体よりなる。本調査において確認された鉱化・変質帯は、ハンレイ岩の貫入岩体の周辺部に見られるカンラン岩の変質帯で、蛇紋岩化が著しく、モンモリロン石、緑泥石等の粘土鉱物を伴い、弱い黄鉄鉱の鉱染を伴うもののみで、鉱物

資源基本図調査のAu、Cu、Ni異常帯を反映するような鉍化帯は確認できなかった。

本地区で捕捉されたIP異常は、鉍物資源基本図調査の地化学異常帯(Cu)の分布範囲とほぼ調和的であった。しかし、地質調査で確認されたハンレイ岩に伴う弱い鉍化・変質帯とははっきりした関係は見いだされなかった。地区南西部、ピナンドアンカチール川下流の過去の調査で黄銅鉍を伴う硫化物脈が確認されている地点(B測線南部)では、やや強いIP異常を示しており、地下に存在する硫化物の量は比較的多いと推定される。また、今回の調査では、さらに強いIP異常が地区南西部から地区北西部(B測線北部、D測線中央部、E測線北部、F測線南部、及びG測線中央部)に捕捉された。これらのIP異常の分布域の地表には顕著な鉍化・変質帯は認められなかったことから、IP異常は潜頭性の貫入岩に伴う硫化物の鉍染ないしは鉍脈によるものと推定される。

地化学異常帯の存在および地区中央北部でこれと重複する顕著なIP異常の存在する点からこの地区の詳しい調査が望まれる。

#### インバック川地区

##### 1) インバック川地区北部(地質調査、物理探査)

地質調査の結果、本地区では前期から中期中新世の泥岩、砂岩及びそれらの互層からなるタンジョン層が広く全域に分布し、これに鮮新世前期の閃緑斑岩が調和的に多く貫入する。貫入岩の多く見られる地区中央南部では堆積岩類が珪化し、黄鉄鉍(硫砒鉄鉍)に鉍染する珪化・黄鉄鉍鉍染帯が約2km×2kmの広がり分布する。この珪化・黄鉄鉍鉍染帯に10から20cm前後の硫化物(黄鉄鉍、硫砒鉄鉍、閃亜鉛鉍)により満たされた石英脈及びレンズが分布し、高品位のAu、Ag(Au 8 - 30 g/t max. 72 g/t、Ag 30 - 100 g/t max. 196 g/t)を含有する。鉍石鉍物の組み合わせは、黄鉄鉍-硫砒鉄鉍-黄銅鉍で、自然金を硫砒鉄鉍中に含む試料もあった。岩石地化学探査の結果、珪化・黄鉄鉍鉍染帯は、Au、Cu、Ag、As、Sの異常帯及び高濃度帯で覆われ、本地区の鉍化作用を特徴付けると考えられる第1因子(Ag-As-Au)の高因子得点を持つ試料が集中して分布する。本地区には、変質鉍物のゾーニングが見られ、地区中央北部の珪化・黄鉄鉍鉍染帯を取りまく様に同心円状に外側からSe/Mo帯、緑泥石帯、絹雲母帯に区別される。

本地区の鉍化作用はAu-Agに特徴付けられ、閃緑斑岩に関係した鉍化作用であると考えられる。地質状況、鉍石鉍物の組み合わせ、変質鉍物の組み合わせ等から、浅熱水性とは考えられず、しかし、やや低温で生成されたと考えられる銀鉍物を伴う点、Auに比べてAgの含有量の高い試料が存在することなどから、生成温度はそう高くないと考えられる。この様な点から本地区に見られる鉍化作用は斑岩型銅鉍床の縁辺部ないしは最上部の可能性が考えられる。閃緑斑岩の貫入時期は鮮新世前期で、金に富む斑岩型銅鉍床であるマムート鉍山の鉍化作用をもたらしたと考えられている火成岩の貫入時期と一致する。

本地区で捕捉されたIP異常は、地区南部に多く分布する貫入岩体に伴う珪化・黄鉄鉍鉍染帯の分布域と調和的であり、更に南へ広がる傾向が認められる。特に、D測線南端部からF測線中央

南部では強異常を示しており、珪化・黄鉄鉱染帯が分布する地域とほぼ一致している。また、本地区で実施された岩石地化学探査の結果、Au異常は地区中南部に広範囲に分布し、20mV/V以上の中～強分極率異常分布と調和的である。F測線中央南部ではCu異常とS異常が重複しており、30mV/V以上の強分極率異常分布と一致している。従ってF測線中南部を中心とする地域には硫化物が多く存在すると推定される。

従って、珪化・黄鉄鉱染帯域を中心に地下に硫化物の存在する可能性が高く、今後の詳細な探査が待たれる。

## 2) インバック川地区南部(グノングクリ地区)(土壌地化学探査)

本地区の地質は、前期～中期中新世のタンジュン層とそれに貫入する閃緑斑岩から成る。閃緑斑岩は地区中央部の山脈の山腹に多数の堆積岩に調和的な貫入岩体としてみられ、今回の調査で初めて確認された。年代測定値は、インバック川地区北部と同様の値で、鮮新世前期である。更に、これらの貫入岩体周辺部の堆積岩中には珪化・黄鉄鉱染帯が見られるところがあり、最も顕著なのは、地区北西部及び中央部で、中央部では黄銅鉱に鉱染する閃緑斑岩も見られ、黄銅鉱中に細粒の自然金が確認されるものも存在した。この試料の鉱石品位は(Au 0.9g/t、Ag 1.9g/t、Cu 0.64%)である。すなわち、インバック川地区北部の鉱化作用が山脈沿いに南へ延長することを示唆している。地化学探査の結果、本地区では、鉱物資源基本図調査のT地区の土壌地化学探査の結果よりやや高いAs、Au、Cu、Hgの値を示す。地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉱染帯の分布域は、Au、Cu、Hg、S等の異常帯及び高濃度帯に覆われる。因子分析の結果、第2因子(Au、Cu、Sb、W)及び第6因子(As、Au、Hg、S)が本地区の鉱化作用を反映していると考えられ、これらの高い因子得点を持つ試料が分布する地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉱染帯を含む地域が鉱床賦存の可能性が高い地域と考えられる。従ってこの地域及び周辺地域を含めて、今後、詳細な調査が行われることが望まれる。



# 目次

はしがき

調査地域位置図

要約

目次

## 第I部 総論

第1章 序論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 調査範囲及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	1
1-4 調査期間	3
第2章 調査地域の地理	7
2-1 位置及び交通	7
2-2 地形及び水系	7
2-3 気候及び植生	8
第3章 調査地域の既存地質情報	10
3-1 一般地質	10
3-2 鉱化作用及び鉱業略史	11
第4章 調査結果	16
4-1 テルピド西方地区	16
4-2 ピナンドアン地区	17
4-3 インバック川地区	18
第5章 結論及び提言	20
5-1 結論	20
5-2 提言	21

## 第II部 各論

第1章 テルピド西方地区	29
1-1 調査の概要	29
1-1-1 調査地区の概要	29

1-1-2	調査の経緯	29
1-1-3	調査方法及び調査量	29
1-2	調査結果	30
1-2-1	ハンドオーガー調査	31
1-2-2	ピット調査	31
1-2-3	土壌分析結果	32
1-3	考察	34
第2章	ピナンドアン地区	41
2-1	調査の概要	41
2-1-1	調査地区の概要	41
2-1-2	調査の経緯	41
2-1-3	探査手法及び調査量	41
2-2	地質調査	42
2-2-1	調査方法	42
2-2-2	地質	42
2-2-3	鉍化作用	43
2-3	物理探査	44
2-3-1	調査方法	44
2-3-2	解析方法	47
2-3-3	調査結果	47
2-4	考察	49
第3章	インバック川地区	83
3-1	調査の概要	83
3-1-1	調査地区の概要	83
3-1-2	調査の経緯	84
3-1-3	探査手法及び調査量	84
3-2	地質調査（インバック川地区北部）	84
3-2-1	調査方法	85
3-2-2	地質	86
3-2-3	鉍化作用	87
3-2-4	岩石地化学探査及び変質帯	89
3-3	物理探査（インバック川地区北部）	93
3-3-1	調査方法	93
3-3-2	解析方法	94
3-3-3	調査結果	95

3-4	土壤地化学探査 (インバック川地区南部、グノングクリ地区) .....	98
3-4-1	調査方法 .....	98
3-4-2	地質及び鉱化作用 .....	99
3-4-3	調査結果 .....	101
3-5	考 察 .....	104
3-5-1	地質調査及び物理探査 (インバック川地区北部) .....	104
3-5-2	土壤地化学探査 (インバック川地区南部、グノングクリ地区) .....	105

### 第Ⅲ部 結論及び提言

第1章	結 論 .....	173
第2章	第2年次への提言 .....	175
参考文献	References .....	183
図表一覧	Lists of figures, tables, plates and appendices .....	185
卷 末	Appendices	





第 I 部 総 論



# 第1章 序 論

## 1-1 調査の経緯及び目的

本調査は、日本国政府とマレーシア国政府との間で平成6年9月1日に締結された作業協定( Scope of Work ) に基づきマレーシア国サバ中央地域において実施した資源開発協力基礎調査である。調査地域として抽出されたサバ中央地域(Fig.1)は、平成2年度より平成5年度までの4年間にわたって行われた鉱物資源基本図調査・サバ地域の結果に基づき、金属鉱床賦存の可能性の最も高いと考えられる地域である。本調査は平成6年度を初年度とし、3か年で実施される計画であり、本年度はその初年度である。

本調査の目的は、マレーシア・サバ中央地域において地質状況及び鉱床賦存状況を把握し、新鉱床を発見することである。この目的を達成するため、本年度の調査では、テルピド西方地区においてハンドオーガー及びピットによる調査を、ピナンドアン地区とインバック川地区北部においては地質調査(準精査)及び物理探査を、インバック川地区南部(グノングクリ地区)においては土壌による地化学探査(準精査)を実施した。

## 1-2 調査範囲及び作業の概要

本調査の対象地域であるサバ中央地域は、サバ州の中央部に位置し、テルピドから南に延びた長方形を成す地域であり、鉱物資源基本図調査のラプク地域の南部に位置する( Fig.1)。本年度の調査は、サバ中央地域の3地区(テルピド西方、ピナンドアン、インバック川)において Table I-1の調査量及びTable I-2調査内容に示す調査を実施した。

本年度の調査の重点課題は、テルピド西方地区においては、ピット及びハンドオーガーによる調査を行い表層下のニッケルの濃集帯を把握することである。ピナンドアン地区及びインバック川地区北部において地質調査(準精査)及びIP法による物理探査を実施することにより、鉱化作用の性質を明らかにし、地質状況と鉱化作用の関係を把握する。さらに、鉱化・変質帯の地下深部における連続性の把握及び地下構造の関係を解明する。インバック川地区南部(グノングクリ地区)においては土壌による地化学探査(準精査)を実施し平成5年度の基本図調査でT地区南部で得られたAu、As等の異常帯の南部への連続性を把握する。

本調査は、インバック川地区に木材運搬道路が最も近接する地点及びピナンドアン地区内の二箇所にベースキャンプを設営し調査を行った。

## 1-3 調査団の編成

本調査の調査計画策定、折衝及び現地調査に参加した団員は、次の通りである。

(1) 調査計画策定及び折衝

日本国側	マレーシア国側
土屋 新五郎 金属鉱業事業団	Fateh Chand Director General GSM
飯田 陽一 通商産業省	Lim Peng Siong Director GSM
五十嵐吉昭 金属鉱業事業団	Chu Ling Heng Head of Corporate Unit GSM
鈴木 哲夫 金属鉱業事業団	Pola Singh Senior Ass. Director EPU
マニラ事務所	Suhaimi EPU
	Mohamed Nor Aziz MPI
	P. Loganathan Secretary GSM

GSM: Geological Survey of Malaysia EPU: Economic Planning Unit

MPI: Ministry of Primary Industries

(2) 現地指導監督

遠藤 英史 金属鉱業事業団  
 佐藤 直樹 金属鉱業事業団  
 鈴木 哲夫 金属鉱業事業団、マニラ事務所

(3) 現地調査

日本国側	マレーシア国側
岡崎 正次 団長、地質調査 大手開発 (株) 地化学探査	Alexander Yan Deputy Director GSM Geologist
川村 淳 地質調査 大手開発 (株) 地化学探査	Joanes Muda Geologist GSM Wong Vui Chung Geologist GSM
加藤 雅胤 物理探査 大手開発 (株)	Dzazali b.Hi. Ayub Geophysicist GSM
菅原 公平 物理探査 大手開発 (株)	Salleh Adanan Assistant GSM
横山 隆之 物理探査 大手開発 (株)	Japili Samin Assistant GSM

GSM: Geological Survey of Malaysia

#### 1-4 調査期間

本調査に伴うマレーシア国での調査の期間は、以下の通りである。

##### 調査計画・折衝

平成6年8月29日 ～ 平成6年9月2日

##### 現地指導監督

平成6年10月20日 ～ 平成6年10月30日

平成6年12月12日 ～ 平成6年12月20日

##### 地質調査、地化学探査・ピット調査等

平成6年10月20日 ～ 平成7年1月10日

(現地解析：平成7年1月1日 ～ 平成7年1月7日)

##### 物理探査

平成6年10月20日 ～ 平成6年12月31日

(現地解析：平成6年12月22日 ～ 平成6年12月28日)

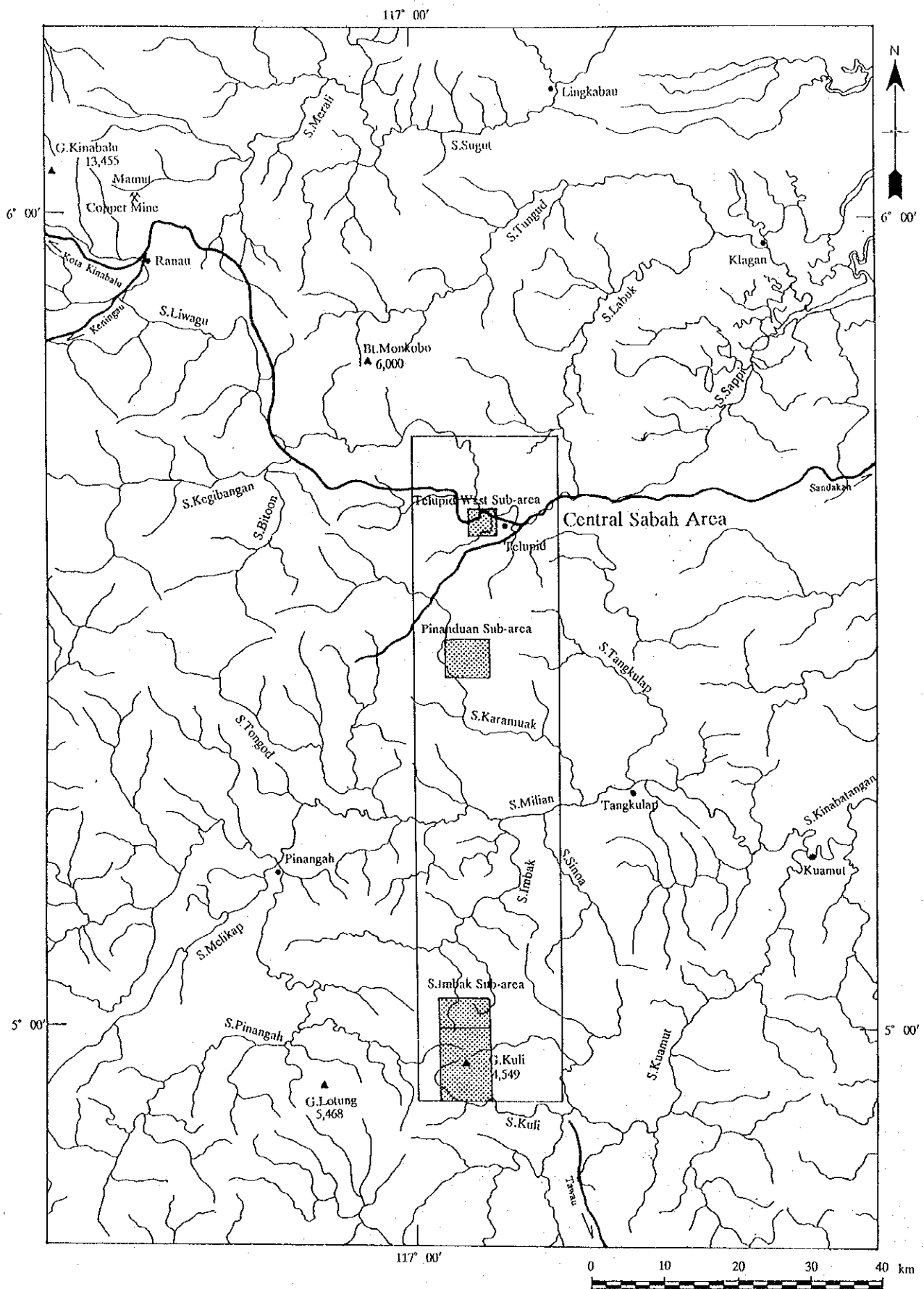


Fig. I -1 Location of the Central Sabah Area

Table I -1 Summary of work amounts

Survey Method	Work Amount
(1) Geological Survey (semi-detail)	
1) Pinanduan Sub-area	Survey Area 30 km <sup>2</sup> Survey Route 52 km
2) S. Imbak Sub-area	Survey Area 28 km <sup>2</sup> Survey Rout 52 km Rock Samples for Geochemical Survey 201 samples
(2) Geochemical Survey	
1) Telupid West Sub-area	Survey Area 16 km <sup>2</sup> Pit 5 sites Hand auger 72 sites Soil samples 292 samples
2) S. Imbak Sub-area (Gunong Kuli Sub-area)	Survey Area 70 km <sup>2</sup> Soil samples 283 samples
(3) Geophysical Survey (IP method)	
1) Pinanduan Sub-area	Total line length 14.4 km Number of lines 8 lines Number of measurement 462 times
2) S. Imbak Sub-area	Total line length 21.0 km Number of lines 10 lines Number of measurement 700 times

Table 1-2 Work amounts of laboratory studies

Laboratory Studies	Geological Survey	Geochemical Survey	Total
1) Thin section	27 samples	24 samples	51 samples
2) Polished sectoion	20 samples	7 samples	27 samples
3) X-ray diffraction analysis	71 samples	11 samples	82 samples
4) Dating (K-Ar method)	4 samples	3 samples	7 samples
5) Chemical analysis			
a)Rock (15 elements: Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Hg, K, Na, Sr, Rb, Ca, Mg, S)	201 samples		201 samples
b)Soil-1 (5 elements: Al, Co, Fe, Cr, Ni)	292 samples	292 samples	292 samples
c)Soil-2 (21 elements: As, Au, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sr, Ti, U, W, Zn)		283 samples	283 samples
d)Ore Assay (7 elements:Ag, Au, Cu, Mo, Pb, S, Zn)	61 samples	20 samples	81 samples
3. Geophysical survey			
1) Resistivity measurement		20 samples	
2) Porlarizability measurement		20 samples	



## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置及び交通

マレーシア国は、マレー半島に位置する西部マレーシアとボルネオ島北西部に位置する東部マレーシアより構成される。西部マレーシア及び東部マレーシアを合わせた総人口は、約1,800万人で、その面積は約33万km<sup>2</sup>である。人種は、マレー人を主とし中国人、インド人の他多くの少数民族より構成される多民族国家である。

東部マレーシアは、サバ(Sabah)州、サラワク(Sarawak)州の2州より構成される。本調査地域のサバ州は、ボルネオ島北部を占め、北緯4°から北緯7°、東経115°から東経119°の間に位置し、西岸、北岸、東岸は南シナ海、スルー海及びセレベス海に囲まれフィリピンと国境をなし、その南西はサラワク州と、南はインドネシア領カリマンタンと接する。サバ州の面積は約73,700 km<sup>2</sup>で、人口は約1,393,000人、州都はコタ・キナバル(Kota Kinabalu)である。

本調査の対象地域であるサバ中央地域は、サバ州の中央部に位置し、テルピド(Telupid)から南に延びた長方形を成す地域で、東西20 km、南北90 km (1,800 km<sup>2</sup>)の広がりを持ち、鉱物資源基本図調査のラプク地区の南部に位置する(Fig. 1-1)。

サバ州の西海岸に位置するコタ・キナバルには国際空港があり、国外よりの交通は至便で、首都のクアラルンプールをはじめ、香港、台湾、フィリピン、シンガポール、日本へ直行便が就航している。サバ州内のタワウ(Tawau)、サンダカン(Sandakan)等の主要な町には、コタ・キナバルより国内定期便が就航している。主要道路は、コタ・キナバルよりラナウ(Ranau)、テルピドを経由して東海岸のサンダカンへ至る道路と、サンダカンよりラハッド・ダーツ(Lahad Datu)を経て南海岸のタワウへ至る道路で舗装されている。

サバ中央地域内では、コタキナバルーサンダカンを結ぶ道路が北端部を通り、地域内で唯一の舗装道路である。その他の道路は、テルピドから南西方の散在する集落へ向かう道路、及びテルピドから南方へ向かう木材運搬用道路である。木材運搬用道路は、本地域内の西部及び本地域に近接してその西方を南下し、近年、タワウ方面から北上する道路と連結された。テルピド西方地区及びピナンドアン地区は、車両にて地区内へアクセスが可能であるが、インバック川地区内には、道路は一切存在しない。

### 2-2 地形及び水系

サバ州の地形は、西海岸と平行に走る北北東-南南西方向の急峻な山岳地形、東側の丘陵地形、南部の火山地形及び主要河川に沿って分布する平坦地とに特徴付けられる。西部の山岳地形を成す地域はクロッカー(Crocker)山脈からなり、東南アジア最高峰のキナバル山(G. Kinabalu) (標高4,101 m)が存在する。

サバ州中央部に位置する本地域は、全体的に標高500 mから1,000 mの山岳地形を成し、主

要河川沿いに 100 m から 200 m の丘陵地が分布する。丘陵地の分布は、ほぼ北部に限られラブク川 (S. Labuk)、カラマック川 (S. Karamuak)、ミリアン川 (S. Milian) の沿岸である。本地域南東部は地形が急峻で、1,000 m を越える山脈が北北東-南南西方向に走り、最大標高 1,500 m に達する。

サバ中央地域を流れる河川はラブク川、キナバタンガン川 (Kinabatangan) の水系に属し、ほぼ西南西から東北東方向に流れてスル海に没する。本地域北部のテルピド西部地区内をラブク川が流れる。中央部をミリアン川が西から東に流れ、カラマック川 (S. Karamuak) 及びインバック川はミリアン川のそれぞれ北側及び南側支流である。本地区南部のインバック川地区南部 (グノングクリ地区) を流れるクリ川 (S. Kuli) はクワム川 (S. Kuamut) の支流で、クワム川は本地域東方でミリアン川と合流し、サバ最大の河川であるキナバタンガン川を形成する。これらの河川は上流部で深谷を造り、丘陵地域及び平坦地では著しく蛇行する場合が多い。

### 2-3 気候及び植生

サバ州は熱帯モンスーン気候の範囲に位置し、通常、10月下旬ないし11月上旬から3月頃までが北東モンスーン季で、5月頃から8月頃までが南西モンスーン季である。年間降水量は地域によって 1,500 mm から 4,000 mm と大きな差がある。西海岸では南西モンスーン季が雨期となり、東海岸では北東モンスーン季に雨量が多い事が常であったが、近年雨期と乾期の明確な区別がつかなくなってきたとも言われている。気温は、年間を通じてほとんど変化無く、22~33°Cの範囲にあるが日中の最高気温は34°C 前後となり、夜間は20°C 前後まで下がることもある。

サバ州の西海岸に位置するコタ・キナバル、東海岸のサンダカン及び南海岸に位置するタワウの月別最低及び最高気温と月別降雨量をTable 1-3 に示す。この表で明らかなように、東海岸と西海岸とでは月別降雨量に地域性が見られ、モンスーンの影響を表している。

サバ中央地域の大部分は、ジャングル地帯が占める。ジャングルは、まだ人手の入っていない初生ジャングルと、既に大木の伐採が終わっている二次ジャングルとに区分されるが、本地域のジャングルは、北部から中部にかけては二次ジャングルで、南部の地域は現在伐採が行われているものかなりの部分が初生ジャングルであり、インバック川地区はすべて初生ジャングルに覆われる。本地域北部のテルピド周辺ではプランテーションが分布し、主としてパームヤシが栽培されている。

Table I -3

## Statistics of temperature and rainfall

Month	Kota Kinabalu			Sandakan			Tawau		
	Temperature (°C)		Rainfall (mm)	Temperature (°C)		Rainfall (mm)	Temperature (°C)		Rainfall (mm)
	Max.	Min.		Max.	Min.		Max.	Min.	
January	30.5	22.4	95.1	29.7	24.2	398.2	31.4	22.2	161.4
February	31.6	22.5	61.6	30.5	23.6	229.9	31.9	22.3	132.4
March	31.8	22.8	47.1	31.0	23.8	120.0	32.4	22.6	107.7
April	32.5	23.4	137.5	32.2	23.8	87.5	32.6	22.8	101.3
May	32.5	23.9	287.9	32.5	24.3	110.8	32.8	23.5	113.6
June	31.7	23.3	248.7	32.8	23.6	209.3	32.3	23.0	185.5
July	31.6	23.0	257.2	32.4	23.5	214.5	31.6	22.7	226.3
August	31.7	23.3	263.4	32.9	23.5	183.6	31.3	22.6	217.7
September	31.8	23.2	315.8	32.3	23.5	241.2	31.7	22.5	196.9
October	32.0	23.5	292.9	31.8	23.6	271.9	31.9	22.8	188.1
November	31.4	23.2	314.6	31.2	24.0	324.8	32.4	23.1	174.0
December	31.3	22.7	149.7	29.8	24.4	453.0	32.4	22.4	135.3

Temperature: 1989 and 1990

Rainfall: average of last 10 years (1981 - 1990)

### 第3章 調査地域の既存地質情報

#### 3-1 一般地質

サバ州の地質は、基盤をなす三疊紀以前の結晶質岩類(Cb)、白亜紀から始新世の玄武岩溶岩を伴う堆積岩類(K、KP)、これに続くフィリシュタイプの堆積岩を特徴とする堆積岩類(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>)の堆積(始新世~中新世中期)及び構造運動(中新世中期~鮮新世)と同時期あるいはそれ以降の堆積岩類(N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>4</sub>、N<sub>5</sub>)の堆積(中新世前期~更新世)により形成されている。

本調査地域を含むサバ州の地質図(Heng Y. E., 1985)をFig. I-1に示す。

基盤を成す変成作用を受けた結晶質岩類(Cb)は主にセガマ川上流域に分布し、角閃岩、片麻岩、珪岩、変成した凝灰岩及び火砕岩より成る。

白亜紀から始新世の岩石はサバ州東部及び中央南部に広く分布するチャート・スピライト(Chert-Spilite)層(KPSc)とサブラット(Sapulut)層(KPSp)である。チャート・スピライト層は、石灰岩、放散虫チャート、砂岩、礫岩、スピライト、火山角礫岩、集塊岩、粗粒玄武岩及びケラトファイヤを伴う枕状溶岩から成る。これらの岩石は、超塩基性岩及び斑レイ岩(Ub)と共にオフィオライト系列の岩石を構成するものであり、白亜紀初期の海洋地殻の一部と考えられているオフィオライト系列の岩石の断片が多く散在し、漸新世から中新世の時期に複数の複雑な構造運動によりもたらされたもので、始新世~中新世中期の堆積岩類(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>)の上に乗っている(Benard et al., 1990, Ragin et al., 1990)。サブラット層は、泥質の岩石を主とし海洋トラフの中心部で堆積した地層である。

漸新世から漸新世の堆積岩類は、サバ州西部及び北部に分布するトルスマディ(Trusmadi)層(P<sub>1</sub>Ts)及びクロッカー(Crocker)層(P<sub>2</sub>Cr)で、前者は弱変成した粘板岩、千枚岩、珪岩等を主体とし、後者は砂岩、泥岩の互層を主体とするフィリシュタイプの堆積岩である。

中新世から鮮新世の岩石は、サバ州東部、北部及び南西部に分布する。

サバ州東部の中新世の地層は、海成の泥質岩から成るカラバカン(Kalabakan)層(P<sub>4</sub>Kl)、泥岩、頁岩、凝灰岩から成るカルンパン(Kalumpang)層(P<sub>4</sub>Kg)及びスランプ堆積物からなるガリノノ(Garinono)層(P<sub>4</sub>Gr)、ラパング(Labang)層(P<sub>3</sub>Lb)、アヤー(Ayer)層(P<sub>4</sub>Ay)、クワム(Kuamut)層(P<sub>4</sub>Km)である。後四者の、スランプ堆積物を中心とする地層はチャート、石灰岩、斑レイ岩、砂岩、蛇紋岩などの古期の岩石のブロックと泥質のマトリックスからなり、テクトニックメランジェと考えられ、カオティックな地層である。後期中新世の地層はタンジュン(Tanjung)層(N<sub>2</sub>Tj)及びサンダカン(Sandakan)層(N<sub>4</sub>Sk)で、これらは浅海成で泥岩-砂岩のシーケンスからなり、顕著なベーズン構造を形成する。

サバ州北部の中新世の地層は、厚い石英質砂岩及び頁岩からなるボンガヤ(Bongaya)層(N<sub>4</sub>By)とクダット(Kudat)層である。サバ州南西部では北部に類似した中新世の地層が分布し、メリガン(Meligan)層である。

鮮新世から第四紀の地層として粘土、砂、礫岩からなるリヤング(Liang)層 (NsTp) 等があり、それ以前の地層に不整合に乗る。

サバ州に分布する火成岩の時代は主に三つの時期に分けられる。それらは、基盤を成す結晶質岩類に貫入する、トーナライト、花崗閃緑岩、トロニエマイト、花崗岩で、三疊紀初期の貫入岩である。その次の時期の火成岩類は斑レイ岩、粗粒玄武岩、玄武岩質溶岩等のオフィオライト系列の岩石で、白亜紀初期の火成岩類であり、漸新世から中新世の時期に現在の位置にもたらされたものである。中新世後期から第四紀にかけて、センボルナ地区で石英安山岩、安山岩、玄武岩から成るカルクアルカリ岩の著しい火山活動が見られ、キナバル地区において、アダメロ岩、花崗閃緑岩を主とする、花崗岩質岩のバソリスを伴う火成活動がある。

サバ中央地域においては、北部を中心にオフィオライト系列の岩石である超塩基性岩 (Ub) 及び枕状構造を伴う玄武岩 (KPCs) が広く分布する。堆積岩類は、白亜紀後期から始新世後期のサブラット層、始新世から漸新世のカラピス (Kulapis) 層 及びクロッカー層、漸新世のラバング層、漸新世から中新世中期のガリノノ層及び中新世初期から中新世中期のタンジュン層よりなる。サブラット層は、本地域南部に超塩基性岩を取り囲む様に広く分布し、不整合ないしは断層でその上位のラバング層、タンジュン層が分布する。クロッカー層は中央部に広く超塩基性岩を取り囲んで分布し、中央東部では、カラピス層が分布する。メランジェ岩体であるガリノノ層が超塩基性岩に接してその東側に小規模に分布する。

### 3-2 鉍化作用及び鉍業略史

サバ州に見られる主要な金属鉍床の分布する地帯は、北部のバンギ島から南部のセンボルナ半島にかけてのサバ州中央部を横断する地帯に見られる。主要な既知の鉍床及び鉍徴地の分布図 (Leong K. M., 1976) を、Fig. 1-2に示す。鉍化作用は、関係する岩石によって四種類に分けられる。すなわち、基盤の結晶質岩、オフィオライト系列の岩石に伴うもの、新期の半深成岩が伴う火山岩類に関係したもの、花崗岩類に関係した鉍化作用である。

先三疊紀の結晶質岩中の鉍化作用は、セガマ川上流の片岩中に見られ、銀の鉍化作用は片状の粗粒玄武岩質岩中に見られる。碎屑性の金はセガマ川、ディワタ川等の河川で見られ、これらの河川は結晶質の基盤岩を流れる河川で、金の源は結晶質基盤岩に貫入する酸性岩と考えられている。

オフィオライト系列の岩石に伴う鉍化作用としては、キプロス型の塊状硫化鉍床がありビドゥビドゥヒル (Bidu Bidu hill) 鉍床はその代表例である。ダヌン川上流では、粗粒玄武岩中に銅を伴う硫化物のストックワークが見られる。その他、ニッケルラテライト、クロムの鉍徴地が超塩基性岩の分布域に存在する。

センボルナ半島では、鮮新世の半深成岩を伴った火山岩に関係した浅熱水性の金及び鉛-亜鉛-銅の鉍化作用が見られ、代表的なものはマントゥリ (Mantri) およびナゴス (Nagos) である。

キナバル山の地域では、中新世から鮮新世の花崗岩質岩に関係した斑岩型銅鉍床が見られ、マ

ムート(Mamut)鉱山及び鉱徴地としてヌンコック(Nungkok)がある。

サバ州で現在操業中の金属鉱山は、キナバル地区のラナウ北方に位置する斑岩型銅鉱床のムート鉱山のみである。ムート鉱山は、国連による地化学探査の結果発見された銅鉱床である。1968年日本の海外鉱物資源開発(株)(OMRD)が国際入札により探鉱権を取得し、1968年より1972年までの間探鉱を実施した後1973年開発に着手、1975年5月に操業を開始した。現在の操業規模は、粗鉱日産約20千トン、Cu 0.47%であり、Mega First社(クアラルンプール)の子会社であるMamut Copper Mining社により、人員約1,200名で操業している。

探鉱作業がほぼ終了して開発待りの鉱床としては、ラブク地区の西部に位置するビドゥビドゥヒル鉱床が挙げられる。本鉱床は、玄武岩質溶岩中に賦存するキプロス型の塊状硫化鉱床で、Leadstar SDN BHDにより探鉱が実施されている。これまでに実施したボーリング調査の結果(約40,000 m)では、鉱量360万トン、Cu 3.6%、Au 1~2 g/t、Ag 8~15 g/tが計上されており、州政府とロイヤルティを交渉中である。

調査地域南部のセンボルナ地区では、同地区の火山岩類中に賦存する金銀鉱床の探査がZamia SDN BHDにより実施されていたが、現在は中断している。この会社による調査は、東方に位置するセンボルナの西側よりタワウの北方までの広範囲に及んでいる。調査は、主として土壌による地化学探査及びトレンチで、ボーリングによる調査はマンツリィ地区で実施されているのみである。

サバ中央地域内で過去に探査の行われた実績のある鉱徴地としてカラマック川東岸のピナンドアンがあり、1964年にボーリング、オーガー、ピットによる調査が行われた。超塩基性岩中の硫化物の量は経済的ではないが、地表には二次酸化物としてのCu 0.7%を含む土壌が100万トン以上存在するとされたが、その後放置されている。



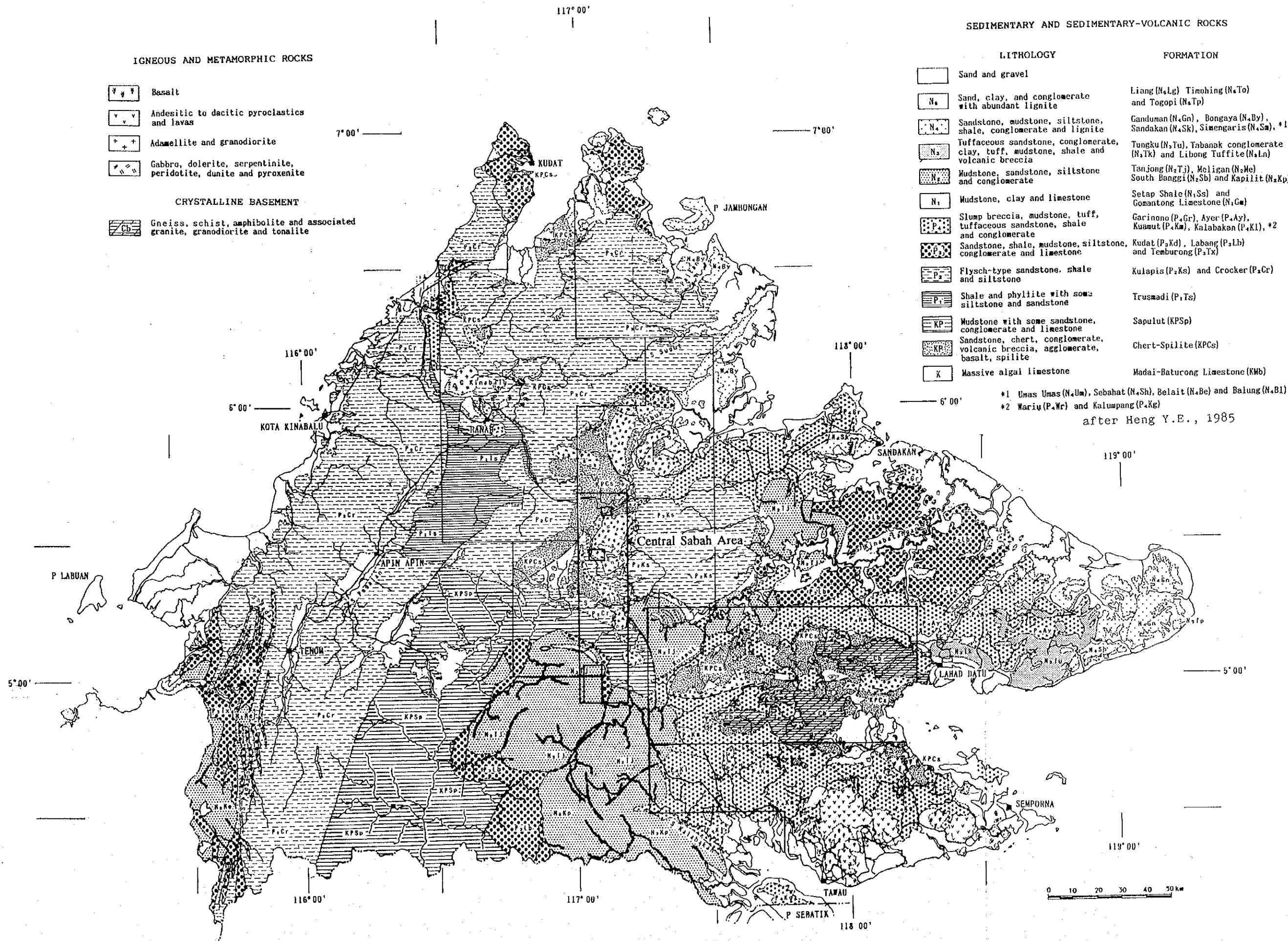


Fig. 1-2 Geologic map of Sabah, Malaysia





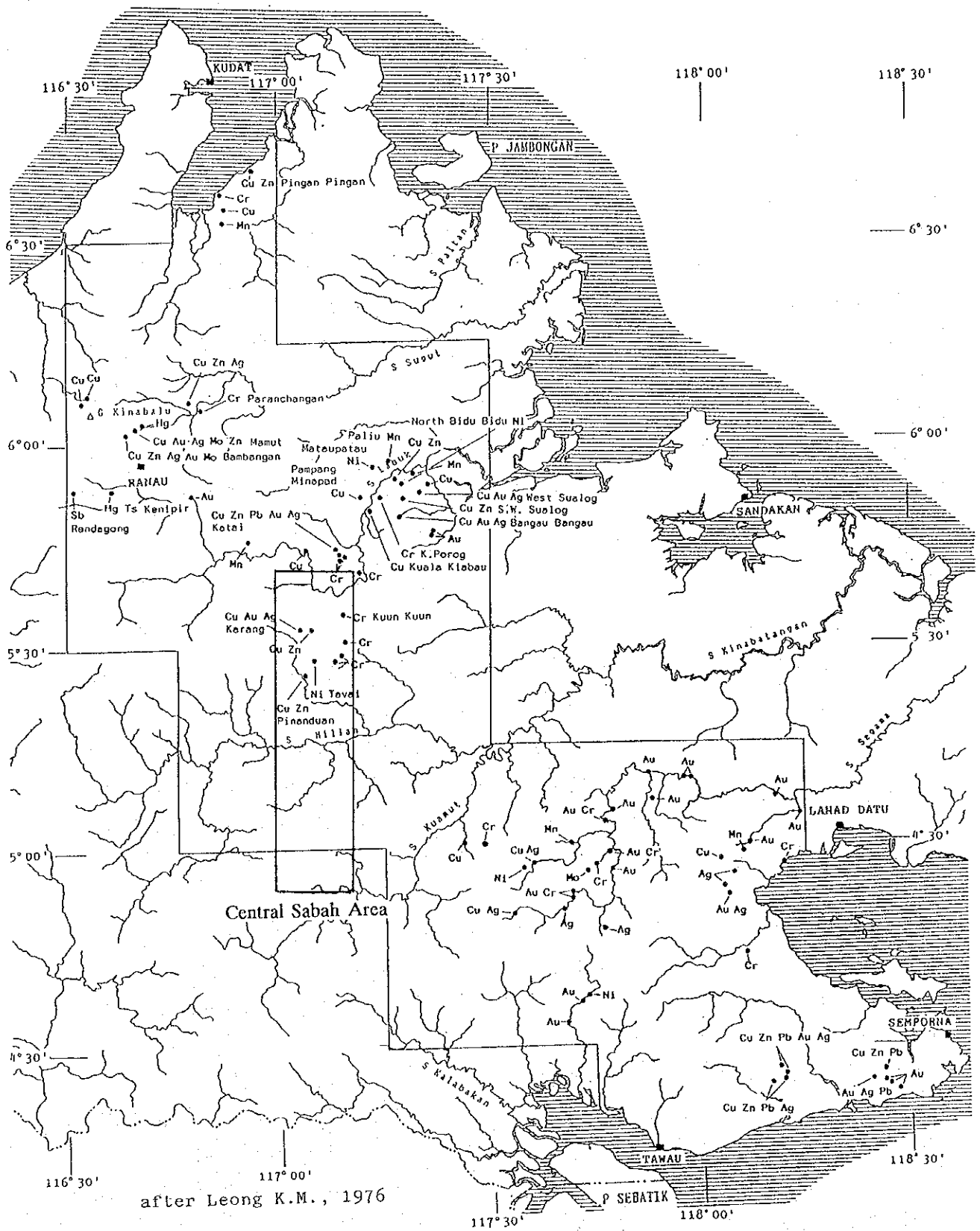


Fig. 1-3 Distribution of mineral occurrences in the project area

## 第4章 調査結果

### 4-1 テルピド西方地区

#### (1) 調査の目的及び方法

テルピド西方地区は、サバ中央地域の北部に位置する広さ 16km<sup>2</sup> (東西4 km×南北4 km) の地区である。鉱物資源基本図調査の第4年次(平成5年度)において、テルピド周辺地域であるN地域でラテライト土壌の調査を行ない、中央部の丘陵地帯を中心にNi 6,000ppm以上の値が得られ、最大値でNi1.45%のものが得られた。したがって、本地域にニッケル鉱床賦存の可能性が高いと考えられ、N地区中央部の丘陵地帯を覆うようにテルピド西方地区を設定しラテライト土壌の調査を行った。

調査はハンドオーガーを72地点で行い柱状図を作成し、1m毎に採取長1mに渡って試料を採取した。ピット調査は5地点で行い、スケッチを作成すると同時に50cm毎に採取長50cmに渡って試料を採取した。採取した土壌の試料数は、オーガーで261個、ピットで31個、計292個である。これらの試料に対してAl、Co、Cr、Fe、Niの5元素の化学分析を行った。

#### (2) 調査結果

ハンドオーガー調査によると、本地区の土壌の層序は、最上部の腐食土壌、ラテライト土壌、ラテライト土壌に風化した超塩基性岩の岩片を含むもの、風化した超塩基性岩(サポロライト)、基盤岩の超塩基性岩からなる。ラテライト土壌の発達する地域に一般的に見られる、ラテライト土壌を覆う、鉄酸化物に富む土壌は、本地域では見られない。中央部の丘陵地帯北部では、土壌の発達が悪く、2.0 m前後でラテライト土壌から直接、超塩基性岩の礫に富む層あるいは岩盤に達する。中央部丘陵地帯の東西の両斜面では、ラテライト土壌の発達は、2 mから4 mで、平坦地においては5 m以上に達する。

ピット調査の結果、本地区中央部の丘陵地帯北部においては、ラテライト土壌の発達は悪く2 m前後でサポロライトを伴わないで直接に新鮮な超塩基性岩となる。一方、丘陵地帯中央部では、地表から約2.5 mにわたってラテライト土壌が発達し、その下位はサポロライトが分布するが、その厚さは1 mから2 mで新鮮な岩盤となる。

化学分析の結果、Alは深度の増加に伴い減少する。Co、Cr、FeはNiと正の相関を示すが、前三者は、ラテライト土壌で濃度が最大となり、サポロライトで減少する。Niは深度と共に濃度が増加し、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌及びサポロライトで最大となる。Niの品位は数100ppmから2.0%に達するものまで非常に広い値を持ち、ニッケルラテライト鉱床の対象と成りうる品位のものから、超塩基性岩の残留風化土壌とは考えづらい、Ni数100ppmのものまでである。さらに、それぞれのオーガー地点で、垂直的には変化はあるが、その変化は少なく、それぞれの地点が特有の値を持つなどの点から、本地区のラテライト土壌は、やや発達が不十分なラテライト

土壌の可能性がある。

Ni 0.8%以上のやや高い濃度を示すものは中央部の丘陵地域に分布するが、これらの地点では土壌の発達状況は悪く厚さは2から3mである。一方、平坦地では、土壌の発達は5m以上に達するが、Niの濃度は数100ppmから数1,000ppmで低い。従って、本地域には、Ni濃度の高いラテライト土壌も存在するが、その発達する深度は浅く、その分布面積も狭いので、開発するのに十分な鉱量としてはもの足りないと考えられる。

#### 4-2 ピナンドアン地区

##### (1) 調査の目的及び方法

ピナンドアン地区は、サバ中央地域北部のカラマック (Karamuak) 川中流域に位置する東西6 Km、南北5 km (30 km<sup>2</sup>) の地域で、テルピドの南方ほぼ15kmの地点に位置する。

鉱物資源基本図調査で行われた土壌及び河床堆積物による地化学探査の結果、ピナンドアン川流域を中心にAu、Cu、Niの異常帯が抽出され、Au4.1g/tを含むゴッサンの転石が確認された。従って、本地区に銅、金、ニッケルに関係した鉱化作用が存在する可能性が高いと考えられ、カンラン岩中の銅を含む硫化物の探査を目的として地質調査 (準精査) 及びIP法による物理探査を行った。調査量は、調査面積30 km<sup>2</sup> の地区内において調査ルート長52 kmの地質調査 (準精査) 及び測線延長14.4 km、測線数8本のIP法による物理探査である。

IP法による物理探査では時間領域 (タイムドメイン) 法で行い、岩石の電気的特性データを収集する目的で、地表の代表的な岩石・鉱石試料 (7個) を採取し、現地測定と同様にタイムドメイン法IP測定を行った。本地区では、地形が急峻で、且つ起伏に富んでいるため、全測点に2次元有限要素法による地形補正を施した。更に、IP異常の捕捉された測線について2次元有限要素法によるシミュレーション解析を実施した。

##### (2) 調査結果

地質調査の結果、本地区の地質は主にハルツバーチャイトからなるカンラン岩とそれにレンズ状に伴うダンカンラン岩及びカンラン岩中に貫入するハンレイ岩の小岩体よりなる。本調査において確認された鉱化・変質帯は、ハンレイ岩の貫入岩体の周辺部に見られるカンラン岩の変質帯で、蛇紋岩化が著しく、モンモリロン石、緑泥石等の粘土鉱物を伴い、弱い黄鉄鉱の鉱染を伴うもののみで、鉱物資源基本図調査のAu、Cu、Ni異常帯を反映するような鉱化帯は確認できなかった。

本地区で捕捉されたIP異常は、鉱物資源基本図調査の地化学異常帯 (Cu) の分布範囲とほぼ調和的であった。しかし、地質調査で確認されたハンレイ岩に伴う弱い鉱化・変質帯とははっきりした関係は見いだされなかった。地区南西部、ピナンドアンカチール川下流の、過去の調査で黄銅鉱を伴う硫化物脈が確認されている地点 (B測線南部) ではやや強いIP異常を示しており、地下に存在する硫化物の量は比較的多いと推定される。また、今回の調査では、さらに強いIP異常

が、地区南西部から地区北東部（B測線北部、D測線中央部、E測線北部、F測線南部、及びG測線中央部）に捕捉された。これらのIP異常の分布域の地表には顕著な鉍化・変質帯は認められなかったことから、IP異常は潜頭性の貫入岩に伴う硫化物の鉍染あるいは鉍脈によるものと推定される。

地化探異常帯の存在および地区中央北部でこれと重複する顕著なIP異常の存在する点から、この地区の詳しい調査が望まれる。

### 4-3 インバック川地区

#### (1) 調査の目的及び方法

インバック川地区は、サバ中央地域南部に位置し、南北14km、東西7kmの広がりを持つ。この内、北側の南北4km、東西7kmの地域は鉍物資源基本図調査のラプク地区および地化学探査準精査のT地区に含まれ、南側の南北10km、東西7kmの地域は、鉍物資源基本図調査の地域より更に南へ延長した地域である。前者のインバック川地区北部においては、地質調査（準精査）、物理探査を、後者のインバック川地区南部（グノンクリ地区）においては地化学探査準精査を行った。

インバック川地区北部において金及び銀の鉍化作用の探査を目的として地質調査（準精査）及びIP法による物理探査を実施した。調査量は、調査面積28km<sup>2</sup>の地区内において調査ルート長52kmの地質調査（準精査）及び測線延長21.0km（測線数10本）のIP法による物理探査である。なお、鉍化作用に伴う化学的ハローを確認するため、地質調査と平行して201個の岩石試料を採取し、15元素（Ag, As, Au, Ca, Cu, Hg, K, Na, Mg, Pb, Rb, S, Sb, Sr, Zn）による岩石地化学探査を行った。IP法の物理探査は、ピナンドアン地区と同じ方法で行った。

インバック川地区南部（グノンクリ地区）において、インバック川地区北部の金及び銀の鉍化作用の南方への連続性を把握する目的で土壌による地化学探査を実施した。調査量は、調査面積70km<sup>2</sup>の地域内で283個の土壌試料を採取し、21（As, Au, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sr, Ti, U, W, Zn）元素の分析を行った。

#### (2) 調査結果

##### 1) インバック川地区北部（地質調査、物理探査）

地質調査の結果、本地区では前期から中期中新世の泥岩、砂岩及びそれらの互層からなるタンジュン層が広く全域に分布し、これに鮮新世前期の閃緑斑岩が堆積岩に調和的に多く貫入する。貫入岩の多く見られる地区中央南部では堆積岩類が珪化し、黄鉄鉍（硫砒鉄鉍）に鉍染する珪化・黄鉄鉍鉍染帯が約2km×2kmの広がり分布する。この珪化・黄鉄鉍鉍染帯に10から20cm前後の硫化物（黄鉄鉍、硫砒鉄鉍、閃亜鉛鉍）により満たされた石英脈及びレンズが分布し、高品位のAu、Ag（Au 8 - 30 g/t max. 72 g/t、Ag 30 - 100 g/t max. 196 g/t）を含有する。鉍石鉍物の組み合わせは、黄鉄鉍-硫砒鉄鉍-黄銅鉍で、自然金を硫砒鉄鉍中に含む試料もあった。岩石地化学探査の結果、珪化・黄鉄鉍鉍染帯は、Ag、As、Au、Cu、Sの異常帯あるいは高濃度帯に覆わ

れ、本地区の鉱化作用を特徴付けると考えられる第1因子 (Ag-As-Au) の高因子得点を持つ試料が集中して分布する。本地区には、変質鉱物のゾーニングが見られ、地区中央北部の珪化・黄鉄鉱鉱染帯を取りまく様に同心円状に外側からSe/Mo帯、緑泥石帯、絹雲母帯に区別される。

従って、本地区の鉱化作用はAu-Agに特徴付けられ、閃緑斑岩に関係した鉱化作用である。地質状況、鉱石鉱物の組み合わせ、変質鉱物の組み合わせ等から、浅熱水性とは考えられず、しかし、やや低温で生成されたと考えられる銀鉱物を伴う点、Auに比べてAgの含有量の高い物が存在することなどから、生成温度はそう高くないと考えられる。この様な点から本地区に見られる鉱化作用は斑岩型銅鉱床の縁辺部ないしは最上部の可能性が考えられる。閃緑斑岩の貫入時期は鮮新世前期で、金に富む斑岩型銅鉱床であるマムート鉱山の関係火成岩の貫入時期と一致する。

本地区で捕捉されたIP異常は、地区南部に多く分布する貫入岩体に伴う珪化・黄鉄鉱鉱染帯の分布域と調和的であり、更に南へ広がる傾向が認められる。特に、D測線南端部からF測線中央南部では強異常を示しており、黄鉄鉱の鉱染を伴う珪化帯が分布する地域とほぼ一致している。また、本地区で実施された岩石地化学探査の結果、Au異常は地区中南部に分布し、20mV/V以上の中～強分極率異常分布と調和的である。F測線中央南部ではCu異常とS異常が重複しており、30mV/V以上の強分極率異常分布と一致している。従ってF測線中南部を中心とする地域には硫化物が多く存在すると推定される。

従って、珪化・黄鉄鉱鉱染帯域を中心に地下に硫化物の存在する可能性が高く、今後の詳細な探査が待たれる。

## 2) インバック川地区南部(グノクリ地区) (土壌地化学探査)

本地区の地質は、前期～中期中新世のタンジュン層とそれに貫入する閃緑斑岩から成る。閃緑斑岩は地区中央部の両側の山腹に多数の堆積岩類に調和的な貫入岩体として見られ、今回の調査で初めて確認された。年代測定値は、インバック川地区北部と同様の値で、鮮新世前期である。更に、これらの貫入岩体周辺部の堆積岩中には珪化・黄鉄鉱鉱染帯が見られるところがあり、最も顕著なのは、地区北西部及び中央部で、中央部では黄銅鉱に鉱染する閃緑斑岩も見られ、黄銅鉱中に細粒の自然金が確認されるものも存在した。この試料の鉱石品位は (Au 0.9g/t、Ag 1.9g/t、Cu0.64%) である。すなわち、インバック川地区北部の鉱化作用が山脈沿いに南へ延長することを示唆している。地化学探査の結果、本地区では、鉱物資源基本図調査のT地区の土壌地化学探査の結果よりやや高いAs、Au、Cu、Hgの値を示す。地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉱鉱染帯の分布域は、Au、Cu、Hg、S等の異常帯及び高濃度帯に覆われる。因子分析の結果、第2因子 (Au、Cu、Sb、W) 及び第6因子 (As、Au、Hg、S) が本地区の鉱化作用を反映していると考えられ、これらの高い因子得点を持つ試料が分布する地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉱鉱染帯を含む地域が鉱床賦存の可能性が高い地域と考えられる。従ってこの地域及び周辺地域を含めて、今後、詳細な調査が行われることが望まれる。

## 第5章 結論及び提言

### 5-1 結 論

#### (1) テルピド西方地区

本地区の土壤は、ラテライト土壤、超塩基性岩の風化した岩片を含むラテライト土壤及びサポロライトの層序を示し、下位に向かってNiの品位は増加する。Ni0.8%以上のやや高い濃度を示す試料は超塩基性岩の風化した岩片を含むラテライト土壤及びサポロライトで、中央部の丘陵地域に分布するが、これらの地点では土壤の発達状況は悪く、厚さは2mから3mである。一方、平坦地では、土壤の発達は5m以上に達するが、Niの濃度は数100から数1,000ppmで低い。従って、本地域には、Ni品位の高いラテライト土壤も存在するが、その発達する深度は浅く、その分布面積も狭いので、開発するのに十分な鉱量としてはもの足りないと考えられる。

#### (2) ピナンドアン地区

本調査において確認された鉱化・変質帯は、ハンレイ岩の貫入岩体の周辺部に見られるカンラン岩の弱い変質帯で、鉱物資源基本図調査のAu、Cu、Ni異常帯を反映するような鉱化帯は確認できなかった。

本地区で捕捉されたIP異常は、鉱物資源基本図調査の地化学異常帯(Cu)の分布範囲とほぼ調和的であった。一方、地質調査で確認されたハンレイ岩に伴う弱い鉱化・変質帯とははっきりした関係は見いだされなかった。地区南西部、ピナンドアンカチール川下流の、過去の調査で黄鉄鉱を伴う硫化物脈が確認されている地点(B測線南部)ではやや強いIP異常を示しており、地下に存在する硫化物の量は比較的多いと推定される。また、今回の調査では、さらに強いIP異常が、地区南西部から地区北東部(B測線北部、D測線中央部、E測線北部、F測線南部、及びG測線中央部)に捕捉された。これらのIP異常の分布域の地表には顕著な鉱化・変質帯は認められなかったことから、IP異常源は潜頭性の貫入岩に伴う硫化物の鉱染あるいは鉱脈によるものと推定される。

地化学異常帯の存在、及び地区中央北部でこれと重複する顕著なIP異常の存在する点からこの地区の詳しい調査が望まれる。

#### (3) インバック川地区

##### 1) インバック川地区北部(地質調査、物理探査)

鮮新世前期の閃緑斑岩が多く貫入する地区中央南部では堆積岩類が珪化し、黄鉄鉱(硫砒鉄鉱)に鉱染する珪化・黄鉄鉱鉱染帯が約2km×2kmの広がり分布する。この珪化・黄鉄鉱鉱染帯に10から20cm前後の硫化物(黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、閃亜鉛鉱)により満たされた石英脈及びレンズが分布し、高品位のAu、Ag(Au 8 - 30 g/t max. 72 g/t、Ag 30 - 100 g/t max. 196 g/t)を含有す

る。

本地区の鉍化作用はAu-Agに特徴付けられ、閃緑斑岩に関係した鉍化作用であり地質状況、鉍石鉍物の組み合わせ、変質鉍物の組み合わせ等から浅熱水性ではなく、しかし生成温度はそんなに高くはないと考えられ、斑岩型銅鉍床の縁辺部ないしは最上部の可能性が考えられる。閃緑斑岩の貫入時期は鮮新世前期で、金に富む斑岩型銅鉍床であるマムート鉍山の鉍化作用をもたらした火成岩の貫入時期と一致する。

本地区で捕捉されたIP異常は、地区南部に多く分布する貫入岩体に伴う珪化・黄鉄鉍鉍染帯の分布域と調和的であり、更に南へ広がる傾向が認められる。特に、D測線南端部からF測線中央南部では強異常を示しており、珪化・黄鉄鉍鉍染帯が分布する地域とほぼ一致している。また、本地区で実施された岩石地化学探査の結果、Au異常は地区中南部へ広範囲に分布し、20mV/V以上の中～強分極率異常分布と調和的である。F測線中央南部ではCu異常とS異常が重複しており、30mV/V以上の強分極率異常分布と一致している。従って、F測線中南部を中心とする地域には硫化物が多く存在すると推定される。

珪化・黄鉄鉍鉍染帯域を中心に地下に硫化物の存在する可能性が高く、今後の詳細な探査が待たれる。

## 2) インバック川地区南部(ゲノングクリ地区)(土地化学探査)

閃緑斑岩は地区中央部の両側の山腹に多数の貫入岩体としてみられ、今回の調査で初めて確認された。年代測定値は、インバック川地区北部と同様の値で、鮮新世前期である。更に、これらの貫入岩体周辺部の堆積岩中には珪化・黄鉄鉍鉍染帯が見られ、最も顕著なものは、地区北西部及び中央部で、中央部では黄銅鉍に鉍染する閃緑斑岩も見られ、黄銅鉍中に細粒の自然金が確認された。すなわち、インバック川地区北部の鉍化作用が山脈沿いに南へ延長することを示唆している。地化学探査の結果、本地区では、鉍物資源基本図調査のT地区の土地化学探査の結果よりやや高いAs、Au、Cu、Hgの値を示す。地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉍鉍染帯の分布域は、Au、Cu、Hg、S等の異常帯及び高濃度帯に覆われる。因子分析の結果、第2因子(Au、Cu、Sb、W)及び第6因子(As、Au、Hg、S)が本地区の鉍化作用を反映していると考えられ、これらの高い因子得点を持つ試料が分布する地区北西部及び中央部の珪化・黄鉄鉍鉍染帯を含む地域が鉍床賦存の可能性が高い地域と考えられる。従って、この地域及び周辺地域を含めて、今後、詳細な調査が行われることが望まれる。

## 5-2 提言

### (1) テルピド西方地区

Ni品位の高いラテライト土壌及びサポロライトが存在するが、その発達する深度は浅く、分布面積も狭いため十分な鉍量が期待できないと思われる。今後、さらに探査を行うべき積極的理由は見つからない。



## (2) ピナンドアン地区

ピナンドアンバサル川上流のIPの異常帯を中心に、地質精査(3km×3km)および岩石地化学探査を実施し、本地区に存在すると考えられる潜頭性の鉱化作用の兆候を確認し、IP異常の詳細な分布を把握するためIP法による物理探査精査を実施する(Fig. I-4)。

## (3) インバック川地区北部

地区中央南部の珪化・黄鉄鉱染帯を中心に以下の精査を行い、地表下に存在すると考えられるAu、Agの鉱化作用を確認する(Fig. I-5)。

- 1) 精度の良い地形図がないため、珪化・黄鉄鉱染帯を含む地域の地形図を作成する。
- 2) 上記地区内で地質精査を実施する(4km×3km)。
- 3) 鉱化帯を反映すると考えられるIP異常帯の詳細な分布状況を把握するため、IP法による物理探査を実施する。
- 4) IP異常帯および地化学探査の異常帯(Au、Cu、Ag、As、S)に対してボーリング調査を実施する。

## (4) インバック川地区南部(グノンクリ地区)

地区北西部から中央部にかけての珪化・黄鉄鉱染帯が分布し、第2因子と第6因子の高い因子得点を持つ試料が分布する地域(7km×7km)に地質調査(準精査)及び岩石地化学探査を実施して本地区の鉱化作用の性質を明らかにし、インバック川地区北部の鉱化作用の南への連続を追跡する(Fig. I-6)。



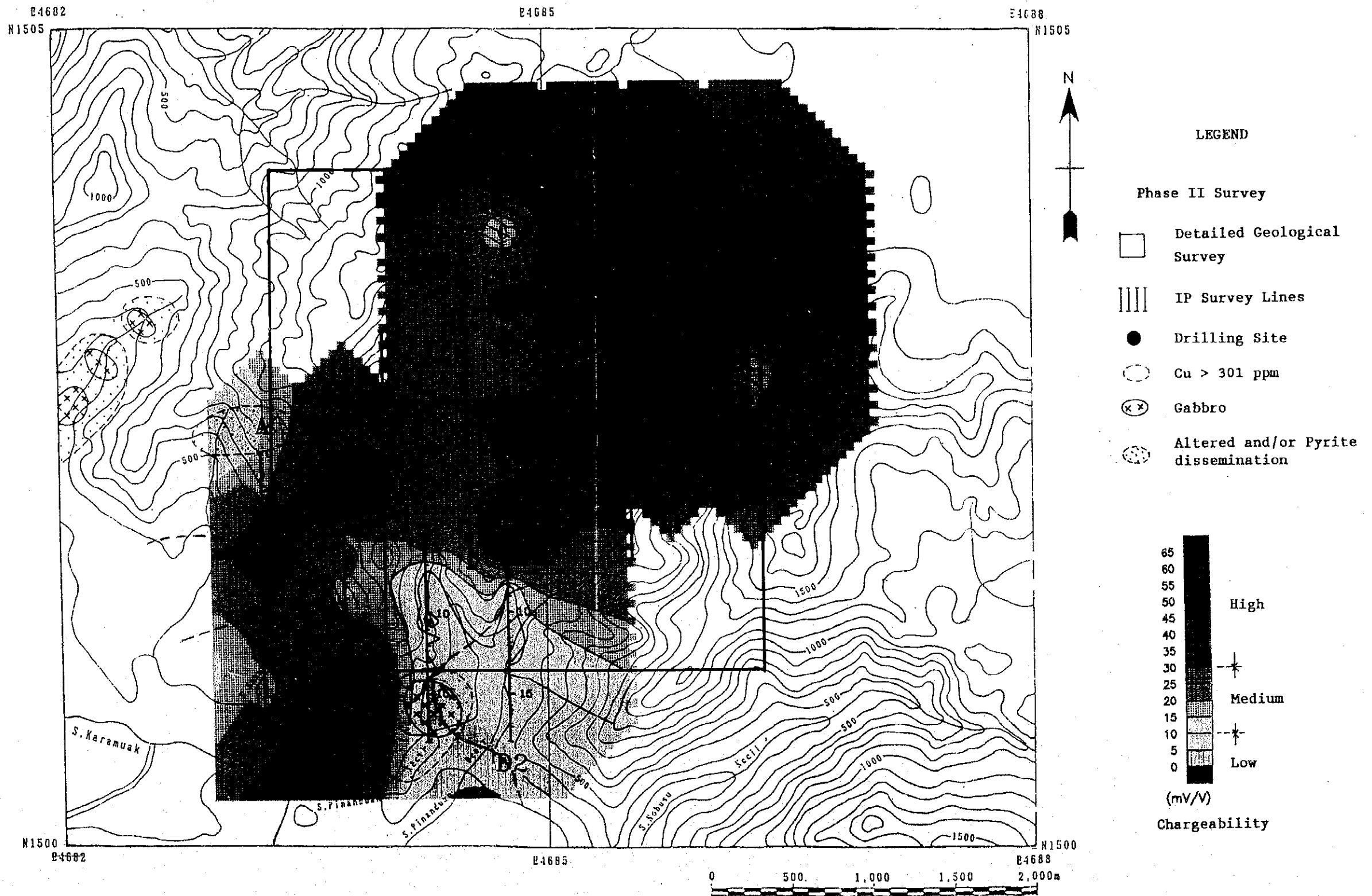


Fig. I -4 Recommendation for future work in Pinanduan Sub-area

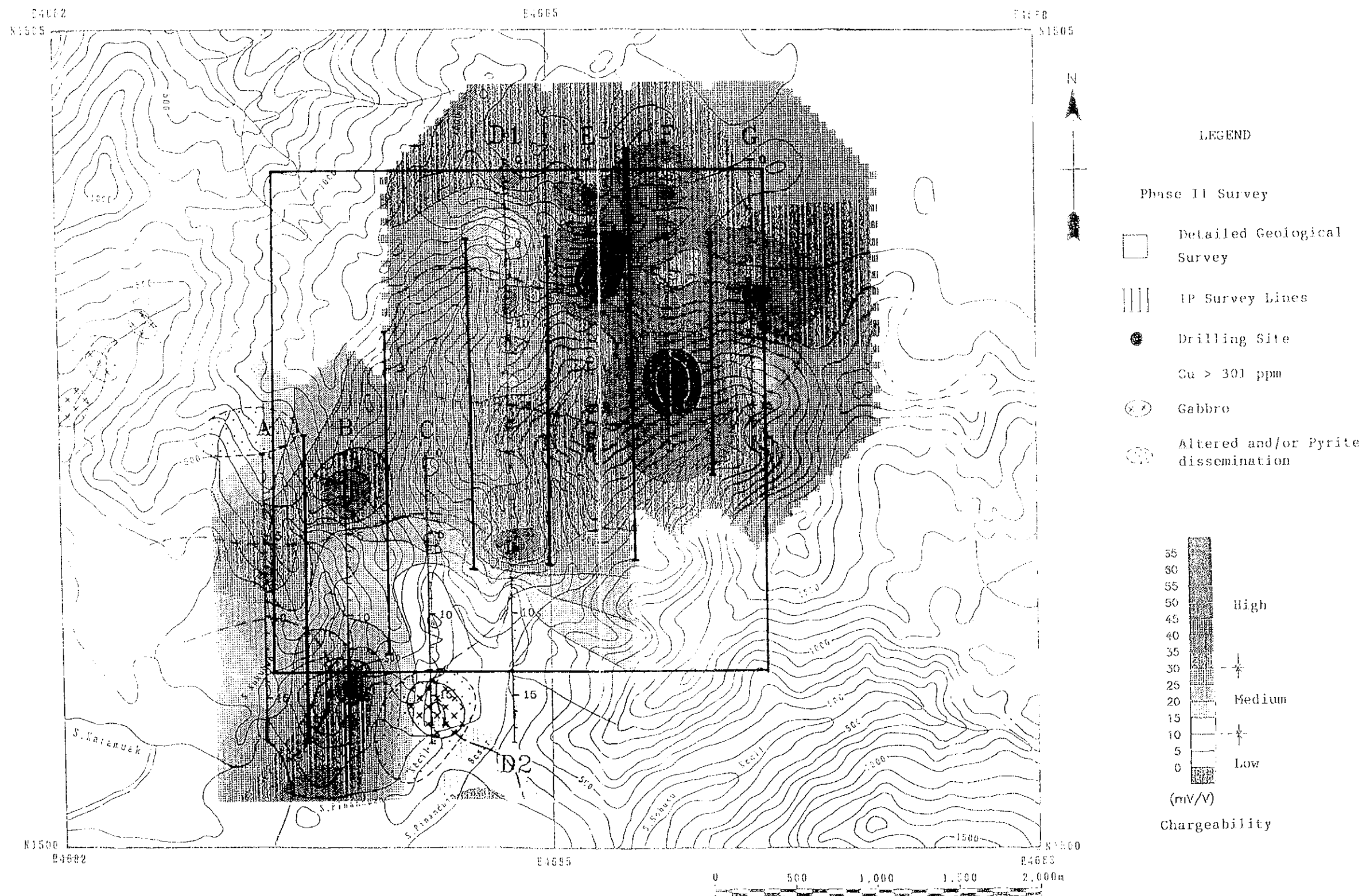


Fig. 1-4 Recommendation for future work in Pinanduan Sub-area

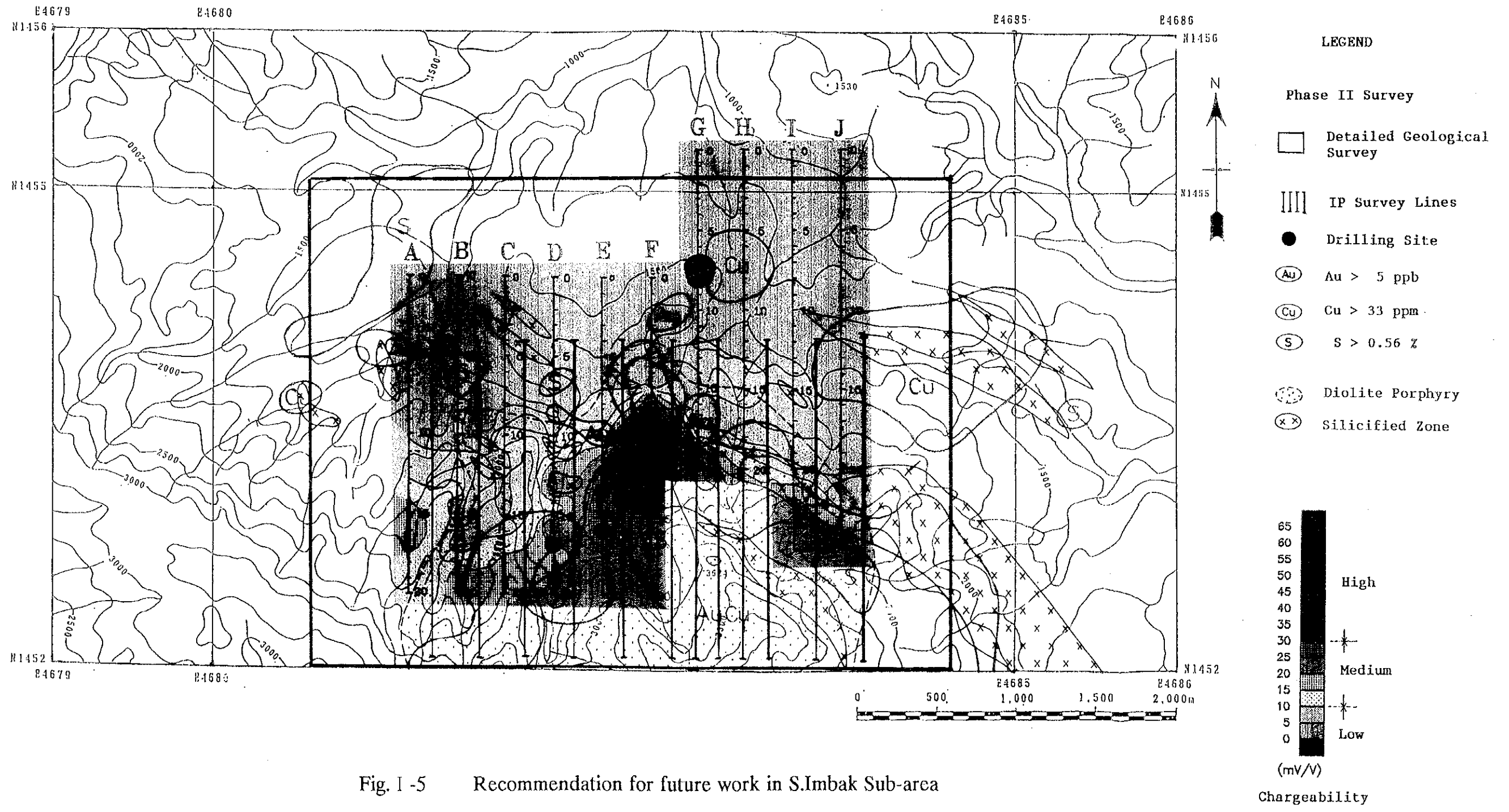
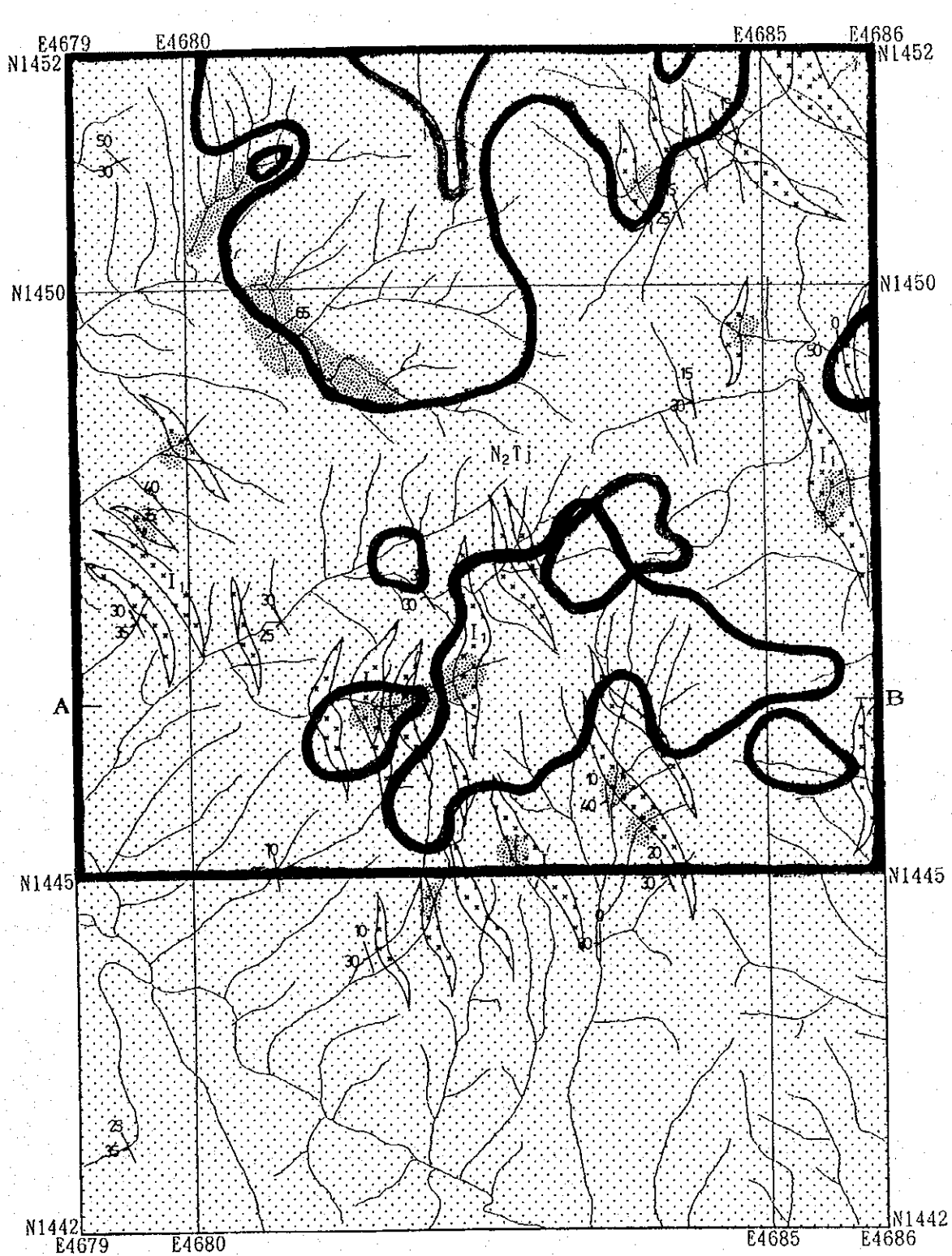


Fig. I -5 Recommendation for future work in S.Imbak Sub-area





- Zone of Factor 2 high factor scores
- Zone of Factor 6 high factor scores
- Area of recommendation for further work

Fig. 1-6 Recommendation for future work in S. Imbak Sub-area (Gunong Kuli Sub-area)





## 第Ⅱ部 各論



# 第1章 テルピド西方地区

## 1-1 調査の概要

### 1-1-1 調査地区の概要

テルピド西方地区は、サバ中央地域の北部に位置し、その東端はテルピドの町に近接する広さ16km<sup>2</sup>（東西4km×南北4km）の地区である。本地区内の北部を主要道路であるラナウとサンダカンを結ぶ道路が通り、南部をテルピドと付近の村落を結ぶ道路が通り、交通は至便である。サバ州の主要河川の一つであるラブク川は、本地区の北部を西から東に流れ、テルピド川等のラブク支流の小河川が調査地区内を流れる。地区内の地形は、地区南部に約500mの稜線が西南西-東北東方向に走るが、それ以外は平坦ないしは丘陵地形で、100m前後の平坦地と地区中央部を北東-南西方向に走る、150mから300mの丘陵地からなる。ハンドオーガー及びピットは、この丘陵地周辺で行った。南部の山岳地域及び丘陵地域の一部は二次ジャングルに覆われ、それ以外は主に油用ヤシのプランテーションが行われている。

### 1-1-2 調査の経緯

サバ州では、超塩基性岩体が多く分布し、その周辺にはラテライト質の土壤が分布することが知られているが、開発可能なニッケル鉱床の発見までには至っていない。

鉱物資源基本図調査の第4年次（平成5年度）において、テルピド周辺地域であるN地域でラテライト土壤の調査が行われた。広さ21km<sup>2</sup>の地域で、170地点においてそれぞれ深度50cm及び150cmの試料を採取した結果、N地域中央部の丘陵地域を中心にNi 6,000ppm以上の値が得られ、最大値で1.45%のものが得られた。したがって、本地域にニッケル鉱床賦存の可能性が高いと考えられ、N地区中央部の丘陵地域を覆うようにテルピド西方地区を設定しラテライト土壤の調査を行った。

### 1-1-3 調査方法及び調査量

鉱物資源基本図調査の地化学探査異常帯を中心に、ハンドオーガー及びピットを用いて基盤までのラテライトの性状を解明することを目的として調査を行った。特にNiが一番濃集すると考えられる、ラテライト土壤と基盤岩の境界部付近の性状を知ること留意した。掘削深度は、ハンドオーガー、ピット共に平均4mとなるように努めた。尚、ハンドオーガーは径3インチ（約7.5cm）のものを使用し、ピットの大きさは1m×1mである。本地区中央部の丘陵地帯を中心に200mのグリッドを設定し、ハンドオーガー64地点、ピット4地点で計画したが、一部の地点において4m未滿で硬質の岩盤及び礫に富む層準に到達し、4mまで到達することが不可能であったので、最終的にはハンドオーガーは72地点で、ピットは5地点で行った。

ハンドオーガー調査においては、土壤の性状、色等に着目して柱状図を作成し、1m毎に採取長

1 mに渡って試料を採取した。ピット調査では、土壌の記載及びスケッチを行うと同時に50cm毎に採取長50cmに渡って試料を採取した。採取した土壌の試料数は、オーガーで261個、ピットで31個、計292個である。

オーガーの試料、ピットの試料共に、採取量は約1 kgで、自然乾燥及び縮分の後、-80メッシュの篩別試料とし、分析試料とした。

分析元素は、以下の5元素である。

元素名	検出限界	元素名	検出限界
Al	0.01 %	Co	1 ppm
Fe	0.01 %	Cr	2 ppm
Ni	1 ppm		

ラテライト質ニッケル鉱床は、蛇紋岩ないしは超塩基性岩がラテライト化作用を受けてニッケルに富む土壌が生成され形成されるものである。すなわち、ラテライト化作用に伴い、超塩基性岩のMg珪酸塩は分解し、Si、Ca及びMg等の元素が取り去られてしまい、ラテライト質ニッケル鉱床の地域に典型的にみられるNiに富む土壌の断面が形成される。源岩の超塩基性岩は、ほとんどカンラン石から形成されていたと考えられるが、一般にカンラン石は、0.3 %から0.4 %のニッケルを含むが、ラテライト質ニッケル鉱床ではニッケル含有量は2 %に達する。ラテライト土壌は、層状を成し、一般的な例によれば（たとえば Guilbert and Park, 1986）、最上部は鉄酸化物に富むクラスト、その下部にラテライト土壌、風化の著しい蛇紋岩から成るサポロライトを経て基盤岩の超塩基性岩となる。Niに最も濃集するのは、サポロライトの部分で、Niを含む蛇紋石であるガーニエライトを伴う。

## 1-2 調査結果

鉱物資源基本図調査及び今年度調査の結果、テルピド西方地区では、中央部の丘陵部及び南部の山岳地帯は、主にハルツバージャイトからなる蛇紋岩化したカンラン岩からなり、平坦地はほとんど岩石の露出はないが、チャート、玄武岩（チャート・スピライト層）からなる。超塩基性岩の露出は、丘陵部北部にみられ、風化した露頭では局所的にガーニエライト様の青緑色の鉱物を含む部分も見られる。鉱物資源基本図調査の結果では、この様な風化した超塩基性岩から0.80 %および1.32%のNi品位が得られた。調査地区の表層の土壌の色は、中央部の丘陵地では、赤褐色のラテライト土壌に覆われ、平坦地では、その色はやや橙褐色ないしは黄褐色となる。

Fig. II-1-1にハンドオーガー及びピットの位置を示す。

### 1-2-1 ハンドオーガー調査

ハンドオーガーは、72地点で行い、261個の試料を採取した。これらの柱状図をAppendix 1に示す。

本調査地域の土壌の層序は、最上部の腐食土壌、ラテライト土壌、ラテライト土壌に風化した超塩基性岩の岩片を含むもの、風化した超塩基性岩（サポロライト）、基盤岩の超塩基性岩からなる。ラテライト土壌の発達する地域に一般的に見られる、ラテライト土壌を覆う、鉄酸化物に富む土壌は、本地域では見られない。

腐食土壌は、暗褐色の有機物を含む土壌で、本地域ではあまり発達せず丘陵地の裾部分で0.05から0.10mの厚さでわずかに見られるのみである。土壌試料の採取においては、本層を除外して行った。

ラテライト土壌は、腐食土壌の下部でサポロライトの上部に見られ、本地域においては1.5 mから5.0 m以上に達する。中央部の丘陵地北部では、土壌の発達が悪く、2.0 m前後でラテライト土壌から直接、超塩基性岩の礫に富む層あるいは岩盤に達し、ハンドオーガーによる掘削はそれ以上不可能となる。中央部丘陵地の東西の斜面では、ラテライト土壌の発達は、2 mから4 mで、平坦地においては5 m以上に達する。ラテライト土壌のみから成るものと、中礫サイズの超塩基性岩の風化した岩片をラテライト土壌に含むものと二種類あり、一般に前者は後者の下部に見られ、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌を経てその下部でサポロライトに移化する。含まれる超塩基性岩の岩片は、一般に、風化し、粘土化したものがほとんどである。ラテライト土壌の色は、暗灰色（DG）及び灰色（G）の灰色系統のものと褐色系統のものがあり、褐色系統のものが主体をなす。褐色系統のものは、淡褐色（LB）、黄褐色（YB）、褐色（B）、暗褐色（DB）、橙褐色（OB）、赤褐色（RB）に区別した。一般に、平坦地では淡褐色、黄褐色、褐色のものが主流を成し、丘陵地及び丘陵地斜面では橙褐色及び赤褐色のものが主体を成す。地表に露出するラテライト土壌においても、中央部の丘陵地中央部から南部にかけて赤褐色の土壌が分布する。

サポロライトは、超塩基性岩の組織をのわずかに残すが、著しい風化作用により土壌となっているもので、その上位の超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌からあまりはっきりした境界を持たないでサポロライトへ変化する。サポロライトの下部は、より新鮮な超塩基性岩へと変換し、ハンドオーガーによる掘削が不可能となる。サポロライトの分布する地域は中央部の丘陵地の南東斜面及び斜面から平坦地にかけての地域で、発達状況は1.0 m未満ですぐに硬質な岩盤へ移る場合から少なくとも3 m以上はあると思われるものとある。サポロライトの産状は、超塩基性岩の組織を残しながらも、完全に粘土化したものから、超塩基性岩の細粒片からなる砂質のものまでである。色は、その上位のラテライト土壌と同色の赤褐色、橙褐色の場合が多いが、それ以外にも緑灰色（GG）、灰色（G）のものがある。

### 1-2-2 ビット調査

鉱物資源基本図調査における土壌分析の結果に基づき、高いNi値が得られた地点を中心に、5

箇所の地点においてピットによる調査を行った。ピットのスケッチを Fig. II-1-2 に示す。

PT1 及び PT2 において岩盤の深度が浅く、それぞれ2.60 m 及び 1.60 m で新鮮な基盤岩に到達し、それ以深は掘削不可能であった。PT1のみで見られる腐食土壌の下部は、両ピット共に似たような土壌断面を示し、橙褐色のラテライト土壌で、それぞれ 1.5 m 及び 1.2 m で中礫サイズの超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌となりサポロライトを経ないで新鮮な岩盤となる。基盤岩は蛇紋岩化したハルツバーチャイトである。

PT3、PT4 及び PT5 においては、上部にラテライト土壌が分布し、その下部にサポロライトが分布する。PT3 においては、大きさ数cmの著しく風化して粘土化した超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌が 2.6 m まで分布し、その下位にはサポロライトが分布するが、厚さ 1m で新鮮な超塩基性岩に到達し掘削不可能となる。PT4 においては、ラテライト土壌が 2.6 m まで分布しその下位で 0.5 m の厚さで、数 cm の超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌が分布し 3.1 m よりピットの底面まで 1 m、粘土化し超塩基性岩の組織を残すサポロライトが続くが、それ以深は現在の地下水面が 3.0 m 付近にあるため掘進不可能である。PT5 においては、1.70 m までラテライト土壌で、それから 0.5 m、著しく風化した超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌となり、厚さ約 2.0 m で粘土化したサポロライトが続き新鮮な超塩基性岩となる。サポロライト中に数 mm の緑色の脈が割目を満たす様に発達し、緑泥石から成る (Table II-1-1)。

これら、ピット調査の結果、本地域中央部の丘陵地北部においては、ラテライト土壌の発達が悪く 2 m 前後でサポロライトを伴わないで直接に新鮮な超塩基性岩となる。一方、丘陵地中央部では、地表から約 2.5 m、ラテライト土壌が発達し、その下位はサポロライトが分布するが、その厚さは1 m から 2 m で新鮮な岩盤となる。ピットにおけるラテライト土壌及びサポロライトの色は赤褐色ないし橙褐色である。超塩基性岩は、蛇紋岩化したハルツバーチャイトである。

### 1-2-3 土壌分析結果

ハンドオーガー及びピットによる調査をそれぞれ72地点及び5地点の合計77地点で行った。それらから合計292試料を採取した。これらの分析値をそれぞれハンドオーガー柱状図 (Appendix 1) 及びピットのスケッチ (Fig. II-1-2) に示す。

典型的なニッケルラテライト鉱床の例によると、Niは表層部の鉄酸化物に富むクラスト部からラテライト土壌中を深度と共に増加し、0.5%前後から1.0%前後となり、サポロライト中で急激に増加し2.0%から3.0%に達する。一方、Cr、Al、Feは、鉄酸化物クラスト、ラテライト土壌、サポロライトと深度が深くなるに従って減少する。Coは、表層部及び深部で少なく、中間のラテライト土壌で最も高く0.15%前後である。

本地区の土壌の分析値の結果を見ると以下の様な特徴がみられる。

Al : 0.49%から16.06%の間の値を示し、通常1.0%から10.0%の間の値を示す物が多く明らかにCo、Fe、Cr、Niと負の相関を示す。一般に深度の増加と共に減少する。

Co : 7ppmから2,932ppmの間の値を示し、通常数100ppmの値を持つものが多い。一般に、Niと正の相関を示すが、Niが1.0%以上となるとそれ以上Niの増加に伴って増加はしない。表層から深度と共に増加し、深部のサポロライトで再び減少する傾向がある。

Fe : 2.69%から59.03%の間の値を示し、通常10.0%から40.0%の値を持つものが多い。Coと似た傾向を示し、表層から深度と共に増加し、深部のサポロライトで再び減少する傾向がある。

Cr : 81ppmから15,354ppm (1.54%) の間の値を示し、1,000ppm (0.1%) から10,000ppm (1.0%) のものが多い。Co、Feと似た傾向を示し、表層から深度と共に増加し、深部のサポロライトで、Niは増加するがCrは減少する。

Ni : 71ppmから21,971ppm (2.20%) の間の値を示し、通常数100ppmから10,000ppmの間の広い範囲の値を示す。表層部から深度と共に増加する傾向があり、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌及びサポロライトで最大値を示す。サポロライト下部で超塩基性岩の岩盤に近づくと品位はやや落ちる。

以上まとめると、Alは深度の増加に伴い減少する。Co、Cr、Feは、Niと正の相関を示すが、前三者は、ラテライト土壌で濃度が最大となり、サポロライトで減少するが、Niは深度と共に濃度が増加し、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壌及びサポロライトで最大となる。典型的なニッケルラテライト鉱床の最上部に見られる酸化鉄に富むクラストは、本地区では見られない。

本地区のNiの品位は数100ppmから2.0%に達するものまで非常に広い値を持ち、ニッケルラテライト鉱床の対象と成りうる品位のものから、超塩基性岩の残留風化土壌とは考えづらい、Ni数100ppmのものまでである。さらに、それぞれのオーガー地点で、垂直的には変化はあるが、その変化は少なく、それぞれの地点が特有の値を持つなどの点から、本地区のラテライト土壌は、やや発達が不十分なラテライト土壌の可能性がある。

土壌の色とNi品位の関係について見ると、一般に赤褐色及び橙褐色のもので品位が高く、黄褐色から淡褐色のもので品位が低い。赤褐色及び橙褐色の土壌は、地区中央部の丘陵地山頂部及び山腹部に多い。

それぞれのオーガー及びピット地点において、深度の変化に伴うNi品位の変化が少ない事から、それぞれの地点で異なる深度で採取した試料の平均値をその地点の品位とし、これらを、Ni1.2%、0.8%、0.5%でランク分けし、4つのランクに分けて平面上に表した (Fig. II-1-3)。各ランクの頻度及び平均掘削深度は次のように表せる。

	地点数	平均掘削深度
Ni 1.2% 以上	14 (18.1%)	2.8 m
Ni 1.2% ~ 0.8%	21 (27.3%)	3.1 m
Ni 0.8% ~ 0.5%	9 (11.7%)	3.7 m
Ni 0.5% 以下	33 (42.9%)	4.0 m
計	77	

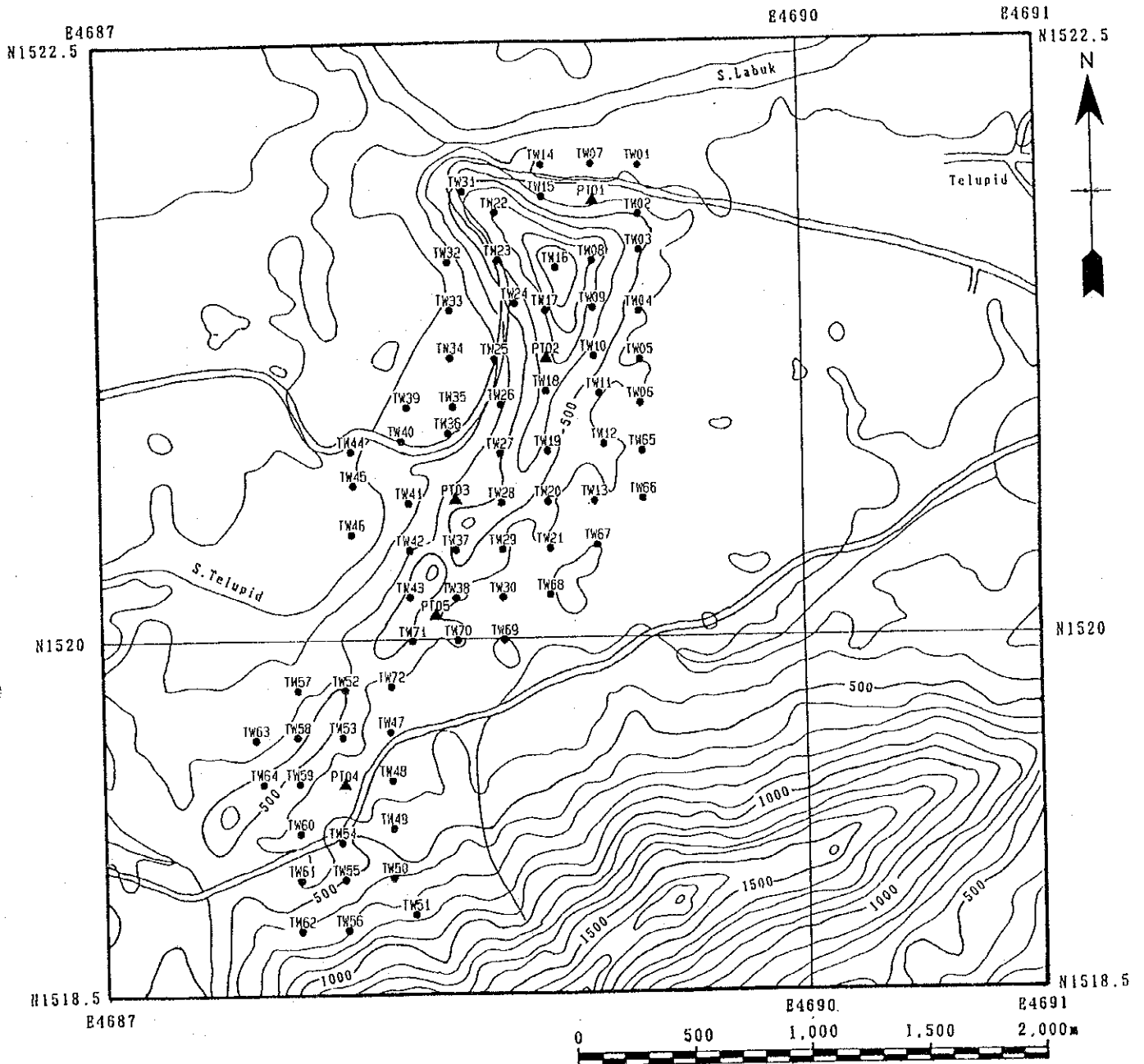
Ni 1.2%以上の試料は、丘陵地の稜線部及び山腹に沿って分布する。中品位の試料 (Ni 0.5%から Ni 1.2%) は、高品位の試料を取り囲む様に稜線の両山腹に分布する。一方、品位の低い試料は、平坦地に分布する。品位の高い試料は、平均掘削深度で示す様に、土壤の発達が悪く、特に丘陵地北部では2mから3mで岩盤ないしは硬質の礫を多く含む層に到達し、それ以上の掘削が不可能となる。一方、平坦地では土壤の発達は良く5m以上に達するが、Ni品位は低い。

### 1-3 考 察

本地区のラテライト土壤は、典型的Niラテライト鉱床の地域に類似した化学的性質を示す。Alは深度の増加に伴い減少し、Co、Cr、Feはラテライト土壤で濃度が最大となり、サポロライトで減少するが、Niは深度と共に濃度が増加し、超塩基性岩の岩片を含むラテライト土壤及びサポロライトで最大となる。ニッケルラテライト鉱床の最上部に見られる酸化鉄に富むクラストは、本地区では見られない。本地区のNiの品位は数100ppmから2.0%に達するものまで非常に広い値を持ち、ニッケルラテライト鉱床の対象と成りうる品位のものから、超塩基性岩の残留風化土壤とは考えづらい、Ni数100ppmのものまでである。さらに、それぞれのオーガー地点で、垂直的は変化はあるが、その変化は非常に少なく、それぞれの地点が特有の値を持つなどの点から、本地区のラテライト土壤は、やや発達が不十分なラテライト土壤の可能性がある。

Ni 0.8%以上のやや高い濃度を示すものは中央部の丘陵地域に分布するが、これらの地点では土壤の発達状況は悪く厚さは2から3mである。一方、平坦地では、土壤の発達は5m以上に達するが、Niの濃度は数100から数1,000ppmで低い。従って、本地域には、Ni濃度の高いラテライト土壤も存在するが、その発達する深度は浅く、その分布面積も狭いので、開発するのに十分な鉱量としてはもの足りないと考えられる。



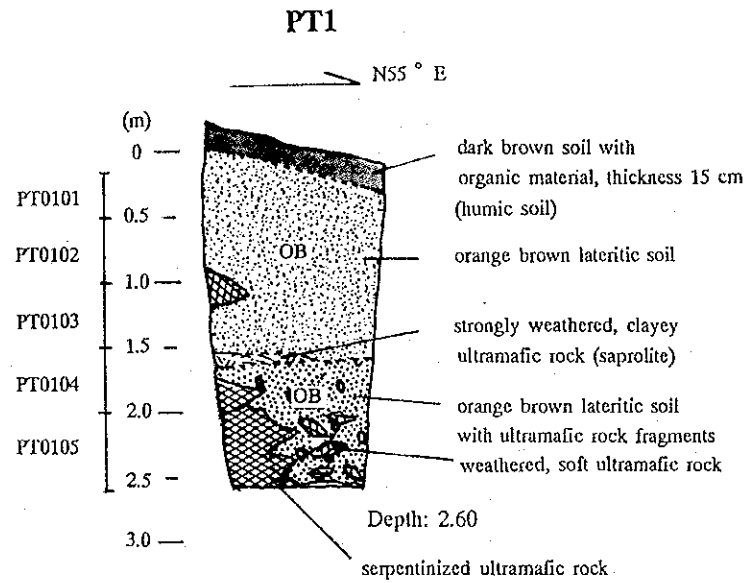


- Location of hand auger
- ▲ Location of pit

Fig. II-1-1 Location map of hand auger and pit sites in Telupid West Sub-area

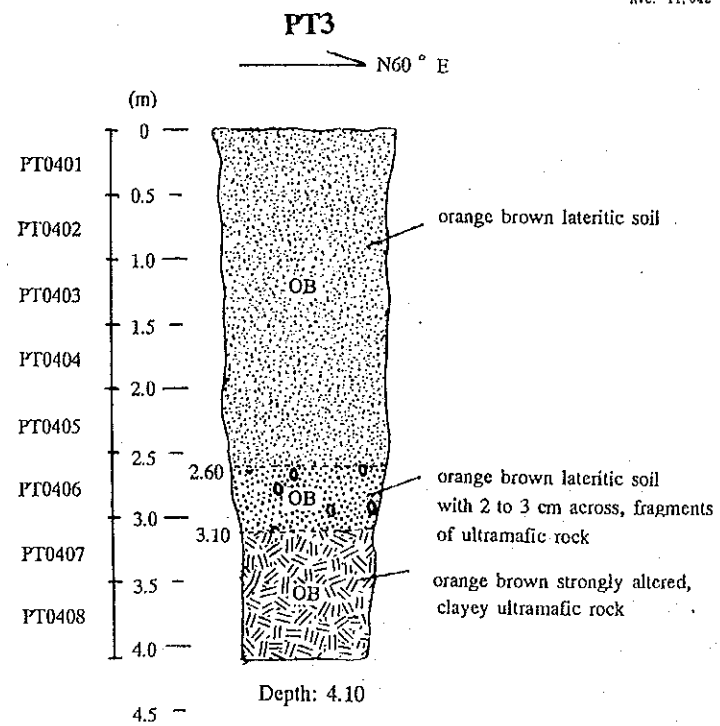






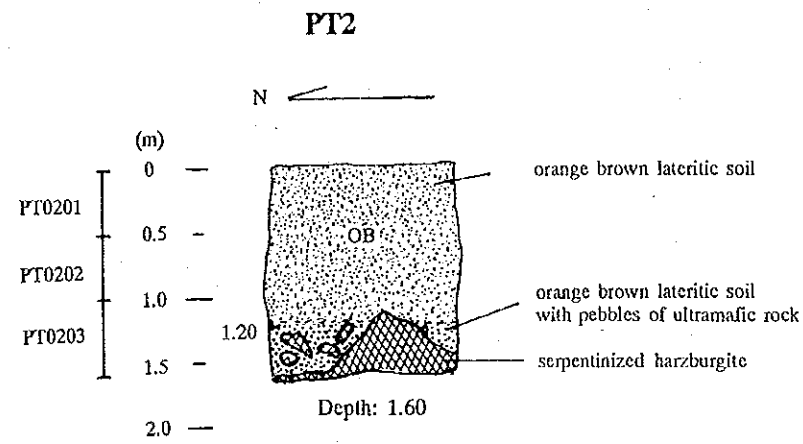
Coordinates: E4689.12, N1521.83		Vegetation: secondary forest		Slop: moderate		
Sample No.	Depth(m)	Analytical Results				
		Al (%)	Co(ppm)	Fe(%)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
PT0101	0.15 - 0.50	2.72	729	53.51	6,498	11,424
PT0102	0.50 - 1.00	2.19	808	51.20	5,634	13,460
PT0103	1.00 - 1.50	1.85	728	46.52	5,882	12,386
PT0104	1.50 - 2.00	0.93	614	36.36	4,471	12,197
PT0105	2.00 - 2.60	1.15	329	21.70	3,945	9,744

Ave. 11.842



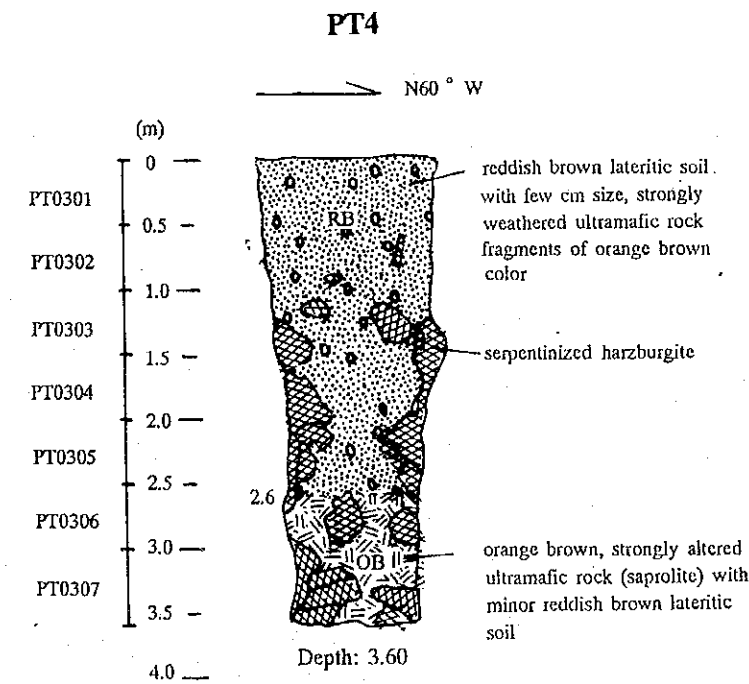
Coordinates: E4688.02, N1519.38		Vegetation: plantation of oil palm		Slop: flat		
Sample No.	Depth(m)	Analytical Results				
		Al (%)	Co(ppm)	Fe(%)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
PT0401	0.00 - 0.50	10.34	198	32.91	6,995	2,687
PT0402	0.50 - 1.00	8.70	258	33.00	7,229	3,111
PT0403	1.00 - 1.50	8.80	279	34.52	8,841	3,532
PT0404	1.50 - 2.00	8.72	356	40.01	10,795	4,239
PT0405	2.00 - 2.50	8.95	266	37.64	12,771	3,771
PT0406	2.50 - 3.00	10.80	167	30.38	7,875	2,938
PT0407	3.00 - 3.50	11.68	413	23.42	7,153	2,332
PT0408	3.50 - 4.10	12.63	869	18.04	7,653	2,113

Ave. 3.090



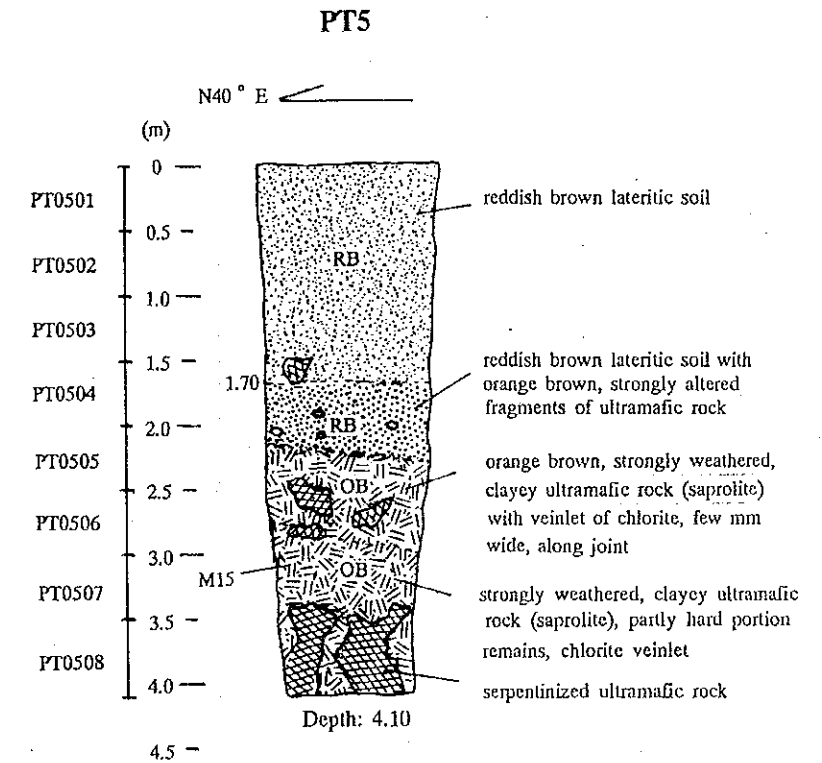
Coordinates: E4688.91, N1521.17		Vegetation: secondary forest		Slop: steep		
Sample No.	Depth(m)	Analytical Results				
		Al (%)	Co(ppm)	Fe(%)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
PT0201	0.00 - 0.50	3.48	576	43.96	9,150	7,686
PT0202	0.50 - 1.00	3.74	687	46.87	11,643	11,637
PT0203	1.00 - 1.60	3.10	675	42.26	11,697	14,564

Ave. 11.096



Coordinates: E4688.51, N1520.58		Vegetation: plantation of oil palm		Slop: steep		
Sample No.	Depth(m)	Analytical Results				
		Al (%)	Co(ppm)	Fe(%)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
PT0301	0.00 - 0.50	2.68	534	57.52	8,813	9,971
PT0302	0.50 - 1.00	2.31	1,187	59.03	8,484	12,483
PT0303	1.00 - 1.50	1.81	1,214	57.42	6,204	17,230
PT0304	1.50 - 2.00	1.21	1,018	55.23	5,896	21,971
PT0305	2.00 - 2.50	10.38	1,080	58.27	6,092	19,351
PT0306	2.50 - 3.00	0.59	130	32.20	6,519	3,032
PT0307	3.00 - 3.60	10.34	575	29.77	5,464	7,431

Ave. 13.067

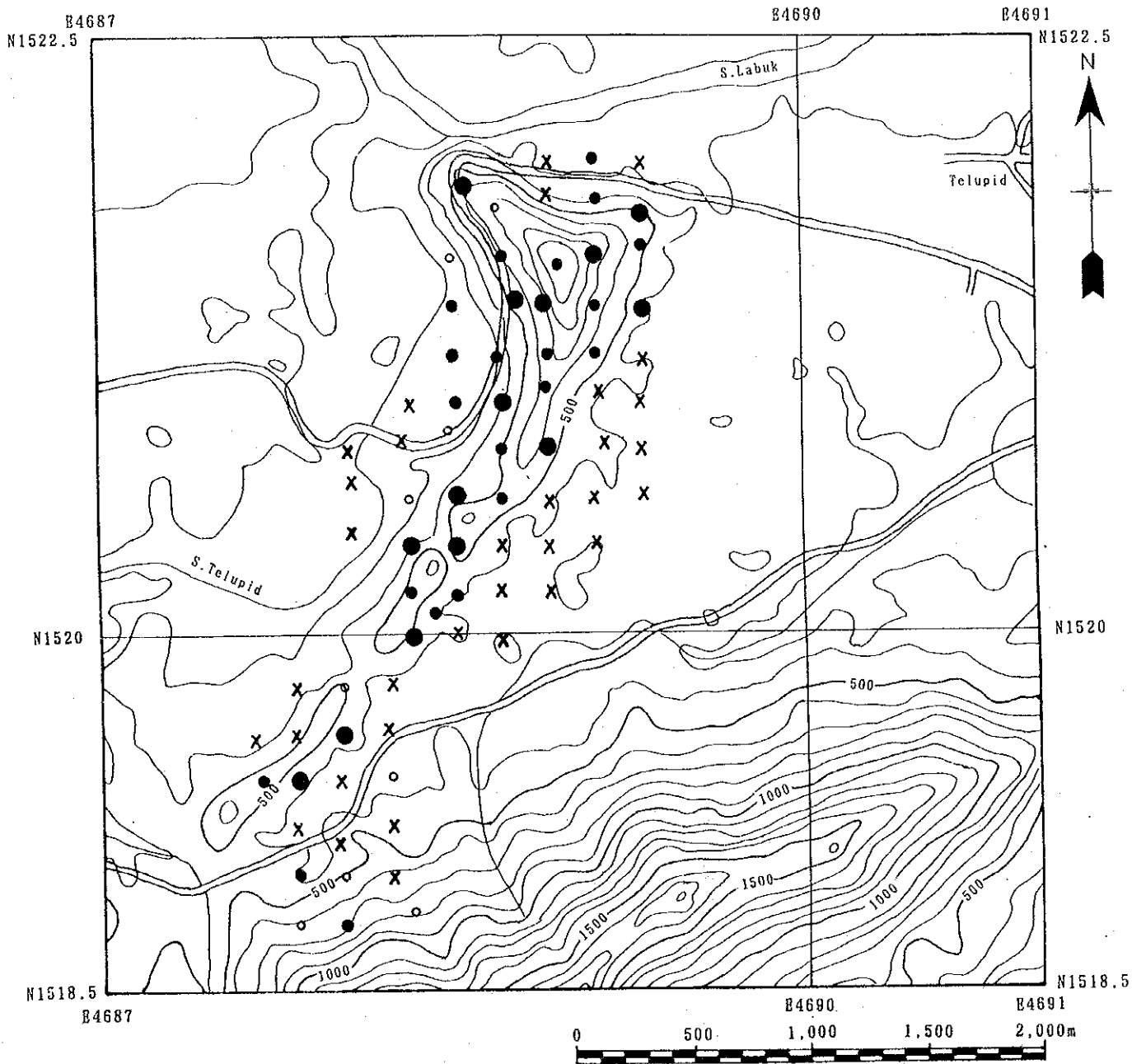


Coordinates: E4688.42, N1520.10		Vegetation: plantation of oil palm		Slop: moderate		
Sample No.	Depth(m)	Analytical Results				
		Al (%)	Co(ppm)	Fe(%)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
PT0501	0.00 - 0.50	3.11	519	34.46	6,124	6,355
PT0502	0.50 - 1.00	3.02	351	32.09	6,840	4,807
PT0503	1.00 - 1.50	4.93	803	53.26	8,828	8,355
PT0504	1.50 - 2.00	4.01	1,084	51.31	10,604	11,829
PT0505	2.00 - 2.50	3.84	791	41.24	6,260	14,974
PT0506	2.50 - 3.00	3.35	453	23.25	5,149	18,668
PT0507	3.00 - 3.50	1.52	465	19.79	3,637	18,846
PT0508	3.50 - 4.10	2.55	231	10.51	1,932	4,080

Ave. 10.869

Fig. II-1-2 Sketch and analytical results of Pit





- Ni  $\geq$  1.2 %
- 1.2% > Ni  $\geq$  0.8 %
- 0.8 % > Ni  $\geq$  0.5 %
- x 0.5 % > Ni

Fig. II -1-3 Distribution of Ni in Telupid West Sub-area

Table II-1-1 Result of X-ray diffraction analysis in the Telupid West Sub-area

Ser. No.	Sample No.	Coordinates		Description	Identified Minerals													Remarks										
		N	E		Se/Mo mixed layer	Kaolinite	Chlorite	Sericite	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Amphibole	Pyrite	Hematite	Chalcopyrite	Arsenopyrite												
1	M15	4688.42	1520.10	green mica veinlet in peridotite																								

◎: abundant    ○: common    +: a little    ·: rare

## 第2章 ピナンドアン地区

### 2-1 調査の概要

#### 2-1-1 調査地区の概要

ピナンドアン地区は、サバ中央地域北部のカラマック (Karamuak) 川中流域に位置する東西 6 km、南北 5 km (30 km<sup>2</sup>) の地域で、テルピドの南方ほぼ 15 km の地点に存在する。本地区は、カラマック川の北東岸にあたり、南西部をカラマック川が北西から南東方向へ流れ、ククボン川 (S. Kukubon)、ピナンドアンカチール川 (S. Pinanduan Kecil)、ピナンドアンバサル川 (S. Pinanduan Besar)、ノブスカチール川 (S. Nobusu Kecil) 等の支流がカラマック川に注ぐ地域である。地区南西部は、カラマック川に沿って標高約 60 m から 100 m の平地が発達する。地区北東部の山頂部は、標高約 500 m の平地で、タヴァイ台地 (Tavai Plateau) と呼ばれ、本地区よりさらに東方へ伸びている。台地とカラマック川沿いの平地の間は南西方向に向くやや急峻な斜面である。植生は二次ジャングルで、地域内は中小の樹木が密生している。現在も、地区近辺で木材の伐採が行われており、交通は至便で、調査地域内まで、テルピドより木材運搬用道路を利用して 45 分で到達する。調査は、地区内にキャンプを設営し行った。

#### 2-1-2 調査の経緯

本地区内において、1960年代の初期に銅及び鉄を対象に探査が行われた経緯がある (Lewis, 1964)。当探査で実施されたボーリング、ハンドオーガー、ピット調査の結果、ハンレイ岩の小貫入岩体に伴うカンラン岩中の磁硫鉄鉱を主とし、それに黄銅鉱、亜鉛硫化物を伴う鉱化作用及び銅を伴う褐鉄鉱に富む土壌が確認されている。しかし、カンラン岩中の硫化物の鉱化作用は、経済的な量ではなく、褐鉄鉱に富む土壌の量は酸化物としての銅を 0.7% 含み、その量は百万 t 以上と言う結論で、その後、放置されている。それ以外にも、本地区内北東部から北東方向に延びるタヴァイ台地において、Fe 及び Ni の探査が行われており、Fe 41% を含むラテライト質土壌が 76 百万 t 存在することが確認されている。

鉱物資源基本図調査で行われた、本地区を含む 42 km<sup>2</sup> の地域 (Q 地区) における土壌及び河床堆積物による地化学探査の結果、ピナンドアン川流域を中心に Au、Cu、Ni の異常帯が抽出され、Au 4.1 g/t を含むゴッサンの転石が確認された。従って、本地区に銅、金、ニッケルに関係した鉱化作用が存在する可能性が高いと考えられ、地質調査 (準精査) 及び IP 法による物理探査を実施した。

#### 2-1-3 探査手法及び調査量

カンラン岩中の銅を含む硫化物の探査を目的として地質調査 (準精査) 及び IP 法による物理探査を行った。調査量は、調査面積 30 km<sup>2</sup> の地区内において調査ルート長 52 km の地質調査 (準



精査)及び測線延長14.4 km、測線数8本のIP法による物理探査である。鉱物資源基本図調査により確認した地化学探査の異常帯と地質との関係及び地表下の硫化物の存在の可能性を解明する事を目的とし、これらの調査を行った。

## 2-2 地質調査

### 2-2-1 調査方法

本調査では、5万分の1地形図を基にして作成した地形図を拡大して5千分の1とし、ルートマップとして使用した。調査は、主に主要河川沿いに行い、物理探査の測線沿い及び露頭が存在すると思われる所では稜線沿いも行った。代表的な岩石試料及び鉱石試料については、岩石薄片及び鉱石研磨片を作成し検鏡を行った。更に、鉱徴地では変質の性質を明らかにするためX線回折試験及び鉱石分析を行った。

### 2-2-2 地質

本地区の地質は、白亜紀より第三紀初期にかけて形成されたと考えられているオフィオライト系列の岩石の一部である主にハルツバージャイトからなるカンラン岩(Pr)、ダナイト(Du)、ハンレイ岩(Gb)及び第三紀始新世～漸新世のクロッカー層(P<sub>2</sub>Cr)より構成される。本地区の地質図及び断面図をPlate II-2-1、Fig. II-2-1に、模式層序図をFig. II-2-2示す。本調査で行った各種室内試験の試料採取位置をFig. II-2-3に示す。薄片及び鉱石研磨片の観察結果をTable II-2-1及びTable II-2-2に、X線回折試験結果及び鉱石試料分析結果を、それぞれ、Table II-2-3及びTable II-2-4に示す。

カンラン岩は、レンズ状のダナイト、ハンレイ岩の小貫入岩体を伴って本地区内に広く分布し、地区南西部に分布するクロッカー層と断層で接する。この断層は、衝上断層と考えられ、カンラン岩がクロッカー層上に衝上している。北東部の平坦な台地の地域は、カンラン岩が風化されることにより形成されたと思われるラテライト質土壌及び岩石が広く分布する。

カンラン岩は調査地区ほぼ全域に分布し、暗緑色から黒色の蛇紋岩化した岩石で、数mmの斜方輝石を含むハルツバージャイトである。蛇紋岩化の程度はそれぞれの場所でことなるが、弱い所では、カンラン石が保存されており、層状の構造を示す所もある。蛇紋岩化の著しい所では、輝石の仮像がわずかに認められるのみで、全体的に蛇紋岩化している。さらに、蛇紋石に加えてモンモリロン石、緑泥石等の粘土鉱物を伴う場合がある。このハルツバージャイトからなる岩体中に輝石が認められないダナイトがレンズ状に分布する。地区北東部の台地ではカンラン岩が風化及び酸化されて形成されたラテライト質の土壌及びゴッサン様の岩塊が分布する。顕微鏡の観察によると、比較的蛇紋岩化の弱いハルツバージャイトでは(J29、K8)カンラン石はほとんど蛇紋石化しているが、一部へき開にそって蛇紋石化しながらカンラン石が残っている。それらの中に1mmから2mmの斜方輝石および少量の単斜輝石が見られる。蛇紋岩化したハルツバージャイトで

は、全体的に蛇紋石からなり、斜方輝石の仮像のみが残っている。これらハルツバージャイトは暗褐色のピコタイトを含む。

ハンレイ岩は、カンラン岩中に大きさ100m前後の貫入岩体として見られ、ピナンドアンカチール川西岸および地区西部に見られる。ピナンドアンカチール川西岸のハンレイ岩は、緑れん石化した細粒の粗粒玄武岩様の斑れい岩である。一方、地区西部に見られるハンレイ岩は、灰緑色の中粒から粗粒の輝石ハンレイ岩である。顕微鏡観察によると、粗粒のハンレイ岩(W26)は5mmから10mmは他形の単斜輝石と1mm前後の自形の斜長石からなり、中粒のハンレイ岩(W27)は0.5mmから1mmの単斜輝石及び斜長石からなる等粒状の岩石である。

クロッカー層は、本地区内ではほとんど露出が見られないが砂岩および泥岩から成る。ハンレイ岩の貫入については、第三紀中期以降の堆積岩中に貫入する塩基性深成岩の活動はサバ州では知られていない点から、カンラン岩と共にハンレイ岩もオフィオライト系列の岩石の一部と考えられ、衝上断層で現在の位置にもたらされる以前に、既に貫入していたと考えられる。尚、衝上断層の時期は、この地域で激しい構造運動が起こったと考えられている第三紀中新世であると考えられる。

### 2-2-3 鉍化作用

本地区の地表で見られる鉍化・変質作用は、ハンレイ岩の貫入岩体周辺部で見られるカンラン岩の変質と黄鉄鉍による鉍染及び地区北東部の台地の表面に分布するラテライト化した土壤及びゴッサン化した岩石である。

ハンレイ岩の貫入岩体周辺部ではカンラン岩の蛇紋岩化が特に著しく、モンモリロン石、緑泥石などの変質鉍物を伴い、輝石の結晶も顕微鏡でみれば僅かに仮像として残されているが、野外ではほとんど見られず、弱い黄鉄鉍の鉍染を伴う場合もある。地区北東部の黄鉄鉍の弱い鉍染を伴う試料(K-15)は、研磨片の観察の結果、少量の黄鉄鉍が見られるのみで、鉍石分析の結果でも特筆すべき結果は得られなかった。ピナンドアンカチール川西岸のハンレイ岩の貫入岩体周辺部では、過去にトレンチ及びボーリングによる探査が行われ、硫化物の鉍化作用を記載しているが、現在では中小の雑木が生い茂り、緑れん石化した細粒の粗粒玄武岩様のハンレイ岩の露頭があるのみである。Lewis (1964)によれば鉍化帯は、蛇紋岩化したハルツバージャイト中の約15cmから60cmの、磁硫鉄鉍を主としそれに黄銅鉍、亜鉛硫化物をともなう硫化物脈で、走行N15° W、北東傾斜である。最大の鉍石品位は、1.5mでCu 0.57%、Ni 0.06%、Zn 0.15%が得られている。なお、この付近の地表にはCu0.7%のラテライト質土壤が深度10mに渡って存在し、百万t以上に達する事が報告されている(Lewis, 1964)。

タヴァイ台地上面の平坦地では、大きさ10mm～数mmの鉄酸化物が凝固したピソライト様の粒子が多く散乱し、更に、大きさ1 m前後のゴッサン様の岩塊が見られる。ゴッサン様の岩塊はX線回折試験によるとほとんど針鉄鉍よりなる。鉍石分析の結果、特筆すべき結果は得られなかった。

## 2-3 物理探査

### 2-3-1 調査方法

#### (1) 調査内容

物理探査は、本地区において捕捉された地化学探査異常帯 (A・u・Cu) の広がり及び地質構造を考慮し、8本の測線を設定し、IP法電気探査を実施した。

調査内容をTable II-2-5に、調査位置図をFig. II-2-4に各々示す。

Table II-2-5 Survey specification

Method	Induced Polarization (IP)
Method	Time domain method
Array	Dipole-dipole array
Electrode sp.	100 m
n-factor	n=1~4
Total lines	8 lines
Line length	14.4 km
Station int.	500 m
IP measurement in laboratory	
Resistivity and Chargeability 7 pcs	

#### (2) 現地測定方法

本調査で使用した時間領域 (タイムドメイン) 法 (過渡現象法) では、一对の電流電極 C1, C2 に、断続直流 (on/off 2.0sec) を通電し、他の一对の電位電極 P1, P2 の間で電流切断直前の1次電位  $V_p$  及び電流切断後の  $t$  時間における2次電位  $V_s$  を測定する。

本調査では、下図に示すように電流切断後の時間  $t$  (50msec~1,770msec) における  $V_s$  を測定した。タイムドメインIP法で得られるIP効果測定値は分極率 (チャージアビリティ) と呼ばれ  $V_s/V_p$  [mV/V/msec] で表されるが、通常、[mV/V] が使用される。また、見掛比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ ) は電流・1次電位及び距離係数から自動的に算出される。

測定データの品質は、 $1\Omega \cdot m$  以下の極低比抵抗を示す地区南部の低地部で一部電磁カップリングの影響が認められたが、その他の地区では再現性のある良質なデータが得られた。なお、測

定データの信頼性を向上させるためスタッキング回数を10回以上と多くすると共に、測定回数を3回以上とした。測定された分極率は下図のように11スライス（切断直後の3スライスはノイズを多く含むため削除されており、表示されるスライス番号は# 4～# 14となる）あり、採用した分極率は、データの安定性があり且つ深部の情報を反映するスライス# 12（820～1050 msec、ミッドポイント935 msec）とした。

### (3) 室内物性測定

岩石の電気的特性データを収集する目的で、地表の代表的な岩石・鉱石試料（7個）を採取し、現地測定と同様にタイムドメイン法IP測定を行った。

採取した岩石試料は直方体に整形し、自然状態になるように2日間蒸留水に浸した後、分極率と比抵抗を測定した。なお、本測定には、現地で用いた受信機(Scintrex 社製 IP receiver: IP R-12)と同機種を使用した。

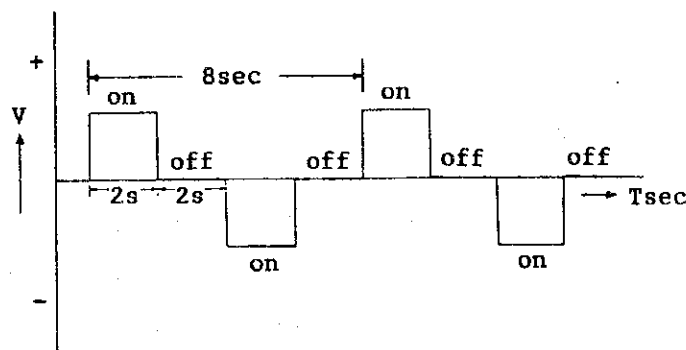


Fig. II-2-5 Wave form produced by the transmitter

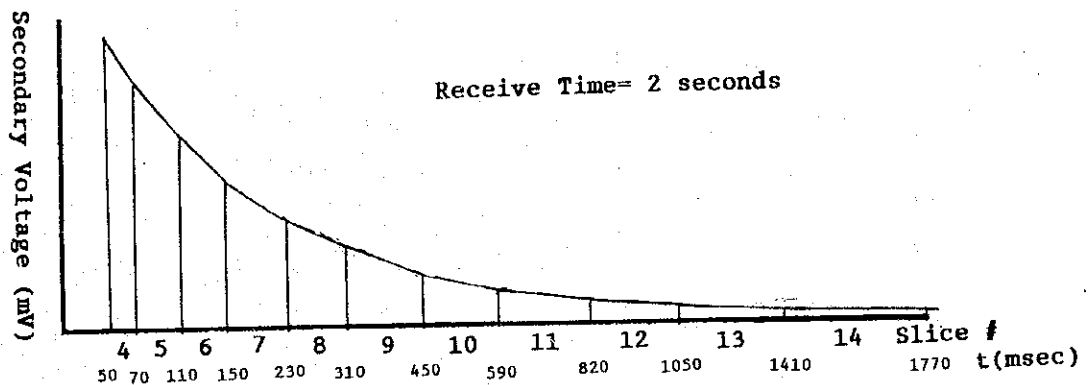


Fig. II-2-6 Sampling interval of the IP receiver

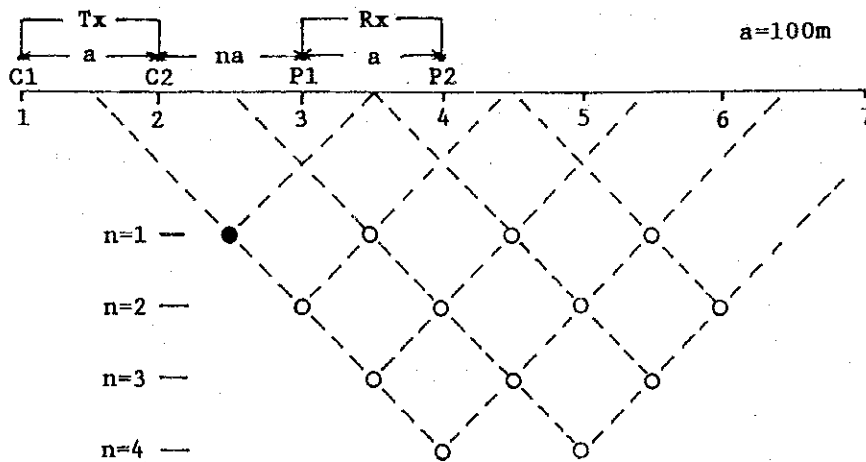


Fig. II-2-7 Dipole-dipole array and plotting procedure

(4) 測定機器

本調査に用いた測定機器は以下の通りである。

Table II-2-6 Survey Equipment

Equipment	Model	Specification	Quantity
IP transmitter (Scintrex)	TSQ-3	2.0 A, 1500V	1
Engine generator (Briggs & stratton)		5 HP	1
IP receiver (Scintrex)	IPR-12	8ch, 14windows Input range: 50uV to 14V	2

## 2-3-2 解析方法

解析方法について以下に示す。また、解析の流れをFig. II-2-8に示す。

### (1) 地形補正

測定データから算出された見掛比抵抗値は、電極を無限平面上に配置したものとして距離係数を仮定しているため、大地が電氣的に均質であったとしても算出された見掛比抵抗値は地形の起伏による電流密度の変化の影響を受けている。

本調査で適用したダイポール・ダイポール電極配置では見掛比抵抗値は谷地形で低く、山地形で高くなる。一方、分極率は一次電位と二次電位の比率であるため、地形起伏による影響を受けることは少ない。

本地区では、地形が急峻で、且つ起伏に富んでいるため、全測点に2次元有限要素法による地形補正を施した。各断面図及び平面図には地形補正後見掛比抵抗値を用いて作成した。

### (2) 2次元シミュレーション解析

IP法の解析には、標準モデルによる見掛比抵抗分布や分極率分布を参考にしながら断面図及び平面図を定性的に解析する定性解析、及び推定地下構造モデルを作成し、その理論値を計算する定量解析が用いられている。この定量解析を一般にモデルシミュレーション解析と言う。地質構造・岩石物性測定値を参考として構造モデルを作成し、このモデルに対する見掛比抵抗と分極率を算出し、測定値と比較しモデルを修正する。この作業を繰り返し行い、理論値を測定値に近似させて最適地下構造を推定する。

本地区では、IP異常の捕捉された測線について2次元有限要素法によるシミュレーション解析を実施した。

## 2-3-3 調査結果

### (1) 岩石物性測定結果

本地区では7個の岩石試料を採取し、自然状態における比抵抗及び分極率を測定した。岩石試料採取位置をFig. II-2-4に、測定結果をTable II-2-7に示す。岩石試料は、蛇紋岩化したカンラン岩からなる。

Table. II-2-7より、岩石試料の比抵抗値は、205 ~ 10,000  $\Omega \cdot m$ の広い範囲で変化している。試料P-1は緑泥石化の為低比抵抗値を示している。一方、硫化物量の目安となる分極率値は3.5 ~ 51.7mV/Vの範囲に分布し、高分極率(30mV/V以上)は試料P-2及びP-6に検出された。両試料には黄鉄鉱・緑泥石化等認められず、高比抵抗値を示している。

### (2) 見掛比抵抗分布及び分極率分布 (Fig. II-2-9~Fig. II-2-12)

本地区の見掛比抵抗及び分極率分布から、便宜上以下のように分類される。

見掛比抵抗・分極率の分類

分類	見掛比抵抗 ( $\Omega \cdot m$ )	分極率 (mV/V)
高	65 以上	30以上
中	15~ 65	10~30
低	15未満	10未満

IP異常の分類

IP異常分類	IP 特 性	地質状況
タイプ1	低見掛比抵抗・中～高分極率	強変質・多硫化物 鉍染型に多いタイプ
タイプ2	中見掛比抵抗・中～高分極率	中変質・多硫化物 鉍染・鉍脈混合型 に多いタイプ
タイプ3	高見掛比抵抗・中～高分極率	弱変質・多硫化物 鉍脈型に多いタイプ

本地区の見掛比抵抗は、1~366  $\Omega \cdot m$  の範囲で分布し、北東部では浅部から深部にかけて高く、南西部では浅部から深部にかけて低く、特に深部では 5  $\Omega \cdot m$  以下の低値を示す傾向が見られる。一方、分極率は、-28~62 mV/V の範囲で分布し、高分極率は地区中央西部から中央東部に至る区域の浅部から深部にかけてほぼ西南西-東北東方向に延びている。特に、F 測線南半部の浅部には 40 mV/V 以上の高分極率域が広範囲に見られる。