

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みられる。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、マンガンを富む。

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認められる。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。

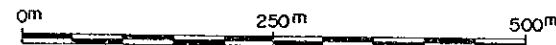
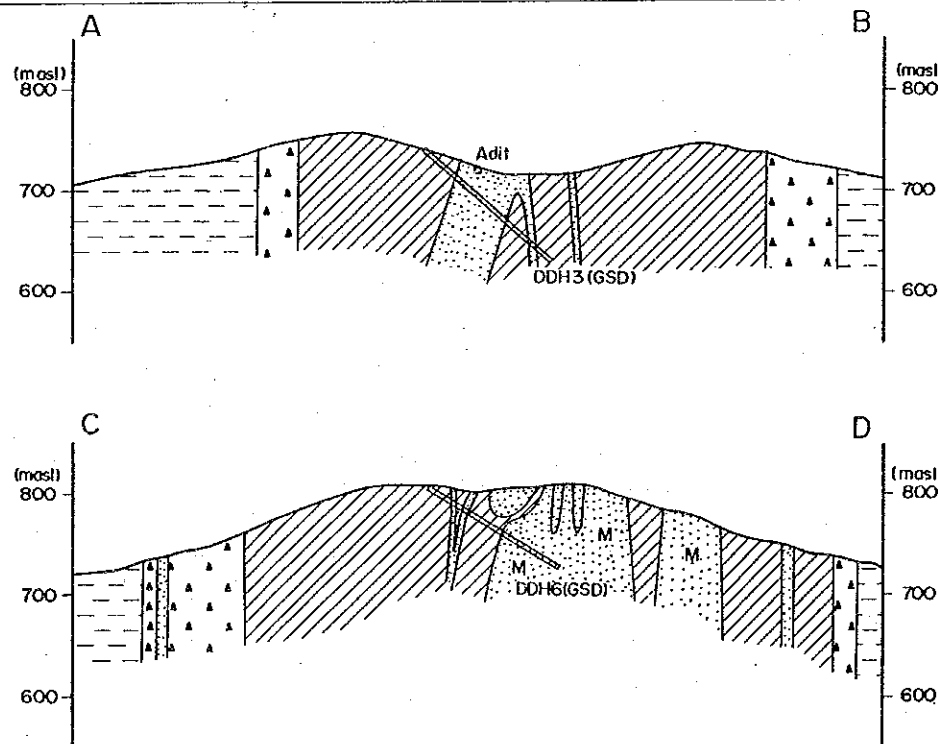
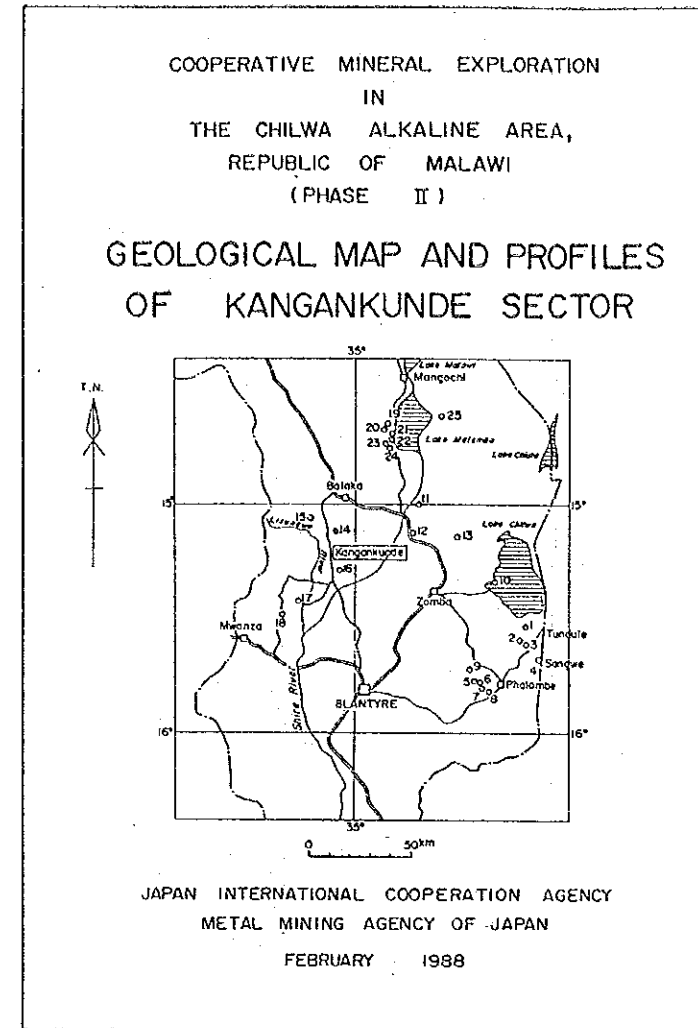
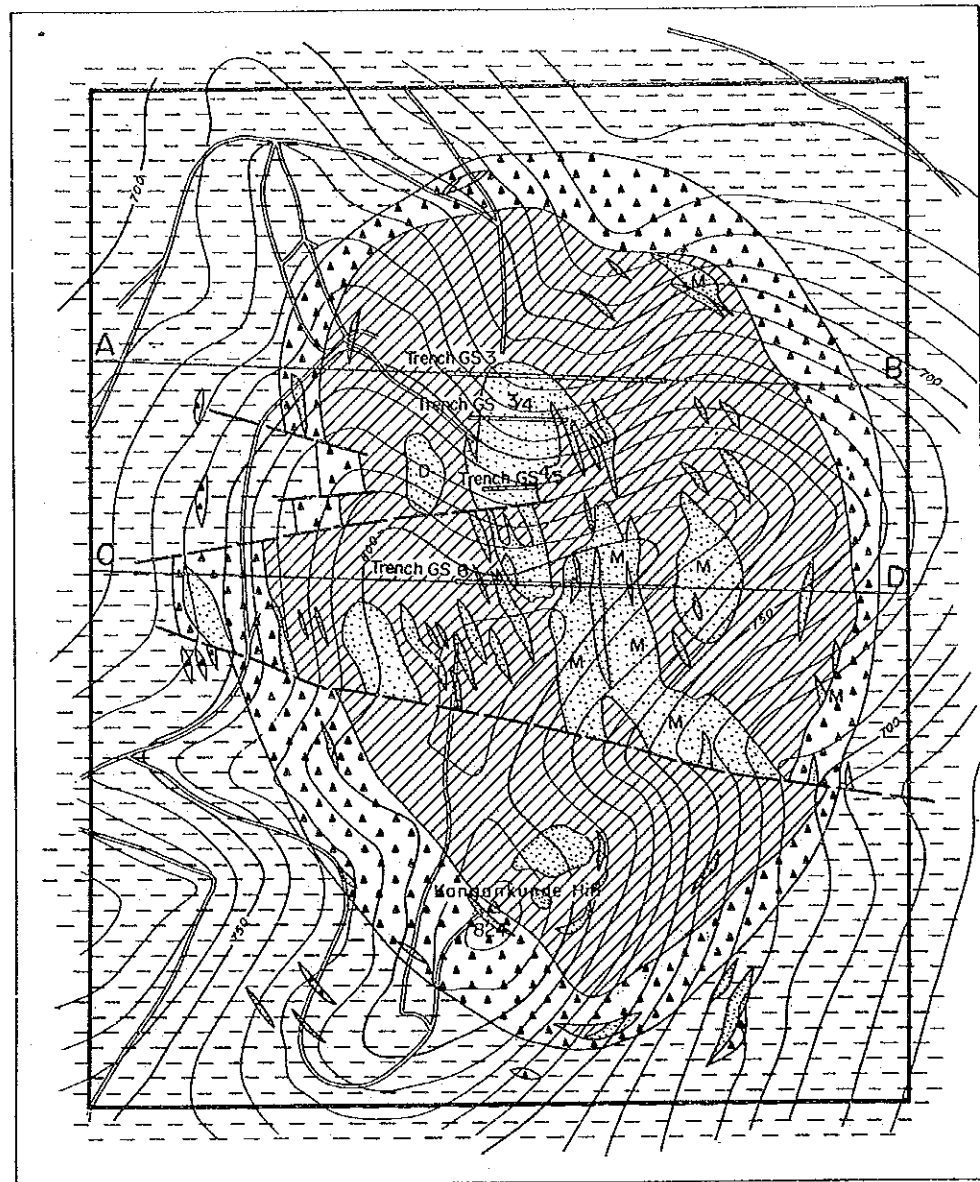
本地区の“チルワーアルカリ岩石区”の岩石は、Tundulu地区のそれより浸蝕面が高い水準にあると考えられる (Garson, 1965)。

第2章 地化学探査

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。

2-1 統計値

Kangankunde地区の分析元素含有量、REOの統計値及び地殻中の存在度をTab. 12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。



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Manganiferous carbonatite
- Dolomitic carbonatite
- Carbonatized feldspathic rock / agglomerate
- Agglomerate / feldspathic rock
- Fenitized syenite / gneiss
- Fault
- Trench (1987)
- Profile line

Fig. 15 Geological map and profiles of Kangankunde sector

Tab.12 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	
	Others	6	19841	845	2829	8582	

2-2 異常値分布

地化学探査異常値は Tundulu, Songwe両地区と同じ手法により求めた。しきい値はTab. 12に示すとおりである。

本地区の異常値分布は、Fig. 16に示すとおりである。本地区のレアアース、Nb, Sr, Pの異常値は Kangankunde丘の北斜面に集中する。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は、Kangankunde丘の北斜面に分布するカーボナタイト岩体中が最も高いことを示すものである。

第3章 考 察

Kangankunde地区の地質調査・地化学探査及び地質調査局資料を総合して地質鉱床としての特徴を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岩体は Kangankunde丘を主要部とし、その南北に小露頭（調査範囲外）が分布する。
2. 本地区を構成する岩石は Tundulu地区、Songwe地区とほぼ類似するが、本調査地区内にはネフェリン閃長岩が認められない。このことは Tundulu地区のカーボナタイト岩体

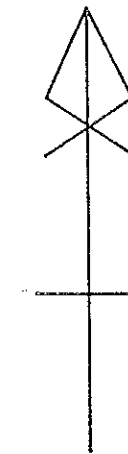
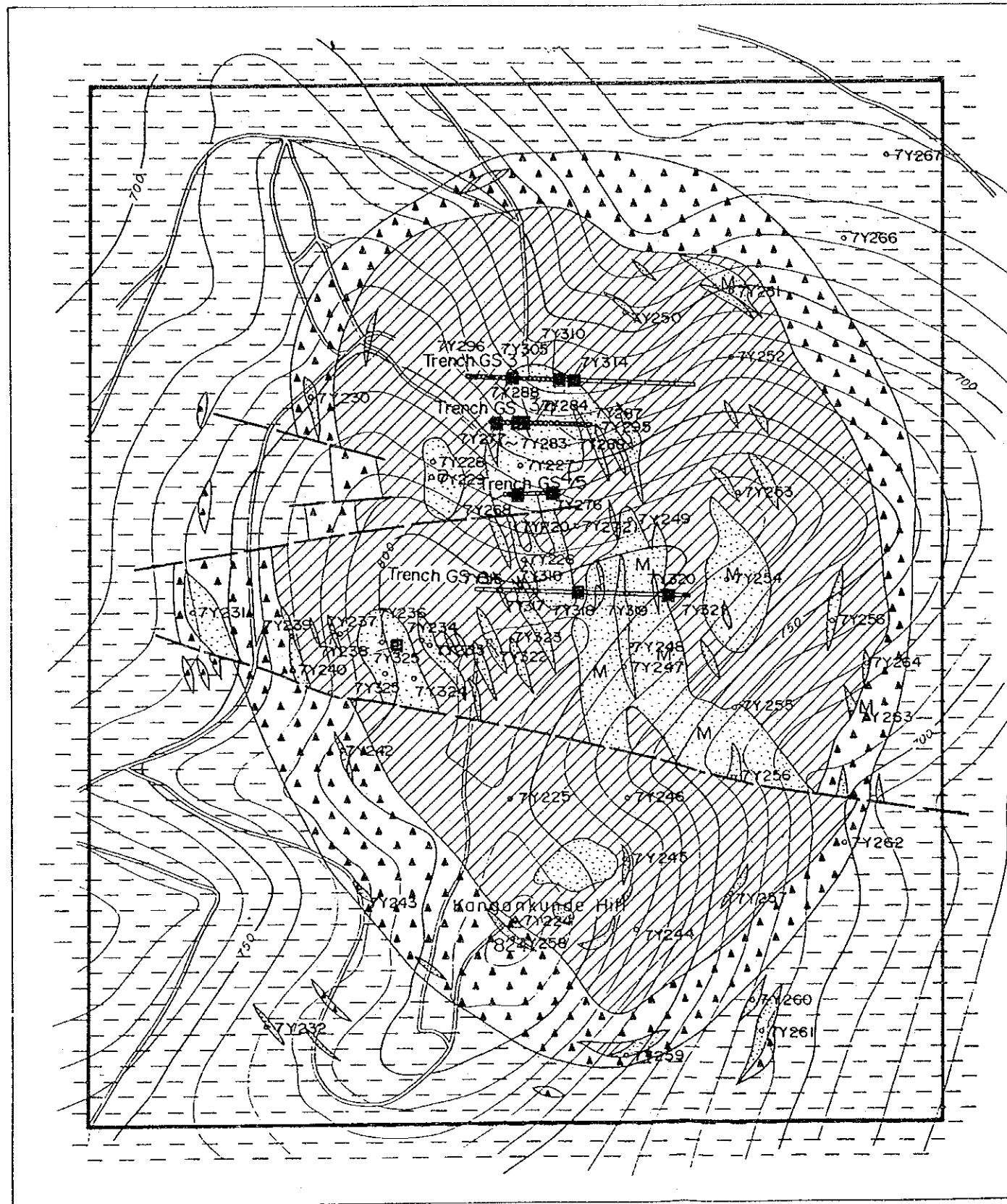
に比べて、本地区のものが深部のものであるためと考えられている。

3. 地化学探査の結果は本地区のレアアース及び燐濃集部は Kangankunde 丘北斜面に分布することを示している。

4. 地化学探査試料から求められたレアアースパターン図から、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 L a から T b に向い低下する傾向を示す (Fig. 25)。

5. Kangankunde 地区は、本年度の地化学探査異常値分布域を中心に既に地質調査局、民間企業等によりボーリング調査、トレンチ調査、さらには坑道調査が実施されている。

Holt (1965) によると深度 33 m まで鉍量 324,500 t, モナズ石品位 5.58%, ストロンチアナイト品位 17.90% の鉍量, 品位があるとされている。



LEGEND



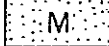
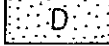
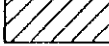
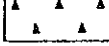
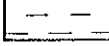

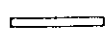
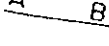




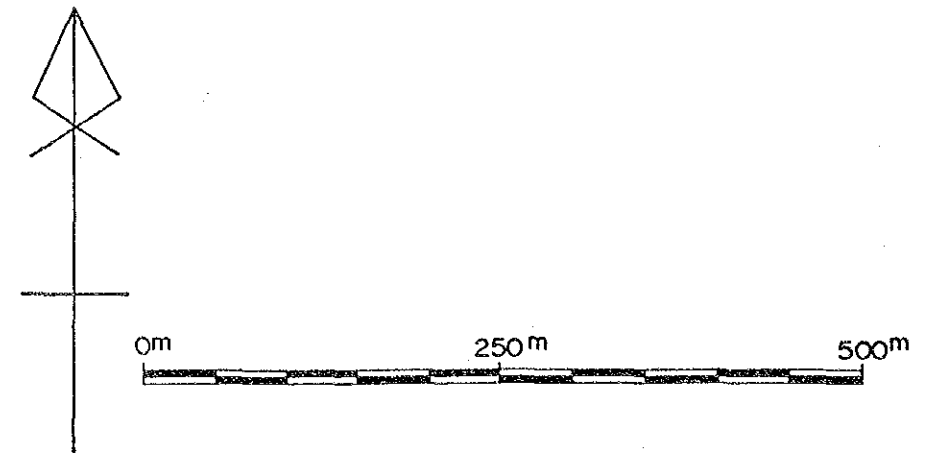
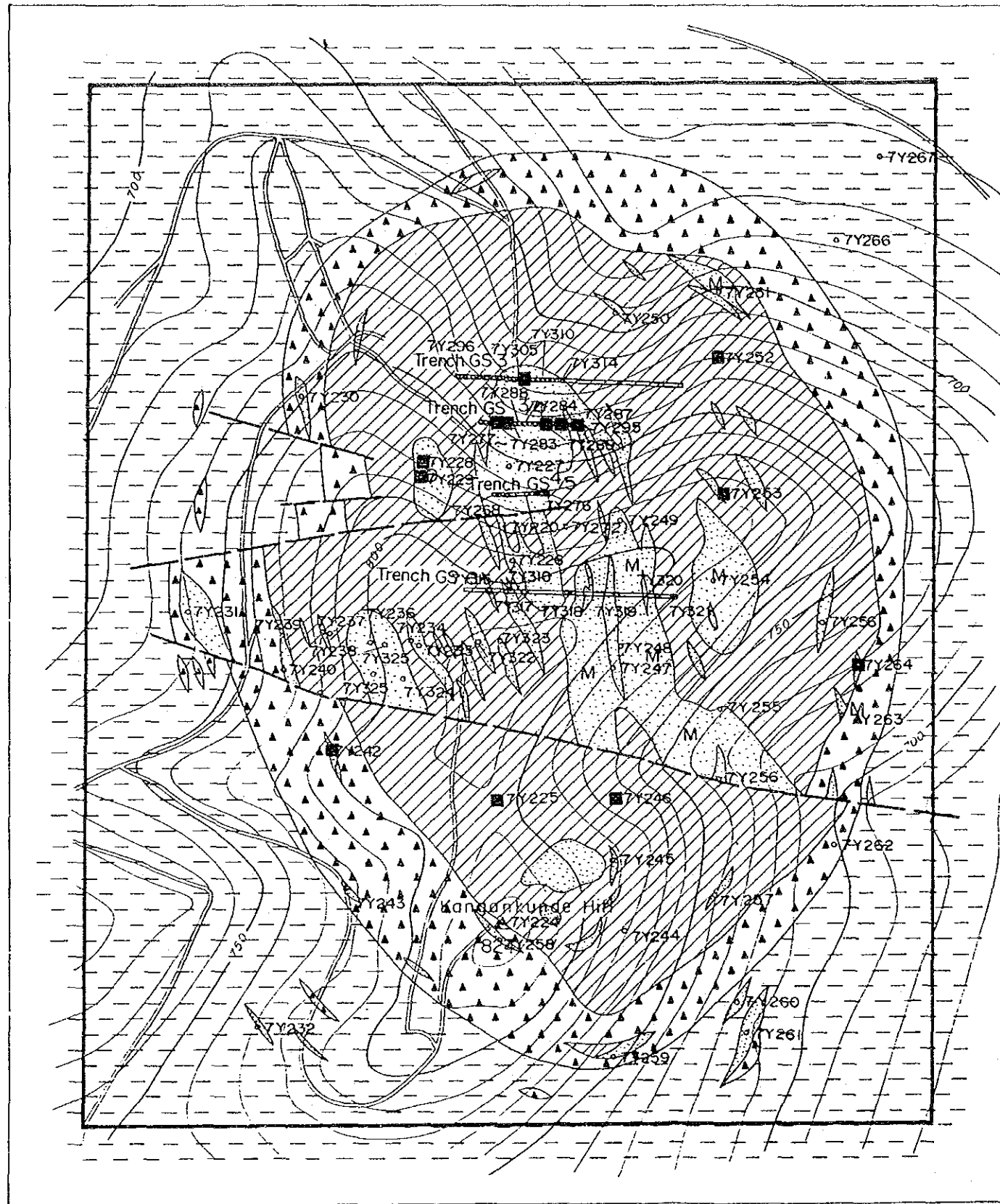
-  Drift
-  Carbonatite
-  Manganiferous carbonatite
-  Dolomitic carbonatite
-  Carbonatized feldspathic rock / agglomerate
-  Agglomerate / feldspathic rock
-  Fenitized syenite / gneiss
-  Fault
-  Trench (1987)
-  Profile line
-  7Y 001 Geochemical sample
-  7Y R1 Rock sample
-  Geochemical anomaly
-  REO > 31958ppm

Fig. 16-1 Distribution map of geochemical anomalies, Kangankunde (REO)



LEGEND

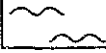
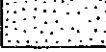
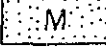
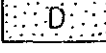
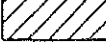
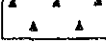
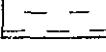

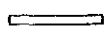
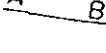
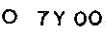
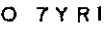


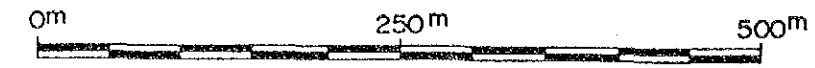
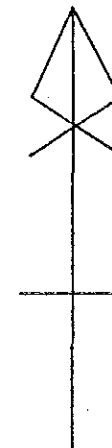
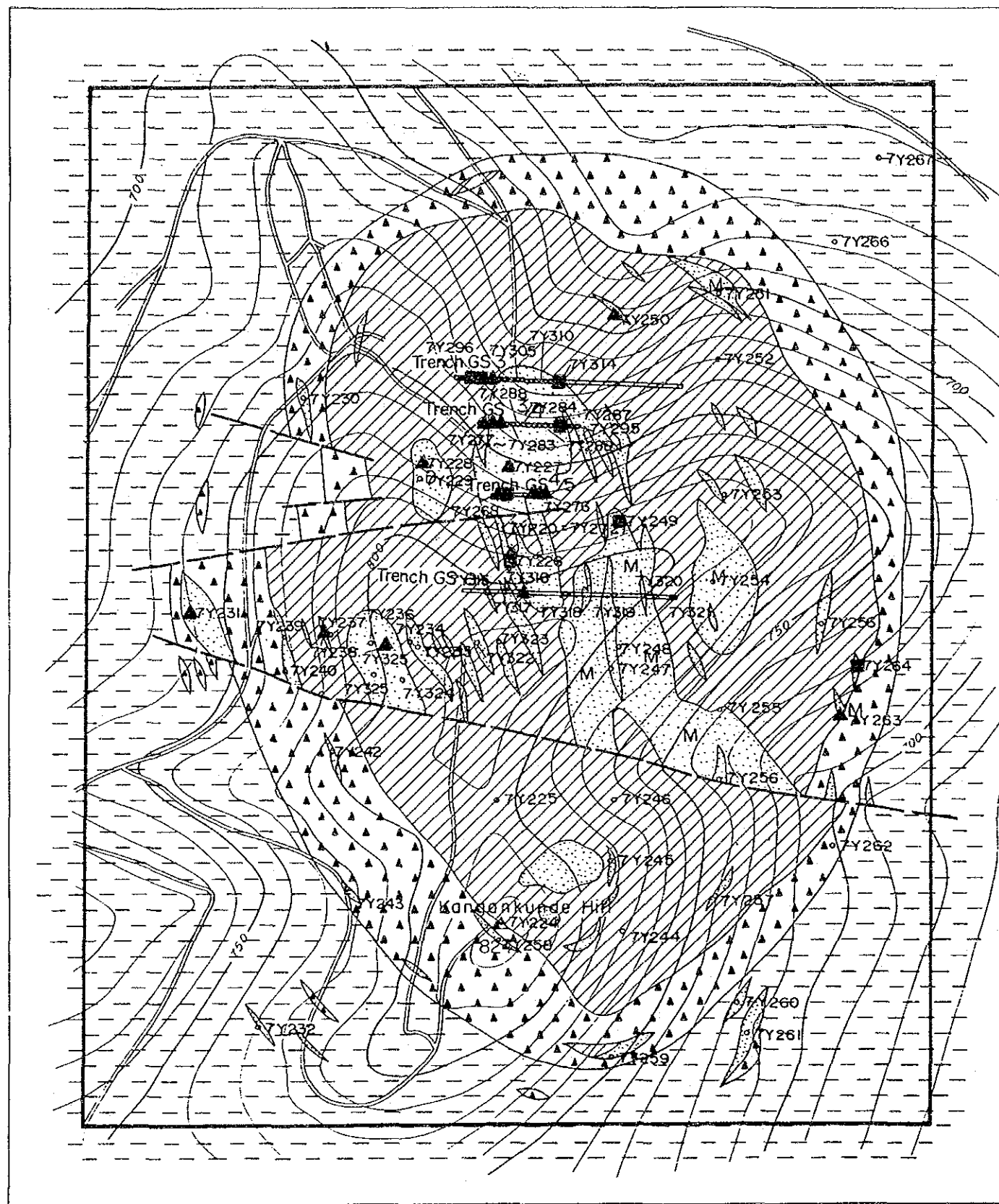
-  Drift
-  Carbonatite
-  Manganiferous carbonatite
-  Dolomitic carbonatite
-  Carbonatized feldspathic rock / agglomerate
-  Agglomerate / feldspathic rock
-  Fenitized syenite / gneiss
-  Fault
-  Trench (1987)
-  Profile line
-  7Y001 Geochemical sample
-  7Y01 Rock sample
-  Geochemical anomaly
-  P > 26058ppm

Fig.16-2 Distribution map of geochemical anomalies, Kangankunde (P)



LEGEND

- Drift
- Carbonatite
- Manganiferous carbonatite
- Dolomitic carbonatite
- Carbonatized feldspathic rock / agglomerate
- Agglomerate / feldspathic rock
- Fenitized syenite / gneiss
- Fault
- Trench (1987)
- Profile line
- 7Y 001 Geochemical sample
- 7Y R1 Rock sample
- Geochemical anomaly
 - Nb > 976 ppm
 - Sr > 97833 ppm

Fig. 16-3 Distribution map of geochemical anomalies, Kangankunde (Nb, Sr)

第VI部 Chilwa Island地区

第VI部 Chilwa Island地区

第1章 地質 (Fig. 17, 18, PL. 3)

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	“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) 角礫岩類 (集塊岩, 長石化角礫岩) ネフェリン閃長岩 岩脈類 (フォノライト, トラカイト, ネフェリナイト, ランプロファイア他)
先カンブリア後期 ～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からカンブリア紀前期の片麻岩類及び閃長岩類は、調査地区の外側部に分布し、フェン岩化作用を強く被っている。片麻岩類は灰色ないし灰緑色を呈し、主にカリ長石、斜長石、石英、単斜輝石、普通角閃石、黒雲母からなる。この他に、少量のアパタイト、チタン鉱物、磁鉄鉱が認められる。閃長岩類は、灰色粗粒カリ長石、細粒ないし中粒単斜輝石、斜長石、石英からなる。この他に、少量のアパタイト、黄鉄鉱、磁鉄鉱等が認められる。

“チルワーアルカリン岩石区”岩石は調査地区全域に認められ、外側から内側にむかい角礫岩類、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からなる環状構造が認められる。この環状構造の規模は膨縮はあるが直径略2 kmである。

ネフェリン閃長岩は調査地区北西部Michulu(ミチュル)丘, Chinyombi(チンヨムビ)丘付近に小岩体(径100m)が認められる。岩相は優白色ないし淡桃色を呈し中粒完晶質である。

角礫岩類は、カーボナタイト中に小岩体として認められるものとカーボナタイトと基盤岩の境界部に巾100mから700mの規模で認められるものがある。本岩類は大別すると長石化角礫岩と集塊岩の2種類が認められるが、本地区ではほとんど長石化角礫岩である。一般に、カーボナタイト中に認められるもの及びカーボナタイトに接する付近の外側のものは炭酸塩化変質作用を被っている。岩相は赤褐色あるいは暗褐色等を呈し、しばしば黒色マンガン鉱

物小脈が認められる。角礫の大きさは数cm大から数m大に達する。角礫間の充填物は炭酸塩鉱物であることが多い。

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、菱鉄鉱質カーボナタイトが環状構造を呈して分布する。

方解石質カーボナタイトはMbirikwi (ムビリクウィ) 丘, Michulu丘, Chinyombi丘, Northern summit, Southern summit, Mulinde (ムリンデ) 丘と連なる Chilwa Islandの山頂部に分布する。方解石質カーボナタイトは全体的には白色ないし灰色、中粒ないし粗粒方解石を主とするものであるが、Chinyombi丘付近のものは輝石類に富み灰色ないし暗灰色を呈する。その他アパタイト、螢石、黄鉄鉱等を含むものがある。X線粉末回折結果ではパイロクロア、アパタイト、シンチサイト、ストロンチアナイトが認められる。構造的には環状構造を示し、傾斜は外側に急傾斜する。

アンケライト質、菱鉄鉱質カーボナタイトは、方解石質カーボナタイトの内側に位置し、Chilwa Islandの中心部で直径略1kmの環状構造を呈して分布する。本岩体は外側にアンケライト質のものが卓越し内側に菱鉄鉱質カーボナタイトとアンケライト質カーボナタイトの混在する2層に区分される。

アンケライト質カーボナタイト部分の岩相は、灰色、褐色ないし暗褐色、黄褐色を呈し中ないし細粒であり、しばしば細粒黄鉄鉱染と螢石が認められる。構成鉱物は、アンケライト、方解石を主とし、X線粉末回折結果ではバストネサイト、カルキンサイト、ストロンチアナイト、シンチサイト、パイロクロア、ベタファイト、アパタイト等が同定される。岩脈類は、フォノライト、ランプロファイア等が認められる。フォノライトは、巾数mの規模であるが、ランプロファイアはJMT-23付近にて50m×100mの規模で認められる。

地質構造の特徴は“チルワーアルカリン岩石区”岩石の環状分布である。Garson et al (1958)は、応力パターン解析を行い、Chilwa Islandのカーボナタイト岩体の構造は、深さ1,700mの垂直軸上に700m毎に3つの活動中心を持つ火山構造を示すと推定した。

第2章 地化学探査

地化学探査試料は原則としてカーボナタイトを採取した。採取試料数は151件である。

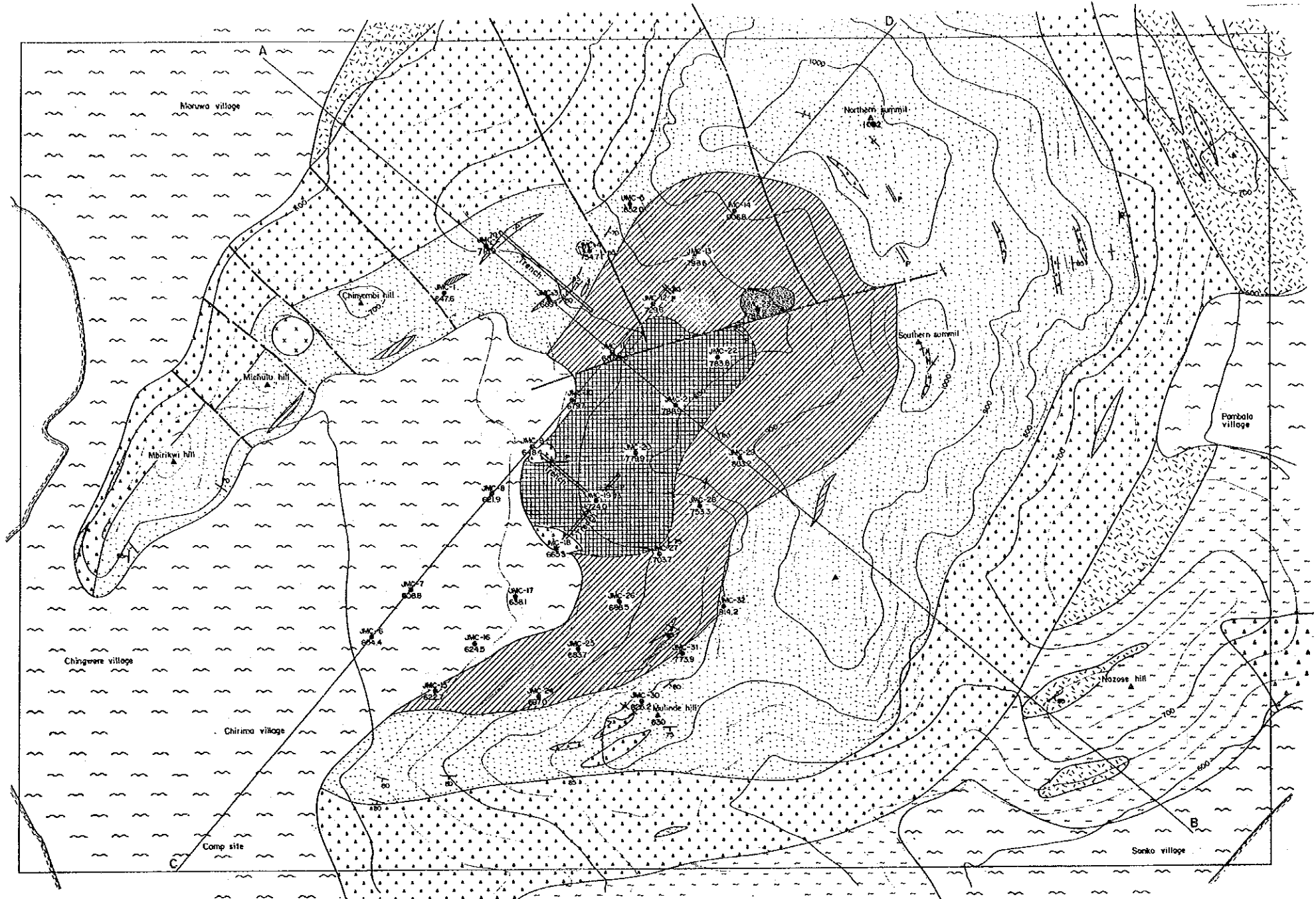
2-1 統計値

Chilwa Island地区の分析元素含有量、REOの統計値及び地殻中の存在度をTab. 13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倍程度以上の値を示す。このことは、これら元素がChilwa Island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。

COOPERATIVE MINERAL EXPLORATION
IN
THE CHILWA ALKALINE AREA,
REPUBLIC OF MALAWI
(PHASE II)

**GEOLOGICAL MAP AND PROFILES
OF CHILWA ISLAND SECTOR**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
METAL MINING AGENCY OF JAPAN
FEBRUARY 1989



- LEGEND**
- Drift
 - Dyke P: phonolite
 - Lamprophyre
 - Ankeritic sövite
 - Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
 - Sövite
 - Feldspathic breccia
 - Agglomerate
 - Nepheline syenite

- Basement Complex**
- Fenitized gneiss
 - Fenitized syenite
 - Fault
- Drilling site (1988)
— Trench
A—B Profile line

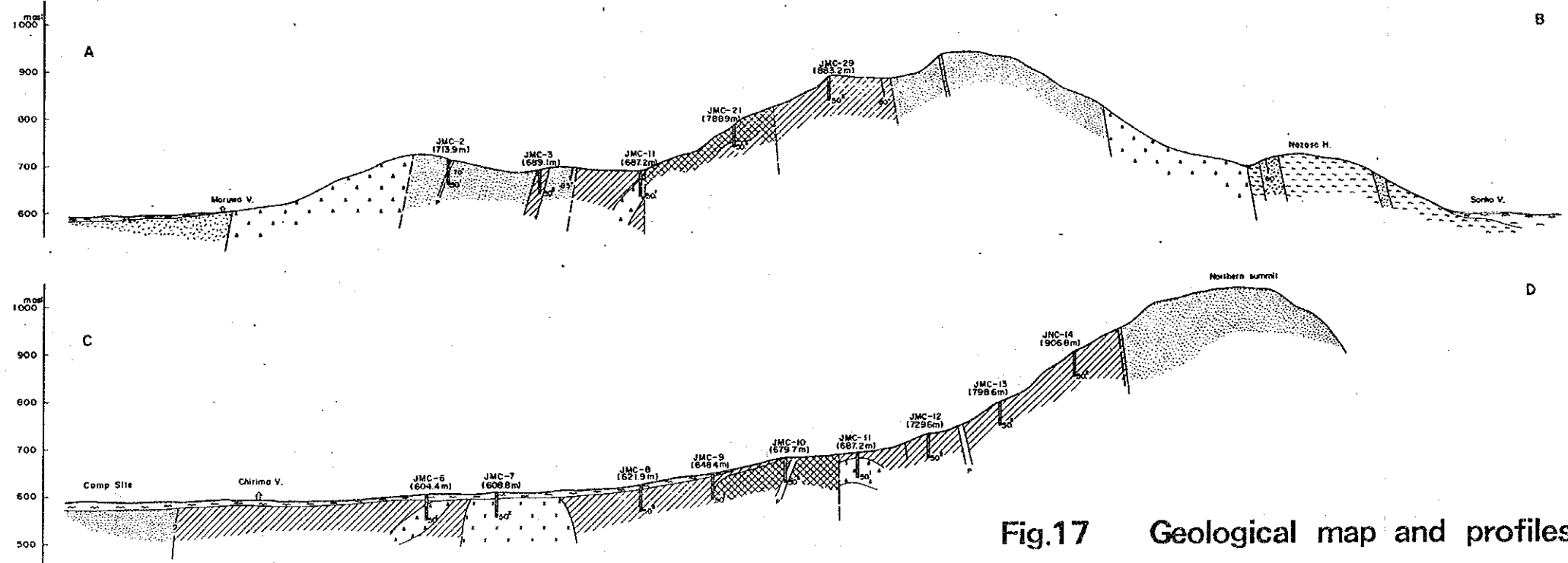
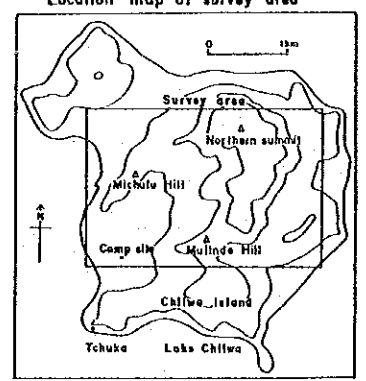


Fig.17 Geological map and profiles of Chilwa Island sector

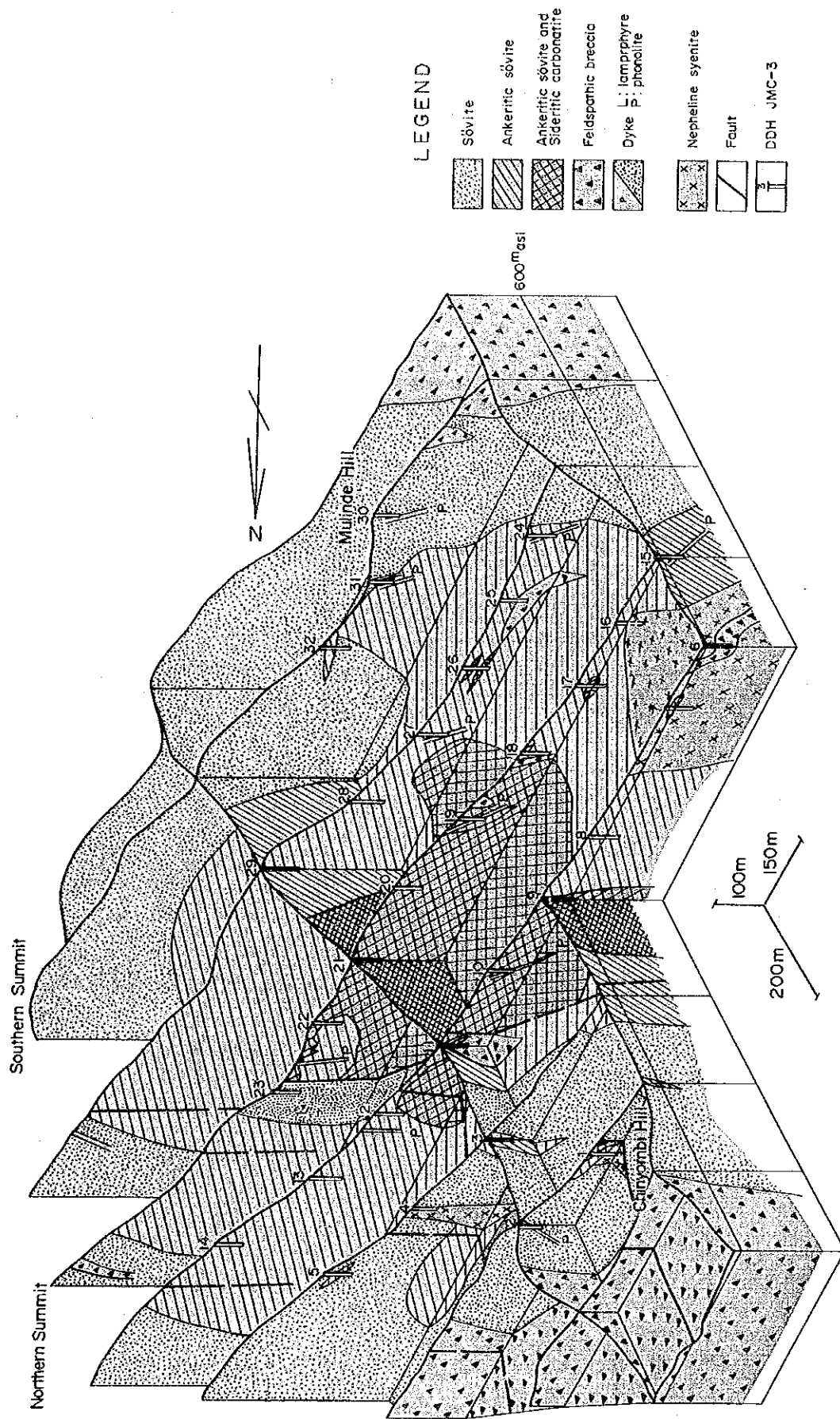


Fig. 18 Panel diagram of the Chilwa Island carbonatite complex

Tab.13 Statistical values of geochemical survey, Chilwa Island

(ppm)

Element	Rock Type	No. of Samples	Max.	Min.	Geometrical Mean (M)	M+1S	Abundance (Earth Crust)
La	Carbonatite	117	29505	63	1309	4033	25
	Others	34	6163	51	512	1871	25
Ce	Carbonatite	117	33400	95	2544	7543	81
	Others	34	14979	79	968	3942	81
Nd	Carbonatite	117	8031	16	845	2482	20
	Others	34	5426	14	313	1531	20
Sm	Carbonatite	117	1233	0.05	87.9	680	4
	Others	34	971.5	0.05	46.4	394	4
Eu	Carbonatite	117	292.5	1	31.0	80	0.8
	Others	34	170.1	0.05	10.9	81	0.8
Tb	Carbonatite	117	87.2	0.05	2.7	35	0.5
	Others	34	59.5	0.05	1.3	20	0.5
Nb	Carbonatite	117	9155	0.5	121	1207	20
	Others	34	2539	6	214	857	20
Sr	Carbonatite	117	15088	116	3181	7823	300
	Others	34	11782	64	1529	5223	300
Y	Carbonatite	117	947	24	173	360	38
	Others	34	818	20	110	294	38
P	Carbonatite	117	61403	34	2046	8723	900
	Others	34	164631	206	2672	9467	900
REO	Carbonatite	117	83009	249	6186	17863	
	Others	34	31762	251	2457	9531	

2-2 異常値分布

地化学探査異常値のしきい値はTab. 13に、異常値分布はFig. 19に示すとおりである。

本地区のレアアース及びSrはカーボナタイト岩体中の主としてアンケライト質カーボナタイト及びアンケライト質と菱鉄鈹質カーボナタイトの混在する部分に異常値が集中する。一方、Nbは方解石質カーボナタイト中に異常値が、Pは方解石質カーボナタイトとアンケライト質カーボナタイトの一部に異常値が集中する。

地化学探査異常値から本地区の資源としてのポテンシャルティーを考察すると、レアアースは調査地区中央部のアンケライト質カーボナタイトと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の混在部、Nb、Pはその外側の方解石質カーボナタイトが高いことを示すものである。

第3章 ボーリング調査結果及び考察 (Fig. 20, 21)

Chilwa IslandはGarson et al (1958), JICA & MMA J (1987)等により地質構造, カーボナタイトの特徴等が報告されている。これらの報告をまとめると,

- Chilwa Island中の 3.5km×2.6km の範囲がアルカリ岩とカーボナタイト岩体からなる。
- カーボナタイト岩体周辺の基盤岩はフェン岩化作用を被っている。
- カーボナタイト岩体は環状構造を呈し, 外側から内側へ角礫岩体→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の順に分布する。
- これらは外側から内側に向ってより新期のものと考えられる。
- アルカリ岩, カーボナタイト岩体の構造は, 深さ1,700mと垂直軸上に700m毎に3つの活動中心をもつ火山構造と考えられる。

本年度調査では, 地質調査, 地化学調査, ボーリング調査及び室内試験を行い, Chilwa Island地区カーボナタイト岩体の地質学的特徴, 地質構造及び生成機構の検討を行った。

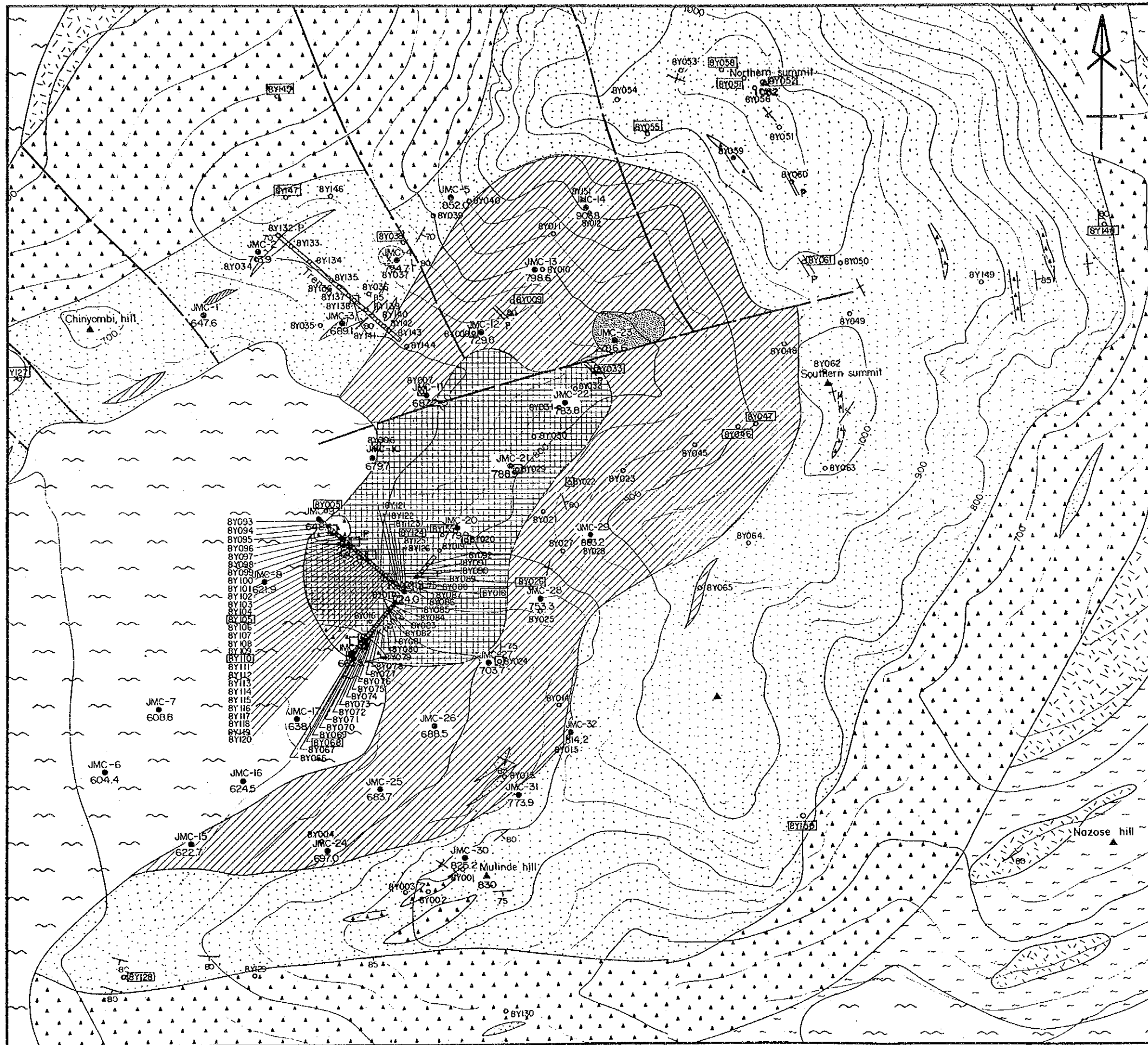
地質学的には, フィールドネームにて, 方解石質カーボナタイト, アンケライト質カーボナタイト, 菱鉄鉱質カーボナタイトと区分されていたものを, 薄片鑑定, X線粉末回折結果を基に, これら三者の比較を行った。比較結果をTab. 14に示す。

カーボナタイトは方解石質, アンケライト質とフィールドで観察されたものにも, ドロマイトが共生することが判明した。更に, 菱鉄鉱質カーボナタイトには磁鉄鉱, 針鉄鉱が多量に認められる。菱鉄鉱の一部は針鉄鉱に変化しているものと考えられる。

従来の調査ではカーボナタイト岩体中央部は菱鉄鉱質カーボナタイト, その周辺がアンケライト質カーボナタイトと区分されていたが, 本調査では, 従来の菱鉄鉱質カーボナタイト中にもアンケライト質カーボナタイトが混在 (JMC-19, 20, 21等) することから両者の区分が明確でなくなった。そこで本調査では両者の区分は, アンケライト質カーボナタイト中の菱鉄鉱質カーボナタイトの含有比 (見かけ) により, アンケライト質カーボナタイト中でしばしば菱鉄鉱質カーボナタイトが認められる部分を両者の混在部として区分した。

地質構造は前述のとおり環状構造を呈しているが, カーボナタイト岩体の傾斜は環状構造の外側に向い急傾斜するが各岩体内部では不規則な傾斜を示す。

鉱物とレアアース等の元素の関係を調べる目的でEPMAによる成分の含有状況の検討を行った。検討に供せられた鉱物はアパタイト, パイロクロアである。この結果, アパタイトは, La 7.12 %, Ce 13.7 %, Th 1.21 %, パイロクロアはNb 33.1 %~47.4 %, Ce 1.33 %~2.76 %を含有することが判明した。さらに, カーボナタイト岩体の生成機構を解明する目的で, 炭素と酸素の同位体分析を行った。この結果, 方解石, アンケライト,



LEGEND

- Drift
- Dyke P: phonolite
- Lamprophyre
- Ankeritic sövite
- Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
- Sövite
- Feldspathic breccia
- Agglomerate
- Nepheline syenite
- Basement Complex
- Fertilized gneiss
- Fertilized syenite
- Fault
- Drilling site (1988)
- Geochemical anomaly REO > 17863 ppm
- Geochemical and rock sampling point
- 8Y001' Geochemical sample No.
- [8Y001] Rock sample No.

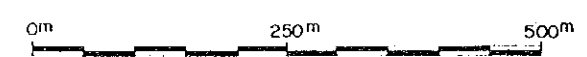
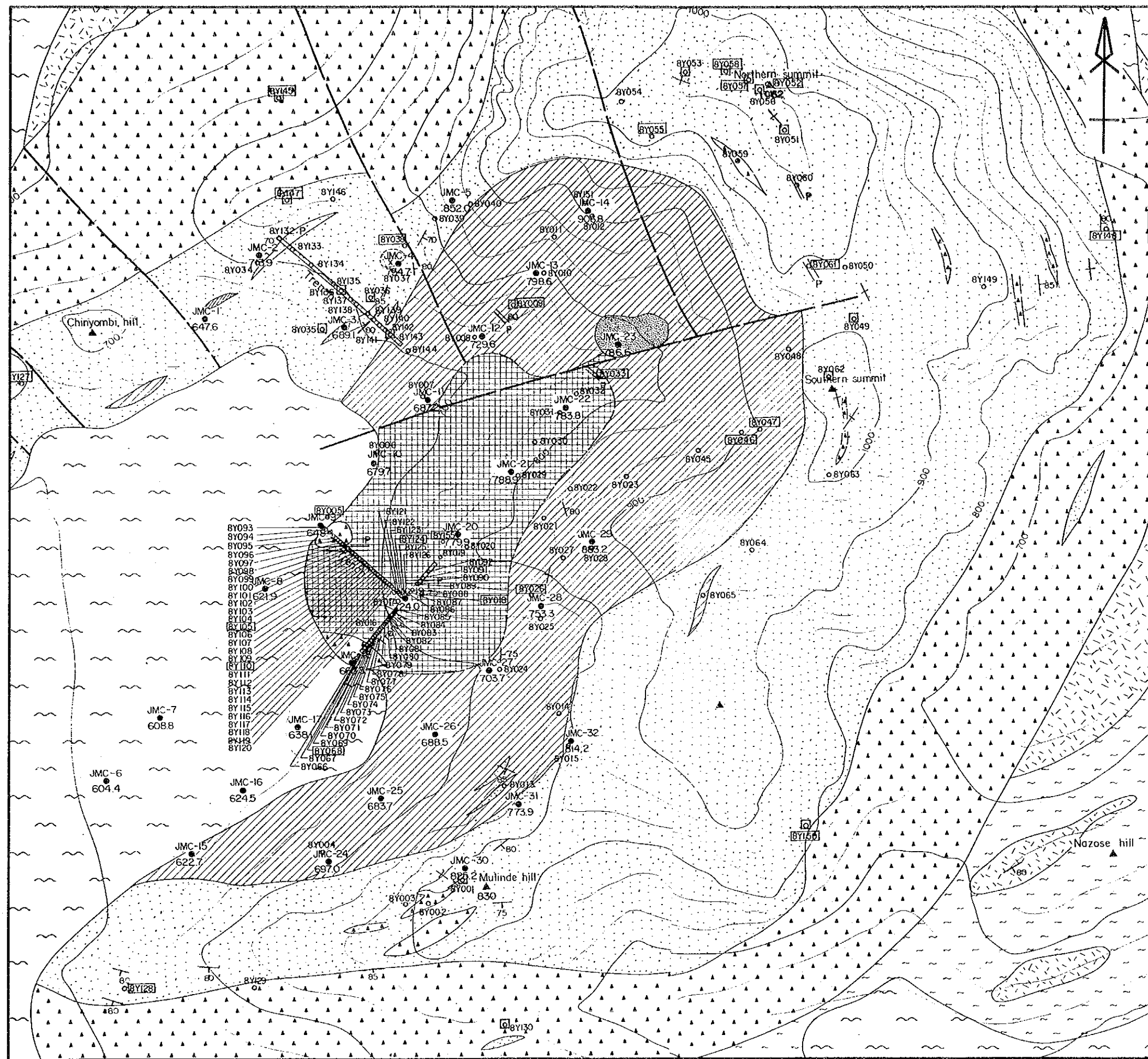


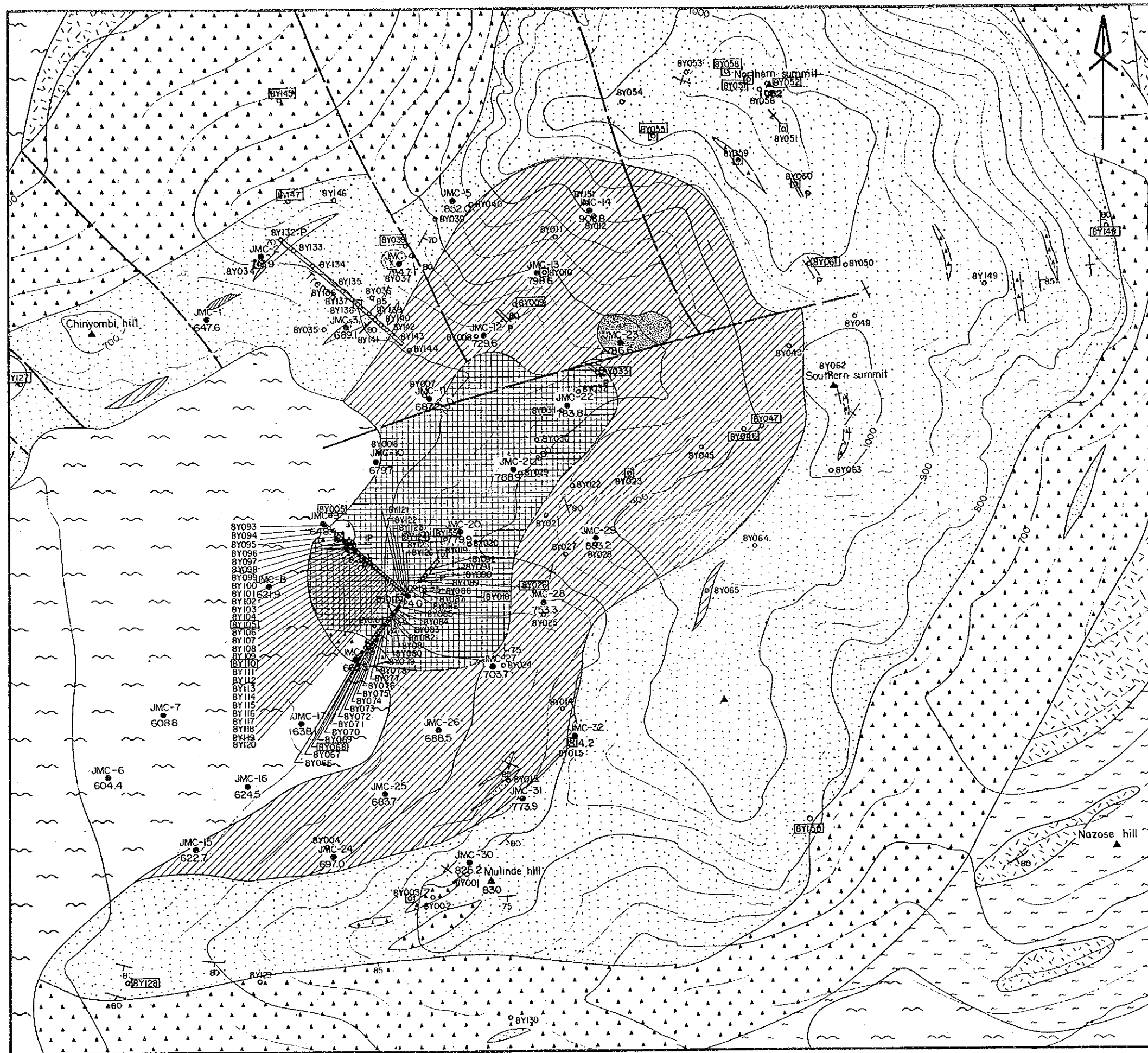
Fig. 19-1 Distribution of geochemical anomalies, Chilwa Island (REO)



LEGEND

	Drift
	Dyke P: phonolite
	Lamprophyre
	Ankeritic sövite
	Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
	Sövite
	Feldspathic breccia
	Agglomerate
	Nepheline syenite
Chilwa Alkaline Complex	
	Fenitized gneiss
	Fenitized syenite
Basement Complex	
	Fault
	Drilling site (1988)
Geochemical anomaly	
	Np > 1207 ppm
	Geochemical and rock sampling point
BY001	Geochemical sample No.
[BY001]	Rock sample No.

Fig. 19-2 Distribution of geochemical anomalies, Chilwa Island (Nb)



LEGEND

	Drift
	Dyke P: phonolite
	Lamprophyre
	Ankeritic sövite
	Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
	Sövite
	Feldspathic breccia
	Agglomerate
	Nepheline syenite
Chilwa Alkaline Complex	
	Fenitized gneiss
	Fenitized syenite
Basement Complex	
	Fault
	Drilling site (1988)
Geochemical anomaly	
	Sr > 7823 ppm
	Geochemical and rock sampling point
	Geochemical sample No.
	Rock sample No.

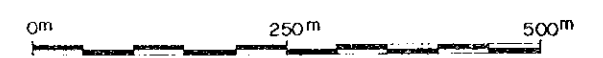
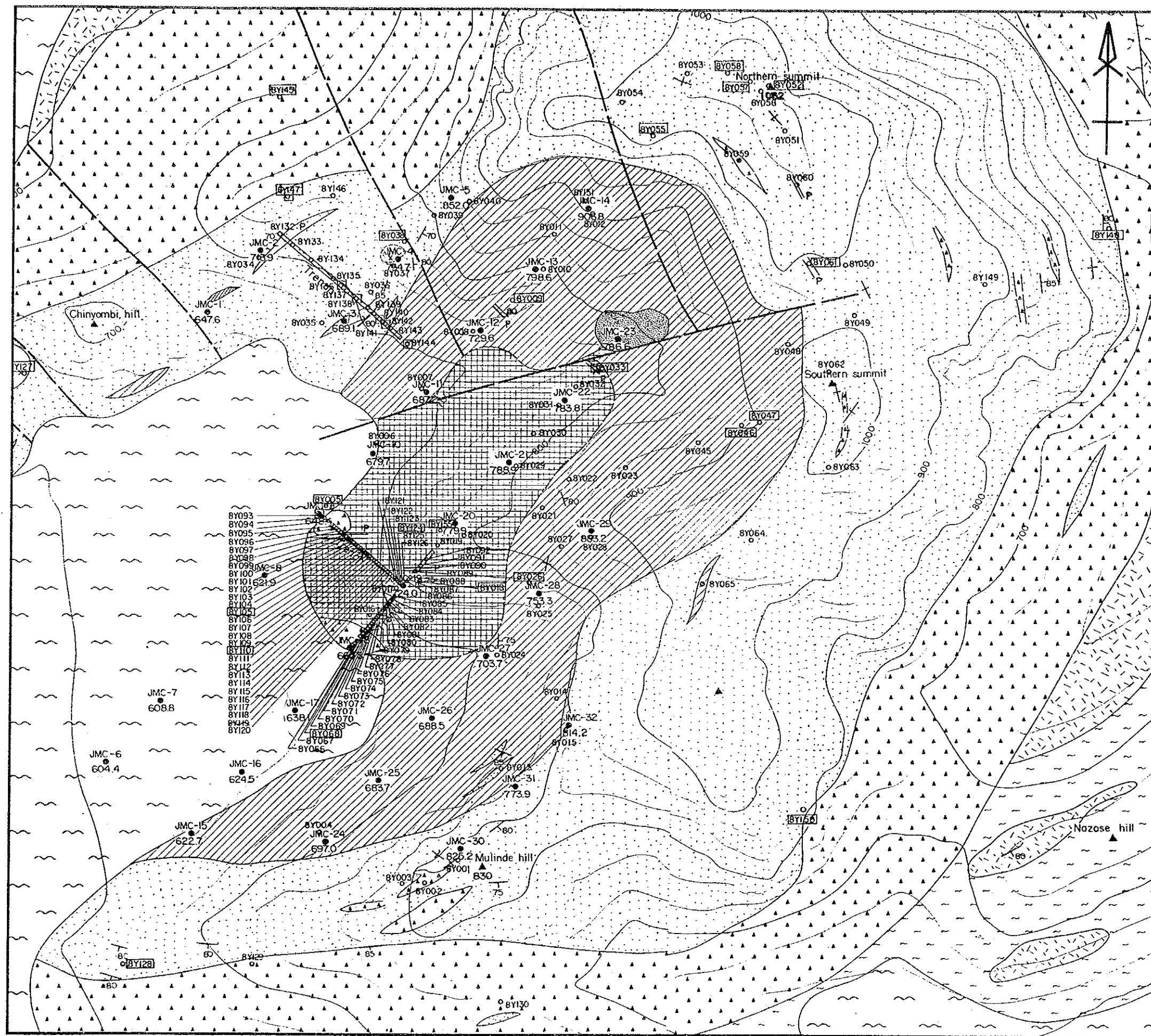


Fig.19-3 Distribution of geochemical anomalies, Chilwa Island (Sr)



LEGEND

- Drift
- Dyke P: phonolite
- Lamprophyre
- Ankeritic sövite
- Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
- Sövite
- Feldspathic breccia
- Agglomerate
- Nepheline syenite
- Fenitized gneiss
- Fenitized syenite
- Fault
- Drilling site (1988)
- Geochemical anomaly P > 8723 ppm
- Geochemical and rock sampling point
- Geochemical sample No.
- Rock sample No.

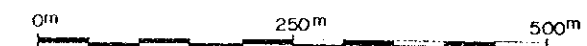


Fig.19-4 Distribution of geochemical anomalies, Chilwa Island (P)

Tab.14 Observation of the Chilwa Island carbonatites

Sample No.	Field		Thin section		X-ray diffractometer
	Name	Description	Name	Description	
C3003	sövite	medium-grained white to brown calcite	sövite	calcite (0.05-0.7mm) with amount of barite, quartz and pyrite, mosaic texture	calcite>>dolomite = quartz = barite
C1304	ankeritic sövite	fine-grained reddish brown carbonate	ankeritic sövite	carbonate (-0.15mm), porphyritic texture	ankerite > dolomite
C2208	ankeritic sövite	fine-grained white and reddish brown carbonate	ankeritic sövite	carbonate (0.2-1.0mm), porphyritic texture	ankerite = siderite>>quartz = pyrite
C2810	ankeritic sövite	pyrite bearing fine-grained white carbonate	ankeritic sövite	carbonate (0.1-1.25mm) with K-feldspar, quartz, pyrite, fluorite and barite, mosaic texture	ankerite>>siderite > quartz > barite
C2904	ankeritic sövite	fine-grained gray carbonate	ankeritic sövite	carbonate (0.1-0.7mm) with quartz pyrite, magnetite, and goethite	ankerite>>K-feldspar > quartz
C2106	sideritic carbo-natite	black to dark brown coarse-grained carbonate	altered carbo-natite	euhedral to subhedral magnetite and goethite (1.5 - 7mm) with quartz, carbonate and K-feldspar	calcite = goethite >calcinsite = Synchysite = K-feldspar
C2408	ankeritic sövite	fluorite bearing medium-grained carbonate	sideritic carbo-natite	euhedral to subhedral siderite (0.2-1.75mm) with quartz, barite and fluorite	siderite > fluorite > quartz >kutnaborite = barite

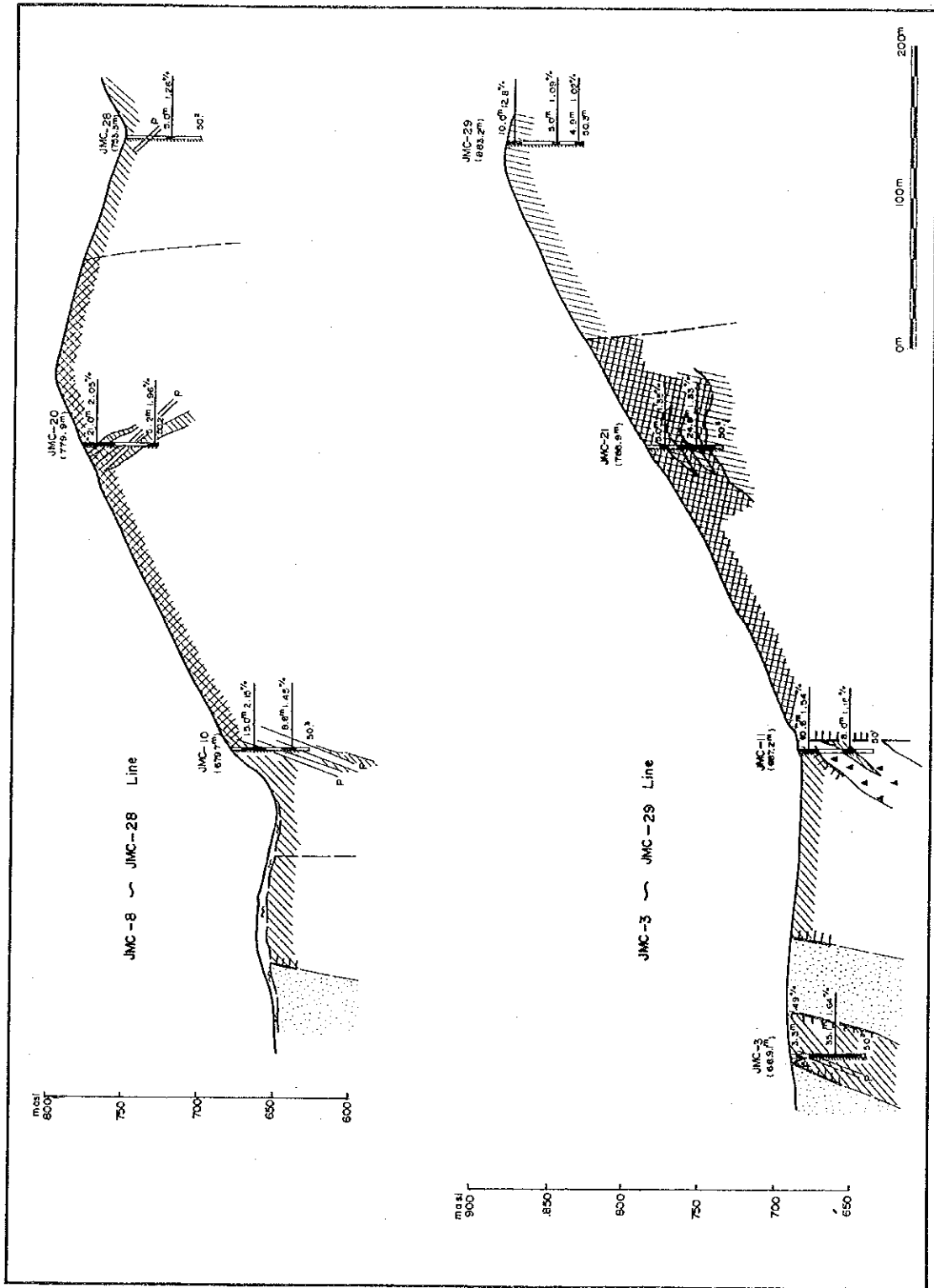
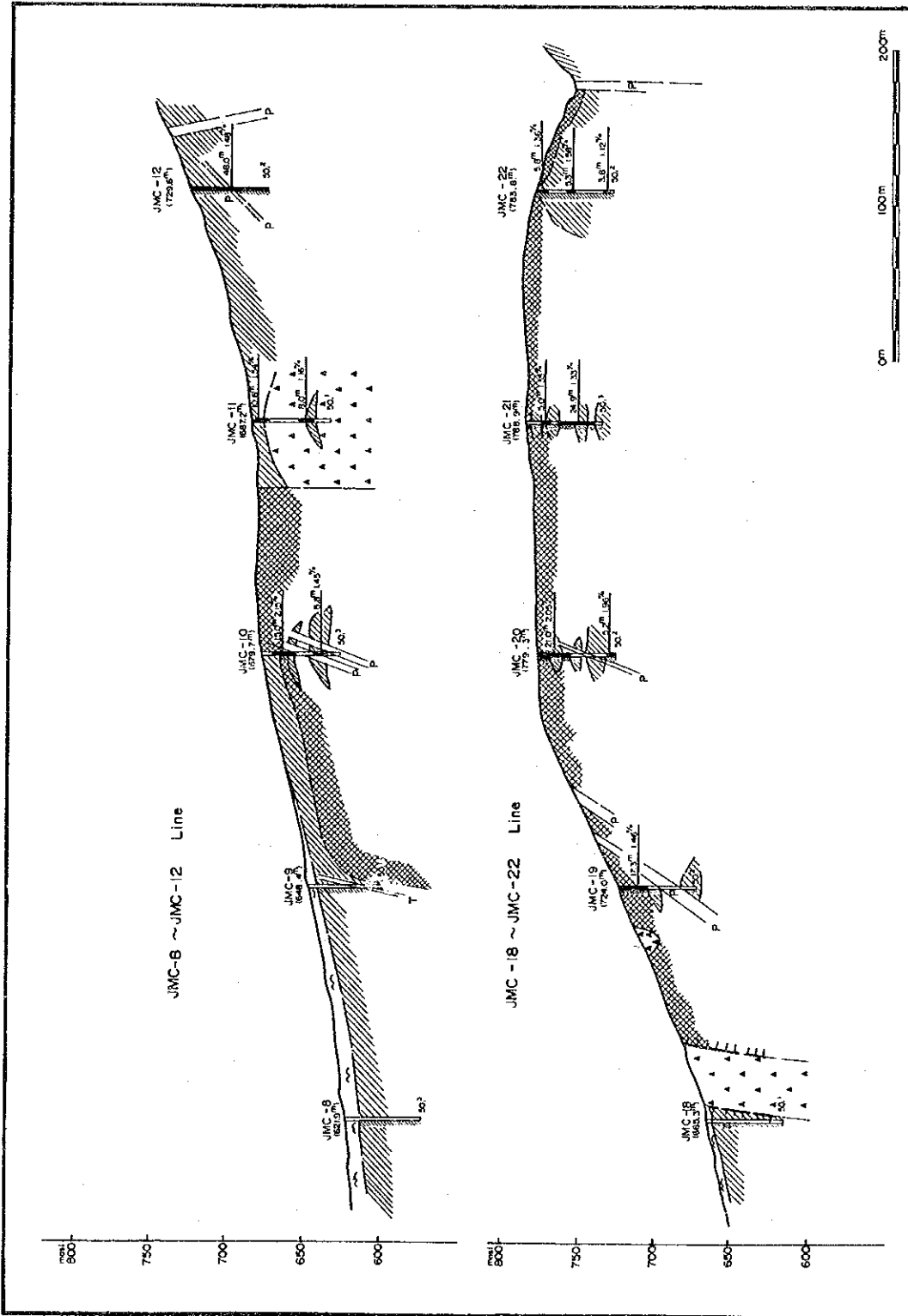


Fig.20 - 1 Geological section of drill holes, Chitwa Island



LEGEND

- Drift
- Dyke P : phonolite
- Lamprophyre
- Ankeritic sövite
- Ankeritic sövite and Sideritic carbonatite mixed zone
- Sövite
- Feldspathic breccia
- Agglomerate
- Nepheline syenite
- Fenitized gneiss
- Fenitized syenite
- Fault
- Drilling site (1988)
- Expected mineralized zone (REO > 1%)
- Thickness m REO %
50.1 (La, Ce, Nd, Sm)
(Eu, Tb, Y)
(Depth m)

Fig.20 - 2 Geological section of drill holes, Chilwa Island

ドロマイトからなる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 $\delta^{13}\text{C} = -4.5\text{‰}$ から -2.4‰ 、 $\delta^{18}\text{O} = +8.2\text{‰}$ から 12.1‰ の値を示し、Nathace丘のアパタイト岩、カーボナタイトに比較すると炭素と酸素の両者ともにやや多量であるが、これらはいずれも火成岩起源を示唆しているものと考えられる。一方フィールドにて菱鉄鉱質カーボナタイトと鑑定した試料はX線粉末回折結果、炭酸塩鉱物は認められなかったが $\delta^{13}\text{C} = -6.6\text{‰}$ から -6.7‰ 、 $\delta^{18}\text{O} = +18.3\text{‰}$ から 20.3‰ の値を示す。これらは炭酸塩鉱物と針鉄鉱が菱鉄鉱を置換したと思われる。更に炭酸塩鉱物は非晶質の可能性もある。この変質作用には大気中の酸素と天水の酸素の影響があったことを示唆している（総合検討参照）。

本年度の地質調査、地化学探査及びボーリング調査結果を総合し、レアアース鉱床としては調査地区中央部の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の混在する部分、Nb鉱床としては Northern summitとJMC-3付近の方解石質カーボナタイト中がポテンシャルティが高いと考えられる。

第Ⅵ部 総合検討

第Ⅶ部 総合検討

昭和61年度から実施されたチルワーアルカリン地域の調査において採取された試料を基に、本地域に分布するカーボナタイト岩体の形成深度、同位体組成比、化学組成比及びレアアース含有量の検討を行った。

第1章 カーボナタイト岩体の形成深度の検討

カーボナタイト岩体の産状のちがいは、基本的には火成岩の固結した深さ、すなわちマグマ固結当時の深度によってあらわれると考えられている (GSJ & DNPM, 1987)。そこで産状の違いを、地質学的に推定された深度に換算して表すことが可能であろう (Garson, 1965, 1966) といわれている。

本調査では、Tundulu, Songwe, Kangankunde, Chilwa Island各地区のカーボナタイト岩体を対象として、岩体の垂直方向の模式断面を想像し、それぞれの地区が相対的にいかなる深度になるものか推定した。

チルワーアルカリン地域のカーボナタイト岩体の共通的特徴は、一般に以下のものがある。

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

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

Songwe, Tundulu, Kangankunde, Chilwa Island地区ではKangankundeカーボナタイト岩体が、角礫岩のカーボナタイト化、玉子状環状構造等を示すことから考えて他の3者より深度が深いのではないかと推定される (Fig. 21)。

第2章 同位体組成比の検討

チルワーアルカリン地域に産するカーボナタイト、アパタイト岩の生成機構を検討する目的で炭素及び酸素の同位体比の分析を行った。

分析は鉱物中の炭酸塩を磷酸で分解し、得られた二酸化炭素について質量分析を行う方法（磷酸分解法）を用いた。

分析方法は試料（-200メッシュ、30~40mg）と100%磷酸を温度25℃に保った真空容器中にて1~7日間反応させた。反応によって生じた二酸化炭素を捕集し、エチレンアルコールを寒剤として用いて、混入する水蒸気を除いたのち、質量分析計（Finnigan MAT Delta-E）により $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ を求めた（本分析は三菱金属株式会社 中央研究所で行った）。

標準試料としてはCK-13（アラゴナイト： $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = +0.54\%$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -1.75\%$ ）を用いた。 $\delta^{18}\text{O}$ については、磷酸による分解時の鉱物種による同位体分別係数の差を補正した。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ の関係式は次式のとおりである。

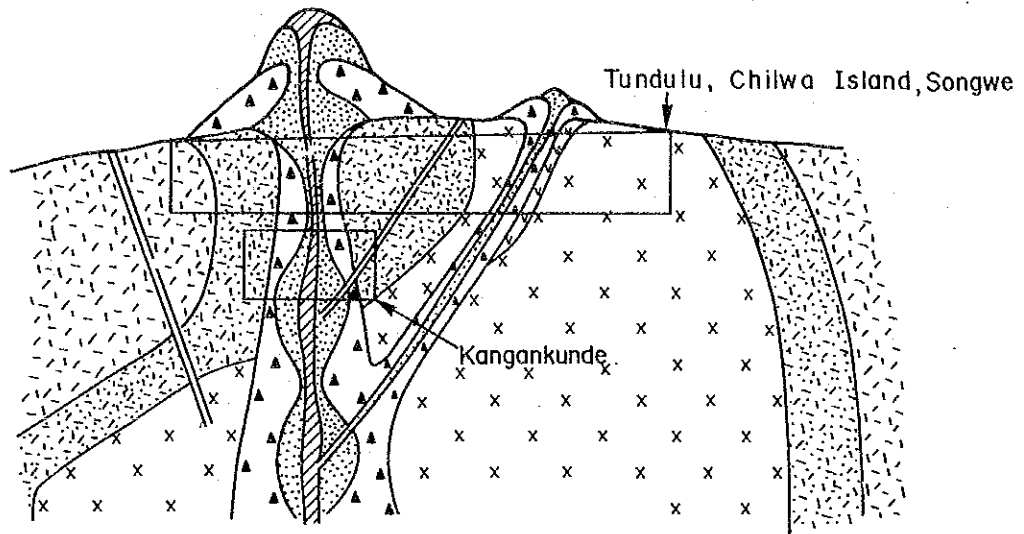
$$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 1.03086 \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.86 \text{ ‰}$$

同位体比分析値はTab. 15のとおりである。

Tab.15 Isotopic composition of the carbonatites

No	Sample No	Sector	Rock name	Mineral	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
1	8Y009	Chilwa Is	ankeritic sövite	ankerite	-4.5	-22.0	+ 8.2
2	8Y026	"	"	dolomite > calcite	-2.4	-20.1	+10.1
3	8Y038	"	sövite	calcite > dolomite	-3.8	-19.7	+10.6
4	8Y058	"	"	calcite > ankerite	-3.2	-18.2	+12.1
5	8Y068	"	sideritic carbonatite	fluorite > Fe	-6.6	-10.2	+20.3
6	8Y124	"	"	fluorite > Fe	-6.7	-12.2	+18.3
7	8Y153	Tundulu	apatite rock	apatite > quartz > calcite	-6.2	-24.7	+ 5.4
8	8Y154	"	"	"	-7.4	-21.5	+ 8.7
9	JMT-7	"	sideritic carbonatite	kutnahorite > calcite	-2.3	- 9.9	+20.7
10	JMT-22	"	ankeritic sövite	ankerite > siderite	-5.4	-23.3	+ 6.8
11	JMT-26	"	sideritic carbonatite	kutnahorite > calcite	-5.0	- 8.6	+22.0

炭酸及び酸素の同位体比の地球化学的分布をFig. 22に示す。チルワーアルカリ地域カーボナタイト中の $\delta^{13}\text{C}$ は-7.4‰から-2.3‰、 $\delta^{18}\text{O}$ は+5.4‰から+12.1‰と+18.3‰から



LEGEND

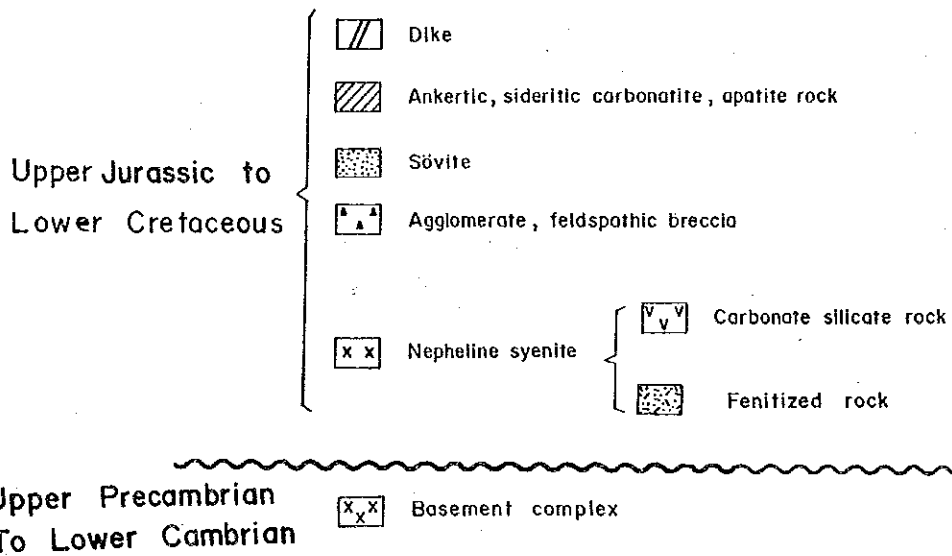


Fig.21 Schematic diagram of the carbonatite complex in the Chilwa Alkaline area

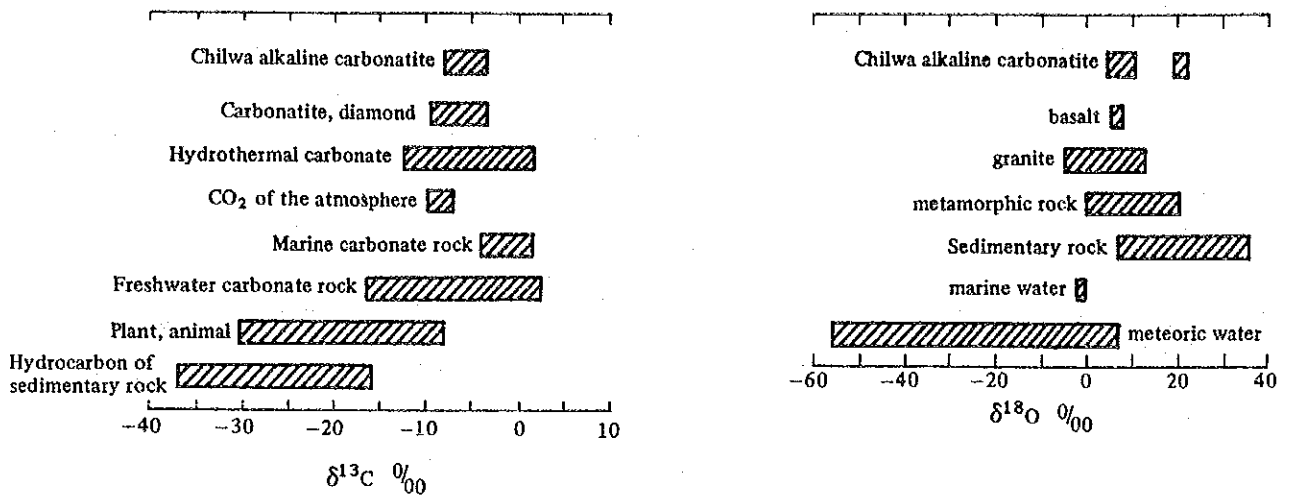


Fig.22 The carbon and oxygen isotopic ratios of the materials

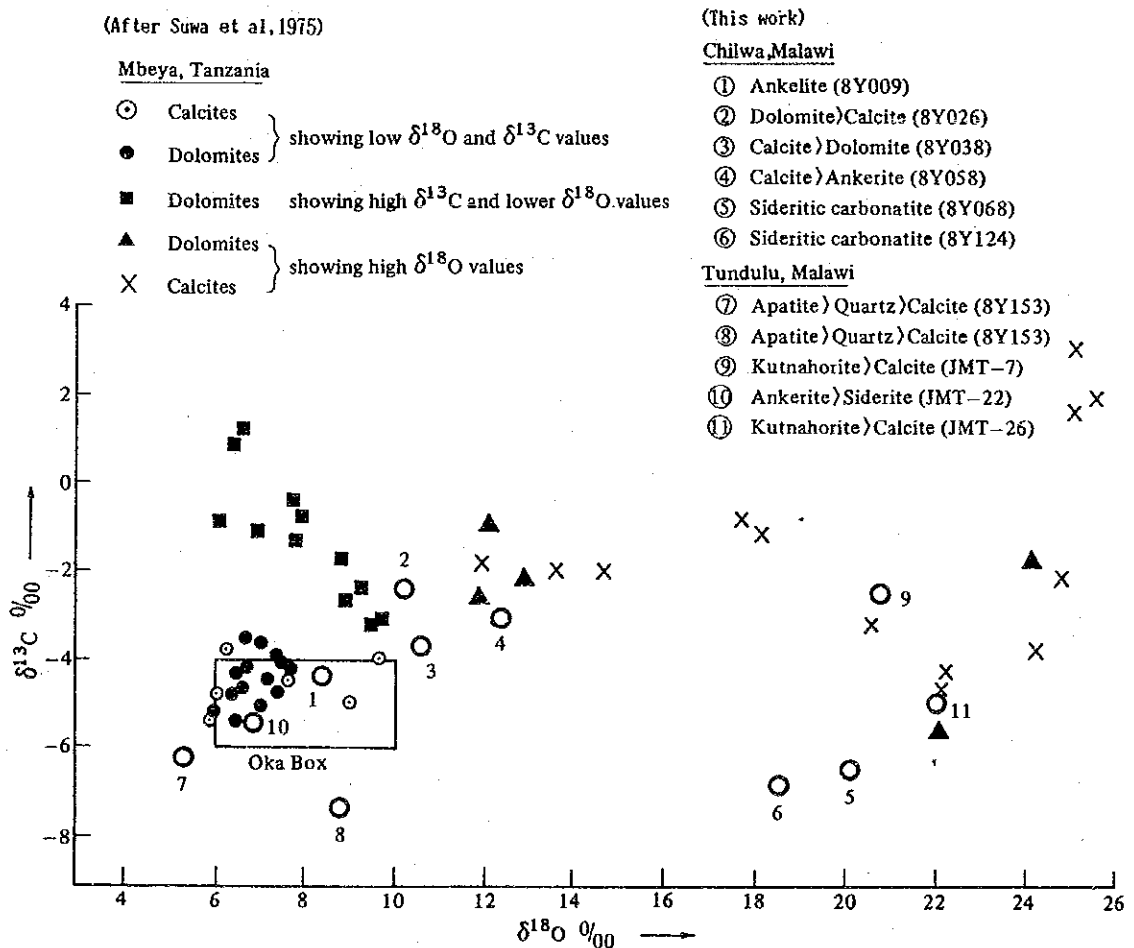


Fig.23 The oxygen and carbon isotopic ratios of carbonatites in Chilwa alkaline area carbonatite, southern Malawi and Mbeya carbonatite, southern Tanzania

+22.0‰の2領域に分布する。 $\delta^{13}\text{C}$ は一般的なカーボナタイト、ダイヤモンドの領域と著しく類似する。一方、 $\delta^{18}\text{O}$ の+5.4‰から+12.1‰の領域のものは玄武岩、花崗岩等の火成岩の領域にある。+18.3‰から+22.0‰のものは本図では堆積岩の領域であるが、 $\delta^{18}\text{O}$ の高い値は低温熱水液の影響によるものと推定される(GSJ & DNPM, 1987)。

$\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の相関関係をFig. 23に示す。本図はカナダのOkla(オカ)カーボナタイト(Deines, 1970)中の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の分布域をOkla Boxと表示し、更にタンザニアのMbeya(ムベヤ)カーボナタイトの同位体比(Suwa et al, 1969)を載せてある。本図からチルワールカリ地域フィールドにおいてアパタイト岩、方解石質、アンケライト質カーボナタイトと区分されたカーボナタイトはOkla box中に入るもの2試料、近似するもの5試料である。これらは一般に“火成岩起源の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ は値が低い”と推定されていることから、マグマ起源のものと考えられる。残りの4試料は、フィールドで菱鉄鉱質カーボナタイトと同定されたものであり、 $\delta^{18}\text{O}$ が高く、 $\delta^{13}\text{C}$ は特に高くない。これら4試料に含まれる酸化鉄量は全岩分析の結果13.55%から47.38%の値を示す。一般に $\delta^{18}\text{O}$ が高く $\delta^{13}\text{C}$ が低い値を示すものは“金属酸化物中に $\delta^{18}\text{O}$ が濃集する”といわれており、濃集したものと考えられる。この $\delta^{18}\text{O}$ の濃集は大気中の酸素と天水の酸素の相互作用により生じたものと推定される(Suwa et al, 1969)。

第3章 カーボナタイト全岩分析結果検討

カーボナタイトの成分組成を検討する目的で、フィールド観察による区分中、方解石質カーボナタイト10試料、アンケライト質カーボナタイト6試料、菱鉄鉱質カーボナタイト7試料、アパタイト岩2試料の全岩分析を実施した(Tab. 16)。分析結果から、モル比による MgO 、 CaO 、 T-FeO 及び MgO 、 CaO 、 SiO_2 三角ダイアグラムを作成した(Fig. 24)。本図から、方解石質カーボナタイトはフィールド観察結果の10試料とアンケライト質カーボナタイトのうち1試料(8Y005)が、その領域に入る。菱鉄鉱質カーボナタイトのうち2試料(JMT-7, JMT-26)はアンケライト質カーボナタイトの領域に入る。1試料(8Y030)はアンケライト質、菱鉄鉱質カーボナタイトの混合物、1試料(8Y110)は方解石質、菱鉄鉱質カーボナタイトの混合物と考えられる。

第4章 レアアース含有量の検討

カーボナタイト中のレアアースの含有量はLa、Ceに富む特徴があると言われている。これらはLa、Ceを含む鉱物であるバストネサイト、シンチサイト、パリサイト等がカーボナタイト中に存在することに起因している。更に、Nd、Sm、Eu、Tbについても本

調査にて分析を実施しこれら元素の存在が確認されている。本項では、分析されたLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tbについて、レアアース存在度パターンの検討を行った。更にパイロクロア、バストネサイト、ルチル、アパタイト等の微量成分分析を行い、本地域のレアアースがいかなる鉱物中に含有されているのか検討を行った。

各地区の代表試料によるレアアース存在度パターン図をFig. 25に示す。これによると、Songwe地区において中希土類含有量が、Tundulu, Kangankunde, Chilwa Island 地区及びMountain Pass 鉱山に比べ高い値を示す。Bayan Obo鉱山のパターンと比較すると、Songwe地区のEu, Tbが高い値を示す特徴がある。

EPMAによる分析結果では、Songwe, Tundulu地区のバストネサイト中にThが0.01%~0.19%重量比含有される。Chilwa Island地区のアパタイト中にもThが1.21%重量比含有されていることが判明した (Tab. 17)。

Songwe地区, Tundulu地区の地表部から深度50mまでの鉱量、品位の試算結果と、世界の主要カーボナタイト鉱床の鉱量、品位の比較検討を行った。比較検討結果をTab. 18に示す。

Tab.18 REO & P₂O₅ resources related carbonatite/alkaline complex

Name of complex	Type of carbonatite	REO			P ₂ O ₅		
		(Mil.t) Reserves	(%) Ore grade	(Th.t) Metal	(Mil.t) Reserves	(%) Ore grade	(Th.t) P ₂ O ₅
Songwe, (Malawi) (This work)	sövite, ankeritic	1.4	1.7	23.8			
Tundulu, (Malawi) (This work)	ankeritic, sideritic, apatite	0.6	2.1	12.6	0.5	17.0	85.0
Araxa, (Brazil)	beforsite, sövite				460	15.01	69,046
Tapira (Brazil)	sövite				921	8.32	76,627
Catalao (Brazil)	beforsite,	2	12.20	244	306	7.96	24,358
Jacupiranga (Brazil)	sövite, beforsite				89	6.15	5,474
Ipanema (Brazil)	Sövite				117	6.73	7,874
Oka (Canada)	sövite	122	0.2	244			
Sukulu (Uganda)	carbonatite				200	13.0	26,000
Sillinjärvi (Finland)	sövite				465	4.0	18,600
Mountain Pass (USA)	(USA)	100	5-10				
Bayan Obo (China)	(China)	(REO) 35	1.9-13.5				

(after GSJ and DNPM, 1987)

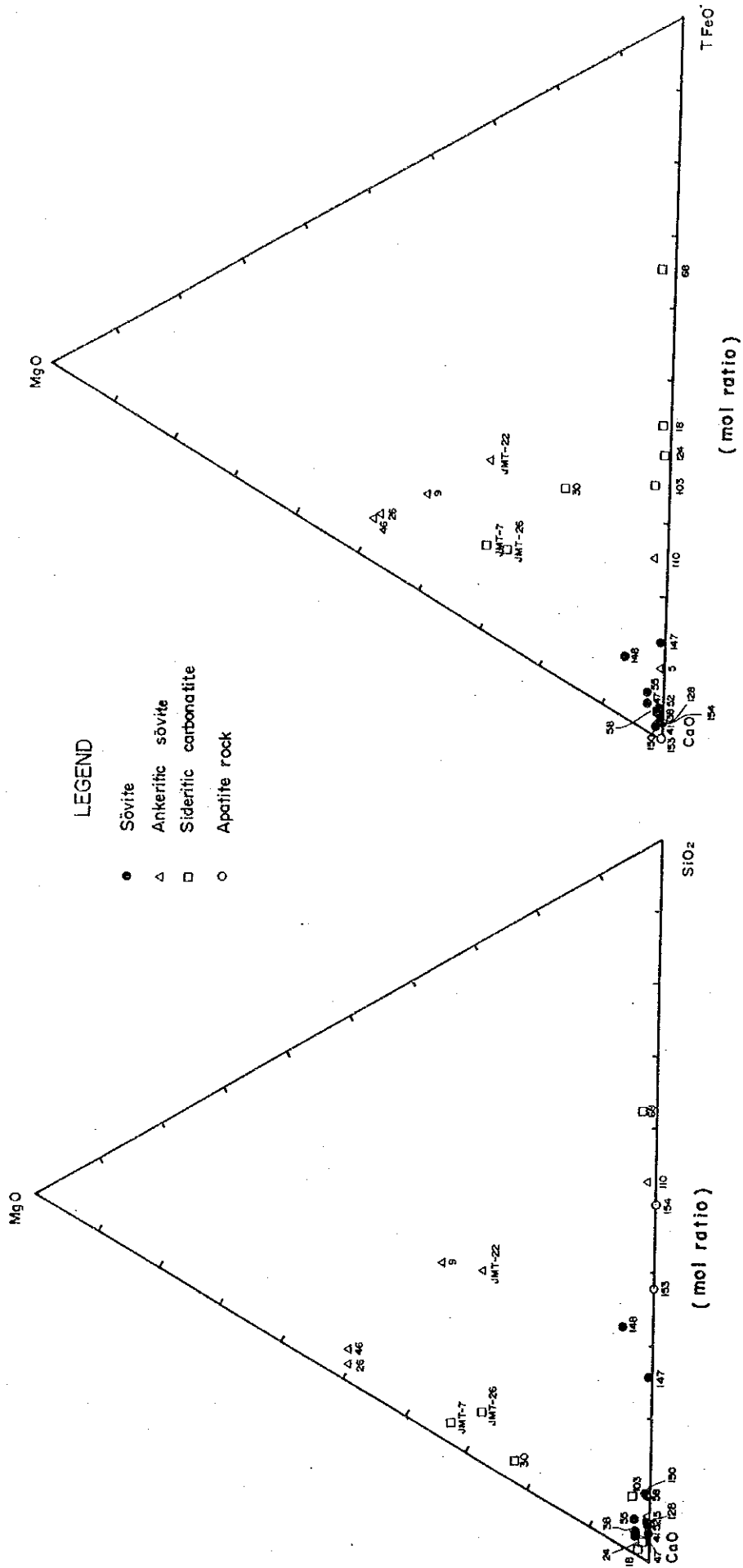


Fig 24 Ternary Diagrams of the Carbonatites

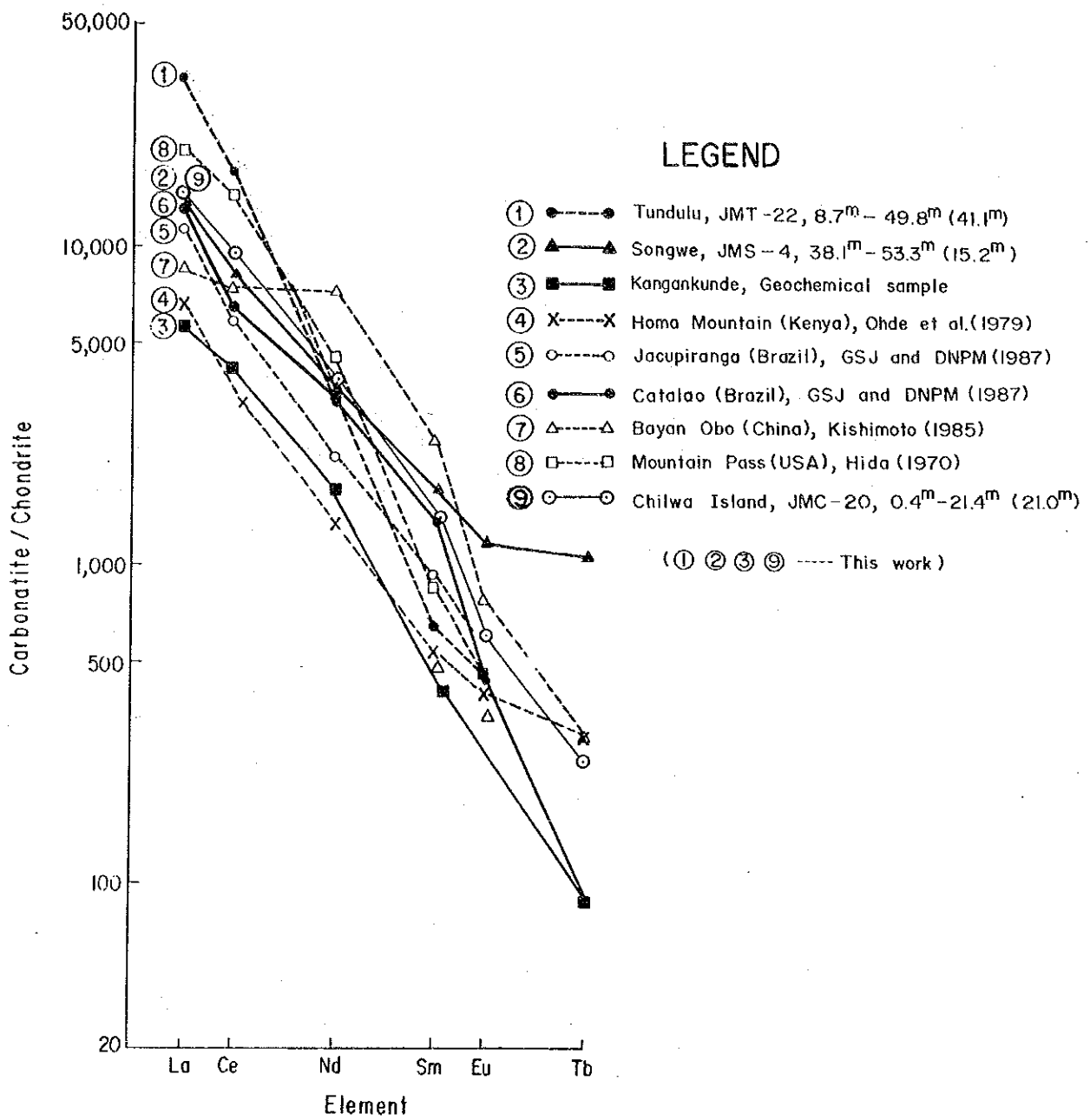


Fig. 25 Chondrite normalized rare earth concentration

比較検討の結果、鉍量についてはREO、 P_2O_5 ともに本調査では地表下50mまでについて算出しており、他鉍山の鉍量とは比較が困難である。しかしながら品位についてはSongwe地区のREO 1.7%、Tundulu地区のREO 2.1%となり、Bayan Obo鉍山のREO 2.0%と同程度かやや低い値を示す。中希土類についてはSongwe地区のものがBayan Obo鉍山のものに比較して1.5倍から2.0倍の値を示す。

なお、近年のレアアースの需給関係は、1983年をピークに消費量が減少しつつあるが、高純度レアアースの需要は増加傾向にある。又、軽希土類は供給過剰傾向にあるが、中希土類、重希土類については、供給量が不足気味の状態である。

Tundulu地区の磷については P_2O_5 17%と高品位であり、Araxa鉍山の P_2O_5 15%、Sukulu鉍山の P_2O_5 13%と比較しても高品位であることが判明した。この高品位の磷鉍床は磷肥料の原料として開発可能と考えられる。開発方法の一つとして、マラウイ国内の電力と同国産の超塩基性岩又はドロマイト岩とを利用し年間50,000 t (P_2O_5 換算約10,000 t)の熔成磷肥生産が可能と考えられる。

第Ⅷ部 結論及び将来への提言

第VIII部 結論及び将来への提言

第1章 Songwe地区

1-1 結論

- 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、ストロンチアナイト、モナズ石、パイロクロア、アパタイト等である。
- 地質構造的には、カ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の中希土類が高い。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。

1-2 将来への提言

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

第2章 Tundulu地区

2-1 結 論

- 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、菱鉄鉍質カーボナタイト、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、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、菱鉄鉍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、燐等の鉍徴部は 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、品位を有する鉍徴部が前者3か所、後者1か所とまって確認された。

これらの鉍徴部について、地表下50mまでを対象とし、前者をレアアース鉍床、後者を燐鉍床として概略埋蔵鉍量計算を行った。

計算結果はレアアース埋蔵鉍量60万t、REO品位2.1%、又は燐埋蔵鉍量として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、燐の鉍徴地が存在する。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品位が他鉍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。

2-2 将来への提言

Nathace丘のアパタイト岩、カーボナタイト中にレアアース、燐の鉍徴部が確認された。特に燐は P_2O_5 17%と高品位である。この品位は熔成燐肥資源として開発可能と考えられることから今後は、これら鉍徴部の鉍量、品位の確定化及び鉍量増加を目的と

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。

第3章 Kangankunde地区

3-1 結 論

本地区を構成する地質単元は、Tundulu地区、Songwe地区とほぼ同様である。“チルワールカリ岩石区”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、菱鉄鉱質、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鉱石鉱物は、モナズ石、ストロンチアナイト、アパタイト等である。

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。

レアアース、磷鉱微部はKangankunde丘北斜面に賦存し、このカーボナタイト岩体が鉱床としてのポテンシャルは最も高い。

3-2 将来への提言

本地区は現在フランスBRGMが探鉱権(Exclusive Prospecting Licence)を与えられ探鉱、調査中であるため提言を省略する。

第4章 Chilwa Island地区

4-1 結 論

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鈳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鈳石鈳物は、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鈳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%以上の鈳徴部は、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以上に達する鈳徴部は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鈳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鈳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鈳質カーボナタイト混在部中に存在し、この地区が鈳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鈳床としてのポテンシャルが高いと考えられる。

4-2 将来への提言

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鈳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鈳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、鈳量、品位を確認することが望まれる。