

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

1821

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

1821

マラウイ共和国チルワーアルカリン地域
資源開発協力基礎調査報告書

総括報告書

JICA LIBRARY



1072164[5]

18727

平成元年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

18727

は し が き

日本国政府はマラウイ共和国政府の要請に応え、同国の南部に位置するチルワーアルカリン地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この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、昭和61年度から昭和63年度までの3ケ年にわたって実施され、マラウイ共和国政府機関の協力を得て、予定通り完了した。本報告書は3ケ年の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに、本調査の実施にあたって、御協力をいただいたマラウイ共和国政府機関ならびに外務省、通商産業省、在ケニア日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

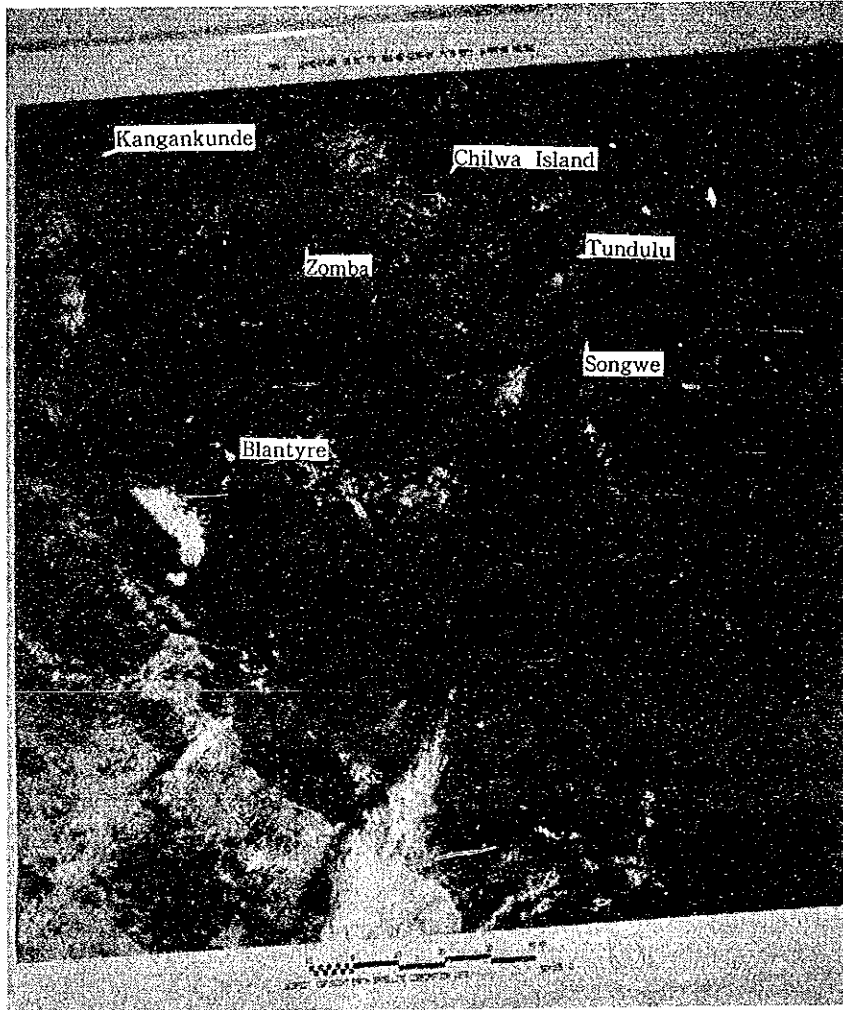
平成元年2月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理事長 佐 藤 淳 一 郎



Landsat image of Chilwa Alkaline area

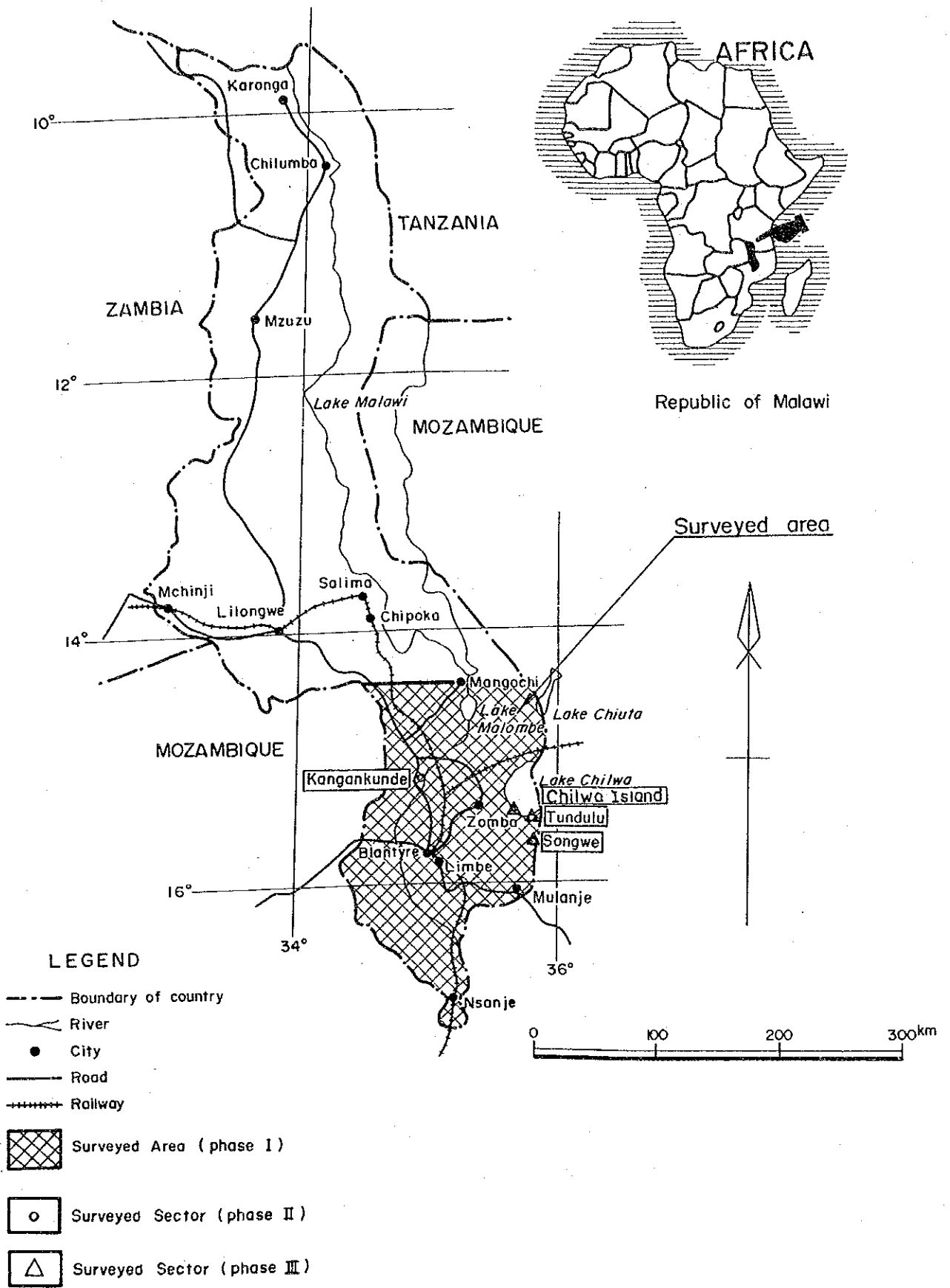


Fig. 1 Location map of survey area

目 次

はしがき
調査位置図
要 約

第 I 部 総 論

第 1 章 調査概要	1
1-1 調査地域及び調査目的	1
1-2 調査方法及び調査量	1
1-3 調査期間及び調査員	3
第 2 章 従来 of 調査	4
第 3 章 チルワーアルカリン地域の地質	6
第 4 章 現地状況	7
4-1 交 通	7
4-2 調査環境	7
第 5 章 結論及び将来への提言	9
5-1 結 論	9
5-2 将来への提言	12

第 II 部 ランドサット画像解析結果及び 既存資料コンパイル

第 1 章 調査概要	13
------------	----

第2章	ランドサット画像解析結果	13
-----	--------------	----

第3章	既存資料コンパイル及びランドサット画像解析総合検討結果	15
-----	-----------------------------	----

第Ⅲ部 Songwe地区

第1章	地質	17
-----	----	----

第2章	地化学探査	18
-----	-------	----

2-1	統計値	19
-----	-----	----

2-2	異常値分布	19
-----	-------	----

第3章	ボーリング調査結果及び考察	20
-----	---------------	----

第Ⅳ部 Tundulu地区

第1章	地質	23
-----	----	----

第2章	地化学探査	25
-----	-------	----

2-1	統計値	25
-----	-----	----

2-2	異常値分布	25
-----	-------	----

第3章	ボーリング調査結果及び考察	26
-----	---------------	----

第Ⅴ部 Kangankunde地区

第1章	地質	29
-----	----	----

第2章 地化学探査	30
2-1 統計値	30
2-2 異常値分布	31
第3章 考 察	31

第VI部 Chilwa Island 地区

第1章 地 質	33
第2章 地化学探査	34
2-1 統計値	34
2-2 異常値分布	37
第3章 ボーリング調査結果及び考察	36

第VII部 総合検討

第1章 カーボナタイト岩体の形成深度の検討	39
第2章 同位体組成比の検討	39
第3章 カーボナタイト全岩分析結果検討	41
第4章 レアアース含有量の検討	

第Ⅷ部 結論及び将来への提言

第1章 Songwe地区	45
1-1 結論	45
1-2 将来への提言	45
第2章 Tundulu 地区	46
2-1 結論	46
2-2 将来への提言	46
第3章 Kangankunde 地区	47
3-1 結論	47
3-2 将来への提言	47
第4章 Chilwa Island 地区	47
4-1 結論	47
4-2 将来への提言	48

参考文献

List of Figure

- Fig. 1 Location map of survey area
- Fig. 2 Schematic diagram of the structural pattern in a carbonatite complex
- Fig. 3 Geological map of Chilwa Alkaline area
- Fig. 4 Temperature and rain fall
- Fig. 5 Location map of LANDSAT image scenes
- Fig. 6 Result of photogeological interpretation
- Fig. 7 Distribution of ring structures
- Fig. 8 Geological map and profile of Songwe sector
- Fig. 9 Distribution map of geochemical anomalies, Songwe
- Fig.10 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe
- Fig.11 Geological map and profile of Tundulu sector
- Fig.12 Distribution map of geochemical anomalies, Tundulu
- Fig.13 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Tundulu
- Fig.14 Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu
- Fig.15 Geological map and profiles of Kangankunde sector
- Fig.16 Distribution map of Geological anomalies, Kangankunde
- Fig.17 Geological map and profiles of Chilwa Island sector
- Fig.18 Panel diagram of the Chilwa Island carbonatite complex
- Fig.19 Distribution map of geological anomalies, Chilwa Island
- Fig.20 Geological section of drill holes, Chilwa Island
- Fig.21 Schematic diagram of the carbonatite complex in the Chilwa Alkaline area
- Fig.22 The carbon and oxygen isotopic ratios of the materials
- Fig.23 The oxygen and carbon isotopic ratios of carbonatites in Chilwa alkaline area carbonatite, southern Malawi and Mbeya carbonatite, southern Tanzania
- Fig.24 Ternary diagrams of the carbonatites
- Fig.25 Chondrite normalized rare earth concentration

List of Table

- Tab. 1 Flow chart of the Chilwa Alkaline project
- Tab. 2 Process of the survey
- Tab. 3 Organization of the survey team
- Tab. 4 Compilation of previous works
- Tab. 5 Classification of circular structure
- Tab. 6 Comprehensive result of compilation of previous works and LANDSAT image interpretation
- Tab. 7 Statistical values of geochemical survey, Songwe
- Tab. 8 Calculation of ore reserves (REO), Songwe
- Tab. 9 Statistical values of geochemical survey, Tundulu
- Tab.10 Calculation of ore reserves (REO), Tundulu
- Tab.11 Calculation of ore reserves (P), Tundulu
- Tab.12 Statistical values of geochemical survey, Kangankunde
- Tab.13 Statistical values of geochemical survey, Chilwa Island
- Tab.14 Observation of the Chilwa Island carbonatites
- Tab.15 Isotopic composition of the carbonatites
- Tab.16 Chemical composition of the carbonatites
- Tab.17 Result of quantitative EPMA analysis
- Tab.18 REO & P_2O_5 resources related carbonatite/alkaline complex

Attached Maps

- PL. 1 Detailed geological map and profiles of Songwe sector
- PL. 2 Detailed geological map and profiles of Tundulu sector
- PL. 3 Geological map and profiles of Chilwa Island sector

要 約

本報告書は、マラウイ共和国チルワーアルカリン地域において1986年から1988年に至る3か年にわたって実施された資源開発協力基礎調査の調査結果をとりまとめたものである。本調査の目的は、チルワーアルカリン地域において、詳細な地質状況を解明することにより、カーボナタイト鉱床賦存状況を解明することであった。

チルワーアルカリン地域はマラウイ共和国南部に位置し、国土の約4分の1の範囲を占め、調査面積は30,000km²である。

実施された調査は、調査地域全域についてのランドサット画像解析、既存資料コンパイル及びグラントルースによる地質調査・地化学探査によってカーボナタイト鉱床として資源賦存の有望地域として抽出されたSongwe地区、Tundulu地区、Kangankunde地区及びChilwa Island地区における地質調査・地化学探査及びボーリング調査(Kangankunde地区はボーリング調査を除く)である。

本地域のカーボナタイト鉱徴地は25か所に及びそのほとんどにおいてレアアース又は燐等の地化学異常値が認められた。これらのうち、カーボナタイト岩体の産状が塊状で規模が大きいものはSongwe、Tundulu、Kangankunde及びChilwa Island地区のものである。

各調査地区の調査結果は以下のとおりである。

(1) Songwe地区

カーボナタイトはSongwe丘に主要部が分布する。このうち、レアアース鉱徴部(本調査で分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Y 7元素の酸化物合計1.0%以上、以下同じ)は海拔850m以下のカーボナタイト岩体中に主要部が認められる。この鉱徴部に認められるレアアースを主とする有用鉱物は、バストネサイト、シンチサイト、パイロクロア等である(酸化レアアース量合計をREOと記す)。

レアアース鉱徴部に対し、ボーリングを実施し、その結果に基づいて概略の埋蔵鉱量計算を行った。計算結果は埋蔵鉱量140万t、REO品位1.74%となった。

鉱量は地表下50mまでと限定したため、他鉱山の鉱量とは比較できないが品位については、Bayan Obo(China)鉱山産カーボナタイトに比べ、Eu 1.4倍、Tb 2.1倍の値を示す。

現時点ではREOの品位が特に高くはないことから開発には困難があるかと考えられるが中希土類の含有量が多いことに着目し、将来は中希土類の市況を考慮し、本年次、鉱量試算を行った鉱徴部の鉱量、品位の確定化及び深部への連続性を確認するための調査

を行い鉍量を確保することが望まれる。

(2) Tundulu地区

カーボナタイトは Tundulu丘, Nathace丘に主要部が分布する。このうち, Nathace丘のアパタイト岩を含むカーボナタイト中においてレアアース (REO > 1.0%), 磷 (P > 2.2%, P₂O₅ 換算 5%, 厚さ 2 m 以上) のまとまった鉍微部が認められる。鉍微部に含まれる主要鉍石鉍物は, パストネサイト, シンチサイト, アパタイト等である。

これら鉍微部を対象にレアアース, 磷について概略の埋蔵鉍量の試算を行った。試算結果は, レアアースを対象とした場合, 埋蔵鉍量 60 万 t, REO 品位 2.09 %, 磷を対象とした場合, 埋蔵鉍量 50 万 t, 磷品位 7.4% (P₂O₅ 換算品位 17%) となった。

鉍量は Songwe 地区と同様に地表下 50 m までと限定したため他鉍山とは比較にならない。品位的には, 現時点では REO は経済性に乏しいと考えられるが, 磷を対象とした場合 P₂O₅ 17% と高品位である。このアパタイト岩を含むカーボナタイトは, マラウイ産の超塩基性岩又はドロマイト岩と電力を使用し熔成磷肥の生産が可能と考えられる。

将来は, Nathace 丘に分布するアパタイト岩を含むカーボナタイトを対象とし, 鉍量品位の確定化及び更に鉍量確保のために, 鉍微部の水平的, 垂直的拡がりの確認を行うことが望まれる。

(3) Chilwa Island地区

カーボナタイトは方解石質カーボナタイト, アンケライト質カーボナタイト, アンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部からなり, これらは環状構造を呈し, 外側から内側にむかい同心円状に分布する。これらに含まれるレアアースを主とする有用鉍物は, パストネサイト, シンチサイト, ストロンチアナイト, パイロクロア等である。

地化学探査の結果は, レアアースの地化学的異常値が, アンケライト質カーボナタイト及びアンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部に, ニオブ, 磷の異常値が方解石質カーボナタイト中に集中分布することが分った。

ボーリング調査結果, レアアース鉍微部は地化学探査の結果判明した異常値集中部のボーリング孔中において認められた。レアアース含有量は Bayan Obo 鉍山と比較して同程度かやや低い値を示すが, 中希土類は同程度から最高 1.9 倍の値を示す。

地質調査・地化学探査, ボーリング調査結果を総合すると, 中希土類をやや多量に含

有するレアアース資源として、アンケライト質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部がポテンシャルが高いと考えられる。

現時点ではカーボナタイト中のレアアース類の含有状況の概要を把握した段階であり、今後は中希土類の含有量がやや多いことに着目し、上記カーボナタイト中において、Songwe地区と同様の手法による鉍量、品位を確認するための地質精査とボーリング調査を実施することが望まれる。

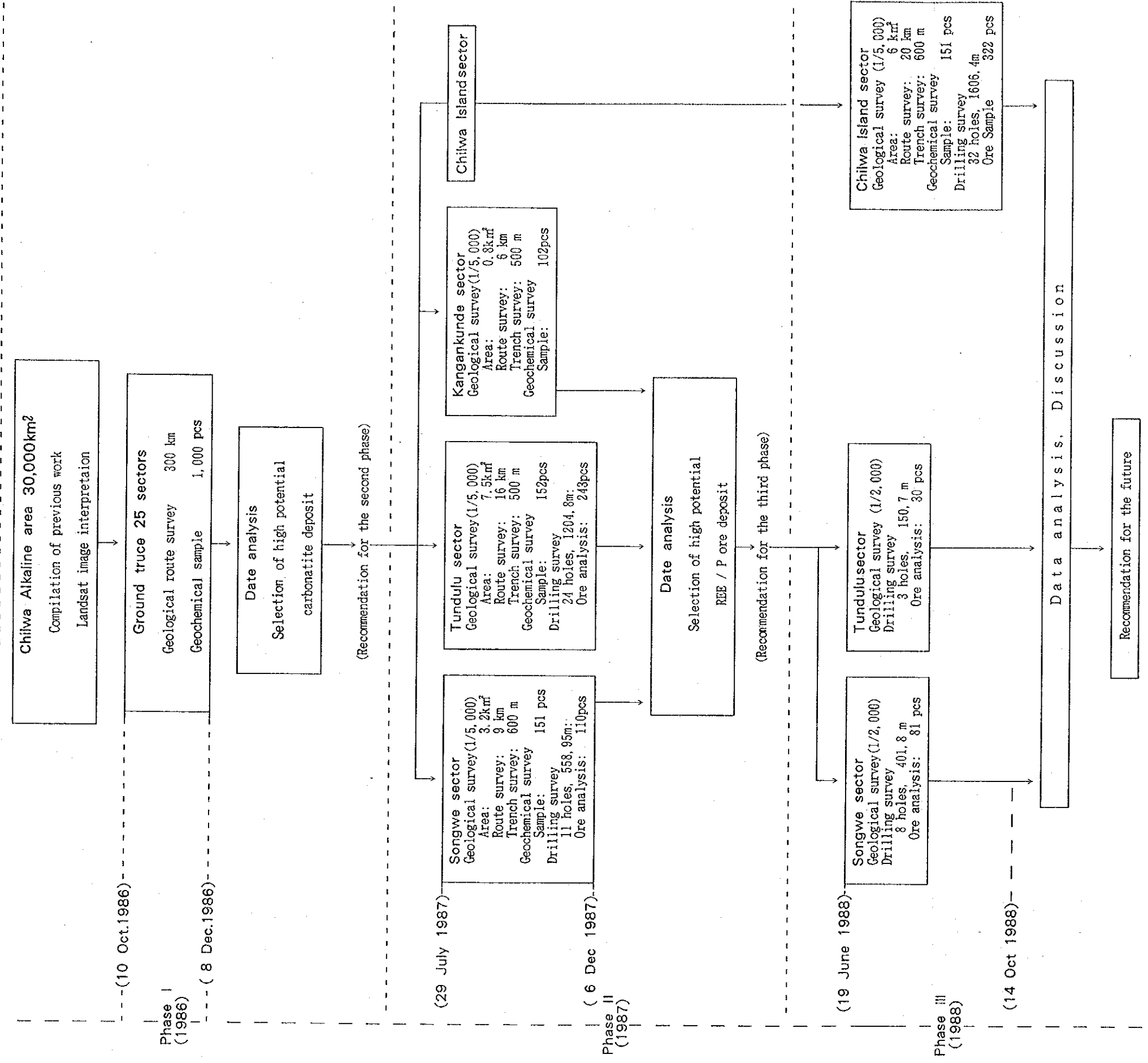
(4) Kangankunde地区

カーボナタイトは菱鉄鉍質、アンケライト質のものを主とする。これらはKangankunde丘北斜面及び西斜面に広く分布する。又、Kangankunde丘頂部及び東部ではマンガンに富むカーボナタイトが認められる。

レアアース、鉍床としてのポテンシャルは、Kangankunde丘北斜面に分布するカーボナタイト岩体が最も高いと考えられる。

現時点では、本地区についてはBRGM（フランス）が探鉍権を与えられ調査中であることから提言は行わないこととした。

Tab. 1 Flow chart of the Chilwa Alkaline project



第I部 総論

第1部 総論

第1章 調査概要

1-1 調査地域及び調査目的

チルワーアルカリン地域は、マラウイ共和国の南部に位置し、国土の4分の1を占める。同国政府発行、縮尺250,000分の1の地形図では、Mangochi（マンゴチ、シート8）の南半分、Blantyre（ブランタイア、シート9）とNsanje（ヌサンジェ、シート10）に示される範囲である。

調査の目的は、本地域のカーボナタイトに伴う、レアアース、レアメタル及び燐の賦存状況を把握すること及び鉱化作用と地質状況の関連を解明することを目的とした。

1-2 調査方法及び調査量

第1年次調査から第3年次調査までの調査方法及び調査量はTab. 1のフローチャートに示すとおりである。

調査は1986年マラウイ共和国南部のチルワーアルカリン地域(30,000km²)に対し、現地調査に先立ち既存資料コンパイル、ランドサット画像解析を行い、カーボナタイト鉱床賦存の有望地区25地区を選定した。選定された25地区について地質調査、地化学探査を実施しレアアースの賦存状況、地質状況等から、更に有望地区4地区を抽出した(Songwe, Tundulu, Chilwa Island, Kangankunde 各地区)。

1987年、初年次有望地区として抽出された地区からSongwe, Tundulu, Kangankunde 地区において鉱床賦存状況を明らかにする目的で地質調査・地化学探査及びボーリング調査を実施(Kangankunde地区はボーリング調査実施せず)した。Chilwa Island地区は1988年の調査として残された。

1988年は前年度までの調査結果から鉱床賦存の可能性が最も高いと考えられる地区を対象に鉱床としての規模、品位等の評価を行う目的でSongwe地区、Tundulu地区で詳細な地質調査、ボーリング調査を実施した。更に第2年次調査の行われなかったChilwa Island地区では鉱床賦存状況を明らかにする目的で地質調査・地化学探査及びボーリング調査を実施した。

1-3 調査期間及び調査員

第1年次調査から第3年次調査までの各年次調査の調査期間及び調査員は、Tab. 2及びTab. 3に示すとおりである。

Tab. 2 Process of the survey

	1986				1987												1988												1989	
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
Compilation of previous works and analysis of landsat image (In Japan)	10/Oct																													
Compilation of previous works (In Malawi)	11/Oct	23/Oct																												
Field survey (In Malawi)	21/Oct	8/Dec									29/Jul				6/Dec							19/Jun					13/Nov			
Data analysis, laboratory works and preparation of report (In Japan)			9/Dec			10/Feb										7/Dec							10/Feb					14/Nov	20/Feb	
Preparation of survey (In Japan)						11/Feb					28/Jul											11/Feb					18/Jun			

Tab. 3-1 調査計画及び折衝

	日 本 側		マラウイ共和国側	
	氏 名	所 属	氏 名	所 属
第 一 年 次	荒川 紘平	金属鉱業事業団	H. A. Juwa	森林天然資源省
	折田 憲一	通商産業省	J. C. Chatupa	地質調査局
	上木 隆司	国際協力事業団	A. T. Mndala	地質調査局
	北 良行	金属鉱業事業団	C. E. Kaphwiyo	地質調査局
	澤田 賢治	金属鉱業事業団		
第 二 年 次	北 良行	国際協力事業団	J. C. Chatupa	地質調査局
	澤田 賢治	金属鉱業事業団	A. T. Mndala	地質調査局
第 三 年 次	林 歳彦	金属鉱業事業団	J. C. Chatupa	地質調査局
	澤田 賢治	金属鉱業事業団	A. T. Mndala	地質調査局
			F. R. Phiri	地質調査局
			R. S. Mshali	地質調査局

Tab. 3 - 2 現地調査団

	日本側		マラウイ共和国側	
	氏名(役割)	所属	氏名(役割)	所属
第一 年 次	山田 毅 (団長, 地質, 地化探)	三井金属資源開発 株式会社	A. S. O. Mwafulirwa (地質, 地化探)	地質調査局
	丸谷 雅治 (地質, 地化探)	三井金属資源開発 株式会社	G. W. P. Malunga (地質, 地化探)	地質調査局
	日比 福二 (地質, 地化探)	三井金属資源開発 株式会社		
第二 年 次	山田 毅 (団長, 地質, 地化探)	三井金属資源開発 株式会社	G. W. P. Malunga (全 般)	地質調査局
	青山 務 (ボーリング)	三井金属資源開発 株式会社		
	堀下 宏美 (ボーリング)	三井金属資源開発 株式会社		
第三 年 次	千葉 行夫 (ボーリング)	三井金属資源開発 株式会社	D. H. Z. Mhango (全 般)	地質調査局
	山田 毅 (団長, 地質, 地化探)	三井金属資源開発 株式会社		
	青山 務 (ボーリング)	三井金属資源開発 株式会社		
	田中 真二 (ボーリング)	三井金属資源開発 株式会社		

第2章 従来の調査

マラウイにはカーボナタイト及びカーボナタイトに関連があると考えられるアルカリ岩類が各地において知られている。これらのうち、ほとんどのものは本調査地域であるチルワーアルカリ地域に分布するが、一部は北マラウイのタンザニアとの国境に近いIlomba Hill (イロンバヒル) に分布する。

本調査地域に分布するカーボナタイト及びカーボナタイトに関連がある岩石は、“チルワーアルカリ岩石区”の岩石としてまとめられている。この“チルワーアルカリ岩石区”の地質調査は、近年ではGarson (1965), Bloomfield (1966) によってまとめられている。

Garsonは南部マラウイの地質調査を精力的に実施し、多くのカーボナタイト岩体を報告し、これらに対する岩石学的記載、地質構造及びカーボナタイトの生成機構などについて報告している。

Bloomfieldは、Garsonの調査をフォローするとともに、マラウイ全土の地質図を作成した。従来の調査の結果をまとめると、調査地域内には、カーボナタイト岩体あるいはカーボナタイト貫入の徴候地が25地区認められた (Tab. 4)。

カーボナタイト岩体及び徴候地は、“チルワーアルカリ岩石区”のアルカリ複合岩体と密接に伴って産出する。これらアルカリ複合岩体は、円錐岩床、火山岩頸、環状岩脈あるいは放射状岩脈などの組み合わせによる環状構造を呈しており、ほとんどのものが角礫岩、集塊岩を伴っている。本地域のアルカリ岩として閃長岩、ネフェリン閃長岩、粗面岩、フォノライト、ネフェリナイト、ランプロファイアなどが知られている。

変質作用としてフェン岩化作用、炭酸塩化作用、長石化作用が一般的であり、一部にはネフェリン化作用、金雲母化作用、珪化作用も見られる。

フェン岩化作用は原岩からの SiO_2 の多量の溶脱と、Na (時にK) と Fe^{3+} の添加を伴う交代作用であり、アルカリ複合岩体貫入の直前か、その初期に起こることが多く、そのため、基盤をなす片麻岩類、花崗岩類は交代作用を被り、閃長岩質に変質している。また、その範囲は岩体の周辺 1,000~2,000mに及ぶことがある。

炭酸塩化及び長石化作用は、角礫化作用の直後に起こることが多く、角礫岩、集塊岩などを交代している。また一部の地区では、フェン岩化作用に先立って、炭酸塩化 (及び長石化) 作用が見られることもある。

本地域のカーボナタイトの岩質は、一般的傾向として、早期のものは方解石質であり、アンケライト質を経て、晩期のものは菱鉄鉱質となっている。また、石英質 (優白質) カーボナタイト、ペフォルサイトも一部に見られる。

アルカリ複合岩体の火成活動において、これらのカーボナタイトは次のように位置づけら

Tab. 4-1 Compilation of Previous Works

Surveyed sector	Alkaline complex	Breccia/ agglomerate	Occurrence	Fertilization	Carbonatization	Feldspathization	Carbonatite	Type	Ore minerals	Remarks
1. Tundulu	nepheline syenite	breccia, agglomerate	circular structure arcuate ring dyke	basement	-	breccia	sövite (earlier) apatite bastnesite bevorsite (later)	II	pyrochlore, bastnesite, synchronite, monazite, apatite	nephelinization
2. Nkalonje	nephelinite, nepheline syenite	breccia, agglomerate	volcanic neck	basement	-	breccia	sövite sideritic leucocratic	II	pyrochlore, bastnesite, synchronite, florencite	quartz-fluorite vein
3. Matoponi	phonolite, trachyte	-	dyke	-	-	-	sövite	I	pyrochlore, apatite	
4. Songwe	nephelinite, foyaite	breccia, agglomerate	volcanic neck	basement	-	breccia	sideritic	II	apatite, pyrochlore, bastnesite, synchronite	apatite-fluorite vein
5. Mikomwa	phonolite, sölvbergite	agglomerate	dyke	-	-	-	-	I	-	
6. Chipelanje	microfoyaite, phonolite	agglomerate	dyke	-	-	-	-	I	-	
7. Salambidwa	phonolite	agglomerate	dyke	-	-	-	-	I	-	
8. Namangale	phonolite, microfoyaite	breccia	volcanic neck	basement	-	breccia	sövite	II	apatite	
9. Namanga	(gneiss, granite)	-	(dome structure)	-	-	-	-	-	-	The anomaly by airborne survey
10. Chilwa I.	nepheline syenite, phonolite, nephelinite	breccia, agglomerate	ring dyke cone sheet radial dyke	basement	-	agglomerate	sövite (earlier) sideritic sideritic (later)	II	pyrochlore, bastnesite, synchronite, apatite	quartz fluorite vein
11. Kadongosi	foyaite, phonolite	agglomerate	volcanic neck	basement, agglomerate	-	-	-	I	-	
12. Mongolwe	pulaskite, nepheline syenite	agglomerate	volcanic neck	basement	-	-	-	I	-	
13. Chikala	pulaskite, foyaite	agglomerate	volcanic neck	basement, pulaskite	-	agglomerate	-	I	-	silicification

Tab. 4-2 Compilation of Previous Works

Surveyed sector	Alkaline complex	Breccia/ agglomerate	Occurrence	Fenitization	Carbonatization	Feldspathization	Carbonatite	Type	Ore minerals	Remarks
14. Kangankunde	nephelinite, solvbergite, phonolite	breccia, agglomerate	circular structure	basement	nephelinite, breccia, agglomerate	fenite, breccia, agglomerate	sideritic (earlier) ankritic manganiferous (later)	II	monazite, bastnaesite, astromianite, florescite	siliceous rock (late hydrothermal) phlogopitization
15. Chaumbwi	-	agglomerate	volcanic vent	agglomerate	agglomerate	-	-	I	-	-
16. Napiiri	nephelinite, phonolite	-	dyke	nephelinite	nephelinite	-	ankeritic	I	monazite, florescite, bastnaesite	-
17. Neengwa	microsyenite	breccia, agglomerate	ring dyke	-	-	breccia	ankeritic	I	pyrochlore, monazite	-
18. Mwindi	(Ultrabasic rocks)	-	(ring structure)	-	-	-	-	-	-	intra-crystal ring-complex
19. Nsala	microfeyalite, phonolite	agglomerate	ring neck radial dyke	feldspathic agglomerate	-	agglomerate	sövite	I	-	-
20. Kongwe	nephelinite, phonolite	agglomerate	circular structure	basement	agglomerate	agglomerate	-	I	-	-
21. Liperebbe	nephelinite, phonolite	agglomerate	elongated neck	-	agglomerate	-	-	I	apatite	-
22. Kavanula	lamprophyre, nephelinite	agglomerate	elongated neck	-	-	-	-	I	apatite	-
23. Aligamba	phonolite	agglomerate	elongated neck	-	agglomerate	-	-	I	apatite	-
24. Achirundu	phonolite	agglomerate	elongated neck	-	agglomerate	-	-	I	apatite	-
25. Chiloli	(granulite, gneiss)	-	(dome structure)	-	-	-	-	-	-	Th anomaly by airborne survey

れている。アルカリ岩体マグマによる基盤岩のドーム構造や円錐岩床の生成があり、それに引続くフェン岩化作用、角礫化作用の後、マグマの貫入によってカーボナタイトが生成した。

カーボナタイトを伴う複合岩体の形態は、Fig. 2に示すように浸食の深さによって次の4つのタイプに分類されている (Garson, 1966)。

I) 火山円錐丘型；ネフェリンナイトの溶岩、火山碎屑岩からなる円錐丘、集塊岩、カーボナタイトで特徴づけられる。

II) 火山岩頸型；炭酸塩化、長石化作用を受けた角礫岩、集塊岩で特徴づけられ、フェン岩作用には多量のKの添加がみられる。

III) 浅所深成岩型；方解石質、ドロマイト質カーボナタイトが多く、フェン岩化作用ではNaの添加が多い。

IV) 深所深成岩型；閃長岩、輝岩、かんらん岩やかんらん石-ひる石ペグマタイトを伴い、岩脈はまれである。

カーボナタイトに伴う鉱物としてパイロクロア、モナズ石、バストネサイト、シンチサイト、ストロンチアナイト、フロレンサイト、アパタイト、螢石などが産出する。

UNDPにより実施された南部マラウイの空中物理探査データには、空中磁気探査及び空中放射能探査 (K, Th, U, K+Th+U) がある。

このうち既知のカーボナタイトの分布と比較的よく一致するのは、空中放射能探査のトリウムのデータである。トリウムのカウント500c. p. s. 以上の強異常帯及び250c. p. s. 以上の異常帯をプロットすると、カーボナタイトを伴うアルカリ複合岩体及び一部の古期閃長岩岩体・花崗岩岩体上に重なる。

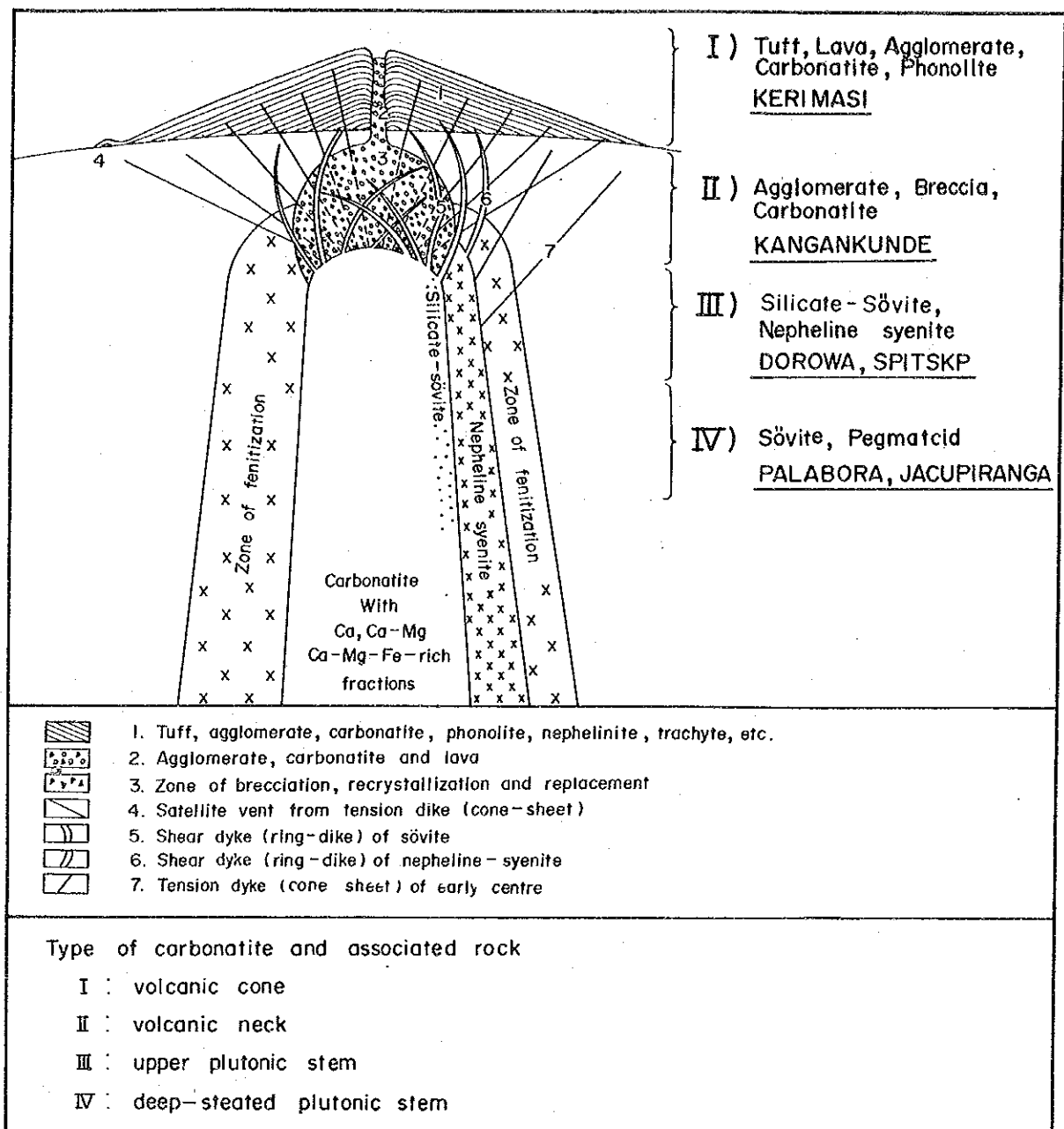
第3章 チルワーアルカリン地域の地質 (Fig. 3)

マラウイの地質の大部分は、先カンブリア紀後期から古生代初期 (400~650 Ma) に変成作用をうけたモザンビーク帯の一部であるグラニュライト相、又は、角閃岩相の結晶片岩、片麻岩などの変成岩類よりなり、基盤を形成している。グラニュライト相の岩石は、紫蘇輝石花崗岩質片麻岩、ざくろ石-珪線石-石墨珪質片岩などからなり、角閃岩相の岩石は、黒雲母片麻岩、角閃岩からなる。これら基盤岩の一般走向は南北である。

南部マラウイでは、基盤岩中に超塩基性岩の進入 (500Ma) 閃長岩類、花崗岩類の進入 (450Ma) が認められる。これらの進入岩類はモザンビーク帯の複雑な構造、熱変成過程の最後の活動により生成されたものと考えられている。

ジュラ紀~白亜紀にかけては、“チルワーアルカリン岩石区”としてまとめられるアルカリ岩及びカーボナタイトの活動があり、これらは火山岩類や小進入岩体として分布する。調査対象となった Tundulu地区、Songwe地区、Kangankunde地区及び Chilwa Island地区は、この“チルワーアルカリン岩石区”岩石分布域に属する。

現在、マラウイには稼行中の金属鉱山はないが、ボーキサイト、砂金、カーボナタイトを主とするレアアース鉱徴地などが知られている。ボーキサイト鉱徴地は、Mulanje山塊の海拔2,000m~3,000mの山頂部付近にあり、 Al_2O_3 約 43%、6,000万tの鉱量があると報告されている (Garson et al. 1969)。



(after Garson, 1966)

Fig. 2 Schematic diagram of the structural pattern in a carbonatite complex

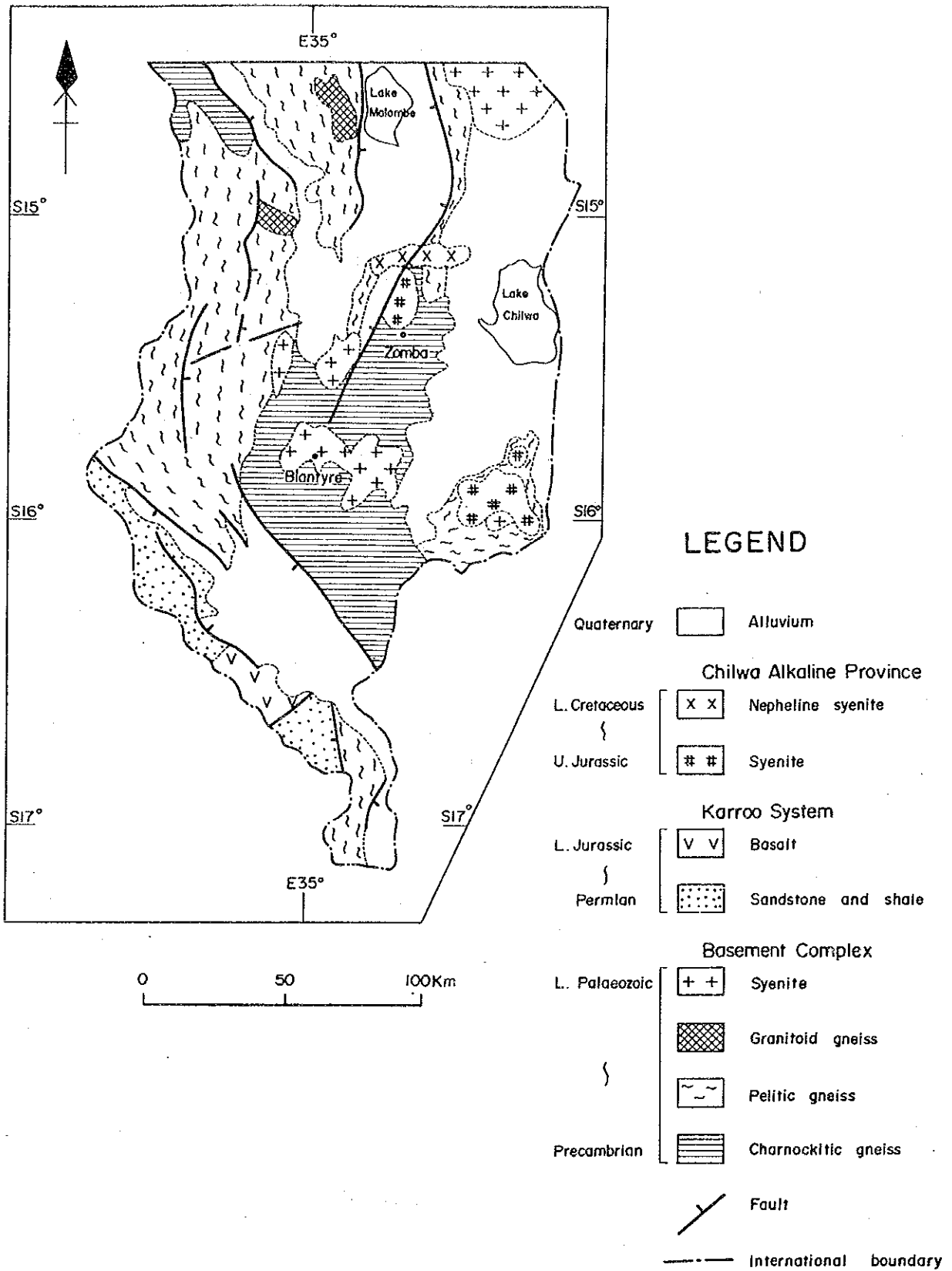


Fig. 3 Geological map of Chilwa Alkaline area

第4章 現地状況

4-1 交通

首都Lilongwe（リロングエ）から調査地域中央に位置するBlantyreに至るには、飛行機で約1時間、自動車では約4時間を要する。

商工業都市Blantyre及びその北方約70kmに位置する旧都 Zomba（ゾンバ）を中心に、調査地域内の都市間は舗装道路または未舗装道路により結ばれている。このため、調査地域は交通の便に恵まれた環境にあり、自動車の通行可能な道が各調査地区へ通じている。しかし、雨期（11月～4月）には未舗装道路が通行困難になることが多い。

4-2 調査環境

4-2-1 地形及び水系

調査地域内には、東部に標高3,000mの急峻な山容をなすMulanje（ムランジェ）山塊、北部及び北東部にMalombe（マロンベ）湖、Chilwa湖がある。Chilwa湖からMulanje山塊にかけては、海拔500m～700mのPhalombe（ファロンベ）平原が広がる。Tundulu地区、Songwe地区はこのPhalombe平原中に位置し、比高200m～300mの丘陵を形成する。Chilwa Island地区はChilwa湖中に位置する。

調査地域中央部から西部にかけては、マラウイ湖を源流とするShire河に沿う低地と、その西方のKirk（キルク）山地からなる。Kangankunde地区はShire河低地とKirk山地境界部付近に位置し、比高200mの丘陵をなす。

調査地域内の水系は、水量の豊富なShire河がゆるやかな蛇行をしながら調査地域中央部を北から南へ流れる。Shire河支流及びChilwa湖へ流入する川の水系は、樹系パターンをなす。

4-2-2 気候及び植生

調査地域はサバナ気候帯に属し、乾期（5月～10月）と雨期（11月～4月）がある。調査地域のほぼ中央に位置するBlantyreの年間平均降水量は、1,000mm、年間平均気温は17℃である（Fig. 4）。乾期中の調査地区の気温の日較差は大きく、7月、8月は日中30℃近くまで上昇するが、夜明時には10℃近くまで下る。10月、11月は、日中40℃となるが、夜間は20℃まで下降する。

植生は、低地帯はサバナ気候特有のイネ科を主とする草木と灌木におおわれ、その中に少

数の喬木がみられる。Chilwa湖周辺の低地帯には Marshとよばれる水草地帯が広がる。
 Mulanje, Zombaなどの山地には、松、杉等の針葉樹林帯（植樹されたもの）がある。

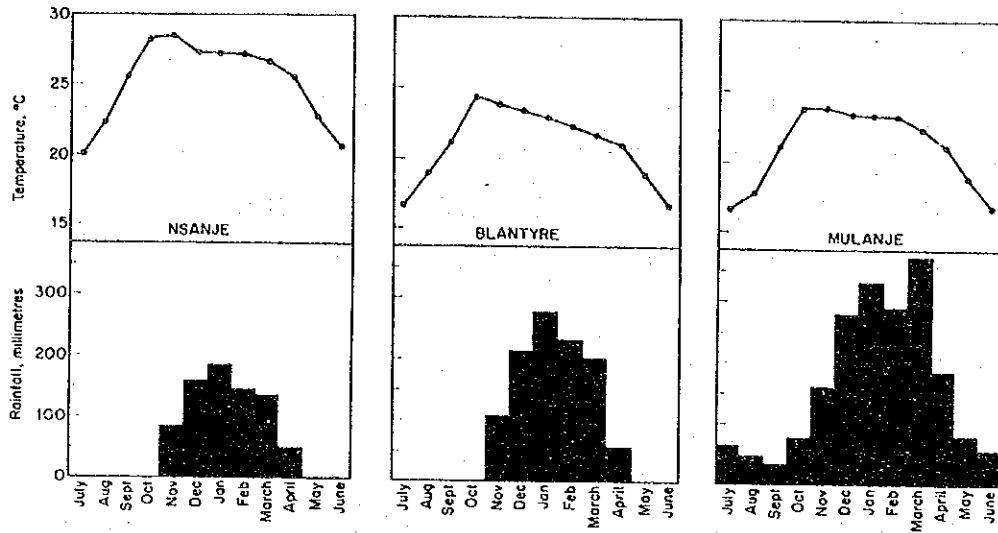


Fig. 4 Temperature and rain fall

第5章 結論及び将来への提言

5-1 結 論

チルワールカリ地域のカリナタイト岩体の共通的特徴は、以下のとおりである。

- ① 同心円状の岩石配列が認められる。
- ② 平断面が楕円形をしており、地形上に環状構造として認められる。
- ③ 基盤岩中に強いフェン岩化作用が認められる。
- ④ カリナタイトは、方解石質、アンケライト質、菱鉄鉱質と外側から内側へ同心円状に変化する。
- ⑤ カリナタイト岩体中に角礫岩が伴なわれる。
- ⑥ カリナタイト岩体の構造は急傾斜を示す。

これらはGSJ & DNPM (1987)によるカリナタイト岩体の形成深度による区分と対比すると、噴山・浅所型、中間深度型、深部型のうち浅所型ないし中間深度型に区分されるものと考えられる。

レアアースはアンケライト質カリナタイト、菱鉄鉱質カリナタイト中に濃集する傾向が認められた。更にレアアースのうち中希土類がMountain Pass鉱山、Bayan Obo鉱山のものに比べて濃集することがわかった。以下に各地区について述べる。

(1) Songwe地区

- カリナタイト岩体は、方解石質カリナタイト、アンケライト質カリナタイト及び角礫岩等から構成される。
- カリナタイト中に認められるレアアース、Nb, Sr, P等の鉱石鉱物はバストネサイト、シンチサイト、パリサイト、ストロンチアナイト、モナズ石、パイロクロア、アパタイト等である。
- 地質構造的には、カリナタイト岩体は、Songwe丘を中心に円錐構造を呈し、カリナタイトは略南北にのびる東西2列に配列し、傾斜は垂直ないし70°を示す。
- レアアース鉱徴部はカリナタイト中で海拔850m以下に主要部が分布する。
- ボーリング調査結果、コア長10m以上、REO1%以上の規模、品位を有する鉱徴部が6か所確認された。この6か所について、地表下50mまでを対象とし、概略埋蔵量計算を行った。
- 計算結果は埋蔵量合計約140万t、REO品位1.7%の結果を得た。
- 本地区のレアアース含有量は、Bayan Obo鉱山産鉱石に比べEu, Tb等の中希土類が1.4~2倍の値を示す特徴がある。

調査結果を総合するとSongwe丘の北斜面には、中希土類の含有量が比較的多いカーボナタイト鉱徴地が存在することが明らかとなった。この鉱徴地は、鉱量的には未だ深部の調査が実施されていないため他鉱山との比較は困難であるが品位的にはREOはBayan Obo鉱山に比べてやや低いが中希土類が高い。このことは今後のレアアース需給関係の好転によっては開発可能と考えられる。

(2) Tundulu地区

- カーボナタイト岩体は、方解石質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイト、菱鉄鉱質カーボナタイト、アパタイト岩及び角礫岩類から構成される。
- カーボナタイト中に認められるレアアース、Nb、Sr、P等の鉱石鉱物はバストネサイト、シンチサイト、ストロンチアナイト、パイロクロア、アパタイト等である。
- 地質構造的には、2重の環状構造を呈し、外側に方解石質カーボナタイトに富むもの、内側にアンケライト質カーボナタイト、菱鉄鉱質カーボナタイト及びアパタイト岩に富むものと帯状分布を示す。
- レアアース、燐等の鉱徴部はNathace丘と呼ばれる内側のカーボナタイト中に分布する。
- ボーリング調査結果、コア長10m以上、REO品位1%以上、又はコア長10m以上、P品位2.2%以上の規模、品位を有する鉱徴部が前者3か所、後者1か所まとめて確認された。

これらの鉱徴部について、地表下50mまでを対象とし、前者をレアアース鉱床、後者を燐鉱床として概略埋蔵鉱量計算を行った。

計算結果はレアアース埋蔵鉱量60万t、REO品位2.1%、又は燐埋蔵鉱量として50万t、 P_2O_5 品位17%の結果を得た。

調査結果を総合すると、Nathace丘東及び南斜面に分布するカーボナタイト中にレアアース、燐の鉱徴地が存在する。このうちアパタイト岩を含むカーボナタイト中に燐の濃集部が認められた。レアアースは燐と共生して産すること及びREO品位が他鉱山産のものと比較して、特に高品位でないこと、中希土類についても同程度の品位であることから現時点では経済性にやや乏しいと考えられる。しかしながら燐については P_2O_5 品位17%と高品位であり、マラウイ産の超塩基性岩又はドロマイト岩と電力による熔成燐肥の生産が可能と考えられる。

(3) Kangankunde地区

本地区に分布するカーボナタイトは、菱鉄鉍質、アンケライト質及びドロマイト質のものが主である。これらは Kangankunde 丘北斜面及び西斜面に広く分布する。

Kangankunde 丘頂部、東斜面にはマンガンに富むカーボナタイトが認められる。

レアアース鉍床賦存のポテンシャルは、Kangankunde 丘北斜面に分布するカーボナタイトが最も高いと考えられる。

(4) Chilwa Island地区

地質調査……… カーボナタイトは、Mbirikwi 丘, Michulu 丘, Chinyambi 丘, Northern summit, Southern summit, Muliade 丘を通る山頂部及びその斜面を外周とする直径約 2 km の環状構造を呈し分布する。このカーボナタイトは外側から内側に向い方解石質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部と帯状分布を示す。これらカーボナタイト中の主要鉍石鉍物は、パイロクロア、シンチサイト、ストロンチアナイト、アパタイト、螢石、パイロクロア等である。

地化学探査……… 地化学探査異常値は、レアアース、Sr がアンケライト質カーボナタイト及びアンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部に集中する。Nb は方解石質カーボナタイト中に、P は方解石質カーボナタイト及びアンケライト質カーボナタイトの一部に異常値が認められる。

ボーリング調査結果……… REO 1.0%以上の鉍徴部は、JMC-3, 7, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 29において確認された。このうち、コア長10m以上に達する鉍徴部はJMC-3, 10, 11, 12, 19, 20, 21, 26, 29であり、そのほとんどがアンケライト質カーボナタイト及びアンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉍質カーボナタイト混在部に認められる。このうち最大規模のものは、JMC-12のアンケライト質カーボナタイトに伴うコア長48.0m、REO品位1.48%である。レアアース含有量は、REOは Bayan Obo 鉍山産のものと比較し同程度かやや低い値を示すが中希土類は同程度から最高 1.9倍の値を示す。

上記3調査方法の結果を総合すると、やや中希土類の含有量の多いレアアースはカーボナタイト岩体の中心部及びその周りのアンケライト質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉱質カーボナタイト混在部中に存在し、この地区が鉱床としてのポテンシャルが高い地区と考えられる。一方、P、Srについては、カーボナタイト外側部の方解石質カーボナタイト中が鉱床としてのポテンシャルが高いと考えられる。

5-2 将来への提言

調査結果及び既存の資料を総合し、Songwe地区、Tundulu地区、Kangankunde地区及びChilwa Island地区のレアアース資源、磷資源のポテンシャル把握及び開発を対象とした鉱量、品位、更には経済性調査を以下のとおり取進めることを提言する。

(1) Songwe地区

本年次までの調査でカーボナタイト中に中希土類の比較的含有量の多いレアアース鉱徴部が地表から深度50mまでの範囲内で確認された。現時点では本鉱徴地のレアアース鉱床としての経済性には疑問があるが、中希土類の含有量が多いことに着目し、将来のために今までに確認された鉱徴部の鉱量、品位の確定化及び深部への連続性を確認し、鉱量の増加を計り、その資料を基に開発に対する経済性の検討を行うことが望まれる。

(2) Tundulu地区

Nathace丘のアパタイト岩、カーボナタイト中にレアアース、磷の鉱徴部が確認された。特に磷は P_2O_5 17%と高品位である。この品位は熔成磷肥資源として開発可能と考えられることから今後は、これら鉱徴部の鉱量、品位の確定化及び鉱量増加を目的として、地化学探査結果、異常値が認められたカーボナタイト岩体へのボーリング調査及びそれらの下部への連続性把握のためのボーリング又は坑道調査を行い、その資料を基に開発に対する経済性の検討を行うことが望まれる。

(3) Chilwa Island地区

本年次調査の結果、中希土類のやや含有量の多いレアアース鉱徴部が認められたアンケライト質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイトと菱鉄鉱質カーボナタイトが混在する部分において、Songwe地区と同じ手法により、将来のために地質精査、ボーリング調査を実施し、鉱量、品位を確認することが望まれる。

なお、Kangankunde地区については、フランスBRGMが探鉱権(Exclusive Prospecting Licence)を与えられ探鉱中であるため提言は省略する。

第Ⅱ部 ランドサット画像解析結果及び 既存資料コンパイル

第II部 ランドサット画像解析結果及び既存資料コンパイル

第1章 調査概要

ランドサット画像解析作業は、写真地質学的判読作業により、本地域全域にわたりカーボナタイト岩体を反映すると考えられる構造を抽出することを目的として実施した。

本解析に使用されたランドサット画像は、5シーン (Fig. 5) のフォールスカラー画像 (縮尺 1/250,000 4-5-7 バンド合成) と白黒画像 (縮尺 1/250,000 7バンド) である。なお、フォールスカラー画像、白黒画像ともGEOPIC画像 (エッジ強調処理及びコントラスト強調処理済画像) を使用した。

第2章 ランドサット画像解析結果

写真地質学的判読作業は、フォールスカラー画像と同一シーン白黒画像とを偽似立体視し、ランドサット画像に現われた円形構造及び線形構造を抽出し、分類を行った。

(1) 円形構造

抽出された 206か所の円形構造 (Fig. 6) をその形態に基づき次の4つのタイプに分類した (Tab. 5)。

- A) 環状突出構造; リングダイク, コーンシート, 火口などの地質構造が推定される。
- B) 環状溝構造; 環状岩脈, 貫入パイプなどの存在が推定される。
- C) 陥没構造; 爆裂火口, 隕石孔などが推定される。
- D) 円錐構造; 貫入岩体, 噴出丘などが推定される。

これら4つのタイプは、いずれもアルカリ火成岩体の環状岩体, リングダイクやコーンシート, そしてこれらに関連するカーボナタイト岩体を暗示する構造である。さらに既存の資料と対比してみると、円形構造として抽出された既知のカーボナタイト岩体, 徴候地の多くはAタイプの環状突出構造に属することが明らかとなった。

また、これらAタイプの円形構造の分布をみると、大きく7つの地域にまとまる (Fig. 7)。すなわち、

- ① East district of Lake Malomde (マロンベ湖東方地域)
- ② West district of Lake Malomde (マロンベ湖西方地域)
- ③ Kangankunde district (カンガンクンデ地域)
- ④ South district of Lake Chilwa (チルワ湖南方地域)
- ⑤ North district of Chiromo (チロモ北方地域)

- ⑥ Chiromo district (チロモ地域)
⑦ South district of Chiromo (チロモ南方地域)

である。

このうち、②、③、④の3地域には、各々いくつかのカーボナタイト岩体が分布している。一方、残りの①、⑤、⑥、⑦の4地域には、岩体の存在が知られていないが、新たなカーボナタイト岩体が発見される可能性のある地域と言えよう。

次に7つの地域に分布する円形構造の特徴を記す。

① Malombe湖東方地域

Malombe湖-Chiuta (チウタ) 湖間の地域でAタイプ円形構造が10か所抽出された。本地域には2体のアルカリ火成岩体が広く分布し、その縁辺部に10か所の円形構造が集中してみられる。これらの円形構造は、一般に直径1 km以下で、ほとんど正円である。また、放射状構造は顕著ではないが、同心円状構造がみられ、カーボナタイト岩体に関連するリングダイクやコーンシートの可能性がある。

② Malombe湖西方地域

Aタイプ円形構造が8か所抽出された。本地域には、Nsalaなど6つのカーボナタイト岩体、鉱徴地が分布している。直径1 km以内の円形構造のものが多く、同心円状構造のものも一部に認められる。

③ Kangankunde地域

Aタイプ円形構造が14か所抽出された。本地域にはKangankundeなど5つのカーボナタイト岩体、鉱徴地が分布している。いずれも直径1~2 kmの正円であり、放射状構造は顕著でないが、同心円状構造が一部によくみられる。

④ Chilwa湖南方地域

Aタイプ円形構造が10か所抽出された。本地域にはTundulu, Songweなど8つのカーボナタイト岩体、鉱徴地が分布している。直径2 kmの正円であり、同心円状構造が顕著のものが一部に認められる。

⑤ Chiromo北方地域

Aタイプ円形構造が4か所抽出された。いずれも直径1 km以内の正円であるが、放射状及び同心円状構造は顕著でない。

⑥ Chiromo地域

Aタイプ円形構造が4か所抽出されたがあまり明瞭ではない。

⑦ Chiromo南方地域

マラウイ国内で1か所、モザンビーク領内に6か所のAタイプ円形構造が抽出され

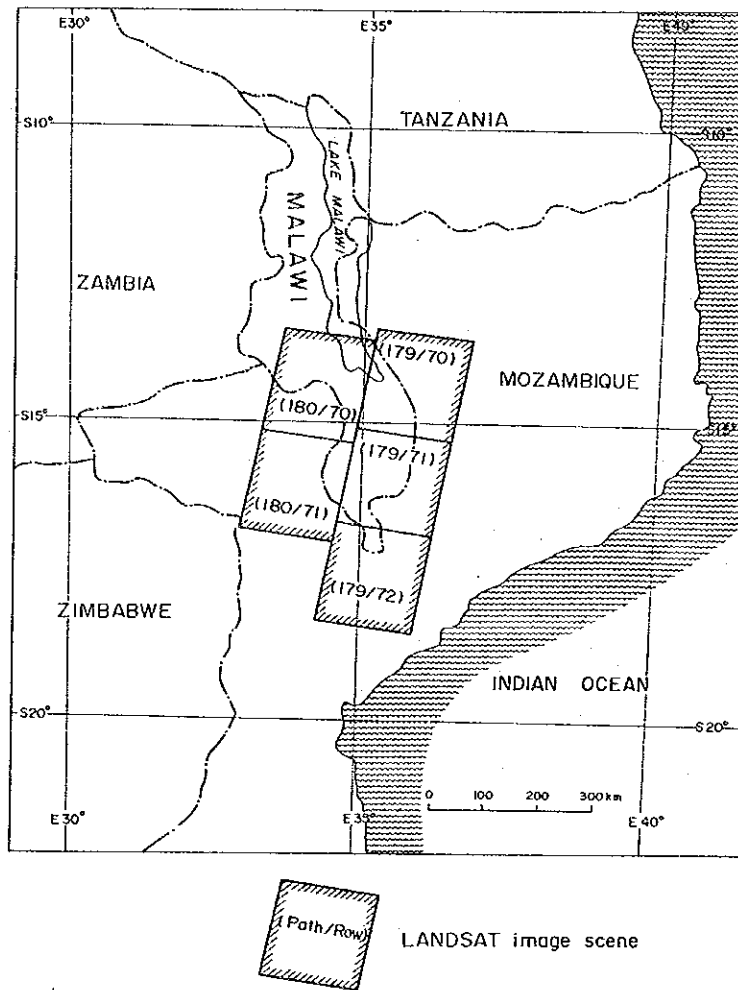
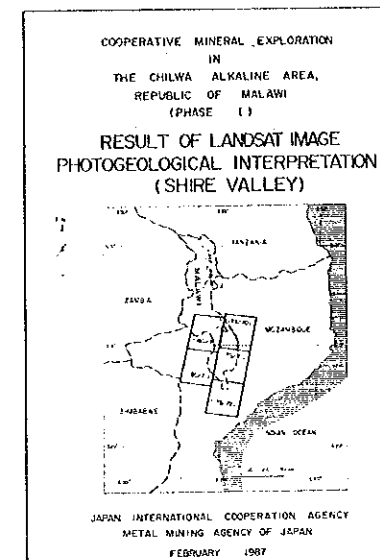
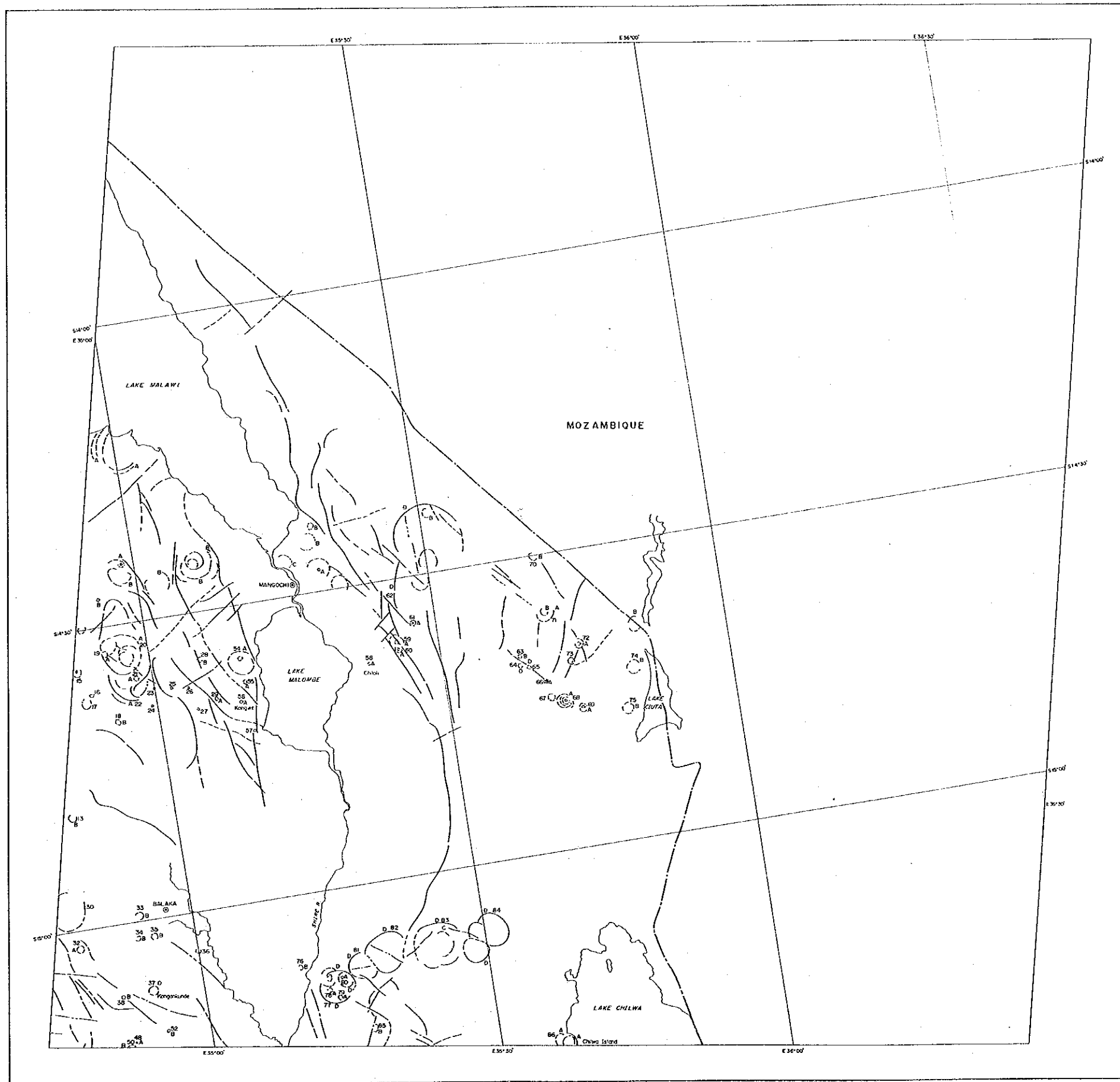


Fig. 5 Location map of LANDSAT image scenes

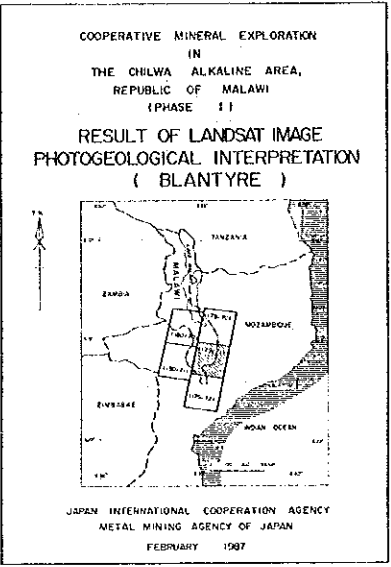
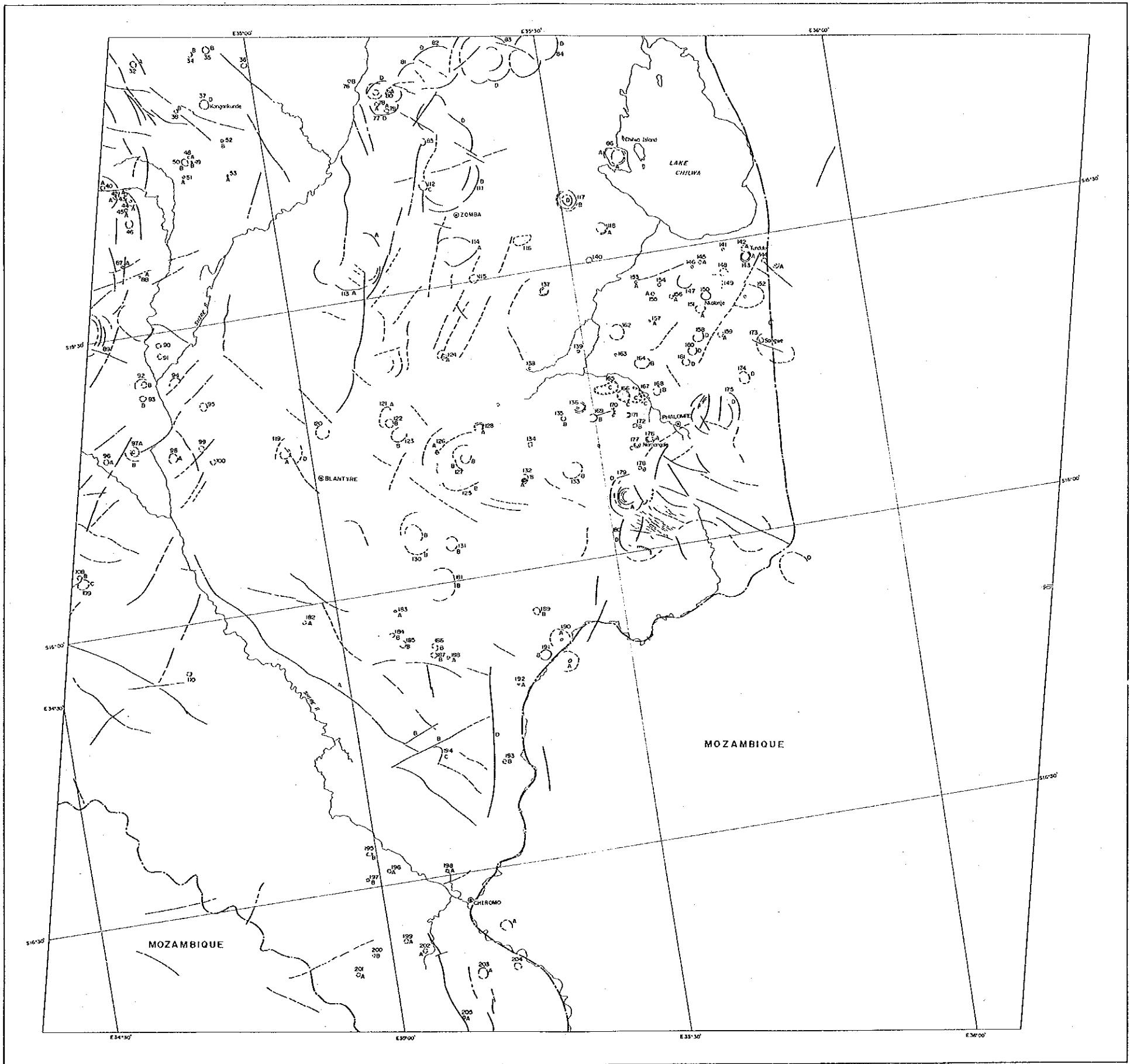
Tab. 5 Classification of circular structure

Type	Illustration	Profile	Inferred geological structure
A. Projected ring structure			ring dyke, cone sheet, crater
B. Depressed ring structure			ring dyke, intrusive pipe
C. Basin structure			explosion crater, meteoric crater
D. Cone structure			intrusive cone, effusive cone



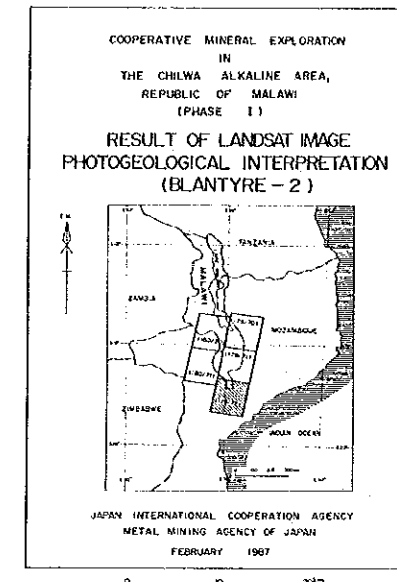
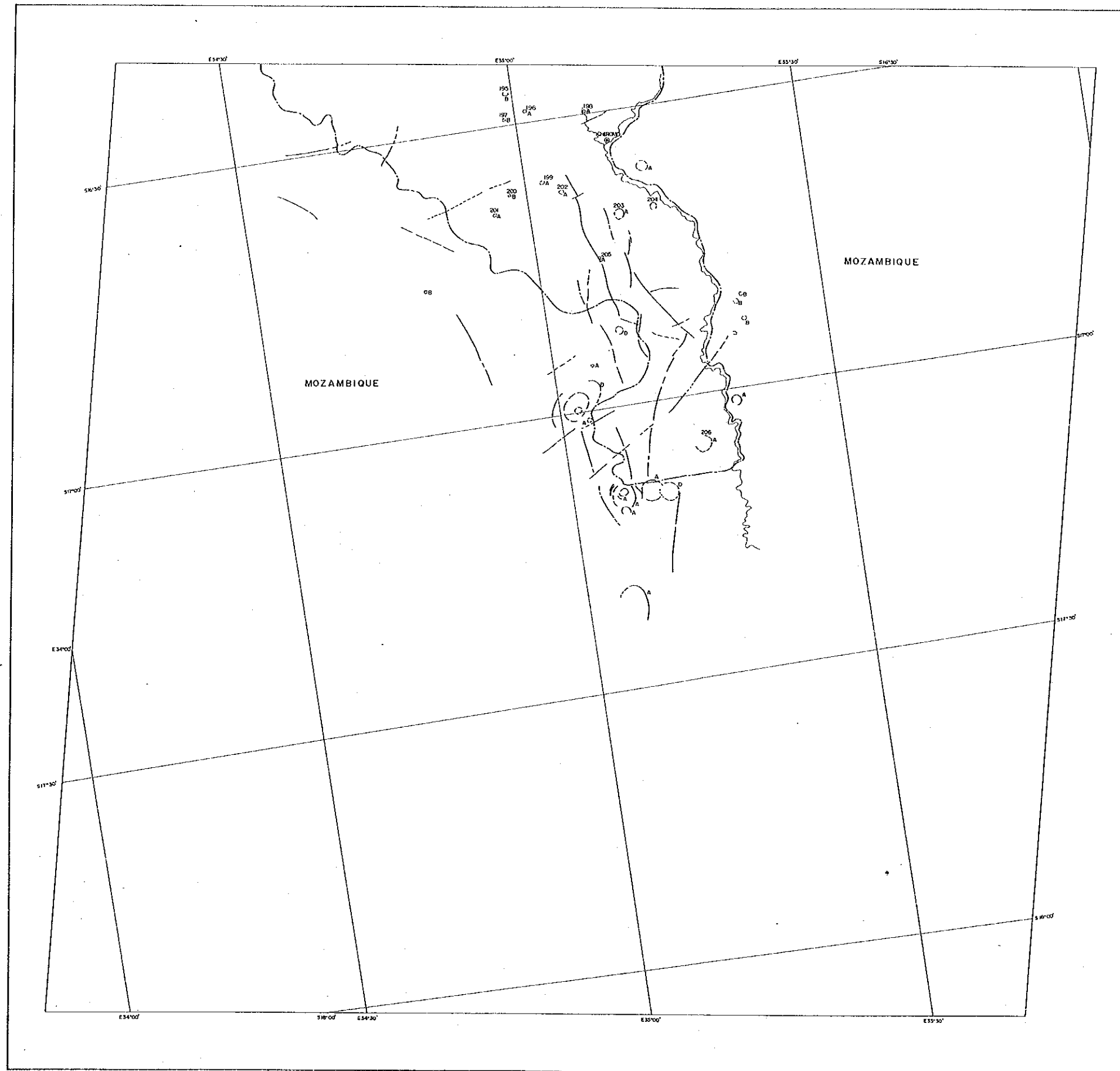
- LEGEND**
- Greater Structure (Clear)
 - Greater Structure (Dim)
 - Lineament (Clear)
 - Lineament (Dim)
 - Basin Structure
 - International Boundary
- A. Projected Ring Structure
B. Depressed Ring Structure
C. Basin Structure
D. Cone Structure

Fig. 6-1 Result of Photogeological Interpretation



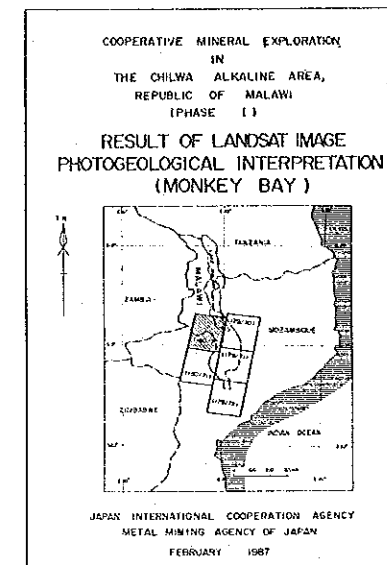
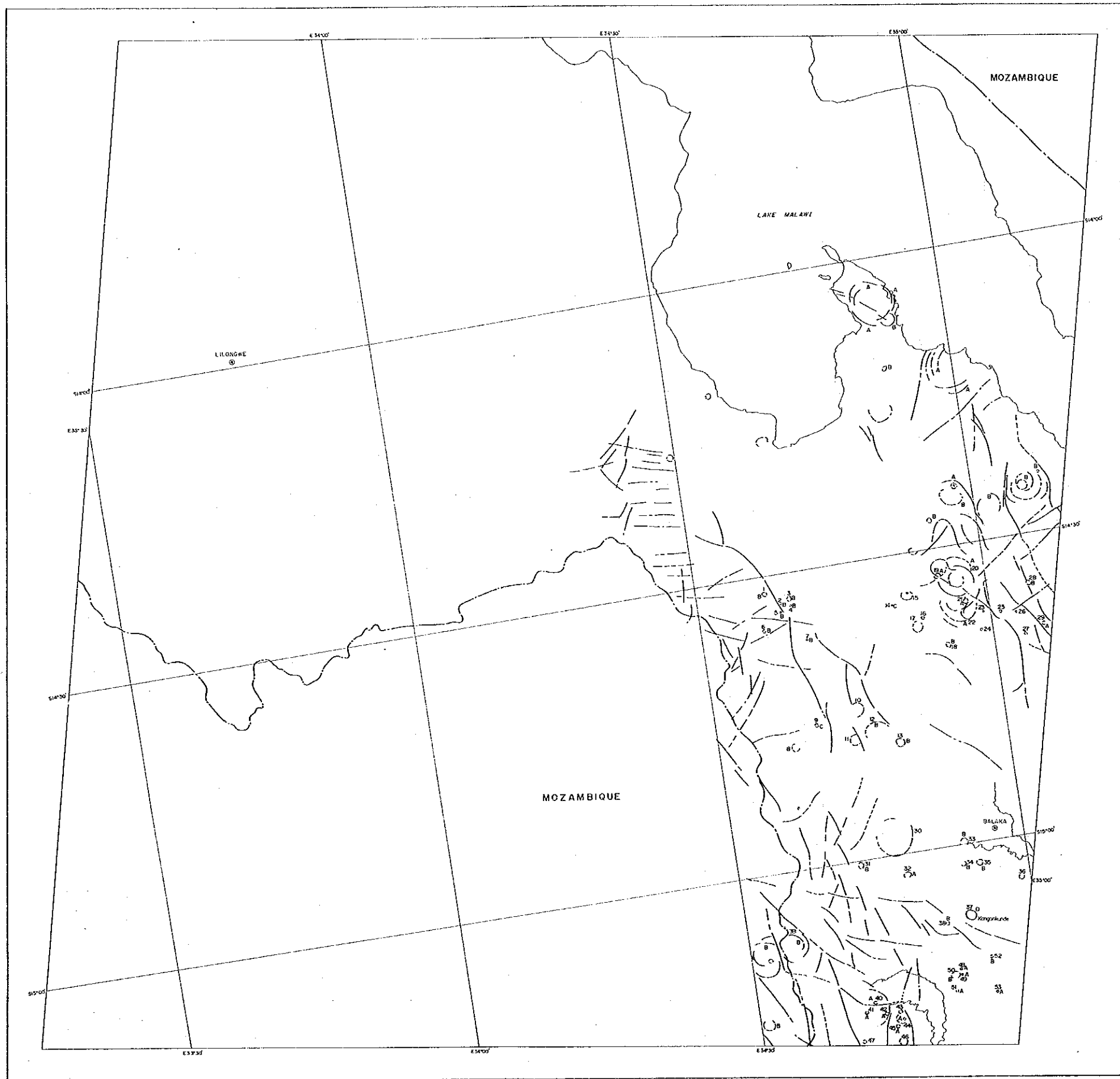
- LEGEND**
- Circular Structure (Clear)
 - ⊙ Circular Structure (Dim)
 - Lineament (Clear)
 - - - Lineament (Dim)
 - ⌒ Basin Structure
 - International Boundary
- A : Projected Ring Structure
B : Depressed Ring Structure
C : Basin Structure
D : Cone Structure

Fig. 6-2 Result of Photogeological Interpretation



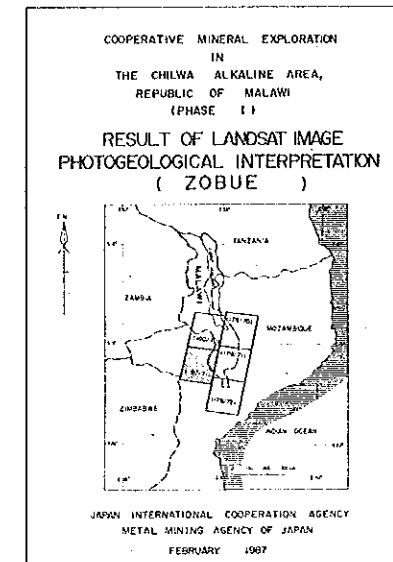
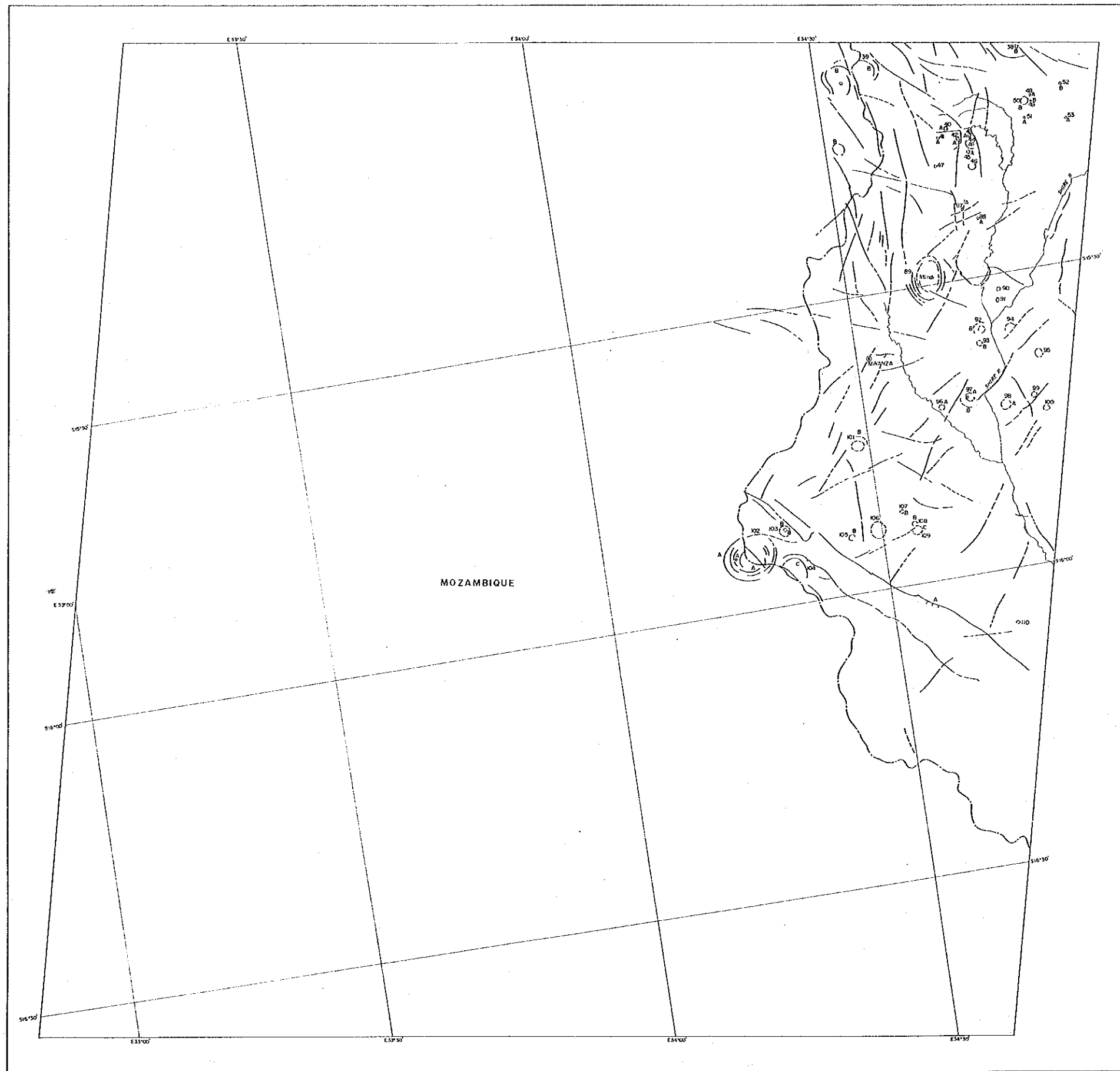
- LEGEND
- Greater Structure (Elev.)
 - Circular Structure (Dm.)
 - Lineament (Elev.)
 - Lineament (Dm.)
 - Basin Structure
 - International Boundary
- A: Projected Ring Structure
B: Depressed Ring Structure
C: Basin Structure
D: Cone Structure

Fig. 6-3 Result of Photogeological Interpretation



- LEGEND**
- Circular Structure (Clear)
 - ⊙ Circular Structure (Dim)
 - Lineament (Clear)
 - - - Lineament (Dim)
 - ⌒ Basin Structure
 - International Boundary
 - A Projected Ring Structure
 - B Depressed Ring Structure
 - C Basin Structure
 - D Cone Structure

Fig. 6—4 Result of Photogeological Interpretation



- LEGEND
- Circular Structure (Clear)
 - ⊙ Circular Structure (Dim)
 - Lineament (Clear)
 - - - Lineament (Dim)
 - ⊖ Basin Structure
 - International Boundary
- A : Projected Ring Structure
B : Depressed Ring Structure
C : Basin Structure
D : Cone Structure

Fig. 6 — 5 Result of Photogeological Interpretation

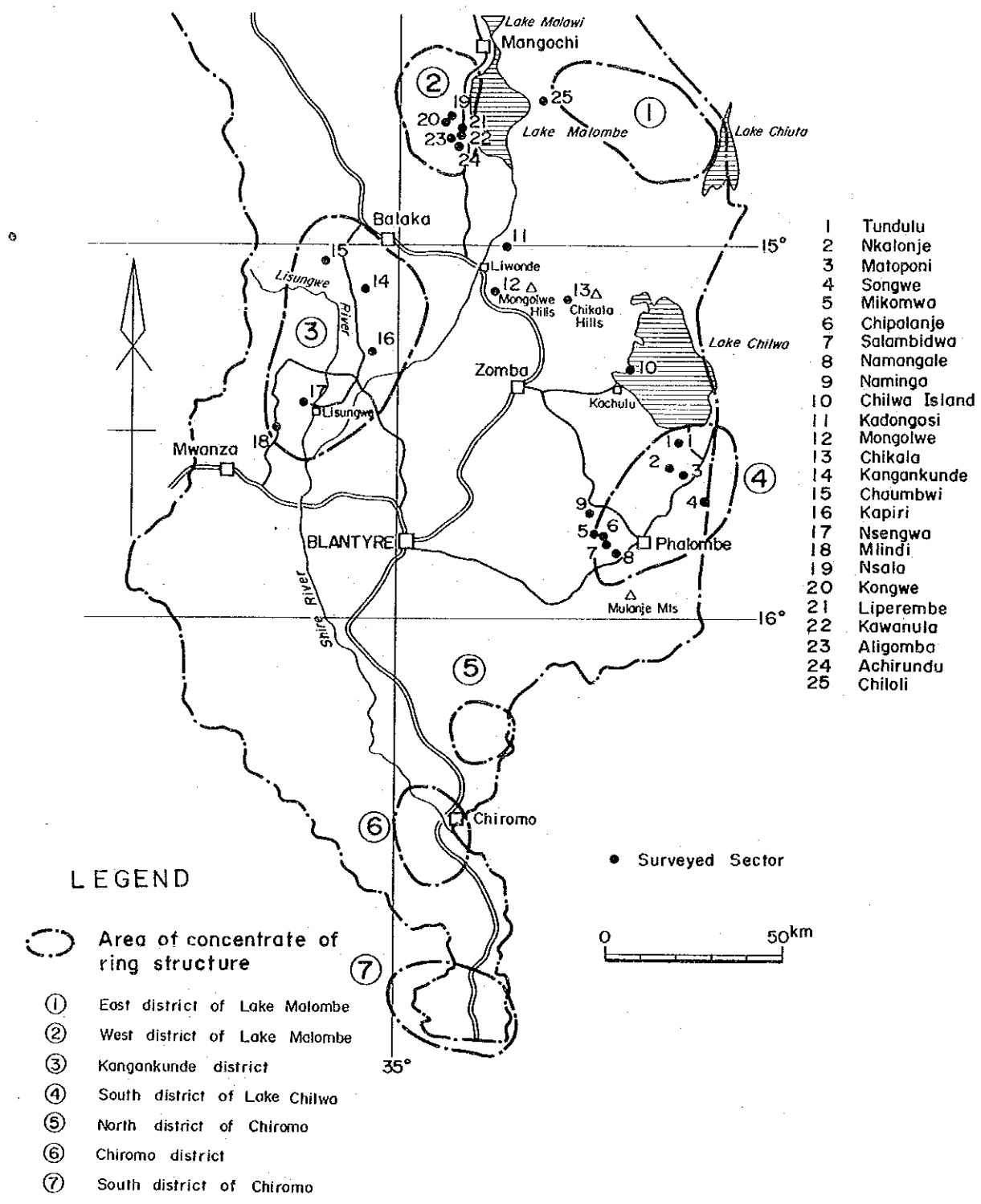


Fig. 7 Distribution of Ring Structures

た。マラウイ国内のものは明瞭な円状構造ではない。

第3章 既存資料コンパイル及びランドサット画像解析総合検討結果

既存資料コンパイル及びランドサット画像解析をまとめた結果をTab. 6に示す。

調査地域のカーボナタイト岩体、鉦徴地は、ランドサット画像解析により円形構造として捕らえられたが、一部のカーボナタイトは捕らえられていない。このことは、カーボナタイトを伴うアルカリ複合岩体が一般に直径1 km以下と小さいことや、岩脈状あるいは火山岩頸状のアルカリ複合岩体の産状が地形的に円形構造として反映していないためと考えられる。

また、カーボナタイトを伴う円形構造の多くは、Aタイプの環状突出構造に属することが明らかとなった。環状突出構造は、アルカリ複合岩体のリングダイク、コーンシート、火口などが組み合わさった同心円状の地質構造と考えられる。このことから、カーボナタイトはアルカリ複合岩体形成の一連の火成活動に伴って産出していることが予想される。

本地域のカーボナタイト岩体の特徴は、ほとんどのものが角礫岩、集塊岩を伴っていることである。また、アルカリ岩として閃長岩、ネフェリン閃長岩、粗面岩、フォノライト、ネフェリナイトなどがみられる。

空中放射能探査のトリウムの異常帯の多くは、カーボナタイトを伴うアルカリ複合岩体を反映し、放射能探査（特にトリウム）がカーボナタイトの探鉱に有効であることを示している。

Tab. 6 Comprehensive result of compilation of previous works and LANDSAT image interpretation

Surveyed sector	LANDSAT		Chilwa alkaline complex				Airborne survey Thorium anomaly
	Circular Structure	Number	Type	Lithology	Occurrence	Type	
1 Tundulu		143	A	nepheline syenite	circular structure	II	anomaly
2 Nkalonje		150	-	nephelinite, nepheline syenite	volcanic neck	II	strong anomaly
3 Katoponi		-	-	phonolite, trachyte	dyke	I	-
4 Songwe		-	-	nephelinite, foyaite	volcanic neck	II	-
5 Mikomwa		-	-	phonolite, sölvbergite	dyke	I	-
6 Chipalanje		-	-	microfoyaite, phonolite	dyke	I	-
7 Salambidwa		172	B	phonolite	dyke	I	-
8 Namangale		176	A	phonolite, microfoyaite	volcanic neck	II	anomaly
9 Namanga		165	C	(gneiss, granite)	(dome structure)	-	strong anomaly
10 Chilwa Island		86	A	nepheline syenite, phonolite	ring dyke, cone sheet	II	strong anomaly
11 Kadongosi		-	-	foyaite, phonolite	volcanic neck	I	-
12 Mongolwe		-	-	pulaskite, nephelinite	ring neck	I	-
13 Chikala		-	-	syenite			
14 Kangankunde		37	D	pulaskite, foyaite	volcanic neck	I	-
15 Chaumbwi		32	A	nephelinite, phonolite	circular structure	II	strong anomaly
16 Kapiri		-	-	microsyenite	volcanic neck	I	-
17 Nzungwa		-	-	(ultrabasic rocks)	dyke	I	-
18 Mlindi		89	-	microfoyaite, phonolite	ring dyke	I	-
19 Nsala		-	-	nephelinite, phonolite	(ring structure)	-	-
20 Kongwe		56	A	nephelinite, phonolite	ring neck	I	anomaly
21 Liperembe		-	-	nephelinite, phonolite	circular structure	I	anomaly
22 Kavanula		-	-	nephelinite, lamprophyre	volcanic neck	I	-
23 Aligomba		-	-	phonolite	volcanic neck	I	-
24 Achirundu		57	-	phonolite	volcanic neck	I	-
25 Chiloli		58	A	(granulite, gneiss)	(dome structure)	-	strong anomaly

Note 1: Type of circular structure from LANDSAT image

- A: projected ring structure
- B: depressed ring structure
- C: basio structure
- D: cone structure

Note 2: Type of carbonatite and associated alkaline complex

- I: volcanic cone
- II: volcanic neck
- III: upper plutonic stem
- IV: deep-steated plutonic stem

Note 3: Thorium anomaly by airborne radiometric survey
strong anomaly: 500 c.p.s. and over
anomaly: 500 ~ 250 c.p.s.

(after Garson, 1965)

第Ⅲ部 Songwe地区

第III部 Songwe地区

第1章 地質 (Fig. 8)

本地区を構成する岩石は次のとおりである。

時 代	岩 石
ジュラ紀後期 ～白亜紀前期	“チルワーアルカリン岩石区” カーボナタイト (方解石質, アンケライト質) 角礫岩類 (集塊岩, 長石化角礫岩) 変質岩 (炭酸塩-珪酸塩岩) ネフェリン閃長岩 岩脈類 (フォノライト, トラカイト他)
先カンブリア紀後期 ～カンブリア紀前期	片麻岩類

先カンブリア紀後期からカンブリア紀前期の本地区の基盤をなす片麻岩類は調査地区東部 Chenga (チェンガ) 丘, 西部 Phempezu (ペンペズ) 丘に分布し, 花崗岩質片麻岩, 黒雲母片麻岩等からなる。

“チルワーアルカリン岩石区”の岩石は, Chenga 丘東部から Songwe 丘及びその南部に分布する。

ネフェリン閃長岩は, Songwe 丘の南部に広く分布する。岩相は灰色中粒を呈し, 桃色ネフェリン, 暗緑色輝石を含む。鏡下では, マイクロパーサイト, ネフェリン, カンクリナイト, エジリン輝石を多く含み, チタン石, 磁鉄鉱, 方ソーダ石, アパタイトなどが認められる。

角礫岩類は, Songwe 丘を中心に東西800m, 南北1,000mの範囲とその北方と北西方に小露頭が分布する。カーボナタイトはこの角礫岩類中に認められる。本岩類中には長石化角礫岩と集塊岩が含まれる。

カーボナタイト(*)は, 方解石質カーボナタイト (ソーバイト), アンケライト質カーボナタイトがある。これらは Songwe 丘の北斜面の角礫岩類分布域にのみ分布し, 不規則塊状及び脈状の形態を呈する。このうち最大の規模を有するものは東西350m, 南北200mである。

方解石質カーボナタイトは灰白色, 淡褐色を呈し細粒である。鏡下ではモザイク組織を呈し, 方解石, 針鉄鉱を主とし, モナズ石, バストネサイト, シンチサイト, パイロクロア等が認められる。

アンケライト質カーボナタイトは暗褐色ないし黒色を呈し細粒である。これらのカーボナタイトはしばしばマンガン鉱を含む。鏡下ではシンチサイト、パリサイト、パイロクロア、アパタイト等が認められる。

カーボナタイト岩体中には、螢石、重晶石の細脈が認められる部分がある。

変質岩はSongwe丘東斜面のネフェリン閃長岩と角礫岩類の境界部及び角礫岩中に分布する。岩相は暗灰色、細粒塊状を呈し、炭酸塩化変質がいちじるしい。一部においては、ネフェリン閃長岩の捕獲岩が認められる。鏡下では斑晶組織が認められる。構成鉱物はカリ長石、針鉄鉱を主とし、アパタイト、緑泥石、シンチサイト、パリサイト等が認められる。

岩脈類はフォノライト、トラカイト等が認められる。フォノライトは斑晶組織を呈するものから細粒緻密なものがあり、一部では黒雲母に富む。

地質構造はSongwe丘を中心とする直径略700m、比高略300mの円錐構造が認められる。Songwe地区のカーボナタイトはこの円錐構造中に認められる。カーボナタイト中の線構造はN-S、NE-SW系が卓越し、急傾斜である。

この円錐構造はネフェリン閃長岩中にカーボナタイトを伴う岩石の貫入によって生じた火道と考えられている (Garson, 1965)。

(※) カーボナタイト区分 (フィールド) : 肉眼鑑定と室内研究結果の対比はTab. 14に詳述する。

○方解石質カーボナタイト : 白色ないし灰色、細～中粒方解石を主成分鉱物とする。

濃度1:10希塩酸で激しく発泡する。

○アンケライト質カーボナタイト : 褐色ないし暗褐色、細粒、方解石を含む。

○菱鉄鉱質カーボナタイト : 褐色ないし黒色、粗粒菱鉄鉱を含むか又は溶脱。

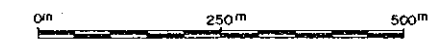
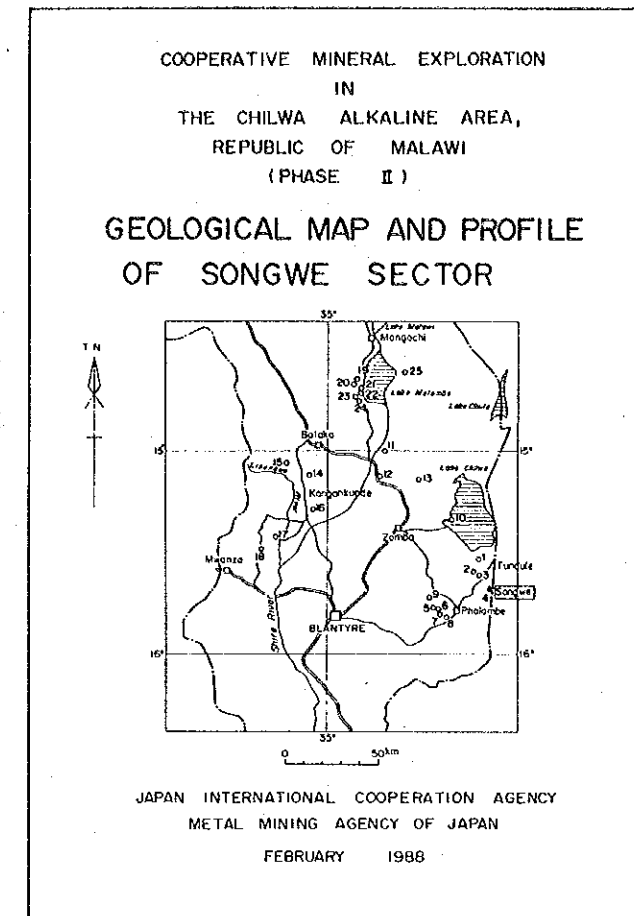
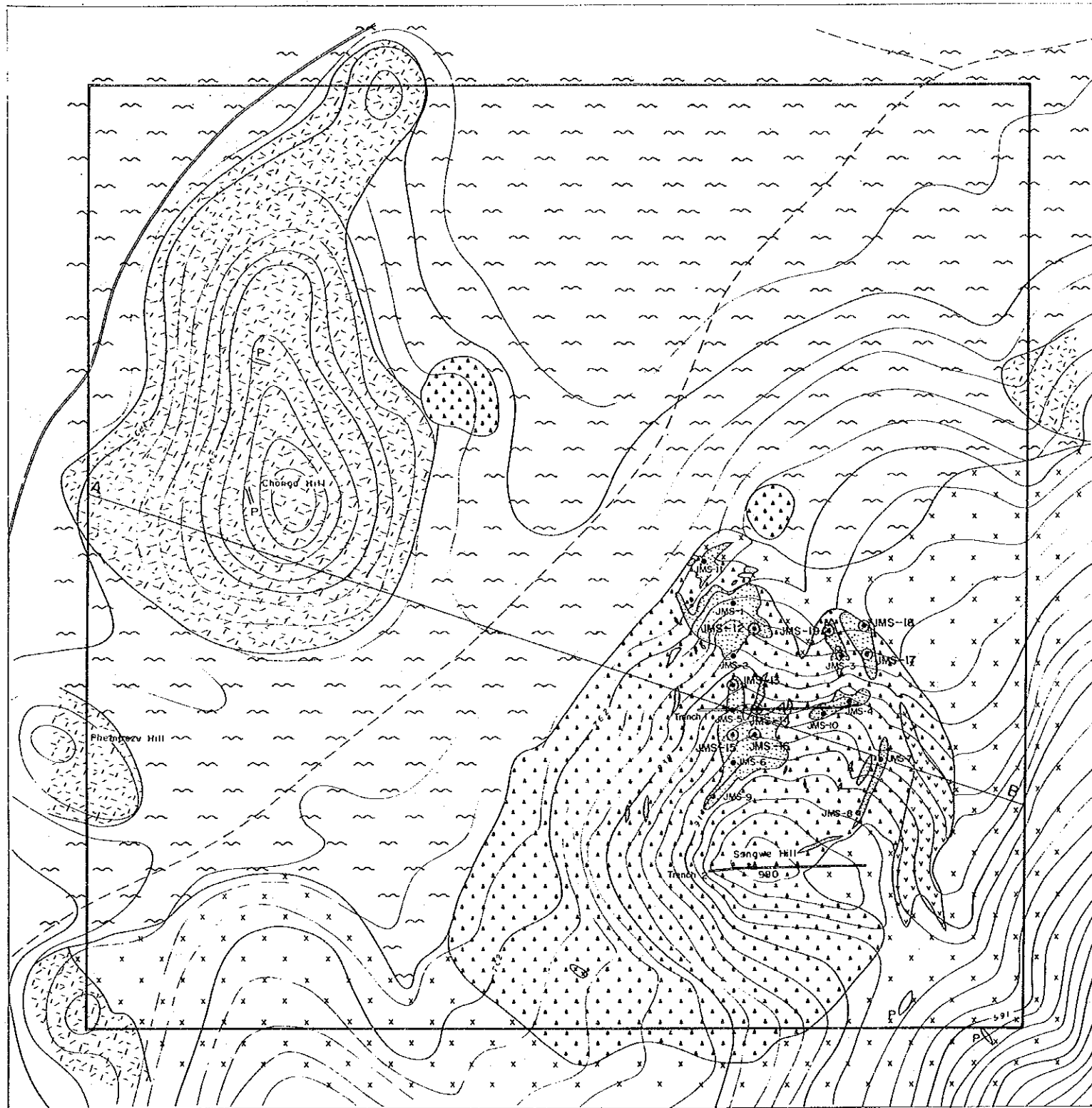
第2章 地化学探査結果

地化学探査試料は原則としてカーボナタイトを採取した。採取試料数は151件である。分析元素は10成分である。分析下限は下表に示すとおりである。

(ppm)

Element	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P
limit	1	2	5	0.1	0.1	0.1	10	1	10	10

本地区の各元素、分析値のヒストグラムを検討したところ、ほとんどの分析値は正規分布



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Agglomerate / feldspathic rock
- Calc-silicate rock
- Dyke P phonolite
- Nepheline syenite
- Gneiss
- Drilling site (1987) Drilling site (1988)
- Trench (1987)
- Profile line

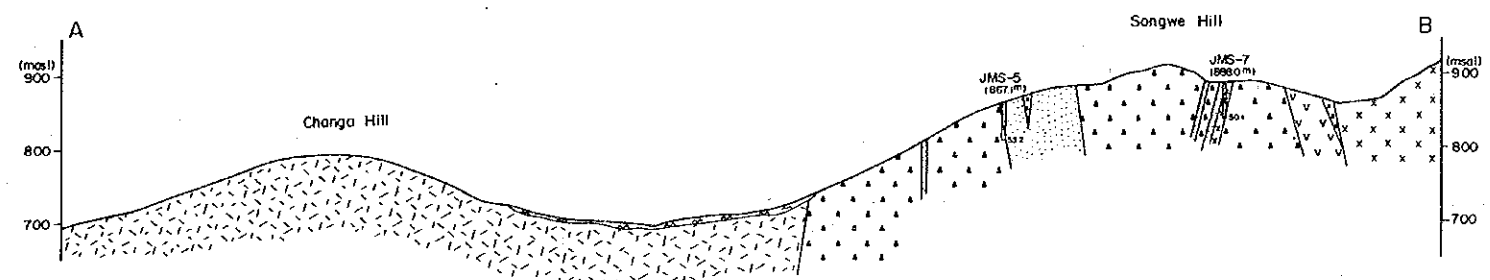


Fig. 8 Geological map and profile of Songwe sector

でなく、対数正規分布を示している。このため、以下の統計解析では、分析値を対数値に変えて処理した。

2-1 統計値

Songwe地区の分析元素含有量、酸化レアアース量（REO）の統計値及び地殻中の存在度をTab. 7に示す。各元素の平均値は、地殻中の存在度に比べ10倍以上の値を示す（カーボナタイト以外の岩石中のSrのみ1.7倍）。このことはこれら元素がSongwe地区カーボナタイトの指示元素として有効であると考えられる。

Tab. 7 Statistical values of geochemical survey, Songwe

Element	Rock type	No. of Samples	Max.	Min.	Mean	M + 1S	Abundance (Earth Crust)
La	Carbonatite	79	14949	103	1799	4974	25
	Others	72	7305	33	765	2095	
Ce	Carbonatite	79	18252	162	3515	9353	81
	Others	72	12723	53	1395	3856	
Nd	Carbonatite	79	5034	<5	1191	3769	20
	Others	72	6246	<5	507	1816	
Sm	Carbonatite	79	822.0	<0.1	160.2	759	4
	Others	72	944.0	1.4	108.7	345	
Eu	Carbonatite	79	235.4	<0.1	48.3	167	0.8
	Others	72	181.2	0.7	28.9	83	
Tb	Carbonatite	79	137.7	<0.1	25.1	83	0.5
	Others	72	173.4	<0.1	6.3	80	
Nb	Carbonatite	79	7001	45	594	1826	20
	Others	72	3851	<1	511	1757	
Sr	Carbonatite	79	43085	623	4181	10355	300
	Others	72	12513	200	955	2317	
Y	Carbonatite	79	2587	10	238	706	38
	Others	72	1316	5	171	466	
P	Carbonatite	79	107982	80	3344	14515	900
	Others	72	96765	<5	2753	12510	
REO	Carbonatite	79	45893	411	8679	23072	
	Others	72	33279	142	3773	10190	

2-2 異常値分布

地化学探査異常値はSongwe地区の各元素及びREOの平均をM、標準偏差をSとし、しきい値及び異常値を次式により求めた。

$$\text{しきい値} = M + 1S$$

$$\text{異常値} \geq M + 1S$$

しきい値はTab. 7に、異常値分布はFig. 9に示すとおりである。本図から、酸化レアアース量及びNb異常値はSongwe丘北斜面に濃集が認められる。

第3章 ボーリング調査結果及び考察 (PL. 1)

本地区は地質調査結果、以下のことが明らかとなった。カーボナタイトを含む岩体はSongwe丘を中心に円錐構造を呈し分布する。この円錐構造は基盤岩類中にカーボナタイトが貫入し、生成された火道と考えられる。この火道中に胚胎するカーボナタイトは方解石質及びアンケライト質のものが卓越する。

カーボナタイトの分布は、角礫岩中に不規則塊状ではあるが略南北に伸びる東西2列に数岩体認められる。このうち西側に分布するものは、巾100mの規模を有し、規模が大である。カーボナタイト岩体中に認められる線構造は、不規則な走向を示す。傾斜は垂直ないし70°を示す。これらカーボナタイト岩体中で海拔略850m以下に分布するものに、レアアース鉍微部が確認されている。

鉍微部の特徴はBayan Obo鉍山のカーボナタイトと比べてEu, Tbの中希土類が多い特徴がある(Bayan Obo鉍山産カーボナタイト中のSm, Eu等の中希土類含有量はMountain Pass(マウンテンパス)鉍山産のものに比べて2倍以上高いといわれている(Kishimoto, 1985))。

地質調査とボーリング調査の結果をまとめ、本地区の地表部から略50m深までのレアアースを対象としたレアアース鉍床としての概略埋蔵鉍量計算を試みた。なお、本試算には以下の仮定を設けた。

- ボーリング孔中10m以上の鉍微部(分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yの酸化物合計REO > 1.0%)が、ほぼ連続して胚胎するものを対象とした。
- 鉍床範囲の面積は、地表地質調査結果を基に、鉍微部と考えられるカーボナタイトを対象とし算出した。鉍微部の拡がりについては、原則としてボーリング孔から25mまでとした。
- 鉍床の厚さは、各ボーリング着鉍長の算術平均とした。
- 鉍石の比重は3.0とした(方解石2.7, アンケライト3.0~3.1, 菱鉄鉍3.7~3.9及び空隙を考慮)。

試算の結果、本地区の鉍床は6鉍体となり、その各々の鉍量及びREO, Sm, Eu, Tb品位はTab. 8のとおりである(Fig. 10)。

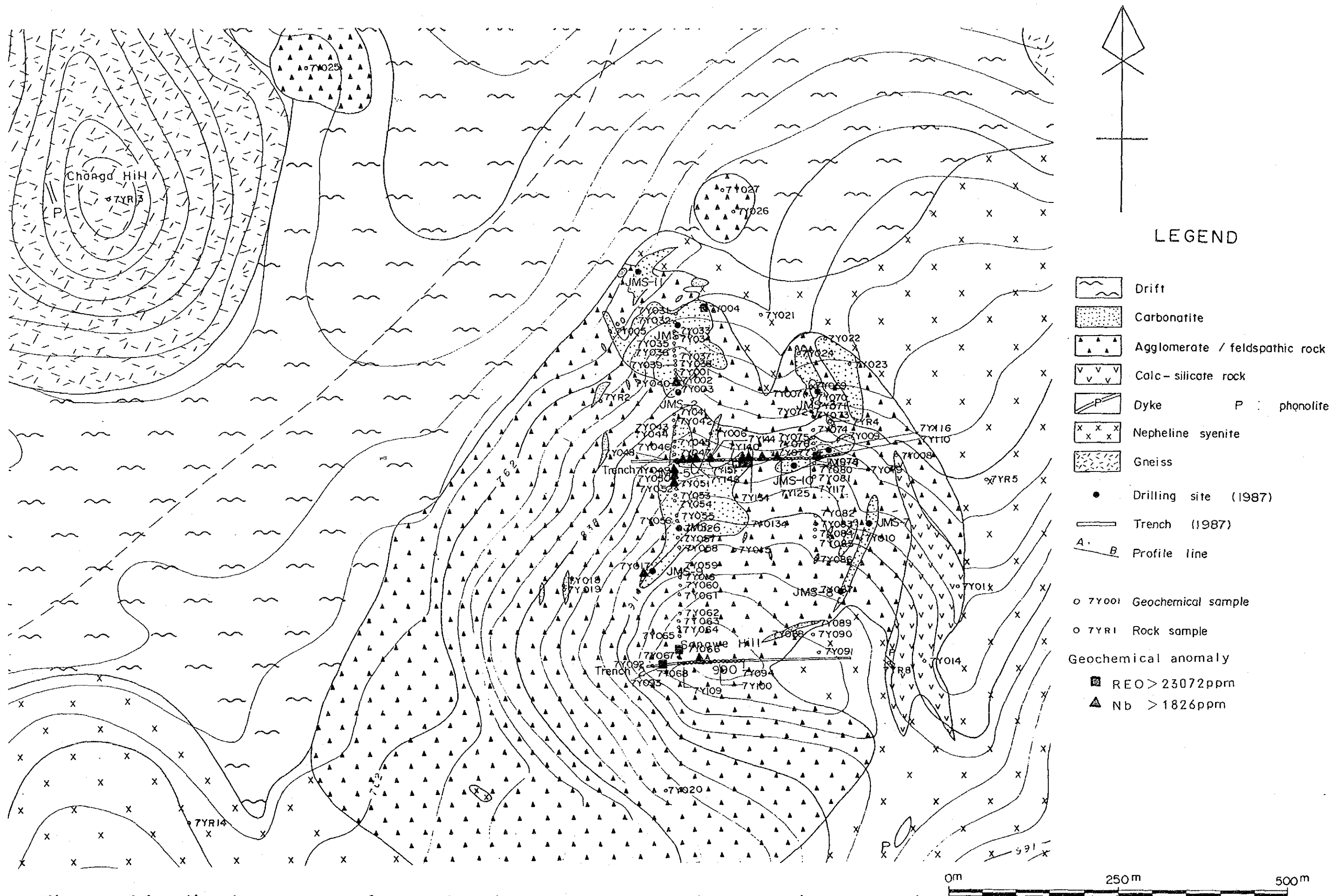


Fig. 9 Distribution map of geochemical anomalies, Songwe (REO, Nb)

Tab. 8 Calculation of ore reserves (REO), Songwe

Block No.	J M S	(m ²) Area	Average (m) Hight	Ore (t) Reserves	Grade (ppm)			
					REO	Sm	Eu	Tb
1	1	1400	16.4	68,880	12,164	265.3	66.6	28.8
2	19	760	12.0	27,360	14,140	353.1	93.4	25.9
3	18	720	15.6	33,700	10,902	217.3	60.8	13.9
4	2	2250	49.6	334,800	30,691	529.5	114.6	31.1
5	5,13,14,15,16	9400	28.3	798,060	13,174	373.5	95.8	34.2
6	4, 10	2350	14.6	102,930	13,620	276.1	73.4	23.7
Total				1,365,730	17,414	394.6	96.3	35.4
Bayan Obo (China)				—	20,000	567	67	17

埋蔵鉍量約 140万 t については、他鉍山との比較は困難であるが品位については、REO 1.7%は Bayan Obo 鉍山のそれと比べてやや低い Eu, Tb 等の中希土類品位はそれぞれ 1.5倍、2倍の値を示し高い。

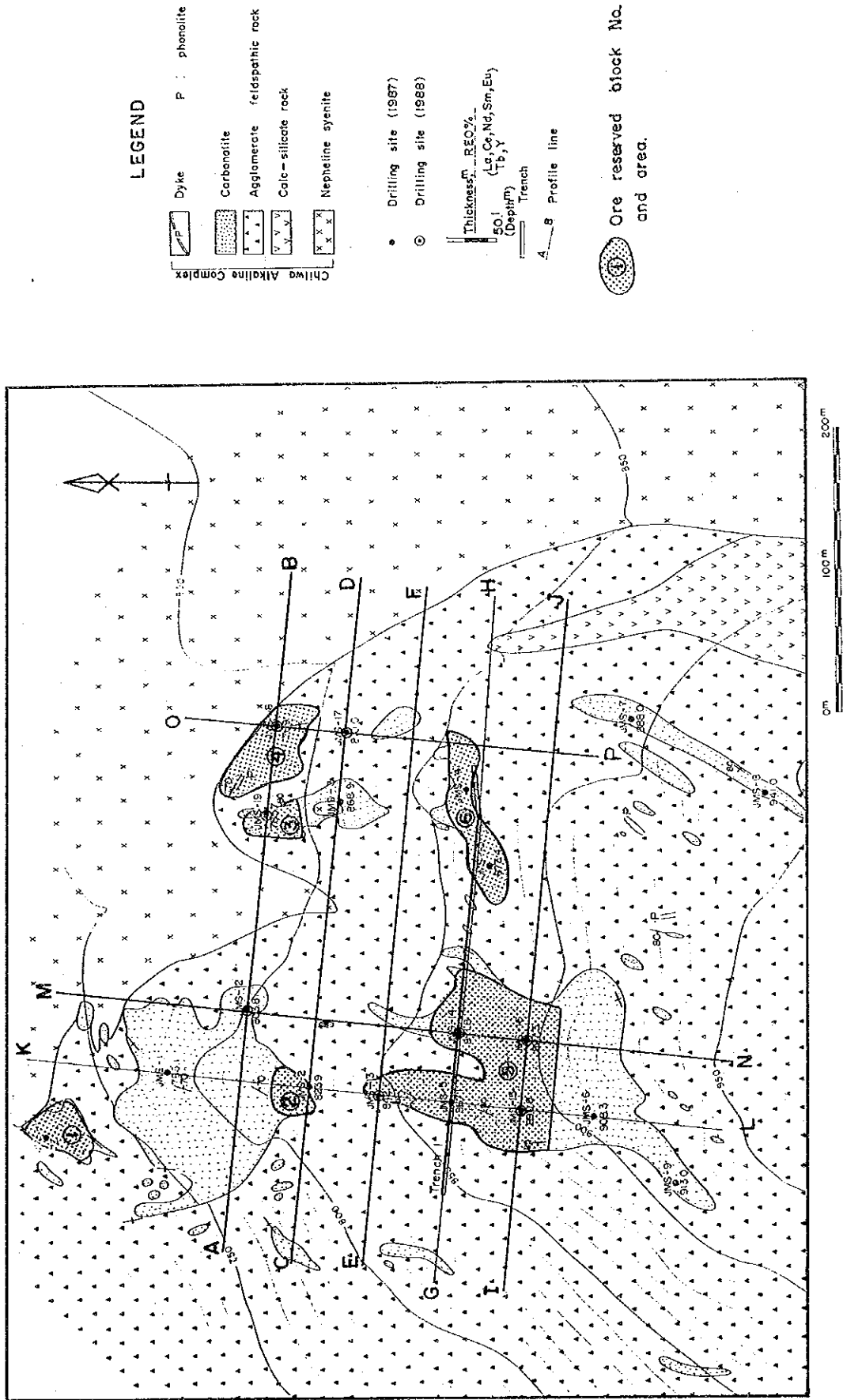


Fig.10 – 1 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe

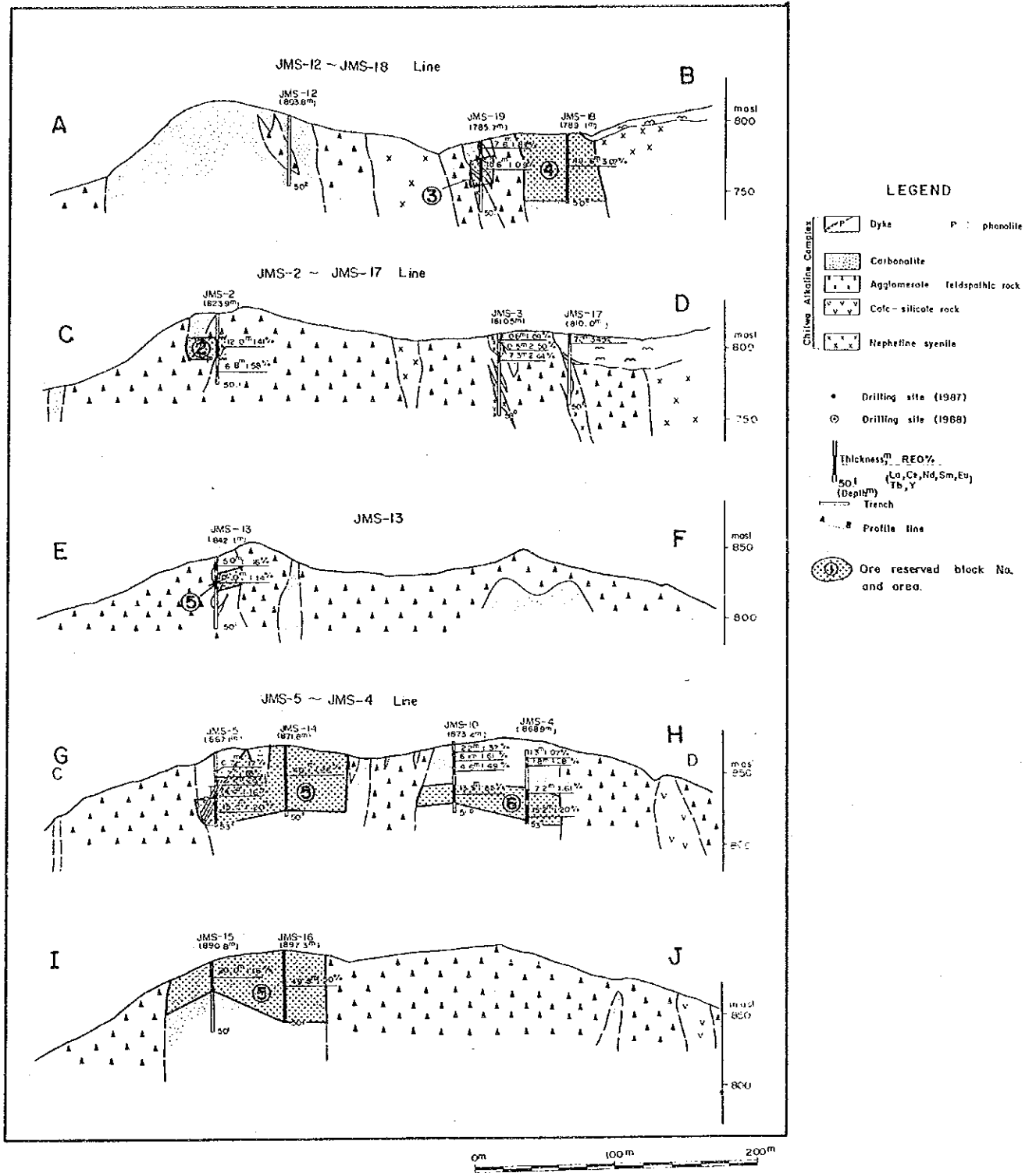


Fig.10-2 Geological section of drill holes
and map of ore reserves (REO), Songwe
- W·E section -

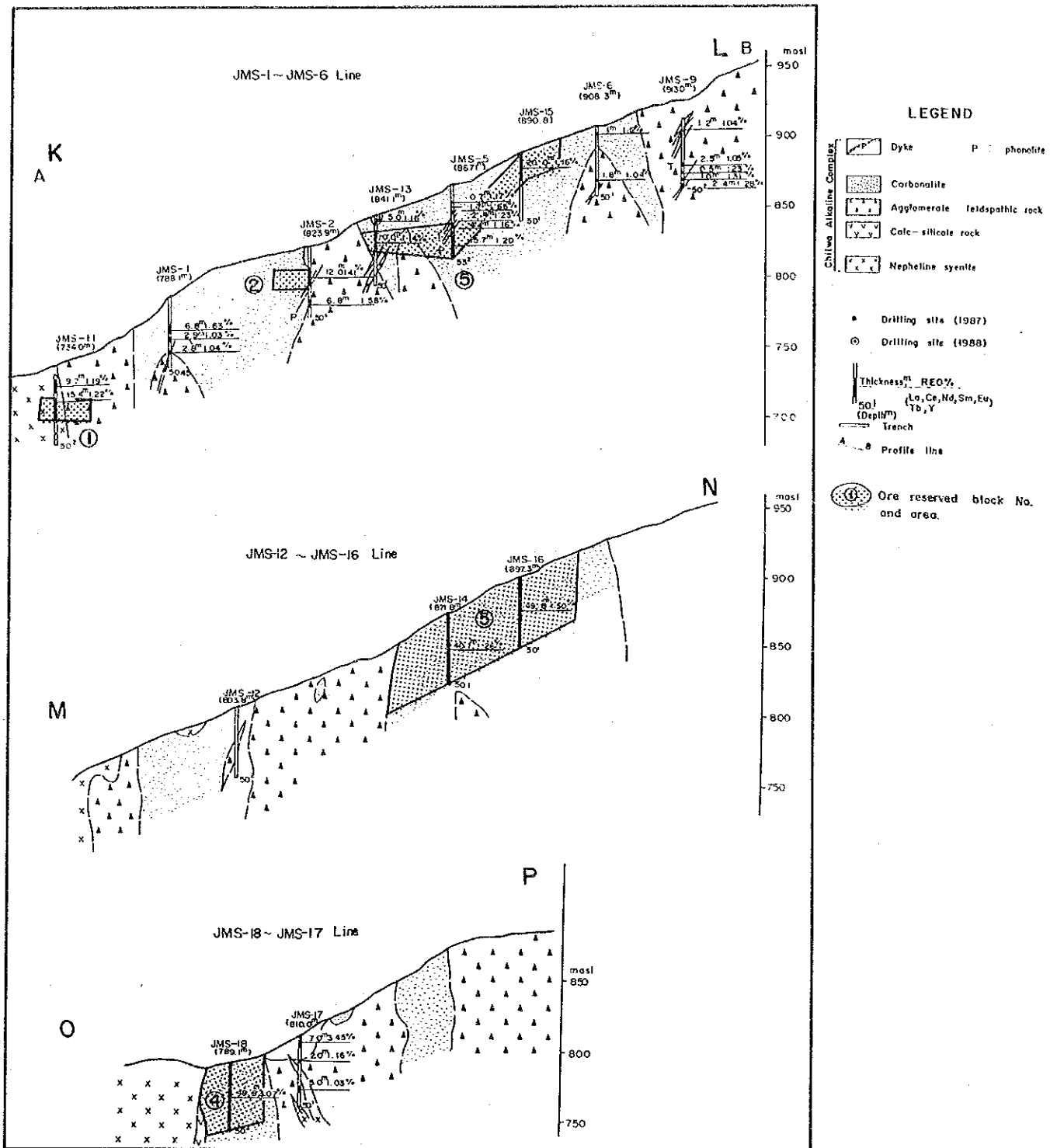


Fig.10-3 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe - N-S section -



第Ⅳ部 Tundulu地区

第IV部 Tundulu地区

第1章 地 質 (Fig. 11)

本地区を構成する岩石は、次のとおりである。

時 代	岩 石
ジュラ紀後期 ～白亜紀前期	“チルワーアルカリン岩石区” カーボナタイト（方解石質，アンケライト質，菱鉄鉱質） アパタイト岩 角礫岩類（集塊岩，長石化角礫岩） 変質岩（炭酸塩—珪酸塩岩） ネフェリン閃長岩 岩脈類（フォノライト，ソルブスパーガイト，トラカイト他）
ジュラ紀前期	ドレライト
先カンブリア紀後期 ～カンブリア紀前期	片麻岩類，閃長岩類

基盤をなす先カンブリア紀後期～カンブリア紀前期の片麻岩類，閃長岩類は調査地区南部 Chigwakwalu (チグワクワル) 丘，西部 Makhanga (マクハンガ) 丘，北西部 Namuka (ナムカ) 丘，Namilembia (ナミレンビア) 丘に分布する。片麻岩類は黒雲母片麻岩，花崗岩質片麻岩などである。閃長岩類は帯灰白色の石英を少量含むものが卓越する。

ドレライトは基盤岩類に貫入している。Namilembia 丘で認められるドレライト岩脈は走向 N55° E，傾斜略垂直で巾 0.5m～2m である。鏡下ではオフィティック組織が認められる。

“チルワーアルカリン岩石区”岩石は，主として調査地区中央部 Nathace 丘から東部 Tundulu 丘，南部 Chigwakwalu 丘西斜面，Makhanga 丘東，北斜面及び北部 Kamilala (カミララ) 丘にかけて環状に分布する。

ネフェリン閃長岩は Nathace 丘の西，南，東部に分布する。岩相は，淡緑色，緻密堅硬で中粒，等粒状組織が認められる。鏡下ではネフェリン，正長石，黒雲母，エジリン輝石に富み，カンクリナイト，方解石，チタン石，アパタイトなども認められる。K-Ar 法年代測定の結果は，132.4～136.2Ma を示し，白亜紀前期の貫入時期を示す (JICA and MMAI, 1987)。

角礫岩類は，Nathace 丘，Tundulu 丘，Kamilala 丘に分布する。本岩類中には，淡紅色ないし紅褐色の長石に富む角礫状岩石からなる長石化角礫岩と基盤岩類，凝灰岩，トラカイト，

フォノライト等岩石片からなる集塊岩がある。この角礫岩類中にはしばしばカーボナタイト礫が含まれる。これらの礫間充填物は炭酸塩鉱物であることが多い。角礫の大きさは、数cm大から数m大に達する。

アパタイト岩は、Nathace丘とMakhanga丘東部に分布する。岩相は細粒で白色から淡桃色を呈し、一部に暗褐色菱鉄鈹斑晶が認められる。鏡下では、アパタイト、石英に富み、アルカリ長石、褐鉄鈹、ルチル、ジルコン、シンチサイト、パイロクロア等が認められる。アパタイトは細粒状(0.1 mm大)で自形をなす。

カーボナタイトは方解石質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイト、菱鉄鈹質カーボナタイトが認められる。方解石質カーボナタイトは、Tundulu丘、Kamilala丘及びMakhanga丘東部に広く分布する。アンケライト質及び菱鉄鈹質カーボナタイトはTundulu丘南部及びNathace丘に分布する。方解石質カーボナタイトは細粒ないし中粒の白色方解石を主成分鉱物とする。岩相は灰白色、緻密で磁鉄鈹に富む。鏡下ではモザイク組織を呈し、方解石、ドロマイト、黒雲母、エジリン輝石、アパタイト、少量の不透明鉱物が認められる。

アンケライト質カーボナタイト及び菱鉄鈹質カーボナタイトは暗灰色ないし暗褐色を呈し、細粒のアパタイト、バストネサイトが肉眼で観察され、鏡下ではモナズ石、パイロクロアが認められる。

変質岩はTundulu丘西斜面のネフェリン閃長岩と角礫岩類の境界部に分布する。岩相は細粒ないし中粒で黒雲母、磁鉄鈹に富む。一般に炭酸塩化変質作用を被っているが、一部においてネフェリン閃長岩の組織が認められる。本岩はネフェリン閃長岩中にカーボナタイトが貫入した際、これらの境界部付近の混成作用によって生成されたものと考えられている(Garson, 1965)。

岩脈類はフォノライト、トラカイト、ソルブスパーナイト等が認められる。これらアルカリ岩岩類は基盤岩の分布する部分においてよく認められる。岩脈の規模は巾数mである。

地質構造の特徴は“チルワーアルカリ岩石区”の岩石が2つの同心円状環状構造に沿って分布することである。第1の環状構造は、Tundulu丘、Chigwakwalu丘、Makhanga丘東部、Kamilala丘を通る円形を形成し直径約2,000mである。第2の環状構造はNathace丘を中心とする直径500m~600mである。

Garson(1962)は、応力パターンの解析を行い、第1環状構造を形成した、火成活動の中心は現在の地表下1,200m~1,300mにあり、第2のそれは2,400m~3,000mと500m~700mの2か所にあると推定した。

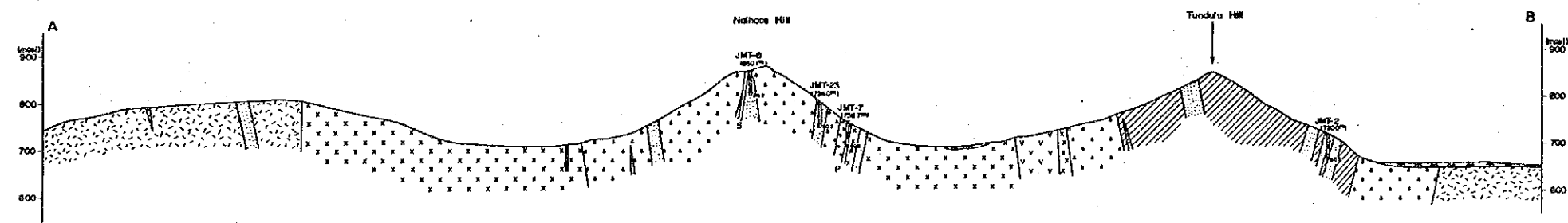
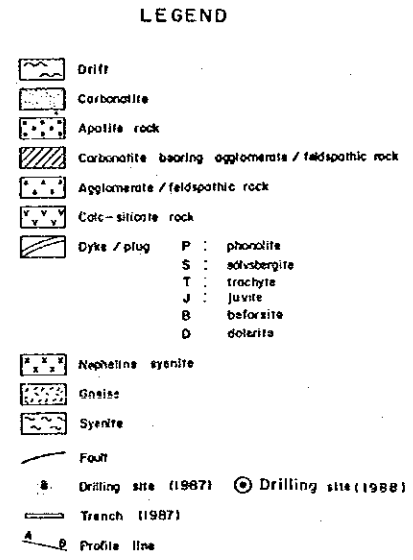
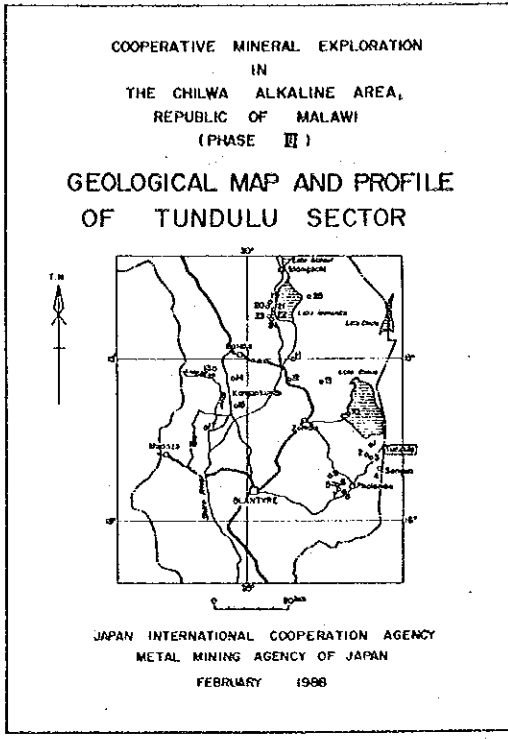
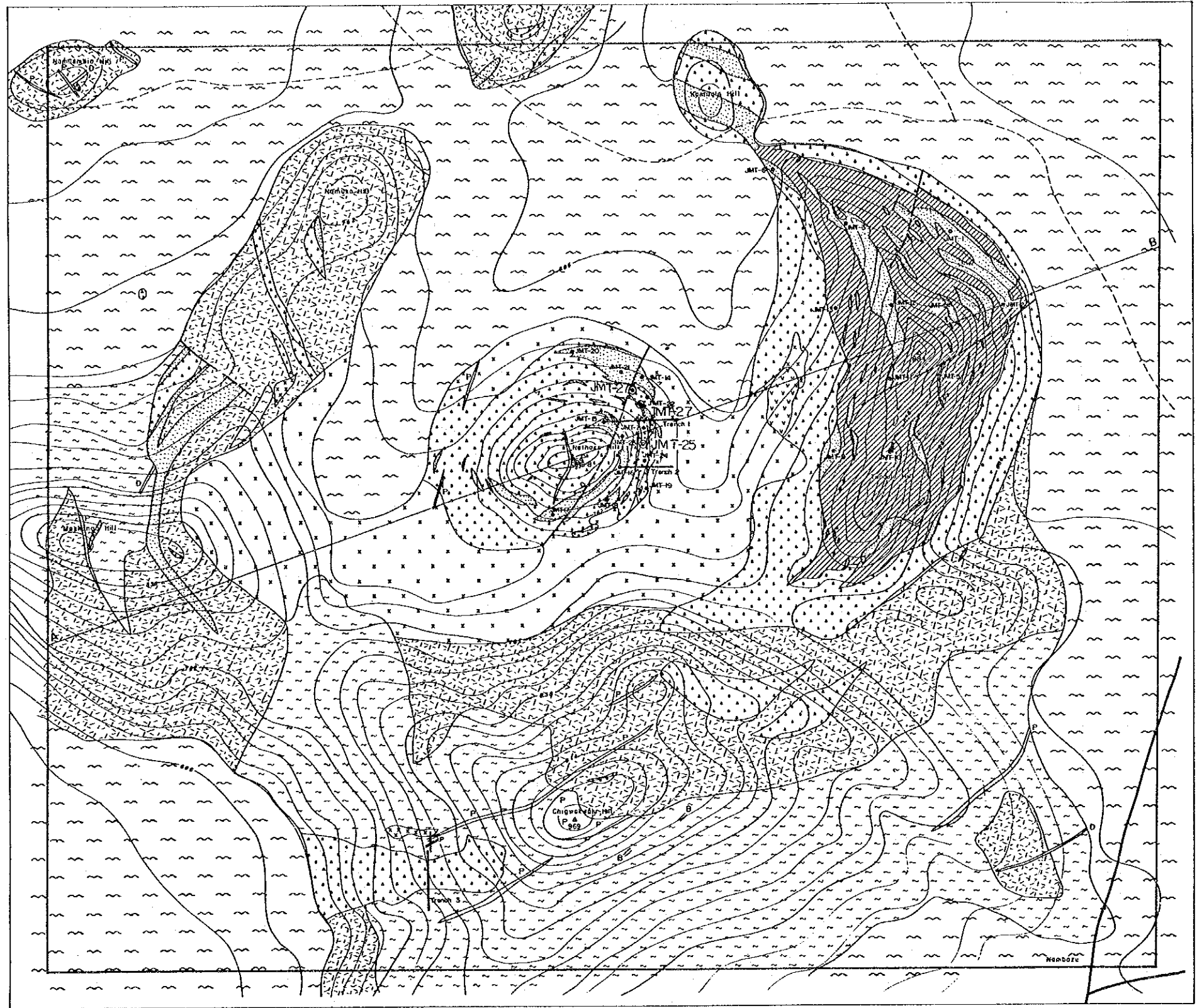


Fig. 11 Geological map and profile of Tundulu sector

第2章 地化学探査

地化学探査採取試料はの分析元素，分析下限，統計解析手法はSongwe地区と同一である。採取試料数は152件である。

2-1 統計値

Tundulu地区の分析元素含有量，REOの統計値及び地殻中の存在度をTab. 9に示す。本地区の分析された各元素の平均値は地殻中の存在度に比べ全元素ともカーボナタイト中において10倍以上の値を示す。このことは，これら元素がTundulu地区カーボナタイトの指示元素として有効であると考えられる。

Tab. 9 Statistical values of geochemical survey, Tundulu

Element	Rock type	No. of Samples	Max.	Min.	Mean	H + 1S	(ppm)
							Abundance (Earth Crust)
La	Carbonatite	108	22610	18	1429	5487	25
	Others	44	18698	<1	134	832	
Ce	Carbonatite	108	26527	21	2452	8892	81
	Others	44	24731	1	242	1458	
Nd	Carbonatite	108	6304	<5	649	2708	20
	Others	44	4973	<5	57	411	
Sm	Carbonatite	108	865.7	<0.1	93.8	564	4
	Others	44	657.9	<0.1	17.9	111	
Eu	Carbonatite	108	106.7	<0.1	22.0	117	0.8
	Others	44	71.7	<0.1	1.4	18	
Tb	Carbonatite	108	317.6	<0.1	2.7	47	0.5
	Others	44	112.2	<0.1	0.4	7	
Nb	Carbonatite	108	9467	<1	183	1257	20
	Others	44	1175	<1	74	444	
Sr	Carbonatite	108	139015	203	4651	18010	300
	Others	44	48820	64	555	2327	
Y	Carbonatite	108	1566	5	133	627	38
	Others	44	1962	5	25	124	
P	Carbonatite	108	145772	<5	6221	57181	900
	Others	44	124135	34	1603	9751	
REO	Carbonatite	108	64073	64	6080	22013	
	Others	44	59026	11	646	3515	

2-2 異常値分布

地化学探査異常値はSongwe地区の手法と同様にして求めた。しきい値はTab. 9に示すとおりである。

異常値分布はFig. 12に示すとおりである。

本地区のレアアース，Nb，Sr，PはNathace丘に分布するカーボナタイト中に異常値が集中する。一方，Tundulu丘のカーボナタイト中には，ほとんど異常値が認められない。

このことは、レアアース、Nb, Sr, P資源としてのポテンシャルからみると、Nathace丘のカーボナタイトがTundulu丘のカーボナタイトに比べて高いことを示すものである。

第3章 ボーリング調査結果及び考察 (Pl. 2)

地質調査結果、以下のことが明らかとなった。本地区のカーボナタイトはTundulu丘とNathace丘に分布し、Tundulu丘のものを外側に、Nathace丘のものを内側にする環状構造が認められる。一般のカーボナタイトを伴う環状構造では、早期に貫入したものは後期の貫入したものに比べ外側に位置し、岩石学的には方解石質カーボナタイトより構成されることが判っている。Tundulu丘カーボナタイトはNathace丘のカーボナタイトの外側に位置し、方解石質カーボナタイトより構成されていることから、カーボナタイトを伴う火成活動の早期に貫入したものと考えられる。

Nathace丘カーボナタイトは方解石質、アンケライト質、菱鉄鉱質カーボナタイト及びアパタイト岩等からなり、その大半はNathace丘東半分の斜面に半環状形態を示し分布する。このカーボナタイトは主要部では菱鉄鉱質カーボナタイトを主とするものと、アパタイト岩、方解石質、アンケライト質カーボナタイトを主とするものが上下2層に分布する。カーボナタイト岩体の構造は、走向がNathace丘をとり巻く方向に変化するが、傾斜は垂直から70°山頂方向に傾斜するものが卓越する。

レアアース及び燐鉱部はNathace丘の2層のカーボナタイト岩体中に胚胎し、2層のカーボナタイト岩体中の下位のものには不規則ではあるが長さ150m、幅20mから30mの規模においてアパタイト濃集岩が認められる。

調査ではNathace丘に分布するカーボナタイト岩体の生成機構を解明する目的で、採取された試料から炭素と酸素の同位体比分析を行った。この結果、アパタイト、石英、方解石からなるアパタイト岩及びアンケライト、菱鉄鉱からなるカーボナタイトは $\delta^{13}\text{C} = -7.4\%$ から -5.4% 、 $\delta^{18}\text{O} = +5.4\%$ から $+8.7\%$ の値を示し、火成岩起源を示唆している。クトナホライト、方解石からなるカーボナタイトは $\delta^{13}\text{C} = -5.0\%$ から -2.3% 、 $\delta^{18}\text{O} = +20.7\%$ から $+22.0\%$ の値を示し、大気中の酸素と天水の酸素の影響をうけた変質作用があったことを示唆している。

更に、Nathace地区のカーボナタイトについてレアアース鉱床、燐鉱床としての可能性の検討を行った。

レアアース鉱床としての概略埋蔵鉱量計算はSongwe地区で設けたものと同じ仮定を設け行った。試算の結果はNathace地区の鉱床は3鉱体となり、それらの鉱量及びREO, Sm, Eu, Tb品位はTab. 10のとおりである (Fig. 13)。

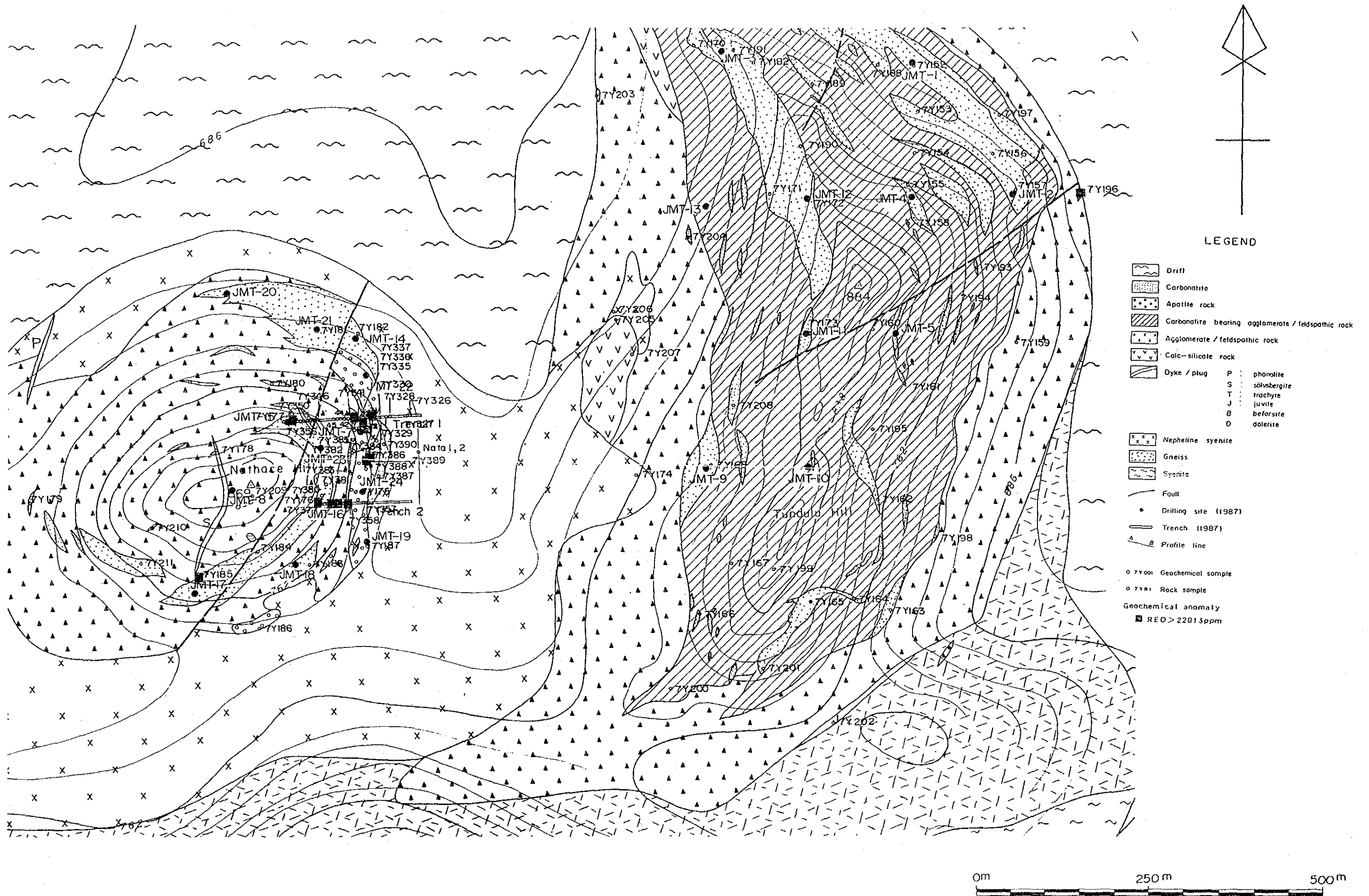


Fig.12-1 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (REO)

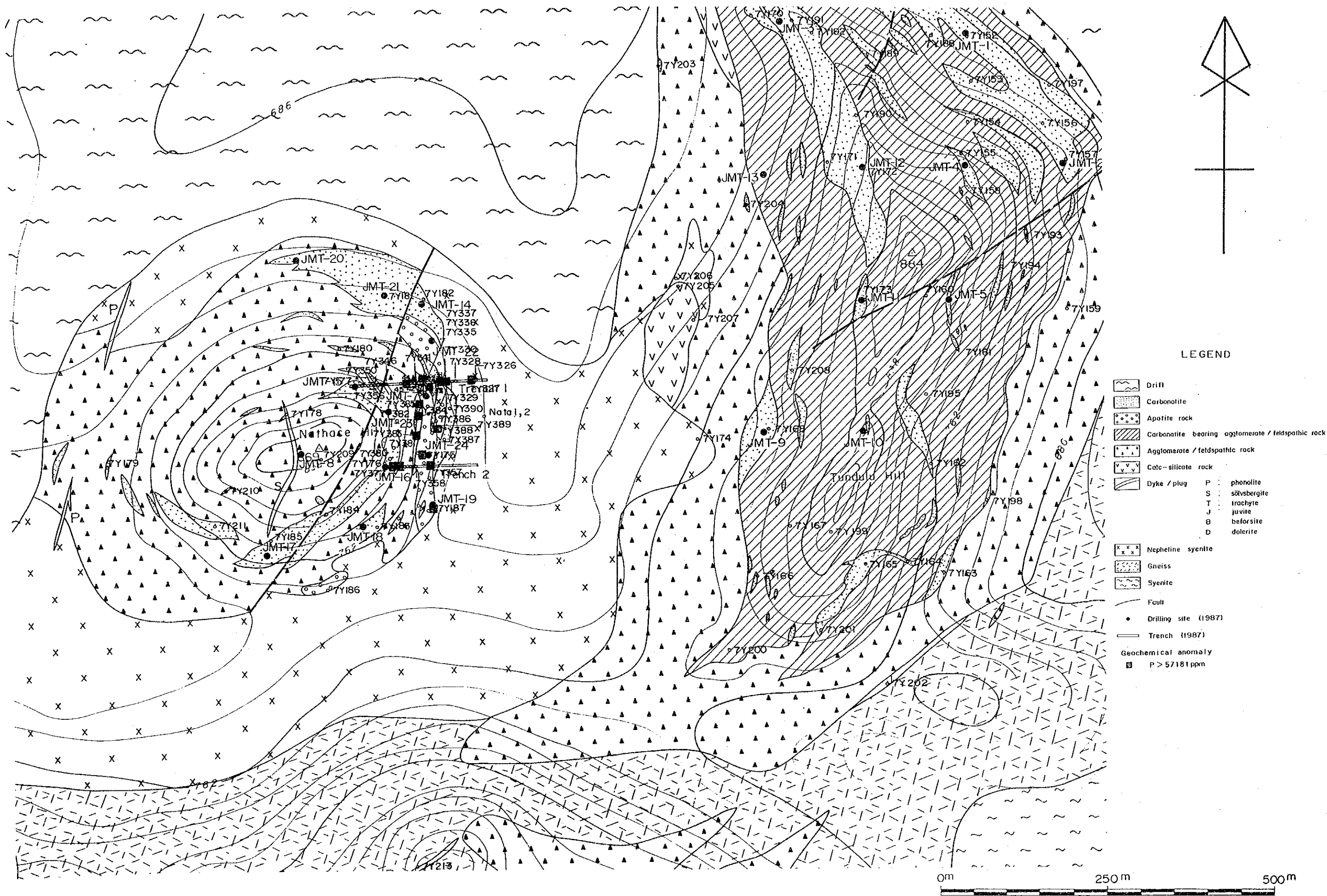


Fig.12-2 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (P)

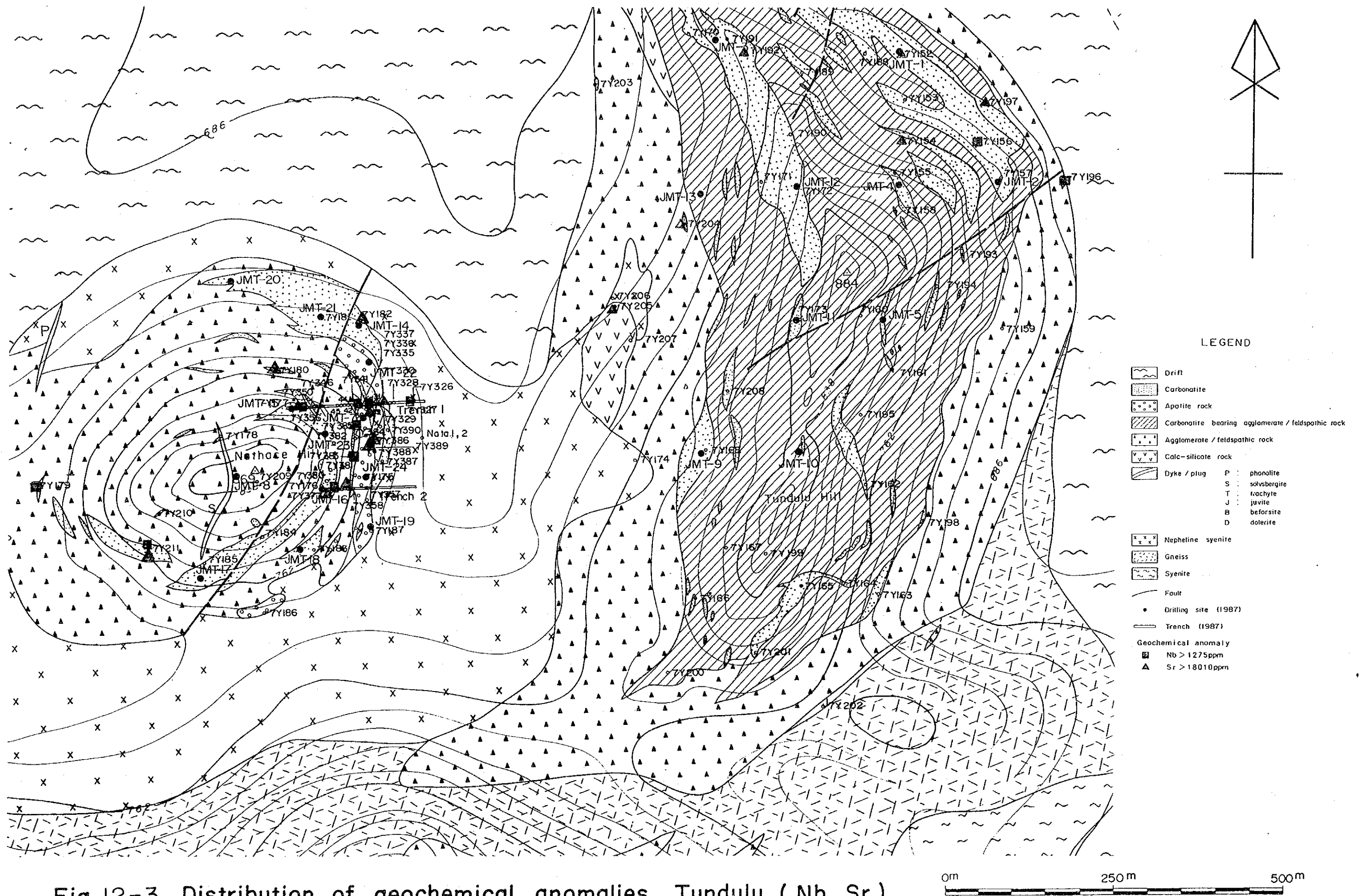
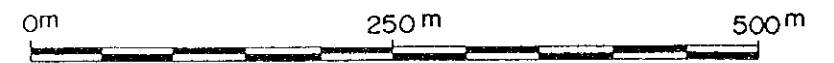


Fig.12-3 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (Nb, Sr)



埋蔵鉱量は約60万tであるが、Songwe地区と同様に他鉱山と比較できない。REO品位はBayan Obo鉱山のそれと比べて同程度である。

Tab.10 Calculation of ore reserves (REO), Tundulu

Block No.	JMT	(m ²) Area	(m) Average Hight	Ore (t) Reserves	Grade (ppm)			
					REO	Sm	Eu	Tb
R1	14, 22, 26, 27	5,480	26.4	434,020	22,414	272.5	53.8	16.9
R2	25	1,760	25.4	134,110	11,912	256.4	88.4	29.9
R3	17	1,880	10.3	58,090	30,187	336.5	49.0	5.2
Total				626,220	20,886	275.0	60.8	18.6
Bayan Obo (China)				—	20,000	567	67	17

燐鉱床としての概略鉱量計算には次の仮定を設けて行った。

- ボーリング孔中10m以上の鉱徴部 (P > 2.2 %, P₂O₅ 換算5%) が、ほぼ連続して胚胎するものを対象とした。
- 鉱床範囲は地質調査結果を基にアパタイト岩及びアパタイトを含むカーボナタイト中とした (一部脈石を含む)
- 鉱床の厚さは各ボーリング着鉱長の算術平均とした。
- 鉱石の比重は 3.0とした (REO 3.0とアパタイト 3.1等を考慮)。

試算の結果、燐鉱床として可能性のある範囲は、前述のレアアース鉱床としての可能性がある範囲とほぼ一致することが判明した。本地区の鉱床は1鉱体にまとめ、その鉱量及びP, P₂O₅, REO品位をTab. 11に示す (Fig. 14)。埋蔵鉱量はREOの場合と同様に他鉱山のものと比較検討は困難であるがP₂O₅品位 17.0 %は、Araxa (アラサ) 鉱山産のP₂O₅品位 15.01%より高く、燐鉱床としての開発可能な品位と考えられる。

Tab.11 Calculation of ore reserves (P), Tundulu

Block No.	JMT	(m ²) Area	(m) Average Hight	(t) Ore Reserves	Grade (%)		
					P	P ₂ O ₅	REO
P1	7, 25, 26, 27	5,560	28.6	477,050	7.4	17.0	1.1

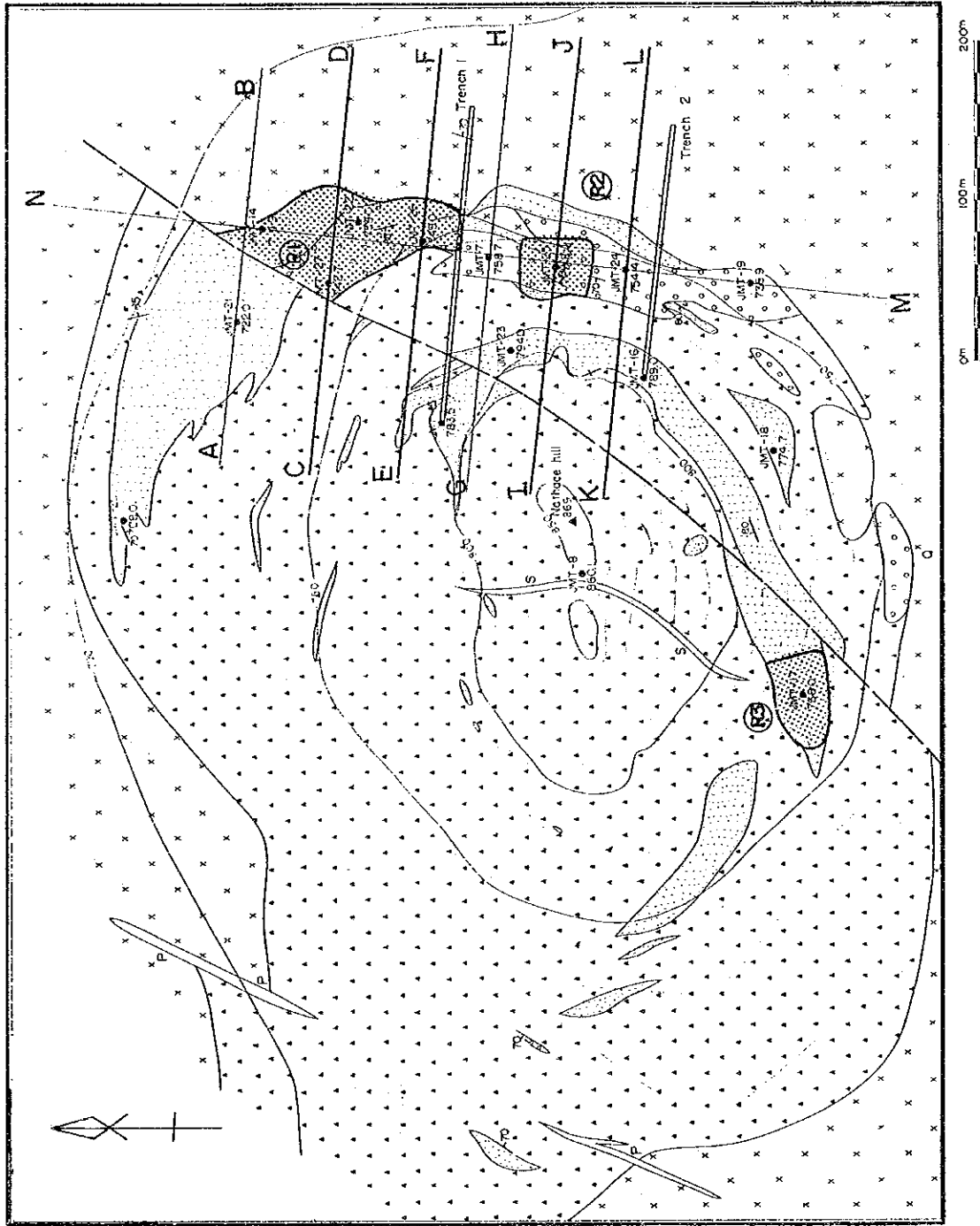


Fig. 13-1 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe
 - Plain -

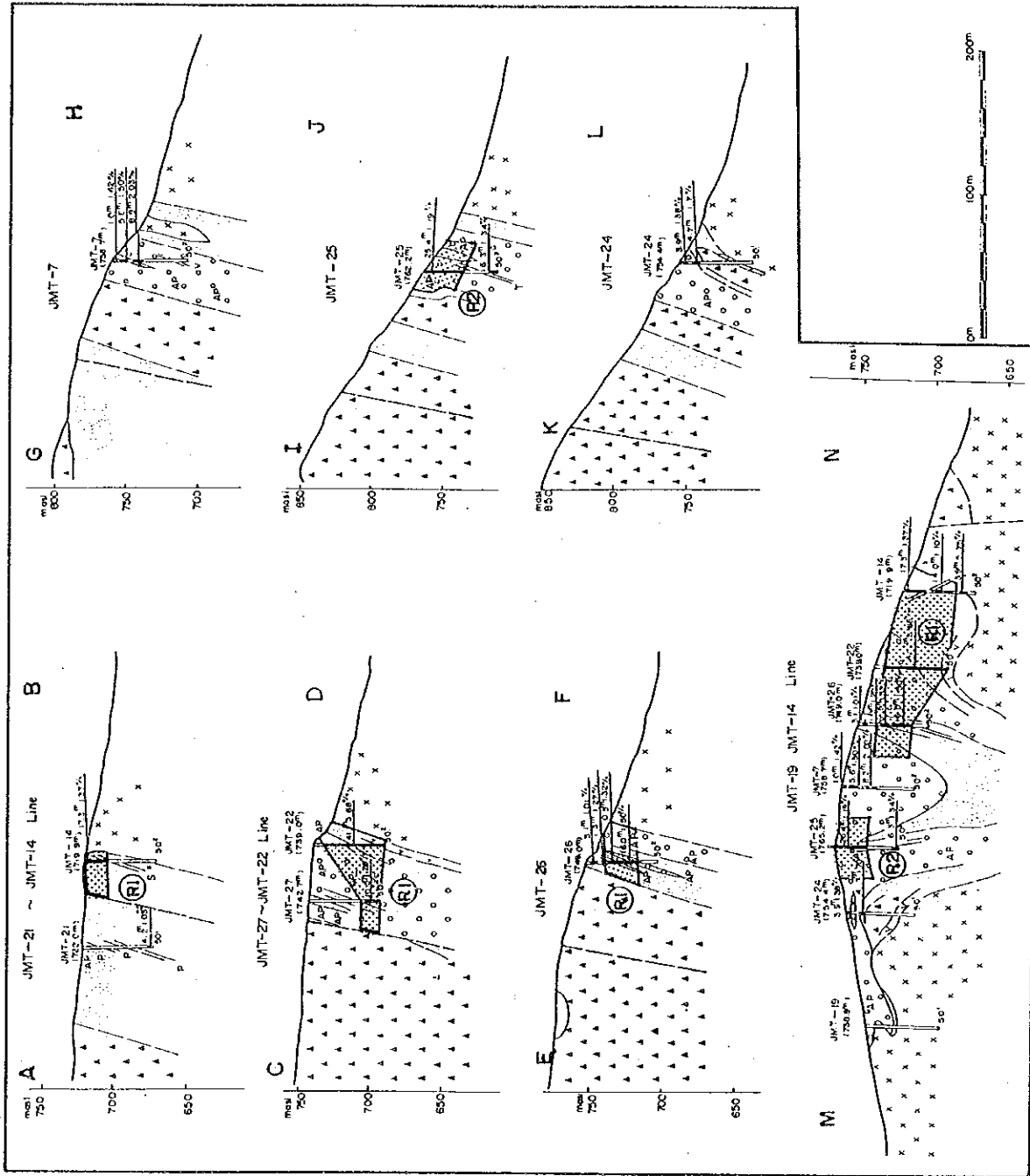


Fig. 13-2 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Tundulu - Section -

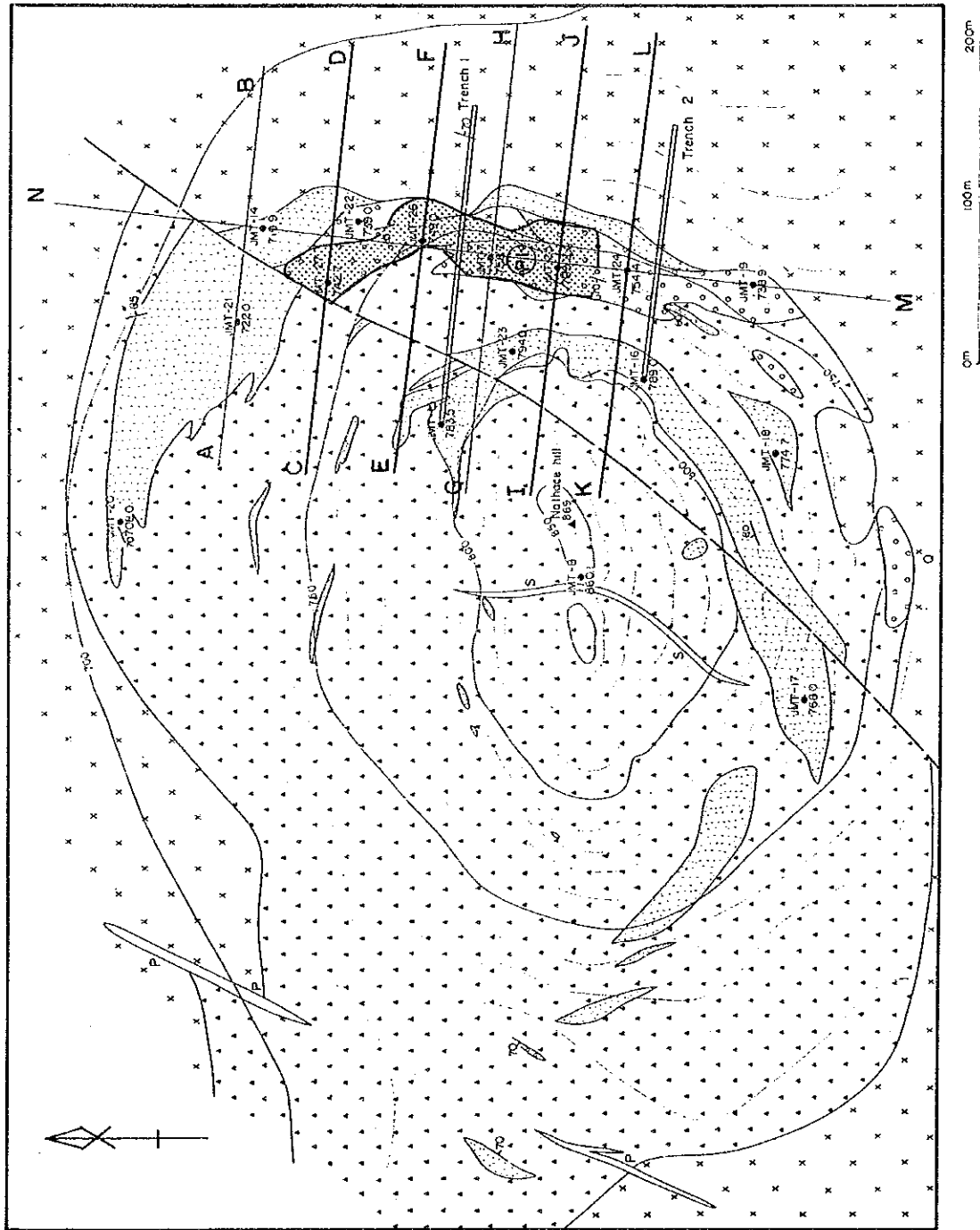


Fig. 14 - Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu
 - Plain -

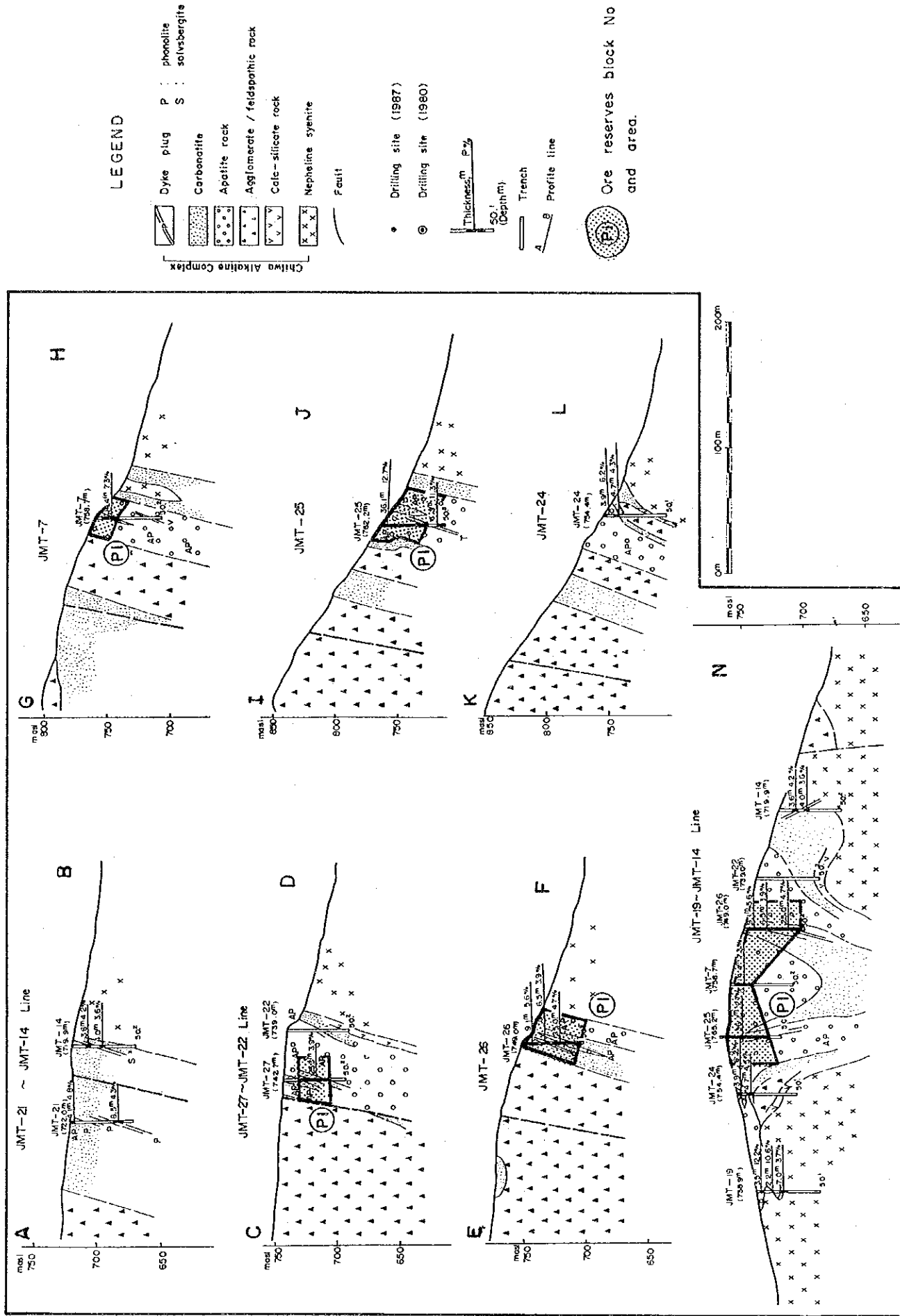


Fig. 14 -2 Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu - Section -

第V部 Kangankunde地区

第V部 Kangankunde地区

第1章 地質 (Fig. 15)

本地区を構成する岩石は次のとおりである。

時 代	岩 石
ジュラ紀後期 ～白亜紀前期	“チルワーアルカリン岩石区” カーボナタイト (含マンガン, アンケライト質, 菱鉄鉱質, ドロマイト質) 角礫岩類 (集塊岩, 長石化角礫岩)
先カンブリア紀後期 ～カンブリア紀前期	片麻岩類

基盤をなす先カンブリア紀後期～カンブリア紀前期の片麻岩類は、Kangankunde丘の外周部に広く分布する。片麻岩類は“チルワーアルカリン岩石区”岩石の進入の影響を被り、フェン岩化作用を受けている。岩相は優白色～桃色塊状を呈し、有色鉱物として黒雲母、角閃石が認められる。

“チルワーアルカリン岩石区”岩石は、調査地区中央部 Kangankunde丘を中心に、南北略900m、東西略700mの玉子状形態を呈して分布する。

角礫岩類は、Tundulu地区、Songwe地区と同様に集塊岩、長石化角礫岩からなる。本地区の角礫岩は、炭酸塩化作用を強く被っている炭酸塩化角礫岩類と、ほとんど炭酸塩化変質の認められない角礫岩類がある。

ほとんど変質の認められない角礫岩類は“チルワーアルカリン岩石区”の岩石と基盤岩類の境界部に分布する。本岩の規模は巾略100mで楕円形を呈する。岩相は桃色ないし赤褐色を呈し緻密堅硬である。

炭酸塩化角礫岩類はほとんど変質の認められない角礫岩の内側に分布する。本岩類に含まれる礫は長石化変質を被ったフェン岩を主とし、石基は暗褐色炭酸塩鉱物からなる。

鏡下では、モザイク組織を呈するドロマイト、針鉄鉱及びカリ長石が認められる。炭酸塩鉱物からなる基質中にある斑晶は強い炭酸塩化変質が認められる。本岩類中にはアパタイト、ストロンチアナイトが認められるものもある。

カーボナタイトはドロマイト質カーボナタイト、菱鉄鉱質カーボナタイト、アンケライト質カーボナタイト及び含マンガンカーボナタイトからなる。