

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 2 年 次

平成 4 年 2 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

鉱計資
CR (4)
92-052

マレーシア国 鉱物資源基本図調査

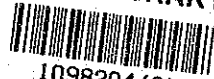
資源開発協力基礎調査報告書

サバ地域

(地化学探査及び
空中物理探査)

第 2 年 次

JICA LIBRARY



1098204(9)

23822

平成 4 年 2 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



国際協力事業団

23822

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2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3年7月から平成4年1月まで現地に派遣した。

現地調査は、マレーシア国基礎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4年2月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介

金属鉱業事業団
理事長 福原元一

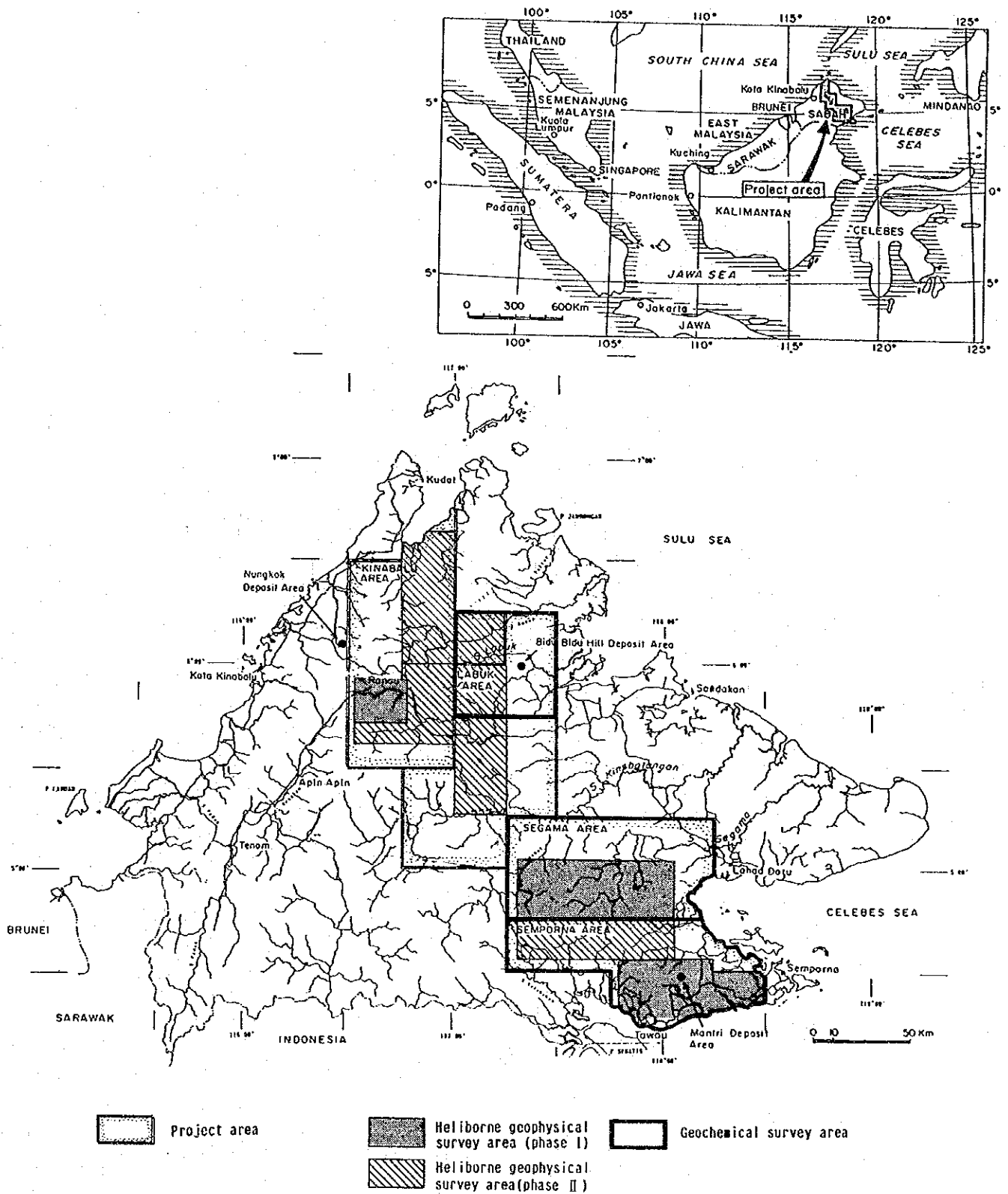


Fig. 1 Location map of the project area

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2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手法を採用した。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セガマ地区、センボルナ地区及びキナバル地区の東部よりラブク地区北部にかけての範囲（キナバル・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。空中物理探査は、キナバル地区北部、キナバル地区南部、ラブク地区、セガマ地区、センボルナ地区北部及びセンボルナ地区南部の6地区に対し空中磁気法及び空中放射能法による調査を行った。

広域地化学探査の結果では、セガマ地区及びセンボルナ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。

セガマ地区：サバハン川ーデワタ川周辺、セガマ川上流域、ダヌン川上流、サイラム部落周辺。

センボルナ地区：バルング川とカルンバング川の間、南東部のナゴス周辺、シビット川上流域、カルンバング川最上流域、アタス川流域、タウウ・ヒル周辺。

抽出されたこれらの区域のうちセガマ地区のものは、サイラム部落周辺を除きいずれも銅鉱床が対象となる。サイラム部落周辺はクロム鉱床である。センボルナ地区の有望地は、いずれも金鉱床である。

キナバル・ラブク地区に対しては、試料採取及び試料の分析を行った。この分析結果に対する解析は、次年度に予定されている広域地化学探査の結果に加えて実施する計画である。

空中物理探査を実施した6地区のうちキナバル地区北部を除く5地区に対し、測定、データ処理及び解析を、キナバル地区北部については測定及びデータ処理を行った。

空中物理探査の結果では、調査地区の地質及び地質構造を良く反映している。抽出されたN-S方向の構造はこれ以外の方向の構造を切っており、最も新しい構造であることを示す。キナバル地区南部ではその小磁気異常群の分布より、地表下1~2 kmに上面があるやや磁性の高い貫入岩の存在が推定される。セガマ地区の南西部ではその磁気異常の分布より地下浅所に超塩基性岩の存在が推定される。センボルナ地区北部においても同様に、超塩基性岩の岩体が地下浅所に潜在することを示す。センボルナ地区南部の火山岩類の分布域では、高磁性岩体の中に低磁気異常が虫食い状に分布する。この低磁気異常の範囲は、変質帯を示すと推定される。この低磁気異常帯は、ウランの高カウント異常と良く一致する。

本調査で実施した地化学探査及び空中物理探査の結果を総合すると、これらの両手法による調査の完了したセガマ地区及びセンボルナ地区では、以下の地区が金属鉱床賦存の可能性が高く、これまで探査活動がなされていない地区として挙げられる。

セガマ地区 : サバハン川ーデワタ川周辺、セガマ川上流域、ダヌン川上流域。

センボルナ地区 : シビット川上流域、カルンバング川最上流域、アパス川流域、タワウ・ヒル周辺。

セガマ地区で有望な地区はいずれも銅鉱床が期待される地区であり、センボルナ地区は金の鉱床が対象となる。抽出されたこれらの地区は、いずれもその範囲が比較的広いことから、引き続きこれらの地区での有望な箇所を明らかにするための調査が望まれる。

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 第 1 年次の調査結果	1
1-3 第 2 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	5
第 2 章 調査地域の地理	6
2-1 位置及び交通	6
2-2 地形及び水系	6
2-3 気候及び植生	7
第 3 章 調査地域の既存地質情報	8
3-1 一般地質	8
3-2 鉍化作用及び鉍業略史	8
第 4 章 調査結果	13
4-1 広域地化学探査	13
4-2 空中物理探査	18
4-1 考察及び総合検討	21
第 5 章 結論及び提言	24
5-1 結 論	24
5-2 提 言	25

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 セガマ地区調査結果	30
1-2-1 地質及び鉱化作用	30
1-2-2 試料採取	33
1-2-3 河床堆積物地化学探査	39
1-2-4 パンニング試料定量分析	55
1-2-5 岩石地化学探査	59
1-2-6 土壌地化学探査	61
1-2-7 室内試験結果	62
1-3 センボルナ地区調査結果	68
1-3-1 地質及び鉱化作用	68
1-3-2 試料採取	71
1-3-3 河床堆積物地化学探査	77
1-3-4 パンニング試料定量分析	91
1-3-5 岩石地化学探査	95
1-3-6 土壌地化学探査	97
1-3-7 室内試験結果	98
1-4 キナバル・ラブク地区調査結果	103
1-4-1 地質及び鉱化作用	103
1-4-2 試料採取	107
1-4-3 調査結果	107
第 2 章 空中物理探査	109
2-1 調査概要	109
2-2 調査内容	109
2-3 現地調査	111
2-3-1 空中物理探査	111
2-3-2 地上調査及び物性測定	115

2-4	データ処理	116
2-4-1	航跡図	116
2-4-2	空中物理探査データ	116
2-5	調査結果	122
2-5-1	地上調査及び物性測定結果	122
2-5-2	空中物理探査データ	122
第3章	考察及び総合検討	172
3-1	広域地化学探査	172
3-2	空中物理探査	172
3-3	総合検討	173

第III部 結論及び提言

第1章	結論	179
第2章	第3年次調査への提言	181
参考文献	References	182
図表一覧	List of figures, tables, plates and appendices	183
巻末	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。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2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、第1年次の調査結果を踏まえ河床堆積物による広域地化学探査、空中磁気法及び空中放射能法による空中物理探査の2手法を採用した。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。

1-2 第1年次の調査結果

第1年次は、MSS及びTMデータによる衛星画像解析及び既知鉱床の分布域に対する予察地化学探査を行い、さらに空中物理探査の測定、データ処理及び予備解析を実施した。これらの調査結果より以下の結論が得られた。

(1) 衛星画像解析

- ① キナバル地区のラナウ周辺で抽出された環状構造及びラナウ東方に分布する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ので、今後の探査上重要な構造であることを示す。
- ② ラナウ周辺以外の地区においても多くの環状構造が抽出されており、金属鉱床探査上これらの地区に注目することが重要と考えられる。
- ③ 画像解析結果に対する現地調査の折採取したラテライト質土壌は、化学分析の結果ニッケルの高い値 (0.86%) を示しており、ラテライト質ニッケル鉱床賦存の可能性が推定される。

(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 河床堆積物が鉱床の存在を最も広い範囲で捕捉していることから、広域の地化学探査には河床堆積物が試料種としては最も有効である。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 地化学探査試料の試料採取密度としては、河床堆積物で2 km²当たり1試料、土壌試料の場合0.5 km²当たり1試料が理想的である。

- 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層の上部が最適である。
- 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。

1-2 第2年次の調査範囲及び作業の概要

本調査では、セガマ及びセンボルナの両地区に対し広域地化学探査を実施した。これに加えて、キナバル地区及びラブク地区の一部で広域地化学探査のための試料の採取を行った。ヘリコプターによる空中物理探査は、キナバル地区北部、キナバル地区南部、ラブク地区、セガマ地区、センボルナ地区北部、センボルナ地区南部の6地区に対して実施した。このうちキナバル地区北部を除く5地区に対しては、測定、データ処理及び解析を行った。キナバル地区北部については、測定及びデータ処理のみを実施した。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。

本調査の目的を達成するために設定された各手法ごとの重点課題は、以下のとおり。

(1) 広域地化学探査

セガマ地区及びセンボルナ地区に対し、地質と鉱化作用の関係を把握するとともに、広域地化学探査により鉱床賦存有望地区を抽出する。キナバル・ラブク地区については、試料の採取及び分析のみとし、解析は次年度実施する。

(2) 空中物理探査

空中磁気法及び空中放射能法(γ線)により、調査地域の磁性岩体及び放射性岩体の分布を解明し、硫化金属鉱床及び鉱化変質による磁気異常を把握する。

本調査の広域地化学探査は、ラハッド・ダーツ(Lahad Datu)及びタワウ(Tawau)にベースキャンプを設けセガマ地区及びセンボルナ地区それぞれの調査基地とした。キナバル地区及びラブク地区の一部については、メリオ(Meliou)川の下流にベースキャンプを設け調査を行った。実際の調査の大部分は、キャンプ及び移動キャンプにより実施した。空中物理探査の現地調査では、クンダサン(Kundasang)、コタ・キナバル(Kota Kinabalu)、ルアソング(Luasong)、コタ・ムルド(Kota Murdú)の4か所に基地を設け測定を行った。測定結果のデータ処理及び解析は、カナダ及び日本でそれぞれ実施した。

Table I-1 Summary of work amounts

Work item	Work amounts	
Regional geochemical survey	Stream sediments:	6,328 samples
	Coverage	Pan concentrates: 387 samples
	11,300 km ²	Soil : 113 samples
		Rock : 122 samples
Heliborne geophysical survey	Field survey	7,700 km ²
		16,659.4 line-km
	Data analyses	10,650 km ²
		21,923.4 line-km
	(From Phase I	5,650 km ² 10,919.0 line-km)
	(To Phase III	2,700 km ² 5,655.0 line-km)

Table I-2 Work amounts of laboratorial studies

Study item	Work amounts	
Geochemical survey		
Thin section	22	samples
Polished section	10	samples
X-ray diffraction analyses	10	samples
QME* ¹ of pan concentrates	387	samples
Physical properties measurement		
Field measurement	106	points
Laboratory measurement	102	samples
Chemical analyses		
Stream sediments	6,328	samples
	132,888	elements
Soil	113	samples
	678	elements
Rock	122	samples
	2,561	elements
Ore	10	samples
	70	elements

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、以下のとおり。

(1) 調査計画策定及び折衝

日 本 国 側		マ レ イ シ ア 国 側	
升田 健蔵	金属鉱業事業団	David T.C. Lee	Geological Survey of Malaysia
		Lim Peng Siong	Geological Survey of Malaysia
		Alexander Yan	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、空中物 探現地管理	大手開発(株)		Lim Peng Siong	Coordinator	GSM
				Alexander Yan	Senior geologist	GSM
				Joanes Muda	Geologist	GSM
南野 正彦	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)		Allagu Balaguru	Geologist	GSM
山縣 順一	地化学探査	大手開発(株)		Cleafos Totu	Geologist	GSM
兵頭 浩	地化学探査	大手開発(株)		Salleh Adanan	Geologic Assist.	GSM
杉山 和稔	地化学探査	大手開発(株)		Japili Samin	Geologic Assist.	GSM
				Rojer Totu	Geologic Assist.	GSM
				Kamil Kamaruddin	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。空中物理探査の測定及びデータ処理は、カナダの Aerodat社が実施した。

1-5 調査期間

本調査に伴う現地での調査期間は、以下のとおり。

地化学探査現地調査	平成3年7月16日	～	平成3年11月25日
地化学探査現地解析	平成3年11月26日	～	平成3年12月31日
空中物理探査	平成3年9月24日	～	平成4年1月20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 km²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 km² 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地区より構成される。

サバ州の州都は、コタ・キナバル(Kota Kinabalu) であり西海岸に位置する。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ある。サバ州内の主要な町には、コタ・キナバルより国内定期便が発着している。主要道路は、コタ・キナバルよりラナウ(Ranau) を経由して東海岸に位置するサンダカン(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、同地区の北部及び南部では限られる。ラブク地区では、中心部のテルピド(Telupid) より北側で数条の木材運搬用の道路があるが、南側での道路網は限られる。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帯が広がっている。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、テインカユ (Tingkayu) 川、カルンバング (Kalumpang) 川、カラバカン (Kalabakan) 川等である。これらの河川の内ペ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、セガマ川及びテインカユ川はスール (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海に注いでいる。これらの河川は上流部で渓谷を造り、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、春より夏にかけての比較的雨の少ない季節と、秋より冬にかけての雨の多い季節とがある。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。

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、基盤をなす三畳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(P₁, P₂, P₃, P₄)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(N₁, N₂, N₃, N₄, N₅)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侵入、造山活動及びその後の深成岩類の侵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。

ホン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。この図で明らかの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、種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、花崗閃緑岩などの侵入(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、ラテライト質土壌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、キナバル地区のラノ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、

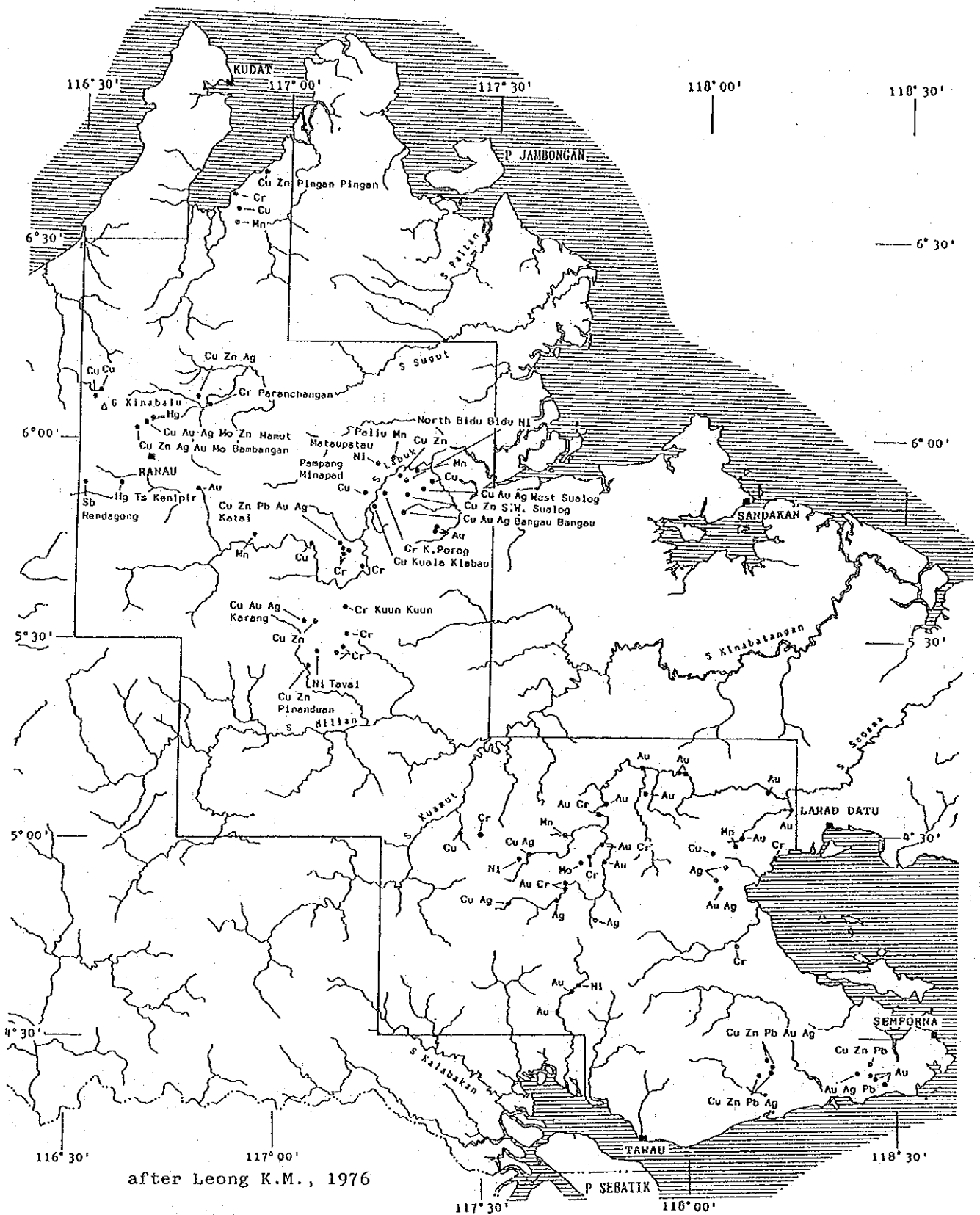


Fig. I-2 Distribution map of mineral occurrences in the project area

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、ラプ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1年次に実施した予察地化学探査の結果に基づき、セガマ地区及びセンポルナ地区の2地区において河床堆積物及びパンニング試料による広域地化学探査を実施するとともに、調査地区地化学的特性を明らかにするため代表的な岩石試料を採取し分析を行った。これに加えて、調査地区のラテライト質土壌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壌試料による地化探査を行った。キナバル・ラブク地区に対しては、セガマ地区及びセンポルナ地区と同様の試料採取及び化学分析のみを行った。

(1) 採用元素

本調査では、第1年次の調査結果に基づき、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

土壌試料 (6元素)

Al, Co, Fe, Cr, Ni, Pt

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。更に、本調査では調査範囲で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。

(2) 解析手法

セガマ地区及びセンポルナ地区に対する解析は、統計処理結果に基づき濃度分布図 (Appendix 5 及び Appendix 15) 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及び因子分析の各手法を採用した。

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、セガマ地区及びセンポルナ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) セガマ地区調査結果

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。本調査の試料採取は、移動キャンプにより主として実施した。各手法による調査結果は以下のとおり。

河床堆積物地化学探査

セガマ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 Fig. II-1-2 及び Plate II-1-1 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 5) 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。

- ① 分析した元素のうち Au (2,500 ppb)、Cr (18,532 ppm) などの元素の最高値は、高い値を示す。Mn (12,390 ppm)、Ni (3,605 ppm)、Na (6.53 %)、K (4.95 %) などの元素の最高値もセンボルナ地区と比較すると高い値を示しており、本地区の地質を反映している。
- ② 各元素間の相関係数を見ると、Cr、Co、Mg、Mn、Ni 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、Ni などの元素が超塩基性岩類の分布を良く反映している。Au の高濃度部は、基盤岩類 (Cb) の分布と良く一致する。
- ④ 調査地区東部のサバハン (Sabahan) 川及びデワタ (Dewata) 川の周辺地区では、Cu、S の高濃度及び異常を示す試料が集中している。この地区の地質は、チャート・スピライト層の分布域であることから、キプロス型の銅鉱床の可能性が考えられる。
- ⑤ 地区中央南部のセガマ川上流部では、黄鉄鉱染帯が認められる。地化学探査の結果ではこの地区で Ba 及び S の異常帯が抽出されており、更に Cu も高い濃度を示す。この地区もチャート・スピライト層の分布域であり、キプロス型の銅鉱床の可能性が考えられる。
- ⑥ 本地区中央西部のダヌン (Danum) 川上流域では、Cu 及び S の高濃度帯及び異常帯が認められる。この地区は、塩基性岩類の分布域であるが、その北側にはチャート・スピライト層が分布する。この川の下流で採取した転石試料 (J055) では、Au 1.2 g/t、Ag 42.6 g/t、Cu 0.93 %、Zn 3.99 % の分析結果が得られており鉱床賦存の可能性が高い区域である。
- ⑦ 地区中央北部のラタンガン (Latangang) 川とベラング (Belang) 川の間地区では、Ba 及び S の異常帯が認められる。この地区は堆積岩類の分布域であるが、その周辺の広い範囲には、チャート・スピライト層が分布しており、地化学探査の結果からすると興味のある地区である。
- ⑧ Cr の高濃度帯及び異常帯は、超塩基性岩類の分布と密接な関係を示すが、特に顕著なものは地区東端のサイラム (Silam) 部落周辺に見られる。クロム鉱床の可能性は、この部落周

辺に限られる。

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で一般に高いことが知られている元素が顕著なクラスターを構成する。

因子分析の結果では、第1因子がCo、Cu、Mg、Na、S、Sr、Znに関係し、第3因子がCr、Niに関係している。第1因子の因子得点分布 (Fig. II-1-6) では、基盤の地質及び銅の鉱化帯に関するような分布傾向を示す。前述の④、⑤、⑥地区はこの因子得点分布でも抽出される。第3因子は超塩基性岩類に関係した因子であり、その因子得点の分布 (Fig. II-1-7) は地質と良く一致する。これ以外の因子については、その関係が不明瞭である。

パ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 6に、その試料の採取位置を (Fig. II-1-3) に、QME分析結果をAppendix 7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-1-8)。自然金は散在して出現しており数試料中で確認できるのみである。

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に分析の結果をAppendix 8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、試料の採取一覧表をAppendix 9に、分析の結果をAppendix 10にそれぞれ示す。分析の結果では、Niの最高値が5,313 ppmで3,000 ppm以上の値を示す試料11試料であった。分析したこれ以外の元素ではあまり高い値を示さない。本調査の結果では、Ni品位が比較的低い値を示す。ラブク地区と比較すると、本地区でのラテライト化の発達程度が弱い傾向を示す。

(4) センボルナ地区調査結果

本調査で作成した地質図をFig. II-1-9 に示す。本地区の試料採取では、中央南部より東部にかけての区域では、プランテーションの農道を利用した。中央北部より西部にかけての地区では主として移動キャンプにより行った。本調査の結果は以下のとおり。

河床堆積物地化学探査

センボルナ地区で採取した河床堆積物試料の一覧表をAppendix 11 に、分析結果を Appendix 12に、採取位置をFig. II-1-10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 15) 及び異常値を示す試料の分布 (Fig. II-1-12) 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 (9,320 ppm)、S (5.526 %)、Pb (789 ppm)、Ba (1,230 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Cr-Ni-Mgなどの元素間で高い値を示すとともに、Auが Pb と密接な関係を示す特徴がある。
- 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 As、Au、Ba、Cu、Hg、Pb、S、Zn などの異常帯及び高濃度帯が既知の鉱化帯が集中するバルング川とカルンバング川に挟まれた区域に集中して出現する。
- ④ 調査地区の南東部でタワウーセンボルナ間の主要道路の北側には、As、Au、S の高濃度を示す試料の集中する区域がある。この地区にも既知の鉱化帯が確認されている。
- ⑤ 調査地区東部のシビット川上流域では、Au、Pb、S の高濃度及び異常を示す試料が分布する。この区域では、地表の調査でも変質が認められる。
- ⑥ カルンバング川の最上流部では、As、Cu、Hg、Pbの高濃度及び異常を示す試料が集中して分布する。
- ⑦ 中央南部のアタス川流域では、As、Auの異常を示す試料が広範囲に分布する。
- ⑧ タワウの北西方のタワウ・ヒルの北側には、上記の地区と比較するとあまり顕著でないが As、Pbの比較的高い濃度を示す区域が見られる。
- ⑨ タワウの周辺には、U の高濃度及び異常を示す試料が集中して出現する。この区域は、セガマ地区及びセンボルナ地区の中でもっともウランの濃度が高い区域である。

多変量解析で実施したクラスター分析の結果 (Fig. II-1-13) では、Mn-Ti、Na-Sr、Mg-Co-Zn、Cr-Ni、Au-Pbなどがクラスターを構成する。これらの関係する元素は、濃度の分布でも同様の分布傾向を示す。因子分析の結果では、5個の因子が抽出された。第1因子は、その関係の深い元素より銅の鉱化作用と若干の関係が認められる。第4因子は、Au、Pbと関係の深い因子であり、金の鉱化作用を示すと推定される。第1因子の高因子得点の分布 (Fig. II-1-14) は、堆積岩類の

分布域に見られ、チャート・スピライト層の分布域に顕著でないことから、本地区での銅鉱床の可能性は低いようである。第4因子の高い因子得点を示す試料の分布 (Fig. II-1-15) は、前述の③、④、⑤、⑥、⑦の地区を抽出しており金の鉱化帯と良く一致する。

パンニング試料定量分析

採取試料の一覧表をAppendix 16 に、QME分析の結果をAppendix 17 に、試料の採取位置をFig. II-1-11に示す。QMEによる定量分析の結果 (Fig. II-1-16) は、セガマ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。西部の堆積岩の分布域より採取した試料では、ジルコンが比較的多く認められる特徴がある。自然金の観察された試料は、バルング川とカルンパング川の間区域に集中して出現する。

岩石地化学探査

採取した試料の一覧をTable II-1-12 に、採取した試料の位置をFig. II-1-11 に、その分析の結果をAppendix 18 に示す。本地区の結果は、一般にセガマ地区と同様の傾向を示すが、著しい変質作用を受けた火山岩では、Hg及びSが高濃度 (Hg; 2,905 ppb及び 1,126 ppb、S; 4.307 %及び 7.944 %) を示す特徴があり、Hg及びSの高濃度帯と変質作用との間に密接な関係が認められる。

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 19) では、Niの分析値の最高値が3,506 ppmを示しており、セガマ地区の結果と比較するとその値は低い。本地区では、その地質より火山活動が活発であったことから、土壌の発達は顕著でなかったと推定される。また、本地区に分布する超塩基性岩類の岩体もセガマ地区のものと比較して小規模である。

(5) キナバル・ラブク地区調査結果

本調査では、セガマ地区及びセンボルナ地区と同様の手法により、河床堆積物試料、パンニング試料、岩石試料及び土壌試料の採取を行った。調査地区は、キナバル地区の西部よりラブク地区の北部にかけての範囲で、それぞれの地区の一部を構成する。

本調査の結果及び既存資料に基づいて作成した地質図をFig. II-1-17に、河床堆積物の試料採取位置をPlate II-1-3に、パンニング試料、岩石試料及び土壌試料の採取位置をFig. II-1-18にそれぞれ示す。

本調査で採取した河床堆積物試料の一覧表をAppendix 20 に、その分析結果をAppendix 21 に示す。パンニング試料は、その一覧表をAppendix 22 に、QMEによる定量分析結果をAppendix 23に示す。採取した岩石試料及び土壌試料の試料一覧及び分析の結果をAppendix 24 及び 25 にそれぞれ示す。

本調査の結果得られたデータの処理及び解析は、キナバル地区及びラブク地区に対し次年度に予定されている広域地化学探査の結果に加えて実施する。

4-2 空中物理探査

本調査では、ヘリコプターによる空中磁気及び放射能の測定をおこなった。調査地区は、キナバル地区北部、キナバル地区南部、ラブク地区、セガマ地区、センボルナ地区北部、センボルナ地区南部の6地区である。これら6地区のうちキナバル地区北部を除く5地区に対し解析まで実施した。この解析の結果は以下のとおりである。

(1) キナバル地区南部及びラブク地区

本地区の磁気異常分布 (Fig. II-2-5、II-2-6、II-2-7) では、キナバル地区南部で長波長で大振幅の高磁気異常が広く分布し、一方、ラブク地区で短波長の低磁気異常群が分布するというような、極めて対照的な分布が得られている。さらに、全放射線異常分布 (Fig. II-2-8、II-2-9、II-2-12) では、キナバル地区南部ではほぼ全域が高カウント域であるのに対し、ラブク地区は低カウント域であり、磁気異常分布と調和した分布が得られている。これは、キナバル地区南部では低磁性で放射線強度が大きい堆積岩類 (砂岩) (P_2Gr) が広く分布し、また、ラブク地区では高磁性で放射線強度の低いチャート・スピライト層 (KPCs) 及び超塩基性岩類 (Ub) が卓越して分布することを反映していると考えられる。

キナバル地区南部

キナバル地区南部の高磁気異常域内で卓越するN-S系の磁気不連続線は、衛星画像解析で抽出された断層の方向と一致し、主要な地質構造を反映していると考えられる。この方向の磁気不連続線の北方延長については、キナバル地区北部の全磁力線図で検討する必要がある。この他に、NE-SW系の磁気不連続線も見られ、さらに、西部ではNW-SE系、北部～中央部ではN-S～NNW-SSE系、また、中央部～南部ではE-W系の局所的な構造を反映する磁気不連続線が分布する。

また、西部ではNW-SE方向、中央部～南東部ではN-S方向、また南部ではE-W方向に配列する比較的長波長で小振幅の磁気異常群の小磁気異常群は、地表下1～2 kmに上面があり、帯磁率が $0.2\sim 0.7\times 10^{-3}$ CGSemuのやや磁性の高い石英安山岩または斑れい岩によって誘起されていると考えられる。全放射線図で本地区が高カウント域であることから、これらの磁気異常群が地表付近ではなく、地下深部に起因することが明らかである。

カリウム(K)高カウント域が全放射線高カウント域とほぼ一致していることから、全放射線に対してはカリウムによる寄与が最も大きいと考えられる。

ウラン(U)の高カウント異常は地区全体に点在しているが、中央部から南西部にかけての地区では比較的まとまった分布を示しており、この地区では全放射線に対して小規模ながらもウランが寄与していることを示す。

ラ ブ ク 地 区

本地区では、北部で NNW-SSW~NW-SE 方向、北東部で NE-SW 方向、中央部で NE-SW ~ ENE-WSW 方向及び南部で NW-SE ~ WNW-ESE 方向に配列する短波長磁気異常群は、やや高~高磁性のチャート・スピライト層及び超塩基性岩類に起因しており、これらの配列の方向は各地区での地質構造を反映していると考えられる。高磁性岩体は、その南北両端を同じ方向の磁気不連続線で限られており、また、斜交する N-S 方向の磁気不連続線でブロック化されている。

本地区では低カウント域が優勢であるが、全放射線の高カウント域が北東端、南部東西端及び南端でやや広範囲に分布するほか、地区中央部でほぼ N-S 方向及び E-W 方向に高カウント異常が配列している。これらの方向のうち N-S 方向は、キナバル地区南部の主要な構造線の方向で、しかも、本地区では主要な磁気異常の配列方向に斜交し、高磁性岩体をブロック化する方向にほぼ一致している。したがって、全放射線図でこの方向性が示されていることから、N-S 方向はキナバル・ラブク地区では最も新しい主要な構造であると考えられる。キナバル地区南部地区と同様に、全放射線高カウント異常はカリウムによる寄与が最も大きく、また、ウラン(U)高カウント異常は点在するのみであるが、中央部の全放射線高カウント異常に一致するウラン高カウント異常地点ではカリウムの他にウランの寄与も大きいことを示す。

(2) セガマ・センボルナ地区

本地区の磁気異常分布 (Fig. II-2-13、II-2-14、II-2-15、II-2-16) は、北部 (セガマ地区) では E-W 系の長波長大振幅低磁気異常群が卓越し、中央部 (センボルナ地区北部) では長波長高磁気異常がほとんどを占め、南西部 (センボルナ地区南部) では南に開いた環状の地域に多数の短波長低磁気異常群が、南東部 (センボルナ地区南部) では E-W 系の低磁気異常群が分布し、さらに、西端には長波長の高磁気異常が卓越して分布している。

一方、全放射線分布 (Fig. II-2-17、II-2-18、II-2-19、II-2-23) では、中央部が本地区最大の高カウント域となっているのに対し、北部では西端を除いて全体として低カウント域で、南西部及び南東部では比較的まとまった高カウント異常群が多数分布している。

このように、磁気異常分布及び放射線異常分布はともに、各地区の地質及び地質構造を反映した分布を示しており、北部では高磁性・低放射線強度の超塩基性岩類、中央部及び西部では低磁性・高放射線強度の堆積岩類、さらに、南西部及び南東部では高磁性・やや低放射線強度の安山岩がそれぞれ卓越していると考えられる。

北部地区（セガマ地区）

北部のE-W系の大幅低磁気異常群、西部及び東部にE-W系の小振幅の小規模磁気異常群はE-W系、NE-SW系及びN-S系の磁気不連続線に規制されてブロック状に分布する高磁性岩体に起因するものであり、また、全放射線は低カウント域であることから、高磁性岩体は地表付近に分布する超塩基性岩類に対応している。

西部～南西部は、長波長の高磁気異常が卓越して分布するとともに、全放射線高カウント域が比較的まとまった分布を示しており、低磁性・高放射線強度の堆積岩類が卓越した地区であることを示す。この地区では、ウランの高カウント異常が比較的まとまった分布を示し、全放射線高カウント域とほぼ一致していることから、全放射線に対してウランの寄与が大きいことを示す。このウラン高カウントの傾向は、中央部地区（センボルナ地区北部）西側まで連続している。また、南西部では高磁気異常域内に小振幅で比較的短波長の磁気異常群が多数分布し、地下浅所（地表付近～地表下500m）に潜在する超塩基性岩類等の貫入岩体群の存在が考えられる。

中央部地区（センボルナ地区北部）

本地区では、地区全体が高磁気異常域であり、しかも全体として全放射線高カウント域であり、低磁性で高放射線強度の堆積岩類がほとんどの地区を占めていることを反映している。また、地区全体としてN-S系の磁気不連続線が卓越しており、西側ではNW-SE系、中央部～東部ではNE-SW～ENE-WSW系の地質構造を反映している磁気不連続線が分布する。

中央部から東部にかけての地区では、多数の比較的長波長の小振幅磁気異常群が分布しているが、これらの地区では高カウント域の中に虫食い状に低カウント域が見られることから、高磁性の超塩基性岩類の貫入岩体が地下浅所に潜在していると考えられる。

南西部地区（センボルナ地区南部）

本地区には、N-S系の他に、NW-SE及びNE-SW系の磁気不連続線が多数分布し、環状の地区の北端はNW-SE及びNE-SW系の磁気不連続線で限られ、その南側に分布する長～短波長低磁気異常群は地表付近に分布する高磁性の安山岩に対応する。

一方、全放射線高カウント異常は、西部では環状の磁気不連続線の北側に環状に分布する他に、同不連続線の南側では磁性岩体の分布と一部重複して広く分布しており、N-S、NW-SE及びNE-SW系の放射線不連続線が、これらの高カウント異常の伸長方向を規制して分布している。

地質図によれば、環状の地区には安山岩を主とする火山岩類が広く分布しているが、磁気異常図で推定される高磁性岩体は虫食い状に分布しており、また、全放射線高カウント異常がこの虫食いの地区に見られることから、虫食いの地区では磁性を消失させ、放射線強度を高くするような変質の存在が考えられる。

南東部地区（センボルナ地区南部）

南東部地区に多数分布するE-W系の大振幅低磁気異常群は、一部全放射線高カウント異常と重複しており、地表付近に分布する高磁性の安山岩に起因することを示す。

4-3 考察及び総合検討

(1) 広域地化学探査

本調査の結果では、各元素の濃度分布が地質と良く一致するとともに既知の鉍微帯も抽出しており、採用した地化探手法が有効であることを示した。本調査の結果によれば以下が考えられる。

- ① 地化学探査の結果では、主としてセガマ地区で、チャート・スピライト層の分布域及びその周辺部に高濃度帯及び異常を示す試料の分布が見られる。地表調査の結果でもこれらの箇所では黄鉄鉍の鉍染が認められており、この主の異常帯はキプロス型の銅鉍床に関係した異常帯である可能性が強いと考えられる。
- ② センボルナ地区の火山岩類の分布域では、金の鉍化作用を示す様な指示元素 (As, Au, Pb, S など) の高濃度帯が集中しており、既知の金銀を伴う鉍化帯もこの範囲内に知られていることから、金の鉍化作用と火山岩類の間には密接な関係があることを示す。地化学探査の結果によれば、その濃度の分布傾向より金鉍床の可能性は、この火山岩類の分布域及びその周辺に限られる。
- ③ センボルナ地区に分布する火山岩類の分布域には、著しい熱水変質作用を受けた変質帯が随所で認められる。地化学探査の結果では、これらの変質と Hg の高濃度帯との間に密接な関係が認められる。この火山岩類の分布域は地熱地帯としても知られており、温泉の湧出も随所で観察されることから、この区域で認められる変質帯が直接金の鉍化作用と関係するかは定かでない。
- ④ Crの高濃度帯は、超塩基性岩類の分布と密接な関係を示して分布するが、特にその高濃度帯がセガマ地区東部のサイラム部落周辺に集中しており、クロム鉍床の可能性はこの区域に限られると考えられる。既知のクロムの鉍微地もこの区域に集中する。
- ⑤ Uの高濃度帯は、センボルナ地区南部のタワウ周辺に集中しており、その濃度も比較的高い値を示す。ウラン鉍床の可能性が有るとすればこの区域が最も有望である。

(2) 空中物理探査

- ① キナバル地区南部では低磁性で放射線強度が大きい堆積岩類(砂岩)が広く分布し、またラブク地区では高磁性で放射線強度の低いチャート・スピライト及び超塩基性岩類が卓越して分布することを反映していると考えられる。
- ② また、キナバル地区南部の西部でNW-SE方向、中央部～南東部でN-S方向、南部でE-W方向に配列する比較的長波長で小振幅の磁気異常群の小磁気異常群は、地表下1～2kmに上面があり、帯磁率が $0.2\sim 0.7\times 10^{-3}$ CGSemuのやや磁性の高い石英安山岩または斑レイ岩によって誘起されていると考えられる。全放射線図で本地区が高カウント域であることから、これらの磁気異常群が地表付近ではなく、地下深部に起因することが明らかである。
- ③ ラブク地区ではN-S方向は、主要な磁気異常の配列方向に斜交し、高磁性岩体をブロック化する方向にほぼ一致している。また、全放射線図でこの方向性が示されていることから、N-S方向はキナバル地区南部・ラブク地区では最も新しい主要な構造であると考えられる。
- ④ セガマ地区及びセンボルナ地区の磁気異常分布及び放射線異常分布はともに、各地区の地質及び地質構造を反映した分布を示しており、北部では高磁性・低放射線強度の超塩基性岩類、中央部及び西部では低磁性・高放射線強度の堆積岩類、さらに、南西部及び南東部では高磁性・やや低放射線強度の安山岩がそれぞれ卓越していると考えられる。
- ⑤ セガマ地区の南西部では高磁気異常域内に小振幅で比較的短波長の磁気異常群が多数分布しており、地下浅所(地表付近～地表下500m)に潜在する超塩基性岩類等の貫入岩体群の存在が考えられる。
- ⑥ センボルナ地区北部の中央部から東部にかけては、多数の比較的長波長の小振幅磁気異常群が分布しているが、これらの地区では高カウント域の中に虫食い状に低カウント域が見られることから、高磁性の超塩基性岩類の貫入岩体が地下浅所に潜在していると考えられる。
- ⑦ センボルナ地区南部の環状地区には、地質図によれば安山岩が広く分布しているが、磁気異常図で推定される高磁性岩体は虫食い状に分布しており、また、全放射線高カウント異常がこの虫食いの地区に見られることから、虫食いの地区では磁性を消失させ、放射線強度を高くするような変質の存在が考えられる。

(3) 総合検討

本調査で実施した広域地化学探査の結果と空中物理探査の結果を総合(Fig. II-3-1)すると、セガマ地区及びセンボルナ地区に対して以下が指摘される。

- ① 磁気不連続線より推定される構造方向としては、N-S方向及びNE-SW方向が卓越する。N-S方向の構造は衛星画像解析の結果及び空中物理探査の結果より推定すると、比較的新しい構造と推定される。NE-SW方向は、本地区に分布する新期火山岩類の分布と調和的であり

本地区の主要な構造方向である。

- ② セガマ地区のサバハン川及びデワタ川の周辺は、地質及び地化学探査の結果より銅鉛床の可能性が考えられる。この地区は空中物理探査の調査範囲の外側に位置する。
- ③ セガマ地区東部のサイラム部落周辺では、クロムの地化探異常が集中しておりクロム鉛床の可能性が考えられる。この範囲は空中物理探査の調査範囲の外側に位置するが、クロムと密接な関係を示す超塩基性岩の西方延長部（空中物理探査範囲）では高磁気異常が認められる。
- ④ セガマ地区のセガマ川上流域は、地化学探査の結果では銅鉛床の有望地区として抽出される。抽出された区域の周辺には、変質を示すと考えられる低磁気異常が分布しており、鉛化変質の可能性が推定される。セガマ地区及びセンボルナ地区では、低磁気異常の分布とウランの高カウント異常の分布が良く一致する。この地区でも低磁気異常と高カウント異常との重なりが認められる。
- ⑤ セガマ地区のダヌン川の上流域では、地化探の異常が集中しており銅鉛床の可能性が推定される地区である。この地区でも低磁気異常及びウランの高カウント異常が認められ、鉛化変質の可能性を示す。
- ⑥ センボルナ地区のバルング川とカルンバング川に挟まれた区域は、指示元素の高濃度及び異常帯が集中しており鉛床の可能性の高い区域である。この区域にも小規模な低磁気異常及びウランの高カウント異常が認められる。この区域での磁気不連続線は、NE-SW、NW-SE、N-Sの3方向が見られ特徴的である。
- ⑦ センボルナ地区南東部のナゴス地区は、地化学探査の結果金鉛床の可能性の有る地区として抽出できるが、この地区にも低磁気異常及びウランの高カウント異常が認められる。
- ⑧ ナゴス地区の北方に位置するシビット川の上流域は、地化学探査の結果では金鉛床の可能性の推定される区域である。この範囲は空中物理探査の調査範囲の外側に位置する。
- ⑨ セガマ地区中央部のカルンバング川最上流域は、地化学探査の結果では金鉛床の可能性の考えられる地区として抽出された。この地区にも低磁気異常及びウランの高カウント異常が認められ、変質帯の存在が推定される。
- ⑩ センボルナ地区中央南部のアタス川流域は、地化学探査の結果では金鉛床の可能性のある地区として抽出される。本地区は、空中物理探査の調査範囲の外側に位置する。
- ⑪ センボルナ地区のタワウ・ヒルの北側にも、地化学探査の結果あまり顕著ではないが金鉛床の可能性の推定される区域がある。空中物理探査の結果では、この範囲はあまり顕著な傾向を示さない。
- ⑫ 地化学探査の結果ではタワウ周辺でウランの濃集が顕著であったが、空中物理探査ではウランの高カウントが顕著でないことから、ウラン鉛床の可能性は低いようである。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

広域地化学探査では、セガマ地区及びセンボルナ地区に対し地化学探査を実施するとともに、キナバル地区及びラブク地区の一部に対し試料の採取を行った。

セガマ地区及びセンボルナ地区に対する解析結果では、既存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。

河床堆積物による地化学探査の結果では、セガマ地区及びセンボルナ地区において金属鉍床賦存の可能性の高い区域として以下の地区が抽出される。

セガマ地区： ①東部のサバハン川及びデワタ川周辺、②中央南部のセガマ川上流域、③中央西部のダヌン川上流域、④東部のサイラム部落周辺。

センボルナ地区： ①地区中央のバルング川とカルンバング川の間、②南東部ナゴス周辺、③東部のシビット川上流域、④中央部のカルンバング川の最上流部、⑤中央南部アタス川流域、⑥地区南部のタワウ・ヒル周辺、⑦タワウ周辺の地域。

セガマ地区より抽出された、サイラム部落周辺を除く、有望地で期待される鉍床タイプは、その地質及び指示元素よりキプロス型の銅鉍床である。サイラム部落周辺では、クロム鉍床が期待される。センボルナ地区の有望地は既知鉍微地の分布、その地質及び指示元素より判断すると、タワウ周辺の地域を除き金鉍床の可能性を示す。タワウ周辺地域はウラン鉍床の可能性を示す。

パンニング試料の定量分析結果では、後背地の地質を良く反映した鉍物の組み合わせを示す。試料中に自然金が確認された試料は、セガマ地区では散在して分布し、センボルナ地区ではマンツリィ鉍床周辺に集中する。

岩石地化学探査の結果では、一般的に知られている各岩石の成分を良く示す。火山岩の変質した試料では、Hgが著しく高い傾向を示す。

土地化学探査の結果では、ラテライト質土壌中のNiの含有がラブク地区に比較して低い値を示す。このことは、本地区にラテライト質土壌の発達を妨げる要因があったためと考えられる。

キナバル・ラブク地区の調査結果については、次年度解析を実施する。

空中物理探査は、キナバル地区北部、キナバル地区南部、ラブク地区、セガマ地区、センボルナ地区北部、センボルナ地区南部の6地区で実施した。キナバル地区北部については、測定及びデータ処理のみを実施した。

本調査の結果得られた結論は以下のとおり。

- ① キナバル地区南部では、低磁性で放射能強度が大きいのにに対しラブク地区では高磁性で放射能強度が弱く、これらの地区の地質を良く反映している。
- ② キナバル地区南部の小磁気異常群は、地表下 1~2 kmに上面があるやや磁性の高い貫入岩によって誘起されていると考えられる。
- ③ ラブク地区で認められるN-S 方向は高磁性岩体をブロック化しており、最も新しい主要な構造と考えられる。

- ④ セガマ地区南西部の磁気異常分布より判断すると、地下浅所（地表付近～地表下 500 m）に超塩基性岩などの岩体の存在が考えられる。
- ⑤ センボルナ地区北部の中央部より東部にかけては、磁気異常及び放射能強度の分布より超塩基性岩が地下浅所に潜在すると考えられる。
- ⑥ センボルナ地区南部では、高磁性岩体が虫食い状に分布し全放射線高カウント異常がこの範囲に認められる。この虫食い状の地区は変質と密接な関係があると推定される。

地化学探査の結果及び空中物理探査の結果を総合すると以下の地区が有望地区として抽出される。

セガマ地区

- ① 東部のサバハン川及びデワタ川周辺 : 銅鉱床を対象とする。
- ② 中央南部のセガマ川上流域 : 銅鉱床を対象とする。
- ③ 中央西部のダヌン河上流域 : 銅鉱床を対象とする。
- ④ 東部のサイラム部落周辺 : クロム鉱床を対象とする。

センボルナ地区

- ① 中央部のバルング川とカルンバング川の間 : 金鉱床を対象とする。
- ② 南東部ナゴス周辺 : 金鉱床を対象とする。
- ③ 東部のシビット川上流域 : 金鉱床を対象とする。
- ④ 中央部のカルンバング川の最上流部。 : 金鉱床を対象とする。
- ⑤ 中央南部アタス川流域 : 金鉱床を対象とする。
- ⑥ 南部のタワウ・ヒル周辺 : 金鉱床を対象とする。

これらの有望地のうちセガマ地区のサイラム部落周辺のみでは、これまでに地表調査がなされている。センボルナ地区のバルング川とカルンバング川の間及びナゴス周辺の地区については、民間の会社が現在探査を実施中である。

地化学探査の結果タワウ周辺で認められたウランの高濃度帯は、空中物理探査の結果では顕著なウランの異常が認められないのでその可能性は低いと結論される。

5-2 提 言

本年次の調査結果によれば、第3年次の調査手法として以下が考えられる。

- 1) 本年度セガマ地区及びセンボルナ地区に対して実施した広域地化学探査の結果では、既知の鉱化帯も含め金属鉱床の有望地の抽出ができたので、第3年次の調査でも引き続きキナバル地区及びラブク地区の両地区に対しても同一手法による調査を実施すべきである。
- 2) 本年度の調査の結果セガマ地区及びセンボルナ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抽出することが必要である。このためには、各地区に対し以下の手法による調査を実施すべきである。抽出された有望地の位置をFig. II-3-1に示す。

セガマ地区

- ① 東部のサバハン川及びデワタ川周辺 : 地質概査及び土壌地化学探査。
- ② 中央南部のセガマ川上流域 : 地質概査及び岩石地化学探査。
- ③ 中央西部のダヌン河上流域 : 地質概査及び岩石地化学探査。

センボルナ地区

- ① 東部のシビット川上流域 : 地質概査及び土壌地化学探査。
- ② 中央部のカルンバング川の最上流部 : 地質概査及び土壌地化学探査。
- ③ 中央南部アタス川流域 : 地質概査及び土壌地化学探査。
- ④ 南部のタワウ・ヒル周辺 : 地質概査及び土壌地化学探査。

なお、現在及びこれまでに探査活動がなされている箇所については除外した。

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、セガマ地区、センボルナ地区の全域及びキナバル、ラブク地区の一部に対し、同地区の鉱物資源賦存の可能性を明らかにするため、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。これに加えて、後背地の地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化学分析を行うとともに、ラテライト質土壤に伴う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た。セガマ地区及びセンボルナ地区より採取した試料については、その分析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 km²当たり 1 試料、平坦地は 4 km²当たり 1 試料を原則として実施した。セガマ地区の北部及び南東部とセンボルナ地区の東部及び南部及びラブク地区の北東部より東部にかけての区域では、湿地帯が広範囲に広がっており試料の採取が困難であった。セガマ地区のセガマ川の上流域は、溪谷が多く調査に著しく危険を伴うことから、一部の試料の採取が出来なかった。このためこれ以外の地区の試料採取密度を若干高め実施した。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 km² 当たり 1 試料を原則としたが、最終的には 34 km² 当たり 1 試料の試料採取密度となった。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、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 km²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メッシュの試料を分析に供した。

本調査の試料採取には、日本側6名、マレイシア側9名が参加した。調査地域の移動は、プランテーションとして利用されている地域を除くと、主として移動キャンプにより行った。

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とおりである。

	セガマ地区	センボルナ地区	ワル・ラフ地区	合計
地化学探査試料				
河床堆積物試料	2,740 試料	2,580 試料	1,008 試料	6,328 試料
パンニング試料	175 試料	160 試料	51 試料	386 試料
岩石試料	51 試料	50 試料	21 試料	122 試料
土壌試料	74 試料	17 試料	22 試料	113 試料
室内試験				
薄片	12 試料	10 試料	—	22 試料
研磨片	5 試料	5 試料	—	10 試料
X線回折試験	5 試料	5 試料	—	10 試料
鉱石分析	5 試料	5 試料	—	10 試料

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	0.001 %
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 + 2SD	
B + 2SD	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 (Kurzl 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、磁選により磁鉄鉍とチタン鉄鉍を選別した後、双眼顕微鏡下の観察により構成鉍物を同定し、各鉍物ごとの容積比を算出した後、各鉍物の比重を基に構成鉍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 セガマ地区調査結果

1-2-1 地質及び鉱化作用

セガマ地区の地質は、基盤をなす三疊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(S.K. Chung; 1971, 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東部と南部に広く分布しており、主として片麻岩、角閃岩、片岩からなる。結晶質岩類中には、トナライト、花崗閃緑岩及び花崗岩貫入岩類が見られる。基盤岩の周辺に白亜紀～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)が分布している。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からなる。

地区西部には、白亜紀～始新世に堆積した主として泥岩からなるサプル(Sapulut)層(KPSP)が分布する。また引き続き始新世から中新世にかけて堆積したフリシュタイプの堆積岩類であるクラピス(Kulapis)層(P₂Ks)、ラバング(Labang)層(P₃Lb)、アヤール(Ayer)層(P₄Ay)及びクアム(Kuamut)層(P₄Km)が広く分布している。クラピス層は、砂岩及び頁岩からなり地区北東部に僅かに分布する。ラバング層は、砂岩、頁岩、泥岩、礫岩及び石灰岩からなり地区西部に僅かに分布している。アヤール層は、凝灰岩、スランプレチャー、泥岩、砂岩からなり、一部に石灰岩が含まれ、地区東部に分布する。クアム層は、スランプレチャー、礫岩、砂岩及びシルト岩からなり地区全域に見られる。地区西部には中新世に堆積した砂岩、泥岩を主とするタンジョン(Tanjong)層(N₂Tj)が、地区東部には礫岩を主とするタバナック(Tabanak)礫岩層(N₃Tk)が分布している。

更新世の段丘堆積物(Q₁)が河川沿いに、また海岸及び河川沿いには沖積層(Q₂)が分布している。

本地区の塩基性～超塩基性岩とチャート・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、塩基性岩～超塩基性岩の分布は地区東部では比較的まとまった分布を示すが、それ以外の地区では散在する。断層は、ENE-WSW方向、NE-SW方向、NW-SE方向及びNNW-SSE方向(Y.E. Heng; 1985)のものがある。オフィオライトの層序に基づき、塩基性岩、超塩基性岩及びチャート・スピライト層の分布を見ると、その地質構造は複雑である。

本地区の鉱化作用としては、クロム、銅、金の鉱徴地が知られている。クロムの鉱徴はダベル湾に面した超塩基性岩分布付近に位置し、かんらん岩中にクロマイトが鉱染状に認められるもの

である。銅の鉱徴はセガマ川上流及びダヌン川上流に位置している。セガマ川上流の鉱徴は、基盤の片岩中の鉱染状の黄銅鉱・黄鉄鉱とチャート・スピライト層中の塊状～鉱染状の黄銅鉱・黄鉄鉱よりなる。ダヌン川上流の鉱徴地の位置については明らかではないが、ダヌン川本流及び支流で黄鉄鉱、黄銅鉱を鉱染状に含む転石及び黄銅鉱、黄鉄鉱を含む石英脈の転石などが認められる。金の鉱徴として、セガマ川中流からサバハン川にかけて砂金が知られている。セガマ川中流では、礫層中で含金量が高いことが知られている (J. Muda; 1988)。

1-2-2 試料採取

本地区で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、本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、地区東部については道路発達状況が良くいことから、ラハットダツ (Lahad Datu) の町をベースとして行った。セガマ (Segama) 川上流、ダヌン (Danum) 川、マルブク (Malbuk) 川、クアム (Kuamu) 川、インバク (Imbak) 川など地区中央部から西部にかけては車両通行可能な道路が無いことから、試料採取は大部分移動キャンプにより実施した。

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 6) 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。尚、著しく風化し、岩石の露出の良くない区域では転石を岩石試料とした。

土壌試料の採取は、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、鉱石分析及び粉末 X 線回折試験である。室内試験試料の採取位置を Fig. II-1-3 に示す。これらの室内試験用試料の一部には鉱徴の認められる転石を含む。

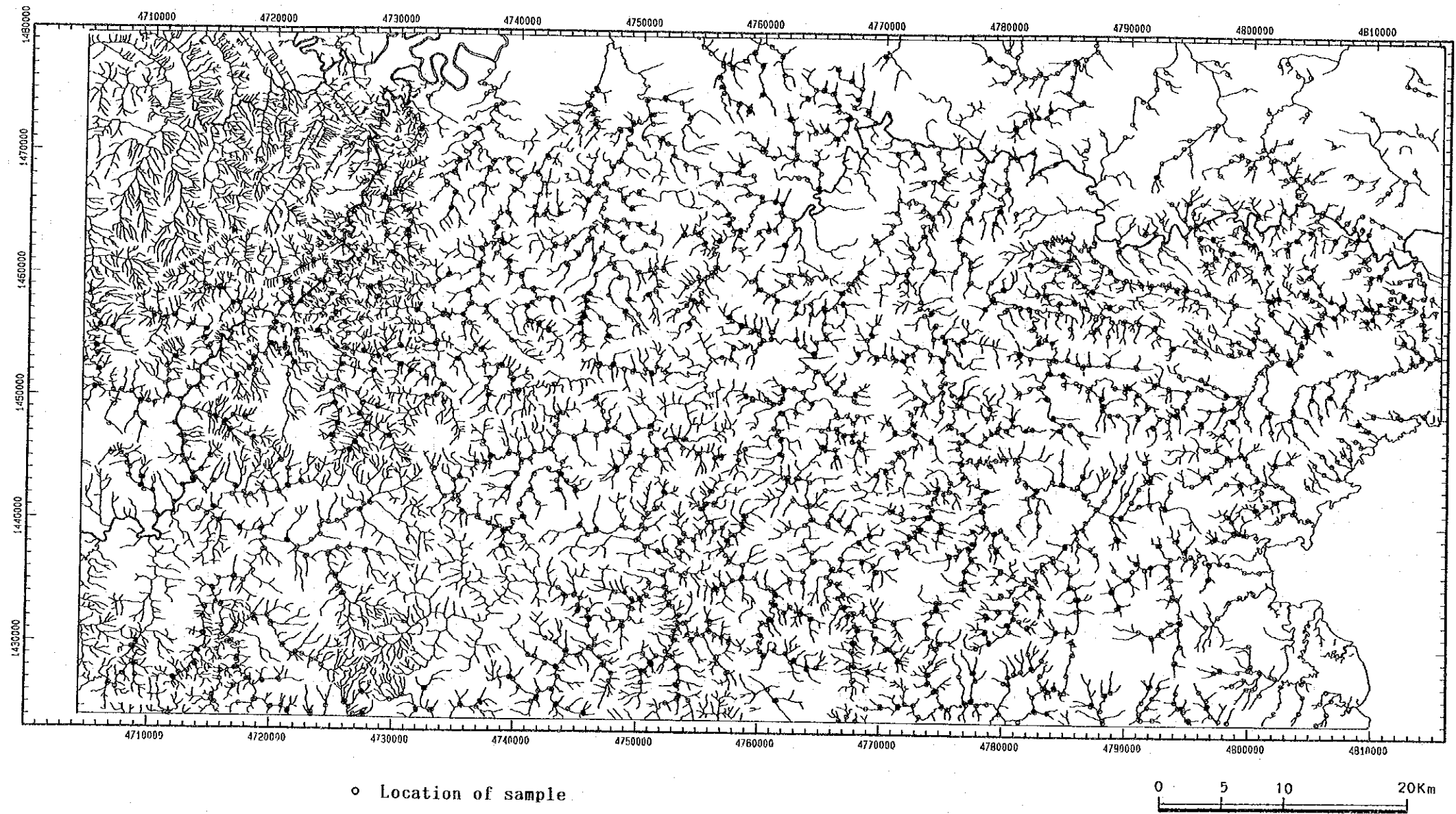


Fig. II-1-2 Location map of stream sediment samples in the segama area

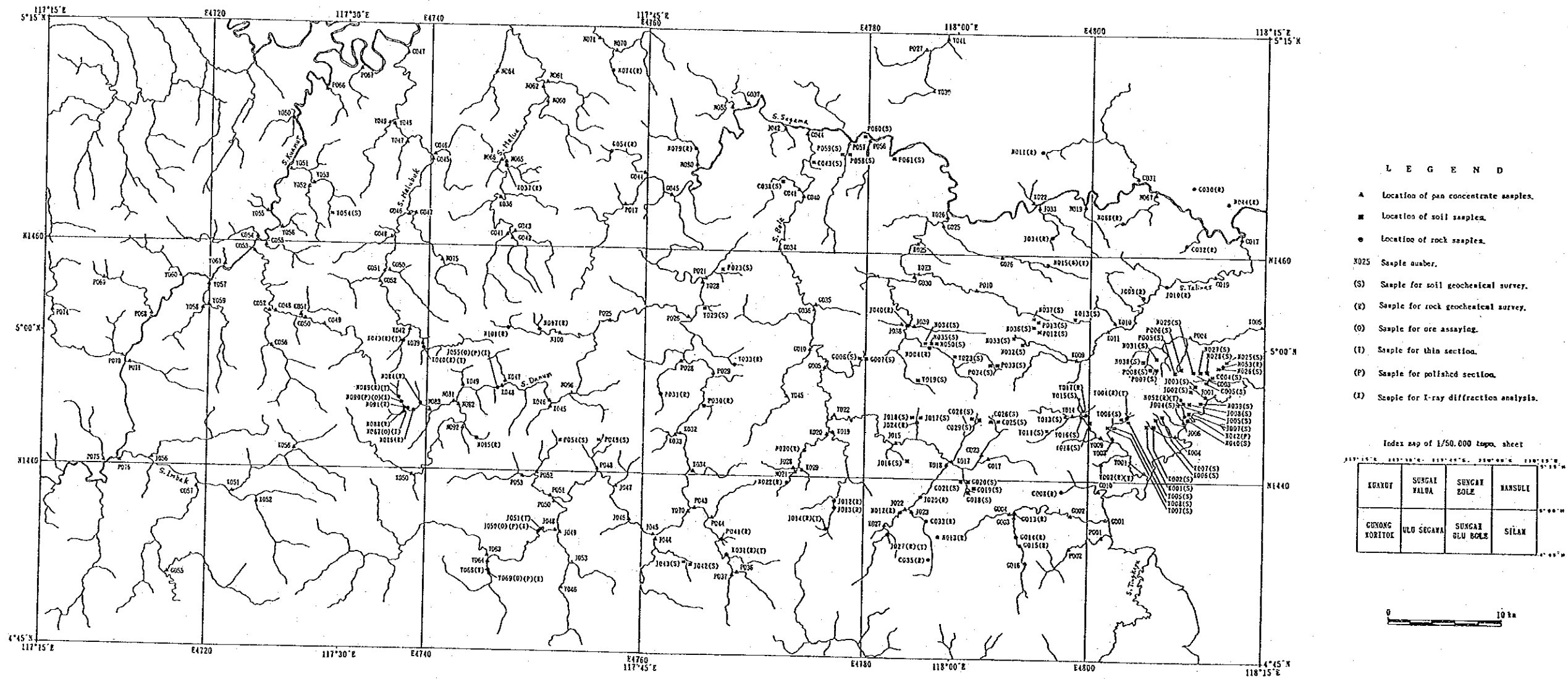


Fig. II-1-3 Location map of samples for geochemical and laboratorial studies in the Segama area

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。この表で明らかなように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、Au (2,500 ppb)、Cr (18,532 ppm)、Mn (12,390 ppm)、Ni (3,605 ppm)、Sr (1,207 ppm)などの元素がかなり高い値を示している。

各元素の分布の傾向を明らかにするため、ヒストグラム及び累積頻度分布図 (Appendix 3) を元素ごとに作成した。また、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Table II-1-2 に示す。元素間で良い相関 (相関係数0.600 以上) 示す元素の組み合わせは、以下のとおりである。

Ba-K, Co-Cu, Co-Mg, Co-Mn, Co-Na, Co-Ni, Co-Ti, Co-Zn, Cr-Ni, Cu-Mg, Cu-Na, Cu-S, Cu-Zn, K-U, Mg-Mn, Mg-Na, Mg-Ni, Mg-Ti, Mg-Zn, Mn-Na, Mn-Sr, Mn-Ti, Mn-Zn, Na-S, Na-Sr, Na-Ti, Na-Zn, Ni-Zn, 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、Co-Mg、Co-Zn、Cr-Ni、Mg-Zn、Mn-Ti である。Auと高い相関を示す元素は得られていない。Cuと高い相関を示す元素にはNa、Mg、Zn、S などがある。また、負の相関を示す元素の組み合わせとして、Mg-U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Appendix 4及び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 5に示す。各元素の濃度及び分布の特徴は以下のとおりである。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: 高濃度帯は、主として堆積岩類 (P₃Lb, P₄Ay, P₄Km, N₂Tj) 中に位置する。特に、クアム (Kuamut) 層 (P₄Km) 中で高い値が多い。また、一部の高濃度帯は、チャート・スピライト層、超塩基性岩及び基盤岩中にも見られる。異常帯は、しきい値として抽出された値が低いことから前述の範囲も含め広範囲に分布する。

Au: Auについては検出限界以下を示す試料が多く分布傾向を解明することは難しいが、高い

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

Element	Statistics							EDA method*3		
	Below detection limit (%)	Maximum value	Minimum value	Mean*1 value (b)	Standard deviation	b + 2S.D. *2	Median	Upper Whisker	Upper Fence	
As (ppm)	72.6	63	< 1	1.0	0.490	9.1	0.5	4	4.25	
Au (ppb)	92.8	2,500	< 1	0.6	0.361	3.2	0.5	0.5	0.5	
Ba (ppm)	1.6	772	< 10	83.1	0.332	383.1	92	143	229	
Co (ppm)	0.2	470	< 1	15.7	0.355	80.5	17	32	52.5	
Cr (ppm)	—	18,532	58	336.8	0.370	1,847.1	279	610	937	
Cu (ppm)	0.1	395	< 1	18.5	0.257	60.4	19	31	50.5	
Hg (ppb)	44.8	766	< 10	10.7	0.345	52.5	11	23	40	
K (%)	4.9	4.95	< 0.01	0.267	0.555	3.436	0.34	0.68	1.205	
Mg (%)	—	20.46	0.03	1.112	0.415	7.629	1.22	2.62	4.81	
Mn (ppm)	1.1	12,390	< 5	569.4	0.562	7,573.0	706	1,544	2,734	
Mo (ppm)	92.0	14	< 1	0.5	0.131	1.0	0.5	0.5	0.5	
Na (%)	1.8	6.53	< 0.01	0.559	0.533	6.492	0.63	1.70	2.96	
Ni (ppm)	—	3,605	7	64.6	0.382	375.6	59	125	196	
Pb (ppm)	68.0	222	< 2	1.7	0.373	9.5	1	4	6	
S (%)	—	2,555	0.009	0.035	0.244	0.108	0.036	0.054	0.086	
Sb (ppm)	9.7	148.1	< 0.2	3.26	0.619	56.49	4.9	9.5	17.85	
Sr (ppm)	—	1,207	2	78.5	0.449	619.5	65	221	380	
Ti (%)	—	10.75	0.04	0.567	0.403	3.630	0.52	1.36	2.26	
U (ppm)	5.9	3.4	< 0.2	0.83	0.344	4.05	1.0	1.6	2.6	
W (ppm)	93.1	7	< 2	1.1	0.116	1.8	1	1	1	
Zn (ppm)	—	502	8	52.7	0.235	155.5	55	81	129.5	

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

Table II-1-2 Corelation matrix of elements for stream sediment in the Segama 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	-.058	1.000																				
Ba	.154	.002	1.000																			
Co	-.375	.079	-.255	1.000																		
Cr	-.192	.015	-.355	.589	1.000																	
Cu	-.233	.026	.170	.600	.188	1.000																
Hg	.159	-.033	.227	.023	.009	.236	1.000															
K	-.437	.054	-.055	.774	-.285	.217	.217	1.000														
Mg	-.444	.115	-.203	.780	.374	.473	.100	-.287	1.000													
Mn	.015	-.008	.073	-.066	-.077	.024	.030	.062	.763	1.000												
Mo	-.369	.035	.069	.632	.118	.650	-.044	.091	.713	-.090	1.000											
Na	-.214	-.006	-.245	.759	.811	.448	.064	-.211	.767	.504	.314	1.000										
Ni	-.265	-.073	.222	-.351	-.149	-.214	.160	.176	.431	-.357	-.382	-.176	1.000									
Pb	-.158	.043	.110	.506	.136	.613	.152	.101	.551	.407	.083	.611	.298	1.000								
S	-.322	.073	-.170	.502	.384	.259	.141	-.209	.502	.552	.012	.398	.389	-.277	1.000							
Sb	-.414	.156	.051	.519	.013	.472	.119	-.058	.572	.628	-.074	.793	.128	-.423	.500	1.000						
Sr	-.466	.147	-.272	.712	.339	.343	.126	-.386	.684	.819	.116	.629	.373	-.429	.421	.564	1.000					
Ti	.327	-.034	.521	.586	-.336	-.293	.193	.612	-.602	-.515	.068	-.408	-.384	.365	-.280	-.291	-.451	1.000				
U	-.018	-.013	-.020	-.062	-.025	-.069	-.071	-.025	-.054	-.054	.257	-.090	-.025	.073	-.039	.041	-.098	-.067	1.000			
W	-.355	.076	-.119	.864	.507	.628	.140	-.175	.835	.720	-.011	.611	.664	-.284	.592	.463	.537	.704	-.490	1.000		
Zn																					-.052	1.000

値は、主として地区東部のタリワス(Taliwas)川及びカワグ(Kawag)川上流及び地区南部のジュアク(Juak)川上流の基盤岩中に位置するほか、地区東部の超塩基性岩～塩基性岩、地区西部のチャート・スピライト層及びクアム層の一部にも見られる。

Ba: 高濃度帯及び異常帯は、南部の基盤岩、地区西部のチャート・スピライト層、地区北部クアム層及び地区南西部のタンジョン層に位置する。

Co: 高濃度及び異常を示す試料は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩中に分布し、特にセバガヤ(Sepagaya)川上流、サイラム(Silam)部落の西部、デワタ(Diwata)川上流及びルンカサ川(Lunkasa)川上流に集中している。

Cr: 高濃度及び異常を示す試料の分布は、高濃度帯は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩中に位置し、特にサイラム部落の北西部から西部に集中している。Crの分布傾向は、超塩基性岩の分布を反映している。また、基盤岩及び地区東部のチャート・スピライト層の一部にも比較的高い値を示す試料が見られる。

Cu: Cuの異常値は、60.4 ppmである。最高値は、395 ppmである。異常値以上の値を示す試料数は、限られているが、東部及び南部の基盤岩、地区中央部から西部の塩基性岩及び地区東部と西部のチャート・スピライト層中に分散して見られる。チャート・スピライト層では比較的高い値が集中する傾向がある。クアム層、アヤール層及びタンジョン層の分布域では、異常値以上の値を示す試料は限られる。

Hg: 高濃度帯は、基盤岩、東部の超塩基性岩～塩基性岩、チャート・スピライト層及びクアム層中に分散して見られる。中央部のチャート・スピライト層、西部のクアム層及び南西部のタンジョン層中では比較的集中する。

K: Kの異常値以上の値を示す試料は、2点である。比較的高い値は、ほぼ地区全域に分散して見られるが、西部の堆積岩類は高濃度を示す。

Mg: Mgの高濃度帯は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩分布域に位置する。

Mn: Mnの異常値は7,573 ppmである。異常値以上の値を示す試料数は、数試料である。高濃度帯は東部の超塩基性岩～塩基性岩及び基盤岩分布域に見られる。

Mo: Moについては検出限界以下の値を示す試料が多く、また高い値も地区全域に分散して見られ、明瞭な元素の分布傾向は示さない。

Na: Naの高濃度帯は、基盤岩、超塩基性岩～塩基性岩及びチャート・スピライト層中に分布している。

Ni: 異常帯及び高濃度帯は、明瞭に超塩基性岩～塩基性岩中に分布している。また基盤岩、アヤール層及びクアム層分布域の一部でも高い値を示す試料が認められる。

Pb: 高濃度帯及び異常帯は、主として堆積岩類(P₄Ay、P₄Km、N₂Tj)中に分布しているが、チャート・スピライト層中にも一部見られる。

S : 高濃度及び異常を示す試料の分布は、ボレ (Bole) 川上流の基盤岩、ダヌン (Danum) 川上流の塩基性岩、東部のサバハン (Sabahan) 川付近のチャート・スピライト層、北部ラタング (Latang) 川、ベラング (Belang) 川及び西部のクアム川上流の堆積岩類 (アヤール層、クアム層、タンジョン層分布域に見られる。

Sb : 異常値 (56.49 ppm) 以上を示す試料は 2 試料であり、南部の基盤岩及び東部の超塩基性岩中に位置する。高濃度帯は、超塩基性岩～塩基性岩及び基盤岩分布域に位置する。

Sr : 高濃度帯は、明瞭に東部及び南部の基盤岩中に位置する。デワタ川付近、サバハン川付近及びクアム川中流付近のチャート・スピライト層分布域で比較的高い値を示す試料が認められる。

Ti : 高濃度帯は、東部の超塩基性岩～塩基性岩及び基盤岩中に位置する。

U : U の高濃度帯は地区全域に分散しているが、堆積岩類分布域に位置する傾向がある。

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、分布傾向は不明瞭である。

Zn : Zn の異常値は、155.5 ppm である。高濃度帯及び異常帯 (155.5 ppm 以上) は、東部の超塩基性岩～塩基性岩及び基盤岩分布域に位置する。また、西部のクアム層の一部でも高い値が得られた。

各元素の高濃度帯及び異常帯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。また、基盤岩分布域では Au、Mn、Na、Sb、Sr、Ti、Zn が高い値を示す。堆積岩類分布域で As、K、Pb、U が高い値を示す。Ba、Cu、Hg、Mo、S、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。Cu については、高い値が基盤岩、塩基性岩分布域に分散して得られているが、チャート・スピライト層では比較的集中して認められ、チャート・スピライト層中の銅鉱化作用を反映している可能性がある。チャート・スピライト層分布域では、Cu の他に As、Au、Ba、Hg、Mn、S などの値が比較的高い値を示す。

以上の元素の分布傾向から、金、銅、クロム、ニッケル鉱床など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、Cr、Co、Cu、Hg、Ni、S、Zn の 9 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 Zn-Co-Mg、Mn-Ti、Cr-Ni、Na-Sr、U-Ba-K の組み合わせでクラスターを構成する。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。Zn-Co-Mg、

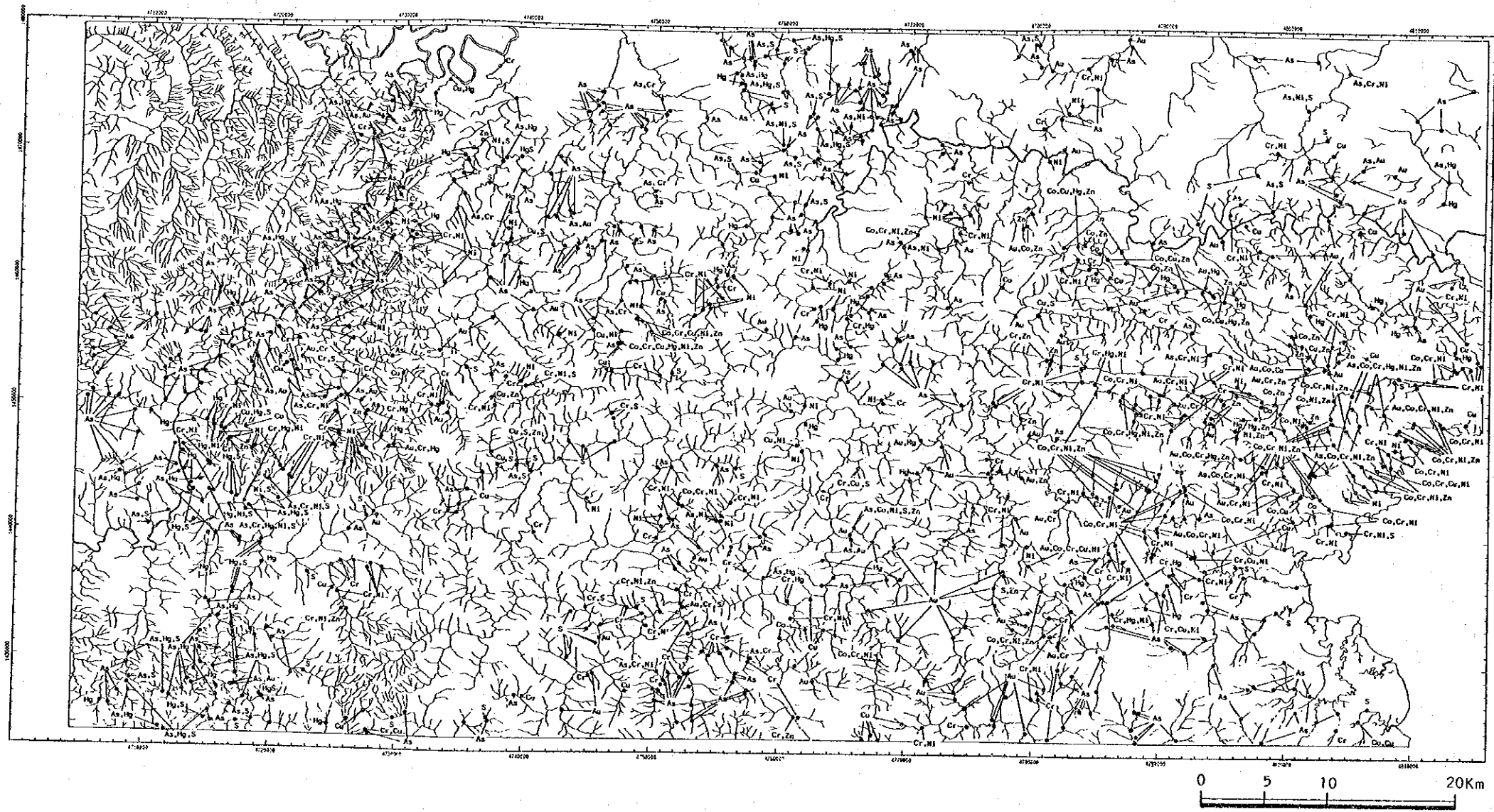


Fig. II-1-4 Distribution map of anomalous stream sediment samples for major elements in the segama area

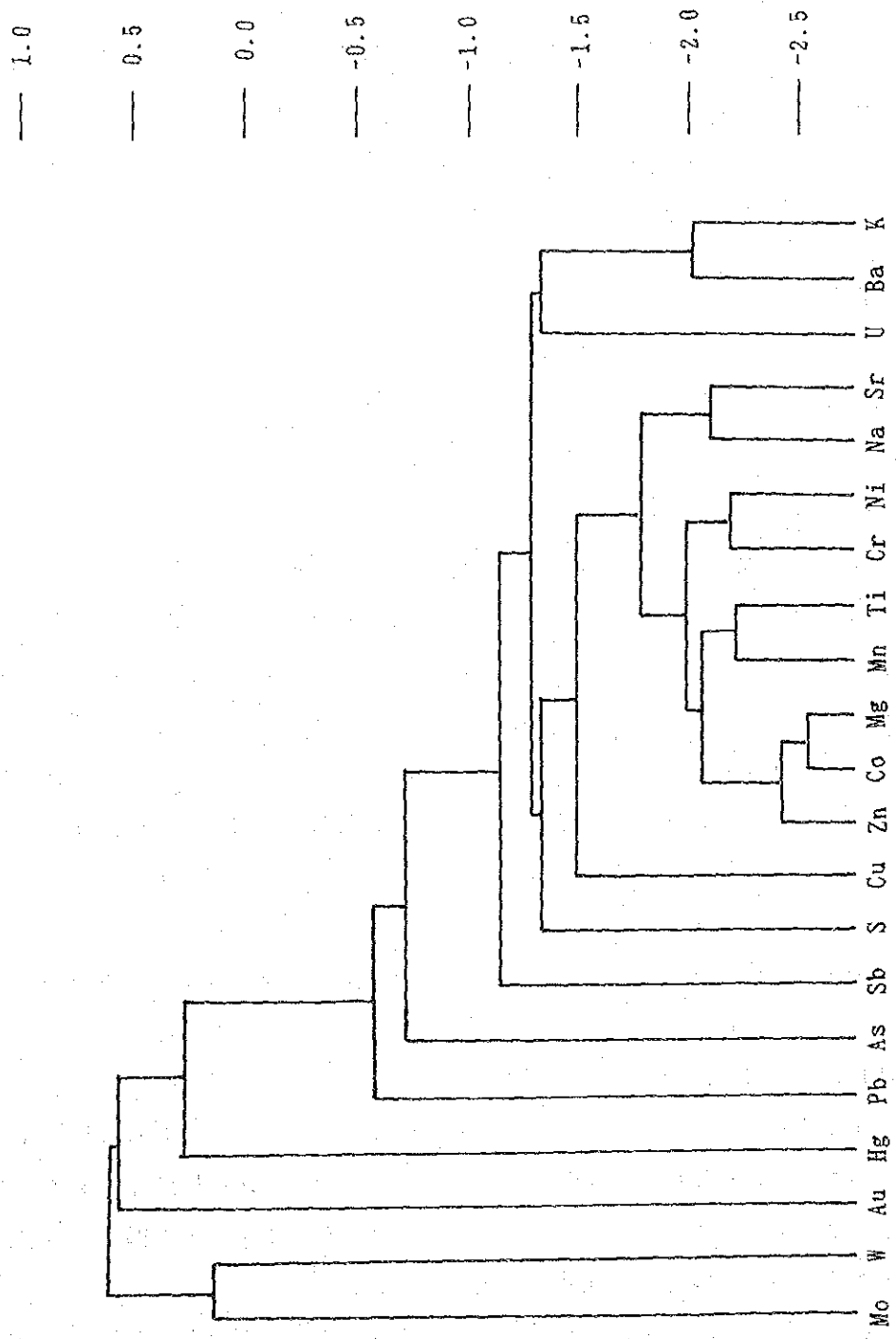


Fig. II-1-5 Dendrogram of elements for stream sediments in the Segama area

Mn-Ti、Cr-Ni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、Na-Sr は基盤岩に、また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7個の因子が抽出された。因子負荷量から抽出された因子とその因子に密接な関係を示す元素は、以下のとおりである。

第1因子：Co-Cu-Mg-Na-S-Sr-Zn

第2因子：Ba-K-U

第3因子：Cr-Ni

第4因子：Hg-Pb

第5因子：Mo-W

第6因子：As

第7因子：Mn-Sb-Ti

これらの因子のうち第1、第2、第4、第5因子は上記の元素と負の関係を示している。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因子は銅の鉍化作用と若干の関係が認められる因子、第2因子は堆積岩に関係する因子、第3因子は超塩基性岩～塩基性岩及びチャート・スピライト層あるいはクロム、ニッケルの鉍化作用に関係する因子、第4因子は堆積岩と若干の関係がある因子と考えられる。他の因子については、明らかではない。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因子と第3因子の因子得点分布図を作成し、Fig. II-1-6及びFig. II-1-7に示す。これらの因子の因子得点の分布傾向は、以下のとおりである。

第1因子：負の高い因子得点の分布域は、セガマ川下流、カワグ川などの基盤岩分布域、デワタ川からサバハン川のチャート・スピライト層分布域、ボレ川上流からセガマ川中流の基盤岩分布域、セガマ川上流の超塩基性岩、チャート・スピライト層分布域、ダヌン川上流からマルブク上流の塩基性岩、チャート・スピライト層分布域などがある。本地区での銅鉍床としては、チャート・スピライト層中に賦存するキプロス型の銅鉍床が期待され、チャート・スピライト層分布域で高い因子得点を示す区域は銅の鉍化作用の可能性を考える上で重要である。

第3因子：正の高い因子得点の分布域は、サイラム部落西部からカワグ川上流の超塩基性岩～塩基性、チャート・スピライト層分布域、地区中央部から西部に点在する超塩基性岩～塩基性岩と付近のチャート・スピライト層分布域である。本地区で期待されるクロム、ニッケル鉍床は超塩基性岩中あるいはその付近のラテライト中に賦存する可能性があり、高い因子得点が集中的に認められるサイラム西部からカワグ川上流の範囲がクロム、ニッケルの鉍化作用を考える上で重要である。

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

Element	Factor loadings (Varimax rotation)							Communality
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	
As	0.267	-0.124	-0.131	-0.241	0.027	-0.523	-0.080	0.4426
Au	-0.046	0.014	-0.015	0.023	0.020	-0.002	0.245	0.0636
Ba	-0.096	-0.821	-0.205	-0.191	-0.012	-0.002	0.021	0.7624
Co	-0.639	0.244	0.594	-0.014	0.075	0.195	0.181	0.8980
Cr	-0.053	0.244	0.853	-0.007	0.049	0.024	0.029	0.7935
Cu	-0.761	-0.190	0.253	-0.004	-0.001	0.044	-0.049	0.6840
Hg	-0.091	-0.194	0.063	-0.413	0.051	-0.135	-0.070	0.2461
K	-0.108	-0.868	-0.163	-0.068	-0.004	-0.103	-0.150	0.8295
Mg	-0.706	0.179	0.573	0.170	0.075	0.197	0.081	0.9379
Mn	-0.537	0.200	0.357	0.090	0.082	0.397	0.411	0.7972
Mo	-0.043	-0.036	-0.063	-0.088	-0.507	-0.025	-0.041	0.2742
Na	-0.807	-0.082	0.087	0.224	0.085	0.199	0.237	0.8185
Ni	-0.321	0.134	0.854	-0.030	0.049	0.046	-0.070	0.8606
Pb	0.307	-0.171	-0.098	-0.435	-0.200	-0.053	-0.165	0.3920
S	-0.753	-0.043	0.095	-0.154	-0.074	-0.051	0.100	0.6197
Sb	-0.208	0.064	0.417	0.245	-0.101	0.220	0.438	0.5316
Sr	-0.694	0.037	-0.095	0.245	0.132	0.266	0.411	0.8095
Ti	-0.505	0.318	0.231	0.118	0.115	0.356	0.545	0.8600
U	0.438	-0.618	-0.182	-0.186	-0.072	-0.135	-0.066	0.6687
W	0.073	0.012	0.014	0.066	-0.498	0.025	-0.007	0.2584
Zn	-0.685	0.147	0.503	-0.190	0.020	0.199	0.231	0.8734
F.C. *1	35.3 %	17.0 %	22.1 %	5.9 %	4.7 %	6.6 %	8.4 %	—

*1: Factor contribution

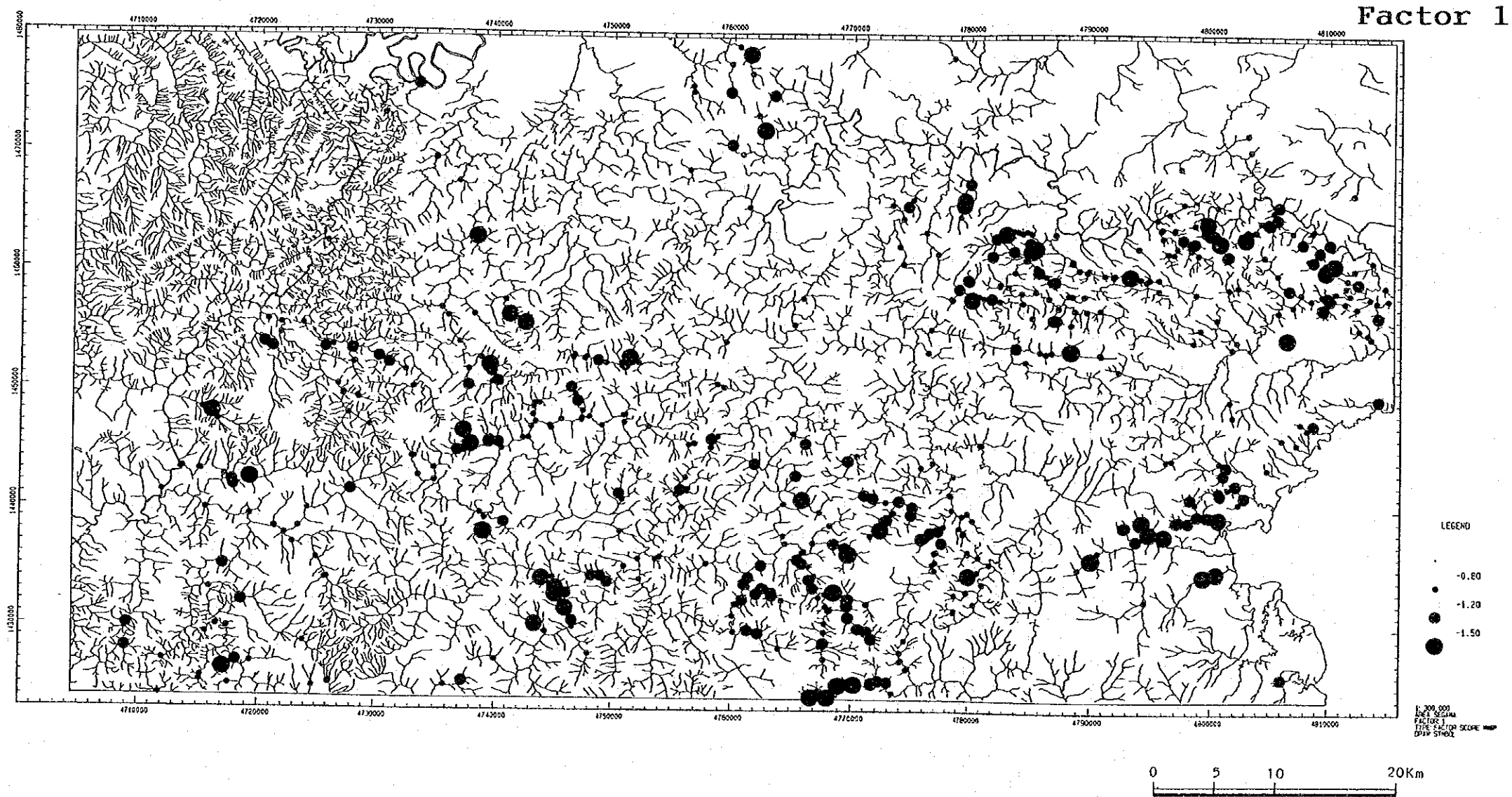


Fig. II-1-6 Distribution map of factor 1 factor scores for stream sediment samples in the Segama area

Factor 3

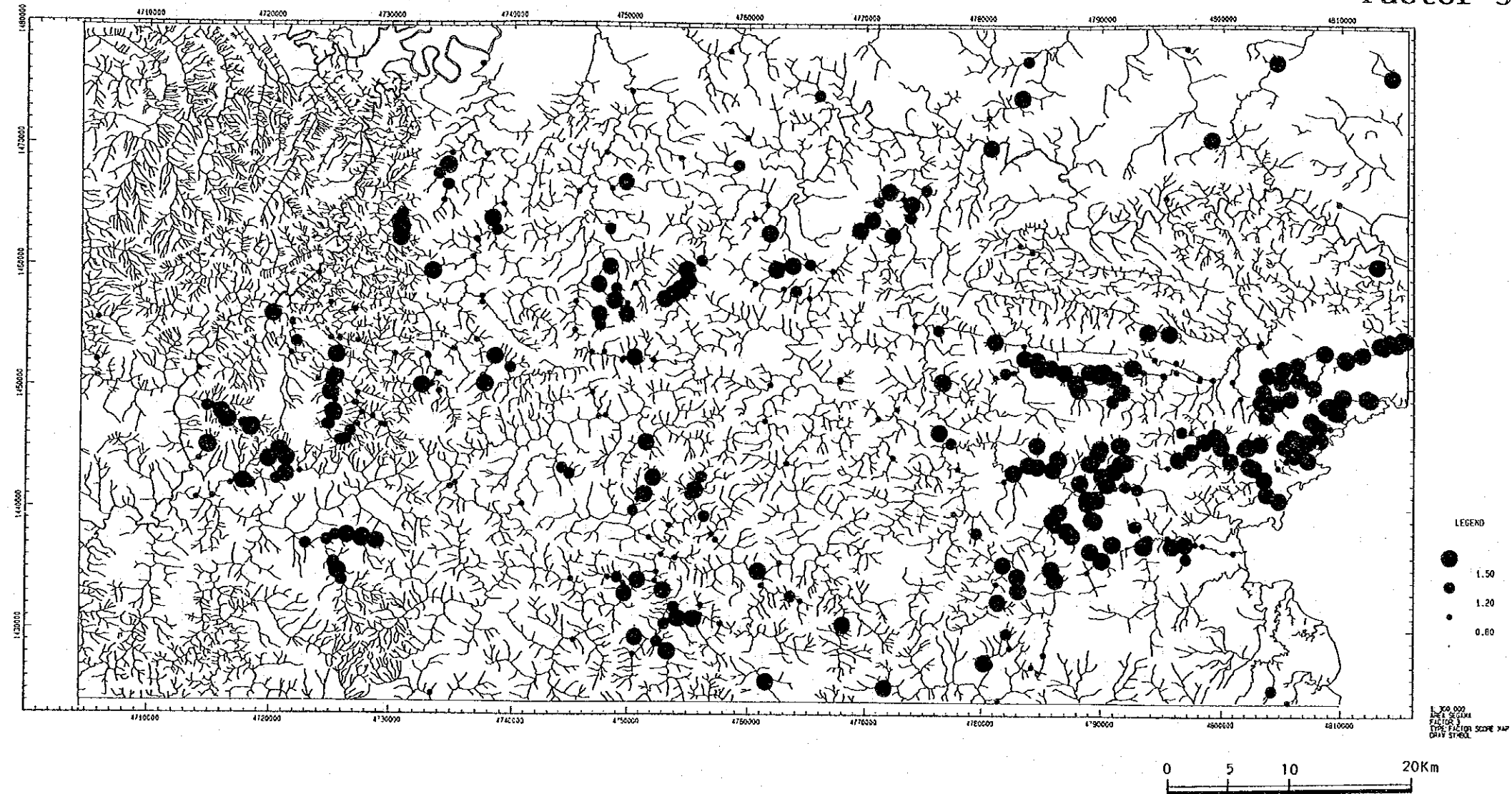


Fig. II-1-7 Distribution map of factor 3 factor scores for stream sediment samples in the Segama area

1-2-4 パンニング試料定量分析

(1) 試料

本地区の主な河川にてパンニング試料175個を採取した。試料の記載をAppendix 6に示す。

5杯のパンニング(約25リットル)により最高393gの試料が得られた。堆積岩の分布域では、一般に少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 7に示す。QME分析の結果、磁鉄鉱、クロム鉄鉱、チタン鉄鉱、針鉄鉱、黄鉄鉱などが主要構成鉱物として認められ、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、多量の石英及び長石が混入した。極少量であるが5試料で金が認められた。QME分析結果をFig. II-1-8に示す。主な構成鉱物の分布と地質の関係は以下のとおりである。

磁鉄鉱 : 磁鉄鉱は、大部分の試料で認められた。基盤岩の分布するカワグ(Kawag)川、タリワス(Taliwas)川、セガマ(Segama)川上流、超塩基性岩～塩基性岩及びチャート・スピライト層の分布するボレ(Bole)川下流、デワタ(Dewata)川上流で多くの磁鉄鉱が得られた。

クロム鉄鉱 : クロム鉄鉱は、タリワス(Taliwas)川、カワグ(Kawag)川の上流、ボレ(Bole)川の下流、セガマ(Segama)川上流、ダヌン(Danum)川の上流で採取した試料で多量に含まれている。これらの試料の上流域あるいは付近には超塩基性岩が分布する。クロム鉄鉱は超塩基性岩を起源とするものであると考えられる。特に、カワグ川上流の試料で最も多くクロム鉄鉱が得られたことから、カワグ川の源であるサイラム西部の超塩基性岩分布域はクロム鉄鉱床賦存の可能性のある区域であることを示す。

チタン鉄鉱 : チタン鉄鉱は、基盤岩、超塩基性岩～塩基性岩の分布域の試料で多く出現する。

針鉄鉱 : 針鉄鉱は、大部分の試料で認められ、主として堆積岩の分布域で多い傾向を示す。

黄鉄鉱 : 黄鉄鉱は、極少量であるが堆積岩類及びチャート・スピライト層の分布域で認められる。

自然金 : 自然金は、極少量であるが、クアム(Kuamut)川支流のマログ(Malog)川、セガマ川中流、ダヌン川上流、サイラム付近の河川で採取された5試料で認められた。マログ川、セガマ川中流、サイラム付近の試料は、チャート・スピライト層分布域で採取されたものである。ダヌン川上流の試料は、砂岩の分布域で採取されたものである。河川堆積物試料で高いAu濃度を示した基盤岩分布域で採取したパンニング試料には自然金は認められなかった。

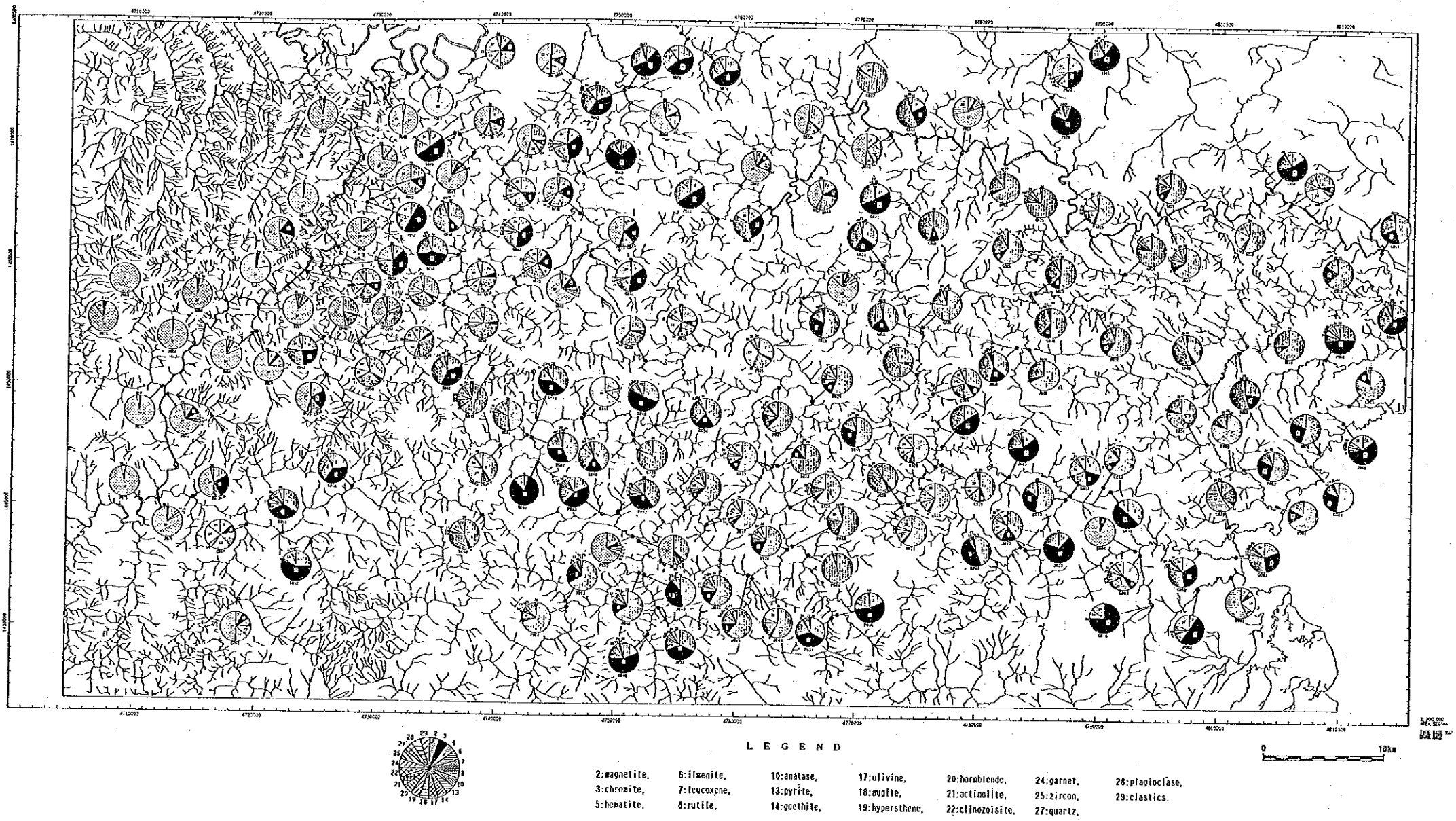


Fig. II-1-8 Interpretation map of pan concentrate samples in the Segama area

