

水ソウチ共和国東北部地区  
資源開発協力基礎調査  
報告書

1992(平成4)

国土地院  
資源開発部

1992



# ボツワナ共和国東北部地区 資源開発協力基礎調査

## 報告書

(第 I 年次)

JICA LIBRARY



1064004[3]

1980年 2 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱計資

CR(2)

80-2

国際協力事業団

受入 月日	58A. 8. 28	503
登録No.	14284	661 MPN

## は し が き

日本国政府はボツワナ共和国政府の要請にこたえ、同国東北部の東北地方および中央地方にまたがる地域における鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質などの調査を実施することとし、この調査を国際協力事業団に委託した。

国際協力事業団は、同調査の内容が地質および鉱物資源の調査という専門的な分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に依頼することにした。

同調査は昭和54年度から3ヶ年間の予定で行われるものであり、金属鉱業事業団は初年次の本調査を日鉄鉱コンサルタント㈱に発注し、同社は昭和54年7月6日より昭和54年9月10日迄調査団を現地に派遣した。

現地ではボツワナ共和国政府関係機関および在ザンビア日本国大使館の協力を得て、LANDSATデータの解析、写真地質、地質調査、地化学探査等を行い日本国内で調査結果の解析を行った。

本報告書は初年次の調査結果をとりまとめたもので、第2年次、第3年次の調査結果とあわせて最終報告書の一部となるものである。

なお、同調査の実施にあたって御協力いただいたボツワナ共和国政府関係機関ならびに通商産業省、外務省、在ザンビア日本国大使館および関係各社の方々に衷心より感謝の意を表する次第である。

昭和55年2月

国際協力事業団

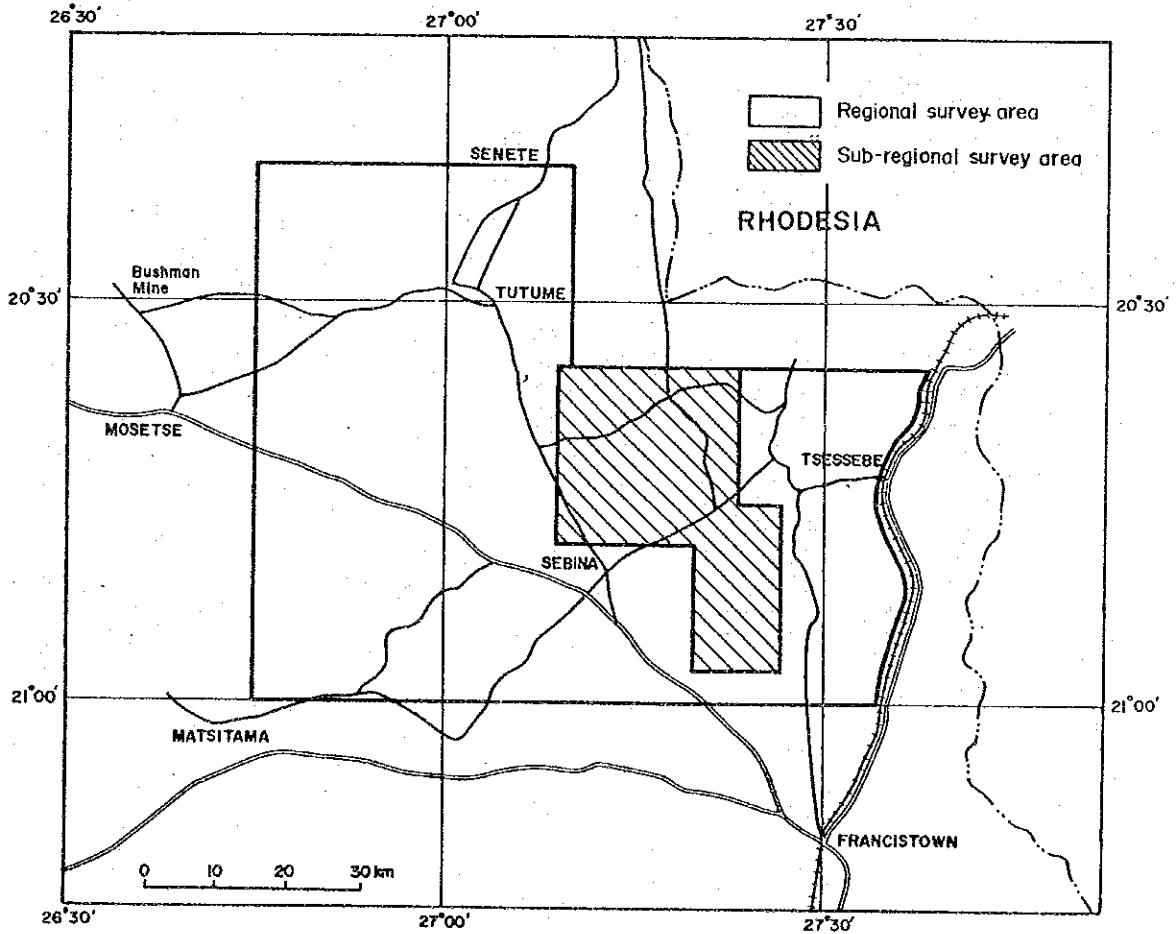
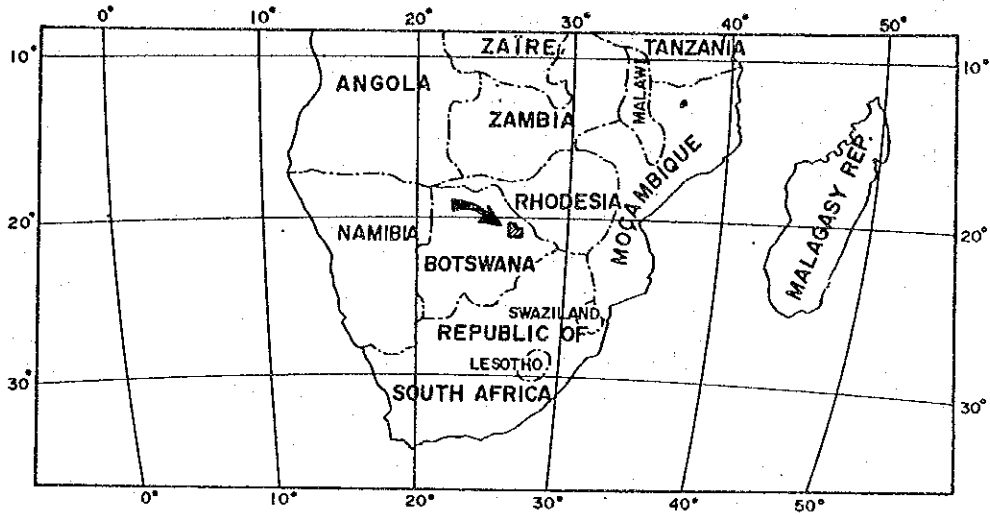
総 裁 有 田 圭 輔

金属鉱業事業団

理事長 西 家 正 起



Fig. 1 Location map of the survey area.



# 目 次

は し が き .....	(1)
位 置 図 .....	(2)
目 次 .....	(3)
要 約 .....	(10)

## 総 論

### 第1章 序 論

1-1 調 査 目 的 .....	1
1-2 調 査 位 置 .....	1
1-3 地 形 図 .....	1
1-4 既 存 の 地 質 図 .....	1
1-5 調 査 期 間 .....	2
1-6 調 査 量 お よ び 室 内 作 業 .....	2
1-7 調 査 の 経 緯 .....	3
1-8 調 査 団 の 編 成 .....	3

### 第2章 調査地域の概要

2-1 交 通 .....	5
2-2 気 候, 植 生, 人 口, 土 地 利 用 .....	5
2-3 地 形 お よ び 水 系 .....	6
2-4 地 質 お よ び 鉱 床 の 概 要, 過 去 の 探 鉱 の 状 況 .....	8

## 各 論

### 第1章 地 質 調 査

1-1 総 説 .....	11
1-2 LANDSATデータ解析 .....	11
1-2-1 目 的 .....	11
1-2-2 使 用 デ ー タ .....	11
1-2-3 調 査 方 法 .....	14
1-2-4 デ ジ タ ル 処 理 .....	15
1-2-5 解 析 .....	16
1-2-6 解 析 結 果 .....	18
1-3 地 質 .....	26



1-3-1	まえがき	26
1-3-2	Sebina-Tshesebe 地区	26
1-3-3	Mosetse-Matsitama 地区	34
1-3-4	層序対比の問題	37
1-4	鉞 床	38
1-4-1	まえがき	38
1-4-2	Vumba 区域	38
1-4-3	Timbale 区域	47
1-4-4	Matsitama 北部区域	50
第2章 地化学探査		
2-1	総 説	52
2-2	試料採取及び分析	52
2-2-1	試 料 数	52
2-2-2	土壌断面および試料採取法	52
2-2-3	分 析 法	53
2-3	試料の特性と採取地の環境	53
2-3-1	頻 度	53
2-3-2	土壌の色調と他項目との関係	57
2-4	指示元素の統計上の分布	66
2-4-1	地質単位別の元素分布	66
2-4-2	土壌の色調別の元素分布	68
2-4-3	異常値の決定	72
2-5	主成分分析	77
2-5-1	主成分分析法の概要	77
2-5-2	主成分分析の結果と解釈	78
2-5-3	異常域の抽出	92
2-6	地化学異常域	101
2-6-1	踏 査 地 域	101
2-6-2	概 査 地 域	101
2-6-3	ま と め	104
結論および提言		105
参 考 文 献		106

## List of Tables

		Page
Table 1	Period of surveys .....	2
Table 2	Summary of field survey work .....	2
Table 3	Summary of laboratory work .....	3
Table 4	Chemical analysis of rock samples .....	31
Table 5	Data on K-Ar isotope dating .....	36
Table 6	Previous exploration records .....	39
Table 7	Description of old gold workings in the Vumba mineral province .....	40
Table 8	Analytical data on ore .....	46
Table 9	Data on X-ray diffraction and fluorescence analysis .....	49
Table 10	Breakdown of samples .....	52
Table 11	Frequencies of soil sample natures and other characters around sampling sites .....	54
Table 12	Relation between soil colors and other natures and characters .....	59
Table 13	Statistical values of Cu, Pb, Zn, Ni content in regional and sub-regional survey area .....	73
Table 14	Classification of Cu, Pb, Zn, Ni content grade .....	74
Table 15	Results of PCA for areal populations .....	80
Table 16	Statistical values of Cu, Pb, Zn, Ni content in Matsitama mineralized area .....	81
Table 17	Results of PCA for geologically separated populations .....	82
Table 18	List of geochemical anomalous zone in regional survey area .....	102
Table 19	List of geochemical anomalous zone in sub-regional survey area .....	103

## List of Figures

		Page
Fig. 1	Location map of the survey area .....	(2)
Fig. 2	Drainage system .....	7
Fig. 3	Index map of LANDSAT images .....	12
Fig. 4	LANDSAT image of survey area .....	13
Fig. 5	Flow chart of digital processing .....	14
Fig. 6-1 ~ 4	Original histogram .....	20
Fig. 7	Distribution map of lineament' .....	24
Fig. 8	Interpretation map by LANDSAT image .....	25
Fig. 9	Geological history .....	27
Fig. 10	F5 fault-joint-dyke stress system .....	35
Fig. 11	Areal map showing the relationship of GS-17 project and previous surveys .....	41
Fig. 12	Previous exploration localities, Vumba mineralized zone .....	42
Fig. 13	Old gold workings in the Vumba mineral province .....	43
Fig. 14	Workings of Somerset mine .....	44
Fig. 15	Geochemical distribution of Molybdenum .....	48
Fig. 16	Variation of some statistical values of Cu, Pb, Zn, Ni content in 18 geological units .....	67
Fig. 17	Variation of some statistical values of Cu, Pb, Zn, Ni content in 8 color units .....	69
Fig. 18	Cumulative frequency distribution for Cu in 8 soil colors .....	70
Fig. 19	Cumulative frequency distribution for Ni in 8 soil colors .....	71

		Page
Fig. 20	Cumulative frequency distribution for Cu, Pb, Zn, Ni in regional survey area .....	75
Fig. 21	Cumulative frequency distribution for Cu, Pb, Zn, Ni in sub-regional survey area .....	76
Fig. 22	Three dimensional plot of factor loadings for areal populations .....	83
Fig. 23	Cumulative frequency distributon for Cu, Pb, Zn, Ni, Co in Matsitama mineralized area .....	84
Fig. 24	Three dimensional plot of factor loadings for geologically separated populations .....	85
Fig. 25-1	Cu content distribution map in Matsitama mineralized area .....	87
25-2	Pb content distribution map in Matsitama mineralized area .....	88
25-3	Zn content distribution map in Matsitama mineralized area .....	89
25-4	Ni content distribution map in Matsitama mineralized area .....	90
25-5	Co content distribution map in Matsitama mineralized area .....	91
Fig. 26-1	$Z_1$ score distribution map in Matsitama mineralized area .....	93
26-2	$Z_2$ score distribution map in Matsitama mineralized area .....	94
Fig. 27	Score plot of $Z_1 \cdot Z_2$ by PCA in Matsitama mineralized area .....	95
Fig. 28	Score plot of $Z_1 \cdot Z_2$ on Matsitama vector in regional survey area .....	97
Fig. 29	Score plot of $Z_1 \cdot Z_2$ on Matsitama vector in sub-regional area .....	98
Fig. 30	Relation of $Z_1 \cdot Z_2$ scores distributed in Matsitama mineralized area and regional survey area .....	99
Fig. 31	Relation of $Z_1 \cdot Z_2$ scores distributed in Matsitama mineralized area and sub-regional survey area .....	100

## List of Appendices

- Apex. 1 Images by laplacian and edge-enhanced process
- Apex. 2 List of microscopic observation (Thin section)
- Apex. 3 Microphotograph
- Apex. 4 Charts of X-ray diffraction and fluorescence
  - 4.1 S – 542
  - 4.2 S – 549
  - 4.3 S – 545
  - 4.4 S – 546
- Apex. 5 List of soil sample natures and other characters around sampling sites
- Apex. 6 Supplementary data to the LANDSAT digital processing

## List of Plates

- PL. 1 Geological map (regional survey area)  $S = 1/100,000$
- PL. 2 Geological profile (regional survey area)  $S = 1/100,000$
- PL. 3-1, 3-2, 3-3 Geological map (sub-regional survey area)  $S = 1/25,000$
- PL. 4 Geological profile (sub-regional survey area)  $S = 1/25,000$
- PL. 5 Sample map for tests
- PL. 6 Location map of sampling points and analytical values
- PL. 7-1 Cu content distribution map in regional survey area
- 7-2 Pb content distribution map in regional survey area
- 7-3 Zn content distribution map in regional survey area
- 7-4 Ni content distribution map in regional survey area
- PL. 8-1 Cu content distribution map in sub-regional survey area
- 8-2 Pb content distribution map in sub-regional survey area
- 8-3 Zn content distribution map in sub-regional survey area
- 8-4 Ni content distribution map in sub-regional survey area
- PL. 9  $Z_1$  score distribution map in regional survey area
- PL. 10  $Z_1$  score distribution map in sub-regional survey area
- PL. 11 Geochemical interpretation map by PCA in regional survey area
- PL. 12 Geochemical interpretation map by PCA in sub-regional survey area

## 要 約

ボツワナ共和国北東部地区における初年次の調査では面積5300km<sup>2</sup>の調査対象地区において、地質調査および地化学探査をボツワナ国地質調査所と共同して実施した。

調査の目的は調査地域の地質構造を解明し、鉍床の賦存が期待される地質環境や鉍床の示徴地を把握することにより、鉍床の賦存の可能性の高い地域(700km<sup>2</sup>程度)を2年次以降の調査のため集約することであった。

調査結果の取まとめに当ってはLANDSATデータの解析、航空写真判読、既存資料の検討等を行いそれぞれの結果を併せて利用した。

これらの調査結果を要約すると次の通りである。

### 1 LANDSAT データ解析

LANDSAT CCT のデジタル処理を中心に種々の解析手法を試みた。

その結果、本調査地域内の貫入花崗岩、超塩基性岩、塩基性岩などの地質単元が色調の差により識別され、貫入岩の方向や水系模様を示される線構造からは主要な構造方向としてNW-SE, NNW-SSE, NE-SWの3系統が抽出された。

またMaitengwe, Matsitama, Francistown等の周辺地域を含めて広域的な構造としてVumba片岩レリクトをとりまくように東に開いた半円形の構造が識別された。

### 2 地 質 調 査

地質調査は、地化探測線沿いに地化探サンプリングと併行して実施したが、詳細な地層の追跡などを行っていないため地質の大綱を把握するにとどまった。

従って、地質および地質構造については基本的にはLitherland(1975) Bennett(1970)の見解に従うことにしたが、花崗岩質岩のK-Ar法による年代測定、岩石試験を行い、LANDSATデータ解析、航空写真判読などと総合検討すると、各地区との層序対比、貫入岩の貫入時代など必ずしも従来の見解と一致せず問題点として残った。

### 3 鉍 床

地質調査の結果、地域内にはVumba, Timbale, Matsitama北部の3つの鉍化区域が認められた。このうちMatsitama北部区域では、変堆積性銅鉍床を胚胎するMatsitama Schist and Metasedimentary層群が、調査地域内へ延長する可能性があり今後の探鉍余地があるものと判断された。

### 4 地 化 学 探 査

調査地域全域にわたり、銅、ニッケル、鉛、亜鉛、モリブデンの5元素につき土壌を対象とする地化学探査を実施した。

試料は、踏査区域では測線間隔 6 km, 採取点間隔 2.5 km, 概査区域では測線間隔 2 km, 採取点間隔 2.5 km として両区域合計で 512 個, さらに鉍化帯の標準試料として Matsitama 鉍床より 27 個の試料を採取した。

解析は、まず試料の性質や採取地点の環境と指示元素との関係の検討より始めた。その結果、母岩の化学組織をもっともよく反映すると考えられる土壌の色調は地質単元、植生と大まかな対応をもつことが判明した。

また、地質単元のちがいや土壌の色調によって元素含有量に差のあることが判明した。しかし、土壌の色調の差あるいは元素含有量の差によって地質の判別ができるほどの差は示さず、さらに各元素含有量の分布より抽出される地化学異常は、岩石によってもたらされたものと鉍化作用に基づくものが重複し、これを区分することは難かしいと考えられた。指示元素のうちモリブデンについては、化学分析の結果殆んど 3 ppm 以下の値を示し指示元素としては不適であった。

各元素毎の解析では、鉍化異常域の抽出は困難であると判断され、いくつかの成分の総合的な特徴を求める主成分分析法による解析を試みた。

まず Matsitama 鉍床即ち銅鉍化異常域における主成分の特性をだし、これと同様の性格を持つ試料を調査地域内に求めた。その結果、10 箇所 of 異常域が抽出された。そのうち調査地域南西隅の異常域が最も異常の程度が高くかつ広い範囲を持っておりさらに詳細な調査が必要と考えられた。

以上の結果を総合して第 2 年次の調査地域として Matsitama 北部区域 (約 800 km<sup>2</sup>) を選定した。







総

論

# 第1章 序 論

## 1-1 調査目的

本調査の目的は、ボツワナ国政府機関である鉱物水資源省と協力してボツワナ国東北部における鉱物資源開発のための基礎資料を得ることにある。

本年度は全域に対する各種の広域調査を実施し、さらに既存の資料を考慮して鉱床賦存の可能性のより高い地域を第2年次以降の精査対象地域として、選出することを目的とした。この目的のために、LANDSATデータ解析、航空写真地質解析、全域の地質踏査および地化学探査、踏査地域内の一部区域の地質概査および地化学探査を実施した。

## 1-2 調査地域

本調査地域はボツワナ国の東北部でローデシアとの国境に近い約5300km<sup>2</sup>の地域で、行政区画は東北地方および中央地方にまたがる。これを踏査地域とし、この中で鉱床賦存の可能性の高いVumba-Timbale区域を概査地域(約700km<sup>2</sup>)として選出した。この状況はFig 1に示す通りである。

## 1-3 地形図

本調査に当って、つぎの地形図を使用した。

- 1/250,000 地形図 …… 調査地全域 既刊行物
- 1/125,000 地形図 …… 調査地全域 既刊行物
- 1/50,000 地形図 …… 調査地全域 既刊行物

調査には、1/50,000地形図を調査団で拡大した1/25,000および1/10,000の地形図をそれぞれ踏査および概査に使用した。その他にLANDSAT映像および全域の航空写真(1/40,000および1/50,000)を使用した。

## 1-4 既存の地質図

ボツワナ国全土をカバーする地質図としては、ボツワナ国地質図(1/100万)が1973年に公刊されている。また、ボツワナ国東部の変成複合岩地域については変成地質構造図(1/50万)が1971年に公刊されている。さらに、調査地域の大半をカバーする地質図としては、“SEBINA-TSHESEBE”、“MAITENGWE”、“MOSETSE-MATSITAMA”の図幅(1/12.5万)がある。

### 1-5 調査期間

調査期間は Table 1 に示す通りである。

Table 1 調査期間

調査種別	調査員数	期間
LANDSATデータ解析	日本人技師 3名	1979.6～1980.2
航空写真判読	日本人技師 1名	1979.6～1980.2
地質調査	日本人技師 5名	1979.7～1980.2
地化学探査	ボツワナ人技師 1名	
	ボツワナ人地質助手 2名	

### 1-6 調査内容および室内試験

本調査および室内試験の内容は Table 2 と Table 3 に示す通りである。

Table 2 調査内容一覧表

調査種別	面積 km <sup>2</sup>	精度
広域地質踏査	5,300	1/100,000
広域地化学探査	"	"
地質概査	700	1/25,000
概査地区地化学探査	"	"

Table 3 室内試験一覧表

調査種別	試料数	備考
地化学探査試料分析	539	2785成分
鉍石分析	8	54成分
岩石分析(完全分析)	7	
岩石薄片観察	107	
鉍石研磨片観察	5	
K-Ar年代測定	5	Teledyne Isotope U.S.A.
X線回折分析	5	
X線蛍光分析	4	

## 1-7 調査の経緯

LANDSATデータ解析および航空写真判読は、1979年6月中旬より現地調査準備と平行して日本国内で開始した。1979年7月から9月にかけての現地調査の際には、日本技師1名がモデル地区のグランドトランスを実施した。1979年8月中旬からは東京大学工学部資源開発工学科石井吉徳教授御指導のもとにデータのコンピューター処理およびIMAGE-100を使用しての解析を始めた。コンピューターによるデジタル処理の内容は、幾何学的補正、コントラストストレッチ、バンド間比、二次微分などで、その解析結果を航空写真判読結果とともに地質調査の結果のまとめに使用した。

地質調査開始に先立ち日本人地質技師1名は、調査計画についてのボツワナ政府側との最終打合せおよび野外調査準備のため先発し、7月6日ボツワナ国へ入国した。

野外調査に必要な装備類は、ごく一部を日本から持ち込んだ以外、自動車、キャンプ用品などほとんどの資材は、ボツワナ国内で調達し、陸路フランシスタウンを経由して調査基地へ搬入した。

本隊は7月16日ボツワナへ入国後、フランシスタウン北西65kmにキャンプを設営し直ちに踏査地域の地質調査および地化学探査を開始した。これらの調査を8月中旬には完了し、引続き概査地域の地質調査および地化学探査を開始した。これらの全野外作業は8月末に完了した。

野外調査期間中に必要な食糧および資材類はすべてフランシスタウンで調達した。水はキャンプ地より30kmはなれたSebinaの水井戸から必要の都度ドラム缶に詰め車で運搬した。

調査地域の乾季は例年4月から10月までであるが、本年は8月下旬より既に雷雨型の降雨が始まった。しかし、調査に影響はなく、9月2日全員ハボロネへ帰着した。

## 1-8 調査団の編成

本調査に参加した団員は次の通りである。

### 1. 第1次調査団(協定折衝)

- 団長 田所久造 (金属鉱業事業団)
- 団員 竹本節生 (国際協力事業団)
- 〃 逆瀬川敏夫 (金属鉱業事業団, ナイロビ駐在)
- 〃 沢田賢治 (金属鉱業事業団)
- 〃 中川隆 (通商産業省)

### 2. 第2次調査団(現地調査)

- 団長 中島完 (日鉄鉱コンサルタント(株)) 全般総括

団員 内村 巖 ( " )  
" 崎元 雄厚 ( " )  
" 渋谷 明貫 ( " )  
" 中野 啓二 ( " )

コーディネーター 逆瀬川 敏夫 ( 金属鉱業事業団, ナイロビ駐在 ) 全般総括

3. 第3次調査団 ( 現地検収, 第2年次計画検討 )

団長 秦野 裕 ( 金属鉱業事業団 ) 現地検収  
団員 藤田 実 ( " ) 空中物探検討  
" 末森 満 ( 国際協力事業団 ) 現地検収

ボツワナ国側のカウンターパートは次の通りである。

C. R. Jones ( ボツワナ国地質調査所・所長 ) 全般総括  
R. D. Walshaw ( ボツワナ国地質調査所・所長代理 ) 全般調整 ( 正 )  
G. C. Clark ( ボツワナ国地質調査所・次長 ) " ( 副 )  
D. Gould ( ボツワナ国地質調査所 ) 業務調整  
T. P. Machacha ( " ) 現地調査報告書作成  
D. Motlhoki ( " ) 現地調査 ( 助手 )  
M. Sixpence ( " ) "

本調査の実施にあたっては、ボツワナ国政府鉱物水資源省顧問 Dr. J. C. Brower から有益な御助言、御援助を賜った。

また、フランススタウン Jubilee 病院勤務の Dr. C. Kim には、現地調査期間中調査員の健康保持に一家をあげて親身の御世話をいただいた。LANDSATデータ解析については、東京大学工学部資源開発工学科石井吉徳教授および同科大学院生六川修一氏の御指導をいただいた。

## 第2章 調査地域の概要

### 2-1 交通

フランシスタウンは東北地方の中心で、調査地域付近の唯一の町である。

ボツワナ共和国の首都ハボロネよりフランシスタウンに至る交通事情は、次の通りである。

空路 ハボロネ～フランシスタウン間の直線距離は約400Kmで、金曜日を除く毎日、ターボプロット機が運航されている。その所要時間は1時間半である。

陸路 ハボロネ、マハラビ、フランシスタウンなどの主要な町を通り、ローデシアへ通じる幹線道路がある。ハボロネよりフランシスタウンまでの道路距離は443Kmで、一部区間を除いて完全舗装されている。所要時間は車で約6時間である。

鉄道 上記幹線道路に平行して、南アフリカからローデシアへ通じるローデシア鉄道がある。ハボロネ～フランシスタウン間は約12時間を要する。

調査地域内には Sebina, Tutume, Sechele, Malapong などの大集落のほか、多数の小集落が点在し、これらを結ぶ道路が発達している。主要道路としてはフランシスタウンからマウンへ通じる幹線道路があり調査地域南東部から西部へ通りぬけている。

この道路から分岐して Sebina, Tutume を通り北上して Maitengwe へ通じる道路がある。又この幹線道路の Shashoko から Matsitama へ南西下する道路もある。そのほか、主要な集落を結ぶ道路は、比較的道路幅員が大で自動車通行可能であるが、一般には小径が多く渡河地点で断たれるため四輪駆動車でも通行不能なものが多い。雨期にはこれらの道路はしばしば泥濘化し徒歩でさえも、通行困難となることがある。

### 2-2 気候、植生、人口、土地利用

気候 調査地域は、熱帯地方の半乾燥地域に属する。年間平均降雨量はフランシスタウンにおいて約440mmといわれ、その大半は10月から翌年4月までの夏期の雷雨に伴うものである。冬期は5月から8月までの間で、この間は涼しく乾燥し、時折砂嵐があるほかは、安定した好天が続く。年間平均気温は最高28.4℃、最低13.5℃でその幅は夏季の40℃以上から冬季の-10℃以下まで大きく変化する。冬季が野外調査の適季である。

植生 調査地域の大半は "Mixed tree savanna" 地帯に属し (Weare and Yalala, 1971), 片岩分布地域の大部分は、トゲのある木々の藪に覆われるのが普通であるが、一部には *Colophospermum mopane* および *Acacia nigrescens* などの木々よりなる林も存在する。また、川筋には大木も繁茂している。分水嶺をなす高地は Open tree savanna となり、ボツワナ国の中でもこの地域のみに見られる植生を示し、しばしば Bao Bao の木も見られる。



草類も繁茂するが、放牧により失われている場合が多く、また、自然の植生は所々で開墾により失われている。

人口・土地利用 ボツワナ国の地方の人口の水準から見ると、調査地域の人口密度は高い。居住する種族は Bakalaka 族が主体である。調査地域の属する東北地方は、歴史的に見て多くの種族が移住して来て、政治的にも複雑な問題の起った地域であったといわれている。

土地そのものは、雨季の集中豪雨による侵食に注意さえすれば、農耕および頭数を制限した放牧に適した土地といわれている。

500人から2000人の人口を持つ大集落が、調査地域内各地に散在している。住民は牧畜および農業により生計をたてており、過放牧が重大な問題となっている。航空写真で見るとローデシアとの国境を境にボツワナ側では植生にとほしく、過放牧の事実を示している。

調査地域の一部区域はヨーロッパ人、またはポーア人の私有農場となり、その周囲は牧柵で囲まれ地質調査の障害となった。

Timbale区域の花崗岩地域は農業には不適當な地域とされ、森林地帯としての保護が提言されている。

その他の産業としては、手工芸、煉瓦作り程度で、工業は全く行われていない。目下の所鉞山の探鉞作業も調査地域では行われていない。

城閣化された小山 (Kopje) が調査地域内に点在し、その多くはあらく石壁で囲んだだけのものである。しかし、調査地域の北端中央部の Kalakamate 部落付近の城閣の一つは、城閣に附属した居住区の壁に Zimbabwe 様式の装飾がほどこされている。この城閣は Dombashaba 廃墟として知られ、Zimbabwe 様式の石装飾の南限を代表するものとされている。

### 2-3 地形および水系

調査地域は、Fig 2 に示す様に Kalahari および Limpopo の 2 大水系の分水嶺にまたがって分布する。

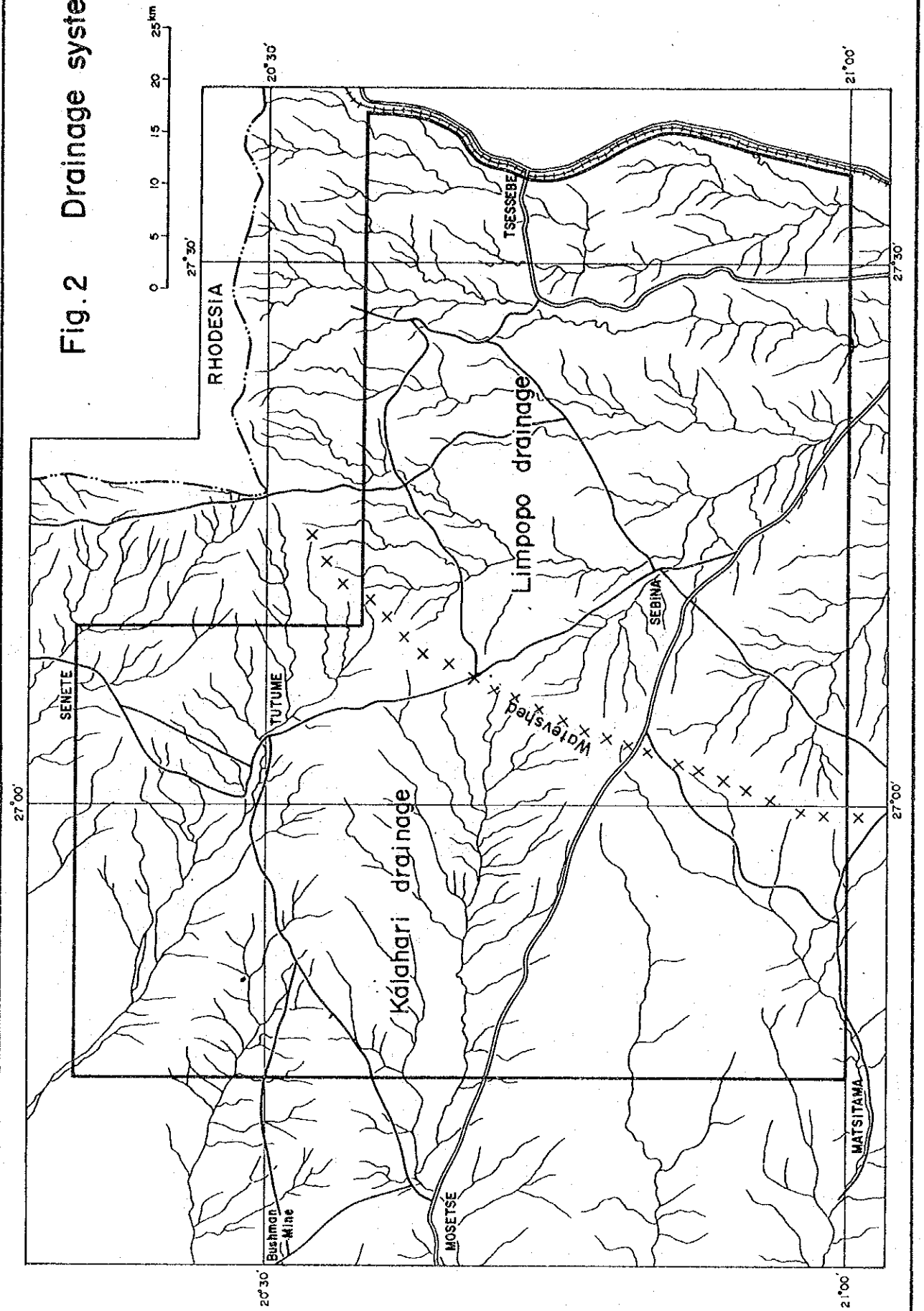
Kalahari 水系は調査地域の北西半部に発達し、調査地域西部の広大な Makgadikgadi 盆地へ流下する。同水系に属する範囲内の地形は平坦で起伏にとほしく、河川もまた水量にとほしい。河川のうち主なものは Tutume, Semonwane, Moseitse, Lepasha, Mosope の諸河川である。なお盆地は Kalahari 水系側のみで認められる。

Limpopo 水系は調査地域の南東半部を占め、全体では北部の分水嶺より南へゆるい傾斜をもつ平原上に発達する。この平原上には約 100m 程度突出する小山が所々に見られる。

Shashi, Vukwi, Tati, Ntshé 等の各河川がやや急傾斜で西から東へ流下する。

分水嶺および Limpopo 水系に属する Timbale 区域は標高 1200m から 1300m を示すが、

Fig. 2 Drainage system.



一方、Kalahari 水系域の準平原は約 1100m の平均標高を示す。

各河川ともに水量は極めて貧弱で、地表には年間を通じて 1～2 週間しか流れない。しかし大きな河川では乾期中にも伏流水は流れ、これを地方住民は砂穴、井戸等を通じて利用している。

地質調査所の記録によれば 100 以上の水井戸が調査地域内で掘さくされたが、このうち 3 分の 1 程度は空井戸であった。

フランシスタウン区域での Houston ( 1972 ) の研究によれば、始生代の基盤岩類は 37m の深部まで風化が認められる。地下水はこの様な地帯に存在し、従って風化の程度が水量を規制するといわれている。

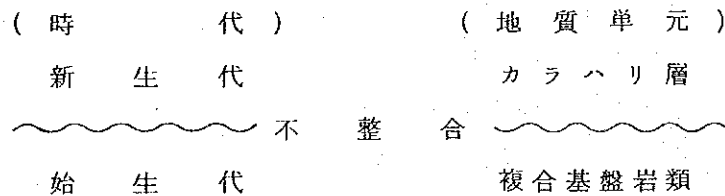
節理および割れ目が多ければ多い程、また、風化が進んでいる程より深部まで、より多くの水の存在が期待される。

深部までの風化とその上にある土砂の高い浸透率によって、始生代の岩石は地下水を貯溜する岩石として最適であると Jordan ( 1968 ) は指摘した。片岩中への試錐では失敗した水井戸がないのに対して、通常トーナライト中の水井戸は、同岩が容易に風化されやすいにも拘らず空井戸であるという注目すべき事実も認められている。

#### 2-4 地質および鉱床の概要ならびに過去の探鉱状況

##### 地 質

調査地域の地質は下記のように大別される。( Litherland, 1975 )



この不整合は約 25 億年の時代間隙を示している。

複合基盤岩類よりなる始生界は、26 億年以前より安定地塊として存在するローデシア安定地塊の西端に分布している。同岩類は変堆積岩類、変火山岩類、花崗岩質岩類より構成され、このうち花崗岩質岩類の分布が最も広い。

変堆積岩類および変火山岩類は花崗岩質岩類により二分され、調査地域の中央部および西南部に分布する。

中央部は Vumba 片岩レリック ( Vumba Schist Relic ) として知られ、上下 2 層群に大別され

る。上部の Vumba Volcanic 層群は、さらに 6 つの地層に細分される。

大部分の地層は、塩基性および珪長質の火山岩類よりなり、その内部に薄層の石灰岩および超塩基性岩をはさむ。本層群の傾斜は急傾斜を示すことが多く、周辺の花崗岩質岩とは不整合の関係を持つ。下部の Tutume Meta-arkose 層群は、さらに 2 つの地層に細分される。岩質的には 2 地層とも角閃岩をはさみ、花崗岩質片麻岩、メタルコース砂岩の互層を主体とし、上部の Vumba Volcanic 層群とは整合関係を示す。

西南部は Matsitama 片岩帯 (Matsitama Schist Belt) として知られ上下 2 層群に大別される。上部の Matsitama Schist and Metasedimentary 層群は岩相上からさらに 4 つの地層に細分されるが、その層位学上の関係は未だ不分明である。大部分の地層は非花崗岩系の片岩および変堆積岩よりなり、低度 (緑色片岩～低度の角閃岩相) の広域変成を受けている。本層群は、石灰岩層をはさみ銅鉱化が認められる (Bennett, 1970)。

下部の Mosetse River Gneiss 層群は、花崗岩化した石英-長石-黒雲母片麻岩 (相当量の角閃岩質岩を伴う)、ミグマタイト等より構成され、角閃岩相の広域変成を受けている。本層群は小規模の石灰岩をはさみ、そこには銅の鉱化が認められる。

調査地域内に最も広く分布する花崗岩質岩類は、大部分が片麻岩質で、花崗岩質～石英閃緑岩質正片麻岩、花崗岩質～石英閃緑岩質準片麻岩の岩相を示す。

また、本岩類中には大規模な片岩レリック、小規模な超塩基性岩類を伴う。

2 回にわたる広域的な構造運動が認められ、片理および褶曲がもたらされた。この構造運動の間に花崗岩類の活動があり、貫入花崗岩、ミグマタイト、再生花崗岩等各種の花崗岩質岩が生成された。

これらの花崗岩化作用および構造運動には変成作用が伴われたものと推定されている (Litherland, 1975)。

## 鉍 床

調査地域内には Vumba, Timbale, Matsitama 北部の 3 つの鉍化区域が認められた。

Vumba 区域は始生界中の金鉍床帯で、往時古代原住民、ヨーロッパよりの移住探鉍者、近代鉍山会社等の手で探鉍、採掘された跡が存在する。鉍化作用は広域変成作用に伴う変成分化含金石英脈型のもので推定され、少量の硫化鉍物を伴う小規模な鉍床である。硫化鉍物としては黄鉄鉍、磁硫鉄鉍、硫砒鉄鉍、黄銅鉍等が認められ、角閃片岩中では微量に鉍染状に、また石英中ではやゝ多量に塊状に存在する。本区域では Somerset 鉍山が最も規模が大きく、また開発された唯一の鉍山で、その採掘跡は北北東～南南西の走向を持つ断続する石英脈沿いに 200 m 程度の延長を持っている。脈幅は最大 1 m 程度で、含金品位は 5 g/l 程度のものである。

掘跡下部へ2本の浅尺試錐が、アングロ・アメリカン・グループの手により実施されたが着  
鉱しなかった。さらに同グループは、旧金山区域だけでなく Vumba区域全域にわたり砂鉱中の  
重鉱物のサンプリングを含む強力な地化学探査および地質調査を実施した。また空中物理探鉱  
の示徴に対しても100 m級の浅尺試錐2本を実施したが、下部で軽微な硫化鉱染を見た  
のみであった。本調査においても地化学探査結果も含めて新たに有望な鉱徴は得られなかった。

Timbale区域の鉱化作用は、Timbale花崗岩中およびその反応縁部中に認められる。

アングロ・アメリカン・グループは花崗岩体より放射されたペグマタイト脈に伴う稀元素鉱物鉱  
床、あるいは斑岩状銅モリブデン鉱床を期待して、広域土壌地化学探査を実施し、その結果稀  
元素鉱物鉱化に関係ある異常としてバナジウム、ニッケル、銅、イットリウム、ニオブ、モリ  
ブデン、錫、タングステン、金、鉛等を検出した。引続き地上物理探鉱を実施し、その示徴  
に2本の浅尺試錐を実施した。しかし、鉱化は認められなかったため、調査は中断し、そのま  
ま現在に至っている。

本調査結果では特に新しい稀元素鉱物の濃集地は発見出来ず、また、地化学探査の結果でも  
鉱化を期待する新しい事実は得られなかった。

Matsitama北部区域はMatsitama堆積盆地の北西縁部にあり、角閃岩相の広域変成作用を受  
けた塩基性片岩、角閃岩、珪岩、石灰岩、縞状鉄鉱層などよりなる Matsitama Schist and  
Metasedimentary層群が分布する。その中の石灰質岩中に変堆積性と推定される銅鉱層が存在する。

1962年アングロ・アメリカン・グループの手により旧採掘跡が発見されて以来、引続き  
かなりの量の探鉱が実施された。現在のところ、鉱化中心部の2鉱床でCu 2.2%程度の品位を  
持つ銅鉱約800万t(酸化鉱を含む)が確認されている(Baldock, 1977)。しかし、この  
区域の探鉱は1968年にSelebi-Phikweの鉱床が発見されると共に中断され、未開発のまま  
放置されている。

現在探鉱の主舞台はさらに北方の破砕変形地帯のBushman lineamentへ移っている。

本区域は、このMatsitama堆積盆地の北西縁部に相当する区域で、区域の南限がほぼ上述  
の銅鉱層露頭の北限線と一致する形となっている。

本調査の結果ではMatsitama Schist and Metasedimentary層群はさらに北方へも延長分布  
する可能性が推定され、地化学探査の結果も含めて本区域内にも銅鉱化が期待される。



## 各 論

# 第 1 章 地 質 調 査

## 1-1 総 説

調査地域 5300km<sup>2</sup>のなかから次年度以降の調査の対象となる約700km<sup>2</sup>程度の鉱床賦存期待区域を集約するという調査の性格，限られた調査期間，人員，地形などから判断して調査の主体は全域の格子方式による地化学探査とし地質調査は従とする方法をとった。従って地質調査は地域毎に存在する既存のデータのコンパイル，LANDSATデータ解析，写真地質判読等を行い地化学探査測線沿いの地質調査のデータと総合する形の調査となり，全域のすべての河川を踏査するという本格的な地質調査は実施されていない。

その結果，Vumba地区とMatsitama地区との対比については，未解決のままとなった。地化学探査の結果と総合してMatsitama北部区域を次年度以降の要探査地域として集約することができた。

## 1-2 LANDSAT DATA 解析

### 1-2-1 目 的

本調査はLANDSATによって得られたデータを用いて調査地域の地質单元および地質構造の概略を判読し地質調査の結果と合せて鉱物資源探査の基礎資料を得ることを目的として実施した。

### 1-2-2 使用 デ ー タ

調査地域は2つのシーンに含まれ使用したCCTは次の通りである。

I. D. No E 2209-07275

撮影年月日：1975年8月19日

Scene center point	S 20°08'00"	E 027°20'00"
Corner point # 1	S 19°29'58"	E 028°24'37"
# 2	S 19°14'01"	E 026°42'19"
# 3	S 20°45'41"	E 026°14'53"
# 4	S 21°01'50"	E 027°58'09"

I. D. No E 2209-07281

撮影年月日：1975年8月19日

Scene center point	S 21°34'00"	E 026°59'00"
Corner point # 1	S 20°55'59"	E 028°04'15"
# 2	S 20°39'56"	E 026°20'59"



Fig. 3 Index map of LANDSAT images

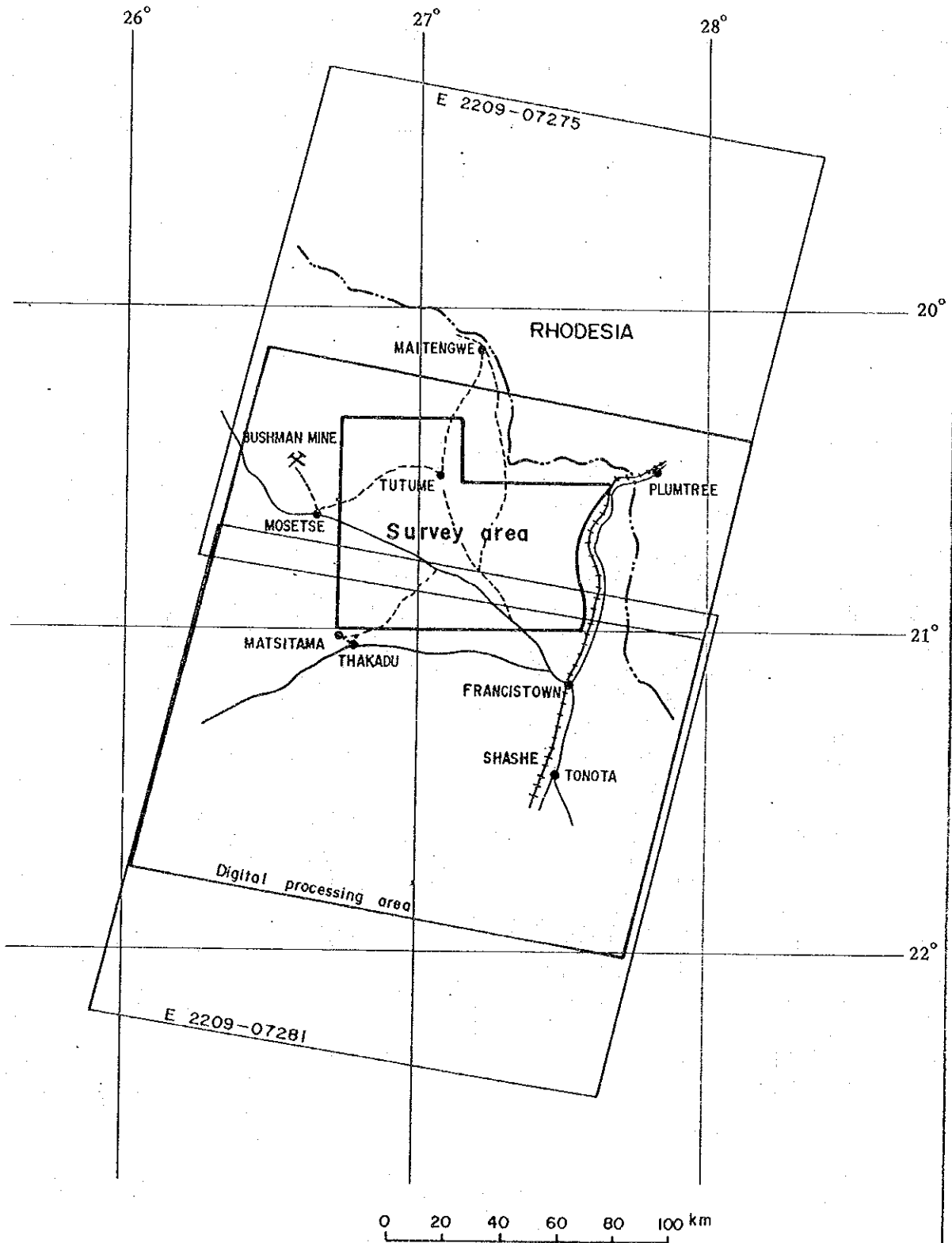
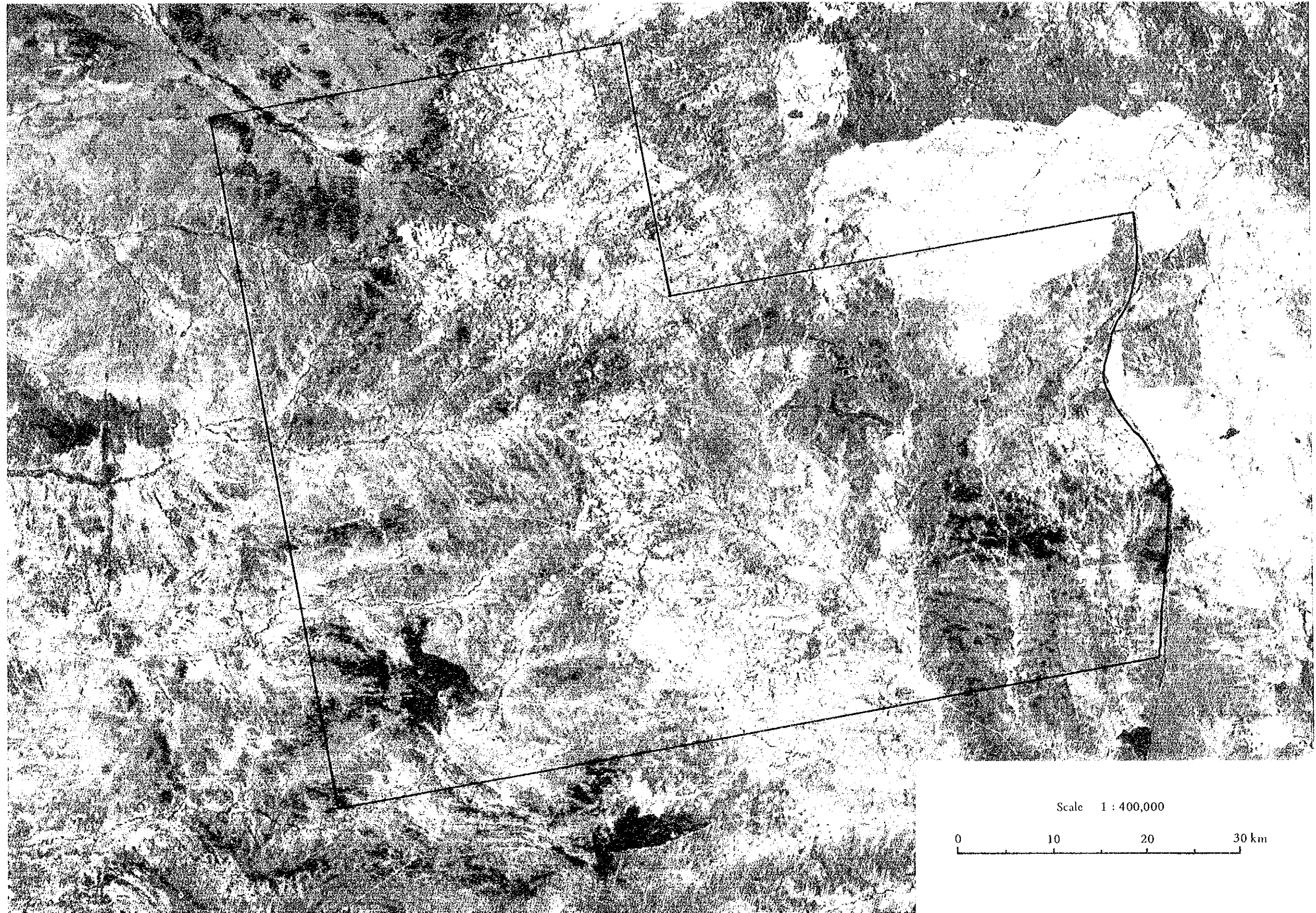


Fig. 4. LANDSAT Image of Survey Area



# 3 S 22°11'37" E 025°53'13"  
 # 4 S 22°27'55" E 027°37'33"

これら CCT のカバーする範囲，調査地域は第 3 図の通りである。

### 1-2-3 調査方法

第 3 図に示すように本調査地域を含む LANDSAT CCT は 2 つのシーンにまたがるため CCT を継ぎ合せ調査地域を中心とする 1 シーンの CCT を作製し，これにより解析を実施した。

LANDSAT の映像はもともとデジタルデータとして得られており，これを米国の EROS データセンターでは写真映像と CCT (磁気テープ) の型で利用者に提供している。

CCT のデジタル処理による画像は，写真処理による画像よりもはるかに鮮明であり，また，デジタル処理を行うことにより種々の解析が可能である。従って，本調査では主としてデジタル処理による解析を行った。

解析手法は金属鉱業事業団の鉱物資源探査技術開発調査 (遠隔探知情報解析技術の開発) 報告書に基づいた。

デジタル処理したデータは，IMAGE 100 にディスプレイし，その画像を見ながら処理方法の検討を行い次の手法について画像処理し解析に供した。この作業のフローチャートは Fig 5 に示す。

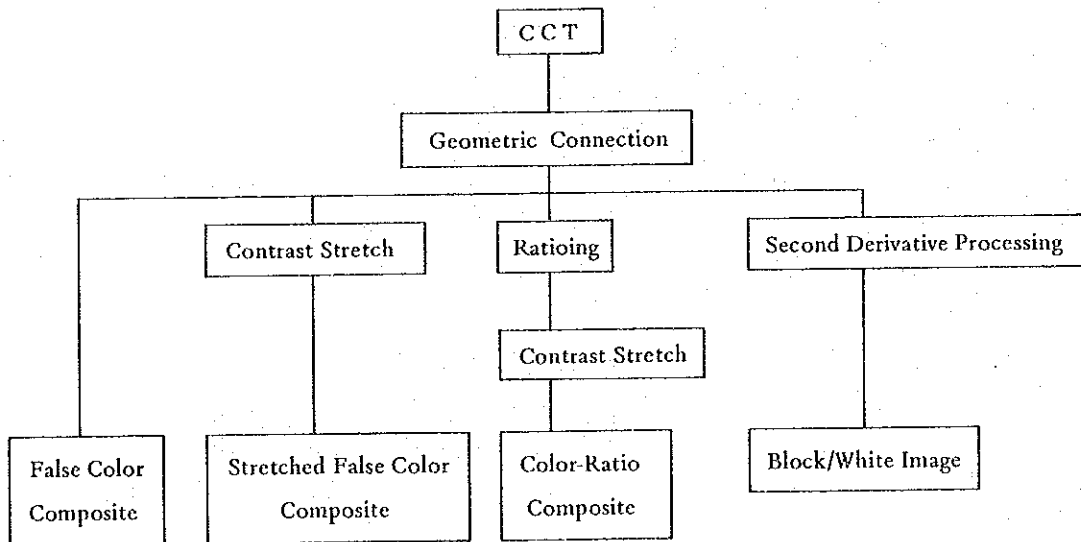


Fig. 5 Flow Chart of Digital Processing

#### 1-2-4 デジタル処理

LANDSAT CCTに記録されたデジタルデータについて下記のような処理を行った。解析手法については、前記報告書に詳細に述べられており、以下これに従って採用した処理方法を述べる。

##### 1) 幾何補正

LANDSATのデジタルデータを通常の画像表示装置によって映像化すると、大きく歪んで見える。これはLANDSAT画像データが衛星の運動やスキャナーの機構に起因する幾何学的歪みを持っているためである。

この歪みを除去し、与えられた地形図と相似な映像を表示し得る画像データを作成する処理が地図投影変換である。この処理によって映像は地形図や地質図など他のデータと重ね合わせる事が出来るようになる。

作業としては、画像のある点が地表のどの地点に対応するかを既存の地形図などから読みとり、ピクセルの座標を知る。この様な点を画像上に平均するように何点かをとればどの様に歪んでいるかを知ることが出来るから、ここで得られた原則に従って全部のピクセルを再配列することにより地形図と一致させることが出来る。

##### 2) コントラスト・ストレッチ

デジタル画像データを画像表示装置やフィルム記録装置によって画像にする場合には、コントラストの調整を行う必要がある。通常、これらの装置に入力し得る輝度値の範囲は0～255の間であるが、実際の画像データの輝度値はこの範囲の一部しか分布しない。この様なデータをそのまま入力して表示するとコントラストの低い画像しか得られない。これを有効な輝度値の存在する範囲の下限を0、上限を255とするようにデータ変換して表示すれば、コントラストの高い画像が得られる。この様にコントラストを強調する演算処理がコントラスト・ストレッチである。本調査では輝度の変換式として、1次式を用い強調範囲の全体を一様にストレッチするリニア・ストレッチを行った。

##### 3) バンド間比

バンド間比のデータを使用するのは、地表面の起伏による太陽照射角度の変化によって見かけの明るさや色が変わる効果を補正しようとするものである。

LANDSAT画像データは、マルチ・スペクトル・スキャナーに入射する光量の測定値であって、この入射光の主要な成分は、地表の物体が太陽に照射されて放射する反射光である。この反射光の強さは、物体の表面の反射率と単位面積あたりの照射光の強さの積に等しく、同一物体表面からの反射光は太陽光線が垂直に照らすとき最も強くなり垂直方向から傾くにつれて弱くなり、日陰に入ると0になる。異なるスペクトル・バンドの反射光の

強さの比は、日陰を除けば、太陽照射角の差異に関係なく物体のバンド別平均反射率の比に比例し、同じ物体は同じ特性をもつことになり、物体の判別がより容易にできる可能性がある。

今回比演算を実施したのは  $4/5$  ,  $5/6$  ,  $6/7$  のみである。

#### 4) 微 分 法

LANDSATデータにおいて、いろいろなりニアメントが顕著な特徴として表われており、直接、間接に地敷の状態を表わしている場合がある。

リニアメントは明瞭な場合には、映像の目視により判読できるが、微妙なものは何らかの強調手法を用いることが望ましい。

リニアメント強調処理手法は種々考えられるが今回は（東京大学石井吉徳教授が開発した）ラプラス演算による（平滑化を伴わぬ）二次微分処理を行った。実際に用いたラプラス演算子は次の通りである。

	×		×	
×	□	△	□	×
	△	○	△	
×	□	△	□	×
	×		×	

○ : 1.4 3 3 2

△ : 0.7 9 7 2

□ : 0.1 6 0 2

× : -0.6 5 7 8

#### 1-2-5 解 析

デジタル処理を施した画像成果物として幾何補正を施した通常のフォールスカラー画像、各バンド毎白黒画像コントラスト強調を施したフォールスカラー画像（4-B, 5-G, 7-R）、バンド間比データ（ $4/5-B$ ,  $5/6-G$ ,  $6/7-R$ ）のコントラスト強調画像、エッジ強調画像など（いずれも縮尺1/40万）を得た。

判読にあたっては、これらの成果物のほかに70m×70mフィルムネガから通常の写真処理による各バンド毎の白黒画像および通常のフォールスカラー画像（いずれも縮尺1/50万）を使用した。

本調査地域は5月～8月が乾期、10月～4月が雨期である。使用したLANDSATデータの撮影時期は8月で乾期の終りにあたり植生の緑色が最も少い時期である。

本地域は比較的植生が多く、地形的には東側Timbale区域の丘陵地帯を除けば全体的には極めて平坦な地形を示す。地域内には集落が点在し、その周辺には農耕地が発達する。

本地域を構成する地質は始生界の変堆積岩類、変火山岩類、花崗岩質岩類など、花崗岩質岩類が最も広く分布する。

解析はフォールスカラー画像を主体に地質単元の抽出を行いフォールスカラー画像で識別できない部分は白黒画像あるいはコントラスト強調画像でそれを補うようにし、場合によってはバンド間比データを参考にした。

フォールスカラー画像を観察すると全体として色調の差が少くコントラストの弱い画像となっている。これは地形が平坦なこと、植生が多いこと、植生のちがいが少ないことによると考えられる。本地域は大きくは淡灰～淡かつ色の区域と暗灰色～暗かつ色の区域に区分され、これは植生の密度のちがいを示している。本地域北東部、東部では上記色調による区域の境界が直線状となり、農耕地あるいは牧草地などの人工的な境界線と考えられる。

この植生の状態を考慮をしながら地質単元の抽出を行った。

大きな単元としては半円弧状で明るい色調を示す区域が地域中央部に識別される。これは農耕地と重複しており明瞭な境はされないがおおよそ Tutume Meta arkase 層群、G<sub>2</sub> 花崗岩を反映している。

調査地域南西隅から調査地域外の Matsitama 地区にかけては地層が色調の差としてよく識別されそこでの褶曲構造が判読できる。調査地域内での単元として次のものが抽出された。

G<sub>1</sub> 単元 : 灰色～淡灰色の色調で円形の分布を示し、起伏はあまりない。水系模様は樹枝状を示す。起伏はあまりない。周囲との境界は明瞭である。

これは Myshawe プルトンの分布域に相当するが画像では岩体の西側が NNW - SSE 方向の線構造で切られており、分布がその西側では絶たれているように見える。この岩体の南側に地質図では数個の小規模 G<sub>1</sub> 岩体が見られるが、画像ではわずかに明るい色調を示す程度であり明瞭でない。

G<sub>4</sub> 単元 : 黒褐色～褐色の暗い色調を示し、肌理は粗くこつこつした感じである。地形的には比較的起伏度で角ばった山稜を示す水系模様は樹枝状である。これは Timbale 花崗岩に相当するが、周囲との境界は明瞭でない。

G<sub>4s</sub> 単元 : 暗かつ色の色調で円形の分布を示す。隆起地形で周囲との境界は比較的明瞭である。Sechele Stock に相当する。

同様の小規模 G<sub>4</sub> 岩体が地質図では Vumba 地区に示されるが、周囲の色調が暗く識別できない。

U 単元 : 暗かつ色を呈し、細長い隆起地形として明瞭に識別される。Vumba 地区の超塩基性岩の山陵である。

Am 単元 : 調査地域北東部の植生の少ない個所に淡かつ色～淡緑灰色の色帯が带状に識別

される。これは降起地形を示さず分布が狭長であるため水系模様、線構造などの特徴は判別できない。

これは Vumba 片岩レリック中の角閃岩を反映したものである。

D 単元 : 暗灰色の条線として認められ粗粒玄武岩岩脈である。

連続性のあるものは容易に抽出される。

岩床状のものは暗灰色～灰色の色調で識別される。

Bt 単元 : 暗灰色、平滑な肌理を呈し、Shashe 川上流に見られる黒土 (Black turf) の分布域に相当し扇状地堆積物の分布を示す。比較的明瞭に識別される。

エッジ強調画像およびフォールスカラー画像より判読される線構造には次の様なものがある。地域中央部を通る NW-S E 方向のものは Myshawe ブルトンを切るようにその西側を通り大きな水系沿いに南北に延びている。これは Tutume 断層に平行する。

主として地域北東部に認められる数系の平行した線構造は NE-SW 方向で貫入する Post-Karoo の粗粒玄武岩々脈を現わしている。

そのほか Ntsho 川や Tati 川の水系に示されるように N-S 系の方向が見られる。

本地域内の鉱床としては Vumba, Timbale, Matsitama 北部の 3 つの鉱化区域が認められる。これらはいずれも小規模で鉱化変質帯も伴っておらず LANDSAT スケールの調査では、鉱徴地を補佐するのは難しい。

#### 1-2-6 解析結果

Landsat CCT をデジタル処理することにより、いくつかの解析を試み従来の 70% フィルムからの画像のみによる解析に較べより多くの精密な情報を得ることができた。解析の結果地質単元としては、区分し得る岩層の分布が狭いためか期待した効果は上げ得なかったが、地質構造の情報としては全体のアウトラインを反映していた。

地質単元の判読については本地域に分布する花崗岩類のあるもの。超塩基性岩、塩基性岩は一般に白色を呈する花崗岩質岩中にあるのは風化して赤かっ色土壌を形成し周囲の岩石と色調にコントラストを示し識別に有効であろうと期待したが、これが必ずしも画像に反映されていない。

このうち超塩基性岩は、平坦地から突出する狭長な山稜をなしその地形的特徴から容易に判読出来る。serpentinite と metapyroxenite と 2 種類あるが分布が小さく区分出来ない。

塩基性岩の角閃岩は Vumba 地区に広く分布するほか、これをとりまいて帯状のものが地質構造を反映するように分布するが降起地形は呈さない。風化してラテライト質土壌となるが画像では淡灰かっ色の色調を示し植生の少い北部ではその分布は比較的識別できるが、中央部 Vumba schist Relic の中心部では black turf, 貫入岩体、植生などのため識別できなくなっている。

Tutune Arkose Group 中にも数枚の帯状に分布する Amphibolite を挾在するが画像では判然としない。これは植生の影響とともに、地質図上で示されているように、Meta arkose,  $G_2g$  と細かな互層をなしており、Amphibolite の分布は小さく判別できないのであろう。

IMAGE-100 で Vumba 地区を拡大して画像化し、コントラスト強調を行い、角閃岩分布域で最も色調区分のはっきりしている個所をトレーニングエリアとして選定した。トレーニングエリアの大きさを幾通りかにセットし角閃岩の抽出を試みたが、植生のため色調の暗い地域でははっきりせず有効な結果は得られなかった。

花崗岩質岩は貫入岩  $G_1$ ,  $G_4$  のうち  $G_1$  Myshawe プルトンは色調より識別できるが、Shashe Drift プルトン kalakamate プルトンは Amphibolite に貫入し  $G_4$  Dombashaba プルトンに貫入されるなど複雑な分布を示し、また Kalakamate Monzonite は風化して赤かっ色を呈すことなどからこれらの岩体を区別することは難しい。

$G_4$  岩体の Shechele stock は小規模であるが色調より識別される。

Timbale granite は地形的特徴を示すがその分布範囲ははっきりしない。

広範囲に分布する  $G_2$  は灰色～淡灰色の色調を示すが岩相のちがいはあるいは特徴的な分布を示す  $G_3$  tonalite とは区分できない。

これらの岩体に貫入する新期の貫入岩のうち NE-SW 系の岩脈は明瞭な黒色線状を呈し容易に判読される。岩床状のものも色調のちがいにより識別される。

地質構造については色調の差、水系模様などより大きな構造はかなり判読できる。画像より  $G_2$  花崗岩の分布域を境にして Vumba 地区と Matsitama 地区は明瞭に地域区分される。Vumba 地区は大きくは東へ開いた半盆状構造が推定されこれに貫入する  $G_1$ ,  $G_4$  花崗岩体が色調の差により読み取れる。また超塩基性岩の分布は E-W 方向の軸をもつ小褶曲構造を示している。

Matsitama 地区では地層の走向を示す色調の差が見られ NW-SE 方向の軸をもつ褶曲構造が識別されその東翼の一部が調査地域にかかる。

ここでは小さな褶曲を示しながら全体として NW-SE 方向の走向をもつ地層の分布が見られる。

調査地域全体に見られる線構造は NW-SE, NNW-SSE, NE-SW 系のものが卓越している。



Fig. 6-1 Original histogram (Band 4)

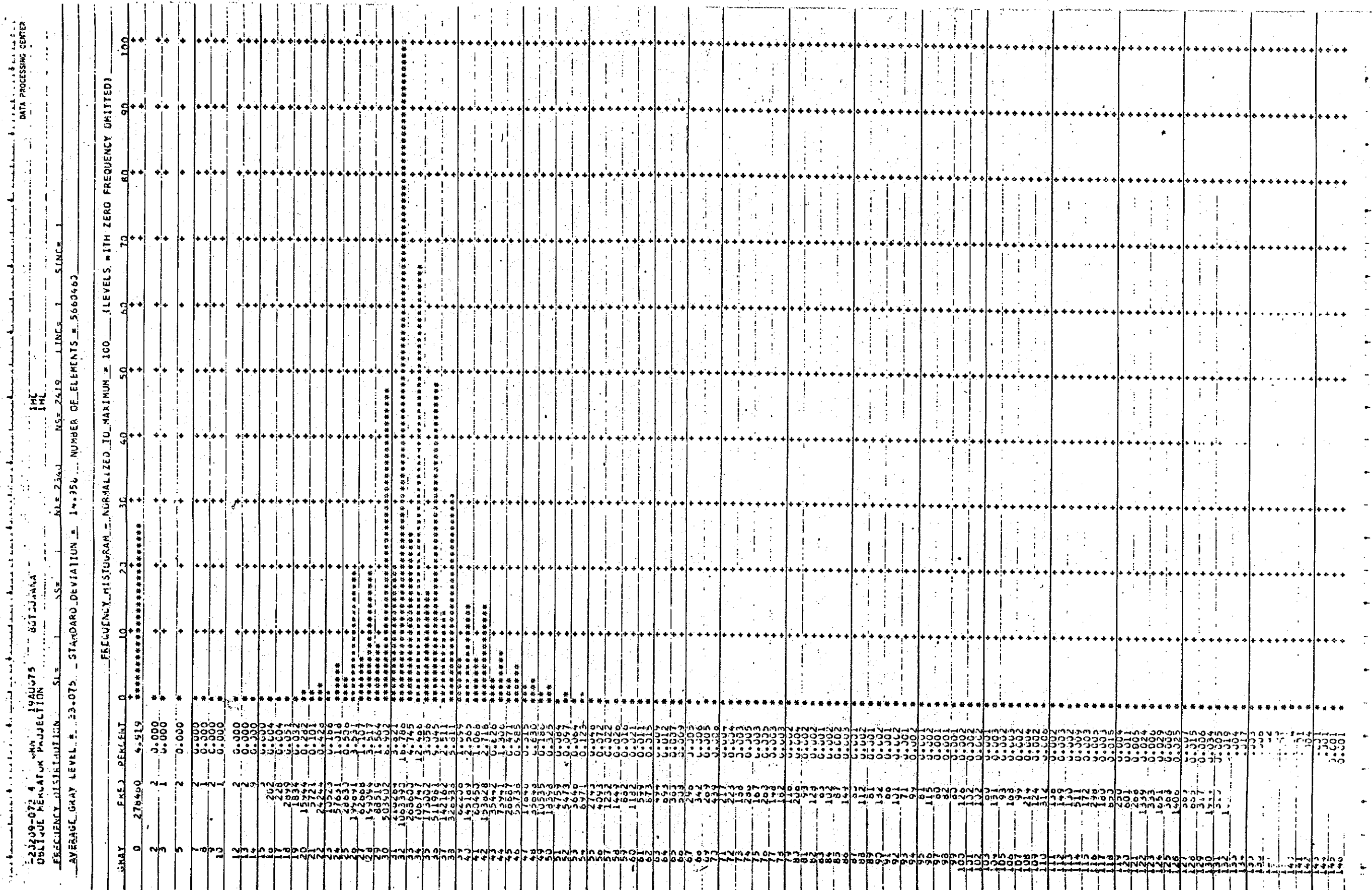


Fig. 6-2 Original histogram (Band 5)

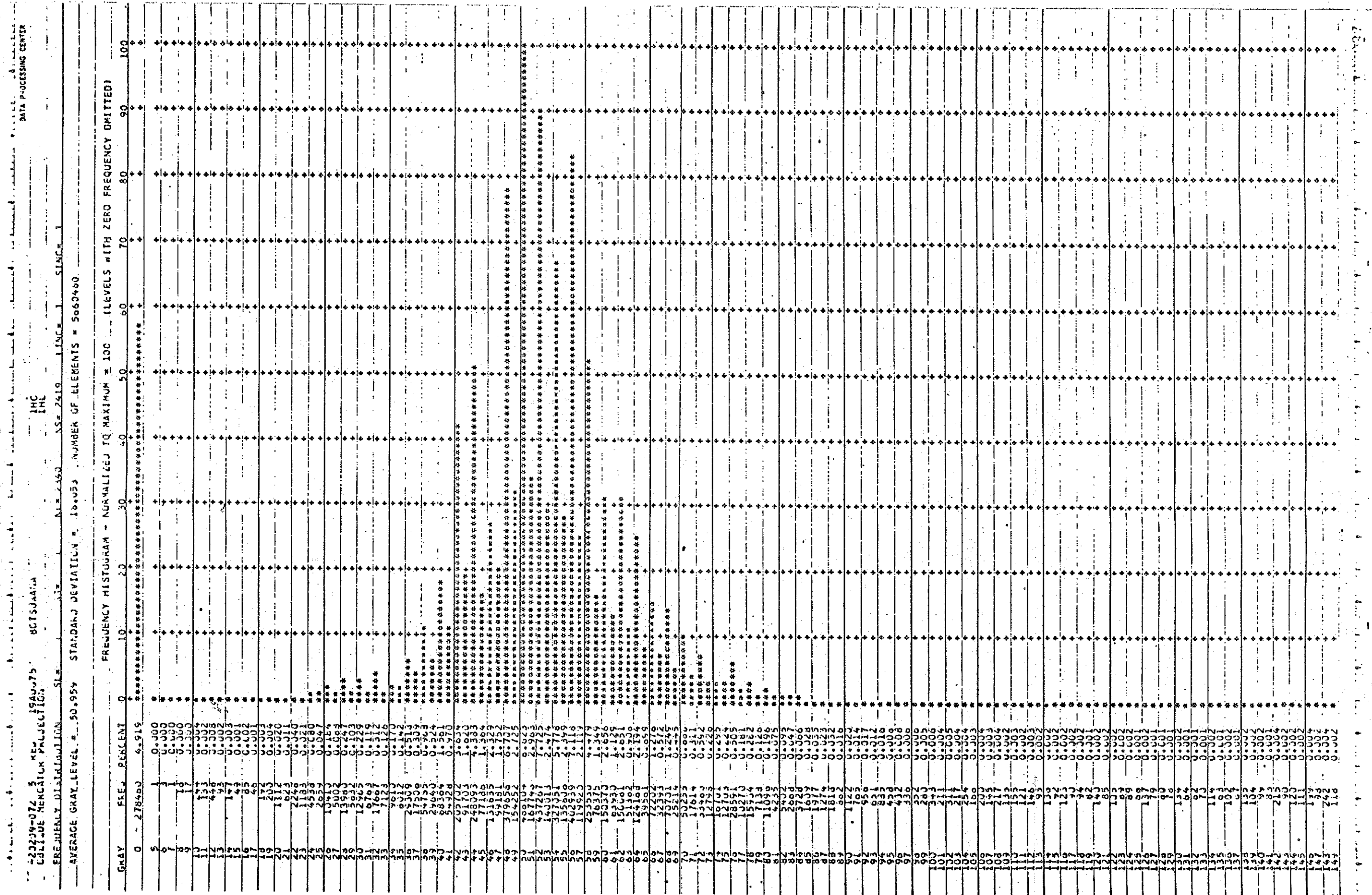


Fig. 6-3 Original histogram (Band 6)

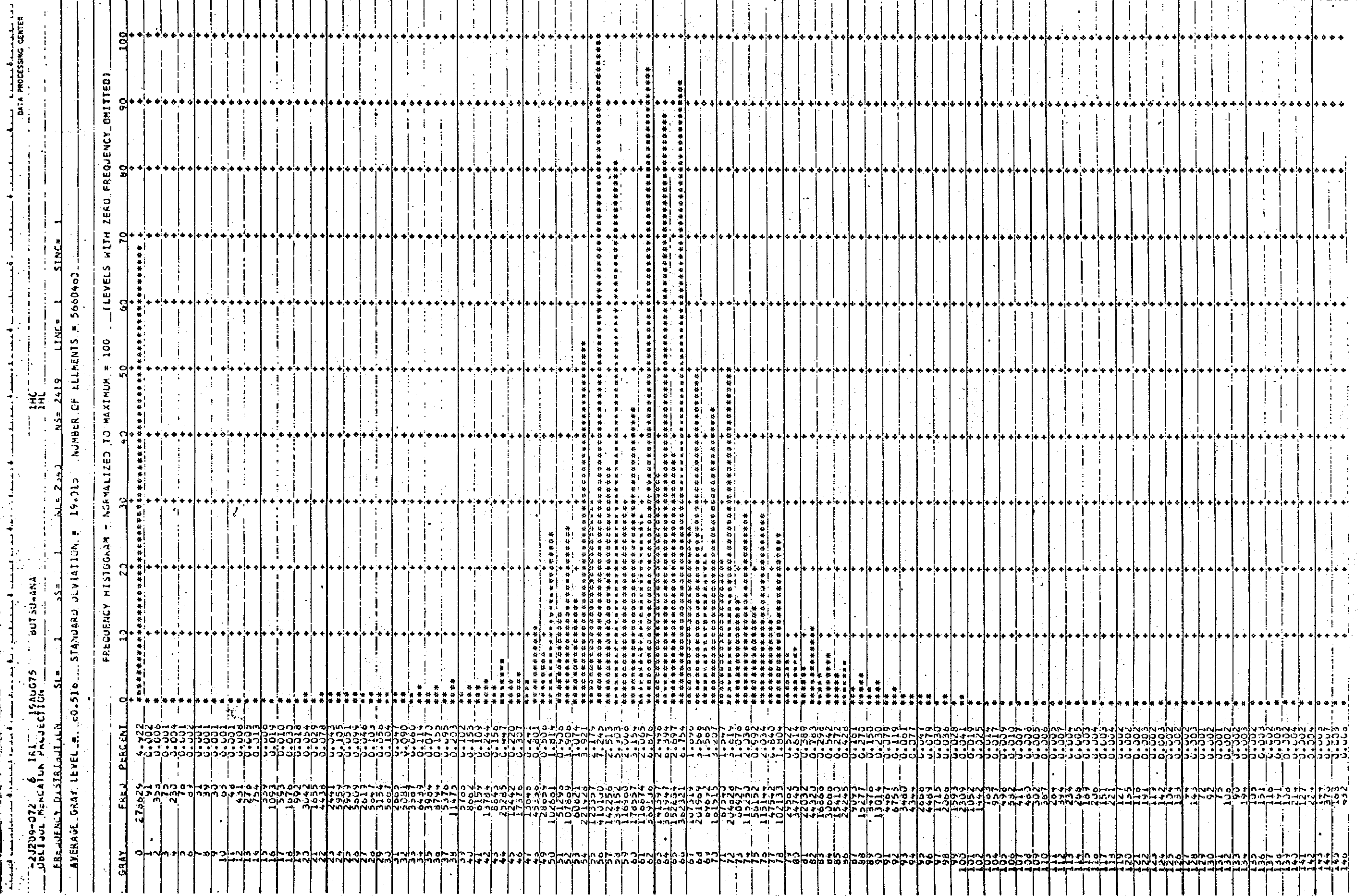
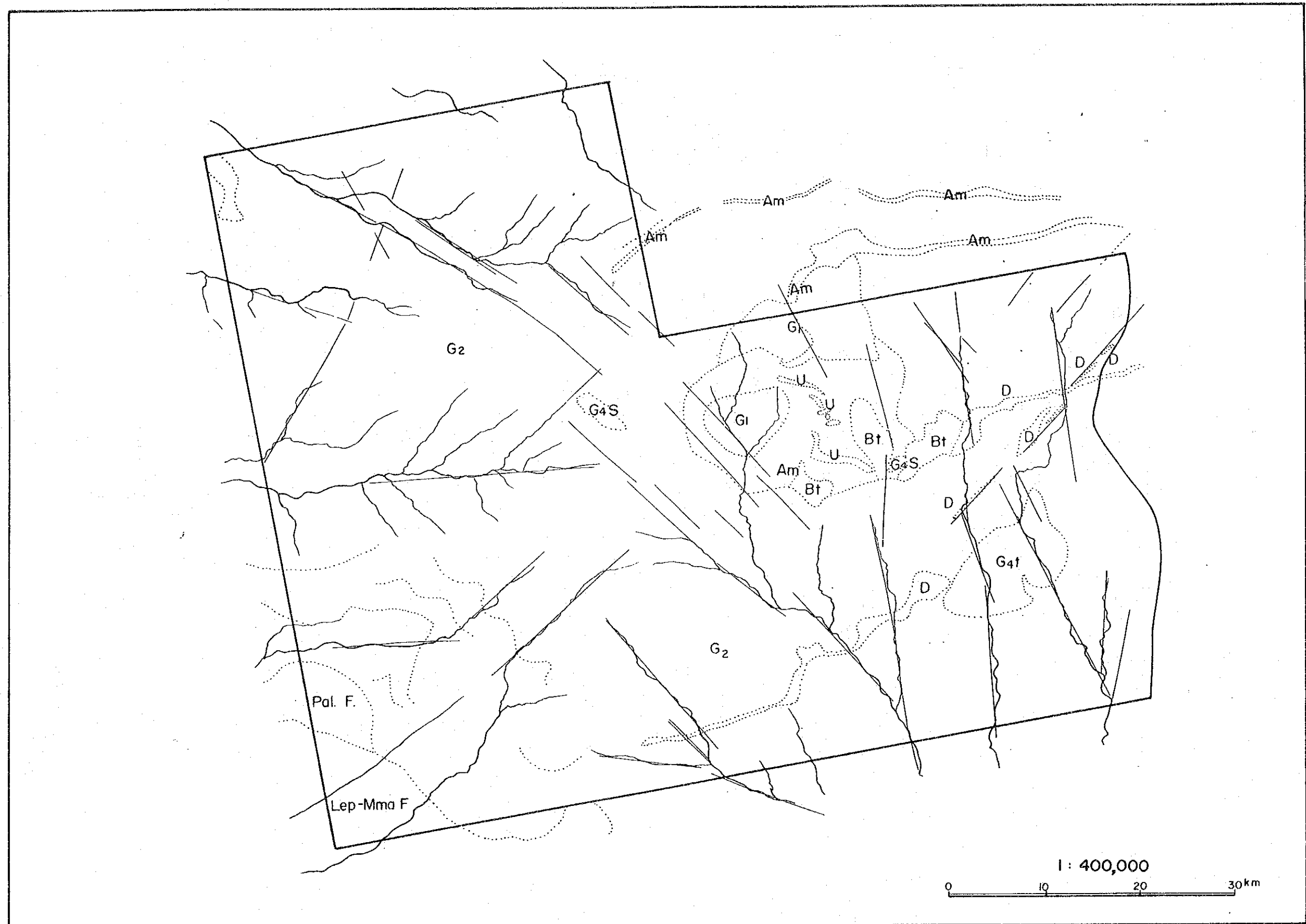




Fig.7 Distribution map of lineament



Fig.8 Interpretation map by LANDSAT image



## 1-3 地 質

### 1-3-1 ま え が き

本調査地域は中央部から東部にかけての Sebina-Tshesebe 地区と西部の Matsitama-Mosetse 地区に区分され、前者には Litherland (1975)、後者には Bennett (1970) による地質図がある。また、調査地域を含むローデシア安定地塊の地史は、Litherland (1975) により (Fig. 9) のごとく取まとめられている。

本調査は、地化学探査測線沿いの地質踏査を中心に行ったので詳細な地質状況を把握するに至っていない。従って、地質および地質構造については、Vumbaの概査区域において一部岩相の手直しをした程度で、ほぼ両者の見解に従っている。

### 1-3-2 Sebina-Tshesebe 地区

本地区には、始生界に属する片岩類や花崗岩質岩よりなる複合基盤岩類が広く分布する。このうち中央部を広く占める片岩帯は始生代の代表的緑色岩帯である。

地層は、Tutume Meta-arkose 層群と Vumba Volcanic 層群とに2分される。

#### (1) Tutume Meta-arkose 層群

本層群は、Vumba片岩レリックを取りまく様に数条の帯状を示して、その西側に広く分布し、層状のメタルコース、角閃岩、花崗岩質片麻岩より構成される。

メタルコースは塊状で、節理の発達する中粒の石英-長石質岩で、雲母は殆んど認められない。本岩は白色を呈するが、風化すると褐色になる。重鉱物の分析の結果では、本岩中に存在するジルコンは明瞭な自形の結晶形を示すものが少なく、多くの場合破壊されて、やや円磨されている。本岩は上位の火山堆積物とは調和的であり、Vumba片岩レリックの基底部でも見られる。これらの理由から、本岩は堆積岩起源と推定される。

角閃岩は、Tutume 付近に最もよく発達し、メタルコースや花崗岩質片麻岩(Q2g)とは調和的であるので、熔岩-シル起源と考えられる。本岩は一般に中~細粒の斜長石角閃岩であるが、一部では滑石、緑泥石片岩も見られる。

#### (2) Vumba Volcanic 層群

本層群は超塩基性、塩基性および珪長質な変火山岩類よりなり、岩相の組合せから下記の6層に分けられる。

最下底の Sebina Ultramafic 層は、超塩基性岩、角閃岩よりなりメタルコースをはさむ。

Vumba Mixed Volcanic 層は、角閃岩を主体に超塩基性岩類、珪長質変火山岩類をはさむ。

Lower Vumba Felsic 層は、珪長質変火山岩類、アルミナ質珪岩、アルミナ質片岩等よ

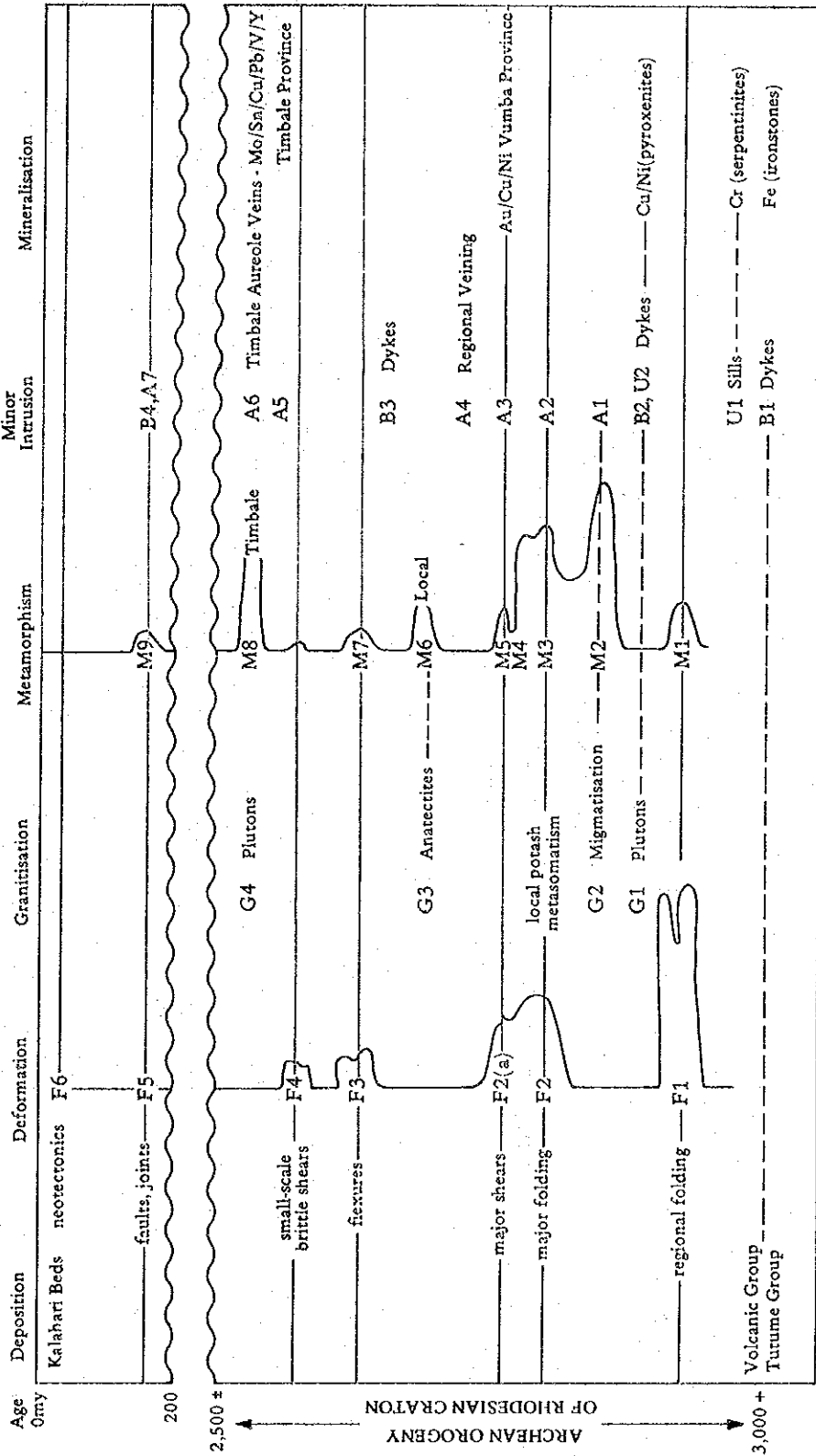


Fig. 9. Geological History (Litherland 1975)

In Fig. 9, and throughout this report, following symbols are used to denote geological events.

- S<sub>0</sub> — Bedding
- F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> etc. — First and second phases of deformation etc.
- S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> etc. — Schistosity surfaces produced by F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> etc.
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> etc. — Linear fabric produced by F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> etc.
- G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> etc. — Phases of the granite series
- M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> etc. — Metamorphic phases
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> etc. — Phases of minor acid intrusions
- B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> etc. — Phases of minor basic intrusions
- U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> — Phases of ultramafic intrusion.



りなる。

Lower Vumba Mafic 層は、角閃岩に珪長質変火山類、Ca-シリケートをはさむ。

Upper Vumba Felsic 層は、アルミナ質片岩、珪長質変火山岩類等よりなる。Upper Vumba Mafic 層は、角閃岩よりなる。

各層を構成する岩石は下記の通りである。

#### 1) 超塩基性岩類

本岩類中で最大の規模をもつものは、主蛇紋岩体 (Main Serpentinite) とよばれ、Vumba 片岩レリック中に特徴的な一連の小山脈を形成している。本岩体は北の Sekakan-gwe から南の Sechele にかけて湾曲して分布し、超塩基性岩活動の第 1 期 (U1) に属するシルと考えられている。岩質的には、カンラン石の蛇紋岩化、輝石の透角閃石化が普通に見られ、アンチゴライト、クリソタイル、透角閃石、緑泥石、磁鉄鉱、方解石等の鉱物の集合よりなる岩石である。

主蛇紋岩体に平行して、変輝岩よりなる 2 列の小山脈がその東側に調和的に配列している。岩石は塊状中粒で、暗緑灰色を呈し、節理の発達は著しいが、縞模様や構造運動を示すような組織は見られない。本岩はシルの形で進入し、その後変成作用を受けた輝岩と考えられ、主蛇紋岩体とは調和的である。

Toteng に見られる超塩基性岩は、上述岩体と見掛けは似ている。しかし、ここでは蛇紋岩岩脈として見られ、変輝岩、塊状中粒の変閃緑岩、粗粒の変閃緑岩等と平行して産するが、その境界は明瞭である。本岩は、Vumba の超塩基性岩と同様にツンカンラン岩、輝岩起源と考えられ、貫入方向は第 1 変形期 (F1) による片理面 ( $S_0/S_1$ ) とは斜交しており、F1 後の貫入を考えられる。

即ち、Toteng の超塩基性岩体は、第 2 変形期 (F2) の超塩基性貫入活動 (U2) によるものと考えられる。

Tshesebe 付近の小山を構成する超塩基性岩は、準片麻岩と Ntshhe 石英閃緑岩 (G3) 中に NE-SW 方向で貫入した大きな岩脈と考えられ、 $S_0/S_1$  に斜交している。

これら Toteng-Tshesebe 期 (U2) の超塩基性岩貫入活動は、第 2 期塩基性貫入岩相 (B2) の岩脈群に対比される。

その他、Vukwi Meta-arkose 層分布域北側の石英閃緑岩 (G2) 中に貫入した時期不明の小規模蛇紋岩体、Tutume Meta-arkose 層中の角閃岩中で暗緑色粗粒の蛇紋岩よりなる小山、Moshambale 花崗岩体付近で  $S_0/S_1$  を切り U2 に対比される変斑れい岩の小岩体などがある。

## ii) 塩基性岩類

Vumba片岩レリックで角閃岩は最も広く分布し、且つ次のような種々の岩相を示す。本岩は一般に小山を造らず、河川沿いによく露出する。(Apex.3)

A型—片状角閃岩：本岩はVumba全域に分布し、Myshaweブルトンの南北両側によく露出する。暗緑色～暗灰色を呈し、長石斑晶の見立たない中粒岩で著しい片理を持っている。その分布は特定の層準に限らない。

B型—斑点状角閃岩：風化して特徴的な褐色を呈する中～細粒岩でへき開が発達する。その分布は、Lower Vumba Felsic 層の火山岩類層に限られる。Shashe 川北部、Myshawe ブルトンの南側によく露出する。

C型—斑れい岩質角閃岩：塊状均質の中～粗粒岩で長石の斑晶が認められ、Main 蛇紋岩の下位の限られた層準にのみ存在する。

D型—網目状角閃岩：黒色板状の角閃石が網目状に発達する岩石である。塊状粗粒岩で方向性を持たない。Lower Vumba Felsic 層の上位の限られた層準にのみ分布する。

E型—玄武岩質角閃岩：塊状、細粒、均質で貝殻状断口を示し外観上細粒の変玄武岩に似る。D型角閃岩に密接に伴っている。

F型—変晶質角閃岩：片状組織を持ち角閃石変晶の発達する角閃岩である。このタイプはミグマタイト化地域で、Vumba片岩帯の周縁部にのみ見られる。

## iii) 火砕岩類

本岩の中でVukwi川沿いに見られるものは優白質で、ラミナを持つ細粒凝灰岩や集塊岩よりなる。他岩との境界は明瞭である。

礫は角礫～亜角礫の中～細粒の珩長岩で、基質は細粒優白質である。火砕岩起源であると推定されている。

凝灰岩は珩長質岩中で細かいラミナを伴い、凝灰質堆積岩と考えられる。

小山を造る火砕岩は見かけ上角閃岩に似るが角閃岩ではない。

本岩は塩基性の基質の中に優白質の長く伸びた礫を含み、緻密で非常にかたく、その起源は中性～塩基性のイグニブライト、または凝灰岩～熔岩と考えられる。

## iv) 珩長質岩類

Vumba Mixed Volcanic 層、Lower Felsic 層、Upper Felsic 層に挟在される優白質で、角閃石が平行に配列する岩石である。長石は緑れん石や絹雲母に変っている。

## v) 変堆積岩類

Vumba含鉄層岩：Vumba地区には典型的な層状鉄鋳層はなく、連続性の悪い鉄を含む岩層が小規模に見られるのみである。これは結晶質石灰岩を伴う。

雲母片岩：Lower Vumba Felsic 層，Upper Vumba Felsic 層の珩長質岩中に見られ，Shashe 川西方の小支流によく露出する。

石英，長石，白雲母を主成分鉱物とする。少量のシリマナイトを伴うことがある。

珩岩：Vumba片岩レリック中に2層準にわたって見られ，シリマナイト～カイヤナイト，白雲母を伴う白色の珩岩である。

石灰岩他：Vumba片岩レリック中にCa-シリケイトを伴う結晶質石灰岩が見られる。Ca-シリケイトとしては，透輝石，クリノゾサイト，透角閃石，アクチノライトなどが含まれる。

### (3) 花崗岩質岩類

本岩石は本地区の大部分を占めて分布し，年代，貫入型態，アルカリ比によって  $G_1$ ， $G_2$ ， $G_3$ ， $G_4$  に分類される。

#### i) プルトン ( $G_1$ )

これは本地区中央部にだ円状に分布する。地区内で一番古い花崗岩類で，モンゾナイト ( $G_{1m}$ ) とトーナライト ( $G_{1t}$ ) に分類される。

モンゾナイト ( $G_{1m}$ )：Kalakamate 一帯に分布する岩体で，Kalakamate モンゾニ岩とよばれる。岩石は塊状均質の中粒岩で長石，角閃石による線構造を伴っている。

今回の調査で実施した本岩体よりの試料石英モンゾニ岩 (S-54) の K-Ar 年代測定では，22.7 億年の値を得た。(Table 4, 5 Apex 3)

トーナライト ( $G_{1t}$ )：本岩は Myshawe プルトン，Shashe プルトン，Kalakamate プルトン，Sekamate プルトン，Sekakange プルトンなどのほか数個の小岩体として分布する。これらは Myshawe プルトンが北部で小山を作る以外，一般には小丘を作らない。岩石は均質で剝離性に豊み，縞模様，ゼノリス，貫入脈は殆んど認められない。

なお今回の地質調査や顕微鏡観察の結果， $G_1$  には上記  $G_{1m}$ ， $G_{1t}$  のほか，細粒～粗粒花崗岩も認められた。この花崗岩のうち Kalakamate 部落東方で，ごく微量のモリブデナイトを鉱染する細粒の黒雲母花崗岩 (S-55) があり，その完全分析の結果は Table 1 の通りである。

#### ii) 準片麻岩類 ( $G_2$ )

これは本地区の大半を含めて分布する岩石で，もともとの縞状あるいは層状の構造を残している。本岩は花崗岩質片麻岩 ( $G_{2g}$ ) とトーナライト質片麻岩 ( $G_{2t}$ ) に分けられる。

花崗岩質片麻岩 ( $G_{2g}$ )：Tutume Meta-arkose 層群を構成する主要な岩石で，花崗岩～石英モンゾニ岩の成分を持つミグマタイト質片麻岩である。代表的な岩石は灰色

Table 4. Chemical Analysis of Rock Samples

Sample No.	S-54	S-66	S-30	S-46	S-29	S-1	S-55		
Rock	Q-Monzonite	Biot Granite	Granite Gneiss	Tonalite Gneiss	Granite Gneiss	Amphibolite Schist	Granite		
	G <sub>1</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>2g</sub>	G <sub>2t</sub>	PG <sub>2t</sub>		G <sub>1m</sub>		
Location	Kalakamate	Vumba Hills	Nshakashokwe	Makaleng	Sebinanyane	Mosope	Kalakamate		
Chemical Composition	SiO <sub>2</sub>	63.39	66.51	67.20	67.73	71.13	47.26	76.05	
	TiO <sub>2</sub>	0.77	0.50	0.50	0.43	0.29	1.94	0.03	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.26	14.84	14.96	14.85	14.35	13.00	13.25	
	Fe <sub>2</sub> O	1.86	2.59	1.82	1.31	1.10	7.37	0.48	
	FeO	2.74	1.09	1.86	2.19	1.17	7.47	0.36	
	MnO	0.07	0.08	0.06	0.06	0.03	0.20	0.04	
	MgO	2.33	1.42	1.30	1.52	0.72	7.12	0.07	
	CaO	3.65	2.90	4.31	4.12	2.06	8.24	0.47	
	Na <sub>2</sub> O	3.45	4.29	4.39	4.05	3.95	3.19	4.87	
	K <sub>2</sub> O	5.00	2.98	1.17	1.40	4.06	0.70	4.30	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.20	0.13	0.14	0.10	0.22	0.02	
	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.82	1.06	0.47	0.48	0.29	0.82	0.11	
	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.16	0.18	0.10	0.12	0.13	0.44	0.14	
	Cu (ppm)	18	44	4	64	5	54	15	
	Pb (ppm)	14	14	5	15	10	13	10	
	Zn (ppm)	43	56	11	43	12	46	26	
Ni (ppm)	20	35	6	21	8	42	16		
Mo (ppm)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3		
Total	98.69	98.64	98.27	98.40	99.38	97.97	100.35		
Norm Composition	Q		14.0	26.0	26.6	27.3	27.1	0.8	27.7
	F	Or	29.5	17.8	6.7	8.4	23.9	2.3	25.6
		ab	29.4	36.2	37.2	34.1	33.6	26.7	41.4
		an	8.6	12.5	17.8	18.4	9.5	19.5	1.4
	di	wo	3.6	0.7	1.2	0.5	—	8.4	0.2
		en	2.4	0.4	0.8	0.3	—	5.9	0.2
		fo	0.9	—	0.3	0.1	—	1.7	—
	hy	en	3.4	3.1	2.4	3.5	1.8	11.8	—
		fo	1.3	—	1.1	2.4	0.7	3.3	—
	il		1.5	0.9	0.9	1.5	0.6	3.6	0.6
	mt		2.8	2.3	2.6	1.9	1.6	10.6	0.5
	hm		—	1.0	—	—	—	—	0.2
ap		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	—	
Total	97.7	101.2	97.9	98.7	99.1	95.1	97.8		
D. I.	72.9	80.0	70.4	71.1	84.6	29.8	94.7		
Dating (m.y.)	2,270 ± 114	2,020 ± 101	1,800 ± 90	1,810 ± 91	1,860 ± 93				

中粒の黒雲母花崗岩質岩で、小山を作ることが多い。この他、角閃石をより多く含む片麻岩も見られる。一部で変晶を持つ片麻岩があり、これは Marapong 変晶片麻岩とよばれる。今回の調査で花崗片麻岩、変晶花崗片麻岩より試料 (S-30, S-29) を採り、K-Ar 年代測定を行った結果、それぞれ 18 億年、18.6 億年の値を得た。

(Table 4, 5, Apex3)

トーナライト質片麻岩 ( $G_2t$ ): これは本地区中央部から東部にかけて広く分布し、Timbale 地区を除き小山を形成しない。

岩石は斜長石の顕著な中～粗粒岩である。Vumba 片岩レリック東部には角閃石に富む岩相も見られる。

なお、今回の調査で Makaleng におけるトーナライト質片麻岩 (S-46) の年代測定の結果、18.1 億年の値を得た。(Table 4, 5 Apex3)

### iii) アナテクタイト ( $G_3$ )

これは本地区東部 Ntshe 川沿いに広く分布し Ntshe トーナライト ( $G_3t$ ) とよばれている。トーナライト片麻岩 ( $G_2t$ ) に取りかこまれ、さらに Timbale 花崗岩 ( $G_4$ ) に切られている。

岩石は淡青色、中～粗粒岩で、石英、斜長石、雲母を主成分鉱物とする。

### iv) 花崗岩類 ( $G_4$ )

これは地区内で最も新しい花崗岩で、周囲の岩石とは明瞭な境界をもち変成作用も殆んど認められない貫入岩である。

これには Timbale, Moshambale, Dombashaba の岩体、Sechele, Central Vumba の岩株などがある。

Timbale 花崗岩はいろいろの点で他のものと異なるが  $S_2$  や  $G_3$  トーナライトを切るという意味で同期の花崗岩である。

これら  $G_4$  花崗岩の貫入形態は  $G_3$  アナテクタイトとことなり、明らかに地質層序に支配されていない。

Moshambale 花崗岩: これは Tutume-Sebina 道路際にあり、中心部は粗粒優白質斑状花崗岩よりなる。

Dombashaba 花崗岩: この岩体は小山を形成して  $G_1$  プルトンに貫入している。中心部は粗粒でピンクのカリ長石を持つ。周辺部は中粒で、ペグマタイト、粗粒花崗岩、黒雲母に富む部分などが縞をなす。

Sechele 岩株: これは中～粗粒の石英モンゾニ岩よりなり、Vumba 片岩レリックに貫入している。

Central Vumba岩株：これは粗粒の石英モンソニ岩よりなり、一般に変成作用を受けている。またこれは以前は金硫化物の鉍化作用に関係があると考えられていた。

本岩のK-Ar年代測定結果では20.2億年の値が得られた。

なお、この試料S-66は強い絹雲母化、緑れん石化と弱い緑泥石化を受けている。  
(Table 4, 5, Apex 3)

Timbale花崗岩：G<sub>1</sub>花崗岩中で最大の規模を持ち地表では約100km<sup>2</sup>の分布を示す。その主体は中～粗粒で黒雲母の少ない石英モンソニ岩である。この岩体は広く周辺に石英脈、ペグマタイト、アブライト脈を伴っている。これがTimbaleの稀元素鉍物鉍化に関係すると考えられている。

#### (4) 岩 脈

本地区内には多数の岩脈類が見られ、塩基性岩脈は4相に、酸性岩脈は7相に分けられる。

##### i) 塩基性岩脈

B<sub>1</sub> 岩脈：地区内最も早期の貫入岩で、Vumba片岩レリックに貫入する細粒の変玄武岩である。

B<sub>2</sub> 岩脈：片麻岩領域においてS<sub>0</sub>/S<sub>1</sub>に斜交して貫入する小規模岩脈でF<sub>2</sub>により褶曲している。

B<sub>3</sub> 変粗粒玄武岩：北部に見られN70°Eの方向を持つ大きな岩脈群である。傾斜は垂直で幅は数mから数100mにおよぶものもある。

B<sub>4</sub> 岩脈：カルー晩期～カルー期後の粗粒玄武岩岩脈群でN70°WとN50°Eの2つの系統がある。その他に粗粒玄武岩に近い組成を持つシート状の岩体が広く分布している。

##### ii) 酸性岩脈

A<sub>1</sub> : G<sub>2</sub>花崗岩の活動に関係したもので、石英、長石よりなる。

A<sub>2</sub> : F<sub>2</sub>に関係した石英長石脈である。

A<sub>3</sub> : 金・硫化物鉍化に関係する岩脈である。

A<sub>4</sub> : うすい赤～ピンク系の花崗岩～ペグマタイトを主とする岩脈で岩相変化に富む。  
N80°W, E-W方向に貫入する。

A<sub>5</sub> : F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>を切る岩脈でF<sub>3</sub>変形を受けたところのみに見られる。

A<sub>6</sub> : Timbale花崗岩に関係したものである。

A<sub>7</sub> : F<sub>5</sub>変形に関係した石英や珪化脈である。

この他本地区南部には小規模の閃緑岩、花崗岩、花崗閃緑岩の岩脈が見られる。