

マレーシア国 鉱物資源基本図調査  
資源開発協力基礎調査報告書  
サバ地域

(地化学探査及び)  
(空中物理探査)

第 3 年 次

平成 5 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱調資
CR(4)
93-046



マレーシア国 鉱物資源基本図調査

資源開発協力基礎調査報告書

サバ地域

(地化学探査及び)  
(空中物理探査)

第 3 年 次

JICA LIBRARY



1103502(9)

26742

平成 5 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



国際協力事業団

24742

## 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鉱物資源賦存の可能性を確認するため、衛星画像解析、地化学探査、空中物理探査などの鉱物探査に関する基本図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2年度を第1年次とする3年次にあたり、金属鉱業事業団は7名の調査団を編成し、平成4年7月から平成4年12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調査のうち地化学探査及び空中物理探査の解析結果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。

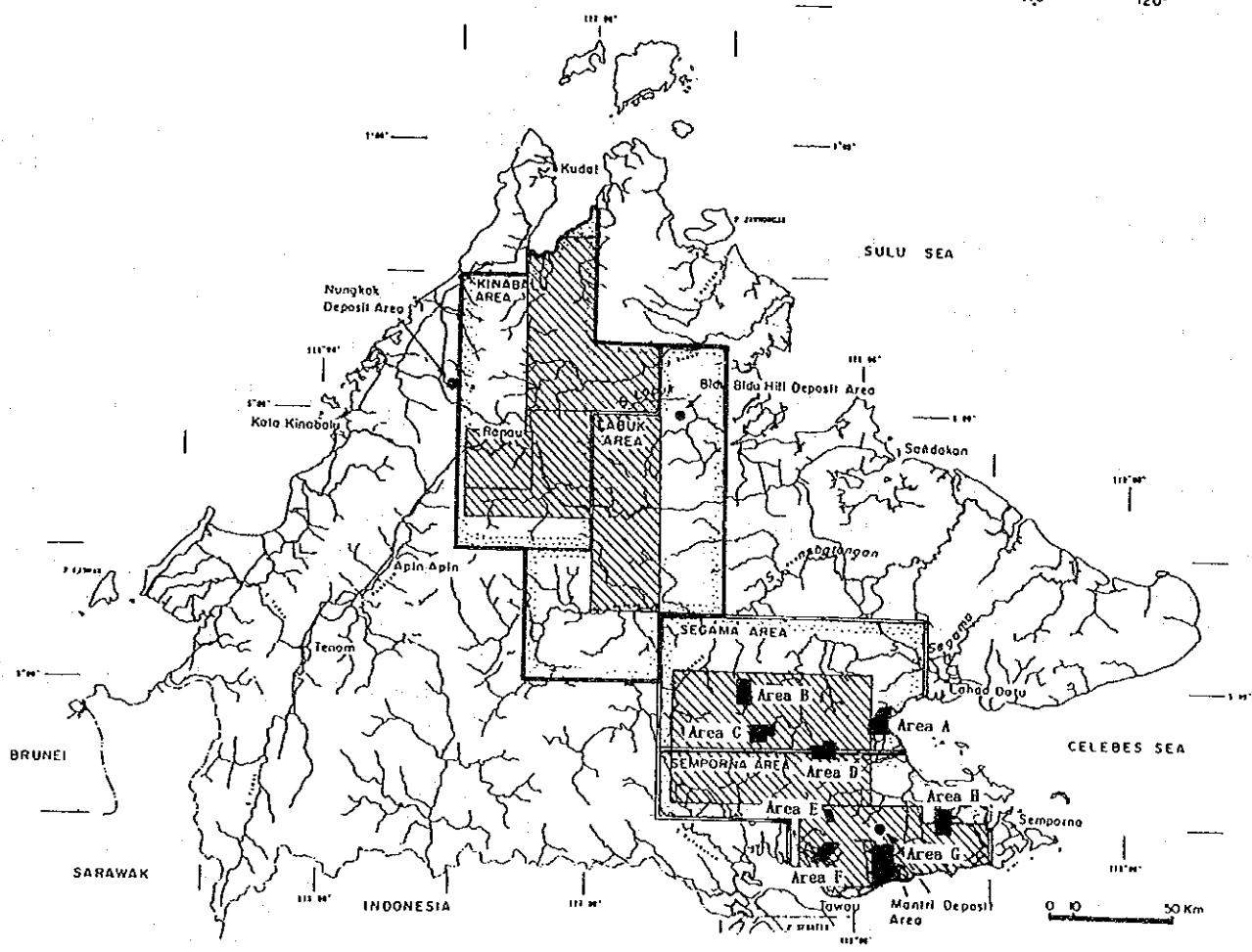
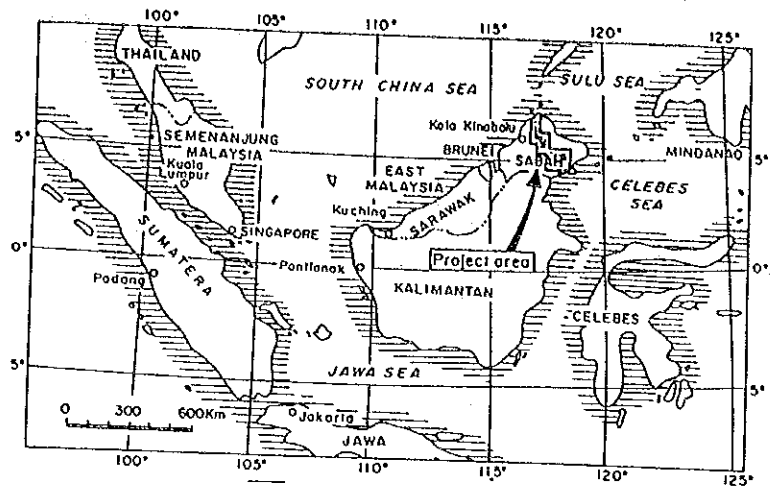
おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたマレーシア国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在マレーシア国日本大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成5年3月

国際協力事業団  
総裁 柳谷謙介

金属鉱業事業団  
理事長 石川 丘









-  Project area
-  Heliborne geophysical survey area (Phase I & II)
-  Regional geochemical survey area (Phase III)
-  Semi-detailed geochemical survey area (Phase III)

Fig. 1 Location map of the project area





## 要 約

本調査は、日本政府とマレーシア政府との間で平成2年8月1日に締結された作業協定に基づき、同国サバ州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2年度を初年度とする4か年で行う計画であり、本年度はその3年度目にあたる。

本年次の調査では、地化学探査及び空中物理探査の2手法を実施した。地化学探査は、第1年次に実施した予察調査で得られた結果に基づき、第2年次に実施したセガマ地区及びセンボルナ地区に対する広域地化学探査と同様の手法により、キナバル地区及びラブク地区に対し河床堆積物などによる広域地化学探査を行った。更に、第2年次にセガマ地区及びセンボルナ地区に対し実施した広域地化学探査の結果抽出された有望地8か所に対し土壌を主とする地化学探査の準精査を行った。空中物理探査は、第2年次にしたキナバル地区北部の測定結果に対する解析を実施した。

広域地化学探査の結果では、キナバル地区及びラブク地区の既存鉱化帯を明瞭に抽出しており、本年度実施した広域地化学探査の手法が妥当であったことを示す。本調査の結果では、鉱床賦存の可能性の高い地域として以下の地区が抽出された。

キナバル地区：東部のスグット川下流域、中央部のスグット川中流域、ラナウの東方及び南東部カラマック川最上流域。

ラブク地区：南部のイムバック川支流、南部のイムバック川中流域、南部のカラマック川下流域、南部のカラマック川中流域、南部のカラマック川とミリアン川の間、中部のテルピド南方マイロ川流域、北部のスグット川流域、中央部のテルピド西方地域、ビドゥ・ビドゥヒル鉱床地域。

抽出された区域のうちキナバル地区のものは、ラナウの東方を除けば、その地化学異常帯がムート鉱床に類似することから、斑岩型の銅鉱床が対象となる。ラナウ東方のものは、この箇所ラテライト質土壌が高いNiの値(1.08%)を示しており、ニッケル鉱床が対象となる。カラマック川最上流域ではこの地区より採取した河床堆積物のTiが51.07%を示したことからチタン鉱床の可能性が考えられる。

ラブク地区で抽出された有望地のうち、南部のイムバック川支流、南部のイムバック川中流域、南部のカラマック川下流域の3か所はその地化探異常の特性より金鉱床の有望地である。このうち特にイムバック川支流ではAuが6,530ppbを示しており有望性が高いと判断される。南部のカラマック川中流域は、クロム鉱床及び銅鉱床の有望地である。南部のカラマック川とミリアン川の間は、銅鉱床が対象となる箇所である。中部のテルピド南方マイロ川流域では、Crの値が著しく高いことからクロム鉱床の賦存が期待される。北部のスグット川流域は、キナバル地区より連続する有望地で銅鉱床の賦存が期待される。中央部のテルピド西方地域は、土壌地化学探

査の結果 Ni (1.06 %) 及び Co (0.22 %) が高い値を示したことから、この地域に分布するラテライト質土壌にニッケル鉱床が期待される。ビドゥ・ビドゥヒル鉱床地域では顕著な地化探異常が認められた。この地域は探査活動が終了し現在開発許可待ちの状況である。

セガマ地区及びセンボルナ地区で実施した地化学探査の準精査の結果では、セガマ地区中央部に位置する B 地区において顕著な地化探異常帯及び鉱化帯が確認された。この鉱化帯は、5 km x 2 km の広がり が推定され、採取した試料の鉱石分析結果でも Cu 2.12 %, Zn 3.04 % を示した。これ以外の地区では、E 地区、F 地区及び G 地区に置いて顕著な変質帯が捕捉されている。

キナバル地区及びラプク地区に対して実施した広域地化学探査の結果、幾つかの金属鉱床賦存の可能性の高い地域が抽出された。これらの地域は前述の 13 か所であるが、ビドゥ・ビドゥヒル鉱床は探査がほぼ完了していることから、残りの 12 か所についてその有望性を明らかにするための調査を引き続き実施すべきと考えられる。

セガマ地区及びセンボルナ地区の 8 か所で実施した地化学探査の結果、セガマ地区のダヌン川上流域 (B 地区) において顕著な鉱化帯を伴う地化探異常帯を確認した。この鉱化帯の規模は大きいと推定されることから引き続き調査を実施しその全貌の解明が望まれる。

北部キナバル地区に対する空中物理探査の解析結果では、北側で地下浅所に高磁性岩体の存在が推定され、地表で見られる超塩基性岩及びチャート・スピライト層に対応する。中央部では、地下深部に超塩基性岩の存在が推定される。南西部では、高磁性岩体によると考えられる磁気異常帯が NW-SE 及び N-S 方向の不連続線でブロック化されていることを示す。

# 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 第1、2年次の調査結果 .....	1
1-3 第3年次の調査範囲及び作業の概要 .....	2
1-4 調査団の編成 .....	4
1-5 調査期間 .....	4
第2章 調査地域の地理 .....	5
2-1 位置及び交通 .....	5
2-2 地形及び水系 .....	5
2-3 気候及び植生 .....	6
第3章 調査地域の既存地質情報 .....	7
3-1 一般地質 .....	7
3-2 鉱化作用及び鉱業略史 .....	7
第4章 調査結果 .....	13
4-1 広域地化学探査 .....	13
4-2 地化学探査準精査 .....	17
4-3 空中物理探査 .....	21
第5章 結論及び提言 .....	22
5-1 結 論 .....	22
5-2 提 言 .....	23

## 第 II 部 各 論

第 1 章 広域地化学探査 .....	27
1-1 調査方法及び作業量 .....	27
1-1-1 調査方法 .....	27
1-1-2 作業量 .....	28
1-1-3 解析手法 .....	29
1-2 キナバル地区調査結果 .....	30
1-2-1 地質及び鉱化作用 .....	30
1-2-2 試料採取 .....	31
1-2-3 河床堆積物地化学探査 .....	31
1-2-4 パンニング試料定量分析 .....	49
1-2-5 岩石地化学探査 .....	53
1-2-6 土壌地化学探査 .....	54
1-2-7 室内試験結果 .....	55
1-3 ラブク地区調査結果 .....	59
1-3-1 地質及び鉱化作用 .....	59
1-3-2 試料採取 .....	63
1-3-3 河床堆積物地化学探査 .....	69
1-3-4 パンニング試料定量分析 .....	82
1-3-5 岩石地化学探査 .....	82
1-3-6 土壌地化学探査 .....	84
1-3-7 室内試験結果 .....	84
第 2 章 地化学探査準精査 .....	89
2-1 調査及び解析 .....	89
2-1-1 調査方法 .....	89
2-1-2 作業量 .....	93
2-1-3 解析手法 .....	93
2-2 室内試験結果 .....	94
2-3 A地区 .....	101
2-3-1 地質及び鉱化作用 .....	101
2-3-2 土壌地化学探査 .....	105

2-4	B地区	117
2-4-1	地質及び鉍化作用	117
2-4-2	土壤地化学探査	119
2-4-3	河床堆積物地化学探査	129
2-5	C地区	137
2-5-1	地質及び鉍化作用	137
2-5-2	土壤地化学探査	141
2-5-3	河床堆積物地化学探査	148
2-6	D地区	158
2-6-1	地質及び鉍化作用	158
2-6-2	土壤地化学探査	162
2-7	E地区	171
2-7-1	地質及び鉍化作用	171
2-7-2	土壤地化学探査	171
2-8	F地区	181
2-8-1	地質及び鉍化作用	181
2-8-2	土壤地化学探査	181
2-9	G地区	195
2-9-1	地質及び鉍化作用	195
2-9-2	土壤地化学探査	199
2-10	H地区	206
2-10-1	地質及び鉍化作用	206
2-10-2	土壤地化学探査	211
第3章	空中物理探査(キナバル地区北部)	221
3-1	調査概要	221
3-2	調査内容	221
3-5	解析結果	223
第4章	考 察	236
4-1	広域地化学探査	236
4-2	地化学探査準精査	238
4-3	空中物理探査	239

### 第 III 部 結論及び提言

第 1 章 結 論 .....	241
第 2 章 第 4 年次調査への提言 .....	243
参考文献 References .....	244
図表一覧 List of figures, tables, plates and appendices .....	245
巻 末 Appendices	

# 第 I 部 總 論





# 第 1 章 序 論

## 1-1 調査の経緯及び目的

本調査は、日本政府とマレーシア政府との間で平成2年8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地域において実施した鉱物資源基本図調査である。調査地域として抽出された範囲 (Fig.1) は、サバ州において鉱物資源の鉱徴が多く知られており、金属鉱床賦存の可能性の最も高い地域である。本調査は平成2年度を初年度とし、4か年で実施の計画であり、本年度の調査はその第3年次に当たる。

本調査の目的は、マレーシア国における鉱物資源開発の長期計画に資するため、本調査地域における鉱物資源賦存の可能性を調査することである。この目的を達成するため、本年度の調査では、キナバル及びラプクの両地区に対し河床堆積物などによる広域地化学探査、第2年次にセガマ及びセンボルナの両地区に対して実施した広域地化学探査の結果抽出された有望地区8地区に対し地化学探査の準精査及び第2年次に実施できなかったキナバル北部地区に対する空中物理探査測定結果の解析を行った。

## 1-2 第1、2年次の調査結果

第1年次は、衛星画像解析 (TM、MSS)、既知鉱床に対する予察地化学探査及び空中物理探査の測定を実施した。これらの調査結果より以下の結論が得られた。

### (1) 第1年次の調査結果

#### 1) 衛星画像解析

- ① キナバル地区のラノウ周辺で抽出された環状構造及びラノウ東方に分布するN-S系の断層群は、鉱化作用を伴う貫入岩と密接な関係が認められる。
- ② ラノウ周辺以外の地区においても多くの環状構造が認められ、金属鉱床探査上重要な構造と考えられる。

#### 2) 予察地化学探査

- ① 本調査で採用した試料種 (河床堆積物、土壌及びパンニング試料) は、いずれも地化学探査上有効な試料種である。
- ② 広域の地化学探査に最も有効な試料種は河床堆積物である。土壌による地化学探査は、より狭い範囲の精査に適する。
- ③ 試料の採取密度としては、河床堆積物で2 km<sup>2</sup>当たり1試料、土壌試料の場合0.5 km<sup>2</sup>当たり1試料が必要である。
- ④ 試料の採取位置としては、河床堆積物の場合流れの縁辺部、土壌試料の場合B層の上部が最も有効である。

- ⑤ 有効な指示元素として抽出された元素は、As、Au、Ba、Cr、Cu、Mn、Mo、Pb、S、U、W、及び Zn の 12 元素である。

## (2) 第2年次の調査結果

第2年次の調査では、セガマ地区及びセンボルナ地区に対する河床堆積物による広域地化学探査、ヘリコプターによる空中物理探査（空中磁気法、空中放射能法）の測定及びキナバル地区北部を除く空中物理探査範囲に対する解析を行った。これら調査の結果、セガマ地区及びセンボルナ地区において以下の地区が有望地区として抽出された。

- ① セガマ地区東部のサバハン川及びデワタ川周辺
- ② セガマ地区中央南部のセガマ川上流域
- ③ セガマ地区西部のダヌン川上流域
- ④ セガマ地区東部のサイラム部落周辺
- ⑤ センボルナ地区中央部のバルング川とカルンバング川の間
- ⑥ センボルナ地区南東部ナゴス周辺
- ⑦ センボルナ地区東部のシビット川上流域
- ⑧ センボルナ地区中央部のカルンバング川の最上流部
- ⑨ センボルナ地区中央南部のアバス川流域
- ⑩ センボルナ地区南部のタワウ・ヒル周辺

これら有望地区の内①、②、③はキプロス型銅鉛床賦存の可能性の高い地区である。④の範囲は、クロム鉛床が対象となる。センボルナ地区より抽出された⑤～⑩の範囲は、いずれも浅熱水成金鉛床の有望地である。

尚、第2年次には、キナバル地区及びラブク地区の一部の範囲に対し広域地化学探査のための試料の採取を行った。この解析は、第3年次に実施する。

### 1-3 第3年次の調査範囲及び作業の概要

本調査では、キナバル及びラブクの両地区に対し広域地化学探査を実施した。この調査の解析には、第2年次にこれらの地区より採取した試料に対する解析も含まれる。これに加えて、第2年次セガマ地区及びセンボルナ地区で実施した広域地化学探査の結果抽出された有望地区8地区（A地区、B地区、C地区、D地区、E地区、F地区、G地区、H地区）に対し地化学探査による準精査を実施した。空中物理探査は、第2年次に測定及びデータ処理までしか出来なかったキナバル地区北部に対する解析作業を行った。各手法の調査範囲をFig. 1に示す。本調査で実施した各手法ごとの作業量を Table I-1に、これらの調査に伴い実施した室内試験の数量を Table I-2に示す。

本年度の調査の重点課題は、広域地化学探査（キナバル地区、ラブク地区）及び地化学探査の準精査（セガマ地区、センボルナ地区）により鉛床賦存有望地区を抽出することである。

Table I-1 Summary of work amounts

(1) Regional geochemical survey

Method	Unit	Sampling			Data analysis		
		Kinabalu	Labuk	Total	Kinabalu	Labuk	Total
Coverage	km <sup>2</sup>	6,730	5,570	12,300	7,430	7,670	15,100
Stream sediments	Sample	2,976	2,332	5,308	3,342	2,974	6,316
Pan concentrates	Sample	173	137	310	193	169	362
Soil	Sample	48	203	251	48	225	273
Rock	Sample	50	51	101	52	70	122
Ore	Sample	6	5	11	6	5	11

(2) Semi-detailed geochemical survey

Method	Samples	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	Area G	Area H	Total
Coverage	km <sup>2</sup>	85	70	72	55	18	54	146	70	570
Stream sediments	Samples	—	140	140	—	—	—	—	—	280
Soil	Samples	340	144	140	221	72	122	581	282	1,902
Rock	Samples	2	12	7	4	1	1	2	1	30
Ore	Samples	2	8	5	2	1	2	1	0	21

Table I-2 Work amounts of laboratorial studies

Study item	Regional survey	Semi-detailed survey	Total
(1) Thin section	6 samples	26 samples	32 samples
(2) Polishes section	3 samples	12 samples	15 samples
(3) X-ray diffraction analyses	—	15 samples	15 samples
(4) Chemical analyses			
stream sediments(21 elements)	5,308 samples 111,468 elements	280 samples 5,880 elements	5,588 samples 117,348 elements
Soil(6 elements)	251 samples 1,506 elements	— —	251 samples 1,506 elements
Soil(21 elements)	— —	1,902 samples 39,942 elements	1,902 samples 39,942 elements
Rock(21 elements)	101 samples 2,121 elements	30 samples 630 elements	131 samples 2,751 elements
Ore(7 elements)	11 samples 77 elements	21 samples 147 elements	32 samples 224 elements

本調査の広域地化学探査は、キナバル地区中央のラナウ (Ranau) にベースキャンプを設け調査基地とした。実際の調査の大部分は、キャンプ (8か所) 及び移動キャンプにより実施した。セガマ地区及びセンボルナ地区に対する地化学探査の準精査では、調査地区にキャンプを設けるか移動キャンプにより実施した。

#### 1-4 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、以下の通り。

##### (1) 調査計画策定及び折衝

日 本 国 側	マ レ イ シ ア 国 側		
両角 春寿 金属鉱業事業団	David T.C. Lee	Director	GSM
梶谷 雄司 金属鉱業事業団	Lim Peng Siong	Principal Geologist	GSM
	Alexander Yan	Senior Geologist	GSM

GSM: Geological Survey of Malaysia

##### (2) 現地調査

日 本 国 側	マ レ イ シ ア 国 側		
永松 武彦 団長、地化学探査 大手開発 (株)	Lim Peng Siong	Principal geologist	GSM
門馬 忠彦 地化学探査 大手開発 (株)	Alexander Yan	Senior geologist	GSM
南野 正彦 地化学探査 大手開発 (株)	Joanes Muda	Geologist	GSM
津隈 良功 地化学探査 大手開発 (株)	Paulus Godwin	Geologist	GSM
岡崎 正次 地化学探査 大手開発 (株)	Cleafos Totu	Geologist	GSM
後藤 求 地化学探査 大手開発 (株)	Salleh Adanan	Geologic Assist.	GSM
斉藤 正行 地化学探査 大手開発 (株)	Japili Samin	Geologic Assist.	GSM
	Jolouin Spilin	Geologic Assist.	GSM

GSM: Geological Survey of Malaysia

空中物理探査の解析は佐々木進 (大手開発株式会社) が日本にて行った。

#### 1-5 調査期間

本調査に伴う現地調査の期間は、以下の通り。

地化学探査現地調査 平成4年7月7日 ~ 平成4年12月9日

地化学探査現地解析 平成4年12月4日 ~ 平成4年12月23日

## 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 1,650 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。本調査地域はサバ州中央部の広い範囲を占め、その総面積は 26,500 km<sup>2</sup> であり、北西より南東方向にキナバル (Kinabalu) 地区、ラブク (Labuk) 地区、セガマ (Segama) 地区及びセンボルナ (Semporna) 地区の 4 地区 (Fig. 1) より構成される。

サバ州の州都は、クタ・キナバル (Kota Kinabalu) で西海岸に位置する。クタ・キナバルには国際空港があり、国外よりの交通は至便である。サバ州内の主要な町には、クタ・キナバルより国内定期便が発着している。主要道路は、クタ・キナバルよりラナウ (Ranau)、テルピド (Telupid) を経由して東海岸のサンダカン (Sandakan) 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 (Tawau) へ至る道路である。この道路はキナバル地区及びラブク地区の中央部を、セガマ地区及びセンボルナ地区の東部を走る。キナバル地区は、ラナウの町を中心として比較的道路網が発達しているが、同地区の南部では限られる。ラブク地区では、中心部のテルピドより数条の木材運搬用の道路が南北に走っているのみである。セガマ地区での道路網は、東側の海岸沿いに限られる。地区の中央部より西部に通じる道路は無く、河川の利用のみが唯一の交通手段である。センボルナ地区では、西部及び中央部を除けばプランテーション用の農道が発達しており、比較的交通は至便である。

### 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。本調査地域の北西部キナバル地区の西端には、東南アジア最高峰のキナバル山 (標高 13,455 フィート) があり、この地区の地形は、特に急峻である。ラブク地区は、全般に丘陵地形を示すが、東部では主要河川に沿って平坦な湿地帯が広範囲を占めており、さらに河川も著しく蛇行している。セガマ地区では丘陵地形が東端の海岸線まで達するが、地区の北部では河川に沿って平坦地が広がっている。また、各河川の上流部では深い溪谷が発達する。センボルナ地区では、東部及び中央部は、火山地形を示し比較的急峻であるが、これ以外の地区は比較的平坦な丘陵地形を示す。

調査地域を流れる主要河川は、ペガラン (Pegalan) 川、スグット (Sugut) 川、ラブク (Labuk)

川、キナバタンガン (Kinabatangan) 川、セガマ (Segama) 川、ティンカユ (Tingkayu) 川、カルンバング (Kalumpang) 川、カラバカン (Kalabakan) 川等である。これらの河川の内ベガラン川は南シナ海に、スグット川、ラブク川、キナバタンガン川、セガマ川及びティンカユ川はスール (Sulu) 海に、カルンバング川及びカラバカン川は南のセレベス (Celebes) 海に注いでいる。これらの河川は上流部で溪谷を造り、下流部では著しく蛇行する場合が多く、最下流部ではマングローブの生い茂る湿地帯を構成する。

### 2-3 気 候 及 び 植 生

本調査地域は熱帯モンスーン気候の範囲に位置するため、8月より1月にかけての比較的雨の多い季節と、2月より7月にかけての雨の少ない季節とがある。気温は、年間を通じてほとんど変化無く22~33℃の範囲にある。サバ州の西海岸に位置するコタ・キナバルと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 I-3 に示す。この表で明らかのように、東海岸と西海岸とでは月別降雨量に地域性が見られ、東海岸側の方が降雨量が多い傾向を示す。

本調査地域の大部分は、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、本調査地域のジャングルの大部分は、二次ジャングルである。調査地域の東部及び南部ではプランテーションが広く分布し主としてカカオ、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

本調査地域は、サバ州の北西部より南東部にかけての広い範囲を占め、既知の金属資源の鉱徴地の大部分がこの範囲に位置する。

本地域の地質は、基盤をなす三疊紀以前の結晶質岩類 (Cb)、北西ボルネオ地向斜の形成初期 (白亜紀～始新世) に堆積したスピライトの噴出を伴う堆積岩類 (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 ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ) の堆積 (始新世～中新世中期) 及び造山活動 (中新世中期～鮮新世) とこの時期からの堆積岩類 ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$ ,  $N_5$ ) の堆積 (中新世前期～更新世) により形成されている。

火山活動としては、白亜紀の超塩基性岩類の進入、造山活動及びその後の深成岩類の進入及び鮮新世より完新世にかけての石英安山岩、安山岩、玄武岩などの噴出岩類の活動が挙げられる。

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。この図で明らかなように基盤をなす片岩、片麻岩などの結晶質岩と堆積岩類は、主としてセガマ地区に分布する。スピライトの噴出を伴う堆積岩類は、ラプク及びセガマの両地区の広い範囲を占めて分布する。超塩基性岩類は、キナバル、ラプク、及びセガマの3地区で主として見られ、スピライトの噴出を伴う堆積岩類と密接な関係をもって分布する。キナバル地区は、アダメロ岩、花崗閃緑岩などの進入 (中新世後期～鮮新世) により特徴付けられる。センボルナ地区では石英安山岩、安山岩、玄武岩などの火山岩類が特徴的に分布し、この火山帯は北東方向へ伸びフィリピン南部まで連続する。

### 3-2 鉱化作用及び鉱業略史

本調査地域で見られる主要な金属鉱床は、深成岩類と密接な関係を示す斑岩型銅鉱床、スピライトの噴出に関係するキプロス型の塊状硫化鉱床及び火山岩類の噴出と密接な関係を持つ熱水性の金銀鉱床である。以上の他、超塩基性岩に伴われるクロムや白金の鉱床、ラテライト質土壤に伴われるアルミやニッケルなどの風化残留鉱床、堆積岩類に伴われたマンガン鉱床などが知られている。調査地域の主要な既知の鉱床及び鉱徴地の分布図 (Leong K.M., 1976) を、Fig. I-2 に示す。






調査地域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マムート (Mamut) 鉱山のみである。マムート鉱山は、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、Mamut Copper Mining 社により、


















SEDIMENTARY AND SEDIMENTARY-VOLCANIC ROCKS

IGNEOUS AND METAMORPHIC ROCKS

-  Basalt
  -  Andesitic to dacitic pyroclastics and lavas
  -  Adamellite and granodiorite
  -  Gabbro, dolerite, serpentinite, peridotite, dunite and pyroxenite
- CRYSTALLINE BASEMENT
-  Gneiss, schist, amphibolite and associated granite, granodiorite and tonalite

LITHOLOGY	FORMATION
	Sand and gravel
	Liang (N <sub>1</sub> Lg) Tiwohing (N <sub>1</sub> To) and Togopi (N <sub>1</sub> To)
	Gandum (N <sub>2</sub> Gn), Bongaya (N <sub>2</sub> By), Sandakan (N <sub>2</sub> Sk), Simengaris (N <sub>2</sub> Sm), *1
	Tungku (N <sub>3</sub> Tu), Tabanak conglomerate (N <sub>3</sub> Tk) and Libong Tuffite (N <sub>3</sub> Ln)
	Tanjong (N <sub>4</sub> Tj), Meligan (N <sub>4</sub> Me) South Banggi (N <sub>4</sub> Sb) and Kapilit (N <sub>4</sub> Kp)
	Setap Shale (N <sub>5</sub> Ss) and Gomantong Limestone (N <sub>5</sub> Gm)
	Garinono (P <sub>1</sub> Gr), Ayer (P <sub>1</sub> Ay), Kuamut (P <sub>1</sub> Ku), Kalabakan (P <sub>1</sub> Kl), *2
	Kudat (P <sub>2</sub> Kd), Labang (P <sub>2</sub> Lb) and Temburong (P <sub>2</sub> Tx)
	Kulapis (P <sub>3</sub> Ks) and Crocker (P <sub>3</sub> Cr)
	Trusmadi (P <sub>4</sub> Ts)
	Sapulut (KPSp)
	Chert-Spilite (KPCs)
	Madai-Baturong Limestone (KMb)

\*1 Umas Umas (N<sub>1</sub>Um), Sebahat (N<sub>1</sub>Sh), Belait (N<sub>1</sub>Be) and Balung (N<sub>1</sub>Bl)  
 \*2 Wariu (P<sub>1</sub>Wr) and Kalumpang (P<sub>1</sub>Kg)

after Heng Y.E., 1985

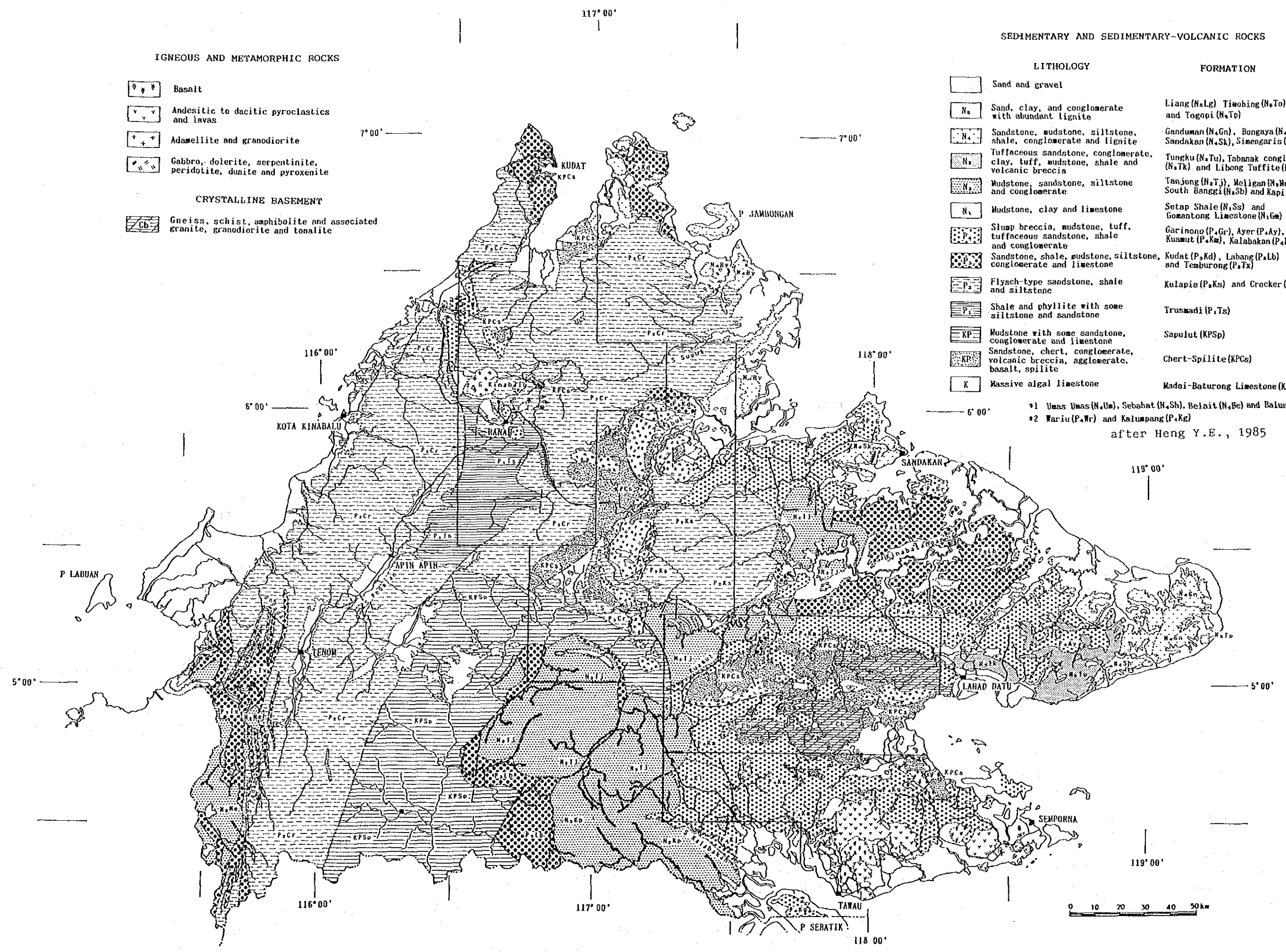


Fig. I-1 Geologic map of Sabah, Malaysia





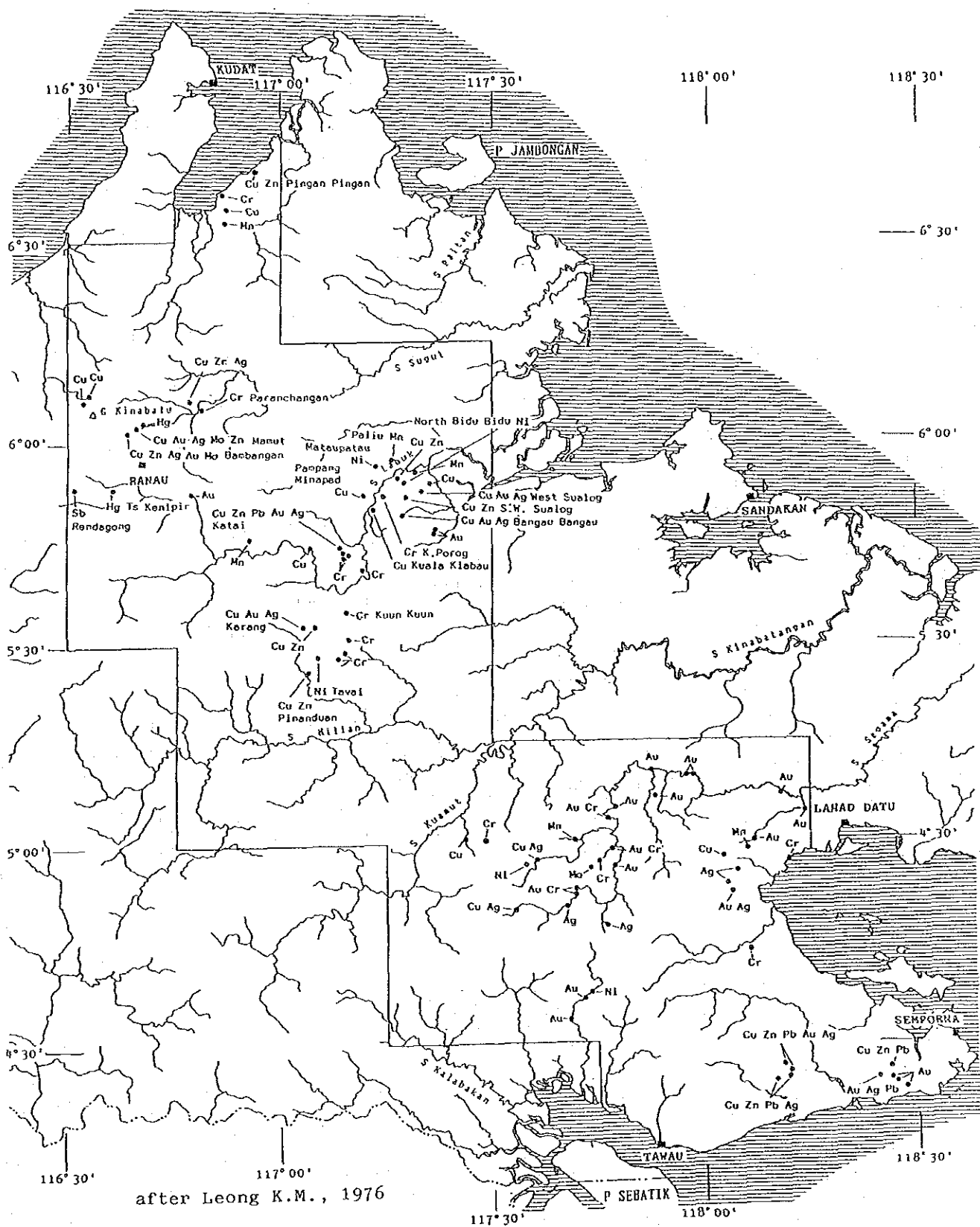


Fig. I-2 Distribution map of mineral occurrences in the project area

人員約1,300名で操業している。

探鉱作業がほぼ終了して開発待ちの鉱床としては、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、スピライト質噴出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が計上されている。

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。

## 第4章 調査結果

### 4-1 広域地化学探査

本調査では、第2年次のセガマ地区及びセンボルナ地区に引き続き、キナバル地区及びラブク地区に対し河床堆積物試料による広域地化学探査を実施し、更にパンニング試料及び岩石による調査を行った。これに加えて、調査地区のラテライト質土壤に伴う風化残留鉱床の可能性を明らかにするため、超塩基性岩の分布域に対し土壤試料による地化探査を行った。

#### (1) 採用元素

本調査では、第2年次の調査と同様、以下の元素を採用した。

河床堆積物試料 (21元素)

As, Au, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sr, Ti, U, W, Zn

土壤試料 (6元素)

Al, Co, Fe, Cr, Ni, Pt

更に、本調査では後背地の地球化学的な特性を明らかにするため代表的な岩石試料を採取し、河床堆積物と同じ元素 (21元素) の分析を行った。

パンニング試料は、その構成鉱物の割合を明らかにするため、QME (Qualitative Mineral Examination) による定量分析を行った。

#### (2) 解析手法

解析は、統計処理結果に基づき濃度分布図 (Appendix 3 及び Appendix 11) を作成し、各元素の濃度の分布を明らかにするとともに、単変量解析及び多変量解析の両手法により行った。単変量解析の手法としてはEDA (Exploratory Data Analysis) 法 (Kurzl H., 1988) を、多変量解析の手法としてはクラスター分析法及び因子分析法の両手法を採用した。

EDA法は、単成分データの分散の型に関係せず、統計的な数値処理によってしきい値 (異常値) を抽出する手法である。多変量解析手法として採用したクラスター分析法は、各単成分間の相関係数により関係の深い成分ごとにグループ (クラスター) 分けをする手法である。因子分析は、各成分間の関係より、その関係の原因となる因子を統計的に抽出する手法である。

解析は、キナバル地区及びラブク地区の地質にかなりの差があることから、地区別に実施した。各分析結果の統計処理及び解析には、コンピュータを使用した。

### (3) キナバル地区調査結果

本調査では、地化学探査の試料採取に並行して地質の概査を行った。既存の資料と本調査の結果に基づいて地質図 (Fig. II-1-1) を作成した。各手法による調査結果は以下の通り。

#### 河床堆積物地化学探査

キナバル地区で採取した河床堆積物試料の一覧表をAppendix 1に、分析結果をAppendix 2に、採取位置をPlate II-1-1及び Fig. II-1-2に示す。

各元素の統計処理結果及び単変量解析の結果に基づき作成した各元素の濃度分布 (Appendix 3) 及び異常値を示す試料の分布 (Fig. II-1-4) の傾向より以下の結果が得られた。

なお、ここでいう高濃度とは、後背値プラス標準偏差の値以上のものとする。

- ① 分析した元素のうち Cr (59,548 ppm)、Hg (14,767 ppb)、Sb (3,488.0 ppm)、Ti (51.07 %) などの元素の最高値は、高い値を示す。
- ② 各元素間の相関係数を見ると、Cr、Co、Mg、Mn、Ni、Znなどの元素間で高い相関係数を示しており、超塩基性岩類やチャート・スピライト層の分布を良く反映している。
- ③ 濃度分布図では、Co、Cr、Mg、Mn、Na、Ni、Sb、Ti、Znなどの元素が超塩基性岩類～塩基性岩類の分布を良く反映している。泥質の堆積岩類の分布域では、As、Ba、K、Pb、S、Sr 及びU が高い値を示す。
- ④ 調査地区中央部のマムート鉱山周辺では、Au、Cu、Hg、Mo、Pb、S、Sb などの元素の高濃度及び異常を示す試料が集中しており著しい異常帯を構成する。
- ⑤ 地区中央東端部のスグット川下流域では、Au、Cu、K、Pb などが元素が高濃度及び異常値を示しており、有望であることを示す。
- ⑥ 地区中央部のスグット川中流域には、Au、Cu、Hgの高濃度及び異常を示す試料が集中する。TMデータによる衛星写真解析の結果では、この範囲にNE-SW 方向の顕著な線構造が認められる。
- ⑦ 地区南東端のカラマック川の支流より採取した試料は、Tiが 51.07 %と著しく高い値を示しており、チタン鉱床賦存の可能性が推定される。鉱物はその大部分がチタン鉄鉱である。

多変量解析では、クラスター分析と因子分析を行った。クラスター分析の結果 (Fig. II-1-5) では、超塩基性岩類や塩基性岩類に関係するクラスターと堆積岩類に関係したクラスターとが顕著なクラスターを構成する。これ以外のクラスターとしては、As-Au-Hg、Zn-Cu-S などがある。

因子分析の結果では、第1因子がCo、Cr、Cu、Mg、Mn、Ni、Znに関係し、第3因子がMo、Pbに、第4因子は Au 関係している。これら3因子の得点分布 (Fig. II-1-6) では、3因子の高得点の重なりがマムート鉱山周辺で見られ、この鉱床を良く抽出している。マムート鉱床と同様の傾向が認められる区域としては、前述の⑤、⑥地区の地区が挙げられる。

### バンニング試料定量分析

本地区より採取した試料の一覧をAppendix 4に、その試料の採取位置を(Fig. II-1-3)に、QME分析結果をAppendix 5に示す。試料の採取量は、その地区の地質により著しく異なる傾向を示す。塩基性岩の分布域では、多量であるのに対し、堆積岩の分布域では著しく少量の試料しか採取できない。試料中の構成鉱物は、大部分が造岩鉱物であり、試料採取位置の地質をよく反映している(Fig. II-1-7)。

### 岩石地化学探査

本地区の地化学的特性を明らかにするため、調査地区内の代表的な岩石試料を採取し検討を行った。採取した試料の試料採取位置をFig. II-1-3に試料の一覧をAppendix 6に、分析の結果をAppendix 7に示す。

各元素と岩石との関係を見ると Co、Cr、Mg、Ni、Zn などの元素は、超塩基性岩類で高い値を示す。Cu、Sb、Zn、Tiなどの元素は、塩基性岩類で高い値を示す傾向が認められる。As、Hg、Pb、U などの元素は、砂岩、頁岩などの堆積岩と密接な関係を示す傾向が認められる。これらの元素と岩石の関係は、一般的に知られている岩石中の元素の傾向と同様である。

### 土地化学探査

本地区でのラテライト質土壤に伴う風化残留鉱床の可能性を明らかにするため、超塩基性岩類の分布域で土壤による地化探の概査を行った。試料の採取位置をFig. II-1-3に、試料の採取一覧表及びその分析結果をAppendix 8に示す。分析の結果では、Niの最高値は10,797 ppmである。この試料は、ラナウの北東方 4 km に位置し Co の値(1,212 ppm) も高い。

### (4) ラブク地区調査結果

本調査で作成した地質図をFig. II-1-7に示す。本地区の試料採取では、木材運搬道路を利用しキャンプ及び移動キャンプにより行った。本調査の結果は以下の通り。

### 河床堆積物地化学探査

ラブク地区で採取した河床堆積物試料の一覧表をAppendix 9に、分析結果をAppendix 10に、採取位置をFig. II-1-8及びPlate II-1-2にそれぞれ示す。

各元素の統計処理結果、濃度分布(Appendix 11)及び異常値を示す試料の分布(Fig. II-1-10)より以下の結果が得られた。

- ① 各元素の最高値を見ると Au (6,530 ppb)、Cr (117,538 ppm)、Hg (24,735 ppb)、Ni (6,778 ppm) などの元素が高い値を示す。



- ② 各元素間の相関係数を見ると、地質を反映しCo、Cr、Cu、Mg、Ni、Znなどの元素間で高い値を示すとともに、U がこれらの元素と負の相関を示す。
- ③ 各元素の濃度の分布及び異常を示す試料の分布を見ると Co、Cr、Mg、Mn、Ni、Sb、Zn などの異常及び高濃度を示す試料の分布は、超塩基性岩類及び塩基性岩類の分布と良く一致する。
- ④ 調査地区の最南端のイムバック川支流では Au が1,000 ppb 以上の値（最高値6,530 ppb）を示す試料が集中する箇所がタンジョン層の分布域にある。この箇所はHgも異常を示す試料（最高値24,735 ppb）が集中し、さらに Pb の異常を示す試料も認められる。この箇所には安山岩ポーフイリィの小規模な貫入岩体が確認されており、探査上注目すべき箇所である。
- ⑤ 地区南部のイムバック川の中流域の南岸サブロット層の分布域には、Auが1,000 ppb 以上の値（最高値2,900 ppb）を示す試料が3試料隣接する。この箇所では、W が比較的高い値（95 ppm）を示す試料も分布する。またこの箇所の周辺には、Hgが1,000 ppb 以上の値を示す試料が散在する。
- ⑥ 地区南部のカラマック川の下流域には、Auが100 ppb 以上の値（最高値881 ppb）を示す試料がクロッカー層の分布域に集中して分布する。
- ⑦ 地区南部のカラマック川とミリアン川の間には、比較的高い値（最高値608 ppm）を示すCuの異常帯が分布する。本地区は⑥の地区の南側に隣接する地域である。
- ⑧ 地区中央南部のカラマック川中流域には、超塩基性岩類の分布域で顕著な Cr の異常帯が認められる。この箇所では大部分の試料が50,000 ppm以上の値を示し、その最高値は101,691 ppm である。またこの範囲には Cu も高い値（最高値 580 ppm）を示す試料が分布する。
- ⑨ 地区の中央部テルビドの南方マイロ川の上流部には、超塩基性岩の分布域に Cr の著しく高い（最高値117,538 ppm）枝沢が確認された。
- ⑩ 地区北端部のスグット川流域には、Cuの高濃度及び異常値を示す試料（最高値212 ppm）が集中して分布する。この流域には Au 及び Ba の高濃度を示す試料も分布する。この箇所はキナバル地区の東端より連続する異常帯である。
- ⑪ Cuの異常値を示す試料は、ビドゥ・ビドゥヒル鉱床周辺でも確認されており、この鉱床を明瞭に捕捉している。この区域での Cu の最高値は、516 ppm である。さらに Au もこの区域では高濃度を示す。

多変量解析で実施したクラスター分析の結果 (Fig. II-1-11) では、超塩基性岩類～塩基性岩類に関係する元素、堆積岩類に関係する元素などがクラスターとして明瞭に区分される。

因子分析の結果では、6個の因子が抽出された。第1因子は、主として超塩基性岩に関係し銅の鉱化作用と若干の関係が認められる。第2、第3因子は、主として堆積岩類に関係した因子、第4因子は、Auの鉱化作用と弱い関係を示す因子、第5因子は Hg に関係した因子であり、第6因子はその関係が不明瞭である。これらの因子のうち第1、第4及び第5因子を選び因子得点の

分布図 (Fig. II-1-12) を作成した。この結果では、第 4 因子が Au の分布傾向と一致しており、スグット川流域、南部のミリアン川よりイムバック川にかけての地域などを抽出している。

#### バンニング試料定量分析

採取試料の一覧表を Appendix 12 に、QME 分析の結果を Appendix 13 に、試料の採取位置を Fig. II-1-10 に示す。QME による定量分析の結果 (Fig. II-1-14) は、キナバル地区と同様でその河川で見られる地質を良く反映している。

#### 岩石地化学探査

採取した試料の一覧を Appendix 14 に、採取した試料の位置を Fig. II-1-9 に、その分析の結果を Appendix 15 に示す。本地区の結果は、一般に As、Hg、U などの元素は堆積岩で高く、Cr、Mg、Na、Sb、Zn などの元素は超塩基性岩類～塩基性岩類で高い傾向をしめす。また、チャート・スピライト層中のチャートでは、Ba、Mn、Pb が高い傾向を示す。

#### 土地化学探査

本地区より採取したラテライト質土壌の分析結果 (Appendix 16) では、テルピドの西方には、Ni の最高値 (10,587 ppm) 及び Co の最高値 (2,173 ppm) を示す試料が分布する。この地区は蛇紋岩の分布域でラテライトが発達している。

### 4-2 地化学探査準精査

第 2 年次にセガマ地区及びセンボルナ地区で実施した広域地化学探査の結果抽出された A 地区～H 地区の 8 地区 (Fig. II-2-1) に対し地化学探査による準精査を実施した。本調査の結果は、以下に要約される。

#### (1) A 地区

A 地区はセガマ地区の東部に位置する。本地区では、キプロス型鉱床の可能性を明らかにするため土壌試料による地化学探査を実施した。本地区の地質図を Fig. II-2-2 に試料の採取位置を Fig. II-2-3 に示す。

調査地区の地質は、基盤を成す結晶片岩及び石灰岩と鉱床賦存の可能性のあるチャート・スピライト層及び新期の堆積岩 (クワム層) より構成される。

土地化学探査の結果では、Cu、Zn など鉱床と関係の深い元素の高濃度及び異常値を示す試料は散在する。サバハン川の上流域のクワム層の分布域には、黄鉄鉱の鉱染が認められる。この箇所より採取した試料の分析結果では、Cu (107 ppm)、Zn (117 ppm) を示し、研磨片の観察結果でも微量ながら黄銅鉱及び閃亜鉛鉱が確認された。

## (2) B 地 区

本地区はセガマ地区の中央部ダヌン川の上流域に位置する。本地区もキプロス型銅鉛床賦存の可能性が考えられた区域である。本地区の地質図をFig. II-2-6 に、試料の採取位置をFig. I I-2-7 に示す。

B地区の調査には、土壌試料及び河床堆積物試料を用いた。調査は、地形が急峻なことから沢沿いに実施した。

本地区の地質は、基盤を成す超塩基性岩～塩基性岩と、これに接するチャート・スピライト層及び新期のクワム層より構成される。

土壌地化学探査の結果では、Cu及び Zn の顕著な異常帯が地区の中央部及び南西部のチャート・スピライト層の分布域に認められる。

河床堆積物試料による地化学探査の結果でも、土壌による結果と同じ箇所でも顕著な異常帯が捕捉された。更に因子分析の結果でも銅の鉛化作用に関係すると推定される因子がこの範囲を明瞭に抽出している。

地表調査の結果では、この異常が確認された範囲で網状及び鉛染状の銅の鉛化帯が確認されており、その規模は5 km x 2 km の広がりを示す。この鉛化帯より採取した試料の鉛石分析の結果では、その最高値が Cu 2.12 %、Zn 3.04 % を示した。またこの鉛化帯では、強度の珪化、緑泥石化が認められ、角礫化している。

## (3) C 地 区

C地区はセガマ地区中央南部に位置し、セガマ川の上流域に当たる。本地区もキプロス型銅鉛床の可能性が推定されたことから、土壌試料及び河床堆積物試料による地化学探査を実施した。本地区の地質図をFig. II-2-12に、試料の採取位置を Fig. II-2-13 に示す。

本地区の地質は、先三畳紀の千枚岩質片岩及び緑色片岩、白亜紀より第三紀にかけての超塩基性岩、塩基性岩、チャート・スピライト層及び始新世より中新世のクワム層より構成される。

地化学探査の結果では、銅などの異常帯は緑色片岩の分布域に主として認められる。地表調査の結果では、この緑色片岩中に黄鉄鉛などの鉛染帯が認められており、地化学探査の結果と一致する。土壌地化学探査の結果では、地区中央南端部のクワム層分布域にCu、Pb、S、Zn の異常帯の重なる部分があり、何らかの鉛化作用を反映すると推定される。

本地区で見られる鉛化作用は、緑色片岩中の破碎帯に主として認められ、その地質より判断するとキプロス型銅鉛床賦存の可能性は低いと考えられる。

#### (4) D 地 区

D地区は、セガマ地区の中央南端部、テンカユ(Tingkayu)川の中流域に位置する。本地区もキプロス型銅鉱床を対象として、土壤による地化学探査を実施した。本地区の地質図をFig. II-2-18に、試料の採取位置をFig. II-2-19に示す。

本地区の地質は、先三畳紀の角閃石片岩及び緑色片岩、白亜紀より第三紀にかけての超塩基性岩～塩基性岩、チャート・スピライト層、始新世より中新世にかけて堆積したクワム層、角閃石片岩を貫く安山岩ポーフイリィより構成される。本地区での地表調査の結果では、鉱化作用は認められなかった。

地化学探査の結果では、抽出された異常帯はいずれも小規模で散在しており、有望な鉱化帯の抽出はできなかった。また、チャート・スピライト層の分布が小範囲に限られることから判断して、キプロス型銅鉱床の可能性も低いと考えられる。

#### (5) E 地 区

E地区は、センボルナ地区の中央部、カルンパン(Kalumpang)川の上流域に位置する。本地区では浅熱水成の金鉱床を対象として土壤による地化学探査を実施した。本地区の地質図をFig. II-2-22に、試料の採取位置をFig. II-2-23に示す。

本地区の地質は、始新世より中新世にかけてのクワム層及び漸新世の安山岩類より構成される。

土壤地化学探査の結果では地区の南東部でAs、Au、Cu、Hg、Mo、Pbなどの異常帯が重なる箇所が抽出された。因子分析の結果(Fig. II-2-25)でもこの箇所は明瞭に抽出されている。地表調査の結果では、この箇所に珪化作用が確認されており、この箇所に顕著な熱水変質があったことを示す。しかしながら地表調査及び鉱石分析の結果などでは、顕著な鉱化作用は確認されていないので、温泉に伴う熱水変質の可能性が強いと判断される。

#### (6) F 地 区

F地区は、センボルナ地区中央南部に位置し、タワウ(Tawau)川の上流域に位置する。本地区に対しても、浅熱水成の金鉱床を対象として土壤による地化学探査を実施した。本地区の地質図をFig. II-2-26に、採取した土壤試料の位置をFig. II-2-27に示す。

本地区の地質は、鮮新世(安山岩)及び更新世(石英安山岩、玄武岩)の火山岩類より構成される。

土壤地化学探査の結果では、地区北部の安山岩分布域でAs、Au、Cu、Hg、Pb、Sなどの元素の異常帯が重複する箇所がある(Fig. II-2-28)。この箇所では地表調査の結果、黄鉄鉱の鉱染を伴う珪化・粘土化帯が数か所で認められており、温泉の湧出も確認されている。因子分析の結果

(Fig. II-2-29)この変質帯を明瞭に抽出している。抽出された異常帯は、その関係する元素などより判断すると、E地区のものと同様で、温泉による影響が強いものと判断される。

#### (7) G 地 区

G地区は、センボルナ地区中央南部に位置し、アパス (Apas) 川の流域にある。本地区ではE、及びF地区と同様、浅熱水成の金鉱床を対象として土壌による地化学探査を実施した。

本地区の地質図をFig. II-2-30に、土壌試料の採取位置をFig. II-2-31に示す。

本地区の地質は、鮮新世の安山岩類、更新世の安山岩類及び石英安山岩類より構成される。地区の南東部には鮮新世と考えられる、花崗閃緑斑岩の小岩体が貫入する。地区の中央部より東部にかけての広い範囲には、凝灰岩、砂、シルト、火山灰が分布する。この源岩が残された組織より主として石英安山岩質凝灰岩より成ると推定されることから、更新世の堆積物と考えられる。

地化学探査の結果では、地区の南東部及び南西部に各元素の異常帯が重複する部分 (Fig. II-2-32)がある。このうち南東部で見られるものは花崗閃緑斑岩の分布域及びその周辺である。南西部のものは、著しい粘土化を受けた安山岩の分布域に一致する。調査地区の北西部の安山岩の分布域においても変質帯が確認されており、As、Au、Pbなどの異常が重複している。因子分析の結果 (Fig. II-2-33)では、これらの変質帯が明瞭に抽出されている。

地表調査の結果では、顕著な鉱化帯は確認されていないのはっきりしないが、地化学探査の結果によれば有望地区としては変質帯周辺及び花崗閃緑斑岩の分布域の周辺に限られる。

#### (8) H 地 区

H地区は、センボルナ地区東部に位置し、シピット (Sipit) 川の流域にある。本地区ではE、F及びG地区と同様、浅熱水成の金鉱床を対象として土壌による地化学探査を実施した。

本地区の地質図をFig. II-2-34に、土壌試料の採取位置をFig. II-2-35に示す。

本地区の地質は、地区の北部に分布する漸新世～中新世のカルンバング層と地区の南部に分布する鮮新世の安山岩類より主として構成される。地区北東部の小範囲には、チャート・スピライト層が分布する。

土壌地化学探査の結果では、地区北東部のチャート・スピライト層の分布域及び南端部の安山岩の分布域で各元素の異常帯が重なっている。これ以外の異常帯は散在しており明瞭な傾向は示さない。従って、調査地区の中では、各元素の異常帯が重なる2か所が最も有望と考えられる。地表調査の結果では、これらの箇所でも顕著な鉱化帯は確認されていないので、全体的にみるとその可能性は低いと予想される。

#### 4-3 空中物理探査

本調査では、第2年次の調査で測定及びデータ処理が実施され、解析作業のみが残された北部キナバル地区に対し解析作業を実施した。本地区の全磁力線図をFig. II-3-3 に、磁気異常図をFig. II-3-4 に、全放射線図をFig. II-3-5 に、放射線合成図をFig. II-6 に放射線異常図をFig. II-3-7 にそれぞれ示す。

解析の結果本地区全体では、N-S系の磁気不連続線が卓越するとともに、同方向に主要な高カウント異常群が配列する。この方向は衛星画像解析で抽出された断層の方向と一致しており、主要な地質構造を反映していると考えられる。また、これに斜交または直交するNW-SE系、NE-SW系、ENE-WSW系及びE-W系の磁気不連続線が分布している。

本地区のほぼ全域に分布する高カウント域はカリウム(K)による寄与が最も大きい。

北部のE-W及びENE-WSW方向に配列する大振幅短波長磁気異常群は、地表付近の高磁性のチャート・スピライト(KPcs)層に対応する。高磁性岩体の南北はE-W系及びENE-WSW系の磁気不連続線で限られ、斜交するN-S系磁気不連続線でブロック化されている。

中央部では、地下深部に潜在する超塩基性岩類に対応すると考えられる長波長で比較的大振幅の低磁気異常が西端に見られる。

南西部にNW-SE方向に雁行する比較的短波長の大振幅磁気異常群は、地表付近の高磁性の超塩基性岩類、アダメライト、花崗閃緑岩、玄武岩及びチャート・スピライト層に対応する。これらの高磁性岩体は、南北両端をNW-SE系の磁気不連続線で限られ、斜交するN-S系の不連続線でブロック化されている。また、玄武岩により誘起されたと考えられる低磁気異常部には、ウラン(U)とトリウム(Th)の大きな寄与による顕著な高カウントの異常群が分布している。

## 第5章 結論及び提言

### 5-1 結論

第3年次に当たる本調査では、第2年次に実施したセガマ地区及びセンポルナ地区に対する広域地化学探査と同様の手法により、キナバル地区及びラブク地区に対し河床堆積物による広域地化学探査を行った。更に、第2年次にセガマ地区及びセンポルナ地区に対し実施した広域地化学探査の結果抽出された有望地8か所に対し土壌を主とする地化学探査の準精査を行った。空中物理探査は、第2年次に実施できなかったキナバル地区北部の調査結果に対する解析を実施した。

広域地化学探査の結果では、キナバル地区及びラブク地区の既知の鉍化帯を明瞭に抽出しており、本年度実施した広域地化学探査の手法が妥当であったことを示す。本調査の結果では、鉍床賦存の可能性の高い地域として以下の地区が抽出された。

キナバル地区：①東部のスグット川下流域、②中央部のスグット川中流域、③ラナウの東方、④カラマック川最上流部。

ラブク地区：⑤南部のイムバック川支流、⑥南部のイムバック川中流域、⑦南部のカラマック川下流域、⑧南部のカラマック川中流域、⑨南部のカラマック川とミリアン川の間、⑩中部のテルピド南方マイロ川流域、⑪北部のスグット川流域、⑫中央部のテルピド西方地域、⑬ビドゥ・ビドゥヒル鉍床地域。

キナバル地区に対する調査の結果では、現在稼行中のマムート鉍床が大規模な地化学異常帯として抽出された。キナバル地区より抽出された①及び②の区域は、このマムート鉍床に類似した地化学異常を示すことから、マムート鉍床と同様の斑岩型の銅鉍床が可能性が考えられる。③のラナウ東方のものは、この箇所のラテライト質土壌が高いNiの値(1.08%)を示しており、ニッケル鉍床の可能性が推定される地区である。④はこの地区より採取した河床堆積物試料で最高値51.07%のTiを確認したことからチタン鉍床の有望地である。

ラブク地区で抽出された有望地のうち、⑤南部のイムバック河支流、⑥南部のイムバック川中流域、⑦南部のカラマック川下流域の3か所は、Au及びHgなどが高く、その地化学異常の特性より金鉍床の賦存が推定される。このうち特にイムバック川支流ではAuが6,530ppbを示しており今後の調査が期待される。⑧南部のカラマック川中流域は、クロム鉍床及び銅鉍床の有望地である。⑨南部のカラマック川とミリアン川の間は、銅鉍床が対象となる箇所である。⑩中部のテルピド南方マイロ川流域では、Crの値が著しく高い(最高値117,538ppm)ことからクロム鉍床の賦存が期待される。⑪北部のスグット川流域は、キナバル地区より連続する有望地で銅鉍床の賦存が期待される。⑫中央部のテルピド西方地域は、土壌地化学探査の結果Ni(1.06%)及びCo(0.22%)が高い値を示したことから、この地域に分布するラテライト質土壌にニッケル鉍床が期待される。キプロス型の銅鉍床の賦存が確認されている⑬ビドゥ・ビドゥヒル鉍床地域では、顕著な地化学異常が認められた。この鉍床は探査活動が終了し現在開発許可待ちの状況にある。

セガマ地区及びセンポルナ地区で実施した地化学探査の準精査の結果では、セガマ地区中央部に位置するB地区において顕著な地化学異常帯及び鉍化帯が確認された。この鉍化帯は、5 km x

2 kmの広がり が推定され、採取した試料の鉱石分析結果でもCu 2.12 %、Zn 3.04 %を示した。これ以外の地区では、いずれの地区においても弱い鉱化帯及び変質帯が確認された。このうちE地区、F地区及びG地区においては、地化学異常帯の分布と粘土化の著しい変質帯の分布とが良く一致する。

キナバル地区北部地域の北側では、地下浅所に高磁性岩体の存在が推定され、地表付近に分布する超塩基性岩及び主として玄武岩溶岩より成るチャート・スピライト層に対応する。中央部では、地下深部に超塩基性岩の存在が推定される。南西部では地下浅所の高磁性岩体によると考えられる磁気異常がNW-SE 及びN-S 方向の不連続線でブロック化されている。

放射線は、小範囲に虫食い状に低カウント域が分布する以外、ほぼ全域が高カウントを示す。この高カウントはカリウムによる寄与が大きい。南西部及び南東部にに点在する著しい高カウントを示す異常帯は、ウランとトリウムが寄与しており、低磁気異常域に位置する。

## 5-2 提 言

本年次の調査結果によれば、第4年次の調査手法として以下が考えられる。

- 1) 本年度の調査の結果キナバル地区及びラブク地区より抽出された金属鉱床賦存の可能性の高い地区に対しては、その範囲が広いことから、引き続き調査を実施し、より可能性の高い範囲を明らかにすることが必要である。引き続き調査が望まれる箇所及びその調査手法は、以下の通り。

### キナバル地区

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| ①東部のスグット川下流域    | : 土地化学探査準精査           |
| ②中央部のスグット川中流域   | : 土地化学探査準精査           |
| ③ラナウの東方         | : 土地準精査 (深部及び広がり の確認) |
| ④南東部のカラマック川最上流部 | : 河床堆積物地化学探査準精査       |

### ラブク地区

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| ⑤南部のイムバック川支流       | : 土地化学探査準精査           |
| ⑥南部のイムバック川中流域      | : 土地化学探査準精査           |
| ⑦南部のカラマック川下流域      | : 土地化学探査準精査           |
| ⑧南部のカラマック川中流域      | : 土地化学探査準精査           |
| ⑨南部のカラマック川とミリアン川の間 | : 河床堆積物地化学探査準精査       |
| ⑩中部のテルビド南方マイロ川流域   | : 河床堆積物地化学探査準精査       |
| ⑪北部のスグット川流域        | : 土地化学探査準精査           |
| ⑫中央部のテルビド西方地域      | : 土地準精査 (深部及び広がり の確認) |

これらの調査には、地表の地質概査が含まれる。なお、現在探査活動がなされている箇所については除外した。これらの地区の位置をFig. I-3に示す。

- 2) セガマ地区及びセンボルナ地区の調査の結果、最も今後の調査が望まれるダヌン河上流域 (B地区) については、今後の探査の指針を得るため、確認された鉱化帯の概要を明らかにするため鉱徴地調査が望まれる。





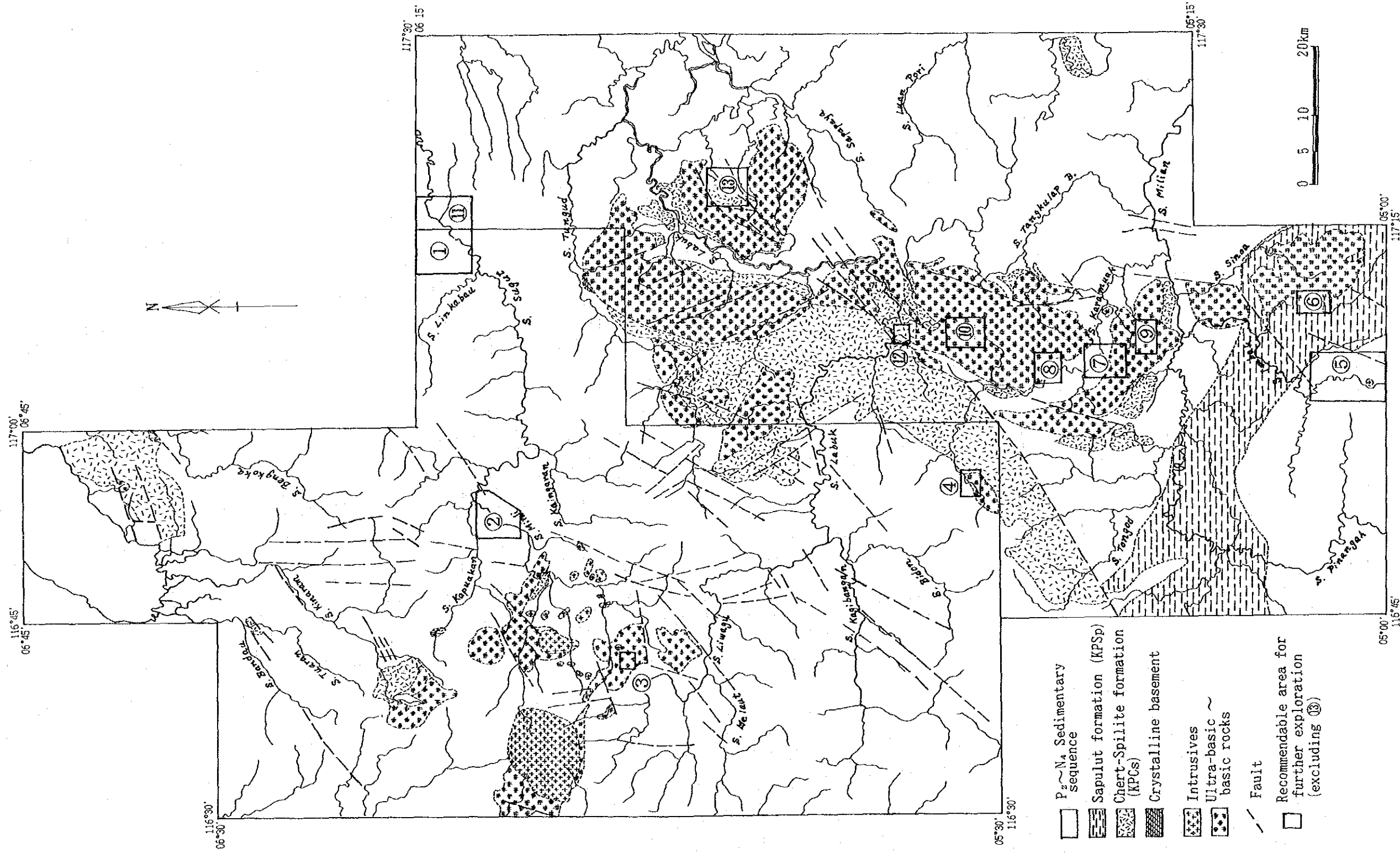


Fig. I-3 Recommendation map of surveys





## 第II部 各論



## 第 1 章 広域地化学探査

### 1-1 調査方法及び作業量

#### 1-1-1 調査方法

本調査では、第1年次に実施した予察地化学探査の結果に基づき、第2年次のセガマ地区及びセンボルナ地区に引き続き、キナバル地区及びラプク地区において広域地化学探査のための試料の採取を行った。広域地化学探査の試料種としては、調査地域全域より河床堆積物を、主要河川に対しパンニング試料を採用した。更に、後背地の地化学的な特性を明らかにするため調査地区を代表する岩石試料を採取した。ラテライト質土壌の発達する場所では、風化残留鉱床の可能性を明らかにするため、土壌試料を採取した。地化学探査の踏査ルートに沿っては、地質の概査を実施するとともに室内試験のための試料を採取し、その結果に基づき総合的な解析を実施した。

河床堆積物は、調査地区のほぼ全域より採取した。試料採取地点での試料採取は、第1年次の予察結果に基づき、流れの縁辺部より採取した。採取試料は、-60メッシュの篩別試料とした。試料の採取密度は、平坦地を除き 2 km<sup>2</sup>当たり 1 試料、平坦地は 4 km<sup>2</sup>当たり 1 試料を原則として実施した。キナバル地区の山岳地帯及びラプク地区の北東部より東部にかけての湿地帯では、試料の採取が困難であった。

各試料の採取地点では、試料ごとに記載を行い試料リストを作成した。試料の採取は、各試料とも 150 gを目安として行い、これを乾燥後秤量し分析試料及び保管試料とに区分した。保管試料は、マレイシア地質調査所サバ支所に保管することにした。分析試料は、日本及びカナダの分析所へ送付した。各分析所では、これらの試料を粉碎後化学分析に供した。

河床堆積物試料の採取に並行して、主要な河川ではパンニング試料の採取を行った。試料は、パン5杯（約25リットル）の河床堆積物をパンニングにより選別した重鉱物試料である。試料の採取密度は 40 km<sup>2</sup> 当たり 1 試料を原則とした。採取した試料は、乾燥後秤量しその重量を明らかにした。採取した試料の重量が10 g以下の試料は全量を、10 g以上の試料は10 gに縮分し、構成鉱物の定量分析 (Qualitative Mineral Examination)を行った。10 g以上の重量を示した試料の残量は、マレイシア地質調査所サバ支所に保管した。

岩石試料は、調査地区に分布する代表的な岩石採取し、河床堆積物と同じ元素の化学分析を行った。採取した試料は150 グラム程度を分析試料とし、残量を地質調査所サバ支所に保管した。

土壌試料は、超塩基性岩類及び塩基性岩類の分布域採取した。試料はB層の最上部より採取した。試料の採取密度は、3 km<sup>2</sup>当たり 1 試料を原則とした。採取した試料は、乾燥後篩別し -80メッシュの篩別試料を分析に供した。

本調査の試料採取は、キャンク及び移動キャンプで実施した。

1-1-2 作業量

本調査で実施した地区別の作業量は以下の通りである。

	キナバル地区	ラブク地区	合計
地化学探査試料			
河床堆積物試料	3,342 試料	2,974 試料	6,316 試料
パンニング試料	193 試料	169 試料	162 試料
岩石試料	52 試料	70 試料	122 試料
土壌試料	48 試料	225 試料	273 試料
室内試験			
薄片	5 試料	1 試料	6 試料
研磨片	1 試料	2 試料	3 試料
鉍石分析	6 試料	5 試料	11 試料

(第2年次に採取した試料を含む)

河床堆積物試料及び岩石試料の分析元素と(21 元素)その検出限界は以下のとおり。

元素名	検出限界	元素名	検出限界	元素名	検出限界
As	1 ppm	K	0.01 %	S	0.001 %
Au	1 ppb	Mg	1.01 %	Sb	0.2 ppm
Ba	10 ppm	Mn	5 ppm	Sr	1 ppm
Co	1 ppm	Mo	1 ppm	Ti	0.01 %
Cr	2 ppm	Na	0.01 %	U	0.2 ppm
Cu	1 ppm	Ni	1 ppm	W	2 ppm
Hg	10 ppb	Pb	2 ppm	Zn	1 ppm

土壌試料の分析元素(6 元素)及びその検出限界は以下のとおりである。

元素名	検出限界	元素名	検出限界	元素名	検出限界
Al	0.01 %	Cr	2 ppm	Ni	1 ppm
Co	1 ppm	Fe	0.01 %	Pt	5 ppb

鉍石分析の成分及び検出限界は以下のとおり。

元素名	検出限界	元素名	検出限界	元素名	検出限界	元素名	検出限界
Au	0.1 g/t	Cu	1 ppm	Zn	1 ppm	S	0.01 %
Ag	0.1 g/t	Pb	1 ppm	Mo	1 ppm		

本調査の地化学探査に採用した分析元素は、第1年次に実施した予察地化学探査の結果に基づいて決定した。



### 1-1-3 解析手法

河床堆積物試料の分析結果は、データの統計処理のためコンピュータに入力した。この入力データを用い統計処理、単変量解析及び多変量解析を行った。

単変量解析では、各元素ごとのヒストグラム、累積頻度図を作成するとともに各元素の統計値を計算した。計算には、コンピュータを使用した。検出限界以下の値を示す試料については検出限界値の半分の値を用い計算した。計算した平均値は幾何平均値である。この統計値に基づき各元素の濃度分布図を作成した。この場合の濃度のランク分けは、以下の5ランクとした。

B	以下	B ; 幾何平均値 (後背値)
B	~ B + SD	SD ; 標準偏差
B + SD	~ B + 2 SD	
B + 2 SD	以上	

濃度分布図の作成に先立って、調査地区の水系をデジタイザーを用いコンピュータに入力し、コンピュータ処理により濃度図を作成した。各元素間の関係は相関係数を計算し検討した。各元素の異常値の抽出には、EDA (Exploratory Data Analysis) 法 (Kurzi H.; 1988) を採用した。この手法は、単成分データの分布の型に関係せず、統計的な数値処理によってしきい値 (異常値) を抽出する手法である。

多変量解析としては、クラスター分析及び因子分析の2手法を採用した。クラスター分析は、各単成分間の相関係数より、関係の深い成分ごとにグループ (クラスター) 分けをする手法である。因子分析は、各成分間の関係よりその関係の原因となる因子を抽出する手法である。

パンニング試料は、磁選により磁鉄鉱とチタン鉄鉱を選別した後、双眼顕微鏡下の観察により構成鉱物を同定し、各鉱物ごとの容積比を算出した後、各鉱物の比重を基に構成鉱物ごとの重量パーセントを計算した。

岩石試料及び土壌試料については、その試料数が少なく統計処理の数値が余り意味をなさないことから、試料ごとの分析結果に基づいて検討を行った。

各試料種の解析には、その地区の地質が重要な要素となるので、既存資料と本調査の結果に基づいて作成した地質図によりその解析を実施した。

## 1-2 キナバル地区調査結果

### 1-2-1 地質及び鉱化作用

キナバル地区の地質は、基盤をなす三畳紀以前の結晶質岩類、白亜紀～第三紀の塩基性～超塩基性岩及び第三紀以降の堆積岩類からなる(Y. E. Heng; 1985)。既存資料と本調査の結果に基づき作成した地質図をFig. II-1-1 に示す。

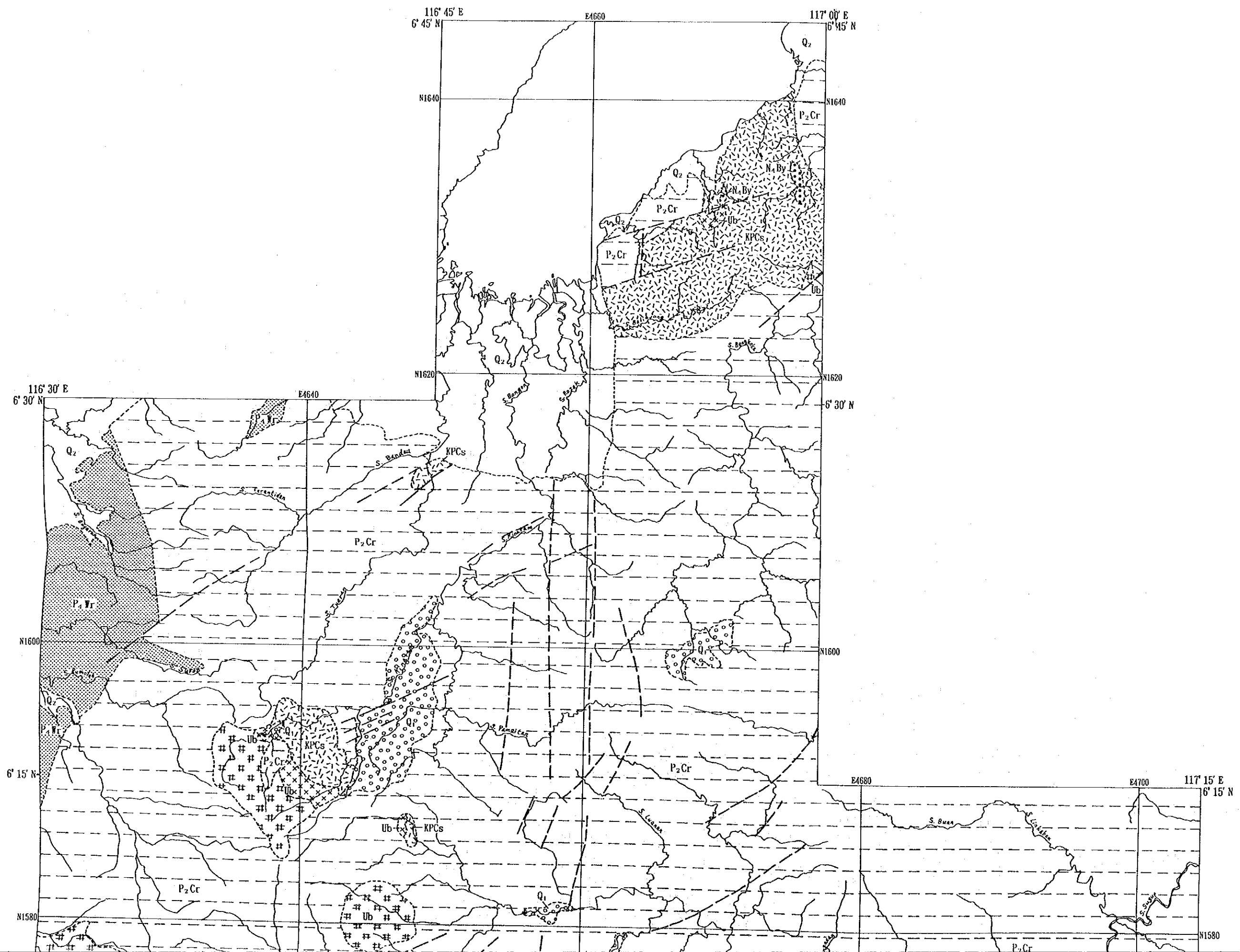
結晶質岩類 (Cb) は本地区の基盤をなし、中央東部ツングッド川 (Sungai Tungud) 沿いの小範囲に分布しており、主として片岩及び角閃岩からなる。この基盤岩の周辺、地区中央部ラナウ周辺及び地区北端部と南東部の小範囲に白亜紀～第三紀の超塩基性～塩基性岩類 (Ub) の分布が見られる。この超塩基性岩は蛇紋岩及び蛇紋岩化したカンラン岩より主としてなり、塩基性岩はドレライト、斑れい岩からなる。これらの超塩基性岩及び塩基性岩の周辺には玄武岩の噴出を伴う堆積岩類のチャート・スピライト層 (KPCs) が分布する。チャート・スピライト層は、白亜紀～始新世に堆積したもので、砂岩、チャート、玄武岩質枕状溶岩、玄武岩質火山碎屑岩類より成る。

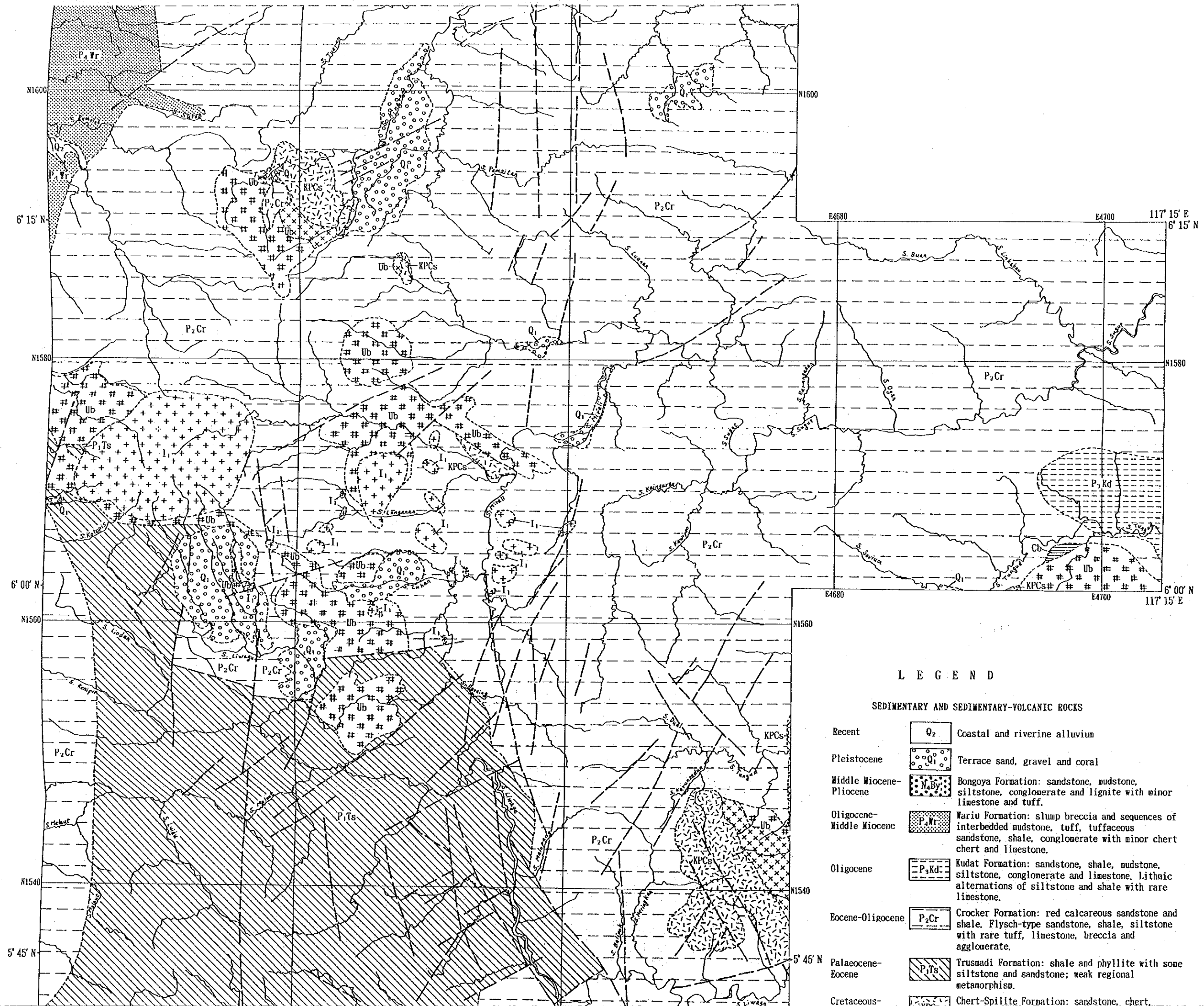
地区南部の広い範囲には、暁新世より始新世にかけて堆積したトルスマディ (Trusmadi) 層 (P<sub>1</sub>Ts) が分布する。本層は千枚岩及び頁岩を主としシルト岩及び砂岩の薄層を挟む。本層の分布する河川では一般に溪谷をつくる場合が多い。この上位には始新世より漸新世にかけて堆積したクロッカー (Croker) 層 (P<sub>2</sub>Cr) が調査地区の大部分を占め分布する。本層は主として砂岩より構成され、頁岩やシルト岩を挟む。調査地区の中央東端部の小範囲には、このクロッカー層を覆って漸新世のクダット (Kudat) 層 (P<sub>3</sub>Kd) が分布する。本層は、砂岩、シルト岩、頁岩、泥岩、礫岩などの堆積岩類より構成される。調査地区北西部の小範囲には、クロッカー層の上位に漸新世より中新世中期にかけて堆積したワリウ (Wariu) 層 (P<sub>4</sub>Wr) が分布する。本層は、主として砂岩及び泥岩より構成され、凝灰岩の挟在も報告されている。

貫入岩類としては、漸新世より中新世後期にかけて貫入したとされているアダメロ岩、花崗閃緑岩、安山岩ポーフイリー、石英安山岩ポーフイリーがあり、調査地区中央部のラナウ周辺に幾つかの小岩体として分布する。

更新世の段丘堆積物 (Q<sub>1</sub>) が河川沿いに、また海岸及び河川沿いには沖積層 (Q<sub>2</sub>) が分布する。

本地区の超塩基性岩～塩基性岩類とチャート・スピライト層は近接して見られることが多く、密接な関係にあり、これらはオフィオライトの一部を構成するものであると考える。しかし、超塩基性岩～塩基性岩類の分布は散在しており、その地質構造が複雑であることを示す。断層はN-S方向のものが最も顕著で、これ以外にはENE-WSW方向、NE-SW方向及びNNW-SSE方向(Y. E. Heng; 1985)のものがある。





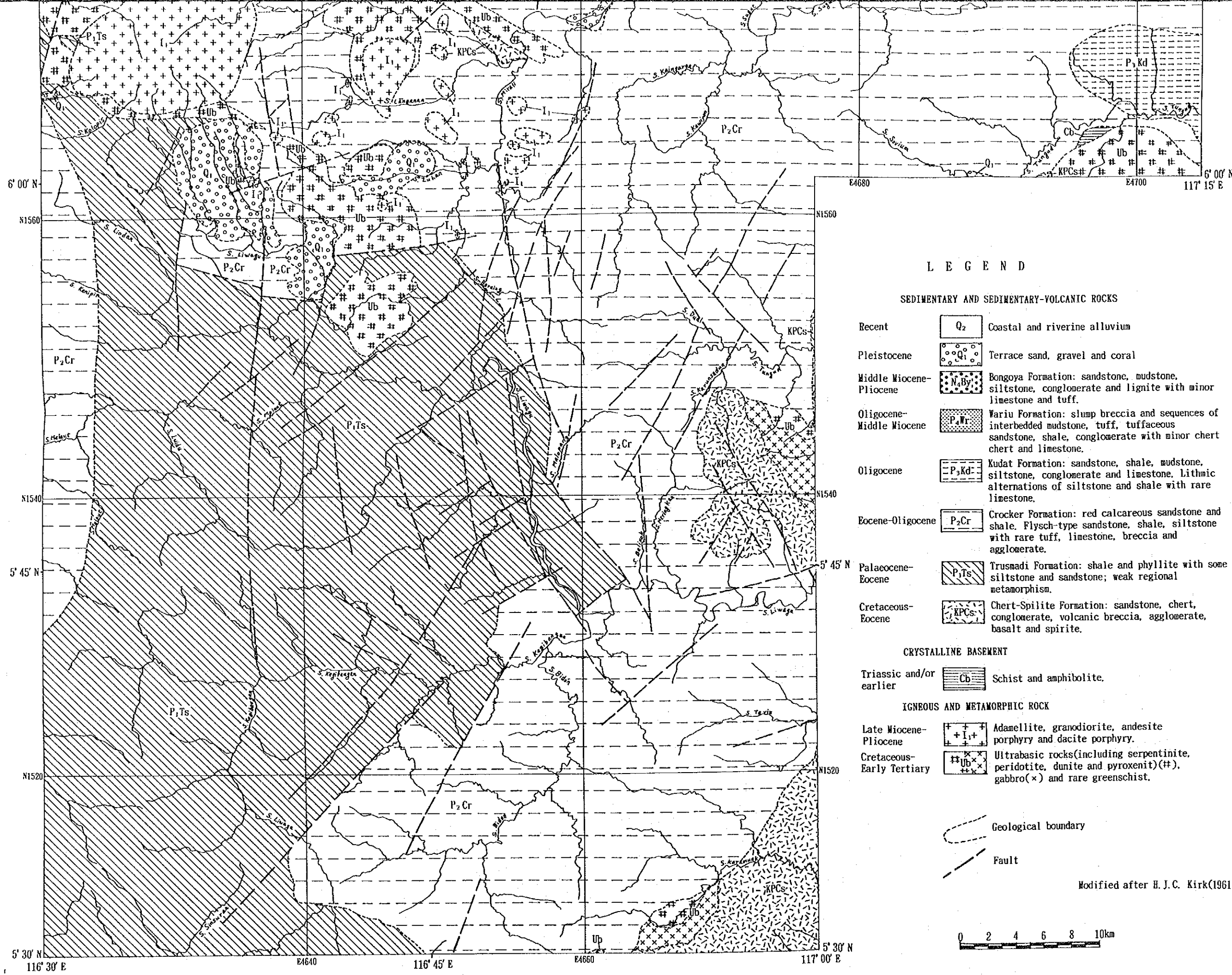


Fig. II-1-1 Geologic map of Kinabalu area



本地区の鉍化作用としては、ラナウの北方に位置するマムート鉍床が既知の鉍化帯としては最大規模である。本鉍床は漸新世より中新世後期に貫入したアグメライトに伴われた斑岩型の銅鉍床である。これ以外の既知の鉍徴地は小規模ではあるがチャート・スピライト層中及び漸新世より中新世後期の貫入岩に関連した銅の鉍化作用が知られている。クロムの鉍徴は超塩基性岩中に認められるが、確認されているものはいずれも小規模である。

### 1-2-2 試料採取

地化学探査に用いた河床堆積物及びパンニング試料の採取は地区内を流れる河川に沿って、また岩石及び土壌試料の採取は河川及び道路沿いでそれぞれ実施した。試料採取は、道路網の起点となるラナウの町をベースとして行った。地区の北部及び南部の遠隔地については、それぞれキャンプを設置し実施した。これらのキャンプよりの調査が不可能な箇所については、移動キャンプにより試料の採取を行った。

河川堆積物の各試料採取地点では、付近の地質、河川の状況及び採取試料の色調、粒度などの記載を行い一覧表 (Appendix 1) を作成した。試料採取位置を Fig. II-1-2 及び Plate II-1-1 に示す。

パンニング試料の各採取地点でも付近の地質、河川の状況、粒度及び採取した試料の重量などの記載 (Appendix 4) を行った。各試料の採取位置を Fig. II-1-3 に示す。

岩石試料の採取は、調査地区を代表的する岩石を採取した。岩石試料の採取地点での UTM 座標、付近の地質などの記載を行い一覧表を作成した。試料採取位置を Fig. II-1-3 に示す。

土壌試料の採取は、主として超塩基性岩～塩基性岩 (Ub) の分布する範囲で実施した。土壌試料の採取地点での UTM 座標、付近の地質、地形、試料の色調などの記載を行い一覧表を作成した。各試料の採取位置を Fig. II-1-3 に示す。

以上の地化学探査の試料採取と並行して地質調査を実施するとともに、室内試験のための試料を採取した。本調査で実施した室内試験は、薄片観察、研磨片観察及び鉍石分析である。室内試験試料の採取位置を Fig. II-1-3 に示す。

### 1-2-3 河床堆積物地化学探査

#### (1) 指示元素

本地区で採取した試料に対し 21 元素の化学分析を行った。この分析結果 (Appendix 2) に対する統計処理の結果を Table II-1-1、に示す。この表で明らかのように Au、Mo、W の 3 元素については、大部分の試料で検出限界以下の値を示した。各元素の最高値を見ると、Cr (59,548 ppm)、Hg (14,767 ppb)、Sb (3,488.0 ppm)、Ti (51.07 %) などの元素がかなり高い値を示している。

各元素間の関係を明らかにするため、各元素間の相関係数を計算した。各元素間の相関表を









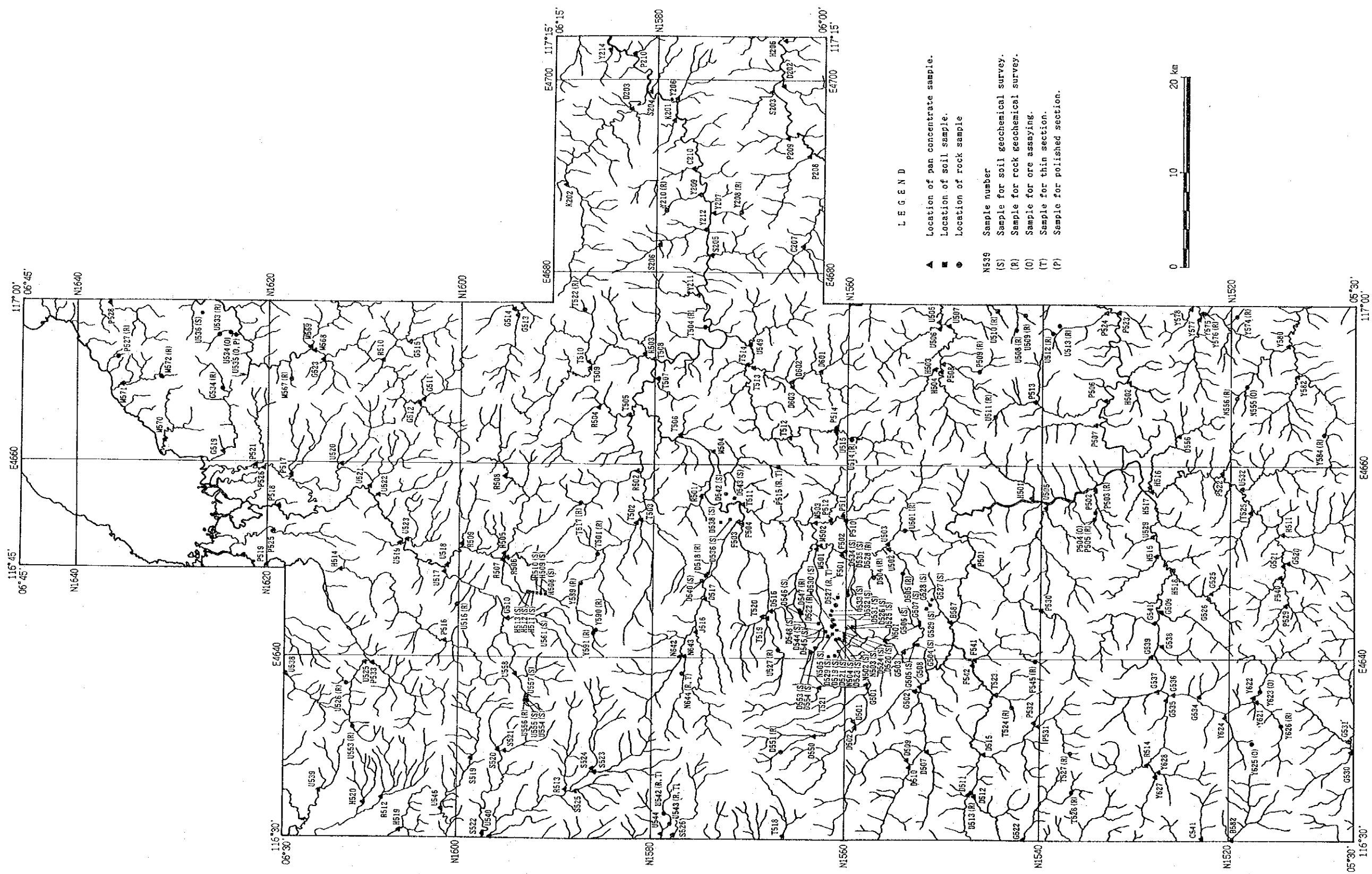


Fig. II-1-3 Location map of samples for geochemical and laboratorial studies in Kinabalu area





Table II-1-1 Statistics of stream sediment geochemical survey in Kinabalu area

Element	Statistics							EDA method* <sup>3</sup>		
	Below detection limit (%)	Maximum value	Minimum value	Mean* <sup>1</sup> value (b)	Standard deviation	b + 2S.D. * <sup>2</sup>	Median	Upper Whisker	Upper Fence	
As (ppm)	36.8	118	< 1	2.8	0.643	54.9	4.0	13.0	—	
Au (ppb)	70.6	1,395	< 1	1.0	0.566	13.4	0.5	2.0	2.8	
Ba (ppm)	0.2	1,478	3	117.4	0.293	451.9	116.0	213.0	741.2	
Co (ppm)	7.1	442	< 1	5.6	0.506	57.7	6.0	14.0	77.2	
Cr (ppm)	—	59,548	50	259.0	0.381	1,498.1	221.0	386.0	1,062.1	
Cu (ppm)	0.0	3,632	< 1	12.0	0.349	60.0	10.0	23.0	85.0	
Hg (ppb)	16.0	14,767	< 10	33.3	0.622	584.1	26.0	107.0	1,110.0	
K (%)	0.3	2.51	< 0.01	0.481	0.329	2.187	0.480	1.020	—	
Mg (%)	0.4	18.06	< 0.01	0.281	0.554	3.607	0.220	0.760	7.966	
Mn (ppm)	19.7	7,555	< 1	53.3	0.839	2,542.3	74.0	302.0	—	
Mo (ppm)	70.6	54	< 1	0.7	0.270	2.4	0.5	1.0	2.8	
Na (%)	0.9	2.36	< 0.01	0.124	0.524	1.384	0.130	0.430	—	
Ni (ppm)	—	4,193	3	31.7	0.493	306.1	23.0	65.0	260.7	
Pb (ppm)	26.4	587	< 2	4.2	0.447	33.0	5.0	10.0	243.0	
S (%)	—	6.128	0.005	0.019	0.343	0.091	0.018	0.032	0.104	
Sb (ppm)	12.6	3,488.0	< 0.2	1.90	0.619	32.96	2.60	5.40	37.23	
Sr (ppm)	0.0	213	< 1	24.0	0.265	81.3	22.0	45.0	143.3	
Ti (%)	—	51.07	0.02	0.201	0.219	0.553	0.180	0.290	0.593	
U (ppm)	1.0	49.2	< 0.2	1.56	0.231	4.50	1.60	2.20	4.30	
W (ppm)	85.0	58	< 2	1.2	0.215	3.3	1.0	1.0	1.0	
Zn (ppm)	12.2	448	< 1	17.4	0.689	416.8	22.0	69.0	—	

\*<sup>1</sup>: geometric mean \*<sup>2</sup>: background value + 2 x standard deviation \*<sup>3</sup>: Exploratory Data Analysis (Kurzi H., 1988)

Table II-1-2 に示す。元素間で良い相関（相関係数0.600 以上）を示す元素の組み合わせは、以下の通りである。

Ba-K, Ba-Sr, Co-Cu, Co-Mg, Co-Mn, Co-Na, Co-Ni, Co-Zn, Cr-Ni, Cu-Mg, Cu-Na, Cu-Ni, Cu-S, Cu-Sr, K-Na, K-Sr, Mg-Mn, Mg-Na, Mg-Ni, Mg-Sr, Mg-Ti, Mg-Zn, Mn-Ni, Na-Sr, Na-Ti, Sr-Ti, Ti-Zn

これらの組み合わせのうち、特に高い相関を示す元素組み合わせは、Ba-K(0.865)、Co-Mg(0.827)、Co-Ni(0.803)、Mg-Ni(0.843)、Na-Sr(0.869) である。Auと高い相関を示す元素は得られていない。Cuと高い相関(0.500以上)を示す元素にはK、Mg、Na、Ni、S、Sr、Ti、Zn などがある。

## (2) 単変量解析

単変量解析では、統計処理結果に基づき1-1-3の項で述べた4ランク分けによる濃度分布図を作成した。しきい値（異常値）の抽出にはEDA法を採用した。EDA法による処理結果をTable II-1-1 に示す。しきい値は、原則としてアッパーフェンスの値としたが、最高値がアッパーフェンスの値より低い場合には、アッパーウイスカの値を採用した。また、この手法でしきい値の得られなかった元素については、後背値プラス2倍の標準偏差の値を採用した。作成した元素ごとの濃度分布図をAppendix 3に示す。各元素の濃度及び分布の特徴は以下の通りである。なお、ここで高濃度としたものは、後背値プラス標準偏差以上の値を示す試料である。

As：高濃度を示す試料は堆積岩類(P<sub>1</sub>Ts、P<sub>2</sub>Cr)の分布域に位置しており、特にトルスマディ層(P<sub>1</sub>Ts)の分布域で高い傾向が認められる。異常値を示す試料はラナウ南方のメラウト(Melaut)川沿い及びラナウ北方のスグット(Sugut)川沿いに認められる。このうちメラウト川沿いのものはマムート鉱山の位置に一致する。

Au：高濃度を示す試料は、ラナウ周辺、地区の北東部、中央東端のスグット川下流域及び地区の南東端に分布する。このうち特に顕著なものはマムート鉱山周辺に見られる。最大値(1,395 ppb)を示す試料もマムート鉱山の東方約5 kmに位置する。

Ba：高濃度を示す試料は、トルスマディ層の分布域、キナバル山周辺、最北部のチャート・スピライト層(KPCs)の分布域などに見られる。これらの高濃度を示す試料の分布域のうち、最も顕著な異常を示す区域はラナウ南方のリワグウ(Liwagu)川及びその支流で見られる。

Co：高濃度及び異常を示す試料は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩の分布域に見られる。地質と密接な関係を示す。

Cr：高濃度及び異常を示す試料の分布傾向はCoと同様で、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩の分布域と一致する。最大値(59,548 ppm)を示す試料はスグット川の上流域に位置し、超塩基性岩との関係を示す。

Cu：最も顕著な異常を示す試料はマムート鉱山周辺に分布する。Cuの最高値(3,632 ppm)を示す試料もこの範囲にある。この区域以外で高濃度を示す試料は、地区北端部のチャート・スピライト層の分布域、スグット川の流域などに分布する。地区北端部のものはCuの最

Table II-1-2 Coorelation matrix of elements for stream sediments in Kinabalu area

	As	Au	Ba	Co	Cr	Cu	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	S	Sb	Sr	Ti	U	W	Zn
As	1.000																				
Au	.102	1.000																			
Ba	.181	.086	1.000																		
Co	-.019	.161	.258	1.000																	
Cr	-.027	.142	-.102	.575	1.000																
Cu	.124	.392	.386	.677	.346	1.000															
Hg	.148	.313	.275	.315	.024	.498	1.000														
K	.147	.117	.865	.863	-.098	.522	.358	1.000													
Mg	.023	.217	.366	.827	.585	.752	.343	.488	1.000												
Mn	.021	.177	.202	.668	.449	.603	.302	.282	.685	1.000											
Mo	.052	.234	.239	.142	.015	.409	.263	.273	.145	.097	1.000										
Na	.050	.153	.618	.631	.270	.609	.331	.670	.760	.491	.185	1.000									
Ni	.030	.206	.154	.803	.772	.660	.264	.223	.843	.630	.123	.538	-1.000								
Pb	.112	.054	.285	-.024	-.138	.179	.130	.268	-.055	-.039	.366	.051	-.027	1.000							
S	.142	.213	.276	.461	.217	.661	.334	.343	.565	.323	.301	.495	.518	.197	1.000						
Sb	.045	.153	.051	.381	.404	.340	.206	.049	.423	.340	.080	.254	.455	-.038	.284	1.000					
Sr	.082	.169	.699	.514	.068	.602	.368	.742	.645	.403	.185	.869	.395	.108	.439	.213	1.000				
Ti	-.020	.193	.337	.559	.152	.585	.361	.445	.607	.512	.087	.607	.416	-.055	.289	.311	.644	1.000			
U	.165	.017	.528	-.107	-.296	.030	.199	.546	-.079	-.065	.173	.124	-.180	.272	-.024	-.141	.219	-.002	1.000		
W	-.009	.070	.059	.064	-.006	.151	.147	.089	.066	.034	.219	.004	.067	.185	.166	.050	.076	.036	.101	1.000	
Zn	.049	.089	.358	.638	.357	.590	.186	.485	.651	.447	.190	.585	.553	.038	.410	.249	.508	.477	.037	.055	1.000



大値が 88 ppm であまり顕著でないが、スグット川のものはその下流域に顕著な異常帯が認められその濃度も 100 ppm以上（最高値225 ppm）を示す試料が多数分布する。

Hg：高濃度を示す試料は調査地区中央部のマムート鉱山周辺より南西部のトルスマディ層の分布域にかけての区域で見られる。本地区での Hg に最大値は高く14,767 ppbを示すが、この試料は北部のキナラム (Kinaram) 川の上流部に位置する。

K：高濃度を示す試料の分布は、トルスマディ層の分布域と良く一致する。小規模ではあるが Cuが高濃度を示した調査地区の北端部及びスグット川の下流域においても比較的高濃度を示す試料が散在する。

Mg：Mgの高濃度を示す試料は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩の分布域に位置する。

Mn：Mnの高濃度を示す試料は、Mgの分布傾向と同様で超塩基性岩～塩基性岩類の分布と良く一致する。

Mo：Moについては検出限界以下の値を示す試料が多いが、マムート鉱山周辺及びその南方、地区中央東部のスグット川の下流域などで比較的高い濃度を示す試料が分布する。

Na：Naの高濃度を示す試料は、超塩基性岩～塩基性岩類、チャート・スピライト層及びトルスマディ層の分布域に良く一致する。

Ni：高濃度を示す試料の分布は Co 及び Cr と同様の分布傾向を示し、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩類との関係が認められる。

Pb：高濃度を示す試料は、マムート鉱山周辺、南部のトルスマディ層の分布域、スグット川の下流域などで認められる。最高値(587 ppm)を示す試料は、リワグウ (Liwagu)川の中流域に位置する。

S：高濃度を示す試料の分布は、マムート鉱山周辺、トルスマディ層の分布域及び北西部の超塩基性岩～塩基性岩の分布域周辺などで認められる。地表調査の結果ではマムート鉱山の周辺で黄鉄鉱の鉱染が認められる。トルスマディ層では、初生の黄鉄鉱が堆積岩中に挟入する。

Sb：高濃度を示す試料の分布は、マムート鉱山周辺のものを除けば、チャート・スピライト層の分布域と比較的良く一致する。

Sr：高濃度を示す試料の分布は、トルスマディ層の分布域に比較的一致する。北東端のチャート・スピライト層の分布域においても高濃度を示す試料が比較的まとまって分布する。

Ti：高濃度を示す試料の分布は、超塩基性岩～塩基性岩類、チャート・スピライト層の分布域と不明瞭ながら一致する傾向が認められる。

U：高濃度を示す試料は、トルスマディ層及びピノスク礫岩(Q<sub>1</sub>)の分布域で認められるが、一般にその絶対値の濃度は低い。

W：Wについては、検出限界以下を示す試料が多く、また高い値が地区全域に分散して見られるなど、その分布傾向は不明瞭である。

Zn：高濃度を示す試料の分布は、Co、Ni、Tiなどの元素と同様でチャート・スピライト層及びトルスマディ層の分布域で主として認められる。Znの最大値は、448 ppm でリワグウ川の支流ミンダフォン (Mindahuon) 川に位置する。

各元素で高濃度を示す試料の分布傾向を総合すると、地質と比較的良く対応した分布傾向を示す元素とそうでない元素とがある。特に、超塩基性岩～塩基性岩分布域ではCo、Cr、Mg、Mn、Na、Ni、Sb、Ti、Znが高い値を示す。泥質の堆積岩類（トルスマディ層）が分布する区域では、As、Ba、K、Pb、S、Sr、Uが高い値を示す。Au、Cu、Hg、Mo、Wなどの元素については、地質との対応はあまり顕著でない。

以上の元素の分布傾向から、金及び銅鉱床の鉱化作用を反映している可能性が考えられる元素としては、As、Au、Co、Cu、Hg、S、Znの7元素が挙げられる。抽出された主要元素でしきい値（異常値）以上の値を示す試料の分布をFig. II-1-4に示す。

### (3) 多変量解析

各元素間の関係を明らかにするため多変量解析の一手法であるクラスター分析を行った。分析の方法としては最短距離法及びワード(Ward)法を採用した。この分析の結果得られたデンドログラムをFig. II-1-5に示す。このデンドログラムで見られるようにワード法による結果では、以下の元素の組み合わせによるクラスターを構成する。

As-Au-Hg、W-Mo-Pb、U-Ba-K、Sb-Cr-Mn-Co-Mg-Ni、Zn-Cu-S、Ti-Na-Sr

関係するこれらの元素は互いに同様な分布傾向を示し、濃度分布図からもその傾向が読み取れる。Sb-Cr-Mn-Co-Mg-Ni-Ni及びTi-Na-Srのクラスターは、その構成元素と元素の分布傾向から超塩基性岩～塩基性岩に、U-Ba-Kは堆積岩に関係したクラスターであることを示す。

クラスター分析に加えてバリマックス法による因子分析を行った。因子分析の結果をTable II-1-3に示す。この因子分析の結果では8個の因子が抽出された。抽出された因子とその因子に密接な関係を示す元素は以下の通りである。

第1因子：Co-Cr-Cu-Mg-Mn-Ni-Zn

第2因子：Ba-K-Na-Sr

第3因子：Mo-Pb

第4因子：Au

第5因子：S

第6因子：(Ti)

第7因子：(Sb)

第8因子：(As)

これらの因子のうち第2、第3、第4は上記の元素と負の関係を示している。( )で表示した元素は、その関係があまり強くないことを示す。抽出された因子とその因子に関係した元素とその元素の分布傾向より判断すると、第1因子は超塩基性岩～塩基性岩類及び銅の鉱化作用と若干の関係が認められる因子、第2因子はチャート・スピライト層及び堆積岩に関係する因子と考えられる。第3因子は関係する元素より貫入岩に関連した因子である可能性が推定される。第4因子は金の鉱化作用との関係が推定される因子である。第5因子はSと関係しており泥質堆積岩及



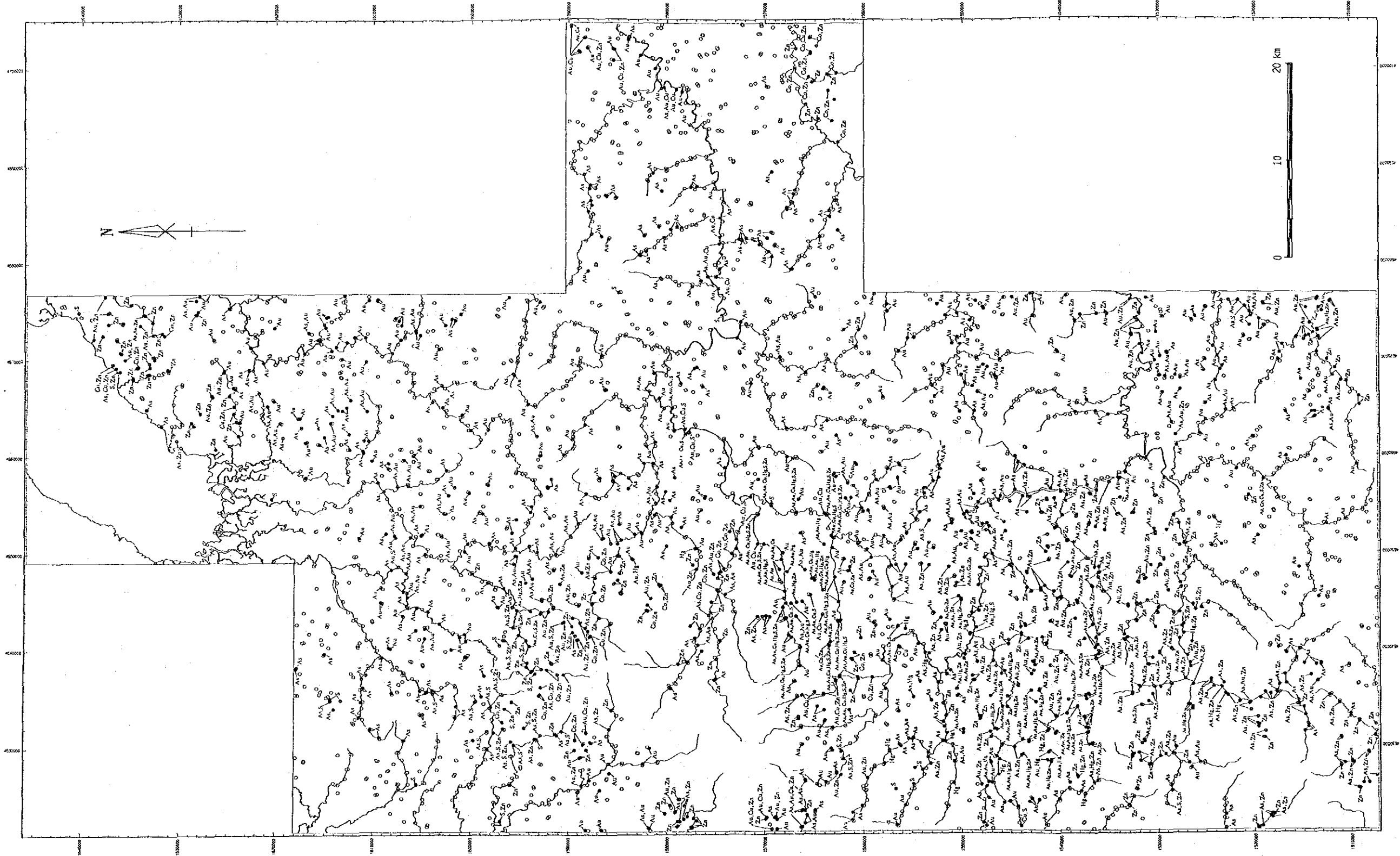
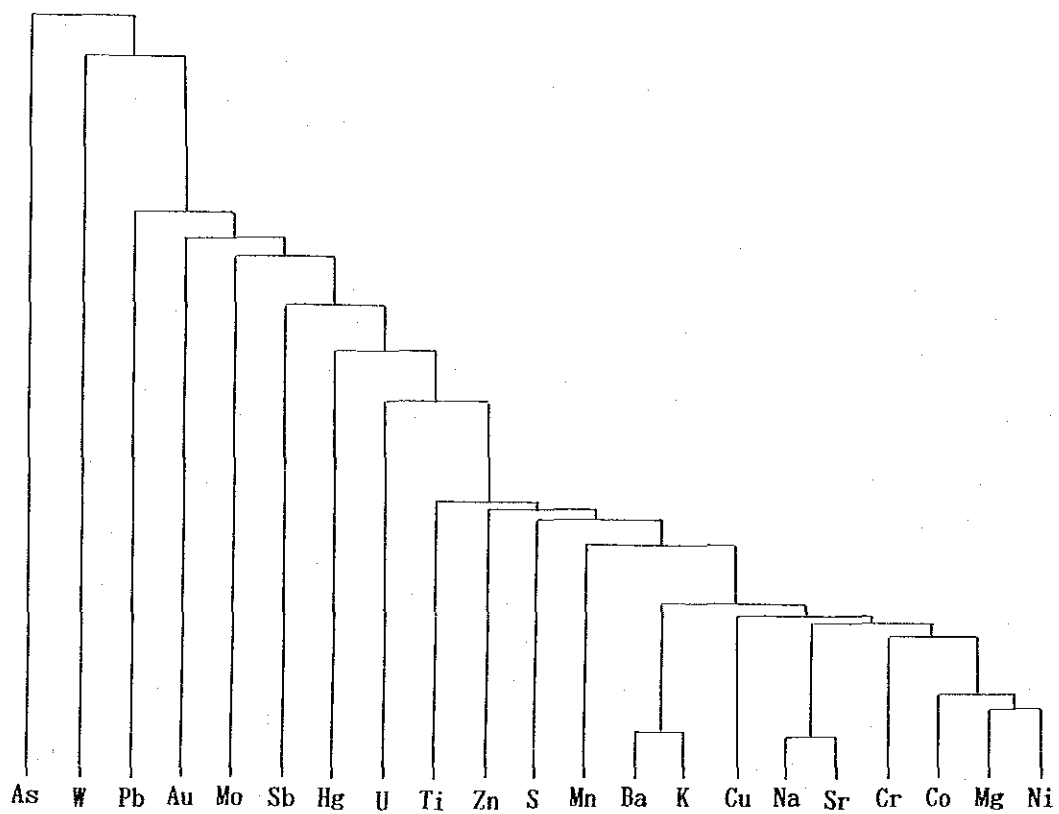


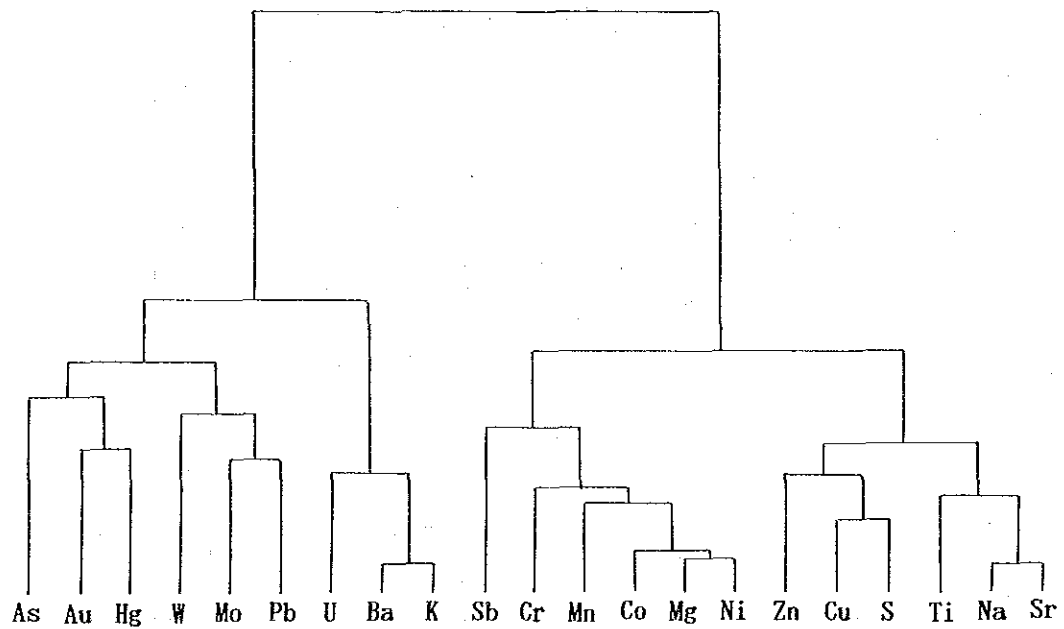
Fig. II-1-4 Distribution map of anomalous stream sediment samples for major elements in Kinabalu area







Nearest neighbor method



Ward method

Fig. II-1-5 Dendrogram of elements for stream sediments in Kinabalu area

Table II-1-3 Results of factor analyses for stream sediments in Kinabalu area

Element	Factor loading (Varimax rotation)								Communality
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	
As	-0.009	-0.092	-0.036	-0.086	0.031	0.000	0.012	0.400	0.1782
Au	0.135	-0.024	-0.112	-0.593	0.034	0.027	0.039	0.099	0.3958
Ba	0.092	-0.872	-0.190	-0.014	-0.066	-0.032	0.003	0.226	0.8616
Co	0.850	-0.223	-0.048	-0.065	0.088	0.157	0.025	-0.077	0.8184
Cr	0.780	0.184	0.084	-0.085	-0.057	-0.314	0.197	-0.029	0.7974
Cu	0.624	-0.299	-0.306	-0.374	0.251	0.222	-0.018	0.100	0.8350
Hg	0.188	-0.218	-0.223	-0.387	0.027	0.359	0.130	0.222	0.4784
K	0.195	-0.859	-0.227	-0.046	-0.034	0.125	-0.126	0.184	0.8967
Mg	0.826	-0.352	0.008	-0.138	0.205	0.111	0.100	-0.003	0.8898
Mn	0.700	-0.152	0.018	-0.141	-0.055	0.298	0.055	-0.003	0.6283
Mo	0.090	-0.133	-0.574	-0.261	0.063	-0.034	-0.066	0.016	0.4335
Na	0.496	-0.714	0.030	-0.132	0.282	0.036	0.080	-0.071	0.8662
Ni	0.903	-0.060	-0.042	-0.109	0.122	-0.066	0.157	0.071	0.8814
Pb	-0.083	-0.164	-0.548	-0.007	0.005	-0.069	-0.055	0.147	0.3637
S	0.419	-0.187	-0.317	-0.126	0.541	0.061	-0.070	0.232	0.6822
Sb	0.425	0.008	-0.043	-0.106	0.065	0.069	0.463	0.032	0.4177
Sr	0.313	-0.792	-0.041	-0.140	0.312	0.166	0.125	-0.038	0.8891
Ti	0.424	-0.429	0.062	-0.218	0.117	0.422	0.118	-0.205	0.6633
U	-0.211	-0.490	-0.257	0.025	-0.315	0.046	-0.091	0.305	0.5543
W	0.034	0.004	-0.408	-0.012	0.014	0.085	0.080	-0.027	0.1827
Zn	0.628	-0.364	-0.103	0.022	0.147	0.065	-0.163	-0.049	0.5919
FC* <sup>1</sup>	38.7 %	27.5 %	9.3 %	6.7 %	5.7 %	5.0 %	3.1 %	4.1 %	—

\*<sup>1</sup>: Factor contribution



び鉍化作用との関係が推定される因子である。第6、第7及び第8因子については、その関係が不明瞭である。抽出された因子のうち、鉍化作用との関係が考えられる第1因子、第3因子及び第4因子の3因子に対し、その因子得点の分布を明らかにするため因子ごとに色を指定し合成図で表示した。作成した合成図をFig. II-1-6に示す。この図で使用した各因子と色との関係は以下の通り。

第1因子：赤、 第3因子：青、 第4因子：黄

これらの因子の因子得点の分布傾向は、以下の通りである。

第1因子：高因子得点を示す試料の分布は、地区中央西部のキナバル山周辺、地区北端及び南東部のチャート・スピライト層及び超塩基性岩～塩基性岩類の分布域に認められる。キナバル山周辺に分布する高得点の範囲には、マムート鉍山が含まれる。堆積岩類の分布域では、トルスマディ層の分布域で若干高い得点の分布が認められるがクロッカー層の分布域では、殆ど認められない。

第3因子：関係する元素との関係が負であることから、負の因子得点を用いて分布図を作成した。従ってここでは負の値の絶対値が大きいものを高因子得点とする。この因子の高因子得点部は地区全体に散在するが、特に顕著なものがマムート鉍山周辺、地区東端のスグット川下流域、地区の北端、地区南部のカギバンガン(Kagibangan)川の中流域などで認められる。

第4因子：この因子も関係する元素と負の関係にあることから負の値の絶対値が高いものを高因子得点とする。この因子の高得点の分布は、マムート鉍山を中心としNE-SW方向に伸びる地区及び地区南東部のチャート・スピライト層の分布域に認められる。

これら3因子の重なりを見ると、マムート鉍床で顕著な3因子の重なりが見られこの鉍床を明瞭に抽出している。調査範囲では、マムート鉍山以外にもこの重なりがスグット川の下流域及び中流域で認められる。

#### 1-2-4 パンニング試料定量分析

##### (1) 試料

本地区の主要河川よりパンニング試料193個を採取した。試料の記載をAppendix 4に示す。

試料は、5杯のパンニング(約25リットル)を実施し採取した。採取した試料は秤量したがその最高値は、127gである。堆積岩の分布域では、一般に微量の試料しか採取できなかった。

##### (2) Q M E 分析

パンニング試料のQualitative Mineral Examination (QME分析)の結果をAppendix 5に示す。QME分析の結果、磁鉄鉍、クロム鉄鉍、赤鉄鉍、チタン鉄鉍、白チタン石、針鉄鉍、黄鉄鉍などが主要鉍物として認められ、少量であるがジルコンも認められた。また、パンニング試料中には輝石類、角閃石類が多量に含まれる試料もある。採取した試料が少量の場合には、多量



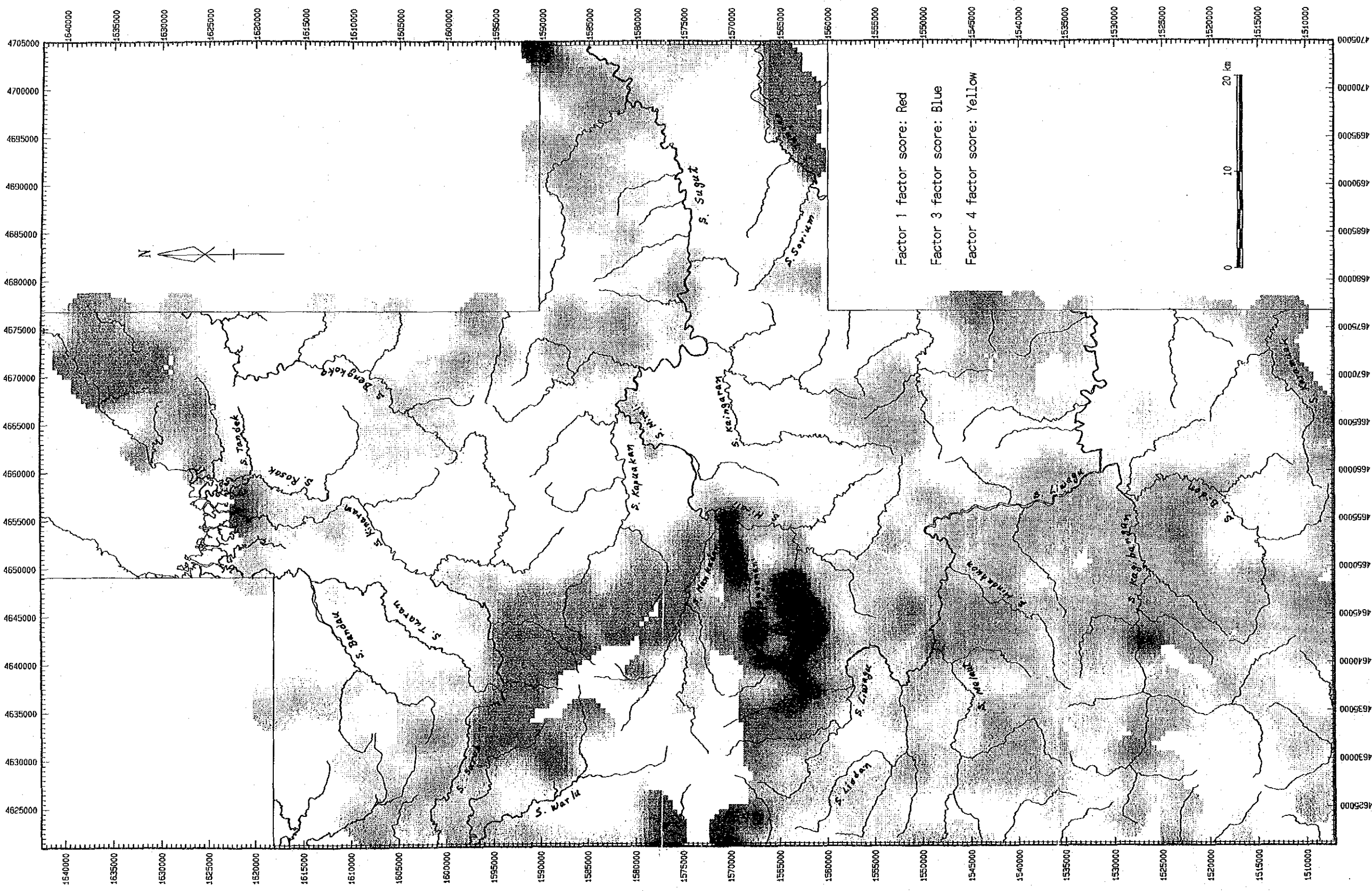


Fig. II-1-6 Distribution map of factor scores for stream sediment samples in Kinabalu area

