

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

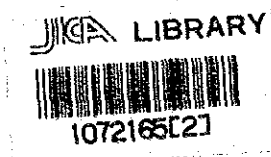
第 8 年 次

平成 10 年 3 月

国際協力機構
金属鉱業部

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

第 3 年 次



1872b

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

18726

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・地化学探査及びボーリング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年度を第1年次とする第3年次にあたり、金属鉱業事業団は4名の調査団を編成して昭和63年6月19日から11月13日まで現地に派遣した。

現地調査は、マラウイ共和国政府関係機関、特に森林天然資源省地質調査局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、第3年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたマラウイ共和国政府関係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。

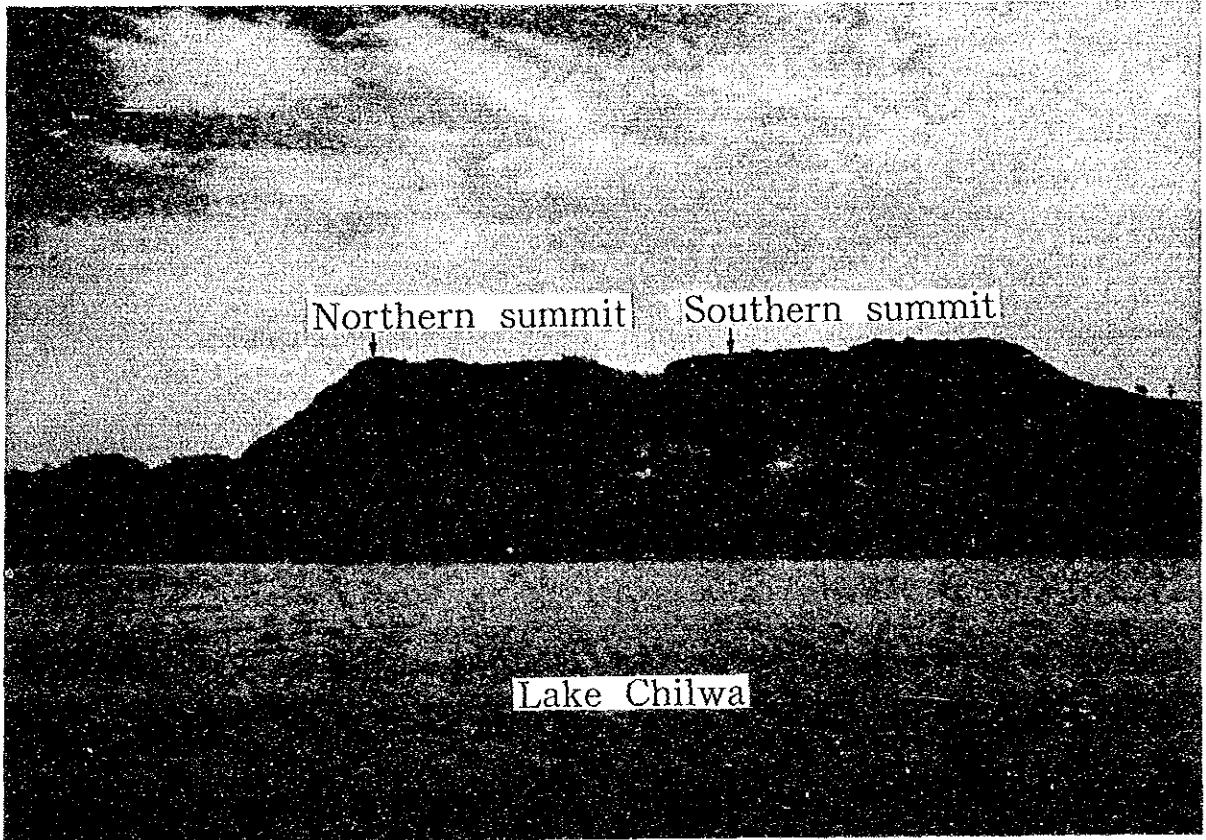
平成元年2月

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



Chilwa carbonatite complex from the East (Lake Chilwa)

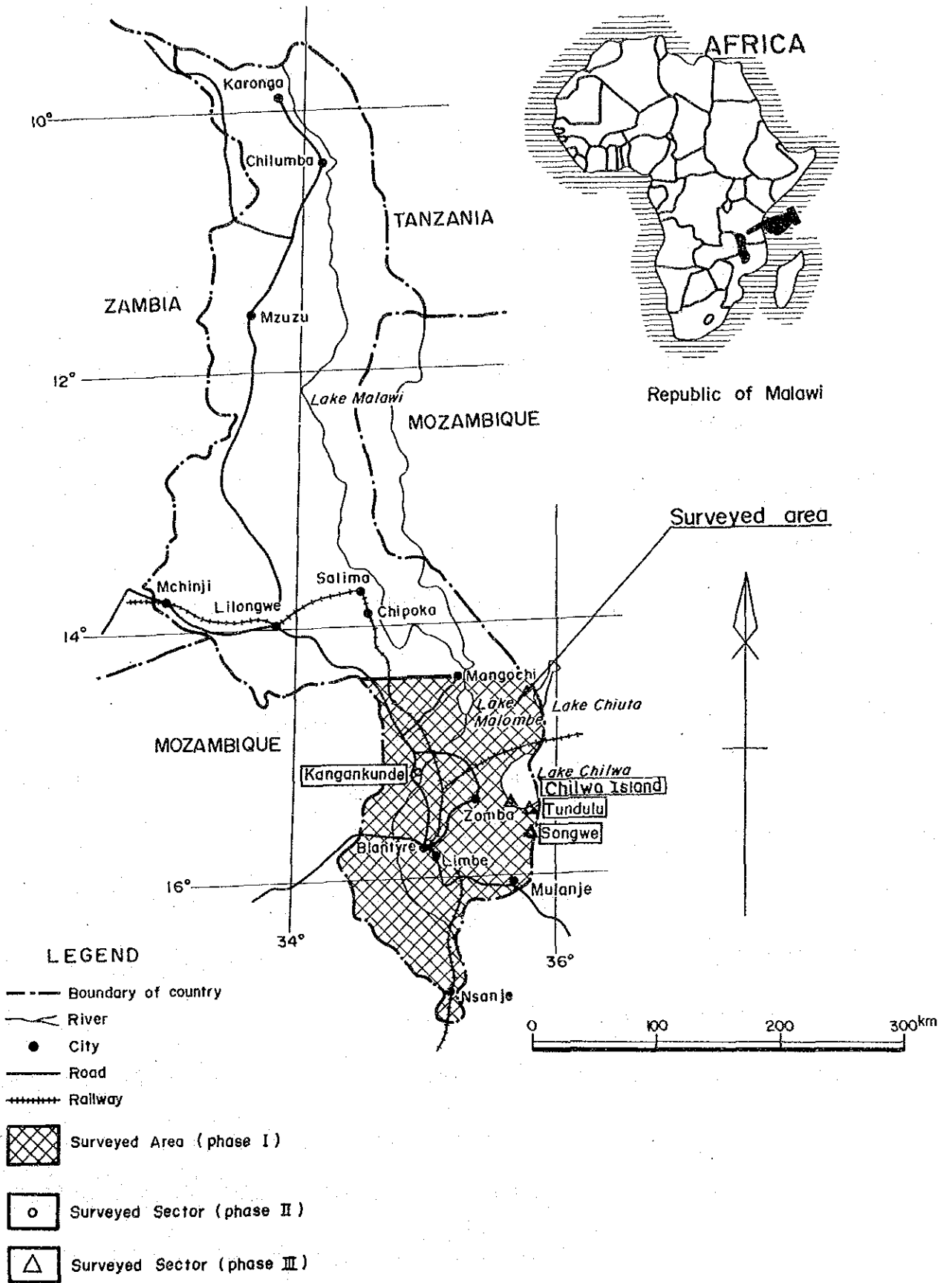


Fig. 1 Location map of survey area

目 次

はしがき

調査地域位置図

要 約

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論	1
1-1 調査の経緯	1
1-2 第 1 年次調査の結論と提言	1
1-2-1 第 1 年次調査の結論	1
1-2-2 第 1 年次調査の提言	2
1-3 第 2 年次調査の結論と提言	2
1-3-1 第 2 年次調査の結論	2
1-3-2 第 2 年次調査の提言	3
1-4 第 3 年次調査の概要	3
1-4-1 調査地域	3
1-4-2 調査目的	4
1-4-3 調査方法	4
1-4-4 調査団の編成	4
1-4-5 調査期間	5
第 2 章 調査地域の地理	6
2-1 地形及び水系	6
2-2 気候及び植生	6
第 3 章 一般地質	7
3-1 チルワーアルカリン地域地質概要	7
3-2 調査地区地質概要	7
3-2-1 Songwe 地区	7

3-2-2 Tundulu 地区	8
3-2-3 Chilwa Island 地区	8
第4章 調査結果の総合検討	9
4-1 Songwe地区	9
4-2 Tundulu 地区	10
4-3 Chilwa Island 地区	11
4-3-1 地質構造と鉱化作用の特性について	11
4-3-2 カーボナタイト賦存のポテンシャルについて	11
4-3-3 地化学異常について	12
第5章 結論及び将来への提言	13
5-1 結 論	13
5-2 将来への提言	15

第II部 各 論

第1章 Songwe地区	17
1-1 調査方法	17
1-2 地 質	17
1-3 ボーリング調査	19
1-3-1 調査概要	19
1-3-2 ボーリング調査工事	20
1-3-3 ボーリング孔の地質及び鉱化作用	20
1-4 考 察	21
第2章 Tundulu 地区	23
2-1 調査方法	23
2-2 地 質	23
2-3 ボーリング調査	25
2-3-1 調査概要	25
2-3-2 ボーリング調査工事	26

2-3-3	ボーリング孔の地質及び鉱化作用	26
2-4	考 察	27
第3章	Chilwa Island 地区	29
3-1	調査方法	29
3-2	地 質	30
3-3	地化学探査結果	31
3-3-1	統計値	32
3-3-2	元素の相関関係	33
3-3-3	異常値分布	33
3-4	ボーリング調査	34
3-4-1	調査概要	34
3-4-2	ボーリング調査工事	34
3-4-3	ボーリング孔の地質及び鉱化作用	36
3-5	考 察	37
第4章	総合検討	39
4-1	カーボナタイト岩体の形成深度の検討	39
4-2	同位体組成比の検討	39
4-3	カーボナタイト全岩分析結果検討	41
4-4	レアアース含有量の検討	41

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章	結 論	45
第2章	将来への提言	48

参 考 文 献

List of Figure

- Fig. 1 Location map of survey area
- Fig. 2 Distribution of carbonatites of Chilwa Alkaline area
- Fig. 3 Temperature and rain fall
- Fig. 4 Geological map of Chilwa Alkaline area
- Fig. 5 Geological map and profile of Songwe sector
- Fig. 6 Location map of drilling sites, Songwe
- Fig. 7 Compiled geologic log, Songwe
- Fig. 8 Detailed geological map and profiles of Songwe sector
- Fig. 9 Geological section of drill holes, and map of ore reserves (REO), Songwe
- Fig.10 Geological map and profile of Tundulu sector
- Fig.11 Location map of drilling sites, Tundulu
- Fig.12 Compiled geologic log, Tundulu
- Fig.13 Detailed geological map and Profiles of Tundulu sector
- Fig.14 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO),Tundulu
- Fig.15 Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu
- Fig.16 Geological map and profiles of Chilwa Island sector
- Fig.17 Panel diagram of the Chilwa Island carbonatite complex
- Fig.18 Distribution of geochemical anomalies, Chilwa Island
- Fig.19 Location map of drilling sites, Chilwa Island
- Fig.20 Compiled geologic log, Chilwa Island
- Fig.21 Geological section of drill holes, Chilwa Island
- Fig.22 Sketch showing contact between banded sovite and feldspathic breccia, southern slop of Mulinde Hill
- Fig.23 Schematic diagram of the carbonatite complex in the Chilwa Alkaline area
- Fig.24 The carbon and oxygen isotopic ratios of the materials
- Fig.25 The oxygen and carbon isotopic ratios of carbonates in Chilwa Alkaline area carbonatite, southern Malawi and Mbeya carbonatite, southern Tanzania
- Fig.26 Ternary diagrams of the carbonatites
- Fig.27 Chondrite normalized rare earth concentration

List of Tables

- Tab. 1 Contents of the survey
- Tab. 2 Process of the survey
- Tab. 3 Contents of survey, Songwe
- Tab. 4 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Songwe
- Tab. 5 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Songwe
- Tab. 6 Calculation of ore reserves (REO), Songwe
- Tab. 7 Contents of survey, Tundulu
- Tab. 8 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Tundulu
- Tab. 9 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Tundulu
- Tab.10 Calculation of ore reserves (REO), Tundulu
- Tab.11 Calculation of ore reserves (P), Tundulu
- Tab.12 Contents of survey, Chilwa Island
- Tab.13 Statistical values of geochemical survey, Chilwa Island
- Tab.14 Correlation coefficients of elements, Chilwa Island
- Tab.15 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Chilwa Island
- Tab.16 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Chilwa Island
- Tab.17 Relationship between REO mineralized zone and geology
- Tab.18 Observation of the Chilwa Island carbonatites
- Tab.19 Isotopic composition of the carbonatites
- Tab.20 Chemical composition of the carbonatites
- Tab.21 Result of quantitative EPMA analysis
- Tab.22 REO & P₂ O₆ resources related carbonatite/alkaline complex

List of Appendices

- Appendix 1. Assay results (Geochemical samples)
- Appendix 2. Assay results (Ore samples)
- Appendix 3. Microscopic observations and microphotographs
- Appendix 4. X-ray diffractive analysis and charts
- Appendix 5. Result of EPMA analysis
- Appendix 6. Summarized operational data
- Appendix 7. Operational results of drill hole
- Appendix 8. List of the used equipments for drilling
- Appendix 9. Articles of consumption and drilling parts
- Appendix 10. Drilling meterage of diamond bits

List of Plates

- PL. 1 Detailed geological map and profiles of Songwe sector 1/2000
- PL. 2 Detailed geological map and profiles of Tundulu carbonatite 1/2000
- PL. 3 Geological map and profiles of Chilwa Island sector 1/5000
- PL. 4 Location map of geochemical samples and rock samples of Chilwa Island sector 1/5000
- PL. 5 Geologic drill log (JMS-12~19, JMT-25~27, JMC-1~32)

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実施した資源開発協力基礎調査の第3年次の調査結果をとりまとめたものである。本調査の目的は、地質調査・地化学探査及びボーリング調査により、本地域のカーボナタイト鉱床としての地質状況、鉱化作用の特性、ポテンシャルを把握することにある。現地調査は昭和63年6月から11月にかけて実施した。

第3年次調査は、第1年次調査及び第2年次調査の結果選定された有望鉱徴地のうち Songwe 地区、Tundulu 地区、Chilwa Island 地区において下記内容の調査を実施した。

調査地区	調査内容及び調査量						
	地質調査・地化学探査				ボーリング調査		
	調査面積 km ²	踏査延長 km	トレンチ m	試料採取 件	掘進長 m	孔数 孔	鉱石分析 件
Songwe	0	0	0	0	8	401.8	81
Tundulu	0	0	0	0	3	150.7	30
Chilwa Island	6	20	600	151	32	1,606.4	322
計	6	20	600	151	43	2,158.3	433

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鉱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2m以上）のまとまった鉱徴部が認められる。鉱徴部に含まれる主要鉱石鉱物は、バストネサイト、シンチサイト、アパタイト等である。

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

鉱量はSongwe地区と同様に地表下50mまでと限定したため他鉱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P₂O₅17%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、鉱量品位の確定化及び更に鉱量確保のために、鉱徴部の水平的、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鉱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鉱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、レアアース鉱徴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 鉱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鉱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鉱量、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。

第 I 部 總 論

第1章 序 論

1-1 調査の経緯

マラウイ共和国の国土は、約119,000km²の広さを有し、その地質の大部分は、先カンブリア界から古生代初期のものを主とし、第4系までのものが分布する。

レアメタル及びレアアース等の金属鉱床賦存のポテンシャルは、当国が地質学的に東アフリカ大地溝帯の南端部に位置していることから、高いと考えられている。期待される鉱産物としては、ボーキサイト、バネストネサイト、ストロンチアナイト、パイロクロア、モナズ石、ジルコン、コランダム、アパタイト等があげられる。しかしながら、今までのところ鉱産物の産出は乏しい。

Department of Geological Survey (地質調査局) は、同国内の地質図幅調査を進める一方、地下資源探査の努力を続けている。現在までにKangankunde (カンガンクンデ), Chilwa Island (チルワ アイランド), Tundulu (ツンズール) などのカーボナタイト岩体の発見、North Rukuru (北ルクル), Nthalire (ヌタリレ) など石炭調査で成果をあげている。

本調査は、マラウイ共和国政府の要請を受け、日本国政府が、チルワーアルカリン地域 (Fig. 1) において鉱物資源調査を実施するものであり、1986年8月14日付で調印された Scope of work に基づき調査を開始した。

第1年次調査は、チルワーアルカリン地域 30,000km²の範囲の既存資料の検討及びランドサットデータ解析を行い、カーボナタイト鉱化作用に関連があると考えられる25地区を選出し、地質調査・地化学探査を実施した (Fig. 2)。

第2年次調査は、第1年次調査結果、カーボナタイト鉱床としてポテンシャルが高いと考えられた、Tundulu地区、Songwe (ソングエ) 地区、Kangankunde地区及び Chilwa Island地区のうち、前3者において、地質調査・地化学探査とボーリング調査 (Kangankunde地区は除く) を実施した。

1-2 第1年次調査の結論と提言

1-2-1 第1年次調査の結論

既存試料の検討、ランドサットデータ解析及び地質調査・地化学探査の結果は：

カーボナタイト鉱床としてのポテンシャルが高いと考えられる地区

Tundulu, Songwe, Chilwa Island, Kangankunde

カーボナタイト鉱床としてのポテンシャルがあると考えられる地区

Nkalanje (ヌカロンジェ), Matoponi (マトポニ), Kapiri (カピリ)
カーボナタイトは認められなかったが, 地化学探査異常の認められる地区
Mikomwa (ミコムワ), Chipalanje (チパランジェ), Salambidwa (サラムビドワ),
Namangale (ナマンガレ), Naminga (ナミンガ), Kadongosi (ガドンゴシ), Chaumbwi
(チャウムブイ), Neala (ヌサラ), Kongwe (コングエ), Aligomba (アリゴムバ),
Achirundu (アチルンド), Chiloli (チロリ)

1-2-2 第1年次調査の提言

Songwe, Chilwa Island, Kangankunde, Tundulu, Nkalanje, Matoponi, Kapiriの各有望地区において, 規模, 品位等を確認するための地質調査・地化学探査並びに鉍微地の潜頭部分の拡がりを確認するための, 放射能探査, トレンチ調査及びボーリング調査を実施することが提言された。

1-3 第2年次調査の結論と提言

1-3-1 第2年次調査の結論

(1) Tundulu地区

カーボナタイトは Tundulu丘, Nathace丘等に分布する。Tundulu丘のカーボナタイトの岩質は方解石質カーボナタイトを主とする。一方 Nathace丘のカーボナタイトはアンケライト質, 菱鉄鉍質のものが卓越する。

カーボナタイト鉍床及び隣鉍床賦存のポテンシャルは Nathace丘を中心に分布するカーボナタイト岩体が最も高い。このことは地化学探査結果及びボーリング調査結果と一致する。

(2) Songwe地区

カーボナタイトは Songwe丘に分布する。岩質は方解石質, アンケライト質のものが卓越する。

カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルは Songwe丘北斜面の海拔略850m以下に分布するカーボナタイト岩体が最も高い。このカーボナタイトは, 中希土類の含有量が高い傾向にある。このことは, 地化学探査及びボーリング調査結果と一致する。

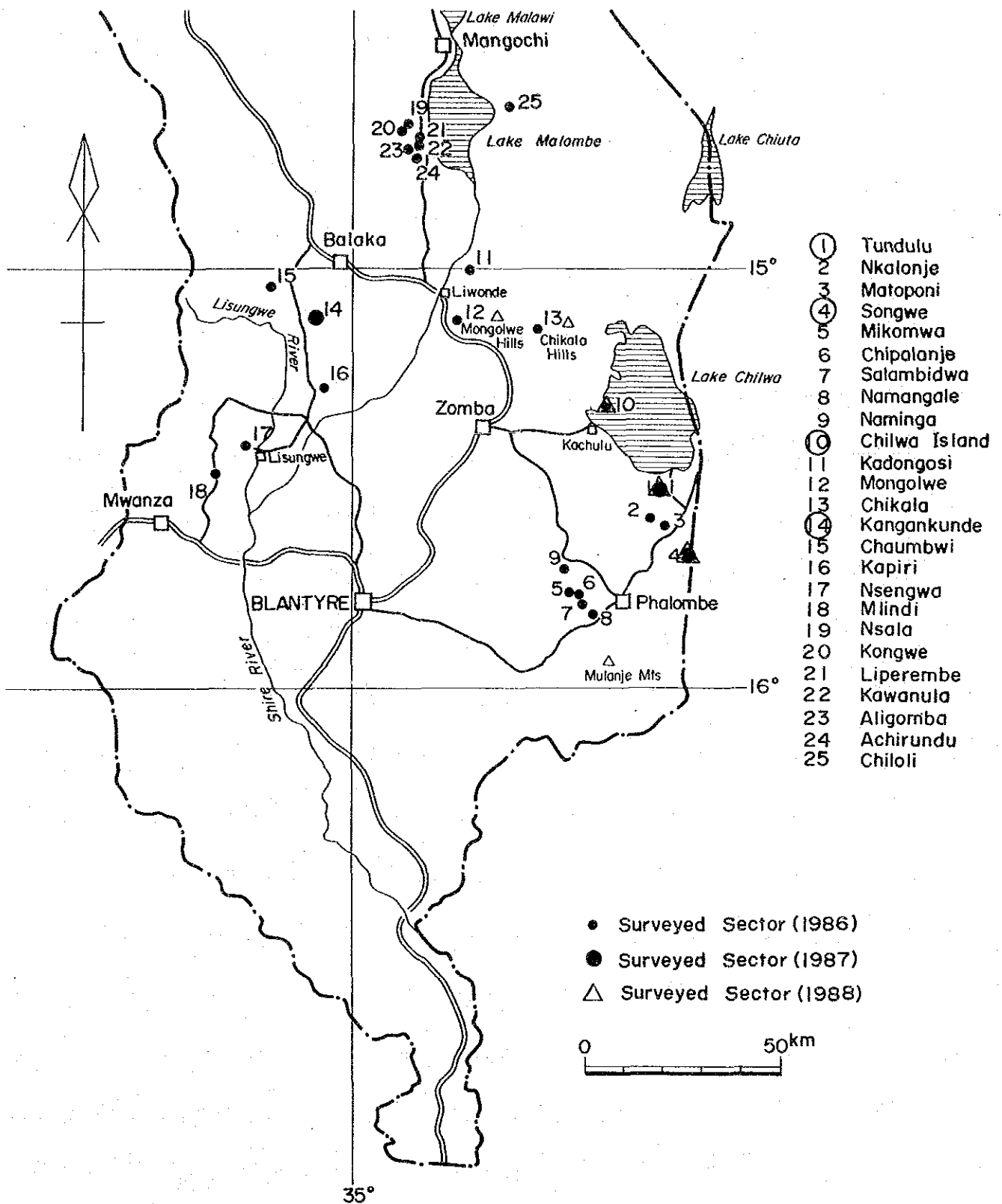


Fig. 2 Distribution of carbonatites of Chilwa Alkaline area

(3) Kangankunde地区

Kangankunde丘に胚胎するカーボナタイトの岩質は、ドロマイト質、菱鉄鈹質、アンケライト質のものが多く。

カーボナタイト鈹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岩体が最も高いと考えられる。

1-3-2 第2年次調査の提言

第2年次の調査結果及び第1年次調査結果を総合し、本地域のレアアース資源、燐資源のポテンシャルを把握するために、第3年次調査として以下のとおり取進めることを提言する。

第1年次調査において、カーボナタイト鈹床としてのポテンシャルが高いと考えられた地区(Tundulu, Songwe, Chilwa Island, Kangankunde)のうち、第2年次調査が実施できなかった Chilwa Island地区において、第2年次に Tundulu地区、Songwe地区で行った調査と同程度の地質調査・地化学探査及びボーリング調査を実施し、カーボナタイト鈹床としての規模、品位を確認すること。

さらに、第2年次調査の結果、レアアース鈹徴地、燐鈹徴地が確認された Tundulu地区 Nathace丘及びレアアース鈹徴地が確認された Songwe地区において、それぞれの鈹徴地の鈹量、品位を確認するための地質精査、ボーリング調査を実施することが考えられる。

なお、Kangankunde地区については、現在、フランスBRGMが探鈹権(Exclusive Prospecting Licence)を与えられ探鈹中であるため、第3年次調査から除外した。

1-4 第3年次調査の概要

1-4-1 調査地域

チルワーアルカリン地域調査範囲は、マラウイ共和国の南部に位置し、同国政府発行地形図(縮尺250,000分の1)では、Mangochi(マンガチ)の南半分とBlantyre(ブランタイア)及びNsanje(ヌサンジェ)に示される範囲である。調査面積は国土の約4分の1に相当する30,000Km²である。

第3年次調査対象地区は、上記のうち、地形図Blantyreに含まれるChilwa湖南方のTundulu地区とSongwe地区及びChilwa湖内のChilwa Island地区の3地区である。

1-4-2 調査目的

チルワー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、鉄床賦存状況を把握することを目的とする。特に Chilwa Island地区ではカーボナタイト岩体中のレアアース富鉄部の形成場所、Songwe地区、Tundulu地区では、レアアース、燐鉄床としての評価を行うことを目的とする。

1-4-3 調査方法

第3年次調査において実施された調査方法は、地質調査・地化学探査及びボーリング調査である。調査量はTab. 1に示す。

Tab. 1 Contents of the survey

Sector	Geological and geochemical survey				Drilling survey		
	Area Km ²	Route survey Km	Trench survey m	Geochemical samples pcs	No. of drill holes	Hole length m	Assay Samples pcs
Songwe	0	0	0	0	8	401.2	81
Tundulu	0	0	0	0	3	150.7	30
Chilwa Is.	6	20	600	151	32	1,606.4	322
Total	6	20	600	151	43	2,158.3	433

1-4-4 調査団の編成

調査団の編成は、調査計画及び折衝と現地調査団からなる。それぞれを下表に示す。

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
林 歳彦	金属鉄業事業団	J. C. Chalupa	地質調査局
		A. T. Madala	地質調査局
澤田 賢治	金属鉄業事業団	F. R. Phiri	地質調査局
		R. S. M. Mchali	地質調査局

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
山田 毅 (團長, 地質・地化探)	三井金属資源開発株式会社	D. H. Z. Mhango (全般)	地質調査局
青山 務 (ボーリング)	"		
千葉 行夫 (ボーリング)	"		
田中 真二 (ボーリング)	"		

1-4-5 調査期間

調査期間はTab. 2に示す。

Tab. 2 Process of the survey

	1988						1989			
	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Geological and geochemical survey	19					13				
Drilling survey	20					13				
Data analysis, laboratory works and report making						14			20	

第2章 調査地域の地理

2-1 地形及び水系

チルワーアルカリン地域は、マラウイ共和国Central Region(中部地方)の一部とSouthern Region(南部地方)の全域にまたがる。

調査地域内の地形は、東部に標高3,000mの急峻な山容をなすMulanje(ムランジェ)山塊、北部及び北東部にかけてMalombe(マロンベ)湖、Chilwa湖がある。Chilwa湖からMulanje山塊にかけては、Phalombe(ファロンベ)平原が広がる。

調査地域中央部から西部にかけては、東側から西側へZomba(ゾンバ)高原、Blantyre高原等からなる高原地帯、Shire(シレ)河流域からなる低地帯、Kirk(キルク)山地に代表される山地帯が形成されている。

水系は、水量の豊富なShire河がゆるやかに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、蛇行及び樹系パターンをなす。

第3年次調査地区のTundulu, Songwe地区は、Phalombe平原中にあり、比高200m~300mの丘陵を形成する。Chilwa Island地区は、Chilwa湖中にあり、湖面から比高400m~500mの急峻な地形を示す。

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. 3)。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、夜明け時には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。

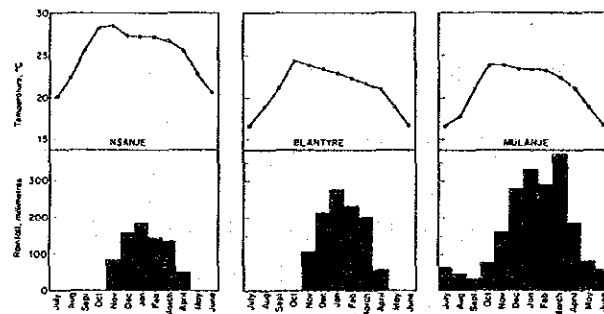


Fig. 3 Temperature and rain fall

第3章 一般地質

3-1 チルワーアルカリン地域地質概要

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に変成作用をうけた、モザンビーク変成帯の変成岩類からなる。この変成岩類はMalawi basement complex(マラウイ基盤岩類)と称される。

南部マラウイ(チルワーアルカリン地域)では、Malawi basement complex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変成帯の最後の活動により生成されたものと考えられている。

ジュラ紀後期から白亜紀初期にかけては、“チルワーアルカリン岩石区”としてまとめられるカーボナタイト、集塊岩、アルカリ岩岩脈、ネフェリン閃長岩、閃長岩等のアルカリ岩類の活動がある。これらは基盤岩類中あるいは進入岩類中に火山頸、岩脈、小進入岩体として分布する。本年度調査対象となったTundulu地区、Songwe地区、Chilwa Island地区のカーボナタイト岩体は、この“チルワーアルカリン岩石区”岩石に相当する(Fig. 4)。

第三紀以降の地質は、Shire河流域の礫岩、泥岩及び低地帯に広く分布する砂、泥等からなる。

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、カーボナタイトに伴うレアアース鉱徴地などが知られている。

3-2 調査地区地質概要

3-2-1 Songwe地区

本地区を構成する主要岩石は、基盤岩となる先カンブリア紀後期から古生代初期の片麻岩類と“チルワーアルカリン岩石区”のアルカリ岩類、カーボナタイトである。

“チルワーアルカリン岩石区”の主要岩石は、ネフェリン閃長岩、集塊岩、長石化角礫岩及びカーボナタイトである。

カーボナタイトは方解石質、アンケライト質のものが卓越し、一部にはマンガンを多量に含むものがある。鉱石鉱物としてバストネサイト、シンチサイト、モナズ石、パイロクロアパリサイト、アパタイトなどが認められる。

3-2-2 Tundulu地区

本地区は、基盤岩となる先カンブリア紀後期から古生代初期の片麻岩類、閃長岩類と“チルワーアルカリン岩石区”のアルカリ岩類、カーボナタイトなどから構成される。

“チルワーアルカリン岩石区”中の岩石はネフェリン閃長岩、フォノライト、集塊岩、長石化角礫岩、カーボナタイトが主要構成岩類である。

カーボナタイトは方解石質、アンケライト質、菱鉄鉱質のものが認められる。鉱石鉱物はアパタイト、バストネサイト、モナズ石、シンチサイト、パイロクロア、パリサイト、ストロンチアナイトなどが認められる。

3-2-3 Chilwa Island地区

本地区は、基盤岩となる先カンブリア紀後期から古生代初期の片麻岩類、閃長岩類と“チルワーアルカリン岩石区”のアルカリ岩類、カーボナタイトなどから構成される。

“チルワーアルカリン岩石区”を構成する岩石は、ネフェリン閃長岩、フォノライト、ランプロファイア、集塊岩、長石化角礫岩及びカーボナタイト等である。

カーボナタイトは方解石質、アンケライト質、菱鉄鉱質のものが外側から内側に向い同心円状に認められる。鉱石鉱物はバストネサイト、ストロンチアナイト、シンチサイト、パイロクロア、アパタイト、螢石等が認められる。

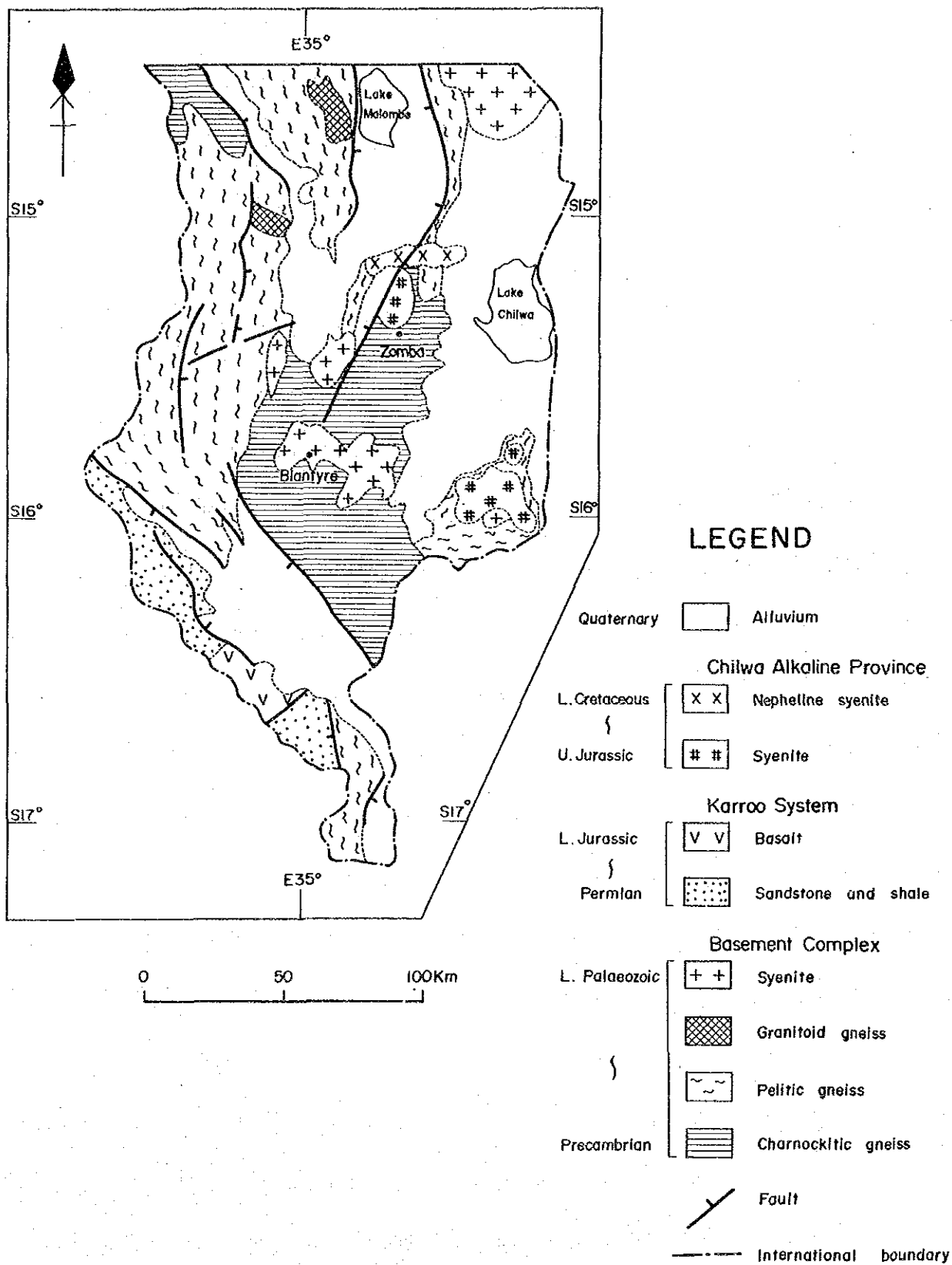


Fig. 4 Geological map of Chilwa Alkaline area

第4章 調査結果の総合検討

4-1 Songwe地区

第2年次までの調査結果、レアアース鉱徴部はSongwe丘海拔略850m以下に分布するカーボナタイト岩体中が最もポテンシャルが高いと考えられた。

本年度は、前述の鉱徴部に対して、富鉱部の規模及び品位の考察を目的にボーリング調査を行った。ボーリング結果JMS-13, 14, 15, 16, 18, 19のカーボナタイト及び一部角礫岩中において鉱徴部を確認した。これら鉱徴部について、以下の仮定を設けレアアース鉱床としての概略埋蔵鉱量計算を試みた。

- 品位カットオフ：本年度分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Y
7元素の酸化物(ReO)合計>1.0%
- 厚さ：10m以上の連続が推定されるものの算術平均
- 面積：地表のカーボナタイト分布範囲中において原則としてボーリング孔から25mまでの範囲を鉱床範囲とした。
- 比重：3.0(方解石 2.7, アンケライト 3.0~3.1, 菱鉄鉱 3.7~3.9
及び空隙を考慮)

試算の結果、本地区の鉱床は6鉱体となり、その各々の鉱量及びReO, Sm, Eu, Tb品位は下表のとおりである。

Calculation of ore reserves (ReO), Songwe

Block No.	JMS	(m ²) Area	Average (m) Height	Ore Reserves (t)	Grade (ppa)			
					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

鉱量は地表下50mまでと限定したため他鉱山のものと比較できないが、バストネサイトを主鉱石とする中国のBayan Obo鉱床産の鉱石と品位比較すると、Smは0.7倍、Euは1.4倍、Tbは2.1倍の値を示す。

4-2 Tundulu地区

第2年次までの調査で Nathace丘に分布するカーボナタイト、アパタイト岩がレアアース、
 燐資源としてのポテンシャルが高いと考えられた。

本年度は、これらカーボナタイト、アパタイト岩に対して、レアアース、燐の富鉱部の規
 模及び品位の考察を目的にボーリング調査を行った。ボーリング結果、JMT-25, 26, 27
 中のカーボナタイト又はアパタイト岩中においてレアアース又は燐の鉱徴部を確認した。こ
 れら鉱徴部について概略埋蔵鉱量の算出を試みた。レアアースについての試算結果は下表の
 とおりである。

Calculation of ore reserves (REO), Tundulu

Block No.	JMT	(m ²) Area	(m) Average Height	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

Tundulu, Nathaceの鉱徴部と Bayan Obo鉱山の品位は Nathace丘のものがSmについて半
 分であるがEu, Tbはほぼ等しい。

燐については、ボーリング孔中にP 2.2%以上のものが10m以上にわたってほぼ連続が推
 定できるものについて試算した（その他はREOと同じ）。

Calculation of ore reserves (P), Tundulu

Block No.	JMT	(m ²) Area	(m) Average Height	Ore (t) 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

試算結果、本地区の P_2O_5 品位は17.0%となり、Araxa(アラサ)(ブラジル)の15%、Sukulu(スクル)(ウガンダ)の13.0%よりも高品位であることがわかった。

Nathace 丘産カーボナタイト及びアパタイト岩の成因を検討する目的で炭素と酸素の同位体比分析を行った。分析の結果、アパタイト岩及び菱鉄鈹質カーボナタイトは $\delta^{13}C = -7.4\%$ から -5.4% 、 $\delta^{18}O = +5.4\%$ から $+8.7\%$ の値を示し、いずれも火成岩起源を示唆することが分った。クトナホライト、方解石からなるカーボナタイト(フィールドでは菱鉄鈹質カーボナタイトとしたもの)は $\delta^{13}C = -5.0\%$ から -2.3% 、 $\delta^{18}O = +20.7\%$ から $+22.0\%$ の値を示し、大気中又は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する。

4-3 Chilwa Island地区

4-3-1 地質構造と鈹化作用の特性について

本地区のカーボナタイトを伴う“チルワーアルカリン岩石区”岩石の分布は、Chilwa Islandほぼ全島にわたる。このうち、カーボナタイトは半環状地形を呈する島の頂部から内側の低地にかけて分布する。このカーボナタイト岩体は外側から内側に向い、角礫岩、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鈹質カーボナタイト混在部と帯状分布を示す。カーボナタイトの規模は直径略2kmである。

カーボナタイトに伴うレアアース鈹物、その他の鈹石鈹物はパイロクロア、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。これら有用鈹物のうちレアアース鈹物は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中に、アパタイト、パイロクロアは方解石質カーボナタイト中に認められるものが多い。

カーボナタイトの生成機構を解明する目的で炭素と酸素の同位体比分析を行った。この結果、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は $\delta^{13}C = -4.5\%$ から -2.4% 、 $\delta^{18}O = +8.2\%$ から $+12.1\%$ の値を示し、いずれも火成岩起源を示唆することが分った。一方菱鉄鈹質カーボナタイトは $\delta^{13}C = -6.6\%$ から -6.7% 、 $\delta^{18}O = +18.3\%$ から $+20.3\%$ の値を示し、後の変質作用を被っていることを示唆した。

4-3-2 カーボナタイト賦存のポテンシャルについて

本年度実施されたボーリング中でREO 1%以上の鈹徴部は32孔中14孔認められ、そのうちコア長10m以上に達するものがJMC-3, 10, 11, 12, 19, 20, 21, 26, 29の9孔あった。これらはいずれも、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鈹質カーボナタイト混在部に関連する。JMC-12のアンケライト質カーボナタイトに伴う鈹徴部はコア長が最も長く48.0m、REO含有量1.48%である。

4-3-3 地化学異常について

地化学異常値は、しきい値を平均値+標準偏差値とし、これ以上とした。レアアース分布域はボーリングにおいて確認された鉱徴部と一致する。Nb, Pの地化学異常値分布域は方解石質カーボナタイト中にみられる。

第5章 結論及び将来への提言

5-1 結 論

本年次調査はSongwe地区, Tundulu地区のボーリング調査, 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である。これらの地区の調査の結果, 得られた結論は以下のとおりである。

(1) Songwe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及び角礫岩等から構成される。
- 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, パリサイト, スترون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, カーボナタイト岩体は, Songwe丘を中心に円錐構造を呈し, カーボ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ーボナタイト中で海拔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, REO 1%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, 概略埋蔵鉱量計算を行った。
計算結果は埋蔵鉱量合計約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) Chilwa Island地区

地質調査…………… カーボナタイトは、Mbirikwi 丘、Michulu 丘、Chinyombi 丘、Northern summit、Southern summit、Mulinde 丘を通る山頂部及びその斜面を外周とする直径約2km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鉱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鉱石鉱物は、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鈰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%以上の鈰徴部は、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以上に達する鈰徴部は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鈰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鈰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鈰質カーボナタイト混在部に存在し、この地区が鈰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鈰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

本年次の調査結果及び既存の資料を総合し、Songwe地区、Tundulu地区及び Chilwa Island地区のレアアース資源、磷資源としてのポテンシャル把握、開発を対象とした鈰量、品位調査、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鈰徴部が地表から深度50mまでの範囲内で確認された。現時点では本鈰徴地のレアアース鈰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鈰徴部の鈰量、品位の確定化及び深部への連続性を確認し、鈰量の増加を計り、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。

第II部 各 論

第1章 Songwe地区

1-1 調査方法

Songwe地区における本年次調査は、地質調査及びボーリング調査が実施された。

地質調査は、測量局発行の縮尺50,000分の1の地形図を縮尺5,000分の1に拡大したものと及び第2年次調査において作成した縮尺2,000分の1のルート調査図を使用し実施した。調査結果は縮尺2,000分の1の地質図にまとめた。

ボーリング調査は、小型ボーリング機を使用し、深度50mまでのコア採取を行った。コア鑑定結果は縮尺200分の1の柱状図にまとめた。鉱徴部は試料を採取し、室内研究、鉱石分析を行い、レアース等の賦存状況、鉱床としての評価等の検討を行った。

内容はTab. 3のとおりである。

Tab. 3 Contents of survey, Songwe

Geological and geochemical survey		Drilling survey	
Area	0 km ²	No. of holes	8
Route survey	0 km	Total length	401.2 m
Trench survey	0 m	Inclination	- 90°
Assay of geochemical samples	0 pcs	Assay of ore samples	81 pcs
Microscopic observation (Polished thin section)	4 pcs	Assay element:	
X-ray diffractive analysis	1 pc	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr,	
EPMA	1 pc	Y, P (10 elements)	
Whole rock analysis	0 pc		
Isotope analysis	0 pc		

1-2 地質 (Fig. 5)

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(ソーパイト), 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, パストネサイト, 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。

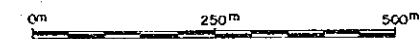
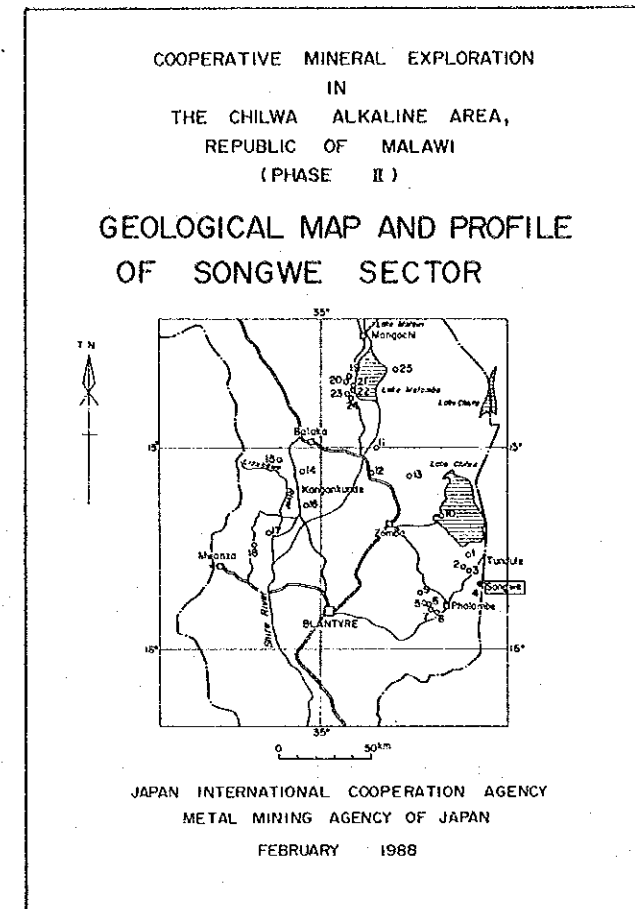
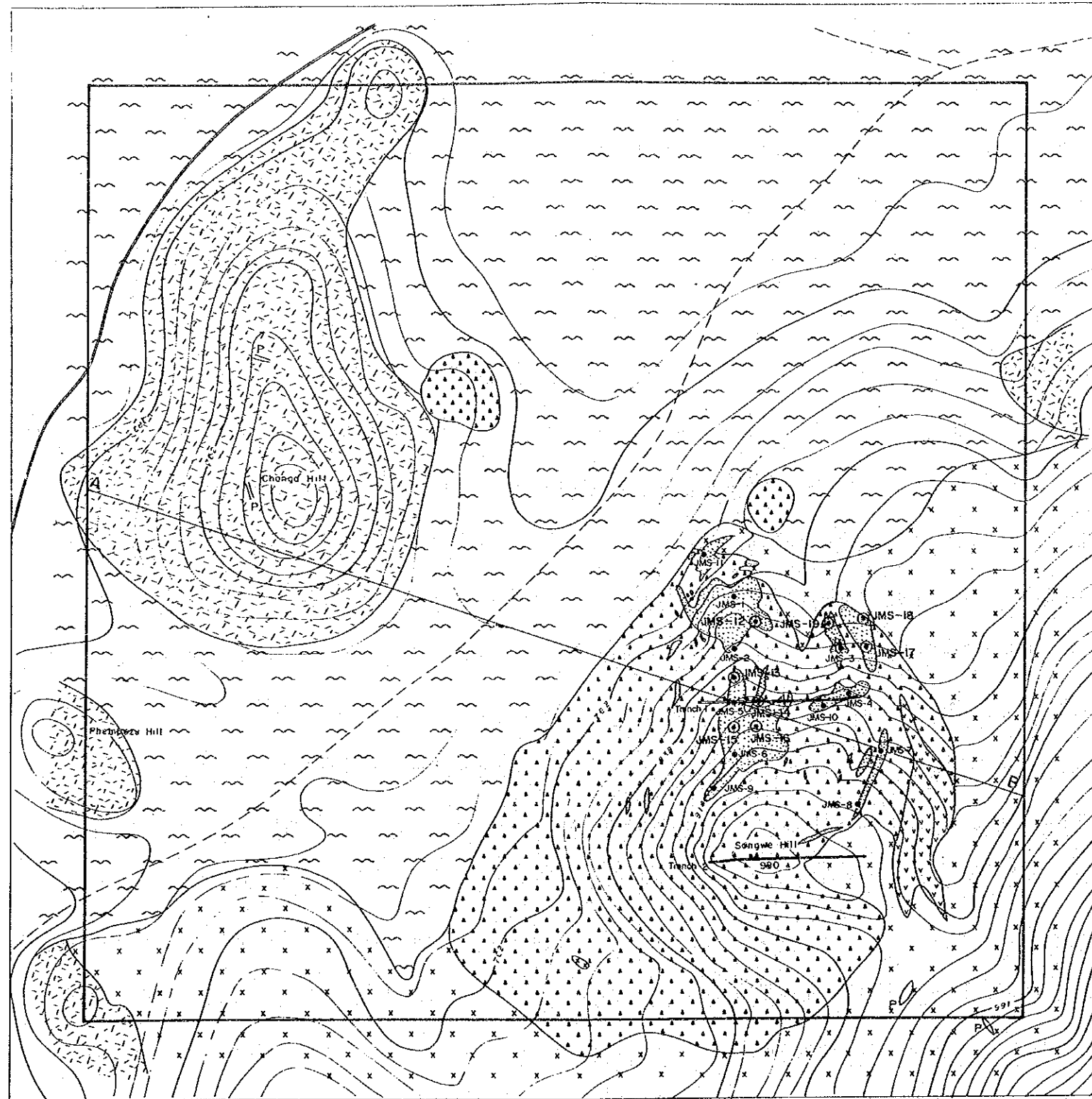
カーボナタイト岩体中には, 螢石, 重晶石の細脈が認められる部分がある。

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)。



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

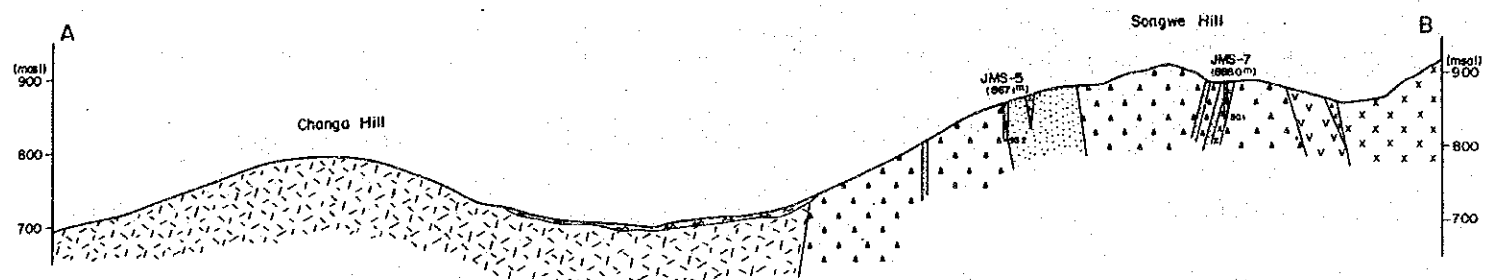


Fig. 5 Geological map and profile of Songwe sector

(※) 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. 18 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浴脱。

1-3 ボーリング調査

第1年次調査において, 本地区はカーボナタイト鉱床としてのポテンシャルが高い地区として抽出され, 第2年次に地質調査・地化学探査及びボーリング調査が行われた。第2年次調査では, Songwe 丘北斜面の海拔略 850m 以下に分布するカーボナタイト中においてレアアース鉱徴部を捕捉した。

第3年次調査は, これら鉱徴部の賦存状況を確認し, 鉱床としての評価を行うことを目的に実施された。

1-3-1 調査概要

主要ボーリング機材は, Zomba の地質調査局から現地まで 11 t 及び 4 t トラックを使用し搬入した。更にポンプ, ロッド等の追加機材は日本から海上輸送 (シンガポールまで), その後航空輸送 (マラウイまで), 陸上輸送 (マラウイ国内) にて調査地区に搬入した。

機材は YBM-05DA 型試錐機 (掘進能力: ロッド 56mm, 55m) を 2 台使用した。作業形態は, 1 方 12 時間の 2 交替制作業とし, 調査技師 1 名は段取作業を行った。掘進工法は普通工法により掘進し, コア採取率及び工程の向上に努めた。用水は, 調査地区周辺の湧水地から小型トラックにて運搬した。

ボーリング調査量は次のとおりである。

孔数	総掘進長	コア長	コア採取率	鉱石分析
8	401.2m	360.3m	95% (※)	81件

(※) 表土を除く

ボーリングコア地質状況は, カーボナタイトの賦存状況について鑑定を行い, 縮尺 200分の 1 地質柱状図にまとめた。さらに主要部分は, コア半片を採取し La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr, Y, P の各元素分析を行った。

現地ボーリング調査期間は6月30日から7月22日までの24日間であった。

1-3-2 ボーリング調査工事

ボーリング調査の資・機材は Zombaの地質調査局及び追加機材は Lilongwe空港到着後、Blantyre経由 Songwe地区 Chengaに運搬された。

設営は JMS-12から開始された。本地区のボーリングは JMS-12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19の順に実施された。各ボーリング位置は Fig. 6に示す。各ボーリング座間の山内運搬道路は、幅員1 m, 総延長1,700mである。道路建設及びボーリング座整地は人力で行った。

ボーリング用水は、調査地区から5 km地点の湧水地から3 tトラックと1.5 m³ タンクを使用し、ボーリング調査地付近まで運搬し、揚水ポンプ2台、ホース延長1,000mを使用しボーリング座へ給水された。

掘進作業は表土部では73mmメタルシュ、着岩後は73mmダイヤモンドシュを使用しBWケーシングを挿入設置した。ケーシング挿入後は56mmダイヤモンドビットにて掘削した。

各ボーリング孔の掘進状況は Songwe地区ボーリング掘進状況表に示すとおりである。

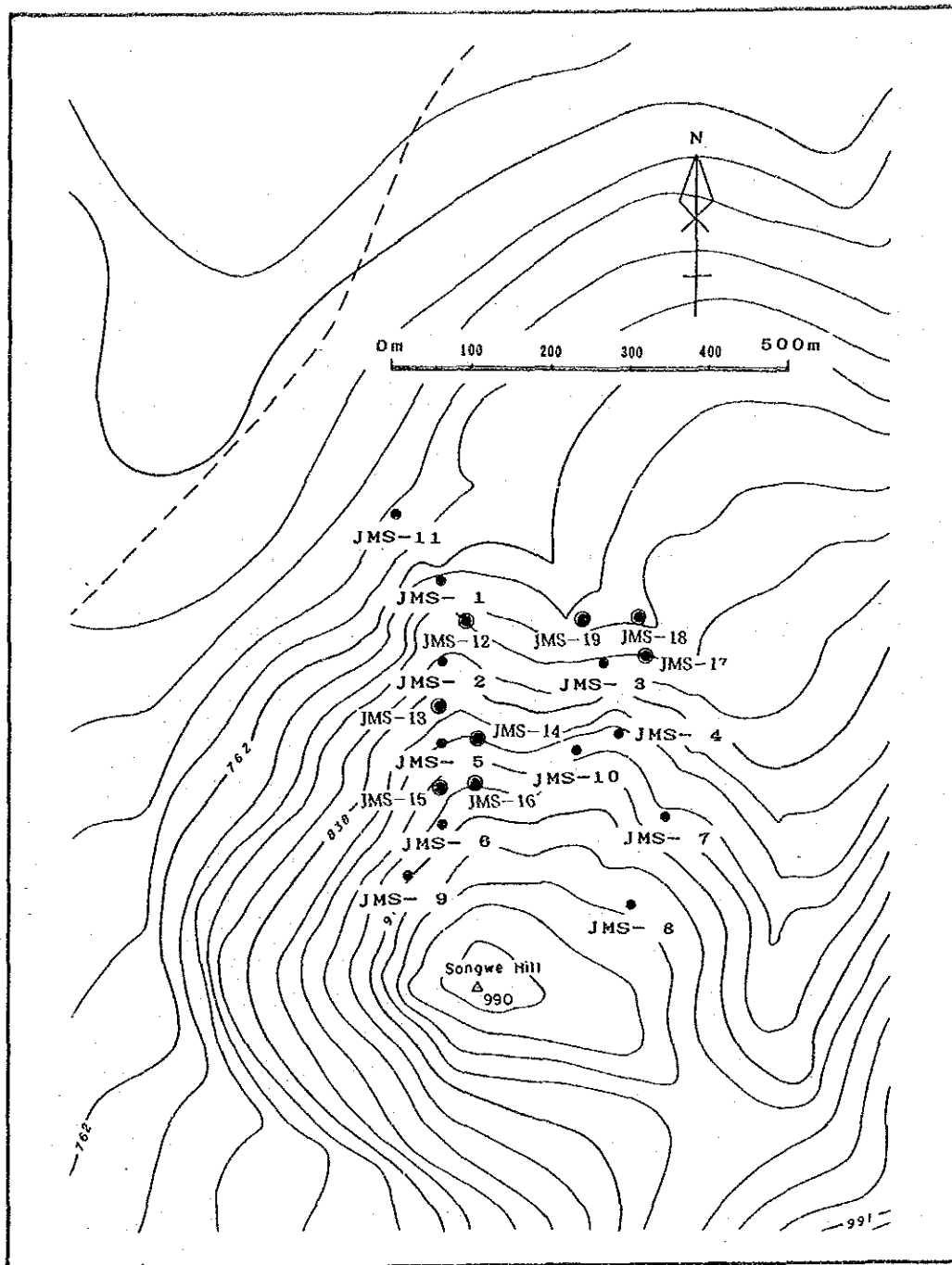
Songwe地区ボーリング調査終了後、機材は Tundulu地区へ移動した。移動に要した日数は2日間である。

1-3-3 ボーリング孔の地質及び鉱化作用

ボーリング調査はカーボナタイト露頭部から深度50 m付近までのレアアースを主とする有用鉱物の賦存状況及びカーボナタイト鉱床としての評価を行う目的で実施した。ボーリング孔中の地質状況は Fig. 7に、各試料の分析値、REOは Appendix 2に示すとおりである。

REO 1.0%以上の含有量を示すものを、レアアース鉱徴部として Tab. 4に、磷含有量2.2% (P₂O₅ 換算略5%) 以上、厚さ2.0m以上の含有量、規模を示すものを Tab. 5に示す。

レアアース鉱徴部が確認されたボーリングは、JMS-12を除くすべてである。主要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等である。本年度実施されたボーリング孔のうち、JMS-14のマンガンに富むアンケライト質カーボナタイトを主とする部分において深度0.6m~46.7m(46.1m), REO 1.26%, JMS-16のマンガンを含む方解石質カーボナタイトと角礫岩を主とする部分、深度0.3m~50.1m(孔底, 49.8m), REO 1.50%, 更に、JMS-18のマンガンに富むカーボナタイト中において深度0.6m~50.2m(孔底, 49.6m), REO 3.07%の鉱徴部を確認した。又、JMS-17の表層部の転石帯におい



LEGEND

• Drilling site (1987)

⊙ Drilling site (1988)

Fig. 6 Location map of drilling sites, Songwe

Songwe 地区ボーリング掘進状況表

孔番	掘進長 m	コア採取長 m	コア採取深 (除減土) 号	月日～月日	口径 7.3 mm		口径 5.6 mm	
					深さ m	掘進状況	深さ m	掘進状況
JMS-12	50.20	46.10	992	6.30~7.3	1.70	1.7 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	46.10	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 3.2 mで完全透水
JMS-13	50.10	47.70	998	7.3~7.5	2.30	2.3 mまでメタルシユ掘進, BWケーシング設置	47.70	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 1.1.5 mで完全透水
JMS-14	50.10	48.00	970	7.7~7.9	0.60	0.6 mまでメタルシユ無水掘進, 1.6 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	48.00	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 2.5.0 mで完全透水
JMS-15	50.10	49.70	992	7.9~7.12	1.50	1.5 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	49.70	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 1.9.8 mで完全透水
JMS-16	50.10	49.50	994	7.13~7.14	1.80	1.8 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	49.50	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 1.1.9 mで完全透水
JMS-17	50.10	28.40	866	7.15~7.17	1.730	1.7.3 mまでメタルシユ掘進, TK-60使用, BWケーシング設置	28.40	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 1.5.3 mで完全透水, 各所堅固あり
JMS-18	50.20	42.70	861	7.18~7.20	1.50	0.5 mまで無水掘進, 1.5 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	42.70	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 4.5 m完全透水
JMS-19	50.30	48.20	998	7.20~7.22	2.60	2.0 mまでメタルシユ掘進, TK-60使用, 2.5 mまでダイヤモンドシユ掘進, BWケーシング設置	48.20	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 3.4.6 m完全透水

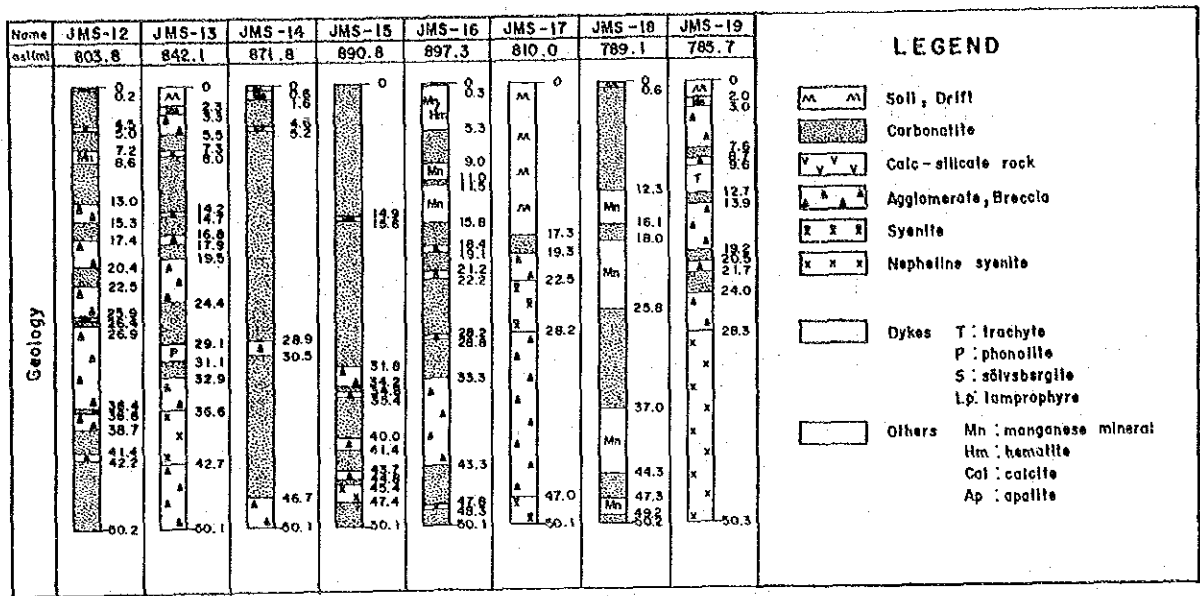


Fig. 7 Compiled geologic log, Songwe

Tab. 4 Summary of the mineralized zone (REO > 1.0%), Songwe

Drill No.	Depth	Thick											(ppm)	
			La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO	
JMS-13	2.3 - 7.3	5.0	2440	4574	1715	298.90	74.30	16.40	1130.0	1988	496	7197.0	11560.2	
	12.3 - 22.3	10.0	2302	4611	1726	330.50	81.90	24.40	1014.0	4098	399	4104.5	11386.3	
JMS-14	0.6 - 46.7	46.1	2650	5122	1849	360.09	90.45	24.71	1671.2	2308	405	8116.7	12619.8	
JMS-15	0.0 - 20.0	20.0	2068	4559	1989	352.65	93.20	27.18	1019.0	11071	593	12916.5	11645.1	
JMS-16	0.3 - 50.1	49.8	3120	6056	2272	423.53	105.69	37.04	2235.0	5217	491	6663.9	15024.4	
	0.0 - 7.0	7.0	6958	13755	5002	865.50	204.50	77.70	5390.0	3039	1799	38023.0	34500.2	
JMS-17	17.3 - 19.3	2.0	2295	4642	1745	269.20	68.90	15.50	1417.0	25807	576	12902.0	11568.5	
	35.7 - 40.7	5.0	2734	4176	1197	192.40	44.70	21.90	677.0	2599	201	5035.0	10286.2	
JMS-18	0.6 - 50.2	49.6	8207	12493	3702	529.54	114.61	31.15	1407.5	22031	491	17837.0	30690.8	
JMS-19	2.0 - 9.6	7.6	4619	7606	2532	376.92	82.28	19.54	1398.3	10278	368	4717.6	18733.5	
	12.7 - 28.3	15.6	2747	4369	1326	217.32	60.78	13.88	780.6	2639	340	6738.9	10902.4	
Bayan Obo (China)			2171	7166	5061	567	67	17	-	-	134	-	20000	

Tab. 5 Summary of the mineralized zone (P > 2.2%, Thick > 2.0m), Songwe

Drill No.	Depth	Thick											(ppm)	
			La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO	
JMS-17	0.0 - 7.0	7.0	6958	13755	5002	865.50	204.50	77.70	5390.0	3039	1799	38023.0	34500.2	
JMS-18	0.6 - 5.6	5.0	4663	8299	2935	413.60	101.90	30.50	3909.0	15394	623	31068.0	20507.2	
	35.8 - 50.2	14.4	9252	14216	4267	622.23	132.43	41.98	1014.6	27263	586	24487.7	34953.4	

ては深度0m~7.0m(7.0m), REO 3.45%, Eu 204.5ppmが認められた(Fig. 9)。

これら鉱微部のレアアース含有量をBayan Obo(バヤンオボ)(中国)の含有量と比較すると、一般にSongwe地区のものは軽希土類は同じか少なく、中希土類のEu, Tbは多い。

燐はJMS-18の深度35.8m~50.2m(14.4m)間において含有量2.45%(P₂O₅換算5.6%)のものが比較的まとまったものとして確認された。燐鉱物はアパタイトが主である。

1-4 考 察

本地区は第2年次までの調査結果、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(Fig. 8)。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、レアアース鉱微部が確認されている(JMS-4, JMS-10等)。これら鉱微部の特徴はBayan Obo鉱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鉱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)鉱山産のものに比べて2倍以上高いといわれている。Kishimoto, 1985)。

本年度の調査では、上記レアアース鉱微部においてボーリングを実施し、第2年次調査及び第3年次ボーリング調査結果と地表地質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鉱床としての概略埋蔵鉱量計算を試みた。なお、本試算には以下の仮定を設けた。

- ボーリング孔中10m以上の鉱微部(REO > 1.0%)が、ほぼ連続して胚胎するものを対象とした。なお鉱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。
- 鉱床範囲の面積は、地表地質調査結果を基に、鉱微部と考えられるカーボナタイトを対象とし算出した。
- 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(方解石2.7, アンケライト3.0~3.1, 菱鉄鉱3.7~3.9及び空隙を考慮)。

試算の結果、本地区の鉱床は6鉱体となり、その各々の鉱量及びREO, Sm, Eu,

Tb品位はTab. 6のとおりである (Fig. 9)。埋蔵鉱量約 140万tについては、地表下50mまでと限定したため他鉱山との比較は困難である。品位については、REO、1.7%はBayan Obo鉱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。

Tab. 6 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

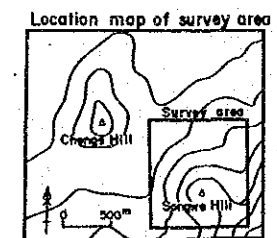
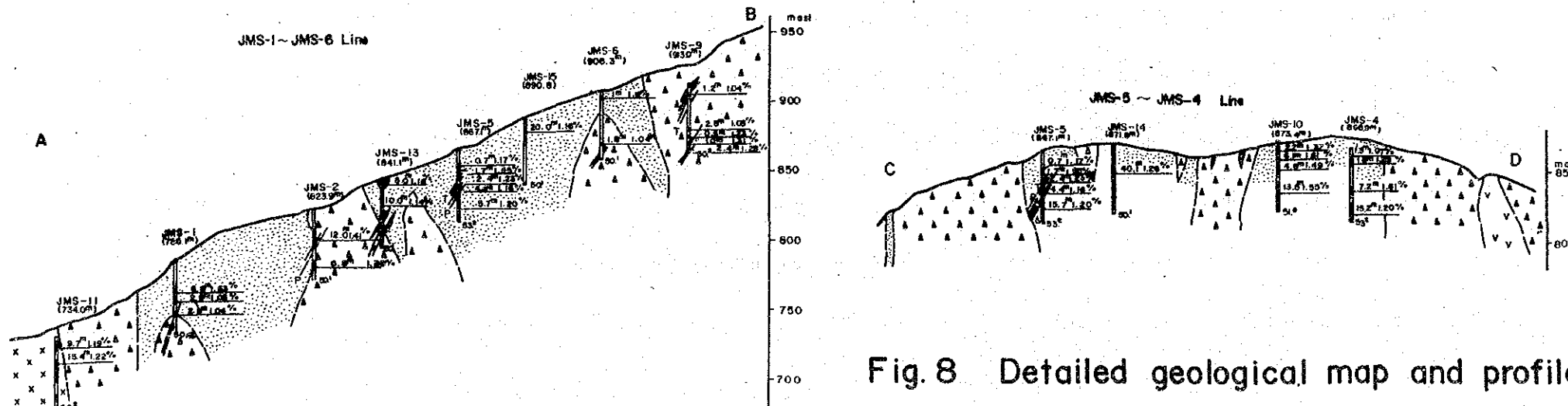
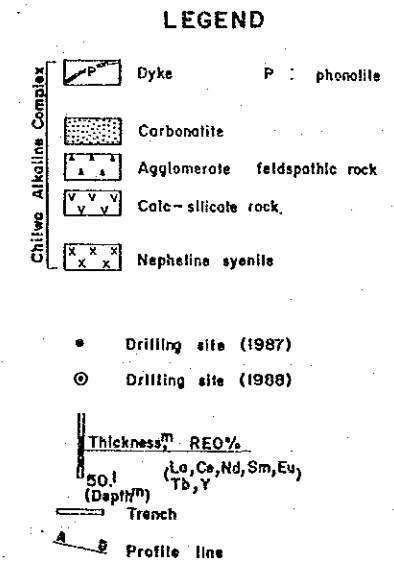
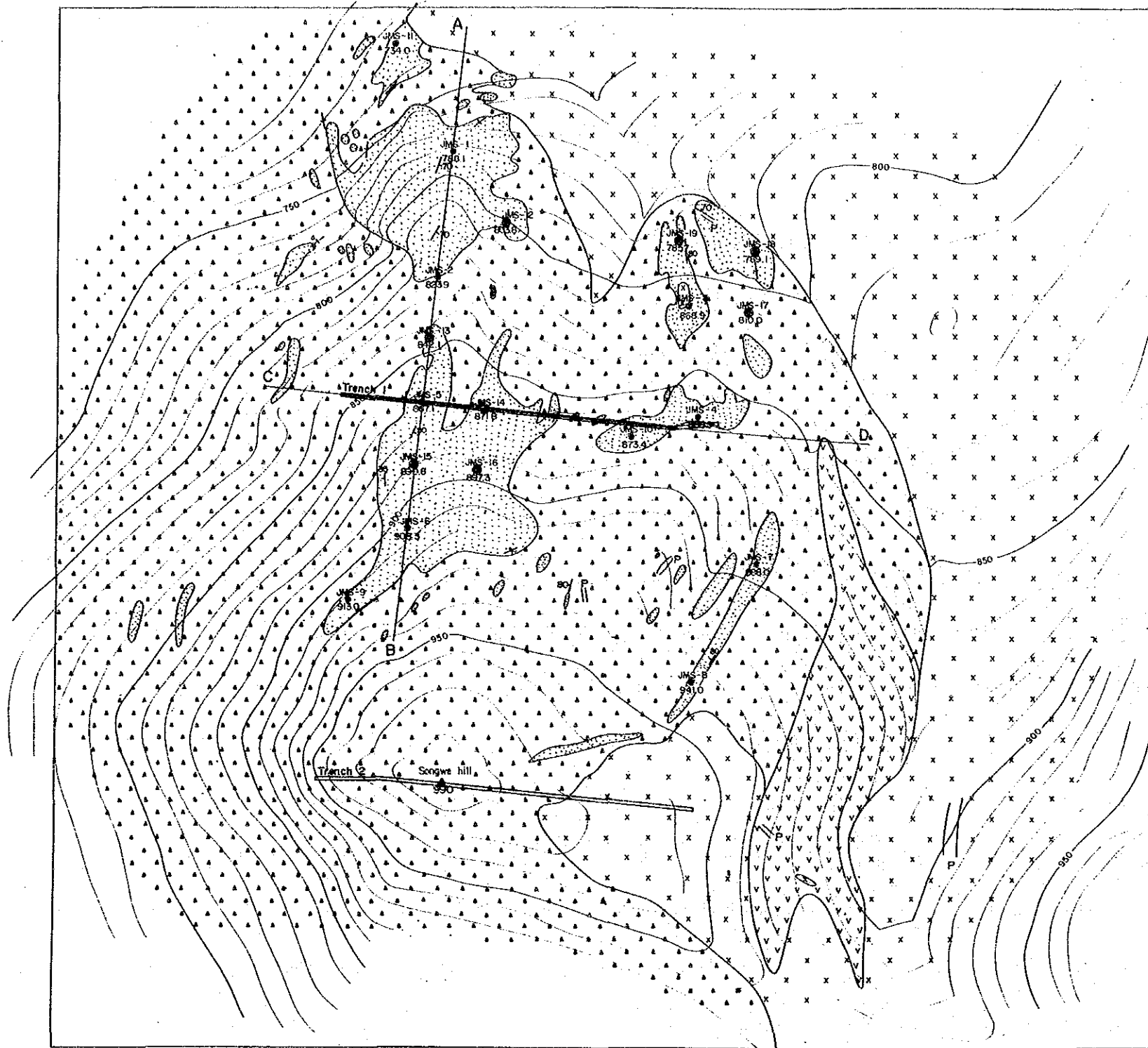
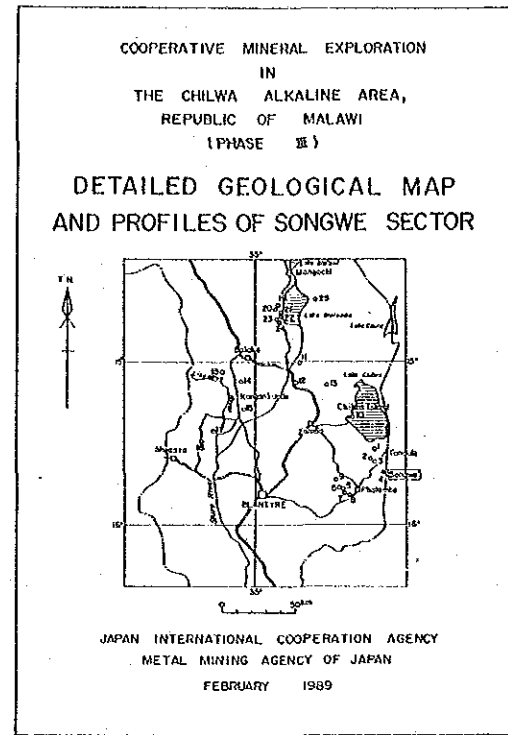
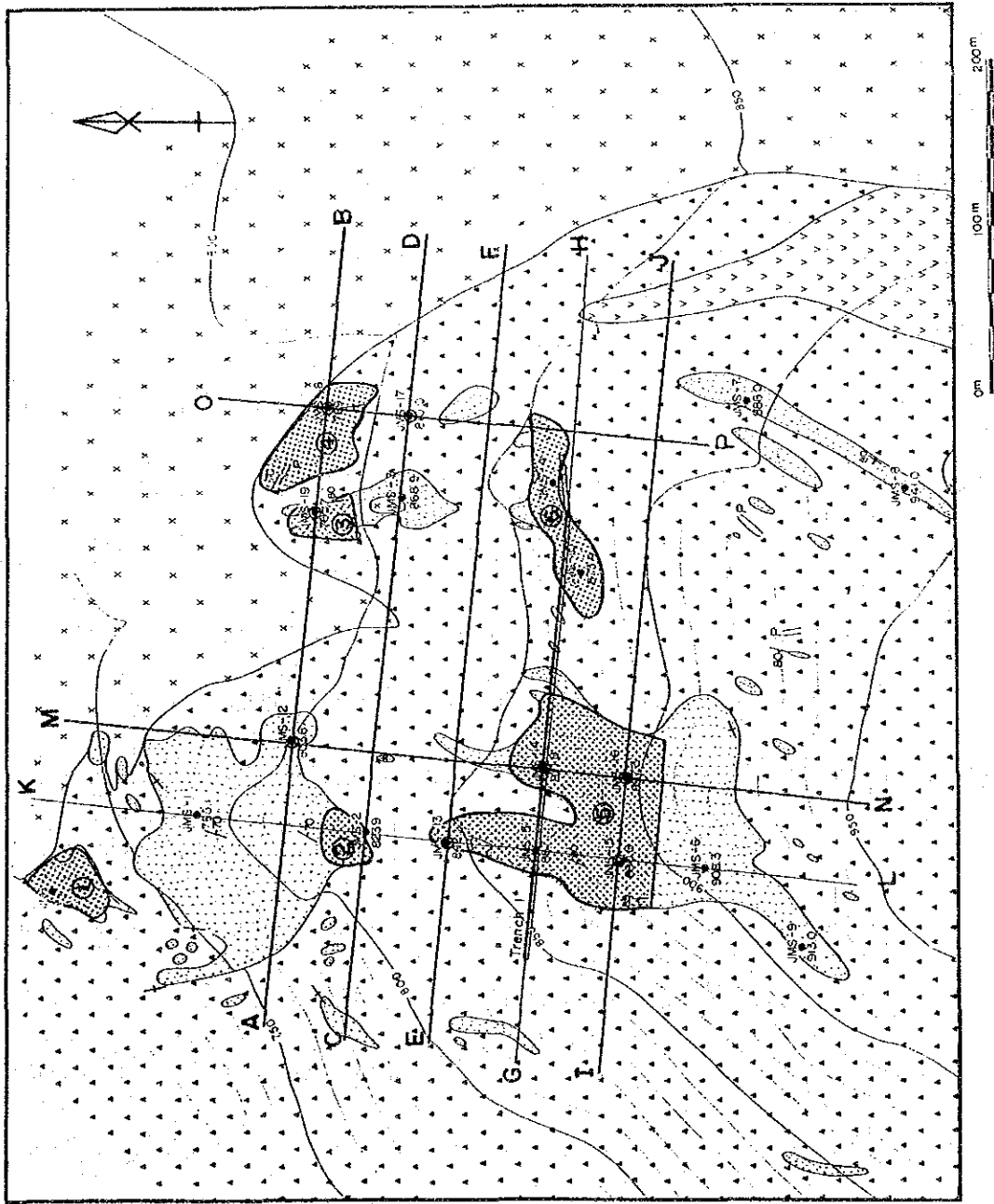


Fig. 8 Detailed geological map and profiles of Songwe sector



LEGEND

- Dyke
- Carbonatite
- Agglomerate
- Calc-silicate rock
- Nepheline syenite
- P : phonolite
- feldspathic rock
- Chilwa Alkaline Complex

- Drilling site (1967)
- ⊙ Drilling site (1966)

Thickness REO %
 50.1
 (Depth)
 Trench
 A B Profile line

Ore reserved block No. and area.

Fig. 9 - I Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe

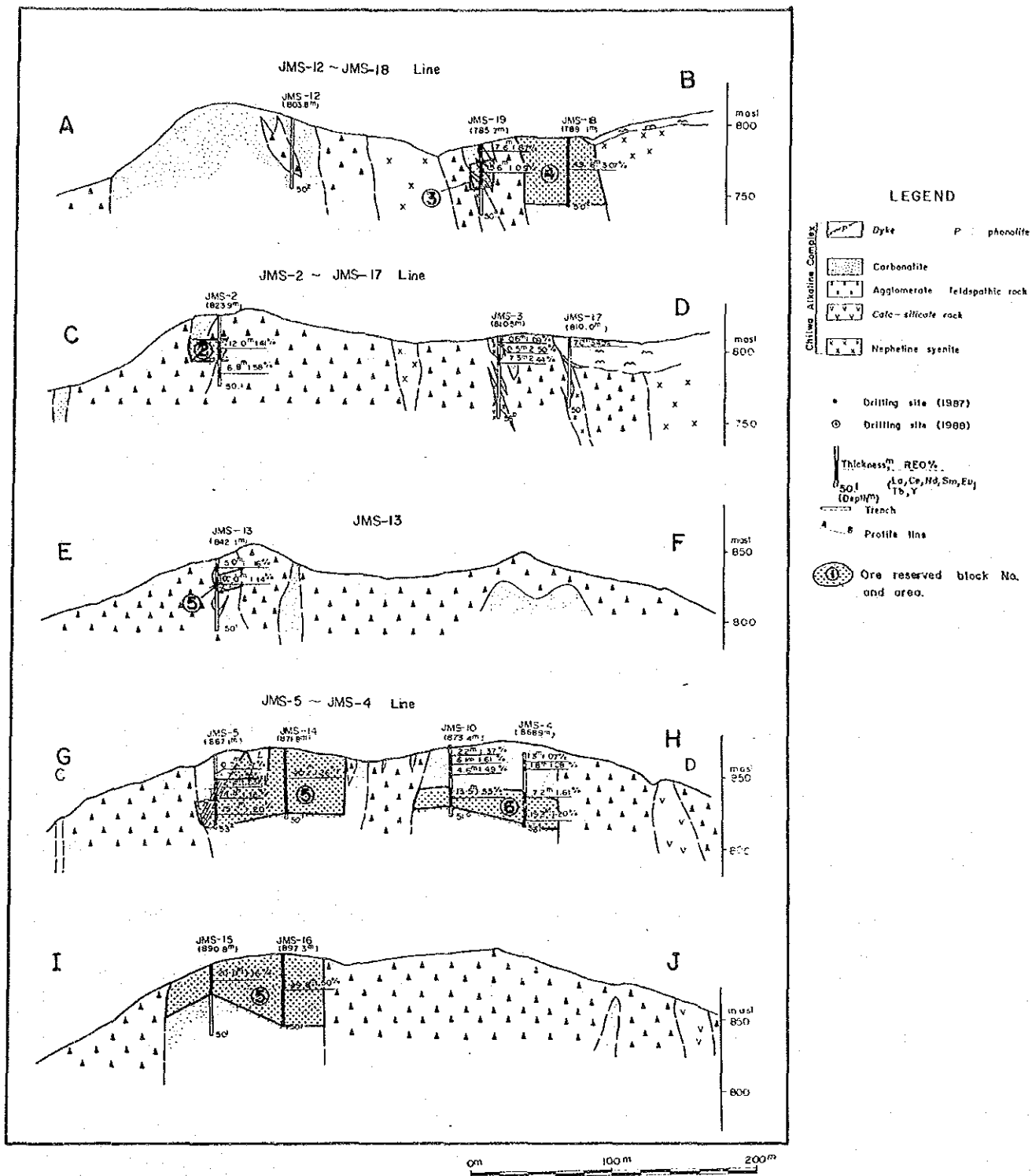


Fig.9-2 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe - W-E section -

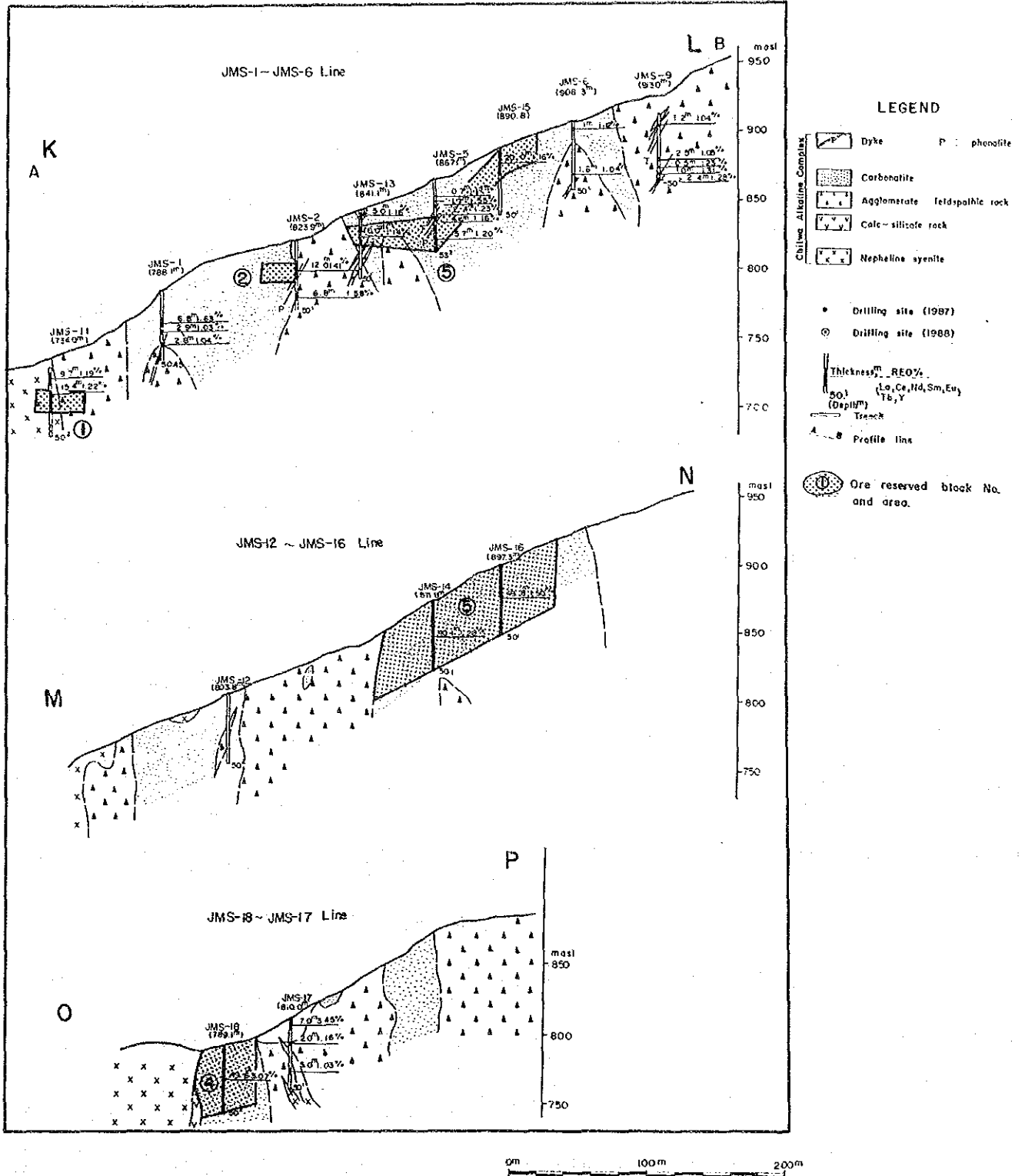


Fig.9-3 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe - N-S section -

第2章 Tundulu地区

2-1 調査方法

本年次調査は、地質調査及びボーリング調査を実施した。調査方法は前述Songwe地区と同じである。

調査内容はTab. 7のとおりである。

Tab. 7 Contents of survey, Tundulu

Geological and geochemical survey		Drilling survey	
Area	0 km ²	No. of holes	3
Route survey	0 km	Total length	150.7 m
Trench survey	0 m	Inclination	-90°
Assay of geochemical samples	0 pcs	Assay of ore samples	30 pcs
Microscopic observation (Polished thin section)	4 pcs	Assay element:	
X-ray diffractive analysis	6 pcs	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr,	
EPMA	4 pcs	Y, P (10 elements)	
Whole rock analysis	5 pcs		
Isotope analysis	5 pcs		

2-2 地質 (Fig. 10)

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, ソルプスパーガイト, トラカイト他)
ジュラ紀前期 先カンブリア紀後期 ~カンブリア紀前期	ドレライト 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 $N55^{\circ} E$, 傾斜略垂直で巾 $0.5m \sim 2m$ 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 Chigakwalu 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, $132.4 \sim 136.2 Ma$ を示し, 白亜紀前期の貫入時期を示す (JICA and MMAJ, 1987)。

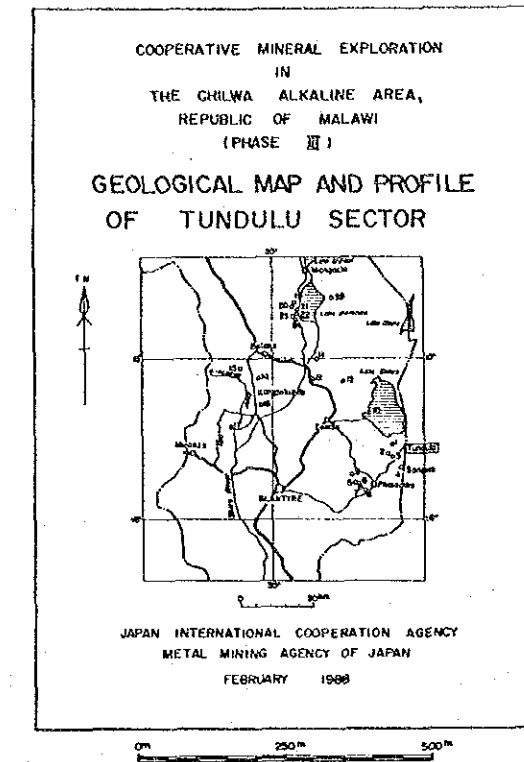
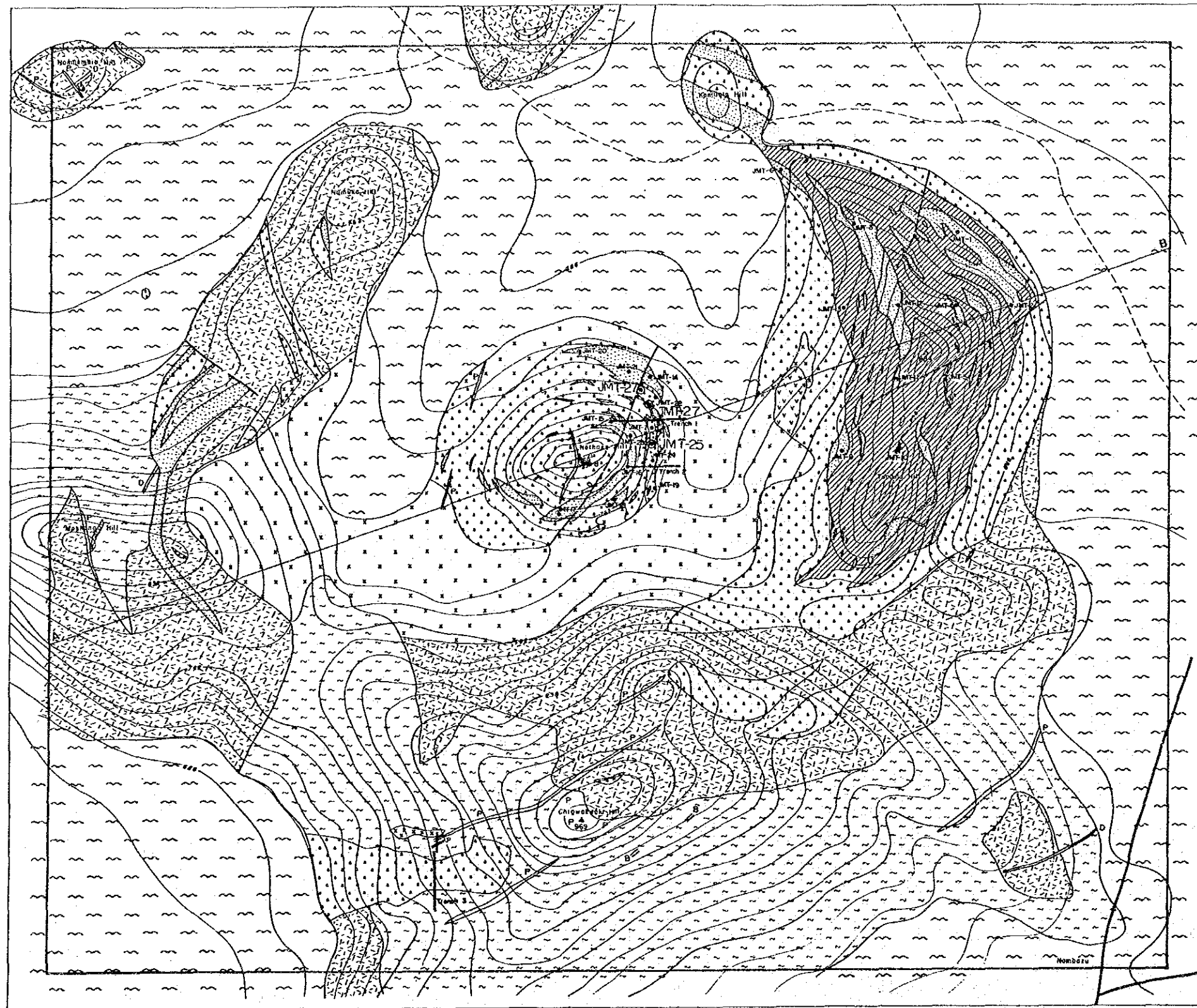
角礫岩類は, Nathace 丘, Tundulu 丘, Kamilala 丘に分布する。本岩類中には, 淡紅色ないし紅褐色の長石に富む角礫状岩石からなる長石化角礫岩と基盤岩類, 凝灰岩, トラカイト, フォノライト等岩石片から成る集塊岩がある。この角礫岩類中にはしばしばカーボナタイト礫が含まれる。これらの礫間充填物は炭酸塩鉱物であることが多い。角礫の大きさは, 数 cm 大から数 m 大に達する。

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, 一部に暗褐色菱鉄鉱斑晶が認められる。鏡下では, アパタイト, 石英に富み, アルカリ長石, 褐鉄鉱, 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。アパタイトは粒径 $0.1mm$ 程度の細粒自形をなす。

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, 菱鉄鉱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鉱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, 緻密で磁鉄鉱に富む。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鉱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, 磁鉄鉱に富む。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



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Apatite rock
- Carbonatite bearing agglomerate / feldspathic rock
- Agglomerate / feldspathic rock
- Calc-silicate rock
- Dyke / plug
 - P : phonolite
 - S : sylvanite
 - T : trochyte
 - J : juvite
 - B : beforsite
 - D : dolerite
- Nepheline syenite
- Gneiss
- Syenite
- Fault
- Drilling site (1987)
- Drilling site (1988)
- Trench (1987)
- Profile line

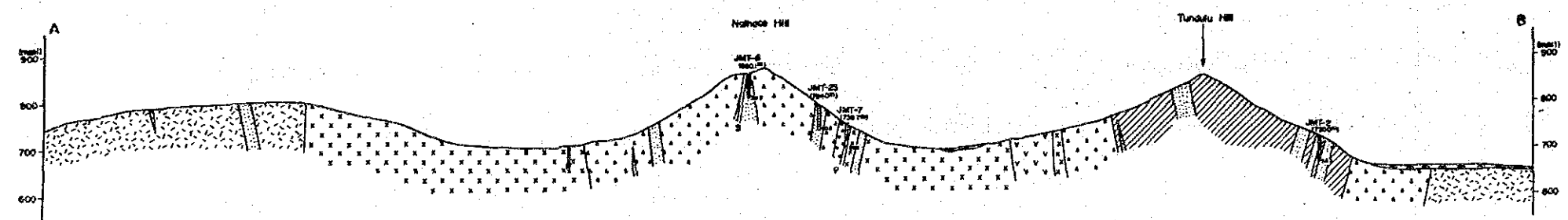


Fig. 10 Geological map and profile of Tundulu sector

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、ソルブスパータイト等が認められる。これらアルカリ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“チルワールカリン岩石区”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。

2-3 ボーリング調査

第1年次調査においてTundulu地区はカーボナタイト鉱床としてのポテンシャルが高い地区として抽出され、第2年次に地質調査・地化学探査及びボーリング調査が実施された。第2年次調査ではNathace丘東半分に分布するカーボナタイト及びアパタイト岩中においてレアアース鉱徴部及び燐鉱徴部を捕捉した。

第3年次調査は、これら鉱徴部の賦存状況を確認し、鉱床としての評価を行うことを目的に実施された。

2-3-1 調査概要

使用ボーリング機材はSongwe地区から運搬された。作業形態及び作業方法はSongwe地区と同じである。

ボーリング調査量は次のとおりである。

孔数	総掘進長	コア長	コア採取率	鉱石分析
3	150.7m	138.1m	96.7% (*)	30件

(*) 表土を除く

現地ボーリング調査期間は7月25日から7月30日までの6日間であった。

2-3-2 ボーリング調査工事

Songwe地区から Tundulu地区への資・機材運搬は4 t及び11 tトラックで行った。

設営はJMT-26から開始した。Tundulu地区のボーリングは、JMT-26, 25, 27の順に実施された。各ボーリング位置は、Fig. 11に示す。各ボーリング座間の山内運搬道路は、幅員1 m、総延長700mである。道路建設及びボーリング座整地は人力で行った。

ボーリング用水は、調査地から6 km地点のChilwa湖畔より3 tトラックと1.5 m³ タンクを使用し、ボーリング調査地付近まで運搬した。ボーリング座へは揚水ポンプ1台、ホース延長500mを使用し給水した。

掘進作業は表土部では73mmメタルシュ、着岩後はBWダイヤモンドシュを使用し、BWケーシングを挿入設置した。ケーシング挿入後、孔底まで56mmダイヤモンドビットで掘削した。

各孔ボーリング孔の掘削状況は、別表 Tundulu地区ボーリング掘進状況表に示すとおりである。

Tundulu地区ボーリング調査終了後、機材はChilwa Island地区へ移動した。移動には6日間を要した。

2-3-3 ボーリング孔の地質及び鉱化作用

ボーリング調査はカーボナタイト露頭部又はアパタイト岩露頭直上部から深度50mのものが実施された。ボーリング孔中の地質状況はFig. 12に示すとおりである。各試料の分析値及びREOはAppendix 2に示す。

REO 1.0%以上の含有量を示すものを、レアアース鉱微部としてTab. 8に、磷含有量2.2% (P₂O₅ 換算略5%) 以上、厚さ2.0m以上の含有量、規模を示すものをTab. 9に示す。

本年度実施したボーリングでは、いずれも鉱微部を確認した。主要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及びパイロクロア、アパタイトである。

主な鉱微部はJMT-25の深度1.6m~27.0m(25.4m)間の螢石を含むアパタイト岩、酸化鉄を含むアパタイト岩中にREO1.19%、JMT-26の深度21.7m~37.7m(16.0m)間の菱鉄鉱質カーボナタイト及び菱鉄鉱を含むアパタイト岩中にREO1.50%、JMT-27の深度39.4m~49.9m(10.5m)間の菱鉄鉱質カーボナタイト、変質岩中にREO1.28%が認められる(Fig. 14)。

また磷はJMT-25の深度1.6m~37.7m(36.1m間)、含有量12.7% (P₂O₅ 換算29.1%)、JMT-26の深度21.7m~46.7m(25.0m間)、含有量4.7% (P₂O₅ 換算10.8%)、JMT-27の深度12.4m~35.7m(23.3m間)、含有量3.9% (P₂O₅ 換算8.9%)が確認

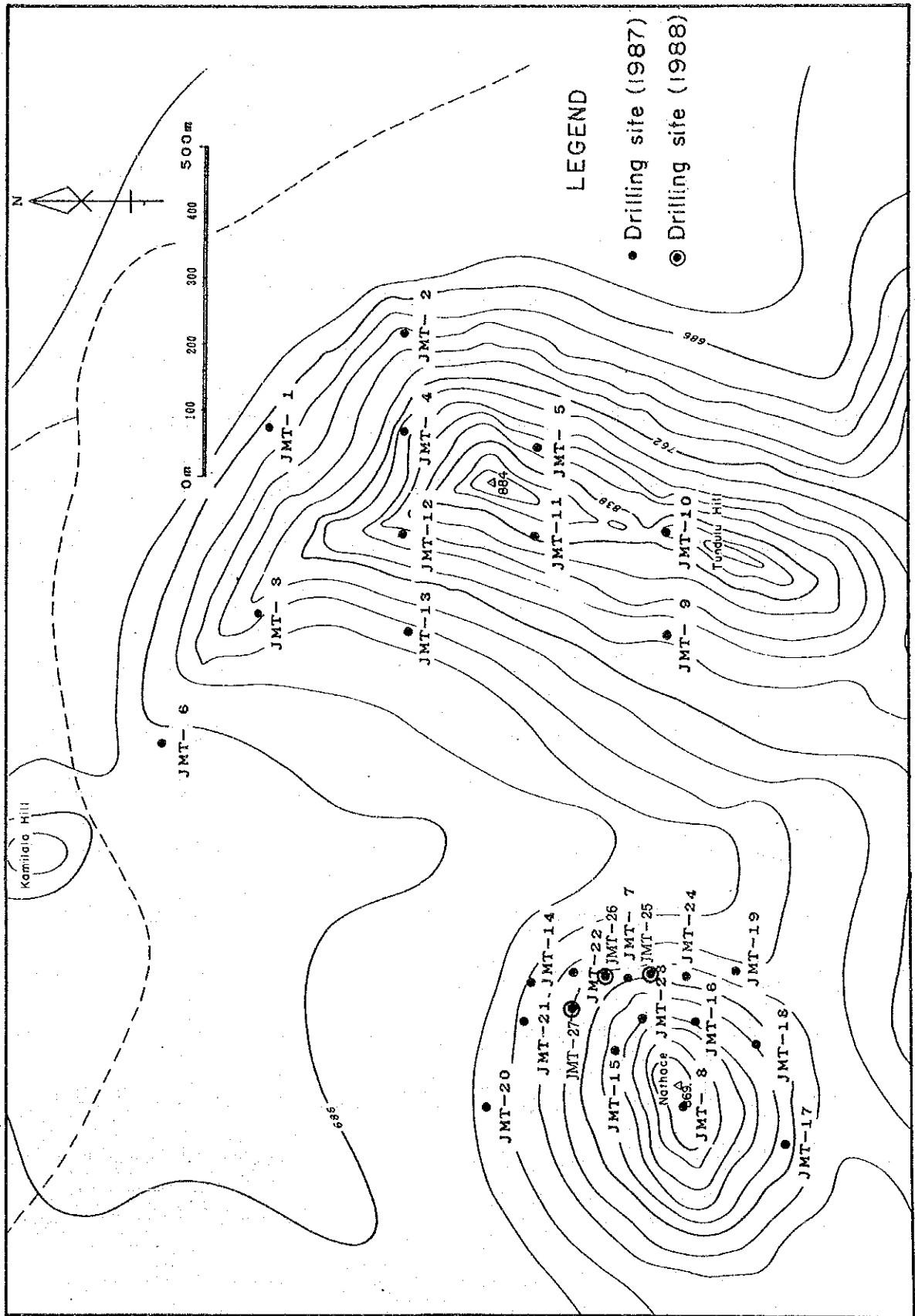


Fig.11 Location map of drilling sites, Tundulu

Tundulu 地区ボーリング掘進状況表

孔番	掘進長 m	コア採取長 m	コア採取率 (除灰土) %	月日～月日	7.3m		5.6m	
					深度 m	掘進状況	深度 m	掘進状況
JMT-25	5.020	4.490	98.7	7.27-7.28	1.60	1.6 mまでメタルシム掘進, TK-60使用 BWケーシング設置	4.530	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 11.0mで完全湧水, 37.7mで崩壊
JMT-26	5.030	4.530	93.0	7.25-7.26	5.20	4.7 mまでTK-60使用, 5.2 mまでダイヤモンドシム, BWケーシング設置	4.490	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 5.7 mで完全湧水
JMT-27	5.020	4.790	98.4	7.29-7.30	1.60	1.6 mまでメタルシム掘進, TK-60使用, BWケーシング設置	4.790	ダイヤモンドビット, TK-60使用, 11.0mで完全湧水

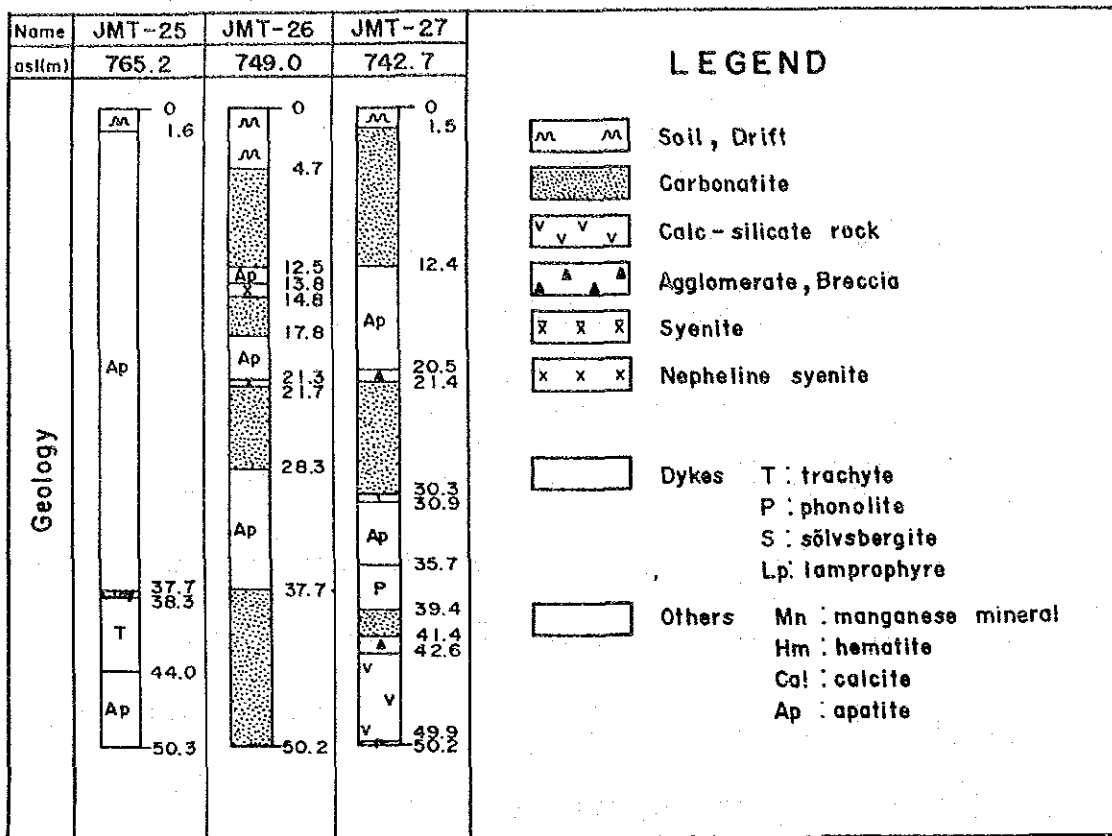


Fig.12 Compiled geologic log, Tundulu

Tab. 8 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Tundulu

(ppm)

Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMT-25	1.6 - 27.0	25.4	2427	4357	1386	256.37	88.35	29.91	1774.4	11062	1311	120110.5	11912.2
	44.0 - 50.3	6.3	2602	4978	1672	316.50	104.10	43.60	1797.0	4723	1401	113384.0	13431.8
JMT-26	4.7 - 7.8	3.1	1779	3947	1430	263.10	87.10	24.80	3232.0	4114	878	78724.0	10144.9
	12.5 - 13.8	1.3	2496	5151	1734	289.10	84.10	28.40	5198.0	4690	755	47295.0	12699.4
	14.8 - 21.3	6.5	3377	5234	1496	218.60	66.32	18.34	1191.1	18925	574	38664.7	13213.1
	21.7 - 37.7	16.0	3884	5847	1613	272.99	81.18	39.92	1117.2	23072	764	57632.4	15042.8
	29.4 - 49.9	10.5	3552	5240	1386	198.90	45.20	15.39	1126.8	27308	211	12771.2	12787.2
Bayan Obo (China)			2171	7166	5061	567	67	17	-	-	134		20000

Tab. 9 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Tundulu

(ppm)

Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMT-25	1.6 - 37.7	36.1	2152	3885	1255	248.46	89.57	28.67	1480.7	9371	1391	126596.8	10950.3
	44.0 - 50.3	6.3	2602	4978	1672	316.50	104.10	43.60	1797.0	4723	1401	113384.0	13431.8
JMT-26	4.7 - 13.8	9.1	1688	3575	1342	222.50	72.21	19.37	3353.8	3697	738	55511.6	9235.1
	14.8 - 21.3	6.5	3377	5234	1496	218.60	66.32	18.34	1191.1	18925	574	38664.7	13213.1
	21.7 - 46.7	25.0	3103	4820	1420	234.92	70.43	31.42	977.5	16571	646	46735.8	12425.0
JMT-27	12.4 - 35.7	23.3	1671	3062	1076	182.18	59.85	18.74	735.9	7608	536	39257.0	7958.0

された (Fig. 15)。これらの燐鉍物は、いずれもアパタイトであり、粒径0.1 μ m大で、石英、方解石と共生する (T2501, T2607)。

2-4 考 察

第2年次までの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、後期に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丘のカーボナタイトは 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、菱鉄鉍質カーボナタイト及びアパタイト質岩等からなり、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鉍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多い (Fig. 13)。

レアアース及び燐鉍微部は 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。

本年度調査では 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 (8Y153, 8Y154) 及びアンケライト、菱鉄鉍からなるカーボナタイト (JMT-22) は $\delta^{13}\text{C} = -7.4\text{‰}$ から -5.4‰ 、 $\delta^{18}\text{O} = +5.4\text{‰}$ から $+8.7\text{‰}$ の値を示し、火成岩起源を示唆している。クトナホライト、方解石から成るカーボナタイトは $\delta^{13}\text{C} = -5.0\text{‰}$ から -2.3‰ 、 $\delta^{18}\text{O} = +20.7\text{‰}$ から $+22.0\text{‰}$ の値を示し、大気中の酸素と天水の酸素の影響を受けた変質作用があったことを示唆している (4-2 参照)。

更に、Nathace丘のカーボナタイトについてレアアース鉍床、燐鉍床としての可能性の検討を行った。

レアアース鉍床としての概略埋蔵鉍量計算は 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丘の鉍床は3鉍体となり、それらの鉍量及び REO, Sm, Eu, Tb 品位は Tab. 10 のとおりである (Fig. 14)。埋蔵鉍量は約60万 t であるが Songwe 地区

と同様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 Height	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以上の鉱微部 (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の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鉱体にまとまり、その鉱量及び P, P₂O₅, REO品位を Tab. 11に示す (Fig. 15)。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 Height	(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

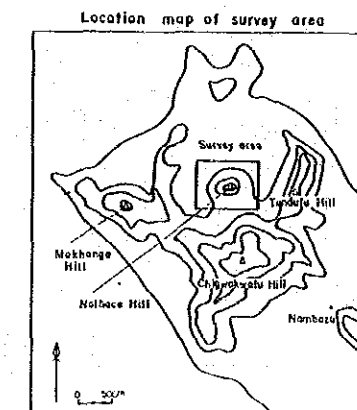
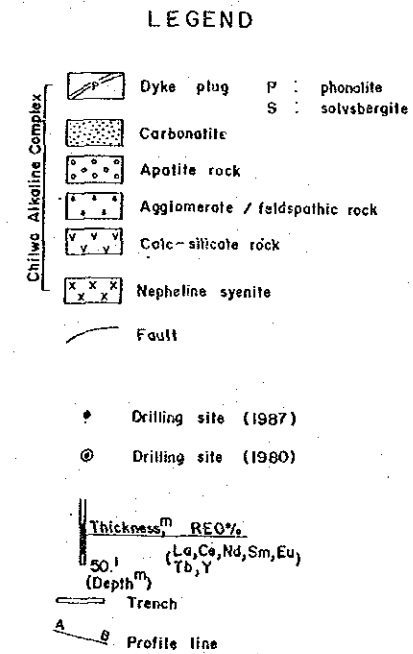
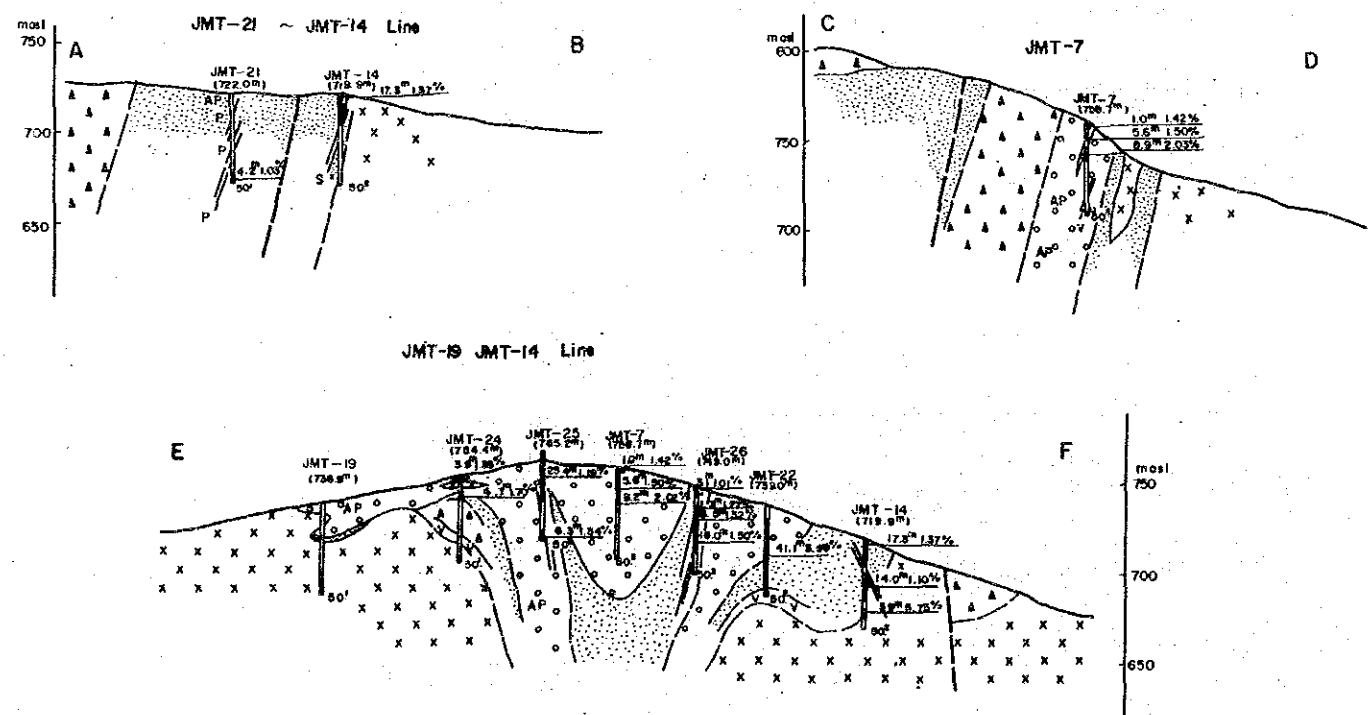
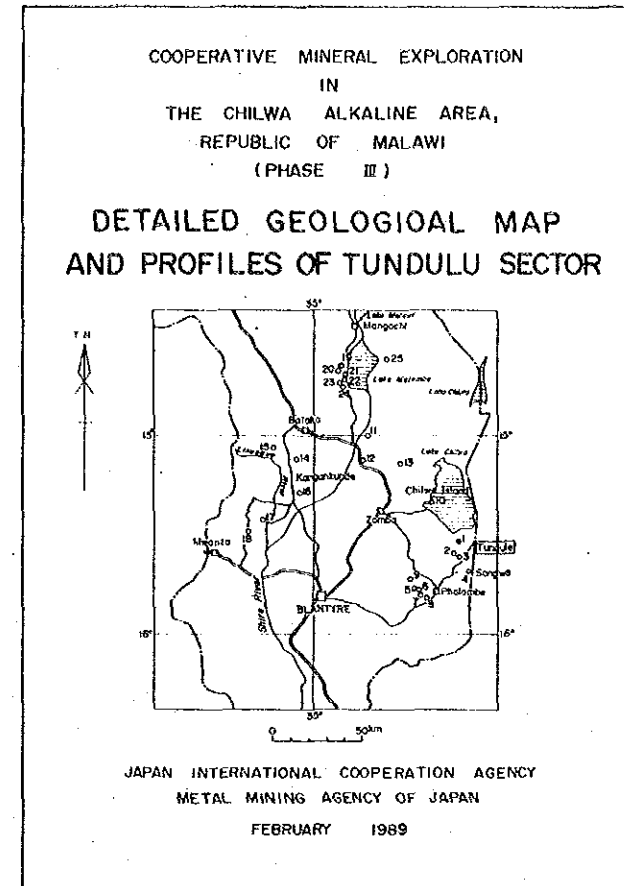
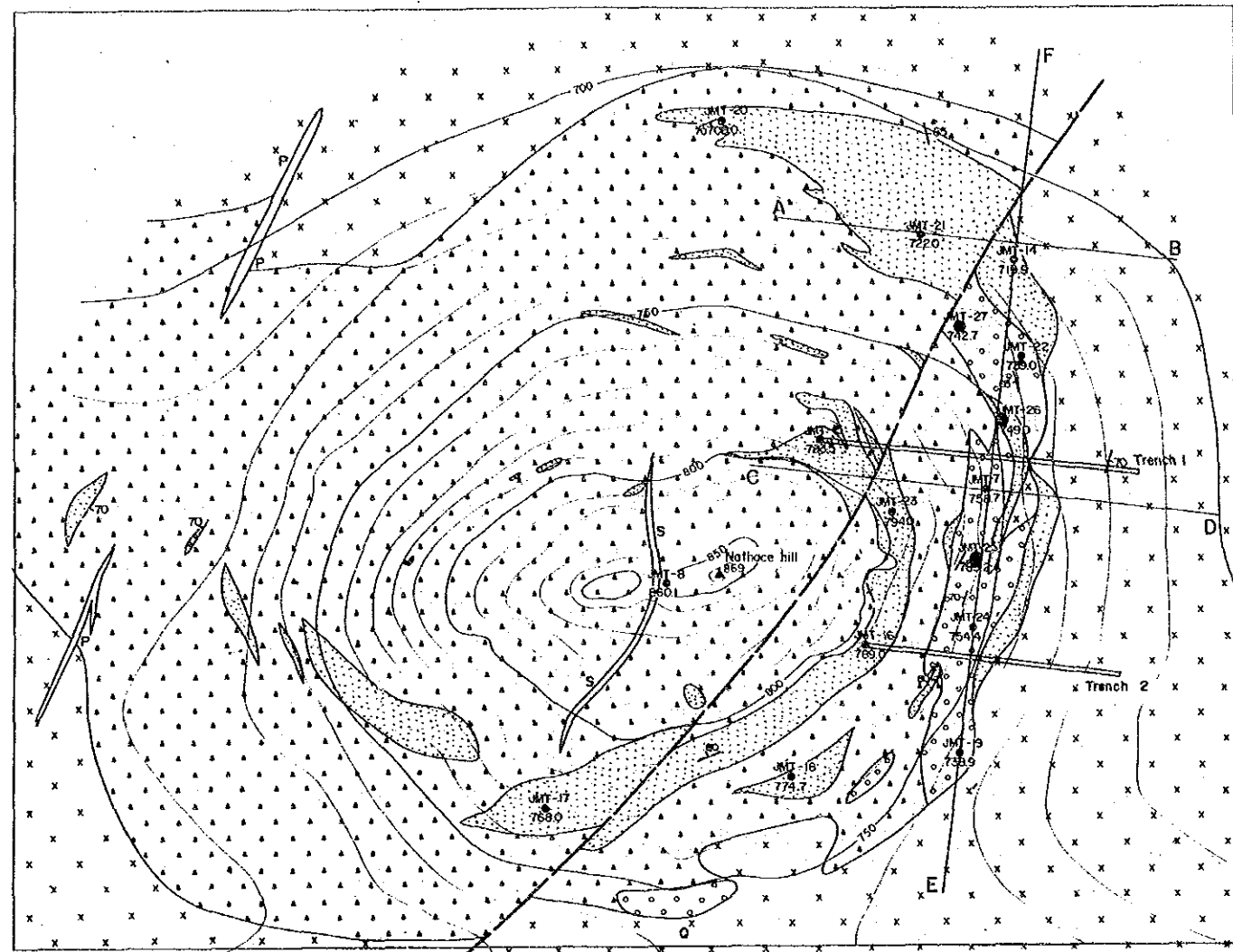


Fig.13 Detailed geological map and profiles of Tundulu sector

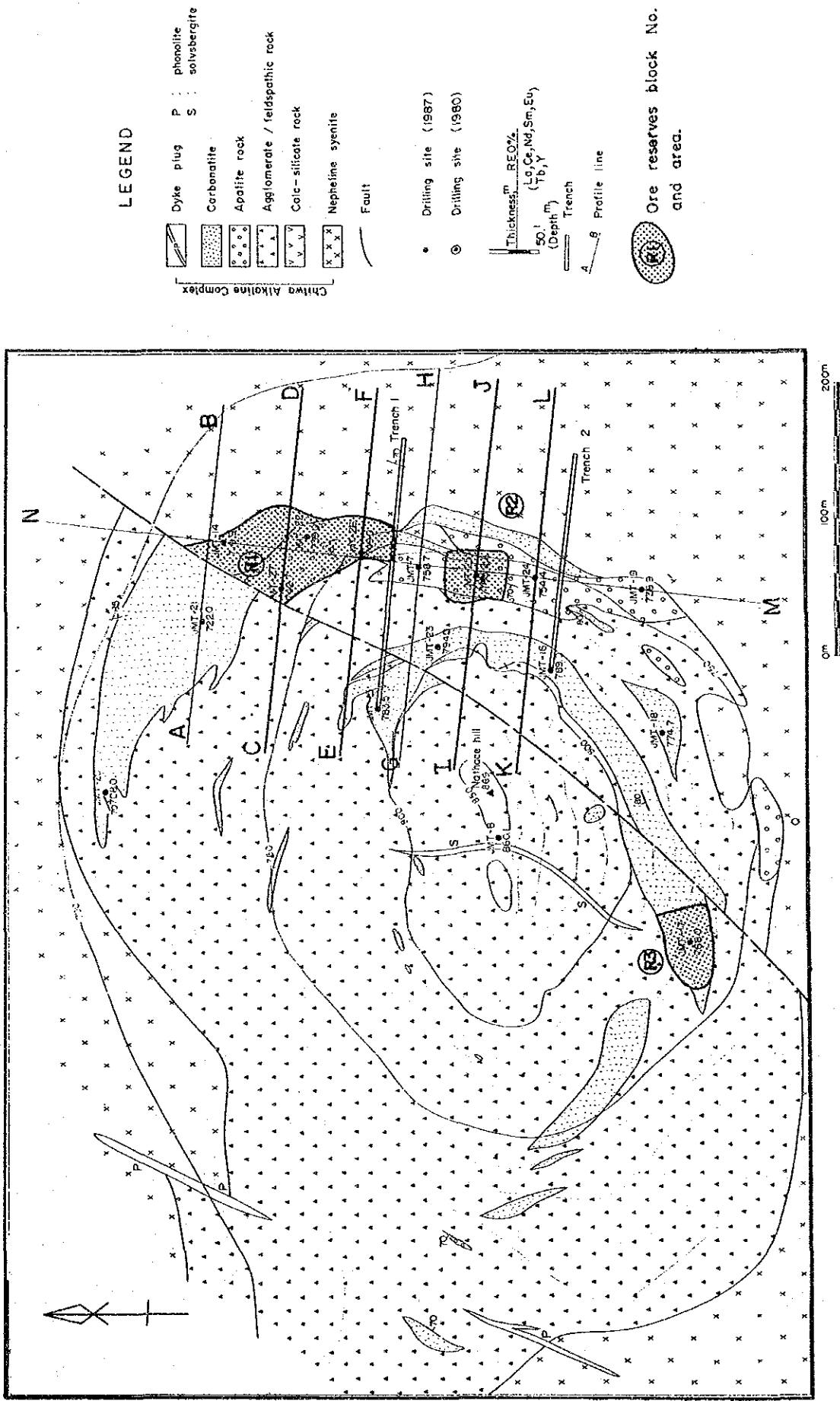


Fig.14 - I Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Songwe - Plain -

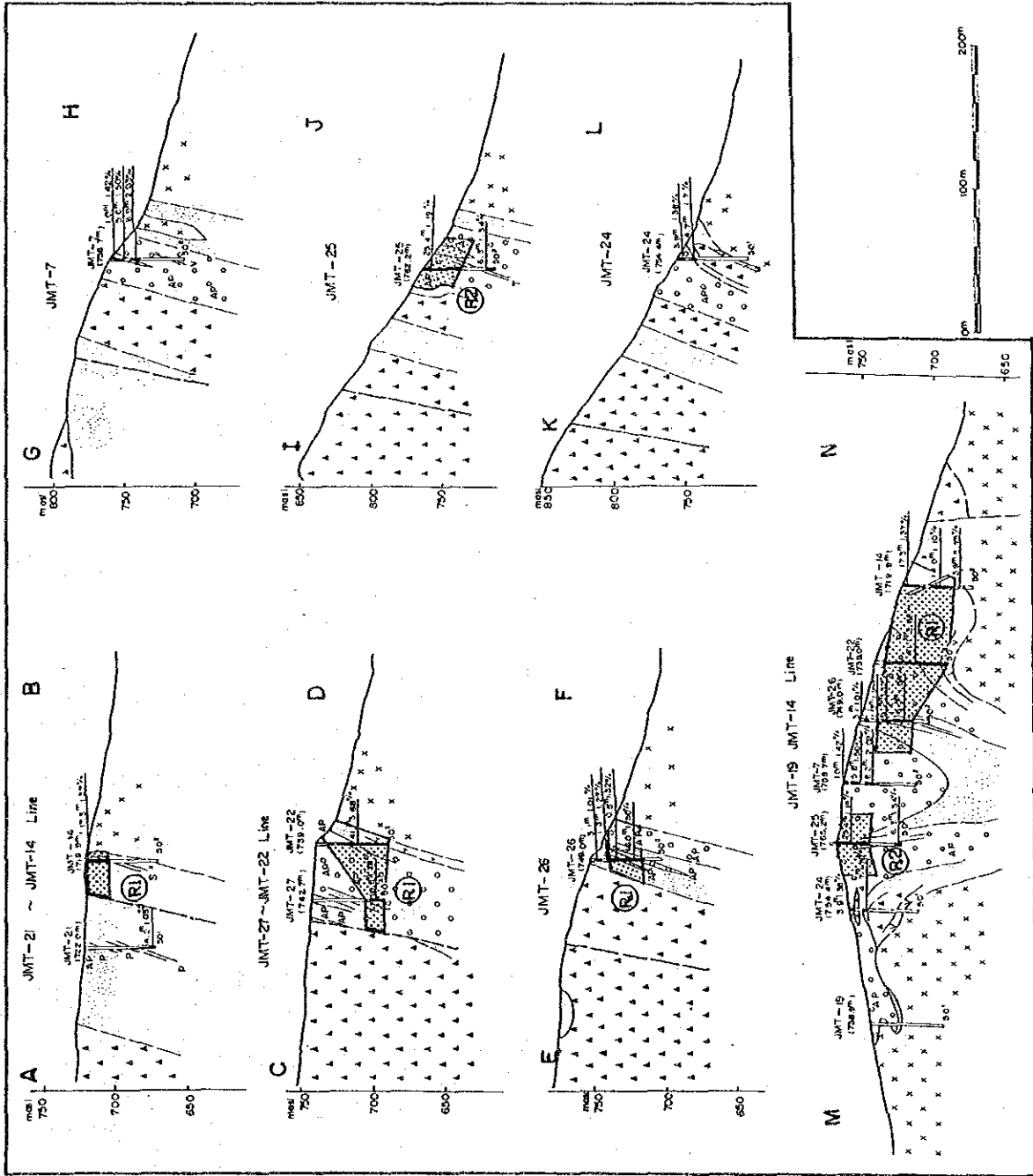
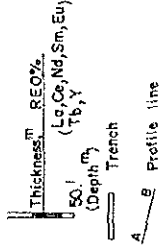


Fig.14 - 2 Geological section of drill holes and map of ore reserves (REO), Tundulu - Section -

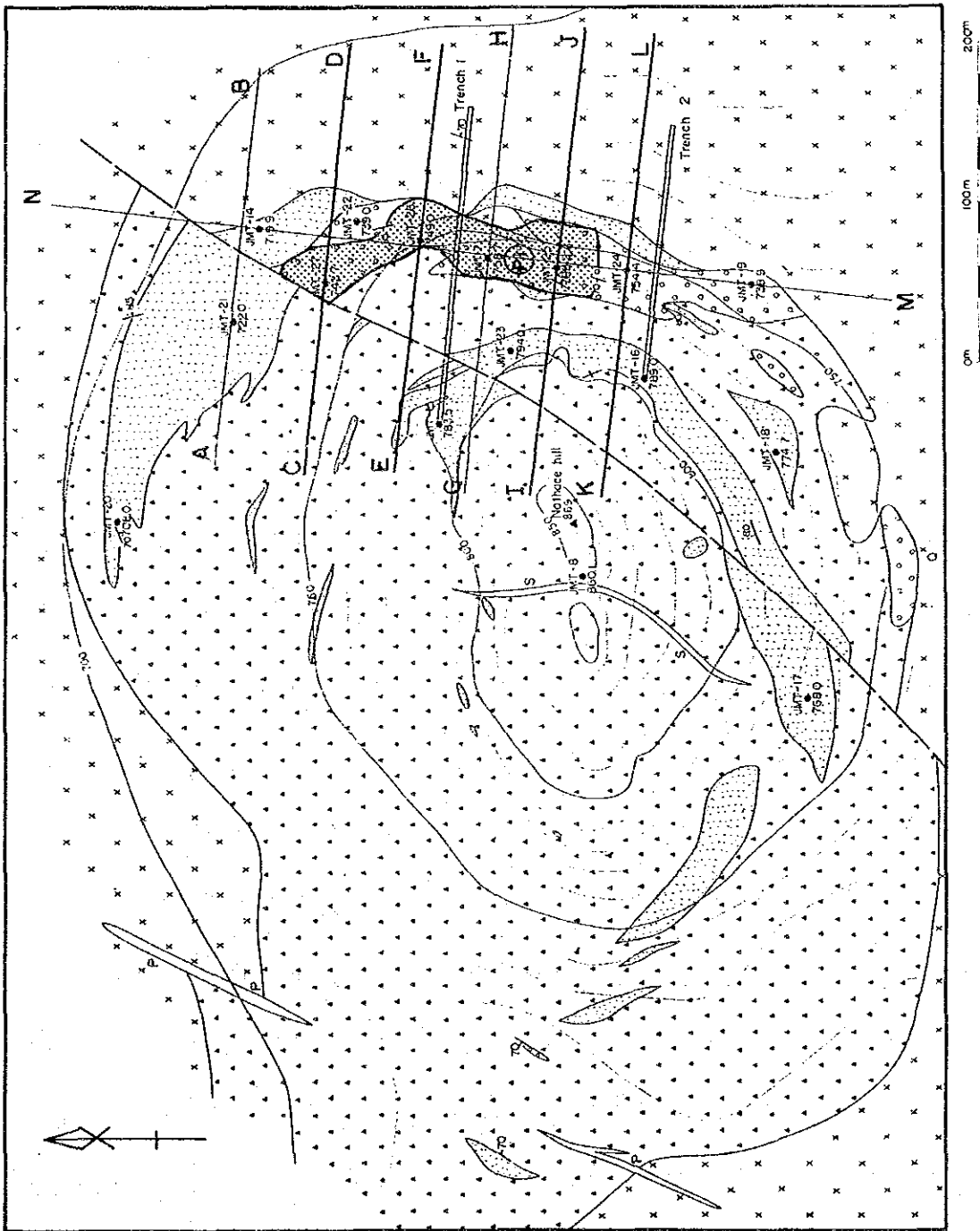
LEGEND

- Dyke plug
- P : phonolite
- S : selsbergite
- Carbonatite
- Apatite rock
- Agglomerate / feldspathic rock
- Calc-silicate rock
- Nepheline syenite
- Fault

- Drilling site (1987)
- ⊙ Drilling site (1980)



Ore reserves block No. and area.



LEGEND

- | | | | |
|--|----------------------------------|----|--------------|
| | Dyke plug | P | phonolite |
| | Carbonatite | S | solvebergite |
| | Apatite rock | | |
| | Agglomerate / feldspathic rock | | |
| | Calc-silicatic rock | | |
| | Nepheline syenite | | |
| | Fault | | |
| | Drilling site (1987) | | |
| | Drilling site (1960) | | |
| | Thickness (m) | P% | |
| | Trench | | |
| | Profile line | | |
| | Ore reserves block No. and area. | | |

Fig. 15 - 1 Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu
- Plain -

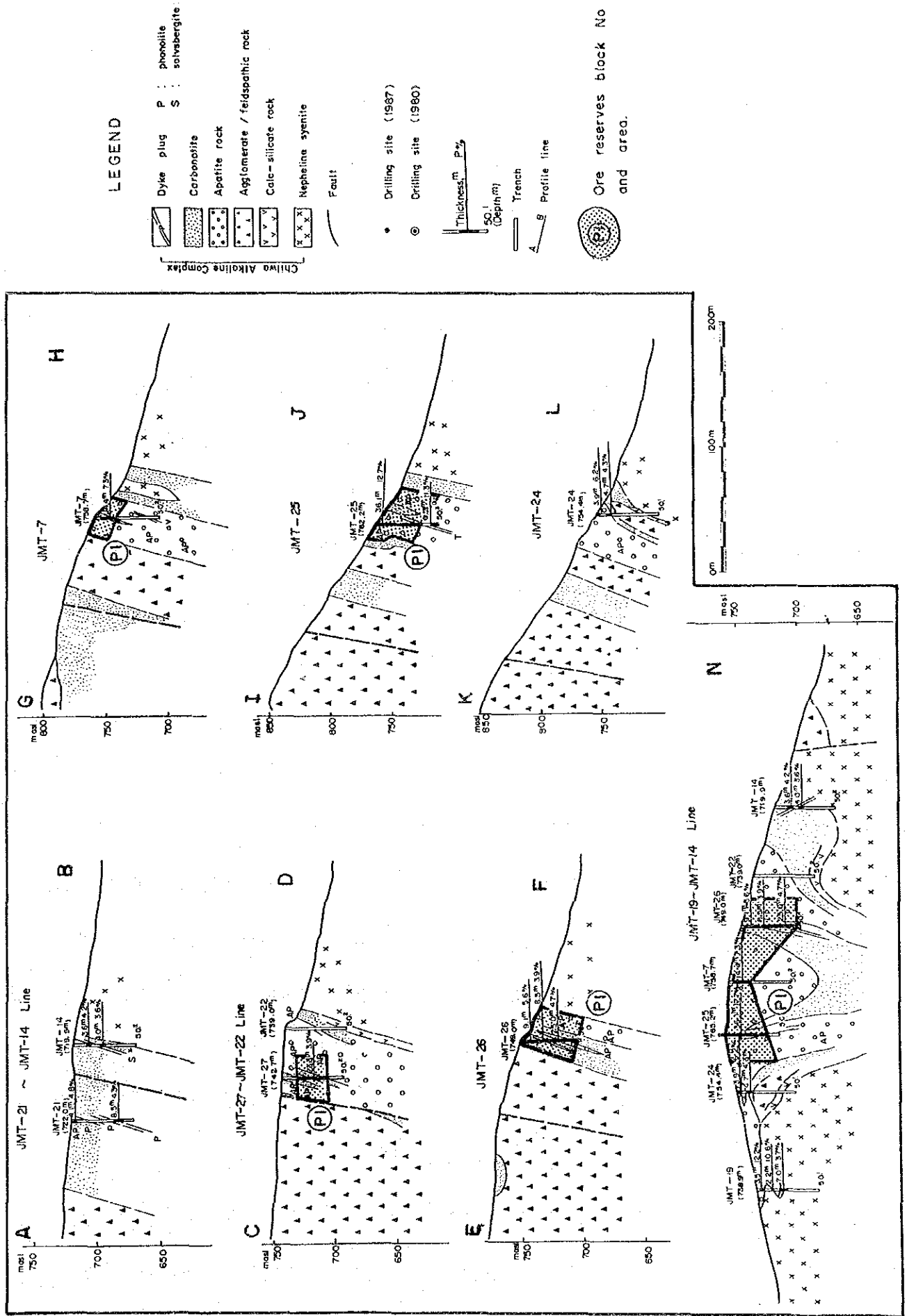


Fig.15 -2 Geological section of drill holes and map of ore reserves (P), Tundulu
- Section -

第3章 Chilwa Island地区

3-1 調査方法

Chilwa Island地区における本年次調査は、地質調査・地化学探査及びボーリング調査が実施された。

地質調査は、測量局発行の縮尺50,000分の1の地形図を縮尺5,000分の1に拡大したものを使用し、ルート調査を実施した。更に、カーボナタイト分布地では、ポケットコンパスを用い、簡易測量を行いながらルート調査を実施し、縮尺2,000分の1のルート調査図を作成した。トレンチ調査は縮尺200分の1にて調査を実施した。調査結果は、縮尺5,000分の1の地質図にまとめた。地化学探査は、地質調査と並行して実施し、試料は原則としてカーボナタイトを採取した。分析結果は電算機を利用し統計処理を行い、地化学的異常の検討を行った。

ボーリング調査は、小型ボーリング機を使用し、深度50mまでのコア採取を行った。コア鑑定結果は縮尺200分の1の柱状図にまとめた。カーボナタイト部分は試料を採取し、レアース等の賦存状況の検討を行った。

調査内容はTab.12のとおりである。

Tab.12 Contents of survey, Chilwa Island

Geological and geochemical survey		Drilling survey	
Area	6 km ²	No. of holes	32
Route survey	20 km	Total length	1,606.4 m
Trench survey	600 m	Inclination	-90°
Assay of geochemical samples	151 pcs	Assay of ore samples	322 pcs
Microscopic observation (Polished thin section)	32 pcs	Assay element:	
X-ray diffractive analysis	15 pcs	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr,	
EPMA	5 pcs	Y, P (10 elements)	
Whole rock analysis	20 pcs		
Isotope analysis	6 pcs		