

新刊

山形県立総合資料館

山形県立総合資料館
資料調査協会の業務報告書

第 9 号 次

昭和65年8月

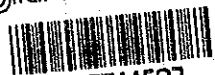
山形県立総合資料館
資料調査協会

JICA
518
661
1111
LIBRARY

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 2 年 次

JICA LIBRARY



1065744[C3]

昭和63年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

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2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62年7月29日から12月6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、2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。

昭和63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

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	3
1-1 調査の経緯	3
1-2 第 1 年次調査の結論と提言	3
1-2-1 第 1 年次調査の結論	3
1-2-2 第 1 年次調査の提言	4
1-3 第 2 年次調査の概要	4
1-3-1 調査地域	4
1-3-2 調査目的	4
1-3-3 調査方法	4
1-3-4 調査団の編成	5
1-3-5 調査期間	5
第 2 章 調査地域の地理	7
2-1 地形及び水系	7
2-2 気候及び植生	7
第 3 章 一般地質	9
3-1 チルワーアルカリン地域地質概要	9
3-2 調査地区地質概要	9
3-2-1 Tundulu 地区	9
3-2-2 Songwe 地区	9
3-2-3 Kangankunde 地区	10
第 4 章 調査結果の総合検討	11
4-1 Tundulu 地区	11

4-1-1	地質構造と鉍化作用の特性について	11
4-1-2	カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて	11
4-1-3	地化学異常について	11
4-2	Songwe 地区	12
4-2-1	地質構造と鉍化作用の特性について	12
4-2-2	カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて	12
4-2-3	地化学異常について	12
4-3	Kangankunde 地区	12
4-3-1	地質構造と鉍化作用の特性について	12
4-3-2	カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて	13
4-3-3	地化学異常について	13
第5章	結論及び第3年次調査への提言	15
5-1	結 論	15
5-2	第3年次調査への提言	15

第 II 部 各 論

第1章	Tundulu 地区	17
1-1	調 査 方 法	17
1-2	地 質	18
1-3	地化学探査結果	20
1-4	ボーリング調査結果	22
1-5	考 察	27
第2章	Songwe 地区	29
2-1	調 査 方 法	29
2-2	地 質	29
2-3	地化学探査結果	30
2-4	ボーリング調査結果	32
2-5	考 察	35

第3章	Kangankunde 地区	37
3-1	調査方法	37
3-2	地質	37
3-3	地化学探査結果	39
3-4	考察	41

第4章	総合検討	43
-----	------	----

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章	結論	45
-----	----	----

第2章	第3年次調査への提言	47
-----	------------	----

参考文献	49
------	----

List of Figures

- 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 Tundulu sector
- Fig. 6 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu
- Fig. 7 Location map of drilling sites, Tundulu
- Fig. 8 Compiled geologic log, Tundulu
- Fig. 9 Geological section of drill holes, Tundulu
- Fig. 10 Condrite normalized rare earth concentration
- Fig. 11 Geological map and profile of Songwe sector
- Fig. 12 Distribution of geochemical anomalies, Songwe
- Fig. 13 Location map of drilling sites, Songwe
- Fig. 14 Compiled geologic log, Songwe
- Fig. 15 Geological section of drill holes, Songwe
- Fig. 16 Geological map and profiles of Kangankunde sector
- Fig. 17 Distribution of geochemical anomalies, Kangankunde

List of Tables

- Tab. 1 Contents of the survey
- Tab. 2 Process of the survey
- Tab. 3 Contents of survey, Tundulu
- Tab. 4 Detectable limits
- Tab. 5 Statistical values of geochemical survey, Tundulu
- Tab. 6 Correlation coefficients of elements, Tundulu
- Tab. 7 Summary of the mineralized zone (REO > 1.0 %), Tundulu
- Tab. 8 Summary of the mineralized zone (P > 2.2 %, Thick > 2.0 m),
Tundulu
- Tab. 9 Contents of survey, Songwe
- Tab. 10 Statistical values of geochemical survey, Songwe
- Tab. 11 Correlation coefficients of elements, Songwe
- Tab. 12 Summary of the mineralized zone (REO > 1.0 %), Songwe
- Tab. 13 Summary of the mineralized zone (P > 2.2 %, Thick > 2.0 m),
Songwe
- Tab. 14 Contents of survey, Kangankunde
- Tab. 15 Statistical values of geochemical survey, Kangankunde
- Tab. 16 Correlation coefficients of elements, Kangankunde
- Tab. 17 Comparison of assay result
- Tab. 18 Mineral resources relatede carbonatite/alkaline complexes

LIST OF PLATES

- PL 1 Geological map and profile of Tundulu sector 1/5000
- PL 2 Geological map and profile of Songwe sector 1/5000
- PL 3 Geological map and profiles of Kangankunde sector 1/5000
- PL 4 Location map of geochemical samples and rock Samples of Tundulu sector 1/5000
- PL 5 Location map of geochemical samples and rock Samples of Songwe sector 1/5000
- PL 6 Location map of geochemical samples and rock Samples of Kangankunde sector 1/5000
- PL 7 Geologic drilllog (DDH JMT-1 ~ 24, JMS-1 ~ 11)

List of Appendices

- Appendix 1 Assay results (Geochemical samples)
- Appendix 2 Assay results (Drilling core samples)
- Appendix 3 Microscopic observations and microphotographs (Thin section)
- Appendix 4 Microscopic observations and microphotographs (Polished section)
- Appendix 5 X-ray diffractive analysis and charts
- 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

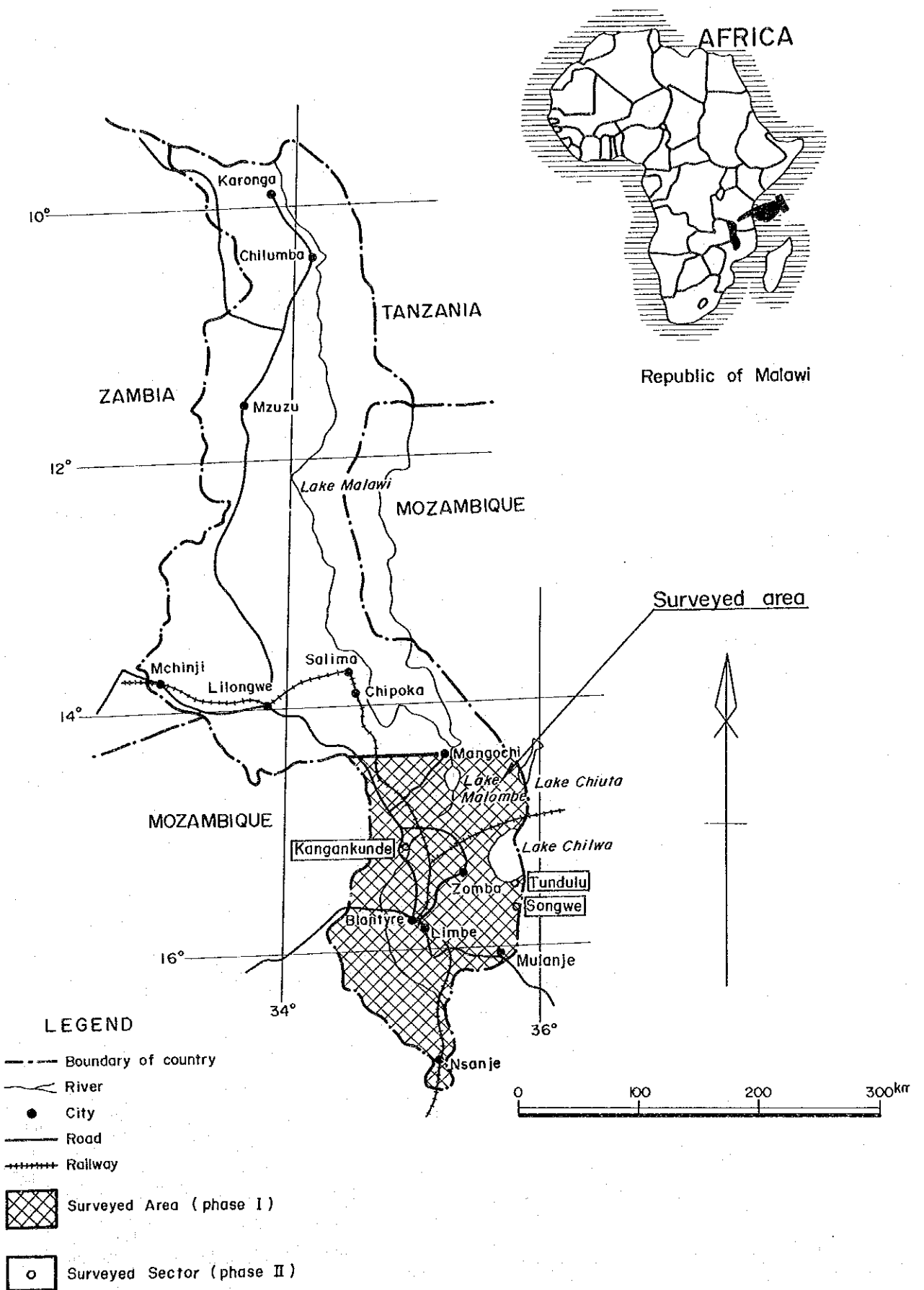


Fig. 1 Location map of survey area

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2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62年7月から12月にかけて実施した。

第2年次調査は、第1年次調査の結果選定された有望鉱徴地のうちTundulu地区、Songwe地区、Kangankunde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	孔 数 孔	掘進長 m	鉱石分析 件
Tundulu	7.5	16	500	152	24	1,204.8	243
Songwe	3.2	9	600	151	11	558.95	110
Kangankunde	0.8	6	500	102	0	0	0
計	11.5	31	1,600	405	35	1,763.75	353

調査結果は以下のとおりである。

(1) Tundulu地区

カーボナタイトはTundulu丘、Nathace丘、Makhanga丘等に分布する。本地区に産す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、アパタイト、パイロクロア等である。

地化学探査の結果、Nathace丘に胚胎するカーボナタイト中において、La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr, Y, Pの地化学的異常値の集中がみられた。一方、Tundulu丘のカーボナタイト中には、異常値がほとんど認められなかった。

ボーリング調査の結果、Nathace丘で実施されたJMT-7, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24においてレアアース鉱徴部（本年次調査において分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Y 7元素の酸化物合計1.0%以上、以下同じ）を確認した。一方、燐はNathace丘のアパタイト岩中において濃集がみられた。

地質調査・地化学探査及びボーリング調査結果を総合すると、Nathace丘のカーボナタイト岩体がレアアース、Nb, Sr, P資源として本地区では最もポテンシャルが高いことが判明した。

(2) Songwe 地区

カーボナタイトは Songwe 丘に主要部が分布する。本地区に産す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。

地化学探査の結果、Songwe 丘北斜面の海拔略 850 m 以下に胚胎するカーボナタイト岩体中にレアアースの地化学的異常値が集中する。

ボーリング調査の結果、JMS-8 を除くすべてでレアアース鉱徴部を確認した。これら鉱徴部の Sm, Eu 含有量はバストネサイトよりなる Mountain Pass (USA) 鉱山産鉱石の 2 ~ 4 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、レアアース資源として本地区で最もポテンシャルが高いと考えられるところは Songwe 丘北斜面の海拔略 850 m 以下のカーボナタイト岩体であることが判明した。

(3) Kangankunde 地区

カーボナタイトは Kangankunde 丘に分布する。本地区に産するレアアースを主とする有用鉱物はモナズ石、ストロンチアナイト、アパタイト等である。

地化学探査結果はレアアース及び隣りの地化学的異常値が Kangankunde 丘北斜面に集中分布することが判明した。

地質調査・地化学探査結果及び既存資料を総合し考察すると、Kangankunde 丘北斜面中に胚胎するカーボナタイト岩体がレアアース、隣資源として最もポテンシャルが高いと考えられる。

以上、今年次調査結果と第 1 年次調査結果から、第 3 年次調査につき、次のように取進めることが望ましいと考えられる。

第 3 年次調査は Chilwa Island 地区において、カーボナタイト鉱床としての規模、品位を確認するため、地質調査・地化学探査とボーリング調査及び Tundulu 地区、Songwe 地区において鉱量、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を提言する。

第 I 部 總 論

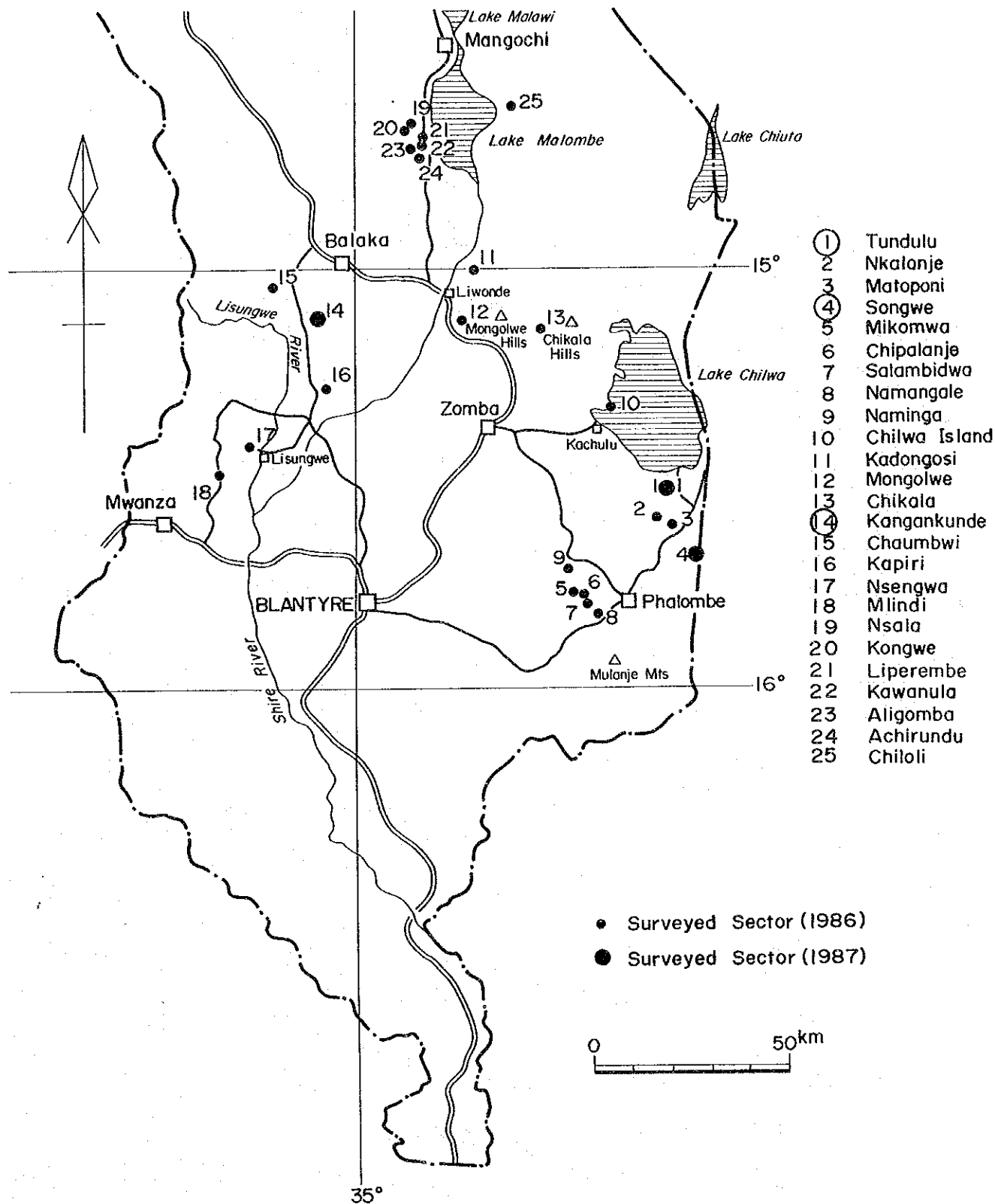


Fig. 2 Distribution of carbonatites of Chilwa Alkaline area

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、その地質は、先カンブリア界から第4系までの地層が分布する。

金及びレアアース資源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。しかしながら、今までのところ鉱物資源の産出は乏しい。

Department of Geological Survey (マラウイ地質調査局)は、図幅調査を進める一方、地下資源探査の努力を続けており、Kangankunde (カンガンクンデ), Chilwa Island (チルワ島)など、カーボナタイト岩体の発見、North Rukuru (北ルクル), Nthalire (ヌタリレ)など石炭鉱床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年次の調査は、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の解析を行い、カーボナタイト鉱化作用に関連があると考えられる25地区を選出した。現地調査は、この25地区について地質調査・地化学探査を実施した (Fig. 2)。

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

既存資料の検討、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 (ツンズール), Songwe (ソングエ)

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

Nkalonje (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 (チペランジェ),

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), Nsala (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, Nkalonje, Motoponi, 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・地化学探査ならびに鉱徴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年次調査の概要

1-3-1 調査地域

チルワールカリ地域調査範囲は、マラウイ共和国の南部の、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 (マンガチ, シート8)の南半分とBlantyre (ブランタイア, シート9)及びNsanje (ヌサンジェ, シート10)に示される範囲である。

第2年次の調査対象地区は、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Shire (シレ)河西方のKangankunde地区の3地区である。

1-3-2 調査目的

チルワールカリ地域において詳細な地質状況を解明することにより、鉱床賦存状況を把握することを目的とした。

1-3-3 調査方法

第2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り、その調査量はTab.1のとおりである。

Tab. 1 Contents of the survey

Sector	Geological and geochemical survey				Drilling survey		
	Area	Route survey	Trench survey	Geochemical samples	No. of drill holes	Hole length	Ore samples
	km ²	km	m	pcs		m	pcs
Tundulu	7.5	16	500	152	24	1,204.8	243
Songwe	3.2	9	600	151	11	558.95	110
Kangankunde	0.8	6	500	102	0	0	0
Total	11.5	31	1,600	405	35	1,763.75	353

1-3-4 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り、次表のとおりである。

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
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

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 (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		
掘下宏美 (ボーリング)	三井金属資源開発株式会社		
千葉行夫 (ボーリング)	三井金属資源開発株式会社		

1-3-5 調査期間

調査期間はTab. 2に示すとおりである。

Tab. 2 Process of the survey

	1987 July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	1988 Jan.	Feb.
Geological and Geochemical survey	29	┌──────────────────────────────────┐				6		
Drilling survey	31	┌──────────────────────────────────┐				6		
Data analysis, laboratory works and report making						7	┌──────────────────┐ 10	

第2章 調査地域の地理

2-1 地形及び水系

チルワールカリン地域は、マラウイ共和国南部地方のほぼ全域及び中部地方の一部にまたがる。

調査地域内には、東部に標高 3,000 m 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 500 m ~ 700 m 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 200 m ~ 300 m の丘陵を形成する。

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 200 m 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。

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 1,000 mm、年間平均気温は 17°C である (Fig. 3)。乾期中の調査地の気温の日較差は大きく、日中 40°C 近くまで上昇するが、夜間は 20°C まで下降する。

植生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。

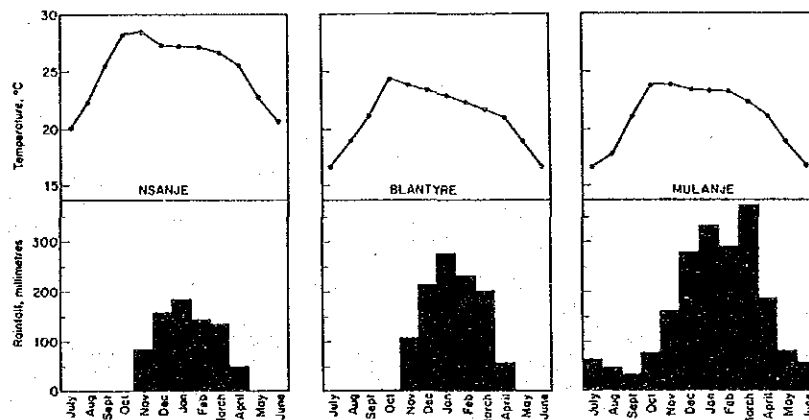


Fig. 3 Temperature and rain fall

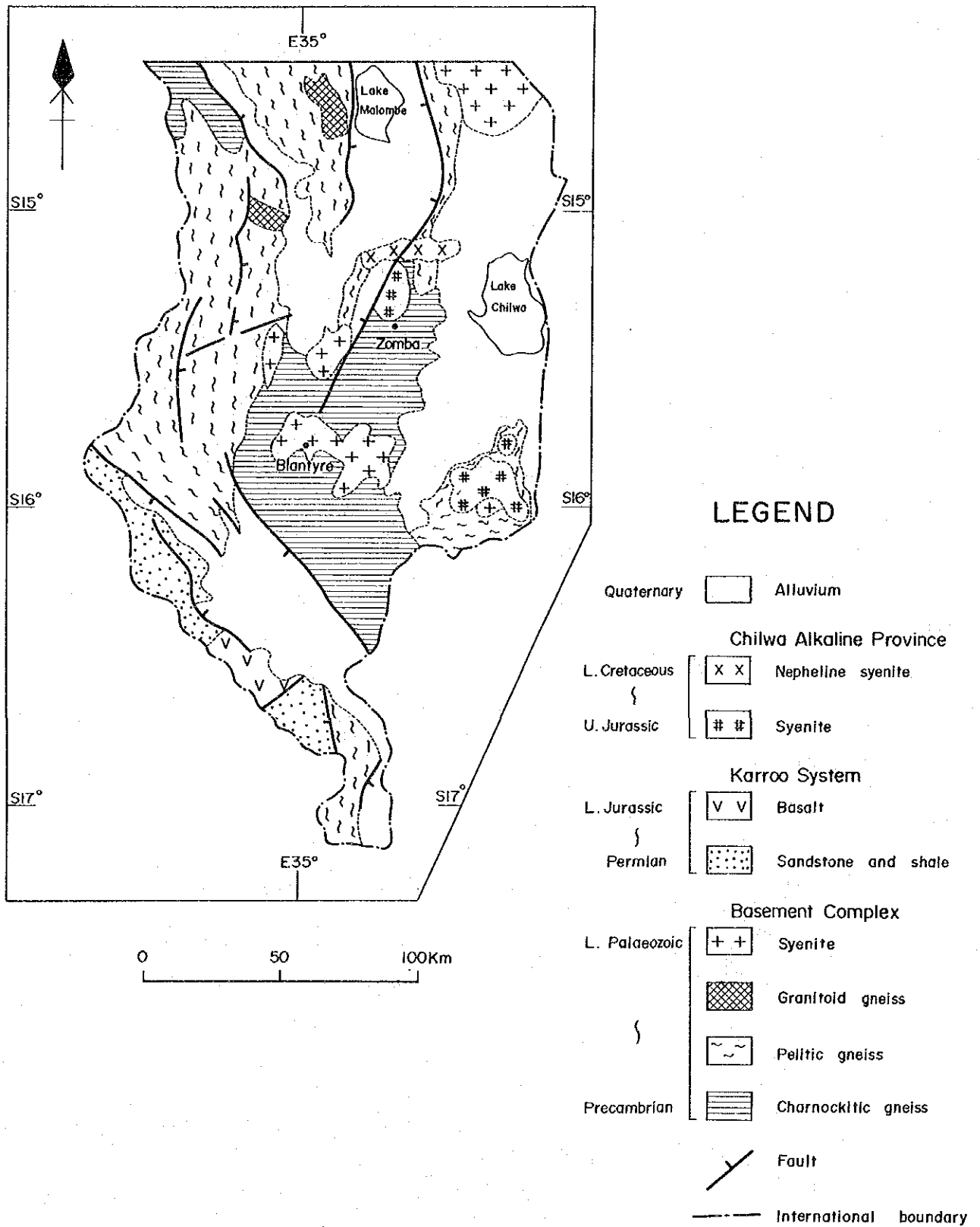


Fig. 4 Geological map of Chilwa Alkaline area

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(400~650Ma)に変成作用を受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からなり、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。本年次調査対象となったTundulu地区、Songwe地区及びKangankunde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(Fig. 4)。

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の山上部付近にあり、 Al_2O_3 約45%、7,000万tの鉱量があると報告されている。

3-2 調査地区地質概要

3-2-1 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、閃長岩とこれらに貫入している"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。

3-2-2 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。鉍石鉍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、バリサイト、アパタイトなどが認められる。

3-2-3 Kangankunde 地区

本地区を構成する主要岩石は、基盤の片麻岩類と"チルワーアルカリン岩石区"の長石化角礫岩、集塊岩、カーボナタイトからなる。片麻岩類はフェン岩化作用を強く被っている。

カーボナタイトは方解石質、アンケライト質、菱鉄鉍質、ドロマイト質及びマンガンを富むものがある。鉍石鉍物としてモナズ石、ストロンチアナイト、アパタイト、パイロクロア、バリサイトなどが認められる。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 Tundulu地区

4-1-1 地質構造と鉍化作用の特性について

本地区のカーボナタイトを伴う、"チルワールカリン岩石区"岩石の分布は、2つの同心円状の環状構造を示す(Fig. 5)。第1の環状構造は、Tundulu丘を含む直径約2,000mである。第2の環状構造は第1の環状構造の略中心部に位置するNathace(ナターチェ)丘を中心とする直径500m~600mである。

カーボナタイトは方解石質、アンケライト質、菱鉄鉍質のものが認められる。方解石質カーボナタイトは主として第1の環状構造中に卓越して認められる。アンケライト質、菱鉄鉍質カーボナタイトは第2の環状構造中のNathace丘に卓越して分布する。

レアアース鉍物、ニオブ鉍物、ストロンチウム鉍物、燐鉍物はバストネサイト、シンチサイト、パイロクロア、ストロンチアナイト、アパタイト等が認められる。これら有用鉍物は、カーボナタイトを伴う火成活動中、後期の活動と考えられるNathace丘を中心とする、第2の環状構造中に認められる。

4-1-2 カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて

Tundulu丘、Nathace丘ボーリング調査の結果、Tundulu丘の調査ではJMT-10においてレアアース鉍徴部として、まとまった酸化レアアース量(本年次調査において分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Y 7元素の酸化物合計)1.48%,厚さ7.0mを確認した(カットオフは酸化レアアース量1.0%とした。以下同じ)。燐はJMT-2, 3, 9, 12において鉍徴部(カットオフは燐2.2%,厚さ2.0mとした。以下同じ)が確認されたが、いずれも小規模又は低含有量であった。

Nathace丘の調査では、JMT-7, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24においてレアアース鉍徴部が確認された。これらの鉍徴部のレアアース含有量はバストネサイトを主鉍石とするMountain Pass(USA)鉍山のそれと比較するとSm, Euが平均1.5~2倍含まれる特徴がある(Tab. 7)。燐はJMT-7, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 24にて鉍徴部が確認された(Tab. 8)。

Tundulu地区カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルは、Nathace丘を中心とする第2の環状構造中のカーボナタイト岩体中が最も高いと考えられる。

4-1-3 地化学異常について

地化学探査異常値は、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、

Nb, Sr, P の異常値は Nathace 丘に集中し, 地質調査, ボーリング調査の結果と一致する。

4-2 Songwe 地区

4-2-1 地質構造と鉍化作用の特性について

Songwe 地区の地質単元は, Tundulu 地区の構成岩類と同様である (Fig. 11)。

"チルワールカリン岩石区" 岩石はカーボナタイト, 角礫岩類, 変質岩, ネフェリン閃長岩及び岩脈類からなる。

本地区のカーボナタイトを伴う角礫岩は Songwe 丘を中心に円錐構造を呈し, その直径は略 900 m である。この構造はネフェリン閃長岩中にカーボナタイトに関連するマグマの活動により生成された火道と考えられる。

カーボナタイトは角礫岩中に不規則, 塊状, 脈状形態を呈し分布する。岩質は方解石質, アンケライト質のものが卓越する。これらカーボナタイト中に含まれる鉍石鉍物は, バストネサイト, シンチサイト, パイロクロア, スترونチアナイト等である。

4-2-2 カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて

Songwe 丘のボーリング調査結果は, JMS-8 を除くすべてのボーリングにおいてレアアース鉍徴部を確認した。確認された鉍徴部を Mountain Pass 鉍山のレアアース含有量と比較すると Sm は 2~3 倍, Eu は 2~4 倍の含有量である (Tab. 12)。隣は JMS-10, 11 にて鉍徴部が確認されたが小規模であった (Tab. 13)。

Songwe 地区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 850 m 以下に分布するカーボナタイト岩体中が最も高いと考えられる。

4-2-3 地化学異常について

レアアースの地化学的異常値が Songwe 丘北斜面に集中する。Nb は Songwe 丘北東斜面を除く, 丘の全域に点在する異常値が認められる。

レアアース異常値分布域はボーリング調査による鉍徴部確認孔と一致する。

4-3 Kangankunde 地区

4-3-1 地質構造と鉍化作用の特性について

本地区を構成する地質単元は, Tundulu 地区, Songwe 地区とはほぼ同様である (Fig. 16)。

"チルワールカリン岩石区" 岩石は, カーボナタイト, 角礫岩類等からなり, ネフェリン閃長岩が認められない。

地質構造はKangankunde丘を中心に南北略900m, 東西略700mの長円状構造を呈し中心部から外側に向ってカーボナタイト, 炭酸塩化角礫岩類, ほとんど変質が認められない角礫岩類, 基盤岩類と帯状分布がみられる。

カーボナタイトはドロマイト質, 菱鉄鉍質, アンケライト質である。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。

カーボナタイト中に含まれる主要鉍石鉍物は, モナズ石, ストロンチアナイト, アパタイト等である。

Kangankunde地区の地質は, Tundulu地区, Songwe地区に比べ炭酸塩化角礫岩の存在とネフェリン閃長岩の欠如という点で異なる。

4-3-2 カーボナタイト鉍床賦存のポテンシャルについて

地質調査・地化学探査及び既存資料の検討結果を総合すると, Kangankunde丘北斜面に胚胎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る。

4-3-3 地化学異常について

地化学探査異常値はレアアース, 隣がKangankunde丘北斜面に集中する。

第5章 結論及び第3年次調査への提言

5-1 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, 菱鉄鈹質のものが卓越する。

カーボナタイト鈹床及び隣鈹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。

カーボナタイト鈹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。

(3) Kangankunde

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し。

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。

5-2 第3年次調査への提言

本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, 磷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、本年次調査の結果、レアアース鉱徴地、燐鉱徴地が確認された Tundulu 地区 Nathace 丘及びレアアース鉱徴地が確認された Songwe 地区において、それぞれの鉱徴地の鉱量、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 が探鉱権 (Exclusive Prospecting Licence) を与えられ探鉱中であるため、第 3 年次調査から除外した。

第Ⅱ部 各 論

第1章 Tundulu 地区

1-1 調査方法

Tundulu 地区における本年次調査として地質調査・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 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 50 m 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. 3 のとおりである。

Tab. 3 Contents of survey, Tundulu

Geological and geochemical survey		Drilling survey	
Area	7.5 km ²	No. of holes	24
Route survey	16 km	Total length	1204.8 m
Trench survey	500 m	Inclination	-90°
Assay of geochemical samples	152 pcs	Assay of ore samples	243 pcs
Microscopic observation (Thin section)	21 pcs	Assay element:	
Microscopic observation (Polished section)	23 pcs	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr,	
X-ray diffractive analysis	25 pcs	Y, P (10 elements)	

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, 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	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

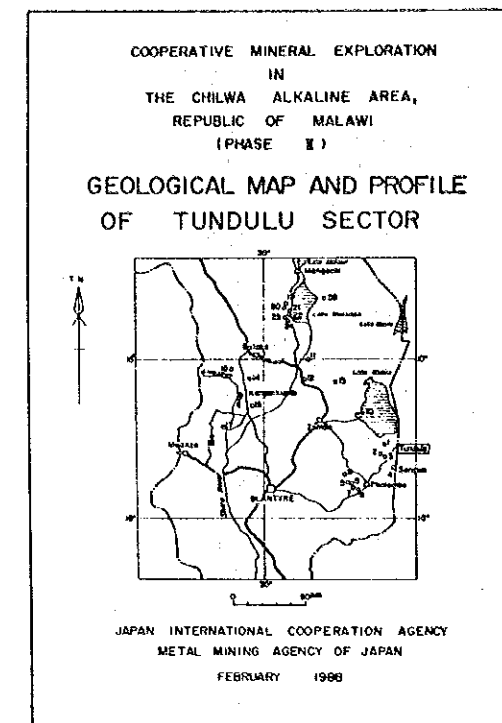
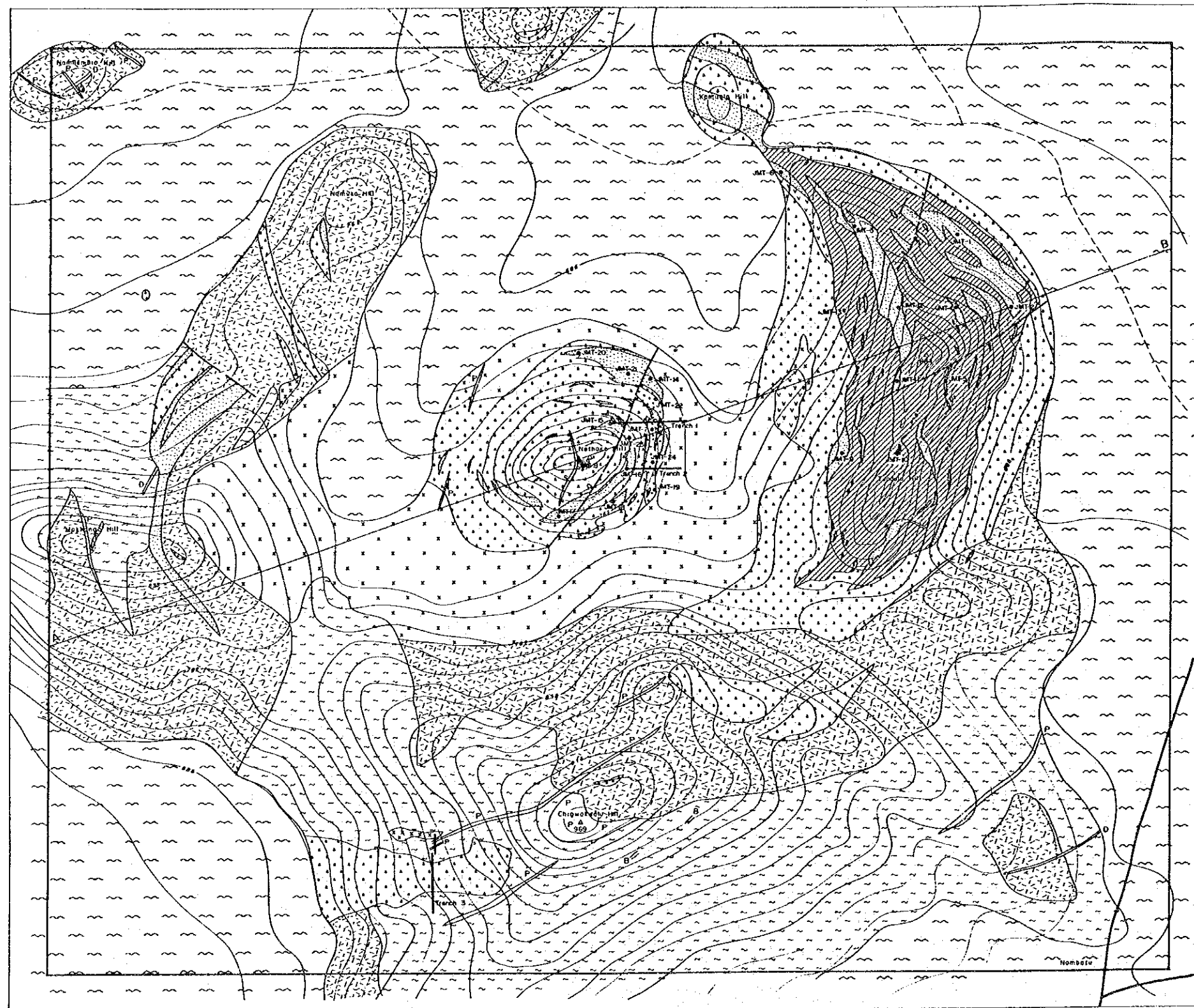
基盤をなす先カンブリア紀後期～カンブリア紀前期の片麻岩類, 閃長岩類は調査地区南部 Chigwakwalu (チグワクワル) 丘, 西部 Makhanga (マクハンガ) 丘, 北西部 Namuka (ナムカ) 丘, Namilembia (ナミレンビア) 丘に分布する。片麻岩類は黒雲母片麻岩, 花崗岩質片麻岩などである。閃長岩類は帯灰白色の石英を少量含むものが卓越する。

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 0.5 m ~ 2 m である。鏡下ではオフィテ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 ~ 136.2 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。



LEGEND

- Drift
- Carbonite
- Apatite rock
- Carbonite bearing agglomerate / feldspathic rock
- Agglomerate / feldspathic rock
- Calc-silicate rock
- Dyke / plug
- P phonolite
 - S adzebergite
 - T trochyle
 - J juvide
 - B beforite
 - D dolerite
- Nepheline syenite
- Gneiss
- Syenite
- Fault
- Drilling site (1987)
- Trench (1987)
- Profile line

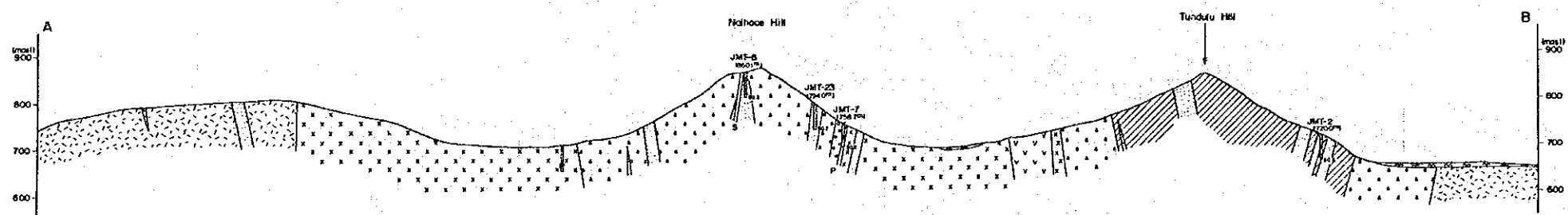


Fig. 5 Geological map and profile of Tundulu sector

アパタイト岩は、Nathace 丘と Makhanga 丘東部に分布する。このうち Nathace 丘東部に分布するものは膨縮はあるが南北約 300 m、東西約 50 m と規模が大きい。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である。

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(ソーバイト)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、ソルブスパーガイト等が認められる。これらアルカリ岩脈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 丘を通る直径約 2,000 m である。第 2 の環状構造は Nathace 丘を中心とする直径 500 m ~ 600 m 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 1,200 m ~ 1,300 m にあり、第 2 のそれは 2,400 m ~ 3,000 m と 500 m ~ 700 m の 2 か所にあると推定した。

カーボナタイト区分 (肉眼鑑定)

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。

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。

菱鉄鈹質カーボナタイト：褐色ないし黒色、粗粒菱鉄鈹を含むか又は溶脱。

1-3 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152件である。分析元素は10成分である。分析下限はTab. 4に示すとおりである。

Tab. 4 Detectable limits

(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。

1-3-1 統計値

Tundulu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. 5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. 5 Statistical values of geochemical survey, Tundulu

(ppm)

Element	Rock type	No. of Samples	Max.	Min.	Mean	M + 1S	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	186.7	<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	193	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	

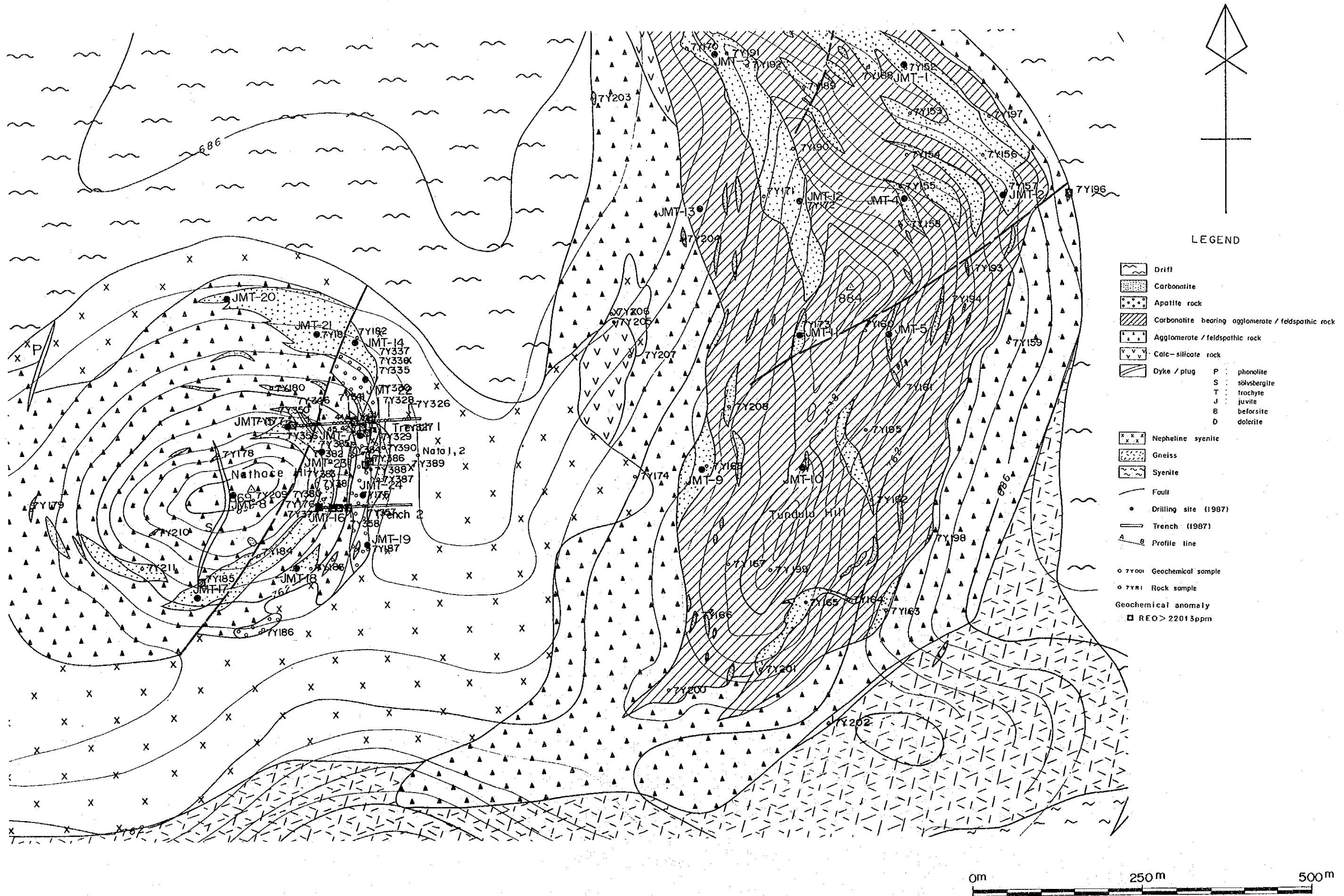


Fig. 6-1 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (REO)

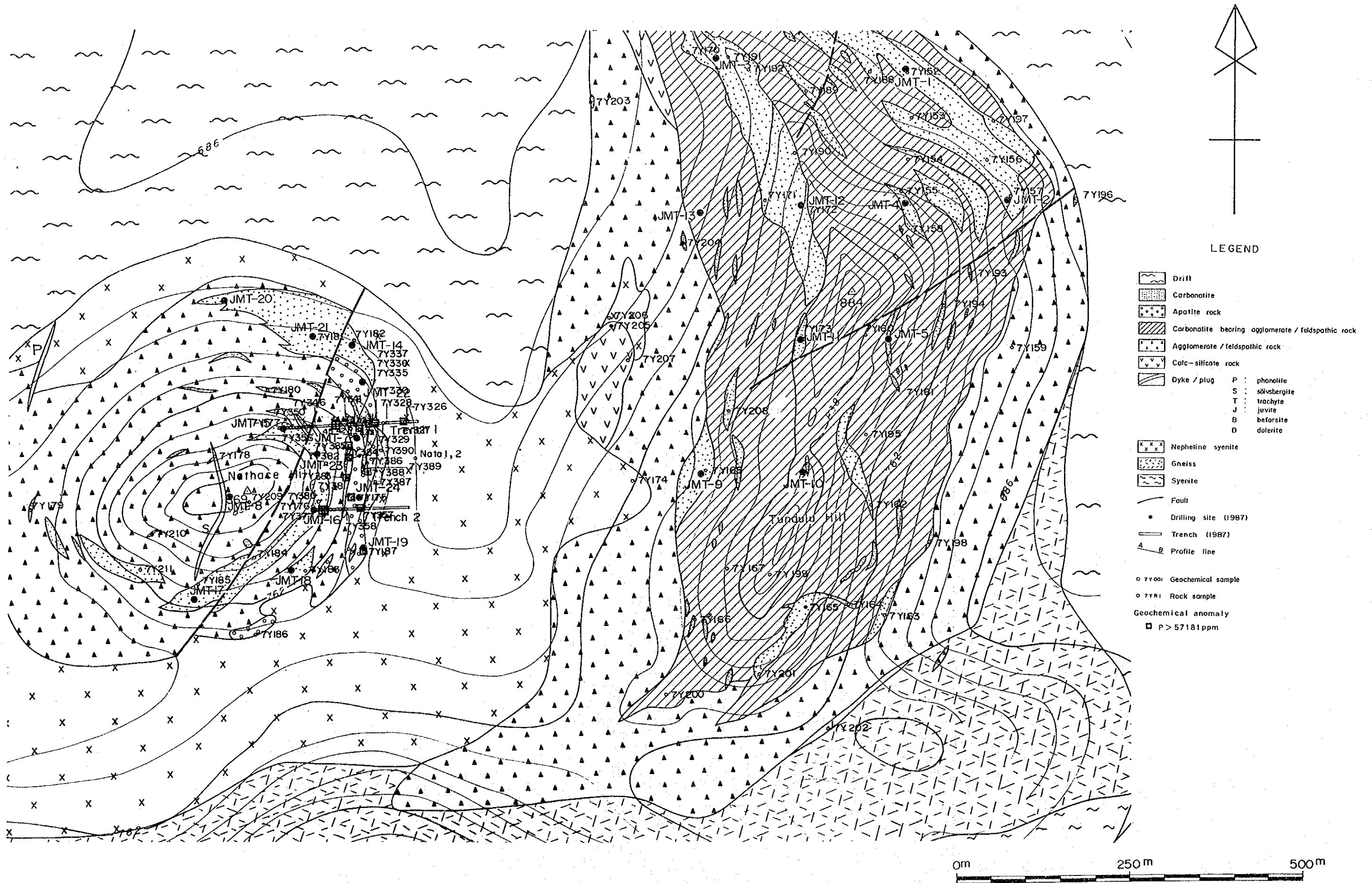


Fig. 6-2 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (P)

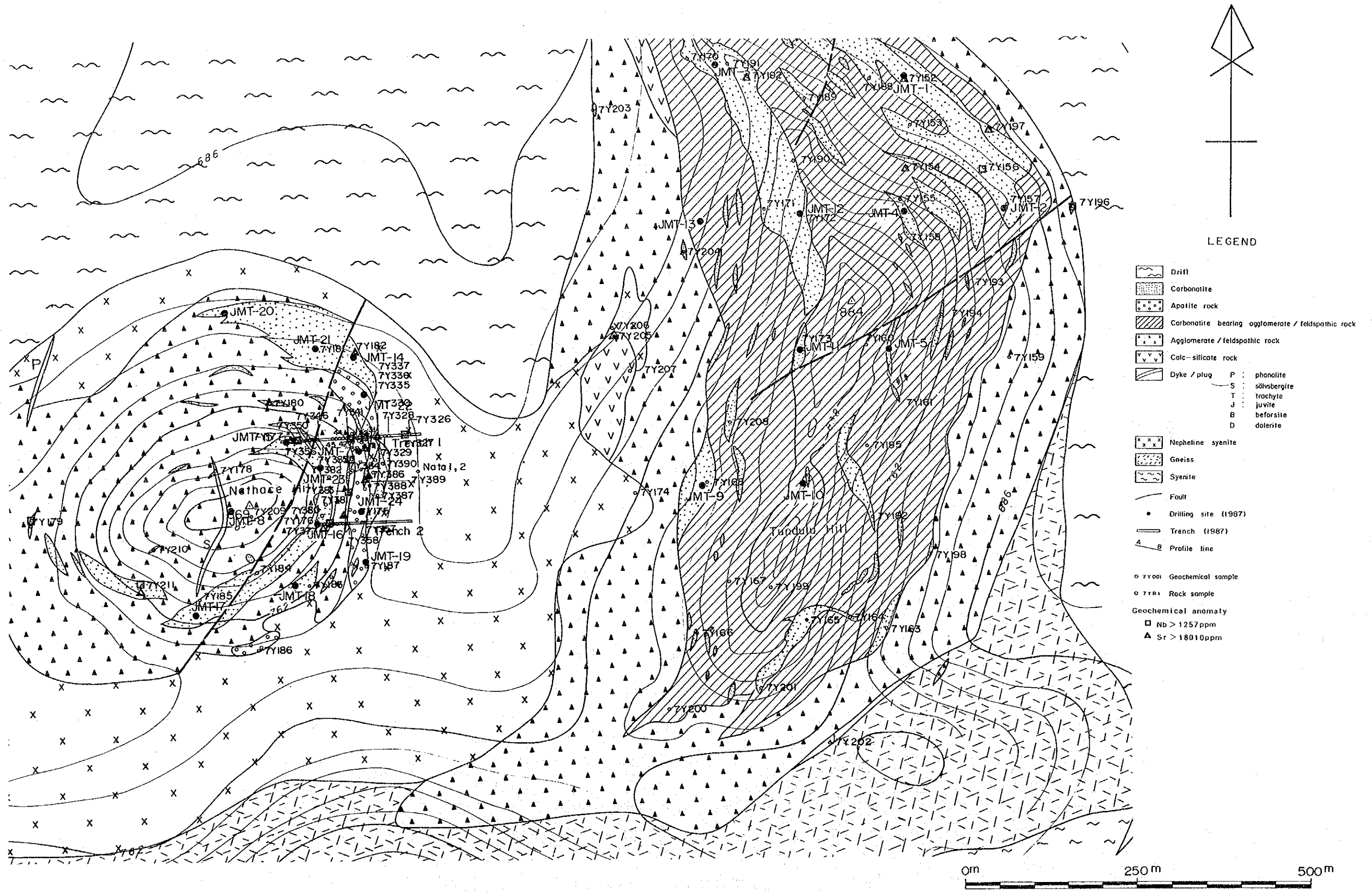


Fig. 6 - 3 Distribution of geochemical anomalies, Tundulu (Nb, Sr)

1-3-2 元素の相関関係

本地区の各元素の相関係数を Tab. 6 に示す。

相関係数が 0.8 以上で極めて相関が強い元素の組合せは (La, Ce), (La, Nd), (La, Sm), (La, Eu), (Ce, Nd), (Ce, Sm), (Ce, Eu), (Nd, Sm), (Nd, Eu), (Eu, Y), (P, Y) である。隣を除くこれらはいずれもレアアース同志の組合せである。一方、本地区のレアアース鉱物としてバストネサイト, シンチサイトを確認していることから, Sm, Eu, Nd は上記鉱物中の La, Ce の一部を置換しているものと考えられる。

Tab. 6 Correlation coefficients of elements, Tundulu

AREA: T	(N of cases: 152)									
Correlations:	logLa	logCe	logNd	logSm	logEu	logTb	logNb	logSr	logY	logP
logLa	1.00									
logCe	.99	1.00								
logNd	.94	.96	1.00							
logSm	.83	.84	.82	1.00						
logEu	.84	.86	.91	.79	1.00					
logTb	.43	.45	.50	.49	.56	1.00				
logNb	.38	.38	.32	.45	.34	.32	1.00			
logSr	.61	.59	.58	.37	.58	.31	.08	1.00		
logY	.62	.64	.72	.65	.83	.57	.37	.42	1.00	
logP	.30	.31	.36	.38	.52	.46	.38	.27	.80	1.00

1-3-3 異常値分布

地化学探査異常値は, Tundulu 地区の各元素及び酸化レアアース量 (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。

$$\text{しきい値} = M + 1 S$$

$$\text{異常値} \geq M + 1 S$$

しきい値は Tab. 5 に, 異常値分布は Fig. 6 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ティーからみると、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。

1-4 ボーリング調査結果

チルワールカリ地域における第1年次の調査結果、Tundulu地区はカーボナタイト鉱床としてのポテンシャルティーが高い地区として抽出された。

ボーリング調査は、本地区の鉱床賦存状況を把握することを目的に実施された。

1-4-1 調査概要

主要ボーリング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。なお、ボーリング調査は、現地の天候状況及び道路事情を考慮し、Songwe地区、Tundulu地区の順序で調査を実施した。

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、調査技士1名は段取作業を行った。掘進方法は、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Chilwa湖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
24	1204.8m	1143.4m	94.9% (※)	243件

(※) 表土を除く

コア地質状況は、カーボナタイトの賦存状況について肉眼鑑定が行われ、縮尺200分の1の地質柱状図にまとめた。

カーボナタイト部分については、コア半片を採取して分析試料が調整され、それぞれLa、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Nb、Sr、Y、Pの各元素分析を行った。更に室内研究として岩石の薄片、研磨片が作成され、顕微鏡観察を行った。試料の一部についてはX線回析粉末法による鉱物の検討を行った。

現地ボーリング調査期間は9月23日から11月23日までの62日間であった。

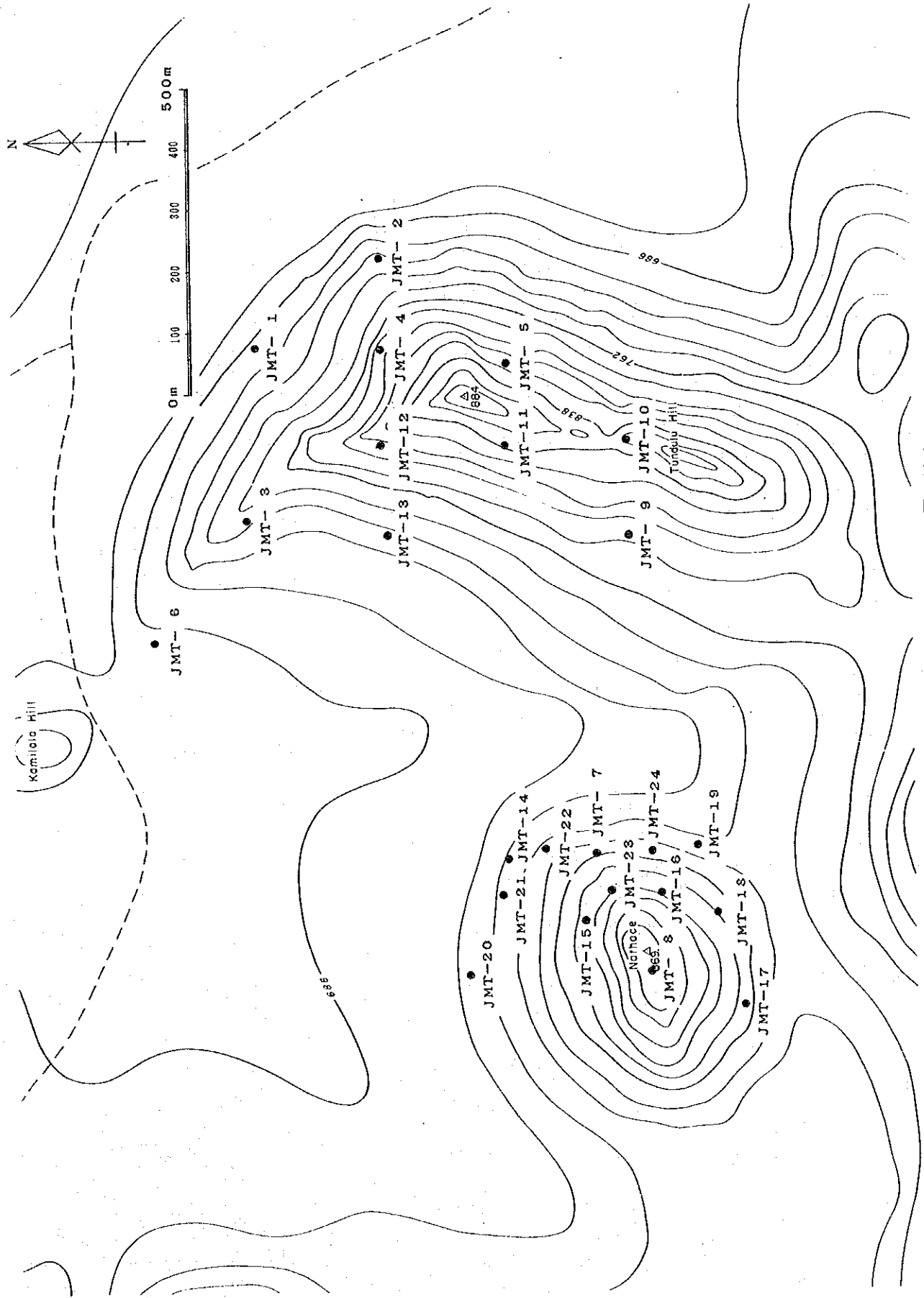


Fig.7 Location map of drilling sites, Tundulu

1-4-2 ボーリング調査工事

Tundulu 地区の調査工事は後述の Songwe 地区が終了後実施した。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-1 から開始した。Tundulu 丘内のボーリングは JMT-1, 2, 4, 5, 3, 6, 12, 13, 11, 9, 10 の順に実施した。各ボーリング座間の山内運搬道路建設は、幅員 1 m, 総延長 2,600 m である。Nathace 丘内のボーリングは JMT-17, 18, 16, 15, 8, 7, 14, 19, 22, 24, 23, 21, 20 の順に実施された。各ボーリング座間の山内運搬道路は幅員 1 m, 総延長 2,800 m が建設された。道路建設及びボーリング座整地は人力で行った。ボーリング位置は Fig. 7 に示す。

ボーリング用水は Chilwa 湖から小型トラックによって運搬された。Chilwa 湖から Tundulu 丘までの距離は 5 km, Nathace 丘までは 6 km である。運搬された用水は Tundulu 丘, Nathace 丘ともに揚水ポンプ 2 台, ホース延長 1,500 m を使用し, ボーリング座へ給水した。

掘進作業は表土部では 73 mm メタルシュ, 着岩後は 56 mm ダイヤモンドビットを使用し, 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 56 mm ダイヤモンドビットで掘削した。

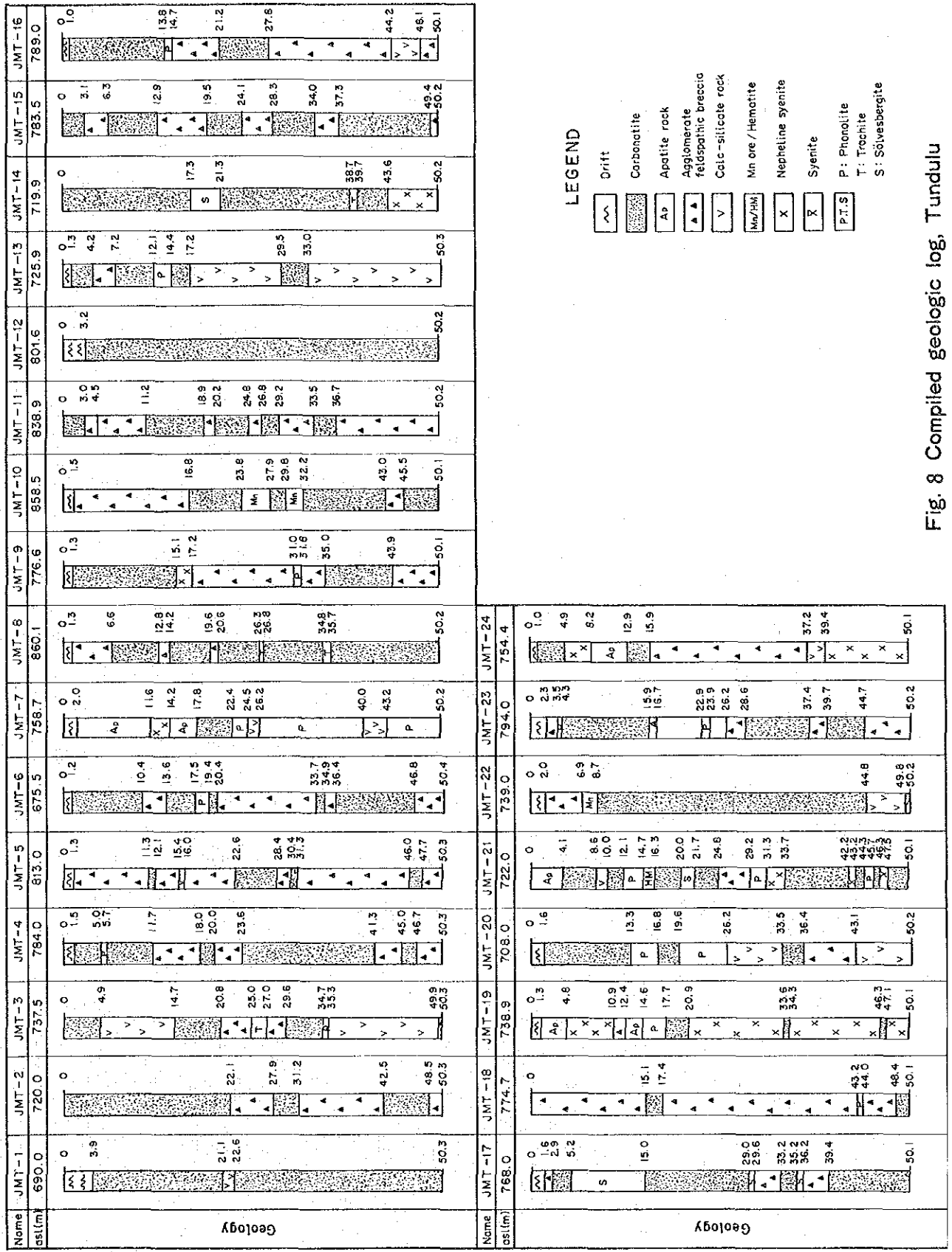
各ボーリング孔の掘進状況は別表 Tundulu 地区ボーリング掘進状況表に示すとおりである。

Tundulu地区ボーリング掘進状況表 (1)

孔番	掘進長 m	コア採取長 m	コア採取率 (除表土)%	作業期間 月日~月日	口径 7.3mm		口径 56mm	
					深度m	掘進状況	深度m	掘進状況
JMT-1	50.3	46.4	100	9.23~9.25	3.9	メタルシュ無水掘進, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 1.40m付近完全逸水
JMT-2	50.3	49.4	100	9.26~9.28	1.8	0.9mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 各所で逸水, 30%逸水のまま掘進
JMT-3	50.3	50.3	100	10.3~10.5	1.8	ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 6.2m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-4	50.3	47.9	98.2	9.28~9.30	1.8	1.5mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 1.8m~4.0mケーシング追切設置 各所で逸水, 切削油注入
JMT-5	50.3	49.0	99.4	10.1~10.3	1.8	1.3mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 1.8m~3.0mケーシング追切設置
JMT-6	50.4	49.0	99.6	10.6~10.8	1.8	1.2mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.4	2.06m付近完全逸水 ダイヤモンドビット, TK-60使用 各所で逸水
JMT-7	50.2	47.0	99.2	11.3~11.5	2.8	メタルシュ無水掘進, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60使用 各所で逸水, 50%逸水のまま掘進
JMT-8	50.2	48.1	98.4	11.1~11.3	2.1	1.3mまでメタルシュ無水掘進, 2.1mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60使用 8.8m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-9	50.1	48.1	98.6	10.14~10.16	1.8	1.3mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60使用 逸水なし
JMT-10	50.1	48.4	99.6	10.16~10.18	1.8	1.5mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60使用 3.1m付近完全逸水
JMT-11	50.2	48.8	99.2	10.12~10.14	1.8	1.3mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60使用 13.0m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-12	50.2	47.0	100	10.8~10.10	3.8	3.2mまでメタルシュ無水掘進, 3.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60使用 3.8m付近完全逸水, 4.4mまで抜孔 BWケーシング設置
JMT-13	50.3	49.0	100	10.10~10.12	1.8	1.3mまでメタルシュ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.3	ダイヤモンドビット, TK-60使用 3.1m付近完全逸水

Tundulu 地区ボーリング掘進状況表 (2)

孔 番	掘 進 長 m	コア採取長 m	コア採取率 (除表土)%	作業期間 月 日 ~ 月 日	口 径 7.3 mm		口 径 5.6 mm	
					深 度 m	掘 進 状 況	深 度 m	掘 進 状 況
JMT-14	50.2	49.9	99.4	11. 6~11. 7	1.6	ダイヤモンドシュ, TK-60 使用 BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 5.8 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-15	50.2	50.2	100.0	10. 30~10. 31	1.9	ダイヤモンドシュ, TK-60 使用, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 6.5 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-16	50.1	49.10	100.0	10. 25~10. 27	1.8	1.0 mまでメタルシュ, 無水掘進, 1.8 mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 13.0 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-17	50.1	47.4	97.7	10. 20~10. 22	1.8	1.6 mまでメタルシュ, 無水掘進, 1.8 mまで ダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 各所で逸水, 切削油注入
JMT-18	50.1	49.8	99.8	10. 22~10. 24	1.9	ダイヤモンドシュ, TK-60 使用, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 8.5 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-19	50.1	38.9	83.1	11. 8~11. 11	3.3	メタルシュ, TK-60 使用, 11.3 mまで拡孔 BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 破砕帯あり, TK-60 濃度を上げ崩壊防止
JMT-20	50.2	48.2	99.2	11. 21~11. 23	1.9	1.6 mまでメタルシュ, 無水掘進, 1.9 mまで ダイヤモンドビット, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 5.6 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-21	50.1	49.3	98.4	11. 19~11. 21	2.0	ダイヤモンドシュ, TK-60 使用, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 6.0 m付近完全逸水, 切削油注入
JMT-22	50.2	41.8	86.4	11. 12~11. 14	2.0	1.8 mまでメタルシュ, TK-60 使用, 2.8 m までダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 18.2 m付近から空洞繞出 逸水激しく切削油TK-60 注入
JMT-23	50.2	45.7	95.4	11. 17~11. 19	2.3	メタルシュ, TK-60 使用 BWケーシング設置	50.2	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 6.8 m付近逸水, 切削油注入
JMT-24	50.1	44.7	91.6	11. 14~11. 16	1.8	1.3 mまでメタルシュ, TK-60 使用, 1.8 m までダイヤモンドシュ, BWケーシング設置	50.1	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 7.9 m付近完全逸水, 切削油注入



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Apatite rock
- Agglomerate feldspathic breccia
- Calc-silicate rock
- Mn ore / Hematite
- Nepheline syenite
- Syenite
- P: Phonolite
- T: Trachite
- S: Sölvbergite

Fig. 8 Compiled geologic log, Tundulu

Tab. 7 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Tundulu

(ppm)

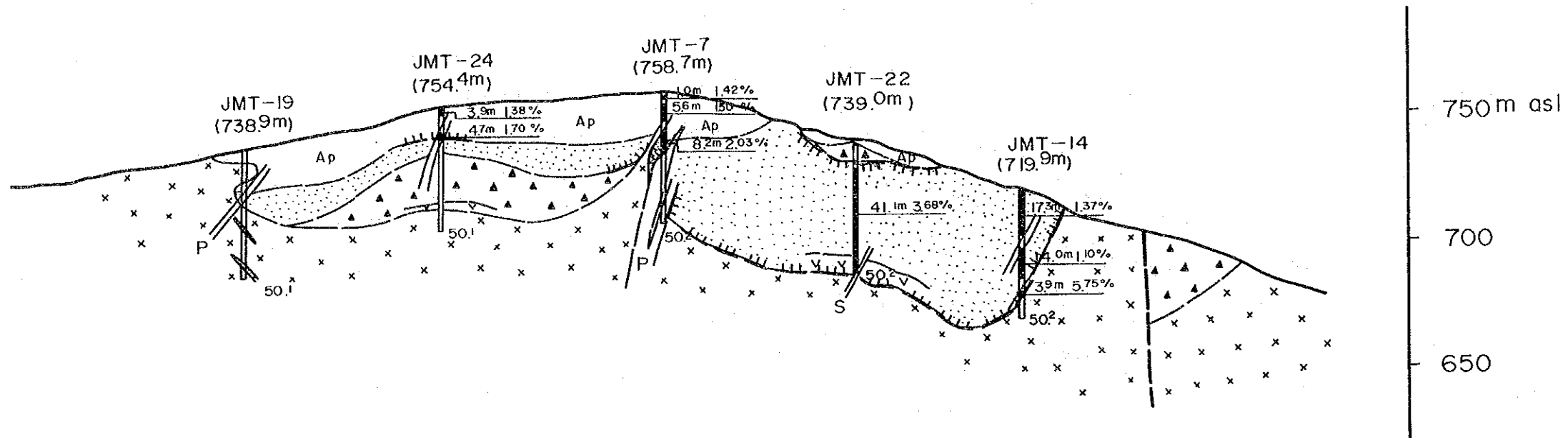
Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMT- 5	30.4-31.3	0.9	2406	4508	1436	208.5	35.3	103.3	459	735	99	5285	10560
	46.0-47.7	1.7	4485	7988	2260	334.9	57.4	9.2	470	912	251	9744	18490
JMT- 7	2.0- 3.0	1.0	2663	5802	1307	346.2	111.1	60.4	2048	4541	1478	131976	14249
	3.4- 9.0	5.6	2932	6366	1322	334.2	100.9	58.0	2851	7244	1318	131309	15043
	14.2-22.4	8.2	6434	8884	1010	200.5	38.0	12.6	1400	31871	276	17947	20276
JMT-10	16.8-23.8	7.0	2559	6353	2714	411.1	67.6	79.8	172	664	114	3954	14759
	27.9-29.8	1.9	2539	6260	2064	273.4	45.6	2.9	63	635	61	170	13523
JMT-14	0 -17.3	17.3	3441	5590	1273	264.6	68.2	23.0	2261	19984	416	22724	13719
	21.3-35.3	14.0	2433	3804	1433	237.3	61.1	18.6	2391	9161	363	18916	11028
	39.7-43.6	3.9	20623	23292	3442	461.0	50.1	<0.1	4360	55515	80	2462	57501
JMT-15	0 - 3.1	3.1	3666	5385	1152	152.3	20.7	7.8	297	30750	47	146	12526
	30.6-34.0	3.4	5711	8922	1972	290.9	43.3	<0.1	182	8965	72	465	20434
	37.3-41.4	4.1	3053	4508	965	138.5	21.2	1.5	244	8834	90	2836	10543
JMT-16	21.2-27.8	6.6	3990	5959	1266	195.1	27.3	<0.1	280	31891	58	1592	13804
	39.5-48.1	8.6	3663	4835	991	146.7	23.0	11.8	467	14011	70	1585	11702
JMT-17	17.7-29.0	11.3	7112	9251	1826	271.9	41.5	5.7	1500	34396	49	927	22264
	29.6-35.2	5.6	5503	8193	1758	261.4	41.0	12.0	2344	25270	43	551	18986
	36.2-50.1	13.9	13642	17316	2804	419.2	58.3	2.1	1880	50843	39	178	41141
JMT-18	48.4-50.1	1.7	7900	9198	2838	436.3	96.7	90.3	848	11623	810	46709	25622
JMT-20	26.2-28.4	2.2	2832	4821	1388	235.5	43.3	5.3	194	45964	141	6907	11369
JMT-21	38.0-42.2	4.2	2121	3532	1195	342.5	135.3	89.8	1930	4202	1147	61602	10337
JMT-22	8.7-49.8	41.1	12981	14988	2272	315.5	35.0	5.0	617	37510	76	2878	36791
JMT-23	39.7-44.7	5.0	5992	8524	1750	254.6	34.7	1.0	410	22377	103	2360	20004
JMT-24	1.0- 4.9	3.9	3833	5226	1280	238.5	59.9	22.9	746	5920	788	61679	13780
	8.2-12.9	4.7	4860	6891	1384	258.4	54.0	<0.1	1834	3372	640	43271	16952
Mountain Pass (USA)			7500	14000	3200	200	40	-	-	-	790	-	20000

Tab. 8 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Tundulu

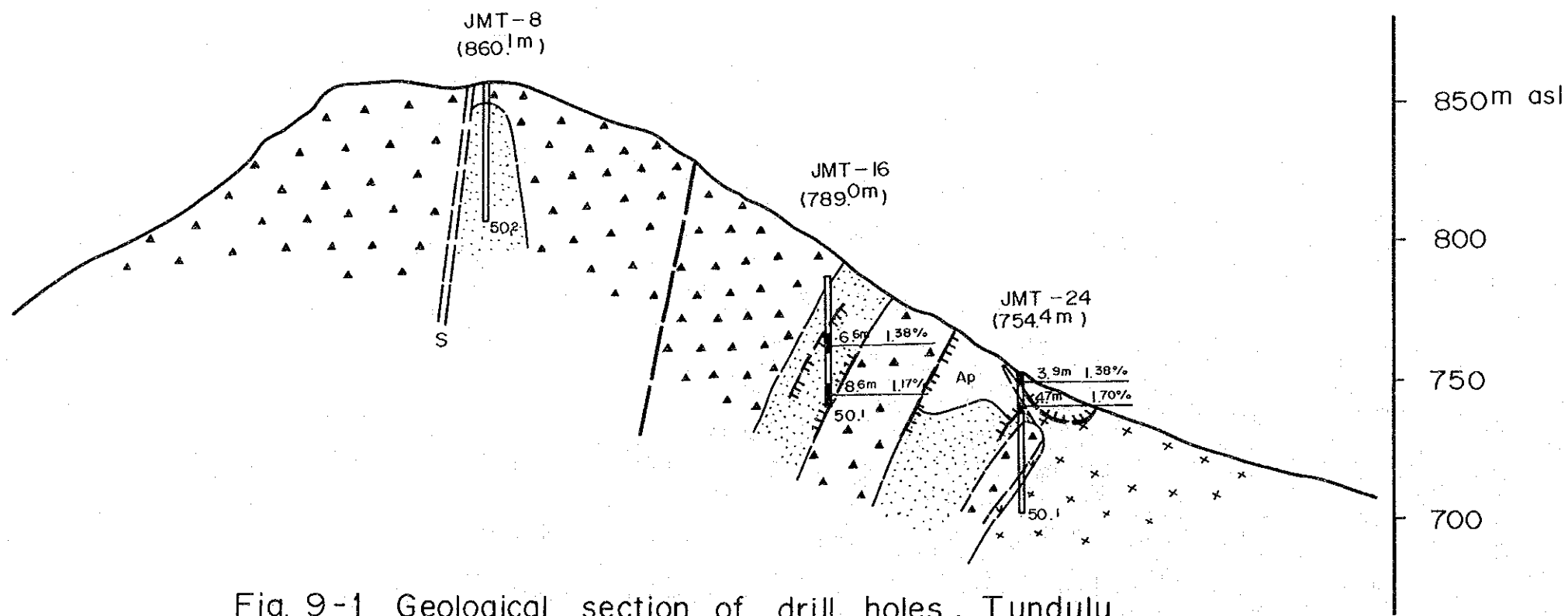
(ppm)

Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMT- 2	16.1-22.1	6.0	853	1732	607	78.7	18.2	23.4	513	5949	107	37183	4108
	42.5-45.5	3.0	973	1819	652	79.0	20.2	5.1	420	8431	101	32087	4385
JMT- 3	32.6-34.7	2.1	550	1173	382	60.5	11.5	66.2	753	5205	64	30437	2772
JMT- 7	3.4-17.8	14.4	2779	4952	891	209.9	60.0	29.7	1442	10936	776	72931	11717
JMT- 9	1.3- 4.3	3.0	362	734	263	46.4	13.1	<0.1	465	1006	66	51913	1786
JMT-12	3.2-24.0	20.8	800	1532	579	78.7	18.0	15.2	1176	18383	90	29219	3739
	42.0-50.2	8.2	715	1356	508	74.4	16.6	11.8	2149	14863	90	33591	3330
JMT-14	10.4-14.0	3.6	1474	2877	1061	226.9	72.5	35.4	5354	5948	663	41912	7729
	21.3-25.3	4.0	2065	4297	1390	273.1	86.1	40.0	4603	20012	592	36120	10534
JMT-17	2.9- 5.2	2.3	1667	2258	665	170.1	50.8	35.5	447	2323	537	28908	6483
JMT-18	48.4-50.1	1.7	7900	9198	2838	436.3	96.7	90.3	848	11623	810	46709	25622
JMT-19	1.3- 4.8	3.5	879	1630	581	140.9	47.1	49.5	82	4460	1510	122165	5903
	12.4-14.6	2.2	708	1445	591	196.0	80.4	51.2	121	4457	1473	105549	5544
	17.7-24.7	7.0	491	854	266	59.2	16.2	25.6	124	2411	249	37067	2369
JMT-20	1.6- 4.6	3.0	1580	2602	802	198.5	75.3	20.2	390	3250	743	61020	7268
JMT-21	0 - 4.1	4.1	1836	3197	975	192.6	54.2	9.8	461	7282	582	48055	8253
	33.7-42.2	8.5	1785	2964	899	237.0	86.9	44.8	1384	7113	784	42991	8205
JMT-24	1.0- 4.9	3.9	3833	5226	1280	238.5	59.9	22.9	746	5920	788	61679	13780
	8.2-12.9	4.7	4860	6891	1384	258.4	54.0	<0.1	1834	3372	640	43271	16952

JMT-19 ~ JMT-14 Line



JMT-8 ~ JMT-24 Line



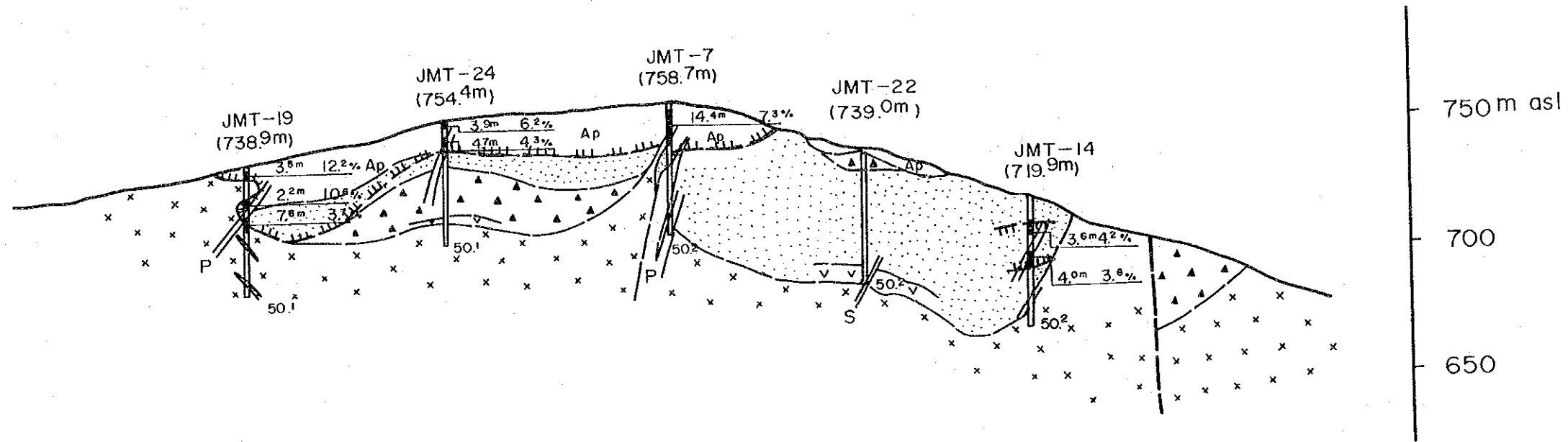
LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Apatite rock
- Agglomerate feldspathic breccia
- Calc-silicate rock
- Mn ore / Hematite
- Nepheline syenite
- P: Phonolite
T: Trachite
S: Sölvbergite
- Fault
- Expected mineralized zone (REO > 1%)

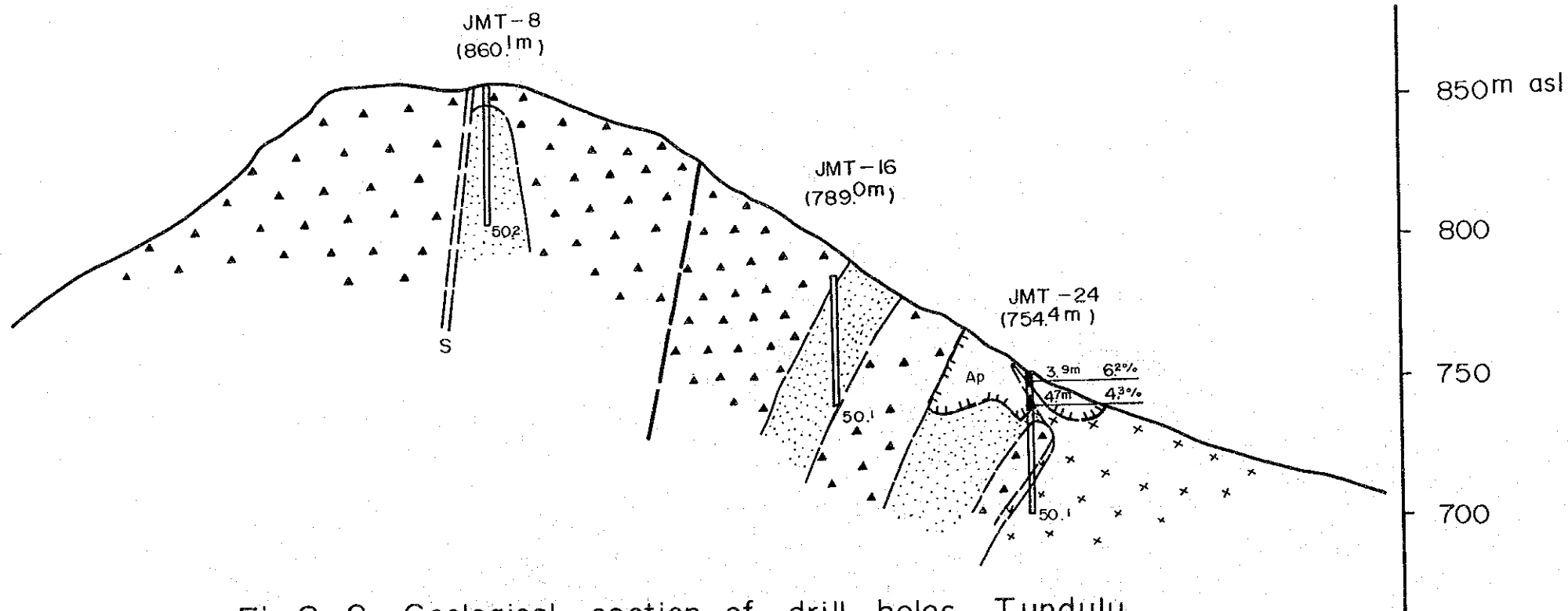
Thickness, m REO %
 50.1 (Depth m) (La, Ce, Nd, Sm, Eu)
 Tb, Y

Fig. 9-1 Geological section of drill holes, Tundulu

JMT-19 ~ JMT-14 Line



JMT-8 ~ JMT-24 Line



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Apatite rock
- Agglomerate feldspathic breccia
- Calc-silicate rock
- Mn ore / Hematite
- Nepheline syenite
- P: Phonolite
T: Trachite
S: Sölvbergite
- Fault
- Expected mineralized zone (P > 2.2%)

Thickness, m P%
50.1 (Depth m)

Fig 9-2 Geological section of drill holes, Tundulu

撤収作業はNathace 丘工事終了後開始した。ボーリング資・機材及びコアはZombaの地質調査局に運搬した。運搬には5t, 8tトラックを使用した。

1-4-3 ボーリング孔の地質及び鉍化作用

ボーリング調査は主としてカーボナタイト露頭直上部から深度50m付近までの地質状況、カーボナタイト賦存状況及びレアアースを主とする有用鉍物の賦存状況を明らかにする目的で実施された。

ボーリング孔中の地質状況はFig. 8に示すとおりである。各試料の分析値、酸化レアアース量(REO)はAppendix 2に示す。

酸化レアアース量1.0%以上の含有量を示すものを、レアアース鉍徴部としてTab. 7に、磷含有量2.2%(P_2O_5 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. 8に示す。

本地区のボーリング調査の結果は、Tundulu 丘ではJMT-10の深度16.8m~23.8m(7.0m)間の酸化レアアース量1.48%及びJMT-12の深度3.2m~24.0m(20.8m)間の磷含有量2.9%と深度42.0m~50.2m(孔底)(8.2m)間の磷含有量3.4%がまとまった鉍徴部である。

Nathace 丘では、JMT-7, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24 においてレアアース鉍徴部を確認した。主要鉍石鉍物は、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。JMT-19, 24, 7, 22, 14及びJMT-8, 16, 24を通るボーリング地質断面図をFig. 9-1, 9-2に示す。

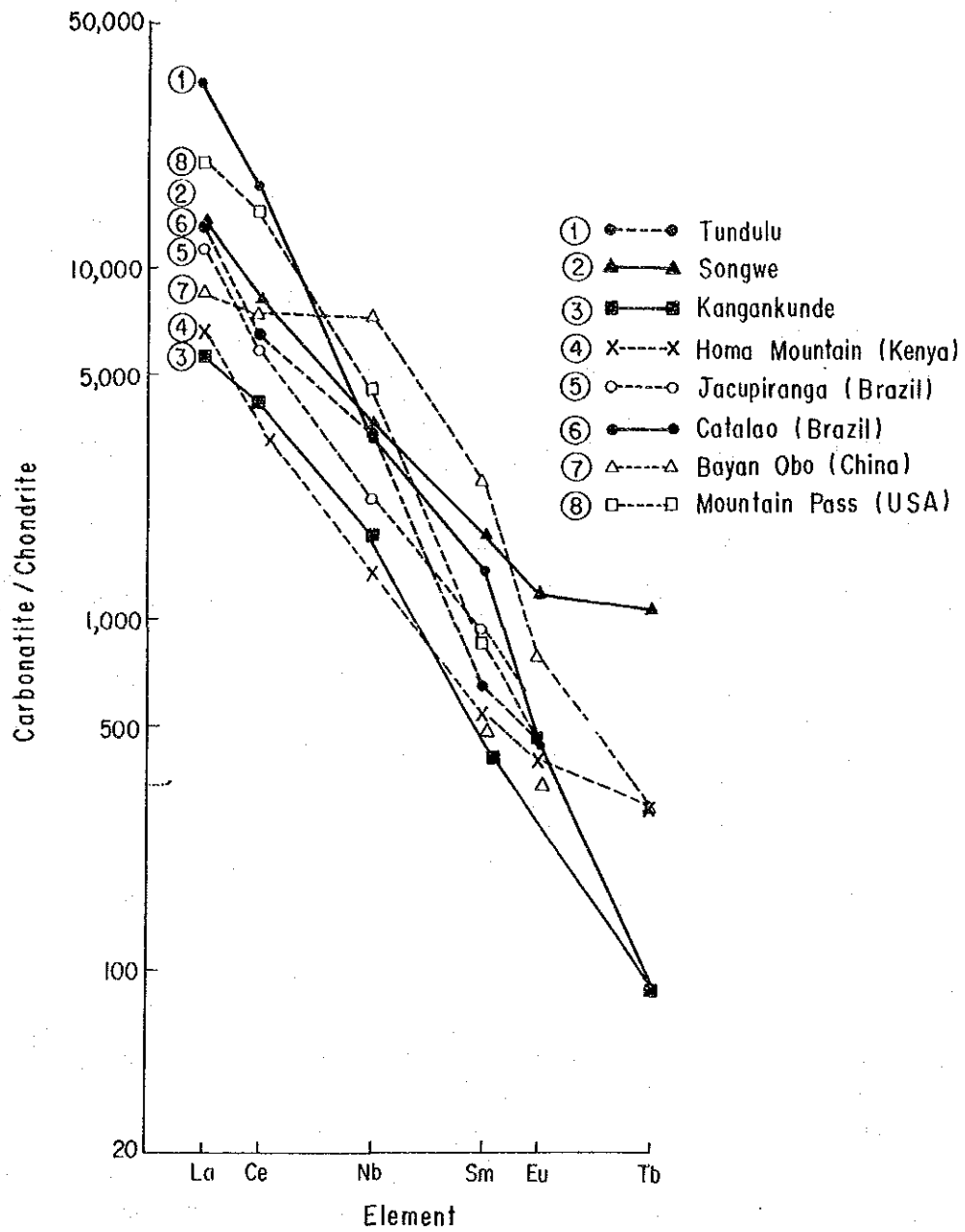
レアアース鉍徴部として、規模的にまとまる範囲は、JMT-24, 7, 22, 14が位置するカーボナタイト岩体及びJMT-17の位置する岩体である。このうち、最も連続性のある鉍徴部は、JMT-22の深度8.7m~49.8m(41.1m)間で、含有量は、酸化レアアース量3.68%である。JMT-17の鉍徴部は断続的であるが深度17.7m~50.1m(孔底)(32.4m)間において、含有量1.90%~4.11%のものである。(Fig. 9-1)。これら鉍徴部の各元素の含有量をバストネサイトを主な鉍石として産するMountain Pass 鉍山のそれと比較すると、Sm及びEuが1.5倍~2倍の値を示す。

磷はJMT-7, 14, 18, 19, 20, 21, 24にて2.2%以上の鉍徴部が確認された。これらのうち最も連続性のあるものは、JMT-7の深度3.4m~17.8m(14.4m)間で含有量7.3%(P_2O_5 換算16.7%)である(Fig. 9-2)。磷鉍物は粒状アパタイトが主である。

1-5 考 察

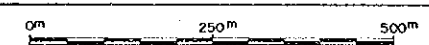
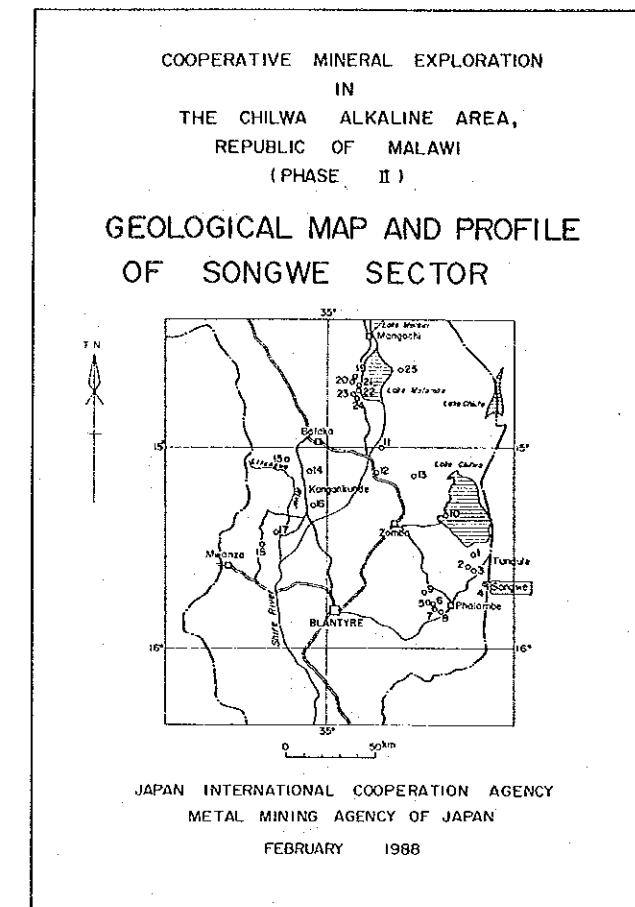
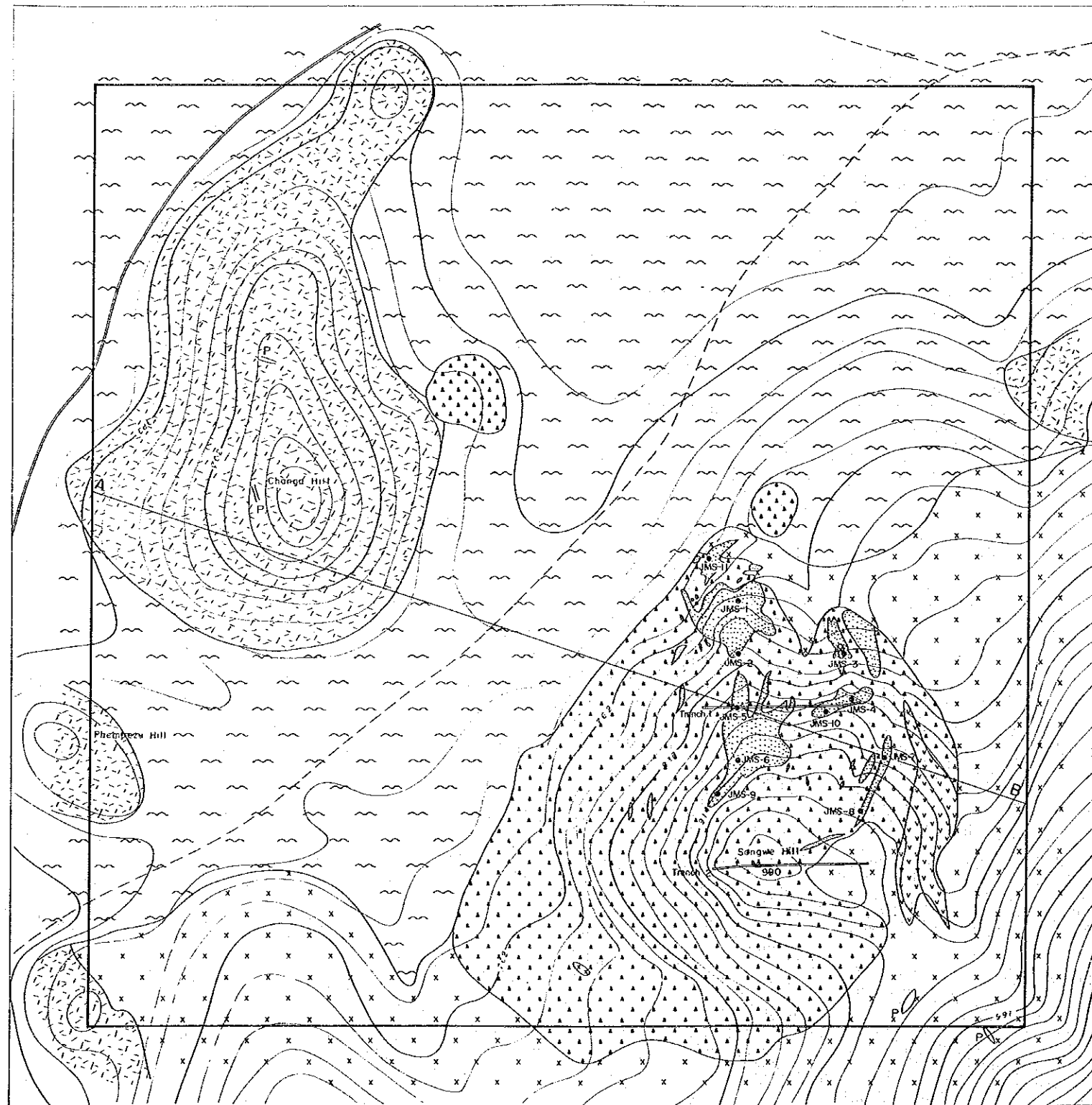
Tundulu 地区の地質調査・地化学探査、ボーリング調査結果を総合して考察すると以下のことが考えられる。

1. 本地区のカーボナタイトは、その分布から同心円状の2つの重った環状構造が認められる。Tundulu 丘はその外側に、Nathace 丘はその内側に位置する。
2. 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ていることから、Tundulu 丘カーボナタイト岩体は、位置、岩石構成から考察し、本地区の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。
3. 後期の火成活動により生成されたと考えられるNathace 丘カーボナタイトは、Nathace 丘内でカーボナタイトが半環状形態を示し分布する。
4. 半環状に分布するNathace 丘のカーボナタイトは、Nathace 丘東半分はその主要部があり、2層分布する。
5. レアース鉍徴部は、2層のカーボナタイト岩体中に分布する。本年度ボーリング調査では、JMT-22において厚さ41.1m、3.68%のものを確認した。隣徴部はJMT-7において厚さ14.4m、7.3%のものを確認した。
6. レアースはSm、Eu含有量が高くMountain Pass 鉍山産のカーボナタイトに比べ、1.5倍から2倍の値を示した。
7. JMT-22のレアース鉍徴部からLa、Ce、Nd、Sm、Eu、Tbのレアースパターンを検討した結果、パターンはLaからTbに向い急激に低下する傾向を示す(Fig.10)。



- ① JMT - 22, 8.7^m~49.8^m (41.1^m)
- ② JMS - 4, 38.1^m~53.3^m (15.2^m)
- ③ Geochemical Sample
- ④ Ohde et al. (1979)
- ⑤⑥ GSJ and DNPM (1987)
- ⑦ Kishimoto (1985)
- ⑧ Hida (1970)

Fig.10 Chondrite normalized rare earth concentration



LEGEND

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

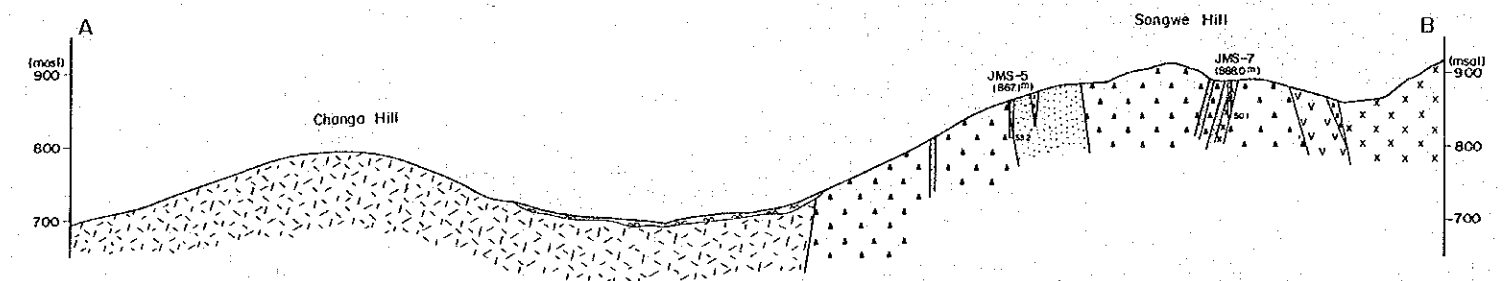


Fig. 11 Geological map and profile of Songwe sector

第 2 章 Songwe 地区

2-1 調査方法

本年次調査は、地質調査・地化学探査及びボーリング調査を実施した。

調査方法は前述 1-1 Tundlu 地区と同じである。なお、調査内容は Tab. 9 のとおりである。

Tab. 9 Contents of survey, Songwe

Geological and geochemical survey		Drilling survey	
Area	3.2 km ²	No. of holes	11
Route survey	9 km	Total length	558.95 m
Trench survey	600 m	Inclination	-90°
Assay of geochemical samples	151 pcs	Assay of ore samples	110 pcs
Microscopic observation (Thin section)	13 pcs	Assay element:	
Microscopic observation (Polished section)	16 pcs	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr,	
X-ray diffractive analysis	13 pcs	Y, P (10 elements)	

2-2 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, アンケラナイト質) 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

Songwe 地区を構成する岩石は、前述 Tundulu 地区の構成岩類とほぼ同様である。

基盤をなす片麻岩類は調査地区北東部 Chenga (チェンガ) 丘, 西部 Phempezu (ペンペズ) 丘に分布する。岩質は花崗岩質片麻岩, 黒雲母片麻岩等である。

" チルワーアルカリン岩石区 " の岩石は調査地区 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 800 m、南北 1,000 m 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 (Tundulu 角礫岩類と同じ)。

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がある。これらは Songwe 丘の北斜面の角礫岩類分布域にのみ不規則塊状、脈状形態を呈し分布する。このうち最大の規模を有するものは東西 350 m、南北 200 m 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。これらカーボナタイトはしばしば酸化マンガニ、酸化鉄を含む。

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 700 m、比高略 300 m 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)。

2-3 地化学探査結果

地化学探査採取試料の分析元素、分析下限、統計解析手法は Tundulu 地区と同一である。採取試料数は 151 件である。

2-3-1 統計値

Songwe 地区の分析元素含有量, 酸化レアース量 (REO) の統計値及び地殻中の存在度を Tab. 10 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 7.7 倍)。このことは Tundulu 地区と同様にこれら元素が 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. 10 Statistical values of geochemical survey, Songwe

Element	Rock type	No. of Samples	Max.	Min.	Mean	M + 1S	Abundance (Earth Crust) (ppm)
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	

2-3-2 元素の相関関係

本地区の各元素の相関係数を Tab. 11 に示す。

相関係数が 0.8 以上で極めて相関が強い元素の組合せは, (La, Ce), (La, Nd), (La, Sm), (Ce, Nd), (Ce, Sm), (Ce, Eu), (Nd, Sm), (Nd, Eu), (Sm, Eu), (Y, Eu) である。これらはいずれもレアース同志の組合せである。一方, 本地区のレアース鉱物としてバストネサイト, シンチサイトを確認していることから, Sm, Nd, Eu は Ce, La の一部を置換しているものと考えられる。

Tab. 11 Correlation coefficients of elements, Songwe

AREA: S (N of cases: 151)

Correlations:	logLa	logCe	logNd	logSm	logEu	logTb	logNb	logSr	logY	log P
logLa	1.00									
logCe	.97	1.00								
logNd	.90	.92	1.00							
logSm	.83	.85	.85	1.00						
logEu	.79	.82	.89	.83	1.00					
logTb	.62	.64	.68	.52	.63	1.00				
logNb	-.01	-.03	-.04	-.07	-.07	.03	1.00			
logSr	.44	.46	.41	.23	.32	.42	-.05	1.00		
logY	.62	.63	.66	.74	.81	.48	-.06	.36	1.00	
logP	.06	.08	.11	.12	.18	.26	.15	.27	.45	1.00

2-3-3 異常値分布

地化学探査異常値はTundulu地区の手法と同様にして求めた。しきい値はTab.10に示すとおりである。

本地区の異常値分布はFig.12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。

2-4 ボーリング調査結果

本地区は第1年次の調査結果、カーボナタイト鉱床としてのポテンシャルリターが高い地区として抽出された。

ボーリング調査は、本地区のカーボナタイト鉱床賦存状況を把握することを目的に実施された。

2-4-1 調査概要

使用ボーリング機材の運搬方法、作業形態及び調査方法はTundulu地区と同じである。

Songwe地区の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
11	558.85m	510.70m	91.4%	110件

(※ 表土を除く)

現地ボーリング調査期間は、8月13日から9月19日までの38日間であった。

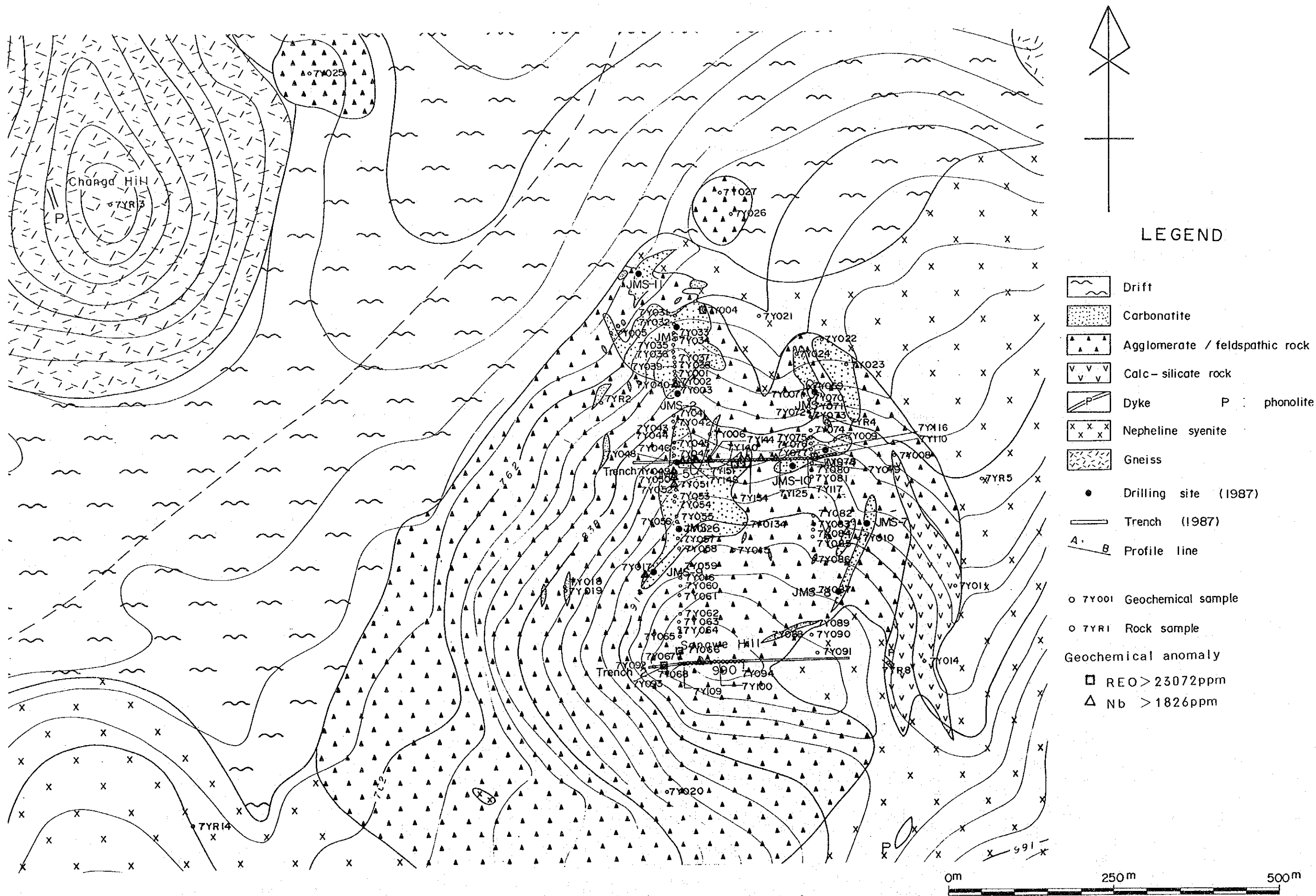


Fig. 12 Distribution map of geochemical anomalies, Songwe (REO, Nb)

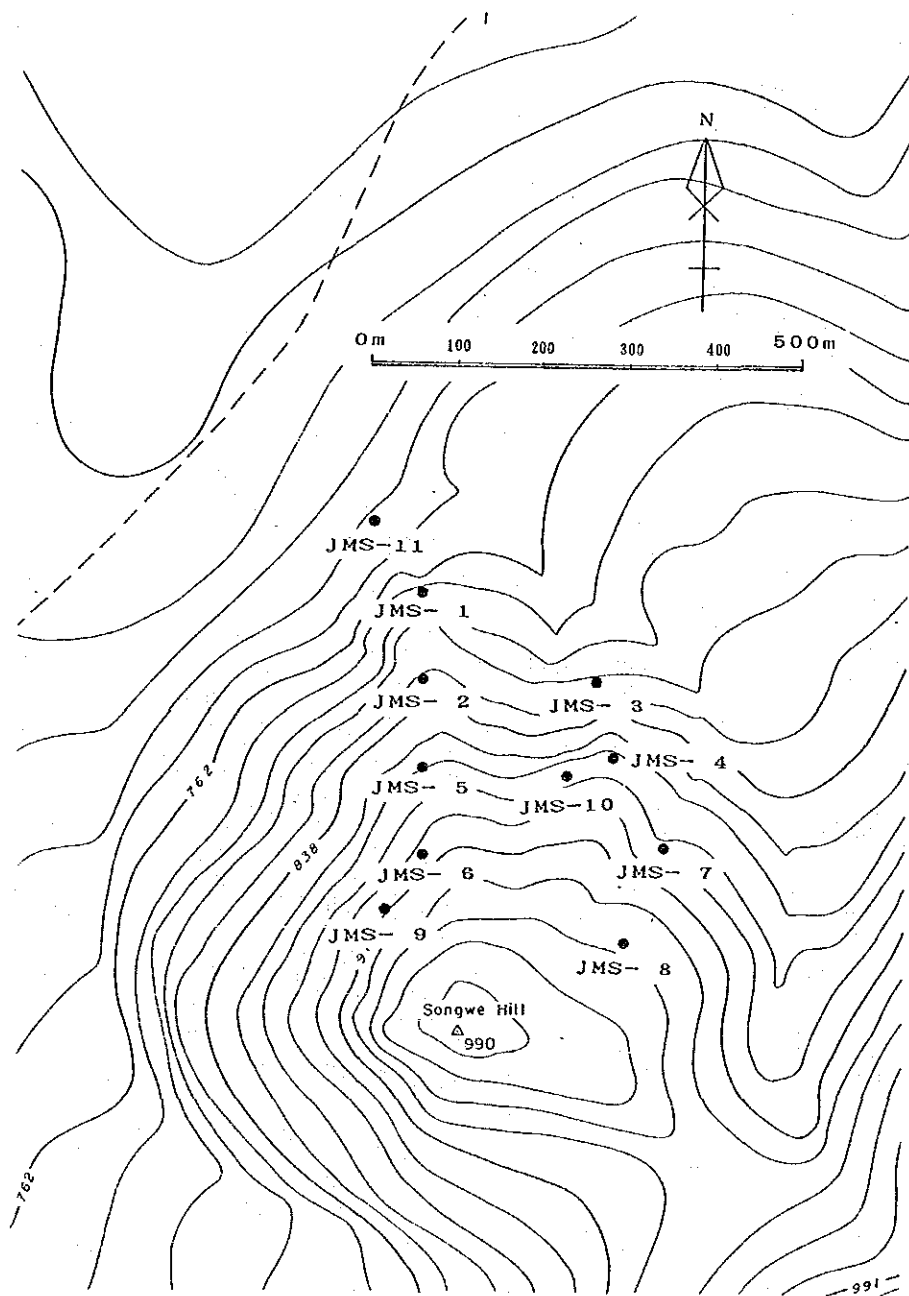


Fig. 13 Location map of drilling sites, Songwe

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	コア採取率 (除表土) %	月日～月日	口径 73mm		口径 56mm	
					掘進状況	深度 m	掘進状況	深度 m
JMS-1	50.45	4.895	95.0	8.13～8.16	1.8	0.4mまでメタルシユ無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	50.45	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 45.8mで空堀あり完全透水
JMS-2	50.10	4.750	97.5	8.17～8.22	1.9	1.4mまでメタルシユ無水掘進, 1.9mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	50.10	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 1.29mで完全透水, 1.29mまでBWケーシング拡孔設置
JMS-3	58.00	55.90	99.6	8.23～8.26	2.9	1.5mまでメタルシユ無水掘進, 2.9mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	58.00	ダイヤモンドビット, TK-60 使用 1.62mまでBWケーシング拡孔設置, 各所で透水
JMS-4	53.30	50.80	95.7	9.3～9.5	1.8	1.8mまで無水掘進, BWケーシング設置 L	53.30	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 7.7mで完全透水, 切削油使用
JMS-5	53.20	51.30	100.0	8.27～8.29	1.9	1.9mまで無水掘進, BWケーシング設置	53.20	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 7.7mで完全透水, 切削油使用
JMS-6	50.10	4.320	97.1	8.30～9.2	5.6	5.6mまでTK-60 使用, BWケーシング設置	50.10	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 6.2mで完全透水, 1.00mまで BWケーシング拡孔設置, 切削油使用
JMS-7	50.10	4.090	84.3	9.14～9.16	2.0	1.6mまで無水掘進, 2.0mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	50.10	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 1.25m～1.5.4m間空堀完全透水, 切削油使用
JMS-8	42.20	3.835	94.5	9.11～9.13	2.0	1.7mまで無水掘進, 2.0mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	42.20	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 切削油使用
JMS-9	50.20	4.430	90.0	9.6～9.8	1.8	1.0mまで無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	50.20	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 1.40mで崩落, 2.2.6m, 3.0.9mで空堀, 各所で透水, 切削油使用
JMS-10	51.00	4.710	91.9	9.9～9.11	2.8	2.3mまで無水掘進, TK-60 使用, 2.8mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	51.00	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 5.0m附近で空堀完全透水, 切削油使用
JMS-11	50.20	4.240	85.7	9.17～9.19	1.8	0.7mまで無水掘進, 1.8mまで ダイヤモンドシユ, BWケーシング設置	50.20	ダイヤモンドビット, TK-60 使用, 2.2mで完全透水, 5.3mまでBWケーシ ング拡孔設置, 3.3.0m附近より破砕帯, 切削油使用

2-4-2 ボーリング調査工事

ボーリング調査の資・機材はLilongwe 空港到着後、11 tトラック1台によってBlantyre 経由 Songwe 地区 Changa に運搬された。Changa からボーリング 地点付近までは4 tトラックにて資・機材を運搬した。

設営はJMS-1から開始した。Songwe 地区のボーリングはJMS-1, 2, 3, 5, 6, 4, 9, 10, 8, 7, 11の順に実施された。各ボーリング位置はFig. 13に示す。各ボーリング座間の山内運搬道路建設は、幅員1 m, 総延長2,200 m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地点の湧水池より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。運搬された用水は、揚水ポンプ2台、ホース延長1,500 mを使用し、ボーリング座へ給水した。

掘進作業は表土部では73 mmメタルシュ、着岩後は73 mmダイヤモンドビットを使用し、BWケーシングを挿入設置した。ケーシング挿入後は56 mm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、Tundulu 地区へ移動した。移動は4日間を要した。

2-4-3 ボーリング孔の地質及び鉱化作用

ボーリング調査は、地表から深度50 mまでの地質状況、カーボナタイト賦存状況及びレアアースを主とする有用鉱物の賦存状況を明らかにする目的で実施された。

ボーリング孔中の地質状況はFig. 14に示すとおりである。

各試料の分析品位、酸化レアアース量(REO)はAppendix 2に示す。これらのうち酸化レアアース量1.0%以上の含有量を有するものをレアアース鉱微部としてTab. 12に、燐含有量2.2%(P₂O₅換算略5%)以上、厚さ2.0 m以上の含有量、規模を示すものをTab. 13にまとめた。

レアアース鉱微部が確認されたボーリングは、JMS-8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、パイロクロア、ストロンチアナイト等である。JMS-5, 10, 4を通るボーリング地質断面図及びJMS-1, 2, 5, 6を通るボーリング地質断面図をFig. 15に示す。これらのうち、最も連続性があると考えられるものは、JMS-4の深度3.81 m~5.33 m(孔底)(1.52 m)間で酸化レアアース量2.10%の鉱微部である。

本地区のレアアース含有量を、Mountain Pass 鉱山の含有量と比較すると、Smは2~3倍、Euは2~4倍の値を示す。一方、La, Ce, Ndは概して当地区のものが低い値を示す。燐はJMS-10, 11において2.2%以上、長さ2 m以上の鉱微部が確認された。燐鉱物は粒状アパタイトである。

LEGEND

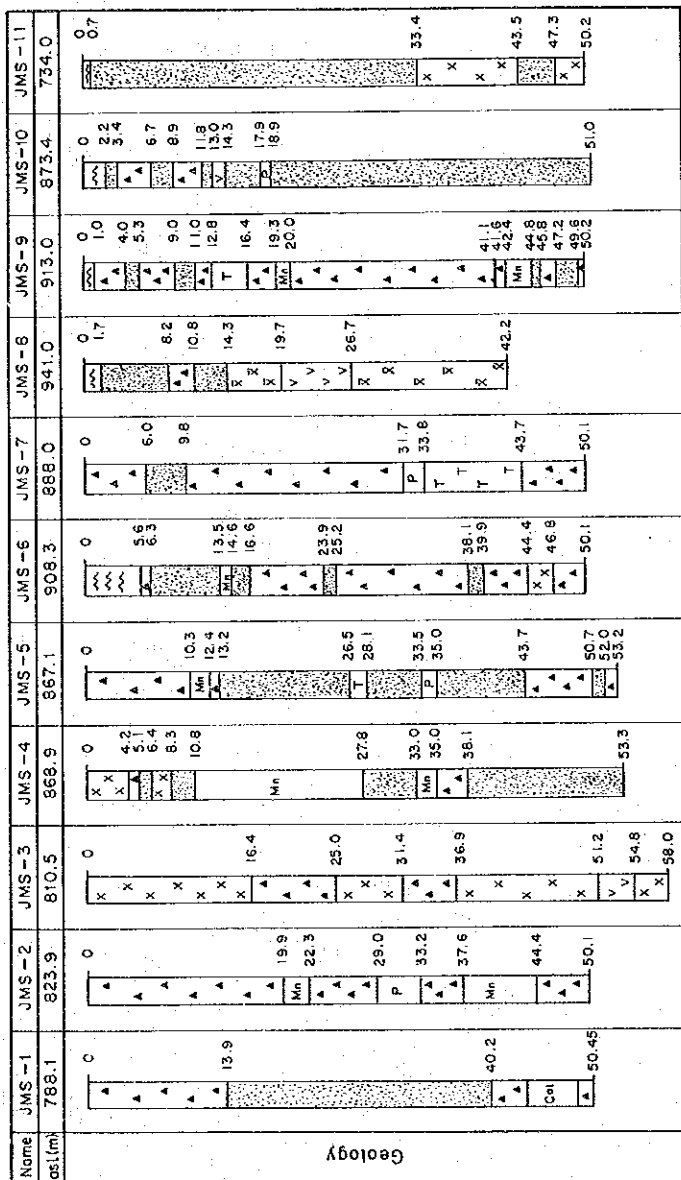
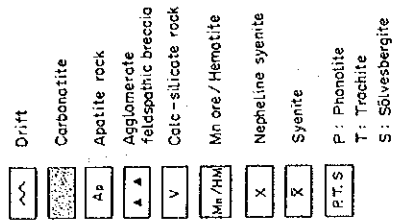


Fig. 14 Compiled geologic drill log, Songwe

Tab. 12 Summary of the mineralized zone (REO>1.0%), Songwe

(ppm)

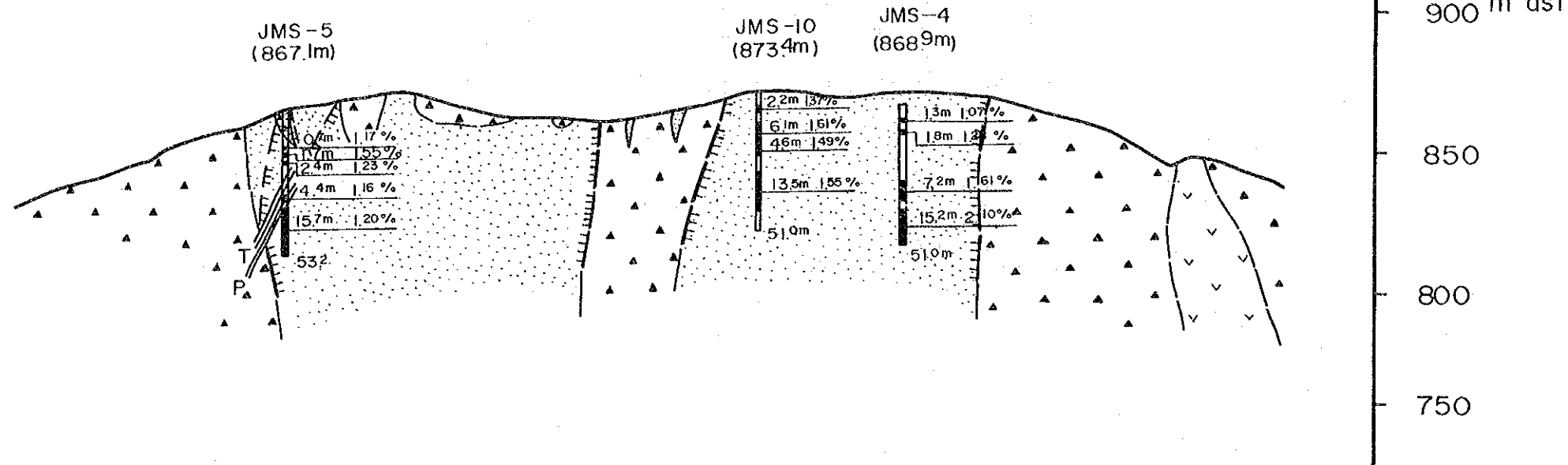
Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Rd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMS- 1	19.9-26.7	6.8	3540	6763	2438	387.9	92.8	13.1	963	2705	358	1887	16327
	29.0-31.9	2.9	2256	4324	1442	228.1	57.6	13.9	914	2009	274	3014	10333
	38.1-40.9	2.8	1014	3800	1855	357.9	90.4	36.3	396	1885	673	8571	10374
JMS- 2	17.0-29.0	12.0	3027	5793	2026	353.1	93.4	25.9	1053	3129	446	6210	14140
	37.6-44.4	6.8	3609	6505	2219	370.3	91.1	37.8	750	2848	336	6757	15813
JMS- 3	3.1- 3.7	0.6	2298	4366	1602	395.6	110.1	36.9	1406	1337	298	6702	10932
	5.4- 5.9	0.5	6300	10302	3425	469.3	101.8	32.8	138	9376	203	1504	24992
	13.5-20.8	7.3	6710	10117	2624	388.7	92.5	24.4	1601	16283	393	13125	24439
JMS- 4	5.1- 6.4	1.3	1922	4264	1748	373.7	110.4	46.6	691	4563	431	1938	10691
	9.0-10.8	1.8	1983	4910	2365	551.5	158.5	89.8	35	10311	603	4253	12806
	27.8-35.0	7.2	2955	6278	2883	589.4	152.0	67.2	27	5440	516	2070	16139
	38.1-53.3	15.2	5189	8481	2613	398.3	97.3	61.8	1497	10272	638	7870	21004
JMS- 5	13.2-13.9	0.7	2111	4529	1855	351.2	98.9	84.8	2418	3756	670	15040	11671
	16.1-17.8	1.7	3197	6539	2414	395.5	86.1	38.5	1070	2773	276	4701	15548
	18.6-21.0	2.4	2527	4967	1933	314.3	78.0	54.1	1065	3120	395	10053	12336
	29.1-33.5	4.4	2310	4653	1863	299.6	77.4	70.8	1272	7834	408	15398	11633
	35.0-50.7	15.7	2491	4744	1940	308.3	83.1	68.2	1616	4222	376	10004	12020
JMS- 6	6.3- 7.4	1.1	2081	4416	2083	316.7	90.7	55.8	3369	2178	317	374	11232
	38.1-39.9	1.8	1798	3897	1853	432.4	118.8	61.6	520	2107	468	3881	10360
JMS- 7	6.0- 8.0	2.0	2265	4776	2045	319.2	88.2	41.9	800	12637	476	6120	12031
JMS- 9	9.8-11.0	1.2	2197	4012	1595	280.1	79.6	51.7	426	1937	453	3391	10416
	34.6-37.1	2.5	2087	4148	1686	303.4	76.0	32.7	1296	1784	434	5866	10536
	41.1-41.6	0.5	2387	4746	1935	347.0	87.3	62.8	119	2858	689	7609	12335
	44.8-45.8	1.0	2148	4204	1946	396.0	126.1	145.9	514	3827	1867	28993	13096
	47.2-49.6	2.4	2564	5207	2123	332.1	81.3	26.6	683	2105	352	1033	12834
JMS-10	6.7- 8.9	2.2	2776	5313	2354	298.9	84.4	63.1	2838	2482	510	10940	13690
	11.8-17.9	6.1	3178	6265	2402	385.9	98.9	137.7	750	19337	901	26647	16087
	18.9-23.5	4.6	2773	5977	2370	345.0	89.3	145.9	2328	11252	674	11558	14883
	29.4-42.9	13.5	4432	5864	1676	238.6	62.2	80.0	1264	8441	422	10039	15480
JMS-11	4.3-14.0	9.7	2125	4969	2087	260.9	65.8	25.8	1022	1684	327	12844	11852
	17.0-33.4	16.4	2348	5037	1730	265.3	66.6	28.8	1525	2173	333	5614	12164
Mountain Pass (USA)			7500	14000	3200	200	40	-	-	-	790	-	20000

Tab. 13 Summary of the mineralized zone (P>2.2%, Thick>2.0m), Songwe

(ppm)

Drill No.	Depth	Thick	La	Ce	Rd	Sm	Eu	Tb	Nb	Sr	Y	P	REO
JMS-10	14.3-17.9	3.6	2704	5709	2298	403.8	105.2	192.0	966	15019	1082	33256	15047
JMS-11	4.3- 7.0	2.7	2506	5888	2371	221.0	73.8	32.3	455	2698	451	32545	13886

JMS-5 ~ JMS-4 Line



JMS-1 ~ JMS-6 Line

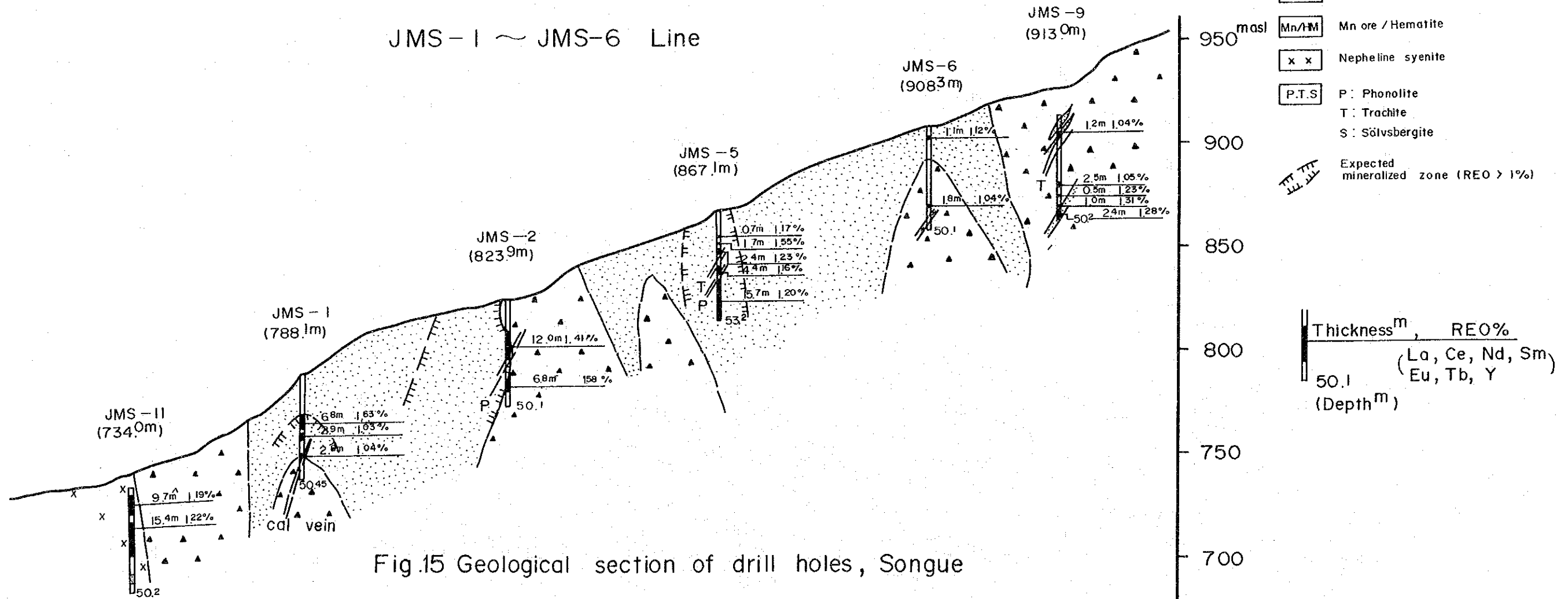


Fig.15 Geological section of drill holes, Songue

2-5 考 察

Songwe 地区の地質調査・地化学探査，ボーリング調査結果を総合し考察すると，以下のことが考えられる。

1. 本地区の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。この構造は "チルワーアルカリン岩石区" 岩石のネフェリン閃長岩中に，カーボナタイトが貫入し，生成された火道と考えられる。
2. 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。このうちレアアース鉱徴部は Songwe 丘北斜面の海拔略 850m 以下に分布する。本年度ボーリング調査では鉱徴部として JMS-4 において，厚さ 15.2 m，含有量 2.10%，JMS-10 にて，厚さ 13.5 m，含有量 1.55% のものを確認した。隣鉱徴部は，JMS-10, 11 にて確認されたが，いずれも小規模であった。
3. レアアース鉱徴部の Sm, Eu 含有量は高く，Mountain Pass 鉱山のカーボナタイトに比べ Sm が 2~3 倍，Eu が 2~4 倍の値を示す。
4. JMS-4 の分析試料から求められたレアアースパターン図 (Fig. 10) から，本地区のカーボナタイト中のレアアース含有量を検討したところ，パターンは La から Tb にかけて低下するが中希土類の減少が，Tundulu 地区，Kangankunde 地区のものに比べて小さい。

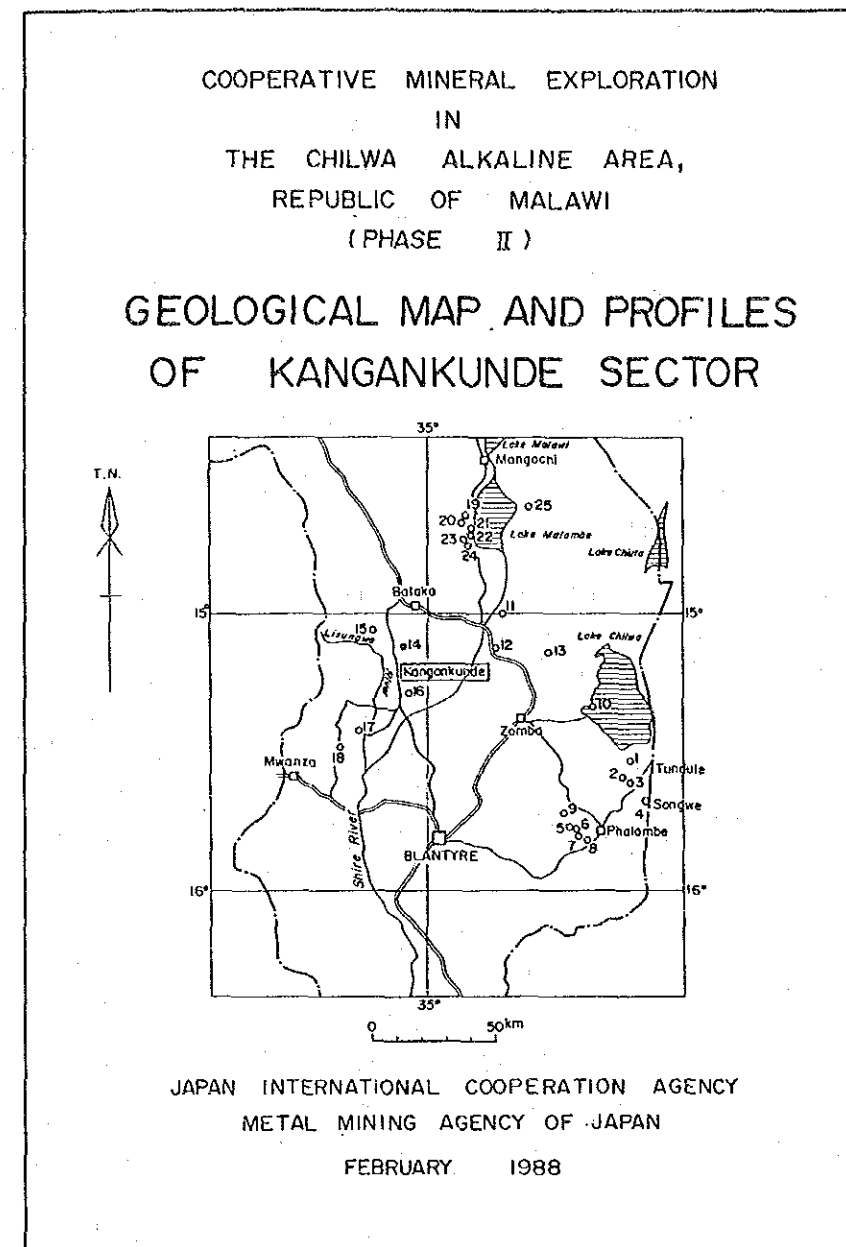
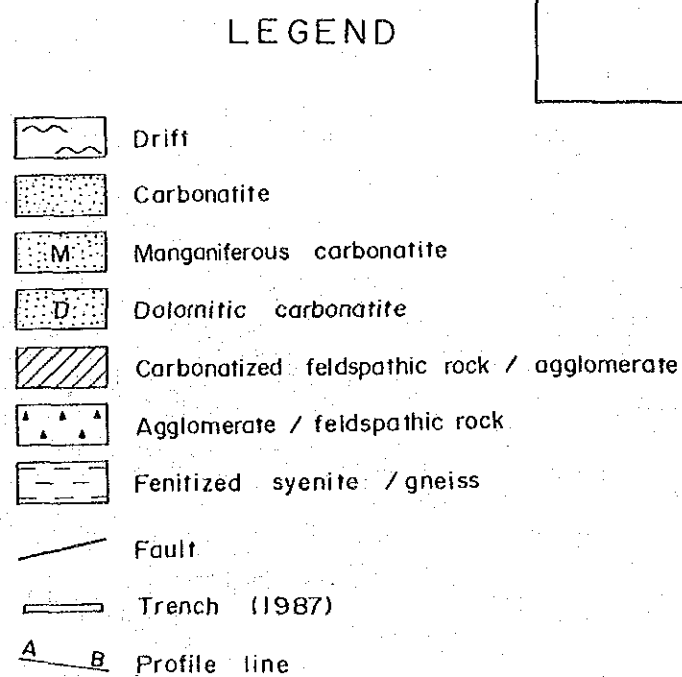
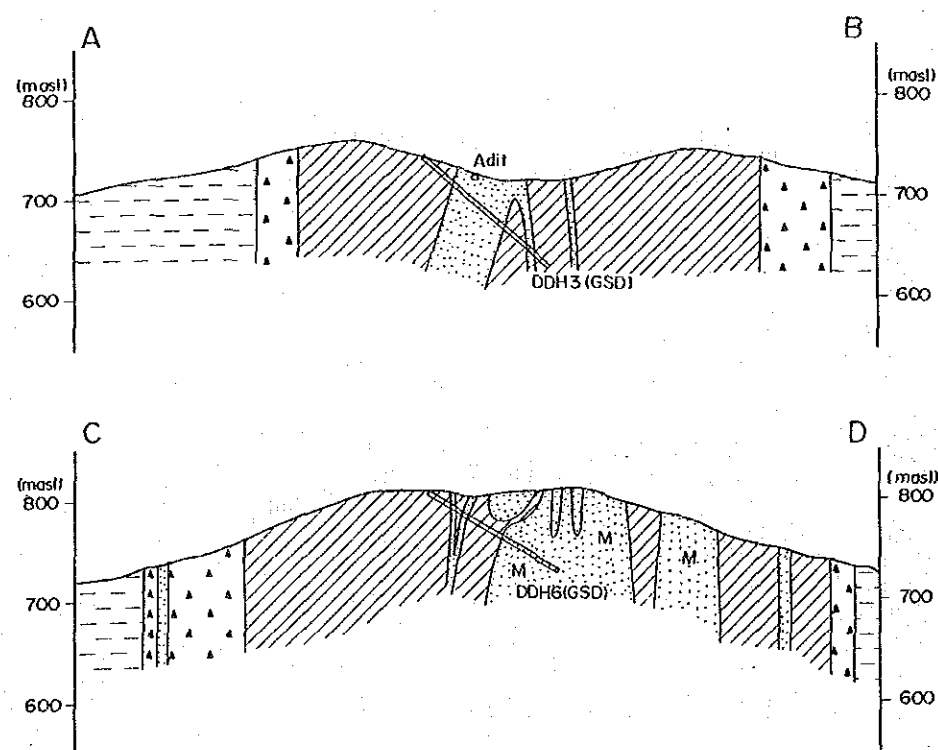
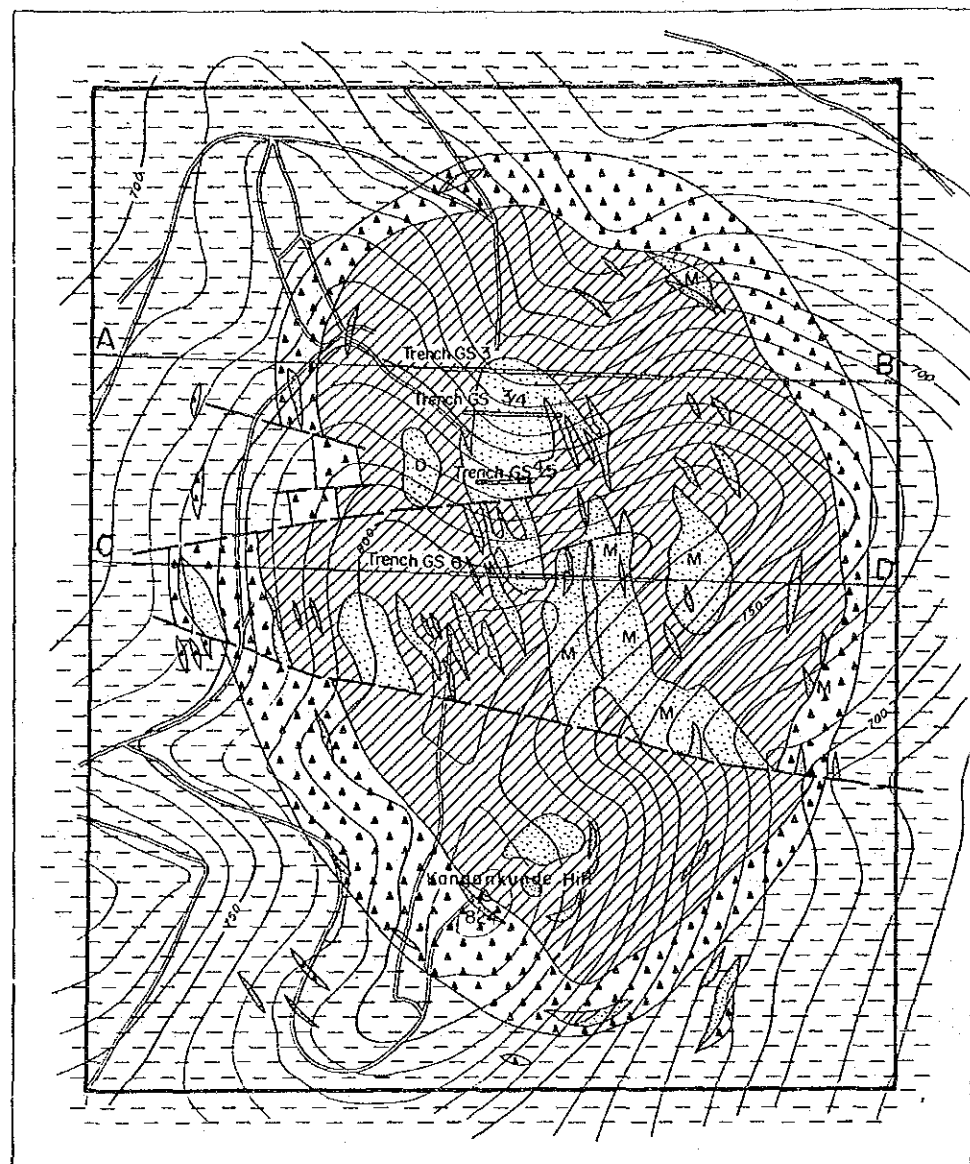


Fig.16 Geological map and profiles of Kangankunde sector

第3章 Kangankunde 地区

3-1 調査方法

本年次調査は、地質調査・地化学探査を実施した。

地質調査はポケットコンパスを用い、簡易測量を行いルート調査を実施した。ルート調査は縮尺2,000分の1のルート調査図にまとめた。トレンチ調査は縮尺200分の1にて調査を実施した。これらの調査結果は縮尺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実施し地化学的異常の検討を行った。

調査内容はTab.14のとおりである。

Tab. 14 Contents of survey, Kangankunde

Geological and geochemical survey		
Area	0.8 km ²	
Route survey	6 km	
Trench survey	500 m	
Assay of geochemical samples	102 pcs	
Microscopic observation (Thin section)	6 pcs	Assay element: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Nb, Sr, Y, P (10 elements)
Microscopic observation (Polished section)	1 pcs	
X-ray diffractive analysis	2 pcs	

3-2 地質 (Fig.16)

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 ～カンブリア期前期	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。本岩の規模は中略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。本岩類中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。

これらカーボナタイトはKangankunde 丘の北斜面及び東、西斜面に、その主要部が分布する。

ドロマイト質カーボナタイトは、丘の北斜面に小規模に分布する。岩相は灰色、斑状を呈す本岩中には細粒アパタイト、磁鉄鉱及び黒雲母が観察される。鏡下ではモザイク状あるいは斑状組織を呈し、ドロマイト、アパタイトに富み、石英、カリ長石、パリサイト、針鉄鉱などが認められる。

菱鉄鉱質カーボナタイト及びアンケライト質カーボナタイトは、丘の北、西斜面に混在して分布する。菱鉄鉱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。アンケライト質カーボナタイトは黒色、暗褐色、淡緑色、灰色を呈し、前者に比べて粗粒である。本岩中にはモナズ石、ストロンチアナイト等のレアアース鉱物が認められる。鏡下では、石英、カリ長石、ドロマイト、アパタイト、シンチサイト、モナズ石、パイロクロア等が認められる。

含マンガンカーボナタイトはKangankunde 丘の頂上から東斜面にかけて分布する。岩相は優黒色ないし暗褐色塊状であり、鉄酸化物、マンガン酸化物に富む。

地質構造は、Kangankunde 丘を中心に、南北略 900 m、東西略 700 m の長円状構造をなし、この構造中に、中心部から外側に向ってカーボナタイト、炭酸塩化角礫岩類、ほとんど変質の認められない角礫岩類、基盤岩類と帯状分布がみられる。主要断層は E-W 系であり、調査地区中央部にある。この断層によりカーボナタイト、角礫岩類は転位している。

本地区の "チルソーアルカリン岩石区" の岩石は、Tundulu 地区のそれより浸蝕面が高い水準にあると考えられる (Garson, 1965)。

3-3 地化学探査結果

地化学探査採取試料の分析元素、分析下限、統計解析手法は Tundulu 地区、Songwe 地区とも同一である。採取試料は 102 件である。

3-3-1 統計値

Kangankunde 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. 15 に示す。分析した元素の平均値が地殻中の存在度に比べ 10 倍以上の値を示すものは、La, Ce, Nd, Sm, Eu (カーボナタイト中のみ)、Nb, Sr, P である。このことは、これら 8 元素が本地区の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. 15 Statistical values of geochemical survey, Kangankunde

(ppm)

Element	Rock type	No. of Samples	Max.	Min.	Mean	M + 1S	Abundance (Earth Crust)
La	Carbonatite	96	25312	114	2132	7520	25
	Others	6	4069	153	545	1740	
Ce	Carbonatite	96	34763	133	3923	14233	81
	Others	6	8679	333	1197	3778	
Nd	Carbonatite	96	9478	18	1181	4468	20
	Others	6	3313	135	470	1439	
Sm	Carbonatite	96	910.5	<0.1	93.1	606	4
	Others	6	357.2	17.6	53.8	167	
Eu	Carbonatite	96	128.6	<0.1	14.0	85	0.8
	Others	6	59.1	5.5	11.6	29	
Tb	Carbonatite	96	127.8	<0.1	4.5	36	0.5
	Others	6	42.4	0.6	9.4	48	
Nb	Carbonatite	96	6322	<1	151	976	20
	Others	6	894	18	153	650	
Sr	Carbonatite	96	344408	3140	37007	97833	300
	Others	6	254639	1369	8157	54983	
Y	Carbonatite	96	273	5	12	32	38
	Others	6	50	5	12	34	
P	Carbonatite	96	90003	1468	12117	26058	900
	Others	6	36460	4988	15896	39379	
REO	Carbonatite	96	81491	326	8989	31958	
	Othersz	6	19841	845	2829	8582	