

第5章 Mrima-Jombo 地区

5-1 調査方法

地質調査及び地化学探査を実施した（調査面積 100km²，踏査距離88.9km，土壌試料採取数262 試料）。地質調査及び地化学探査の調査方法はGanze 地区と同じである。

5-2 地質調査結果

5-2-1 地質

本地区の地質図及び同断面図をFigure II-5-1に、また、地質模式層序図をFigure II-5-2に示す。

地質は、三疊紀～ジュラ紀の堆積岩、白亜紀または第三紀の火成岩類、第三紀～第四紀の未固結堆積物に区分される。堆積岩は砂岩を主とする。火成岩は今年次調査地区中では最も多く分布し、各種のアルカリ貫入岩からなる。未固結堆積物は、第三紀層、第四紀の崩積土、残積土、沖積層からなる。

(1)Maji-ya-Chumvi 層(MyCu)

Maji-ya-Chumvi層上部層(MyCu)が地区南西部から北東部へかけて広範囲に分布する。本層は砂岩を主とした下部三疊紀の地層である。頁岩も1 露頭で見出されたが、分布状況は明らかでない。

砂岩は、灰色～暗灰色を呈する細粒砂岩を主とし、flaggy構造が局所的に発達する。

(2)Mariakani層(Mk1)

Mariakani 層下部層(Mk1) が、地区北西縁部に分布する。露頭観察は行なわれていないが、転石は、褐灰色の風化色を呈する極細粒～細粒砂岩からなり、緻密塊状のもの、葉理を有するものなどがみられる。

(3)Mazeras層(Mzm)

地区北東隅にMazeras 層中部層(Mzm) が分布する。本層は中部ジュラ紀の地層で、アルコース質の斜交葉理の発達した砂岩からなるとされているが、調査地区内では露頭、転石ともに少なく岩相の詳細は明らかでない。

(4)Magarini 層(Mu)

本地区にはMagarini層上部層(Mu)が、地区南東部を中心にMaji-ya-Chumvi層、Mazeras 層を覆って分布する。クリーム白色を呈する淘汰不良の未固結石英質砂からなるとされているが、地区内での露頭は少なく、その詳細は不明である。時代は新第三紀鮮新世である。

LEGEND

QUATERNARY	Recent		Alluvium
TERTIARY	Pliocene	Rc	Colluvium and residual soils
		Mu	Sands
JURASSIC	MAZARAS FORMATION (M)	Mzu	Sandstones/arkoses
		Mzm	Sandstones/arkoses (Slates/siltstones/sandstones, S)
		Mku	Sandstones
		Mkm	Sandstones (Slates/siltstones/sandstones, S)
TRIASSIC	MAFIKANI FORMATION (Mf)	Mkl	Sandstones
		MyCu	Sandstones/shales/siltstones
		MyCm	Shales/siltstones, sl./sandstones
PERMIAN	MAJIYA-CHUMVI FORMATION (MyC)	MyCl	Shales with nodules containing fossil fish
		MyCl	Shales/siltstones, subordinate sandstones, s

Igneous Rocks	
	Agglomerate
	Carbonatite
	Fenite
	Foyaité
	Microlynite
	Mettekite
	Syenite
	Nepheline syenite
	Lamprophyric dyke

	Geological boundary, known
	Geological boundary, approximate (including photo-interpretation)
	Photo-lineament
	Fault, downthrow indicated
	Fault inferred, downthrow indicated
	Bedding, dip indicated
	Bedding, dip (< 15°) indicated (air-photo interpretation)
	Mineral occurrence
	Spring
	Line of section

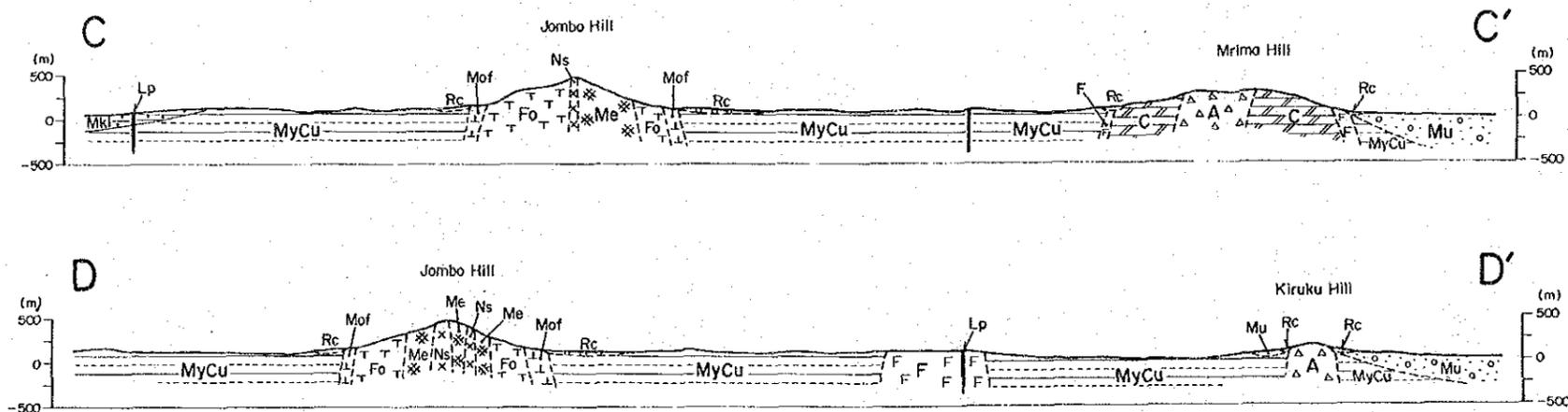
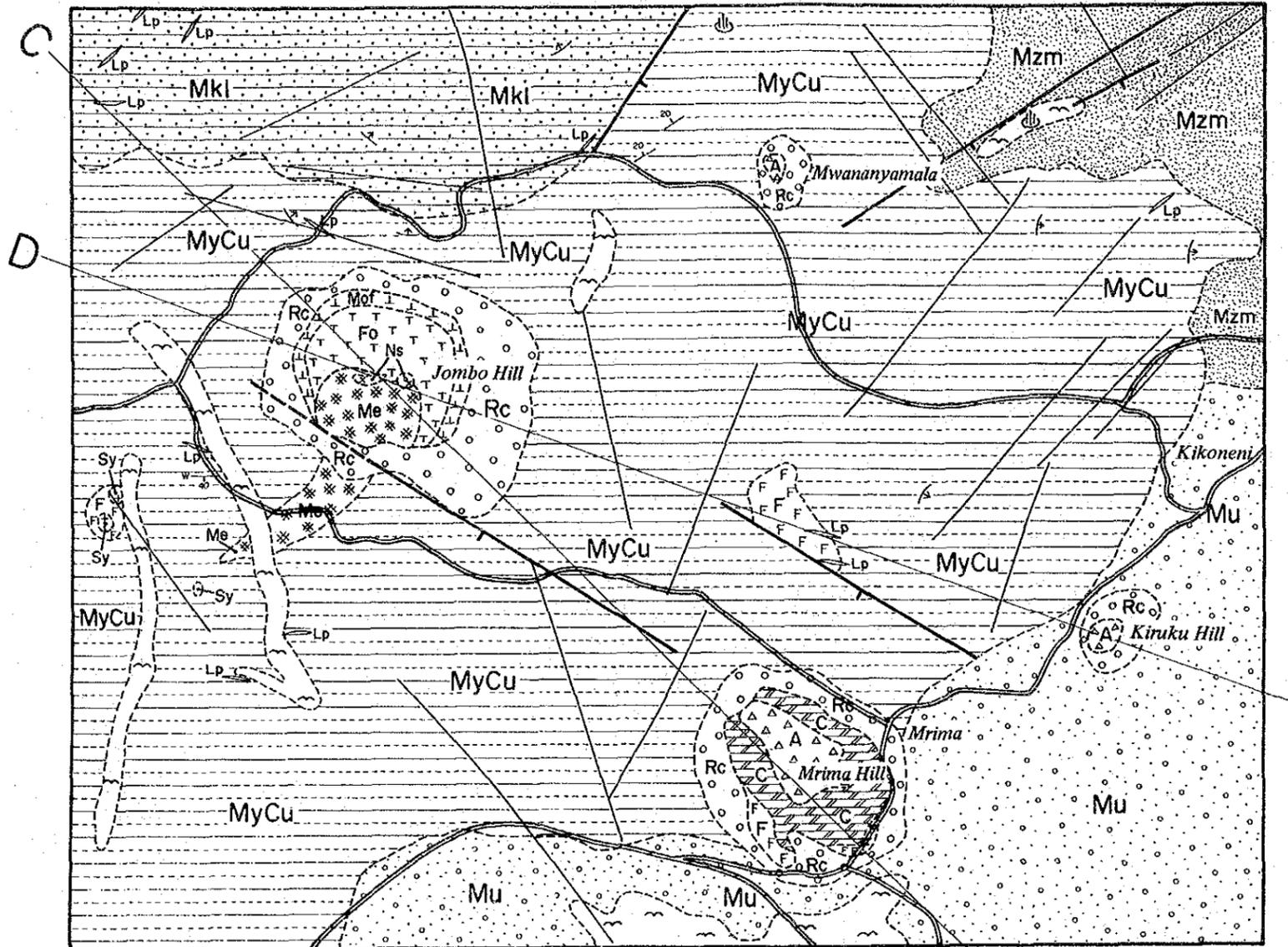


Figure II-5-1 Geological Map of the Mrima-Jombo Area

Geologic age	Geologic unit		Symbol	Column	Rock facies	Event
Quaternary	Alluvium				Sands, gravels	Mukundi Pb-Zn Cu Mineralization Alkaline igneous activity+ Nb, REE Mineralization Faulting Down-warping
	Colluvium & residual soils		Rc		Breccias, soils	
Tertiary (Pliocene)	Magarini f.	Upper m.	Mu		Sands	
Tertiary or Cretaceous	Alkaline intrusive rocks		A, C, F, Fo, Me, Ns, Mof, Sy, Lp		Agglomerate: A, Carbonatite: C, Fenite: F, Foyaite: Fo, Melteigite: Me, Nepheline syenite: Ns, Microfoyaite: Mof, Syenite: Sy, Lamprophyric dyke: Lp	
Jurassic	Mazeras f.	Middle m.	Mzm		Sandstones	
Triassic	Marikani f.	Lower m.	Mkl		Sandstones	
	Maji-ya-Chumvi f.	Upper m.	MyCu		Sandstones, shales, siltstones	

f. : formation m. : member

Figure II-5-2 Generalized Geological Columnar Section of the Mrima-Jombo Area

(5) 火成岩類

中世代堆積岩類を貫くアルカリ火成岩類として、Mrima Hillではアルカリ複合岩類とこれを貫くカーボナタイトが、Jombo Hillではアルカリ複合岩類が、Kiruku Hillでは旧火口と推定されるアグロメレート(集塊岩)がそれぞれ分布する。また、Kikondeにはフェン岩類が、西部のHenzamwenyeの北西約1.5kmには閃長岩類がそれぞれ小丘あるいは丘陵地をなして分布する。これらの各岩体及び貫入岩類は下記のとおりである。

a) Mrima Hill岩体

本岩体は、カーボナタイト、アグロメレート、フェン岩化堆積岩類、これら岩石類の崩積地堆積物及びカーボナタイトの風化により生成した土壌からなる。

・カーボナタイト(C)

カーボナタイトは構成鉱物の90%以上が方解石で構成され、まれに斜長石や不透明鉱物を含む岩石で、Mrima Hillを構成する。岩体中央部には、集塊岩質カーボナタイトがほぼ頂部を中心として北西部斜面に分布する。この周辺部には、いわゆるソーバイト(Söbite)や黒雲母-カーボナタイト、ドロマイト質カーボナタイトなどが分布する。カーボナタイトを構成する鉱物は下記のとおりである。

炭酸塩鉱物(方解石、ドロマイト)、角閃石、輝石、カンラン石、長石、雲母(黒雲母、金雲母)、緑泥石、緑レン石、磁鉄鉱、石英、重晶石、硫化鉱物(黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、白鉄鉱)、パイロクロア、モナザイト、リン灰石、イルメナイト、ルチル、ジルコンなど

・フェン岩化堆積岩(F)

本岩体の南西部及び東南部の岩体周縁部には、カーボナタイトの貫入により“フェン岩化(fenitization)”を受けた砂岩及びシルト岩が分布する。

・崩積地堆積物(Rc)

本岩体の周縁部には、カーボナタイトやアグロメレートなどの風化による崩積地堆積物が分布する。

・カーボナタイトの風化による土壌

カーボナタイトの風化土壌として、本岩体周辺に赤褐色のピソリテイク(pisolitic)でリモナイト質な土壌と灰白色～白色のカオリナイト質土壌が認められる。前者は、パイロクロア、重晶石、マンガン、モンモリロナイトなどを含み、また後者は赤鉄鉱を含む。

これらの風化土壌は、Mrima Hillの頂部に生成した小規模な盆状地、すなわちカーボナタイト岩体の頂部に生成したカルスト地形の凹部を埋めるように分布する。この風化土壌はカーボナタイト鉱床の生成・富化に重要な意味をもつ。

岩石風化による二次鉱物には、リモナイト、マンガン酸化物(クリプトメレーン、パイロルー

サイトなど), カオリン, モンモリロナイト, ゴルサイクサイト, フローレンサイトなどがある。

b) Jombo-Hill岩体

本岩体は, いわゆるアルカリ複合岩体で, 最外縁部にはマイクロフォヤアイトがほぼ環状に分布し, この岩体の外縁相をなしており, その内側にはフォヤアイトやメルティジャイトなどがハイブリッド相を, なしている。また岩体中心部には, 霞石閃長岩が分布する。

・マイクロフォヤアイト(Mof)

マイクロフォヤアイトはJombo Hill岩体の最外縁部を構成し, 一般に細粒, 均質で, 自形の正長石や霞石を含む。しばしば小丘を形成する。

・フォヤアイト(Fo)

同岩体の北部, 北東部, さらに東部斜面にかけてほぼ馬蹄状に分布する。中粒~粗粒で, 通常赤褐色を呈する霞石や正長石(長さ5~20mm), あるいはマイクロパーサイトを含み, 岩相変化が激しい。

・メルティジャイト(Me)

Jombo Hillの南部一帯は本岩によって占められている。岩相は, 暗灰色~黒色, 中粒~粗粒(0~5mm)で角閃石, 霞石, 輝石の自形結晶を持ち, 上記のフォヤアイト相と同様に岩相変化が激しい。山腹南側斜面上の本岩中には, Maji-ya-Chumvi層に属する砂岩の捕獲岩が認められ, 両者間の混成によって生じたハイブリッド岩が小規模に分布する。また, 本岩体の南部には, 比較的霞石に乏しいランプロファイヤー質岩の分布が認められる。

・霞石閃長岩(Ns)

岩体の頂部2箇所分布し, 火成活動の末期に貫入したものと推定される。本岩は, 霞石が淡褐色, 長石が緑灰色を示す極めて特徴的な岩相を有し, 緻密質で硬く, 中粒~粗粒である。主として自形の霞石(2~5mm), アルカリ長石(クリノパーサイト), 輝石(単斜輝石)からなり, これらの量比はそれぞれ, 50~55%, 35~40%, 3~7%である。

c) その他の貫入岩体

本地区の東部のKiruku岩体及び中央北部のNguluku岩体は共にいわゆるアグロメレートからなり, これらはアルカリ岩質火成活動の火道であると考えられている。Kiruku岩体を構成するアグロメレートは, 珪化した砂岩片やリモナイト片などの外来岩片を含み, 鏡下では細粒~中粒の玉ずい質シリカ, アルカリ長石, リモナイトがそれぞれほぼ同量認められる。一方, Nguluku岩体を構成するそれは, 砂岩や頁岩など堆積岩の破片で構成され, 石英, 長石, 方解石が基質を埋めている。堆積岩片の大きさは, 数mmから10cmである。

Jombo Hillの南西方3.5km~4kmには, 閃長岩からなる幾つかの貫入岩体が分布し, 一部はフ

エン岩化砂岩を伴っている。閃長岩は、灰色、緻密質、中粒の岩石で、鏡下では斜長石(2~6mm)、アルカリ長石(2~5mm)、角閃石がそれぞれ40~60%、35~50%、2~8%を占める。

また、Mrima Hillの北方2.5km には、NW-SE 方向に伸長する丘陵地がある。これは無数の小規模な閃長岩の貫入により、フェン岩化を受けた砂岩よりなる(Caswell, P. V. (1953))。

その他、本地区には数多くのアルカリ岩質貫入岩が分布するが、これらは主として、サンナイト、カンプトナイト、モンチカイトなどのランプロファイヤー岩脈である。

5-2-2 地質構造

中世代堆積岩類は、北西部ではWNW-ESE からENE-WSW 走向で北へ緩傾斜、東部ではNNE-SSW 走向で東へ緩傾斜する構造を有すると推定される。Magarini層はほぼ水平の堆積構造を有する。

断層としてWNW-ESE 方向とENE-WSW の2 方向の断層が認められ、航空写真によるリニアメントでも両系統のものが判読される。

ランプロファイヤー岩脈は、N60°W, N75°W, N40°E などの方向に貫入しており、これらの貫入方向は、断層やリニアメントの方向と類似している。

5-2-3 鉍徴・鉍化帯

Mrima-Jombon地区の鉍徴・鉍化帯の位置を別添図PL. 6に示す。

既知鉍徴の概要は次のとおり。

(1) Mrima Hill カーボナタイト鉍床

本鉍床は、当初はマンガン、鉄資源として、さらに金、銀、鉛資源として、近年になりニオブウム、希土類、トリウムの資源として注目されてきた。

本鉍床は、カーボナタイトが風化してできた風化残留型鉍床で、カーボナタイト中に含まれるパイロクロアやモナザイト、さらに二次的に生じたゴルサイクサイトなどにより富化したものである。これまでの調査・探鉍結果から推定した本鉍床の諸元は下記のとおりである。

・鉍床の分布状態

カーボナタイト岩体上面の、風化により形成されたカルスト地形の凹部を埋めるように分布する。厚さは数フィートから数百フィートまで変化する。鉍石にはカオリナイト質とリモナイト-マンガン質の2 種類がある。

・鉍石鉍物

ニオブウム：パイロクロア

希土類：ゴルサイクサイト、パイロクロア、モナザイト、フローレンサイト

トリウム：パイロクロア、ゴルサイクサイト、リン灰石

・鉍量及び品位

Table II-5-1参照

Table II-5-1 Ore reserves of carbonatite ore body, Mrima Hill

		by Mines and Geological Department	by Anglo-American Corporation of South Africa Ltd.		by Mines and Geological Department	
Year calculated		1955	1957		1960	
Ore Reserves	Depth	Top 20 ft. of soil	30 ft. below surface	30 to 100 ft. below surface	30 ft. below surface	same as left (high grade ore)
	Reserves	30 million tons	55 million tons	50 million tons	41.8 million tons	4.93 million tons
	Grade	0.72% Nb ₂ O ₅	0.67% Nb ₂ O ₅	0.70% Nb ₂ O ₅	0.67% Nb ₂ O ₅	1.15% Nb ₂ O ₅

(2) 鉄・マンガン鉍徴

Mrima Hill 斜面のラテライト質表土中には径数mmから10数cmの鉄・マンガン酸化物コンクリーションが分布しており、1919年の発見以来種々の企業、機関により調査・研究されている。主な構成鉍物は、パイロルーサイト、サイロメレーン、赤鉄鉍、褐鉄鉍、重晶石でこの他、金、銀、銅、鉛、亜鉛の濃集も報告されている。Carswell(1953)による鉍石中の金属成分の含有量は次のとおり。

MnO₂ 30.51~60.80 % (4 試料)

MnO 4.38~6.60% (3 試料)

Fe₂O₃ 8.20~45.20 % (4 試料)

Cu 0.02% (1 試料)

Pb 0.04% (")

Zn	0.21%	(")
Au	0.8g/t	(3 試料平均)
Ag	5.6g/t	(4 試料平均)

今年次の調査では、鉱徴の確認と鉄・マンガンコンクリーション試料2箇の分析を行なった。
分析結果をTable II-5-2に示す。

Table II-5-2 Result of the Chemical Analysis of Iron-Magare Concretion

	Gold g/T	Silver g/T	Iron %	Manganese %	Copper %	Lead %	Zinc %
F009	< 0.07	76	30.0	> 3.00	0.006	0.014	1.015
H010	< 0.07	< 2	35.9	0.098	0.005	0.004	0.007

g/T : gramme per ton

% : percent

本分析結果においても鉄・マンガンの他、銀や亜鉛の濃集が認められる。

鉄・マンガンについてはカーボナタイトの風化によりもたされたとされるが、貴金属及び卑金属成分については、堆積岩起源のほか潜在する鉛-亜鉛-重晶石鉱脈鉱床に由来するなどの考えがある。

(3) その他の鉱徴

次の2件が報告されているが、今回の調査では確認できなかった。

金：Jombo Hillの霞石閃長岩中に金の微粒が確認(1893)されているが、例外的な産状であり、有望な探鉱対象とはみられない(Carswell, 1953)。

鉛：Mrima 西方のMaji-ya-Chumvi層は鉱染状方鉛鉱を疎らに含んでいるが、経済的な量のものではない(Carswell, 1953)。

5-3 地化学探査結果

5-3-1 分析及び解析方法

各指示元素の分析方法及び検出限界をTable II-5-3に示す。ただし、Au, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Baについては、既にTable II-1-1に示した。

解析方法は、Ganze 地区に同じである。解析対象試料は本地区のもののみである。

Table II-5-3 Analytical Procedures

Element	Unit	Description	Method	Detection Limit	Upper Limit
Strontium	ppm	Nitric aqua regia digest	ICP-AES	1	10,000
Phosphorus	ppm	Nitric aqua regia digest	ICP-AES	10	10,000
Niobium	ppm	—	Fusion Plasma Array	5	10,000
Yttrium	ppm	—	Fusion Plasma Array	5	10,000
Uranium	ppm	—	NAA	1	10,000
Thorium	ppm	—	NAA	0.1	10,000
Lanthanum	ppm	—	NAA	1	10,000
Cerium	ppm	—	NAA	2	10,000
Neodymium	ppm	—	NAA	5	1,000
Samarium	ppm	—	NAA	0.1	500
Europium	ppm	—	NAA	0.5	100
Terbium	ppm	—	NAA	0.1	100
Ytterbium	ppm	—	NAA	0.1	1,000
Lutetium	ppm	—	NAA	0.1	500

ICP-AES : Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry

NAA : Neutron Activation Analysis

— : Not Specified

5-3-2 単一変量解析

(1) 標準統計量

標準統計量をTable II-5-4に示す。

(2) 累積頻度分布としきい値の設定

累積頻度分布図及び累積頻度分布解析図をFigure II-5-3に示す。

Table II-5-5にしきい値を示す。しきい値を求めた基準は、Ganze 地区と同じである。

5-3-3 主成分分析

(1) 指示元素間の相関

Table II-5-6に相関係数を示す。

相関係数はU-Cu, U-Fe 間を除いて、全て正の相関を示す。Uを除く他の指示元素間の相関は、Au, Cu, Pbに関係する幾つかの相関を除けば一般に強く、相関係数0.5以上の値を示す。この内、Nb, 希土類元素, Th, Znの各指示元素間には相関係数0.776 ~0.986の極めて強い正の相関が認められ、また、これらはAu, Ba, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Srの各指示元素とも大部分が相関係数0.6以上の強い相関を示す。

Uは、今回の分析元素の中では例外的であり、他の元素との相関は弱く、相関係数は最大でもU-Lu間の0.492に過ぎない。

(2) 主成分分析

Table II-5-7に主成分分析結果を示す。

第1主成分は寄与率0.767で、全情報量の約77%を説明する主成分である。Uを除く全元素と強い正の相関を有しており、特にNb, 希土類元素, Znの挙動を最も良く表している。第1主成分は、地質との関連から見て、カーボナタイトやアグロメレートの風化土壤中でのこれら指示元素の濃集を反映した主成分であると解される。

第2主成分は寄与率0.109でCuやUの挙動情報の約半分を説明するものであり、Cuとは正相関、Uとは負の相関を示す。カーボナタイト岩体に無関係に分布するCu高濃度値を反映した主成分であり、Mukundi 鉱徴に見られるような銅-鉛-石英脈鉱化作用に関連する可能性を有する。

第3主成分は寄与率0.034で、主にUの挙動情報の約半分を保有している。

第1主成分から第3主成分までの累積寄与率は91%に達する。

Table II-5-4 Statistics of Geochemical Data, Mrima-Jombo Area

Element	Unit	Number of Samples	※	Max.	Min.	Mean (m)	Standard Deviation (σ)	m+2σ
Au	ppb	262	177	94	< 1	—	—	—
Ba	ppm	"	0	>10,000	10	290.5	0.499	289.7
Sr	"	"	0	3,390	1	50.5	0.577	719.2
Nb	"	"	0	2,600	10	71.4	0.505	730.6
Y	"	"	0	880	18	53.7	0.332	247.4
U	"	"	0	16	1	4.1	0.179	9.4
Th	"	"	0	413	6	22.1	0.343	107.2
La	"	"	0	6,512	9	91.6	0.516	985.1
Ce	"	"	0	7,450	22	168.5	0.432	1,229.2
Nd	"	"	0	1,865	5	62.8	0.464	532.1
Sm	"	"	0	433	1	12.3	0.445	95.6
Eu	"	"	10	94	< 1	2.6	0.511	26.9
Tb	"	"	2	23	< 0.05	1.3	0.420	8.9
Yb	"	"	0	40	2	5.4	0.229	15.4
Lu	"	"	0	5	0.30	0.8	0.210	2.2
Cu	"	"	1	174	< 1	11.6	0.438	86.9
Pb	"	"	3	216	2	12.8	0.378	73.1
Zn	"	"	2	2,940	2	30.5	0.561	404.3
Fe	%	"	0	14.00	0.12	2.527	0.369	13.837
Mn	ppm	"	0	1800	10	599.4	0.554	7,697.4
P	"	"	0	>10,000	30	314.0	0.525	3,515.3

※ Number of Samples Under Detection Limit

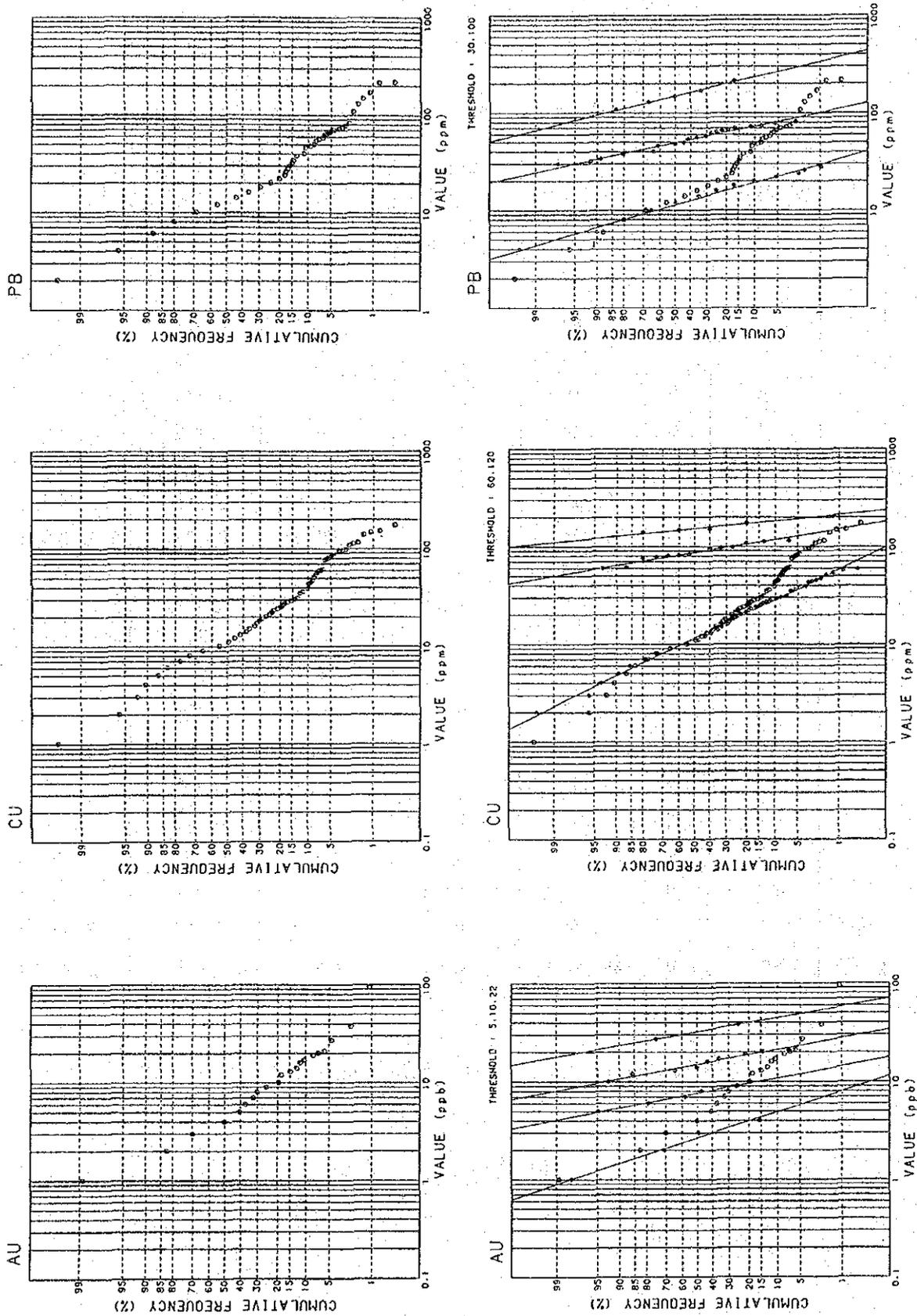


Figure II-5-3 (1) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mrima-Jombo Area

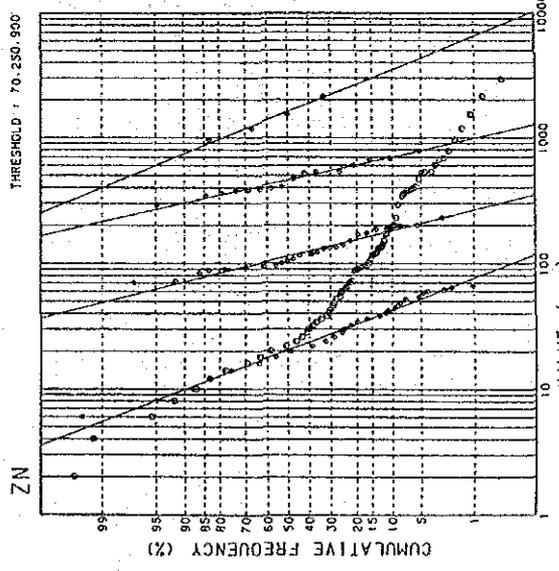
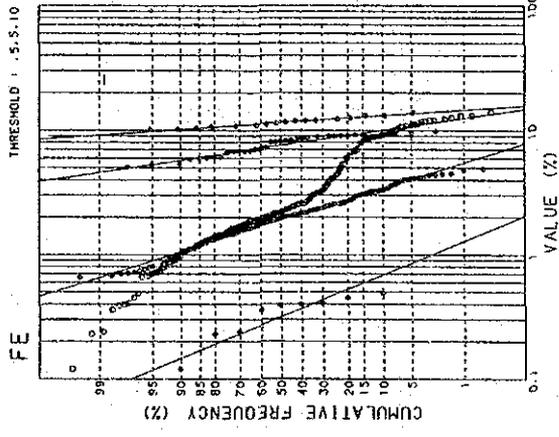
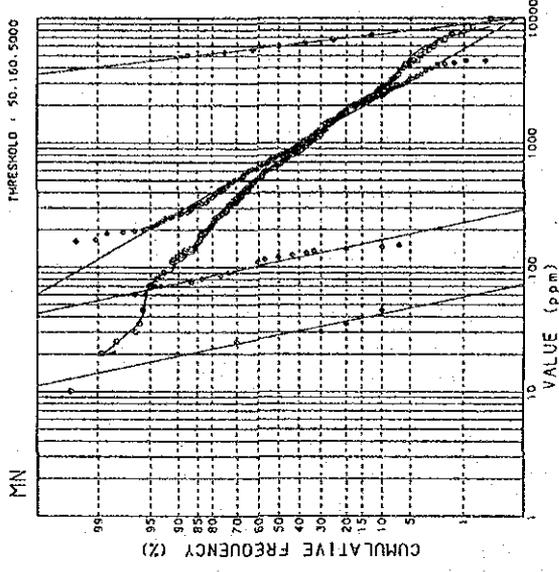
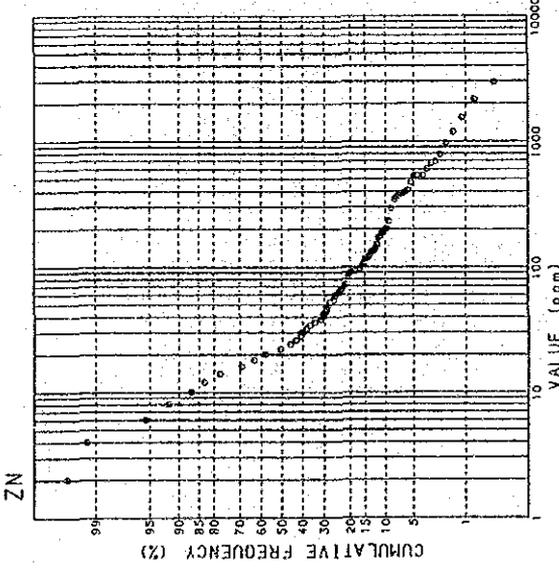
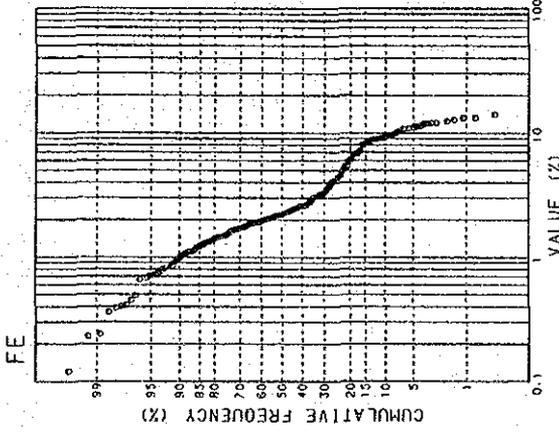
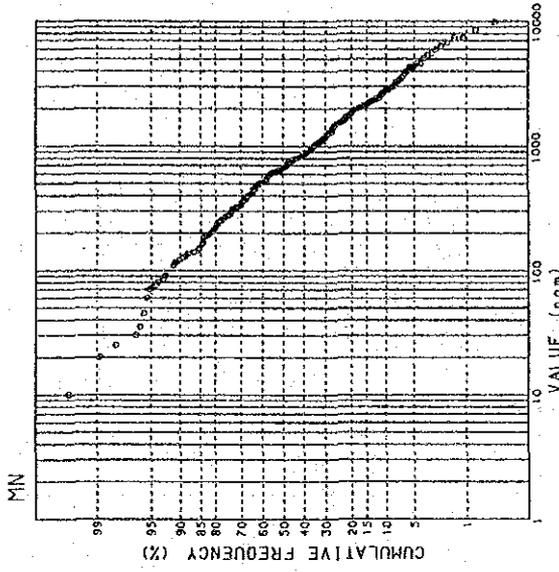


Figure II-5-3 (2) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mrima-Jombo Area

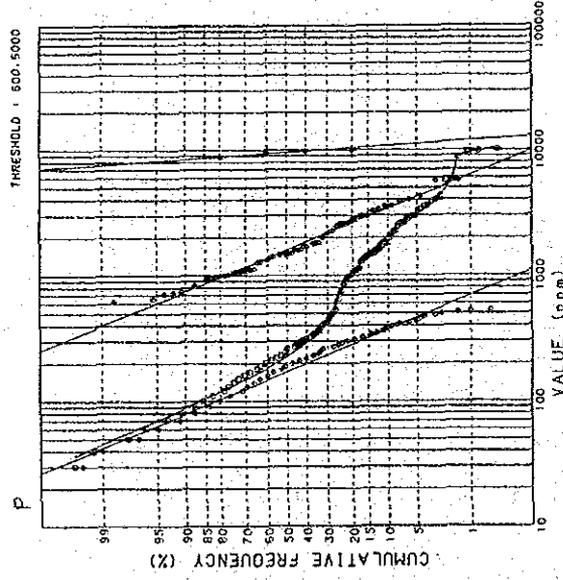
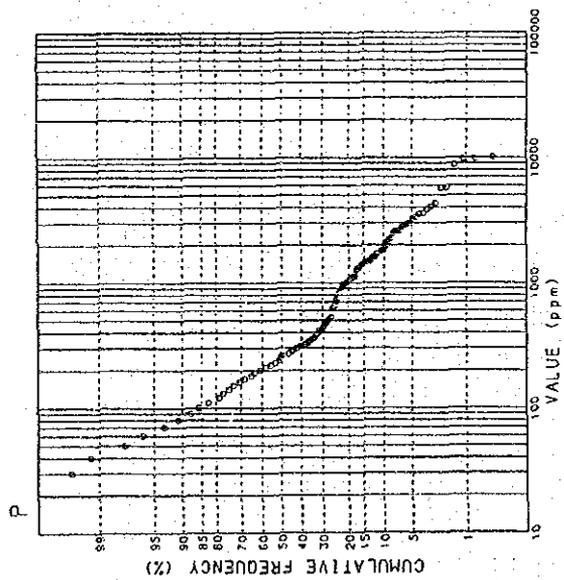
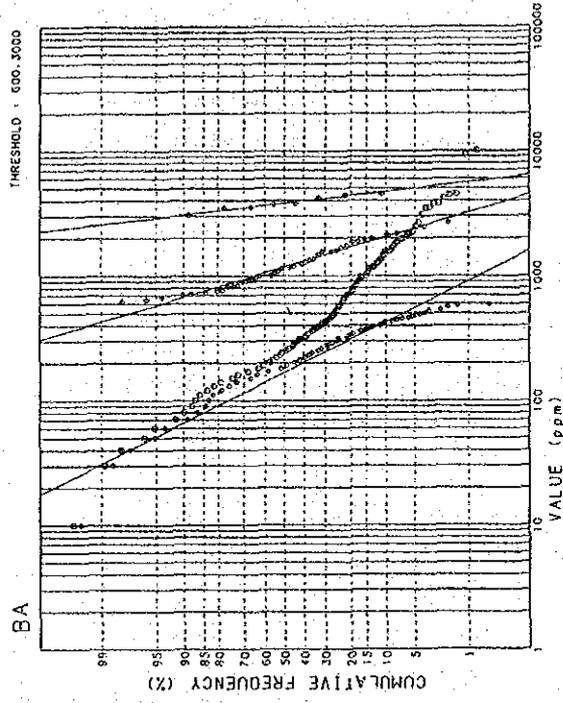
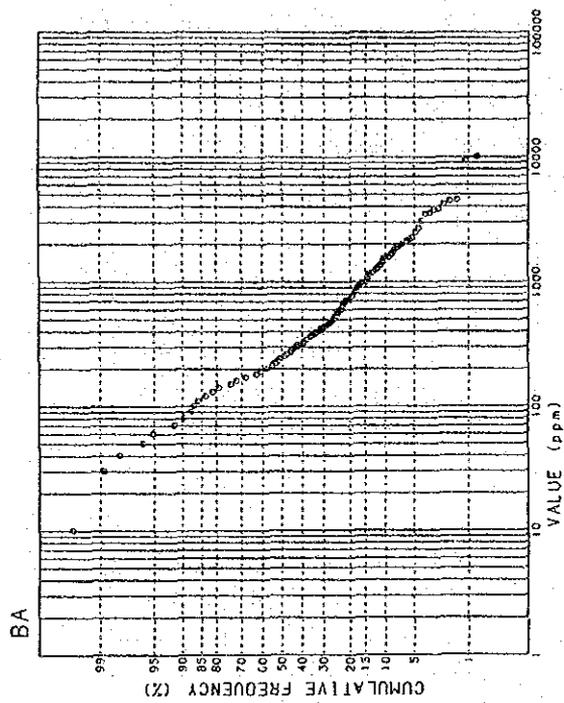


Figure II-5-3 (3) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mirna-Jombo Area

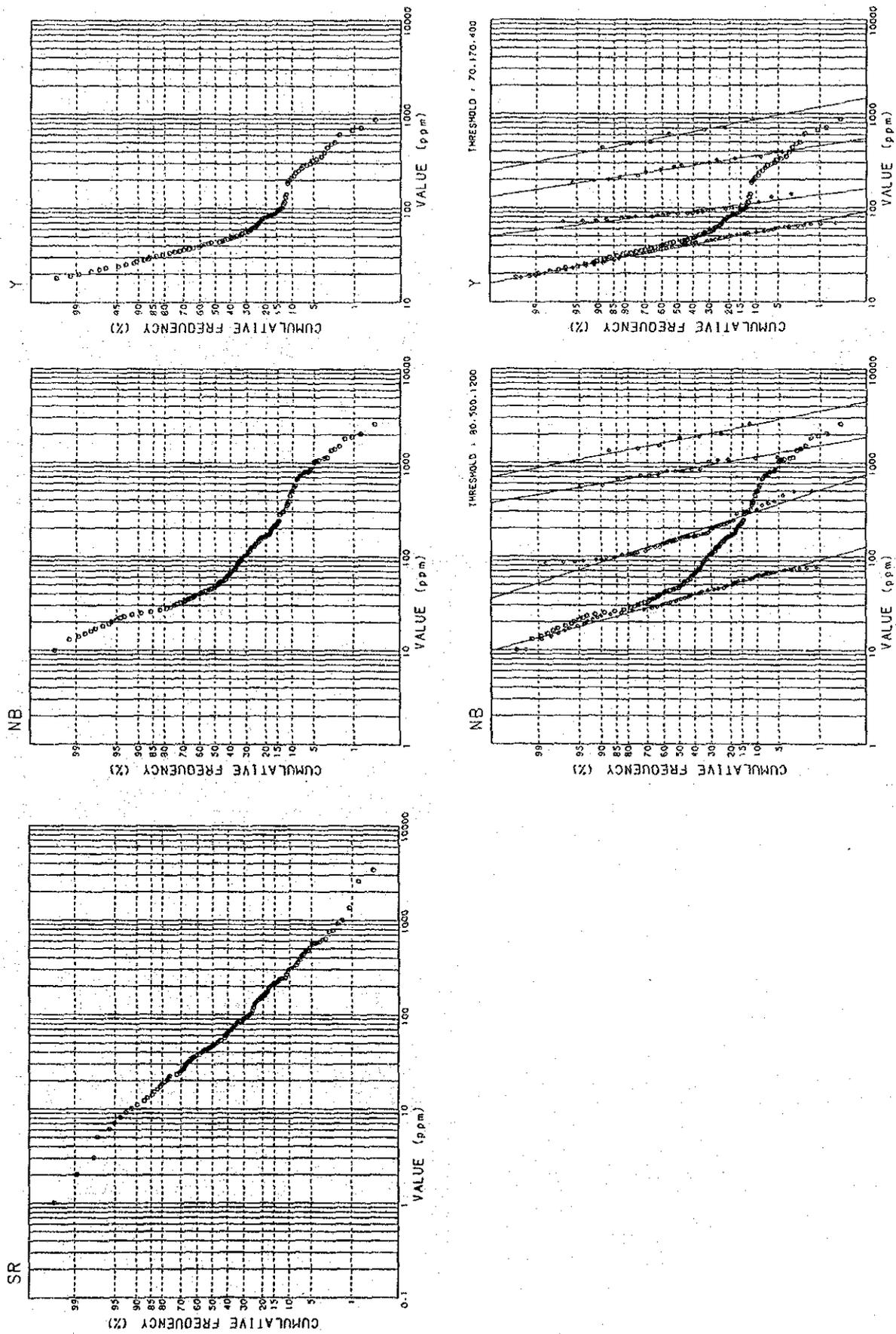


Figure II-5-3 (4) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mirima-Jombo Area

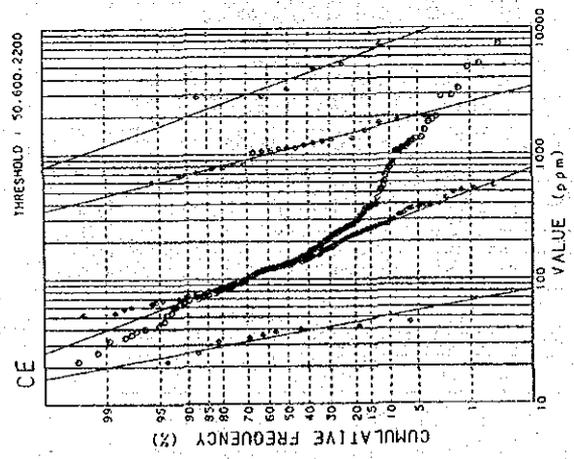
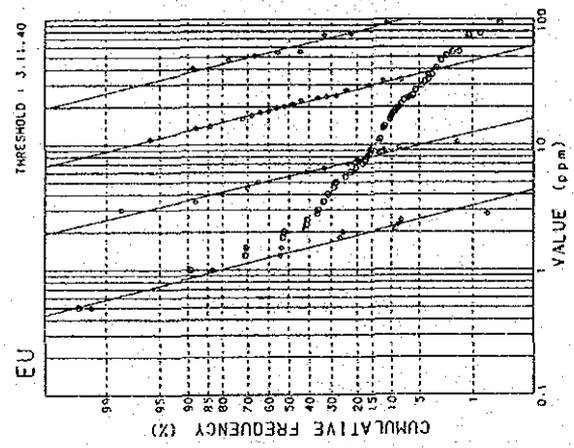
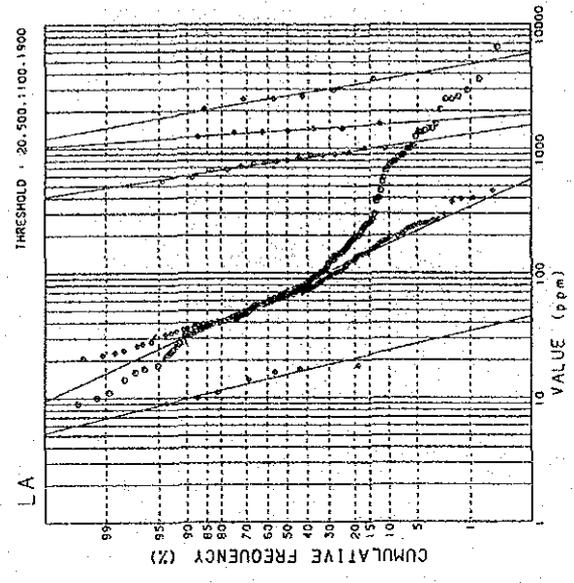
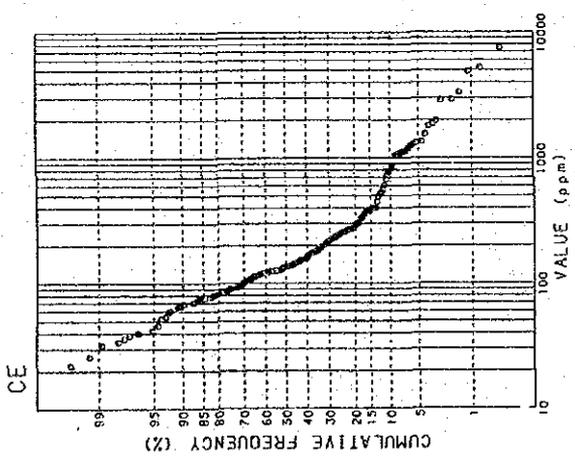
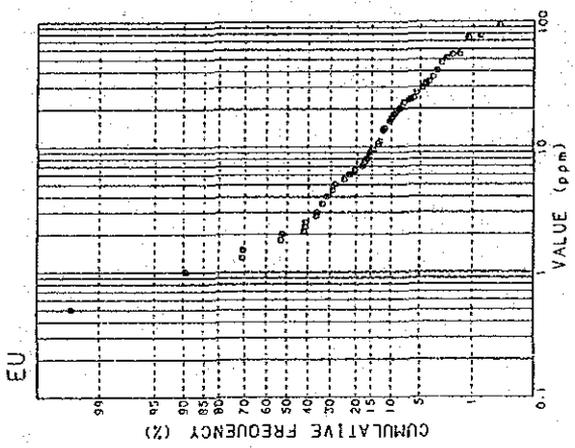
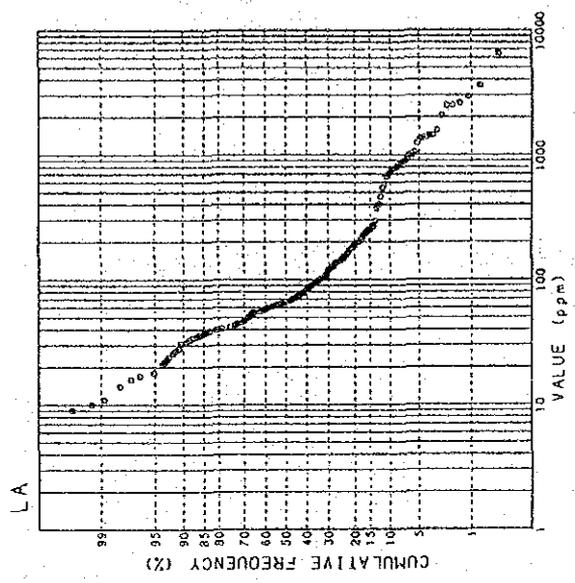


Figure II-5-3 (5) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mirna-Jombo Area

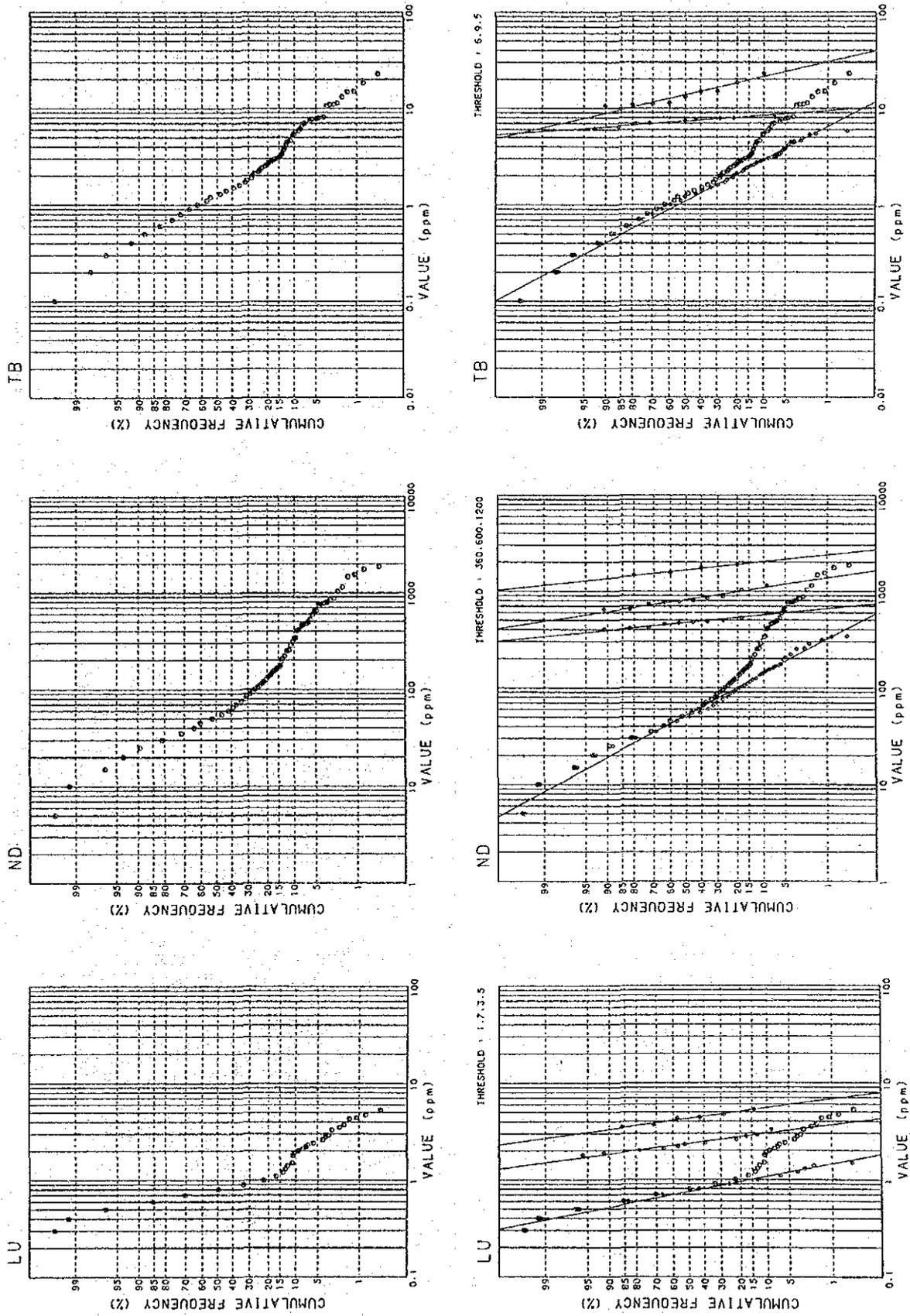


Figure II-5-3 (6) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mrima-Jombo Area

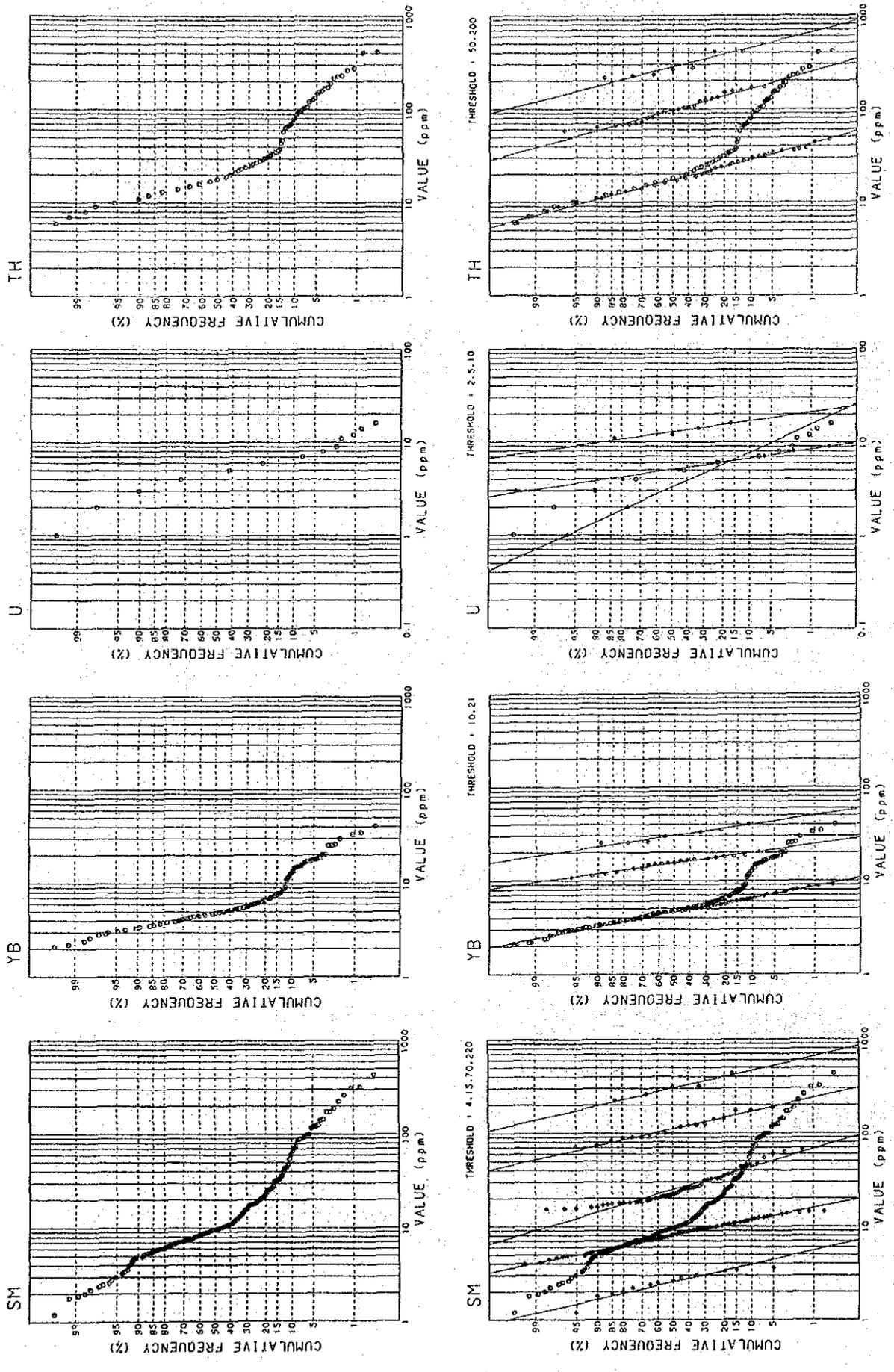


Figure II-5-3 (7) Cumulative Frequency Curves and Partition of Populations, Mirna-Jombo Area

Table II-5-5 Threshold and Number of Anomalous Samples
 — Mrima-Jombo Area —

Element	Threshold	Number of Samples	Ratio %	Applied Criterion
Au	10 ppb	17	3.8	1
Ba	3,000 ppm	11	4.2	1
Sr	719 ppm	7	2.7	2
Nb	1,200 ppm	7	2.7	1
Y	400 ppm	8	3.1	1
U	10 ppm	5	1.9	1
Th	200 ppm	7	2.7	1
La	1,900 ppm	7	2.7	1
Ce	2,200 ppm	7	2.7	1
Nd	1,200 ppm	4	1.5	1
Sm	220 ppm	5	1.9	1
Eu	40 ppm	8	3.1	1
Tb	9.5 ppm	9	3.4	1
Yb	21 ppm	8	3.1	1
Lu	3.5 ppm	6	2.3	1
Cu	120 ppm	4	1.5	1
Pb	100 ppm	6	2.3	1
Zn	900 ppm	5	1.9	1
Fe	10 %	20	7.6	1
Mn	6,320 ppm	6	2.3	3
P	6,000 ppm	4	1.5	1

Table II-5-6 Correlation Coefficients — Mrima-Jombo Area

	Au	Ba	Cu	Fe	Mn	P	Pb	Sr	Zn	Nb	Y	Ce	Eu	La	Lu	Nd	Sm	Tb	Th	U	Yb	
Au	---	85	85	85	85	85	83	85	84	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Ba	0.670	---	261	262	262	262	259	262	260	262	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Cu	0.052	0.712	---	261	261	261	259	261	260	261	261	261	251	261	261	261	261	259	261	261	261	261
Fe	0.384	0.788	0.910	---	262	262	259	262	260	262	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Mn	0.614	0.805	0.716	0.793	---	262	259	262	260	262	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
P	0.356	0.799	0.817	0.856	0.831	---	259	262	260	262	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Pb	0.727	0.664	0.258	0.429	0.582	0.435	---	259	258	259	259	259	249	259	259	259	259	257	259	259	259	259
Sr	0.513	0.910	0.791	0.823	0.839	0.848	0.577	---	260	262	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Zn	0.725	0.905	0.728	0.845	0.839	0.857	0.689	0.884	---	260	260	260	250	260	260	260	260	258	260	260	260	260
Nb	0.750	0.838	0.634	0.761	0.808	0.814	0.657	0.854	0.912	---	262	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Y	0.814	0.835	0.557	0.737	0.800	0.759	0.742	0.793	0.918	0.946	---	262	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Ce	0.743	0.842	0.643	0.795	0.832	0.809	0.702	0.836	0.919	0.942	0.958	---	252	262	262	262	262	260	262	262	262	262
Eu	0.746	0.832	0.666	0.807	0.844	0.825	0.641	0.857	0.915	0.947	0.936	0.946	---	252	252	252	252	252	252	252	252	252
La	0.790	0.849	0.628	0.775	0.826	0.786	0.721	0.843	0.922	0.966	0.974	0.977	0.958	---	262	262	262	260	262	262	262	262
Lu	0.801	0.685	0.353	0.528	0.676	0.585	0.733	0.627	0.776	0.838	0.921	0.867	0.793	0.887	---	262	262	260	262	262	262	262
Nd	0.698	0.811	0.636	0.775	0.808	0.786	0.656	0.816	0.894	0.944	0.942	0.956	0.949	0.967	0.851	---	262	260	262	262	262	262
Sm	0.743	0.851	0.678	0.819	0.816	0.809	0.676	0.852	0.928	0.956	0.964	0.976	0.966	0.986	0.853	0.970	---	260	262	262	262	262
Tb	0.754	0.755	0.647	0.772	0.792	0.764	0.599	0.785	0.846	0.867	0.876	0.905	0.902	0.899	0.789	0.895	0.907	---	260	260	260	260
Th	0.846	0.707	0.377	0.579	0.699	0.580	0.759	0.644	0.781	0.848	0.917	0.886	0.817	0.910	0.922	0.875	0.870	0.798	---	262	262	262
U	0.376	0.162	-0.143	-0.059	0.177	0.067	0.385	0.117	0.168	0.237	0.316	0.260	0.128	0.267	0.492	0.205	0.210	0.170	0.423	---	262	262
Yb	0.821	0.722	0.398	0.576	0.709	0.629	0.755	0.699	0.818	0.876	0.952	0.907	0.843	0.921	0.983	0.886	0.893	0.821	0.943	0.465	---	---

Right upper : Number of Samples Calculated
 Left bottom : Correlation Coefficients

Table II-5-7 Summary of Principal Component Analysis — Mrima-Jombo Area

PRIN	EIGEN	CONTRIB	CUM	Au	Ba	Cu	Fe	Mn	P	Pb	Sr	Zn	Nb	Y	Ce	Eu	La	Lu	Nd	Sm	Tb	Th	U	Yb	
COMP	VALUE	CONTRIB																							
P 1	16.113	0.767	0.767	.191	.222	.168	.204	.217	.208	.182	.219	.238	.240	.243	.244	.240	.246	.218	.239	.245	.228	.222	.222	.222	.227
				.767	.892	.674	.819	.873	.834	.730	.880	.956	.984	.975	.979	.963	.987	.875	.961	.982	.917	.889	.889	.889	.911
				.588	.796	.455	.671	.762	.695	.533	.774	.914	.928	.951	.959	.927	.975	.765	.924	.965	.841	.791	.791	.791	.823
P 2	2.285	0.109	0.876	.334	.104	.451	.319	.121	.269	.244	.196	.080	.000	.091	.013	.053	.037	.257	.003	.016	.024	.232	.442	.442	.230
				.505	.157	.681	.482	.183	.406	.369	.297	.121	.000	.137	.019	.081	.056	.388	.005	.025	.036	.351	.668	.668	.347
				.255	.025	.464	.232	.034	.165	.136	.088	.015	.000	.019	.000	.007	.003	.151	.000	.001	.001	.123	.446	.446	.120
P 3	0.704	0.034	0.910	.347	.072	.247	.056	.131	.223	.003	.154	.007	.048	.053	.026	.162	.063	.041	.090	.078	.145	.066	.066	.801	.014
				.291	.060	.207	.047	.110	.187	.003	.129	.006	.041	.044	.022	.136	.053	.034	.076	.066	.122	.055	.673	.673	.011
				.085	.004	.043	.002	.012	.035	.000	.017	.000	.002	.002	.000	.018	.003	.001	.006	.004	.015	.003	.452	.452	.000
P 4	0.498	0.024	0.933	.205	.433	.061	.031	.143	.085	.639	.263	.170	.097	.071	.106	.078	.079	.211	.206	.123	.194	.119	.078	.183	
				.145	.306	.043	.022	.101	.060	.451	.186	.120	.068	.050	.075	.055	.056	.149	.145	.087	.137	.084	.055	.123	
				.021	.094	.002	.000	.010	.004	.204	.034	.014	.005	.003	.006	.003	.003	.022	.021	.008	.019	.007	.003	.017	
P 5	0.316	0.015	0.948	.475	.153	.251	.110	.377	.085	.540	.149	.041	.072	.067	.068	.117	.049	.180	.120	.069	.190	.168	.190	.168	
				.267	.086	.141	.062	.212	.048	.304	.084	.023	.040	.038	.038	.066	.028	.101	.068	.039	.107	.095	.107	.094	
				.071	.007	.020	.004	.045	.002	.092	.007	.001	.002	.001	.001	.004	.001	.010	.005	.002	.011	.009	.011	.009	
P 6	0.230	0.011	0.959	.055	.370	.115	.240	.504	.057	.266	.296	.124	.285	.092	.001	.038	.079	.020	.072	.109	.345	.113	.004	.029	
				.026	.177	.055	.115	.290	.027	.127	.142	.059	.136	.044	.001	.018	.038	.010	.034	.052	.165	.054	.002	.014	
				.001	.031	.003	.013	.084	.001	.016	.020	.004	.019	.002	.000	.000	.001	.000	.001	.003	.027	.003	.000	.000	

5-3-4 地化学異常の検討

Mrima-Jombo 地区地化学異常の分布を別添図PL.9からPL.12 及びPL.14 に示す。

指示元素別に以下検討する。

Au : 異常値試料数17, 最高値94ppb。他の調査地区に比べてAuの濃度が高い。Mrima Hill周辺とKiruku Hill に異常値が集中する。

Cu : 異常値試料数4, 最高値174ppm。異常値試料を含む高濃度試料はJombo Hill南方のMaji-ya-Chumvi層中にまとまって分布する。

Pb : 異常値試料数6, 最高値216ppm。Mrima Hill周辺とKiruku Hill に異常値が集中する。カーボナタイト中には、微量の方鉛鉱、閃亜鉛鉱の産出が知られていることから、次のZnと共に、カーボナタイトに初生的に含まれていた卑金属鉱物に由来する異常と考えられる。

Zn : 異常値試料数5, 最高値2,940ppm。Mrima Hillの周辺に分布する。

Fe : 異常値試料数20, 最高値14%。Mrima Hill周辺, Kiruku Hill 及びJombo Hillの南方に集中して分布する。Jombo Hillの南方の異常分布地はCuの高濃度値の分布地とほぼ一致する。

Mn : 異常値試料数6, 最高値9,800ppm。Mrima Hill周辺とKiruku Hill に集中する。

P : 異常値試料数4, 最高値>10,000ppm。Mrima Hill周辺に集中分布する。

Ba : 異常値試料数11, 最高値>10,000ppm。Mrima Hill周辺及びKiruku Hill 周辺に集中する。

Sn : 異常値試料数7, 最高値3,390ppm。Mrima Hill周辺に集中する。

Nb : 異常値試料数7, 最高値2,600ppm。Mrima Hill周辺に集中する。

希土類(Y, Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb, Yb) : 異常値試料数4~9で、NdとSmを除く他の元素はMrima Hill周辺とKiruku Hill の両地域に、またNdとSmはMrima Hill周辺のみに集中する。

U : 異常値試料数5, 最高値16ppm。Mrima Hill周辺に集中する。

Th : 異常値試料数7, 最高値413ppm。Mrima Hill南東麓及びKiruku Hill に集中する。

本地区の指示元素の異常値の分布パターンは極めて特徴的であり、Cuを除く全元素の異常は、Mrima Hill周辺またはKiruku Hill に集中して分布する。これらの指示元素の中には、異常値がMrima Hill周辺にしか分布していないものもあるが、異常値に近い高濃度値の分布をみるとMrima Hill周辺とKiruku Hill の両方に集中しており、異常値の分布の違いは、しきい値のとりかたによる見かけ上の違いに過ぎないことが分かる。

Cuを除く全分析元素の異常値の分布は、明らかにMrima Hill及びKiruku Hill の特異な地質を反映したもので、カーボナタイト及びアグロメレートへの初生的濃集や風化残積土中への二次的濃集があったことを示している。また、Mrima Hillでは表土中に鉄・マンガン酸化物コンクリーションが多数見られ、これらの中には、貴金属及び卑金属の濃集が報告されている(5-2-3参

照) ことから、コンクリーションの形成に伴う元素濃集も地化学異常の発現に寄与していると考えられる。

Cu異常値はJombo Hill南方に分布し、他の指示元素の異常値の分布と異なっている。地質や鉍化作用との関連は不明であるが、可能性としては、①Mukundi 鉍徴のような銅-鉛-石英脈鉍化作用の反映、②鉄質コンクリーションの形成に伴う濃集の二つが考えられる。しかし、Cuの濃集にはPbの濃集は伴われていないこと、Cu異常値とFeの一部異常値の分布が重複すること、Cu異常地近傍での鉄質コンクリーションの形成がみられ、これには重金属の濃集をしばしば伴うことなどから考えて②の可能性が高いものと思われる。

5-4 考 察

5-4-1 鉍床賦存のポテンシャル

本地区内の鉍徴としては、次の三種が区分される。

- ①カーボナタイトに伴うニオブウム・希土類の鉍徴
- ②鉄・マンガンの鉍徴
- ③貴金属・卑金属鉍徴

今年度の調査は①の鉍床賦存状況の把握と、③の鉍化作用の捕捉を目的として行われた。

地化学探査の結果、ニオブウム・希土類の異常は、従来から知られているようにMrima Hillカーボナタイト岩体周辺から明瞭に抽出されたほか、Kiruku Hill のアグロメレート岩体にも小規模ながら集中した異常として分布していることが明らかにされた。同様のアグロメレート岩体は調査地中央北部 Ngulukuにも分布することから同岩体にもニオブウム・希土類が濃集している可能性がある。

また、カーボナタイトの分布に関しては、Mrima Hill北方約 3kmにフェン岩化岩体があることから、同岩体下部に潜頭カーボナタイト岩体が存在している可能性が指摘される。

貴金属及び卑金属鉍化作用に関しては、過去に自然金、方鉛鉍の産出が報告されている(Carswell, 1953) が、有望な探鉍対象とはされていない。今回の地化学探査によっても、貴金属及び卑金属元素の濃集は、主にカーボナタイト及びアグロメレート中への初生的濃集、または、表土中の鉄・マンガン質コンクリーションへの濃集を反映したものと判断され、貴金属及び卑金属鉍床の賦存ポテンシャルは低いと考えられる。

5-4-2 地化学探査結果と鉍化帯

Cuを除く全指示元素の異常は、Mrima HillまたはKiruku Hill に集中しており、カーボナタイトやアグロメレートの分布を反映したものである。ニオブウム・希土類の鉍化については、従来、

Mrima Hillが注目されてきたが、今回の調査の結果Kiruku Hill のアグロメレートにも同様の鉍化が伴われている可能性が示された。

Au, Pb, Zn各指示元素の異常は、Mrima Hill, Kiruku Hill に集中して分布するが、既に述べたように、これはカーボナタイトやアグロメレート中への初生的濃集、または風化土壤中の鉄・マンガン質コンクリーション中への濃集を反映したものとみられる。また、Cuの異常は他の卑金属元素異常とは離れた位置にあるものの、鉄質コンクリーションの形成に伴う濃集によるものである可能性が高い。したがって、本地区では貴金属、卑金属の地化学異常は存在するものの、探鉍対象とすべき鉍化帯を反映したものは認め難い。

5-4-3 今後の調査

ニオブウム・希土類の鉍化については、今年度調査により同鉍化の存在する可能性が示されたKiruku Hill 地化学異常について、鉍化状況を把握するための精査の実施が望まれる。Kiruku Hillの精査としては、グリッドによる地質・地化学探査と同時に、数箇所のトレンチによる鉍況の確認が必要であろう。Kiruku Hill のアグロメレート岩体の規模は、Mrima Hillのカーボナタイト岩体の規模より小さく、鉍化があるとしてもより小規模と考えられるが、将来Mrima Hillが開発される際には同時に開発される可能性があることから、調査を行なっておくことが望ましい。また、Kiruku Hill と同様の地質を有するNguluku アグロメレート岩体についても同様の調査の実施が望まれる。

貴金属及び卑金属の鉍化作用については、明瞭な鉍化示徴が得られなかったことから鉍床賦存の可能性は低く、今後の調査は不要と判断される。

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結 論

各地区における今回の調査結果の結論は以下のとおり。

(1) Ganze 地区

地質調査及び地化学探査の結果によれば、本地区には、更に高次の探鉱を考慮すべき明瞭な鉱化示徴は認められなかった。

(2) Jibana地区

断続した“焼け”及び弱変質砂岩からなるJibana鉱化帯（幅約100m, 延長約2km）が確認された。“焼け”部からの4試料の化学分析結果では、貴金属及び卑金属の目立った濃集はみられなかった。

地化学探査の結果、Jibana鉱化帯の一部に鉱化を反映したとみられるPb異常（84～142ppm）が抽出された。このほかにKambe 層石灰岩地帯の鉄質コンクリーションに伴われて濃集したと見られるPb, Zn の異常、Mtomkuu 層中の銅含有量の高い頁岩を反映したとみられるCu異常、Mazeras 層中部層砂岩中の南北に伸びたBa, Sの重複した異常などが抽出されたが、前2者は鉱化作用を直接反映するものではなく、また、後者については鉱化作用との関係は明らかではない。

(3) Ribe 地区

Ribe 地区近傍には、現在稼行中のKinagoni鉛鉱床や Chiume Hill鉱化帯などの鉱床・鉱徴が分布し、地区内にはChangombe North 及び同South 鉱徴が分布する。一方、本地区は地質構造的に断層が著しく発達しており、鉱脈型鉱床が胚胎するのに好ましい場を提供している。これらの既知鉱床・鉱徴の分布や地質構造的特徴から、Ribe地区は鉱床賦存可能性の非常に高い地域であると判断される。これを裏付けるかのように、今回の調査の結果Ribe鉱化帯が発見された。

Ribe鉱化帯の変質岩試料の化学分析結果は、概して有用金属の高い濃集を示さないが、地表での風化溶脱に起因する可能性がある。

地化学探査では、Changombe North 及びSouth 鉱徴を反映するAg(0.2～3.3ppm), Pb(88～718ppm), Zn(766ppm)の異常が抽出された。

(4) Mkangombe地区

Mkangombe North 鉱徴は断層規制を受けた銅-鉛-亜鉛-石英脈鉱徴である。鉱脈の走向・傾斜は N25°～30° E・55°～70° SEで、走向延長300m以上、幅20cm～1.5m以上を示す。本鉱徴での貴金属の濃集は今回確認されていない。

Mkangombe North 鉍徴と同South 鉍徴を結ぶ N45° E 方向の地帯には、石英脈の露頭や転石が多数分布し、延長10km以上に達する石英脈鉍化帯が形成されている。

地化学異常は散点状で、鉍化帯を直接反映したような異常帯は抽出されなかった。これは、鉍化による母岩の変質が局所的であること、及び土壌試料採取間隔が広いことに起因すると考えられる。

(5)Mrima-Jombo地区

貴金属及び卑金属鉍化作用の地表徴候は確認されず、また、Au, Pb, Znの地化学異常もカーボナタイト、アグロメレート岩体の分布を反映したものとみられることから、本地区での貴金属及び卑金属鉍床の賦存可能性は低いと考えられる。

ニオブウム・希土類鉍化作用については、Mrima Hillの他、Kiruku Hill にも地化学異常が認められ、同鉍化作用がKiruku Hill にも行なわれている可能性が示唆された。Kiruku Hill と同様の地質が分布するNguluku にも同鉍化が期待され得る。また、Mrima Hill北方のフェン岩化岩体は、岩体下部に潜頭カーボナタイトが存在している可能性を示している。

第2章 提 言

上述の結論から今後の調査として、下記の調査を提案する。

(1) Ganze, Jibana, Ribe の北部三地区では、Jibana鉍化帯からKinagoni鉍山を経てChangombe 鉍徴に至る地帯に、鉍床賦存の可能性が最も高い。この地帯のうち、明瞭な鉍化変質がみられるRibe鉍化帯やChiume Hill 鉍化帯では既往調査によりボーリング調査が実施されていないこともあり、ボーリング調査を実施して深部の鉍況を把握することが望まれる。なお、ボーリングの位置選定のために、事前に地質精査を行なうことも望まれる。

本地帯での新規鉍床の発見は、Kinagoni鉍山の施設及び技術者の活用やまた同鉍山の延命につながることから、地域経済への貢献に大きく寄与するものと考えられる。したがって、本地帯は今年度調査地区の中で探鉍に最も力を注ぐべき地帯と言えよう。

(2) Mkangombe 地区では、石英脈鉍化帯のうち鉍況が最も優勢で、地表部の鉍況が明らかにされているMkangombe North 鉍徴について、その深部の鉍況を確認するためのボーリング調査が望まれる

(3) Mrima-Jombo 地区では、Kiruku Hill のニオブウム・希土類地化学異常について、その水平的、垂直的広がりや鉍況を確認するための地質・地化学精査（トレンチを含む）が望まれる。また、Kiruku Hill と同様の地質を有するNguluku アグロメレート岩体についても、同様の調査の実施が望まれる。

References

- Anglo American Corporation of South Africa Ltd. (1957): Final Geological Report, P. 1~108.
- Austromineral Ges. m.b.H. (1978): Geological Survey and Results of Mineral and Base Metal Prospecting in the Coastal Belt, South of Mombasa (Kwale District). Kenya-Austria Mineral Exploration Project, Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~106.
- Baker, B.H. (1953): The Alkaline Igneous Complex of Jambo. In Geology of the Mombasa-Kwale Area by Caswell, P.V. (1953), Geological Survey of Kenya, Report No. 24, P. 32~48.
- Barnard, G.C. (1950): Vitengeni Lead-Barytes Deposits, Report of the Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~8.
- Bell, K. (1989): Carbonatites, Genesis and Evolution, Unwin Hyman, London, P. 1~618.
- Busk, H.G. (1939): Notes on the Geology and Oil Prospects of Kenya Colony, Geological Magazine, vol. LXXVI, P. 222~224.
- Bugg S.F. (1980): Lead/Silver Mineralization Associated with the Coastal Rift of South East Kenya. unpublished thesis, London University, P. 1~244.
- Bugg, S.F. (1982): Lead-Zinc deposits of the Coast Province of Kenya and some Exploration Guidelines. in Overseas Geology and Mineral Resources, Number 59, P. 1~20.
- Cannon, R.T., W.M.N. Simiyu Siambi and F.K. Karanja (1981): The Proto-Indian Ocean and a probable Paleozoic/Mesozoic Triradial Rift System in East Africa, Earth and Planetary Science Letters, vol. 52, P. 419~426.
- Caswell, P.V. (1953): Geology of the Mombasa-Kwale area. Rep. geol. Surv. Kenya 24.
- Caswell, P.V. (1956): Geology of the Kilifi-Mazeras area. Rep. geol. Surv. Kenya 34.
- Caswell, P.V. and Baker, R.N. (1953): Geology of the Mombasa-Kwale Area. Geological Survey of Kenya, Report No. 24, P. 1~69.
- Caswell, P.V. (1956): Geology of the Kilifi-Mazeras Area. Geological Survey of Kenya, Report No. 34, P. 1~54.
- Clarke, M.C.G. (1969): Galena/Barytes occurrence at Mwereni (Kwale District). Mines and Geological Department, Technical Archive, Mombasa 35, Nairobi.

Clarke, M.C.G. (1970): The Kinagoni Hill Lead/Silver Deposit, Coast Province. Mines and Geological Department, Kenya, Information Circular No. 6, P. 1~87.

Dacque, E. (1909): Jura und Kreide in Ostafrika. Neues Jb. Miner. Geol. Paläont. Abh. 28, 150-232.

Decken, Baron von der. (1879): Reisen in Ost-Afrika.

Dindi, E.W. (1986): Gravity Model of the Jombo Alkaline Complex South Coast Kenya, In: The First Seminar in Earth Sciences in Dakar, P. 107~111.

Dodhia, S. and Pandit, S. (1977): Geochemical Soil Survey of Mrima Hill for Base Metals, Mines and Geological Department, Investigation Note No. 1977/4, P. 1~26.

Dubois, C.G.B. (1962): Beryllium in Kenya. Bull. geol. Surv. Kenya 4.

Dubois, C.G.B. (1966): Minerals of Kenya. Bull. geol. Surv. Kenya 8.

Dubois, C.G.B. and Walsh, J. (1970): Minerals of Kenya. Bulletin of Geological Survey of Kenya, No. 11.

Geological Survey of Japan (1987): Research on Mineral Deposits associated with Carbonatite in Brazil, Report of International Research and Development Cooperation ITIT Projects No. 8316, P. 1~179.

Geological Survey of Kenya (1962a): Geological Map of Kenya.

Geological Survey of Kenya (1962b): Mineral Map of Kenya.

Geological Survey of Kenya (1981): Geological Map of Bamba Area.

Geological Survey of Kenya (1981): Geological Map of Mapotea Area.

Geological Survey of Kenya (1981): Geological Map of Mazeras Area.

Geological Survey of Kenya (1981): Geological Map of Vitengeni Area.

Geological Survey of Kenya (1982): Geological Map of Gulanze Area.

Geological Survey of Kenya (1982): Geological Map of Kwale Area.

Geological Survey of Kenya (1985): Geological Map of Msambweni Area.

Geological Survey of Kenya (1985): Geological Map of Ndavaya Area.

Geological Survey of Kenya (1985): Geological Map of Vanga Area.

Gibson, Walcot. (1893): Geological sketch of Central East-Africa. Geol. Mag. (3), X, pp 561-563.

Githinji, I.K. (1980): Geological and Geochemical Survey on Anomaly "N". Mines and Geological Department, Investigation Note.

Gregory, J.W. (1896): The Physical Geography and the Geology of British East Africa, Chapter XII, in the Great Rift Valley, published by John Murray Co., London, P. 213~236.

Gregory, S.W. (1919): The geological history of the Rift Valley. J. E. Afr. Uganda nat. Hist. Soc. (15) 429-440.

Gregory, J.W. (1921): The Rift Valleys and Geology of East Africa. Seely Service, London.

Heinrich, E.W. (1966): The Geology of Carbonates. Rand McNally & Co., Chicago, USA.

International Centre for Diffraction Data (1986): Mineral Powder Diffraction File, Data Book, P. 1~1390.

International Centre for Diffraction Data (1986): Mineral Powder Diffraction File, Search Manual, P. 1~467.

Lathbury, F.W. (1934): Unpublished letter to Commissioner of Mines reporting results of analyses of samples.

Macdonald, A.S. (1967): A Geochemical Survey in Kilifi District, unpublished report of Mines and Geological Department, Kenya.

Mackinnon-Wood (1930): Report on the Geological Collections from the Coastlands of Kenya, Monograph of the Geological Department of the Hunterian Museum, Glasgow University Vol. IV.

Mason, J.E. (1968): Manganese Occurrences in the Vicinity of Kiwara, Coast Province, Kenya. Mines and Geological Department, Kenya, Information Circular No. 5, P. 1~15.

Micu, C. (1976): Geological Report on the Kinagoni Deposit of Argentiferous Galena and the Situation of Estimated Reserves on 1st March, 1976: Kenya Mining Industries, Ltd. unpublished report of the Mines and Geological Department, Kenya.

Mloszewski, M.J. (1966): Mazeras Area Coast Province: Zinc-Lead Mineralization, unpublished Report of Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~5.

Mloszewski, M.J. (1968): Notes on Sphalerite from Mazeras (Mwachi Tributary Prospect), unpublished Report of Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~2.

Muff(e), H.B. (1908): Report relating to the geology of the East Africa Protectorate. Colon. Rep. misc. Ser. 45.

Murray-Hughes, R. (1934): Extracts from a report by Mr. R. Murray-Hughes July 1934. Unpublished report Mines and Geological Department.

Mwangi, M.N. (1990): Mwereni Anomaly, Geological Memorandum, Mines and Geological Department, Eastern Kenya Division, Mombasa, P. 1~3.

Ndola, T.N. (1990): Nepheline Syenite and Related Rocks of the Dzombo Alkaline Complex, Geological Report of Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~9.

Norstrom, E. (1934): Report on sampling of the manganiferous ore deposits of Mrima Hill, Coast Province. Unpublished report to the Commissioner of Mines, Nairobi.

Nyambok, I.O. and Lindqvist, B. (1978): Microprobe and X-Ray Diffraction Analysis of the Major Minerals from Jombo Hill Alkaline Rocks, Kenya. Department of Mineralogy and Petrology, Uppsala Universitet, Research Report No. 9, P. 1~16.

Parsons, E. (1928): Origin of the Great Rift Valleys as evidenced by the Geology of Coast of Kenya, Trans Geological Society of South Africa, Vol. 31, P. 63~96.

Pulfrey, W. (1942): Report on Vitengeni Lead Mine and Prospects, Coast Province, Kenya. with an Appendix on the Occurrence of Cinnabar. P. 1~33.

Pulfrey, W. (1948): Notes on the examination of Mrima manganese samples for barium and lead. Unpublished report Mines and Geological Department, Nairobi.

Pulfrey, W. (1954): The geology and mineral resources of Kenya. Bull. geol. Surv. Kenya 1.

Pulfrey, W. (1960): The geology and mineral resources of Kenya (Revised), Bull. geol. Surv. Kenya 2.

Rainey, T.P. (1970): Results of Recent Drilling at the Mwachi Tributary Prospect, unpublished Report of Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~2.

Rainey, T.P. (1971): The Changombe Zinc Deposit, unpublished Report of Mines and Geological Department, Kenya, P. 1~9.

- Sanders, L.D. (1959): Geology of Mid-Galena Area, Geological Survey of Kenya, Report No. 46, P. 1~50.
- Siambi, W.M.N. (1978): Geology of the Mazeras-Mariakani Area (unpublished), P. 1~28.
- Siambi, W.M.N. (1980): Geology of the Jilore-Malindi Area (unpublished), P. 1~20.
- Siambi, W.M.N. (1990): Geology of the Sala Area (unpublished), P. 1~13.
- Streckeisen, A. (1979): Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites, and Melilitic rocks: Recommendations and Suggestions of the IUGS Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks, *Geology* 7, P. 331~335.
- Thompson, A.O. (1952): Report on geophysical investigations conducted during July-August 1952 on Mrima Hill, Coast Province, Unpublished Report of Mines and Geological Department, Nairobi.
- Thompson, A.O. (1956): Geology of Malindi Area, Geological Survey of Kenya, Report No. 36, P. 1~63.
- Thomson, J. (1879): Notes on the Geology of Usambara. *Proc. R. Geogr. Soc.*, n.s.1, pp. 558-561.
- Tuttle, O.F. and Gittins, J. (ed) (1966): Carbonatites. Interscience Publishers. N.Y., USA.
- Walker, E.E. (1903): Reports on the geology of the East Africa Protectorate. *Colon. Rep. misc. Ser.* 11.
- Williams, L.A.J. (1962): Geology of the Hadu-Fundi Isa area. North of Malindi. *Rep. geol. Surv. Kenya* 52.
- Walsh, J. (1963): Geology of the Ikutha area *Rep. geol. Surv. Kenya* 56.
- Walsh, J. (1960): Geology of the area south of the Taita Hills. *Rep. geol. Surv. Kenya* 49.
- Winani, P. (1977): Geology and Soil Geochemistry of Jombo-Dzirihini Area. Investigation Note No. 1977/4, Geological Survey of Kenya, P. 1~21.
- Yates, H.W. (1942): Report on Mrima manganese deposits on Mrima mountain, Digo. Unpublished report, Mines and Geological Department, Nairobi.

APPENDIXES

Appendix 1	Microscopic Observation of Rocks in Thin Section	A-1
Appendix 2	Microscopic Observation of Ores in Polished Section	A-24
Appendix 3	Summary of X-ray Diffraction	A-52
Appendix 4	Chemical Analysis of Ore Samples	A-34
Appendix 5	Chemical Analysis of Soil Samples	A-35

APPENDIX 1

MICROSCOPIC OBSERVATION OF ROCKS IN THIN SECTION

1. Igneous Rocks
2. Sedimentary Rocks

Microscopic Observation of Rocks in Thin Section (Igneous Rocks) (1)

Sample Number	Rock Name	Macroscopical features and microscopical texture and structure	Minerals
B035	MONCHI- QUITTE	<ul style="list-style-type: none"> • Olive gray with white spots • Compact and hard • Porphyritic 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ PHENOCRYSTS <ul style="list-style-type: none"> • Nepheline \approx 10%, 0.5~2mm, large euhedral grain, partly replaced by sericite along rim • Clinopyroxene \approx 10%, 0.2~0.5mm euhedral prism • Amphibole \approx 5%, < 0.2mm, euhedral prism • Spene \approx 2~3%, < 0.2mm, prism wedge shape ◇ GROUNDMASS (> 70%) <ul style="list-style-type: none"> • Sanidine, long lath-prism, altered to sericite • Amphibole, needle shape • Apatite • Opaque • Carbonate, secondary
B036	SODAMINETT	<ul style="list-style-type: none"> • Gray with white spots and black prismatic crystals • Compact and hard • Porphyritic 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ PHENOCRYSTS <ul style="list-style-type: none"> • Clinopyroxene \approx 20%, 0.3~1.5mm, euhedral~subhedral prism • Amphibole \approx 20%, < 1mm, lath, including clinopyroxene, amphibole, apatite, spene and opaque mineral ◇ GROUNDMASS (\approx 50%) <ul style="list-style-type: none"> • Sanidine, tabular lath, altered • Clinopyroxene • Amphibole • Spene • Apatite, needle shape • Opaque
B038	CARBONA- TITE	<ul style="list-style-type: none"> • Brown and white banded • Granular • Pyrite (< 1mm) bearing 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcite \approx 70%, 0.5~3mm showing polygonal texture • Pyrite < 5%, cubic opaque, altered to limonite • Limonite like fine mineral aggregate < 20% • Epidote < 5%, < 0.05mm, needle~prism • Zircon • Apatite • Pyrochlore like cubic grain < 1mm • Barite

Microscopic Observation of Rocks in Thin Section (Igneous Rocks) (2)

Sample Number	Rock Name	Macroscopical features and microscopical texture and structure	Minerals
B039	CARBONATITE	<ul style="list-style-type: none"> • Light brown • Banded • Layered texture, parallel alignment of opaque aggregate • Calcite vein < 1mm wide 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcite \approx 70%, < 0.2mm (unhedral) polygonal texture • Opaque, limonite < 20% • Quartz < 20% • Zircon • Monazite or zirconite • Apatite • Pyrochlore (?), cubic, rare • Barite
B040	CARBONACEOUS IGNEOUS ROCK	<ul style="list-style-type: none"> • Pale olive green • Very fine-grained • Massive compact hard • Pyritized <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneous rock consisting of <ol style="list-style-type: none"> ① Carbonaceous rock ② Rock fragments ③ Calcite vein \approx 1mm thick 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Carbonaceous rock part • Calcite • Plagioclase ◇ Rock fragments \approx 20%, < 5mm • Calcite < 0.1mm • Plagioclase • Epidote needle • Apatite • Opaque
B041	NEPHELINE SYENITE	<ul style="list-style-type: none"> • Light brownish gray • Compact and hard • Porphyritic • Holocrystalline 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalifeldspar (perthite) \approx 50%, 2~40mm euhedral prism, including nepheline and amphibole, altered • Nepheline \approx 30%, < 10mm, euhedral prism • Amphibole \approx 10%, < 10mm tabular prism, twin, zoning • Spinel \approx 5%, < 0.5mm, twin • Sodalite < 5%, irregular shape interstitial • Apatite, rare, < 0.2mm, prism • Opaque
B042	NEPHELINE SYENITE	<ul style="list-style-type: none"> • Light brownish gray • Compact and hard • Coarse-grained • Granular 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalifeldspar (perthite) \approx 40%, 0.5~60mm euhedral prism, carlsbad twin, some show zoning • Nepheline \approx 30%, 10~30mm, zoning euhedral grain • Amphibole \approx 20%, 0.5~2mm zoning euhedral tabular~prism, • Spinel < 5%, 0.1~2mm, twin • Sodalite \approx 10%, inter-

Microscopic Observation of Rocks in Thin Section (Igneous Rocks) (3)

Sample Number	Rock Name	Macroscopical features and microscopical texture and structure	Minerals
(CONT.)			stitial • Biotite (secondary)
B015	CAMPTONITE	<ul style="list-style-type: none"> • Dark gray with brown spots • Compact and hard • Porphyritic 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ PHENOCRYST • Olivine \approx 25%, 0.5~2mm euhedral~subhedral grains • Clinopyroxene < 5%, < 1mm euhedral prism, zoning ◇ GROUNDMASS (\approx 70%) • Clinopyroxene \approx 40%, 0.1~0.2mm euhedral~subhedral prism • Plagioclase \approx 10%, 10~30mm, poikilitic, including clinopyroxene, olivine, apatite and opaque mineral • Apatite < 1%, prism • Vitrified glassy groundmass, now replaced by very fine grained crystal aggregate • Biotite, secondary
C022	TUFF BRECCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Light brown • Lithic fragments \approx 20% 	<ul style="list-style-type: none"> • Extensively altered to limonite and clay minerals aggregate \approx 90% • Quartz and apatite are well preserved • Calcadony filling cavities • Opaque, partly or completely altered to limonite • Monazite, < 0.05mm, rarely occur
C030	SILICIFIED ROCK	<ul style="list-style-type: none"> • Light brown • Strongly silicified rock • Quartz vein < 2mm wide small droozy • Mosaic 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ FINE GRAINED PORTION (\approx 90%) • Quartz \approx 70%, < 0.01mm • Apatite = 10~20%, < 0.05mm irregular~prism • Opaque < 10%, mostly limonite ◇ COARSE GRAINED PORTION probably cavity filling • Quartz < 0.01mm • Limonite • Calcadony

Microscopic Observation of Rocks in Thin Section (Igneous Rocks) (4)

Sample Number	Rock Name	Macroscopical features and microscopical texture and structure	Minerals
C033	SILICIFIED ROCK	<ul style="list-style-type: none"> • Light brownish gray • Strongly silicified rock (similar to C030) • Tiny Quartz crystals in small cavities • Mosaic 	<ul style="list-style-type: none"> • Quartz \approx 80%, < 0.05mm irregular shape, polygonal • Apatite \approx 20%, < 0.05mm irregular to prism • Opaque < 5%, < 0.05mm, atoll texture, partly altered to limonite • Very fine grained opaque scattered • Chlorite, secondary
C034	ALTERED TUFF (?)	<ul style="list-style-type: none"> • Dark brown with white spots • Limonite stained • Quartz vein, 1mm wide 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremely altered rock • Limonite and quartz are predominant • Quartz \approx 50%, < 0.05mm • Limonite \approx 50% • Apatite < 10%
F10	CARBONATITE	<ul style="list-style-type: none"> • Light brownish gray • Very fine grained • Granular 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcite \approx 90%, < 1mm • Dolomite < 5%, 0.1mm • Barite < 5% • Limonite • Opaque

Photomicrographs of Rocks in Thin Section

(Igneous Rocks)

Abbreviations

Minerals

Qtz : quartz

Pl : plagioclase

Am : amphibole

Ne : nepheline

Kf : potassium feldspar

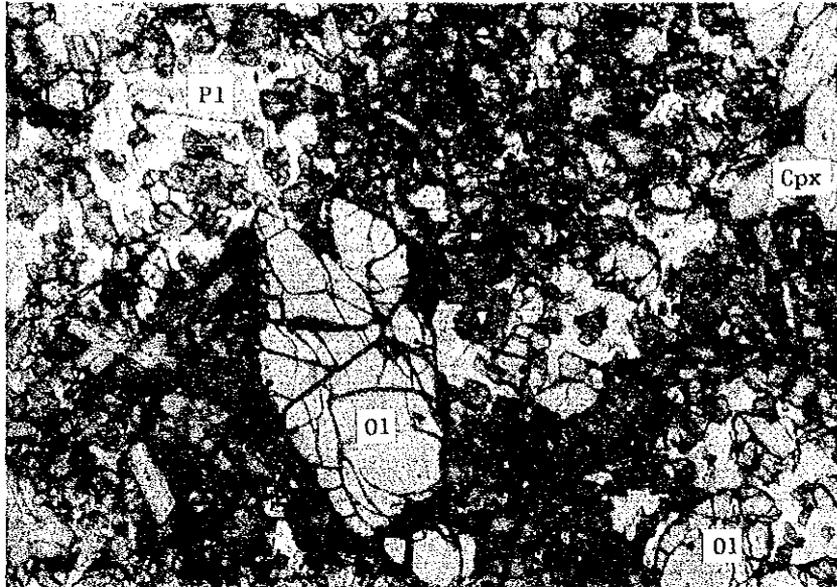
Bi : biotite

Cpx : clinopyroxene

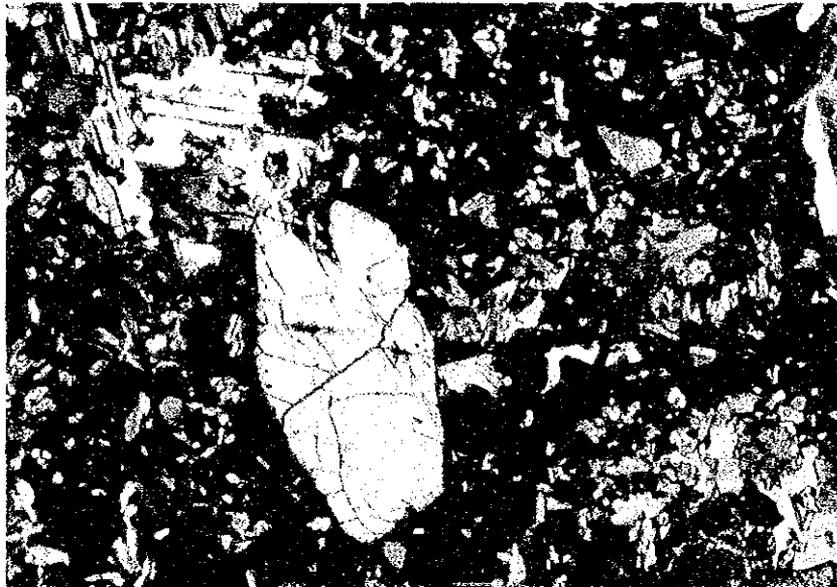
Ol : olivine

Sd : sodalite

Sph : sphene



one polar

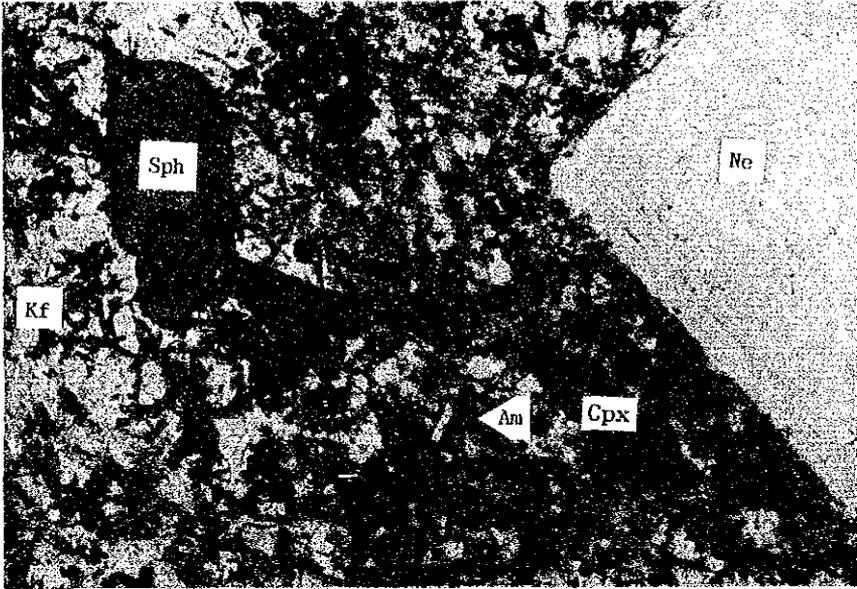


crossed polars

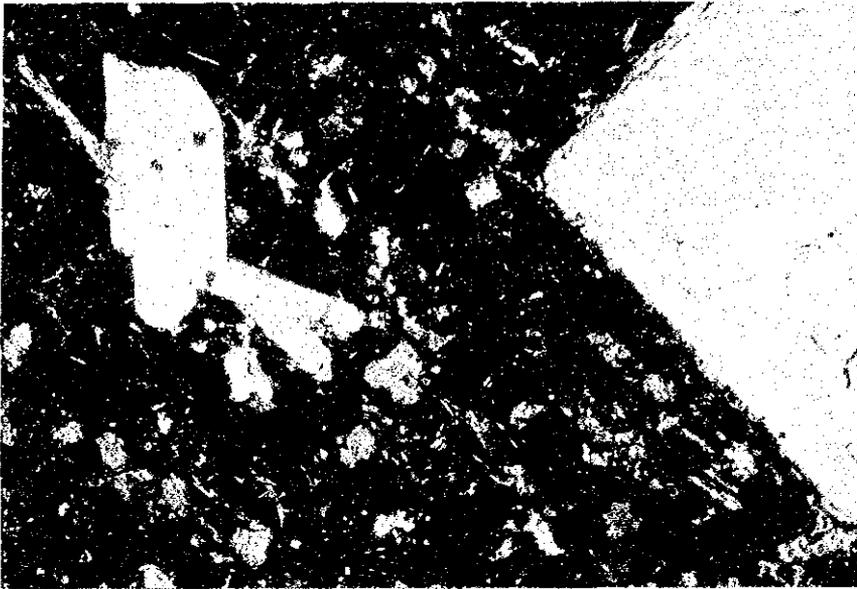
0.1mm

Sample No. : C015
Location : West of Gulanze
Rock name : Camptonite

Photomicrographs (thin section)



one polar



crossed polars

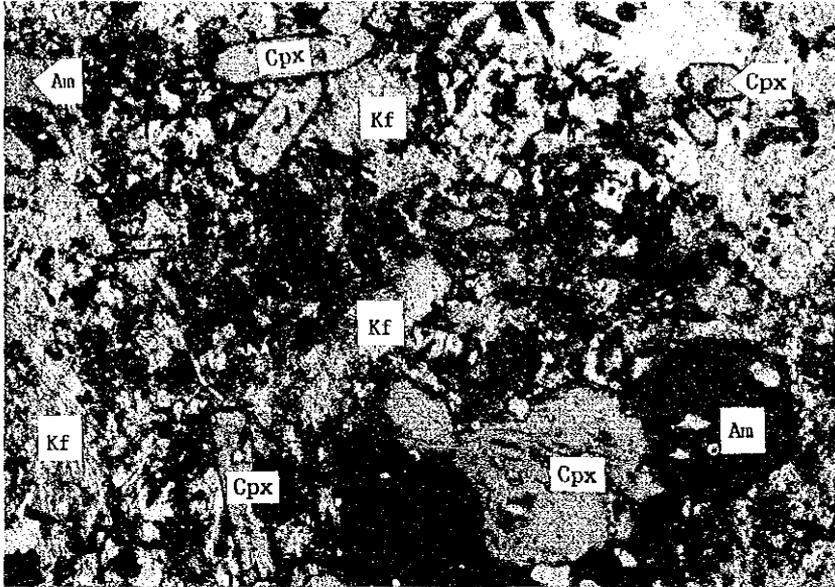
0.05mm

Sample No. : B035

Location : Northwest of Jombo Hill

Rock name : Monchiquite

Photomicrographs (thin section)



one polar



crossed polars

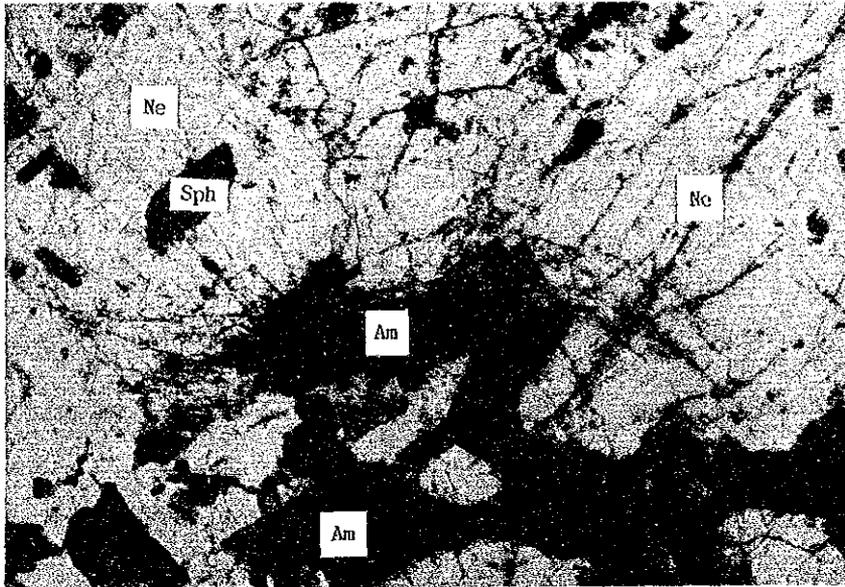
0.05mm

Sample No. : B036

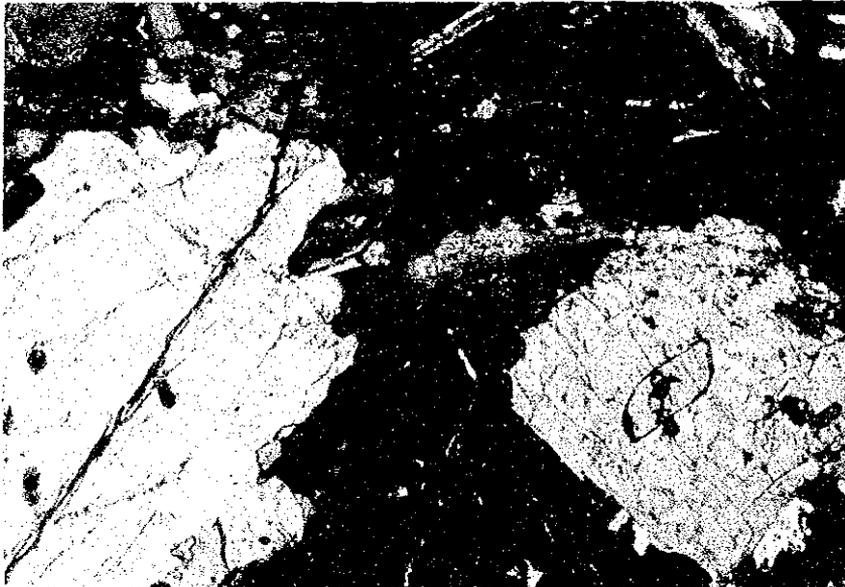
Location : Northwest of Jombo Hill

Rock name : Soda Minett

Photomicrographs (thin section)



one polar



crossed polars



0.1mm

Sample No. : B041
Location : Jombo Hill
Rock name : Nepheline Syenite

Photomicrographs (thin section)