

ISBN 7-309-04222-2

《中国大百科全书》编辑部

# 音乐与智力基础调查报告

李惟宁 著

北京 人民音乐出版社

音乐与智力基础调查报告

李惟宁 著



マダガスカル共和国南部地域

資源開発協力基礎調査報告書

総括報告書

27656

JICA LIBRARY



1119700[1]

平成6年3月

国際協力事業団

金属鉱業事業団

国際協力事業団

27656

## はしがき

日本国政府はマダガスカル共和国政府の要請に応え、同国の南部地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は平成3年度から平成5年度までの3ケ年にわたって実施され、マダガスカル共和国政府機関の協力を得て、予定通り完了した。本報告書は3ケ年の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに、本調査の実施にあたって、御協力をいただいたマダガスカル共和国政府機関ならびに外務省、通商産業省、在マダガスカル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ものである。

平成6年3月

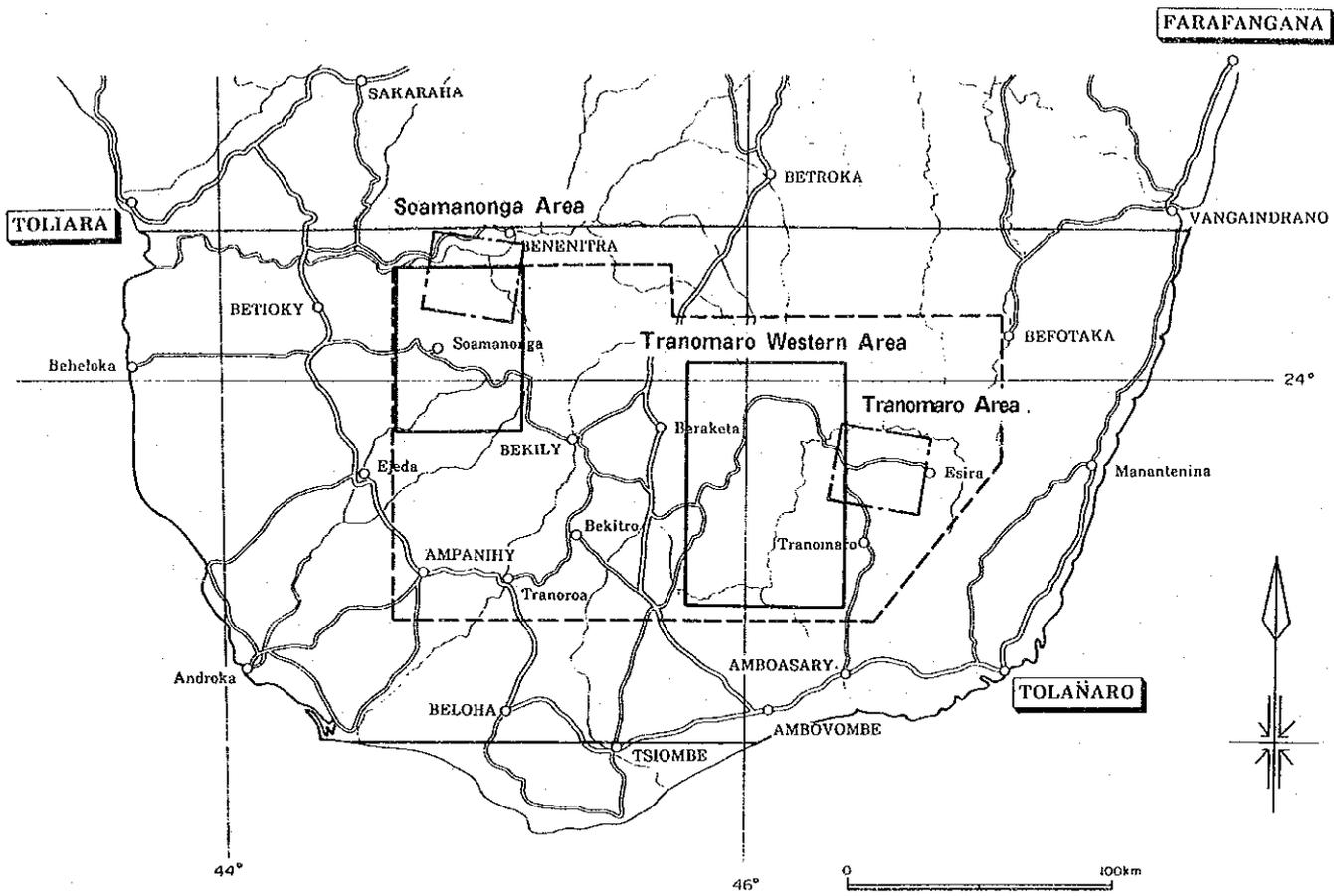
国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

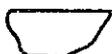
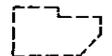
金属鉱業事業団

理事長 石 川 丘





**LEGEND**

-  Survey Area of Phase I
-  Survey Area of Phase II
-  Survey Area of Phase III
-  Model Areas for LANDSAT Data Analysis

**INDEX MAP**

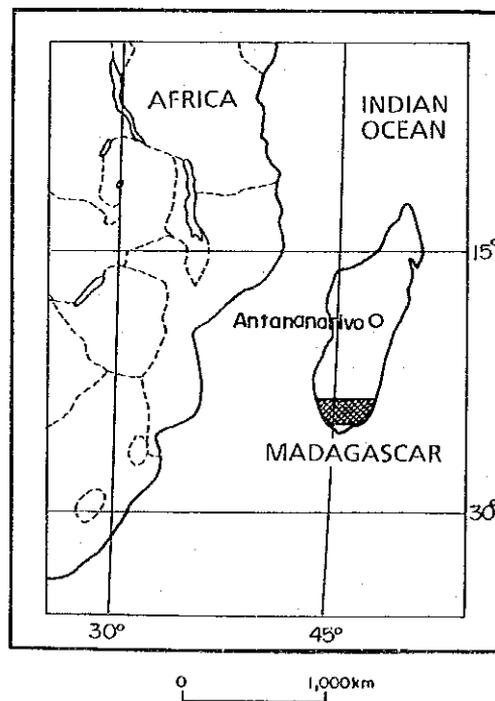


Fig. I-1 Location Map of Survey Area



## 要 約

本報告書は、マダガスカル共和国南部地域において、1991年より1993年に至る3年間にわたって実施された資源開発協力基礎調査の結果をとりまとめたものである。本調査の目的は、本地域の地質状況及び鉱床賦存状況を解明し、鉱物資源賦存の可能性を検討することである。

各年次の調査内容は次のとおりである。

第1年次：既存資料収集検討

衛星画像判読 : 面積 66,300km<sup>2</sup>

第2年次：衛星データスペクトル解析：面積 30,000km<sup>2</sup>

第3年次：現地地質チェック調査：Soamanonga地区 : 2,000km<sup>2</sup>

Tranomaro西部地区：5,000km<sup>2</sup>

上記の調査・解析結果を要約すると次のとおりである。

### (1) 衛星画像

衛星画像は、広域的な地質構造をよく反映しており、概査段階のみではなく精査段階でも極めて有効な手段となる。しかし、岩質の判定には、スペクトル特性が地表の植生の影響を強く受けるので、スペクトル解析、現地チェック調査などの補正手段又は補足手段が必要である。

### (2) Soamanonga地区

Soamanonga地区には、先カンブリア紀最上位のVohibory系(1,890Ma)の片麻岩が分布し、本地区の北西部には、二疊紀末期～ジュラ紀中期のKaroo系の陸成堆積岩が分布する。本地区北部のVarahina付近には、片麻岩及びKaroo系中に金・銀・銅鉱床が賦存する。本鉱床は、石英脈及びその周辺の脈状～鉱染状鉱床で、白亜紀のNNE-SW系構造運動に起因した鉱床であろうと推定される。本鉱床の鉱石部は、10cm×数10cm程度のパッチ状で、小規模断片的ではあるが、高品位部は、Cu 15%、Au 3 g/t、Ag 120 g/t程度を示す。

### (3) Tranomaro西部地区

Tranomaro西部地区には先カンブリア紀最下位のAndroyen系(3,000Ma)の片麻岩が分布する。地区中央部には白亜紀火山岩類が造る顕著な環状陥没構造が発達する。本火山岩類は、主とし

て玄武岩溶岩、流紋岩溶岩及び岩脈からなり、一部でその貫入相と思われる細粒花崗岩が分布する。本火成活動は、安定大陸地殻中に生じたホットスポットに関連する活動と考えられ、火成活動の様式と鉱化作用との関係が興味深い。

#### (4) 鉱物資源

マダガスカル南部地域には、貴石類、非金属資源、金属資源など多様な鉱物資源の賦存が期待される。本地域の鉱物資源は、そのほとんどが先カンブリア紀の片麻岩中に賦存するが、生成年代の異なる鉱床が混在している。鉱床生成の年代は、片麻岩堆積時から先カンブリア紀の造山運動期、カンブリア紀の火成活動期、白亜紀の構造運動・火山活動期、第三紀の構造運動・火山活動期、第四紀の浸食・漂砂作用などの極めて長期にわたると考えられる。

#### (5) 今後の課題

- 1) Varahina地区の金・銀・銅鉱床は、小規模、断続的で、規模、まとまりに問題があるが、一部に極めて高品位な部分があるので、銅鉱徴が認められる周辺地区を含めて基礎的な調査を積み重ねて行くことが望ましい。
- 2) 本地域の鉱物資源は、多様な鉱種、成因、生成年代を有するので、各々の品質、規模、賦存条件、開発条件、市場条件などの検討のほか、各鉱床を生成年代、成因の上から分類・検討することにより、将来の優先プロジェクトを選定することが望ましい。

# 目 次

はしがき

調査位置図

要 約

## 第 I 部 総 論

第 1 章 調査概要 .....	1
1-1 調査地域及び調査目的 .....	1
1-2 調査方法及び調査量 .....	1
1-3 調査期間及び調査員 .....	1
第 2 章 従来 of 調査 .....	4
第 3 章 マダガスカル of 地質概要 .....	5
第 4 章 調査地域 of 状況 .....	6
4-1 交 通 .....	6
4-2 調査環境 .....	6
第 5 章 結論及び将来への提言 .....	8
5-1 結 論 .....	8
5-2 将来への提言 .....	9

## 第II部 各 論

第1章 既存資料コンパイル .....	10
1-1 一般地質 .....	10
1-2 鉱床概要 .....	11
第2章 衛星画像判読 .....	14
2-1 判読方法 .....	14
2-2 判読単元 .....	14
2-3 地質構造 .....	18
第3章 衛星画像スペクトル解析 .....	19
3-1 解析方法 .....	19
3-2 モデル地区の解析結果 .....	19
3-3 画像判読結果 .....	22
第4章 地質チェック調査 .....	24
4-1 Soamanonga地区 .....	24
4-2 Tranomaro西部地区 .....	28
第5章 総合検討 .....	32
5-1 衛星画像と地表の植生状況 .....	32
5-2 新期堆積岩類と基盤岩との関係 .....	33
5-3 片麻岩類の岩相 .....	33
5-4 Tranomaro西部地区の環状構造 .....	34
5-5 マダガスカル島の広域地質構造 .....	34
5-6 鉱物資源 .....	35

### 第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結 論 .....	37
第2章 将来への提言 .....	39
参考文献 .....	R-1

## LIST OF FIGURES

- Fig. I -1 Location Map of Survey Area
- Fig. I -2 Flow Chart of Survey Progress
- Fig. I -3 Geological Map of Southern Part of Madagascar
- 
- Fig. II -2-1 Index of LANDSAT Images
- Fig. II -2-2 Mosaic of LANDSAT Images
- Fig. II -2-3 Photointerpretation of LANDSAT Image
- 
- Fig. II -3-1 Topographic Map of Soamanonga Area
- Fig. II -3-2 Geological Map of Soamanonga Area
- Fig. II -3-3 False Color Image of Soamanonga Area
- (1) Band 1 • 4 • 5 = B • G • R
  - (2) Band 1 • 5 • 7 = B • G • R
  - (3) Band 4 • 5 • 7 = B • G • R
- Fig. II -3-4 Pseudo Color Image of Soamanonga Area
- (1) Band Ratio 3/2
  - (2) Band Ratio 4/3
  - (3) Band Ratio 5/7
  - (4) DPCA
- Fig. II -3-5 Interpretation Map of Soamanonga Area
- 
- Fig. II -3-6 Topographic Map of Tranomaro Area
- Fig. II -3-7 Geological Map of Tranomaro Area
- Fig. II -3-8 False Color Image of Tranomaro Area
- (1) Band 1 • 4 • 5 = B • G • R
  - (2) Band 1 • 5 • 7 = B • G • R
  - (3) Band 4 • 5 • 7 = B • G • R

Fig. II-3-9 Pseudo Color Image of Tranomaro Area

(1) Band Ratio 3/2

(2) Band Ratio 4/3

(3) Band Ratio 5/7

(4) DPCA

Fig. II-3-10 Interpretation Map of Tranomaro Area

Fig. II-3-11 Mosaic of False Color Images, Band 4 • 5 • 7 = B • G • R

Fig. II-3-12 Mosaic of Pseudo Color Images, Band Ratio 5/7

Fig. II-3-13 Geologic Interpretation Map of LANDSAT Image

Fig. II-4-1 Geologic Column of Survey Area

Fig. II-4-2 Geological Map of the Soamanonga Area (1:250,000)

Fig. II-4-3 Geological Sketch of Copper Indication of Vohibory Area

Fig. II-4-4 Geological Map of the Toranomaro Western Area (1:250,000)

Fig. II-4-5 Geochemical Diagram of Rock Samples

#### LIST OF TABLES

Table I-1 Stratigraphy of Madagascar Island

Table II-2-1 List of Used LANDSAT Data

Table II-2-2 List of Geological Units by Photointerpretation

Table II-4-1 Analysis Results of Whole Rock Samples



# 第 I 部 総 論



## 第1章 調査概要

### 1-1 調査地域及び調査目的

調査地域は、マダガスカル南部の南緯23° 27' と南緯25° 22' に挟まれる面積66,300km<sup>2</sup>の範囲である (Fig. I-1)。

調査目的は、マダガスカル南部地域の地質状況及び鉱床賦存状況を解明し、鉱物資源賦存の可能性を検討すること、相手国機関に対して技術移転を図ることにある。

### 1-2 調査方法及び調査量

調査は、3年間にわたって実施された。各年次の調査方法及び調査量をFig. I-2に示す。

第1年次調査は、資源関連資料のコンパイルと衛星画像判読を行った。第2年次は、衛星画像データのスペクトル解析を実施した。第3年次は、衛星画像判読及びスペクトル解析により抽出された2地区、Soamanonga地区 面積2,000km<sup>2</sup>及びTranomaro西部地区 面積5,000km<sup>2</sup>について、踏査長280kmの地質チェック現地調査を実施した。

### 1-3 調査期間及び調査員

#### (1) 調査期間

各年次の調査期間を次表に示す。

	1991						1992				1993												1994	
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	~12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
Existing Data Compilation	7/26 12/31																							
LANDSAT TM Image Interpretation	7/26 12/31																							
LANDSAT TM Image Spectral Analysis											1/28 2/20													
Field Check Survey											9/26 11/11													
Indor Test and Preparation of Report	11/6						2/20				2/21 3/1												11/12 2/25	

(2) 調査団

本調査に係った調査団員は次のとおりである。

1) 調査計画及び折衝

	日 本 側		マダガスカル共和国側	
	氏 名	所 属	氏 名	所 属
第 1 年 次	山口 洋一	金属鉱業事業団	D. Andriambololona	動力鉱山省
	小山 恭一	金属鉱業事業団	J. Rasoanaivo	動力鉱山省鉱山地質局
	朝日 弘	通 産 省	A. Fitahiantsoa	動力鉱山省鉱山地質局
	中野 則夫	外 務 省	R. Andriamanantena	動力鉱山省鉱山地質局
	両角 春寿	金属鉱業事業団	V. Rakotonomenjanahary	動力鉱山省鉱山地質局
	岡本 信行	国際協力事業団		
	山本 恭久	金属鉱業事業団		
第 3 年 次	増田 信行	金属鉱業事業団	J. R. Ratsimbazafy	動力鉱山省鉱山地質局

2) 調査員

	日 本 側		マダガスカル共和国側	
	氏 名	所 属	氏 名	所 属
第 1 年 次	福元勝治 (総括)	三井金属资源開発株式会社		
	河野 愛 (画像判読)	三井金属资源開発株式会社		
	柴田精久 (資料解析)	三井金属资源開発株式会社		
	家城康二 (画像判読)	三井金属资源開発株式会社		
	阿達一宏 (画像判読)	三井金属资源開発株式会社		
	原田陽夫 (資料解析)	三井金属资源開発株式会社		
第 2 年 次	河野 愛 (総括)	三井金属资源開発株式会社		
	家城康二 (画像解析)	三井金属资源開発株式会社		
	阿達一宏 (画像解析)	三井金属资源開発株式会社		
	渡辺英久 (画像解析)	三井金属资源開発株式会社		
第 3 年 次	中村仁一 (総括)	三井金属资源開発株式会社	J. R. Ratsimbazafy (全般)	動力鉱山省鉱山地質局
	原田春夫 (地質調査)	三井金属资源開発株式会社	J. Andrianarimanana (全般)	動力鉱山省鉱山地質局
			R. Anduamanantena (地質)	動力鉱山省鉱山地質局



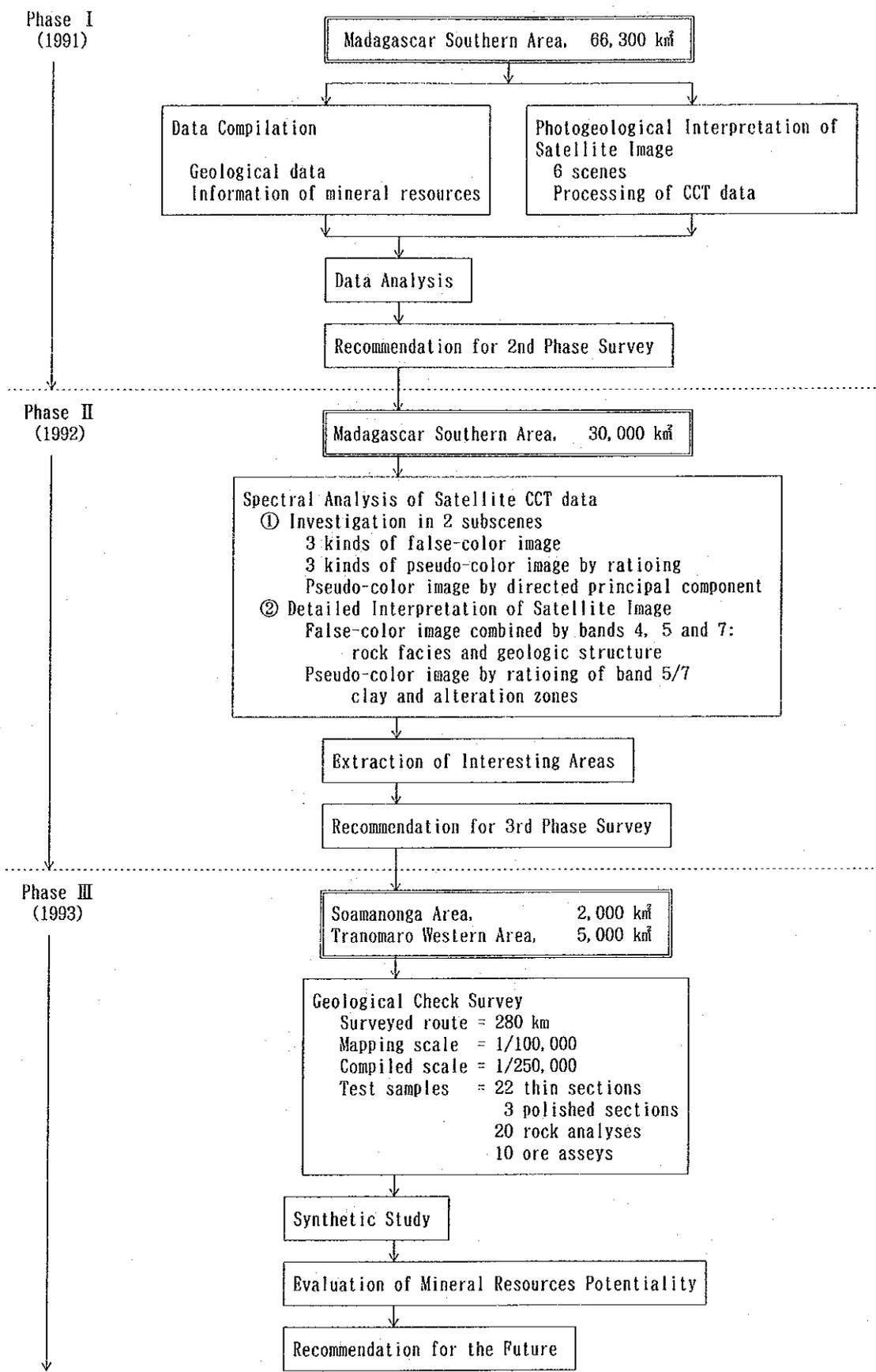


Fig. I-2 Flow Chart of Survey Progress



## 第2章 従来の調査

マダガスカル南部地域については、1940年代から1950年代にかけて、本格的な地質図幅調査が行われた。その結果は、H. Besairieにより、50万分の1地質図(1963)及び100万分の1地質図(1964)にまとめられている。マダガスカル全島の地質構造についての総括的な記述としては、R. Furon(1963)のGeology of Africa, H. Besaire et M. Collignon(1972)のGeologie de Madagascarがある。マダガスカルの鉱床・鉱徴については、J. Behier(1960)及びH. Besairie(1966)による概要報告がある。

日本による資源調査としては、海外技術協力事業団(1964)によるマダガスカル鉱物資源基礎調査、金属鉱業事業団(1974)によるクロム資源を対象としたマダガスカル中部地域海外地質構造調査がある。

### 第3章 マダガスカル地質概要

マダガスカル島の基盤は、ほぼ30億年以前に形成された先カンブリア紀の変成岩類—主として片麻岩類である。本島の変成岩類は、アフリカ大陸のコンゴ剛塊の東縁部に位置し、先カンブリア紀末～古生代初頭の汎アフリカ (Pan African) 造山運動の影響を受けたモザンビーク (Mozambique) 造山帯の一部を構成する。マダガスカル島では、この時代に花崗岩、閃長岩、斑れい岩などが片麻岩中に貫入した。

マダガスカル島の西部地帯は、古生代末期から中生代初期にかけて造陸的環境となり、アフリカ大陸のカルー系に対比される陸成層が堆積した。中生代中期～後期さらに第三紀にかけては海進が進行し海成層が堆積した。中生代後期には、島の東西両側に地溝帯が発達し、地溝帯に沿って火山活動が活発となり、玄武岩及び流紋岩が噴出した。中生代末にはアフリカ大陸からの分離が終り、マダガスカル島は現在の姿を形成したが、第三紀にも玄武岩及び流紋岩の火山活動が起った。これらの火山活動は主として地溝帯に沿っているが、一部では安定地塊である片麻岩中にスポット的に活動した。

H. Besairie (1963) 及び H. Besairie et M. Collignon (1972) によるマダガスカル島の地質層序の要約を Tab. I-1 に示す。H. Besairie (1963) 編集によるマダガスカル南部の地質コンパイル図を Fig. I-3 に示す。

Table I-1 Stratigraphy of Madagascar Island

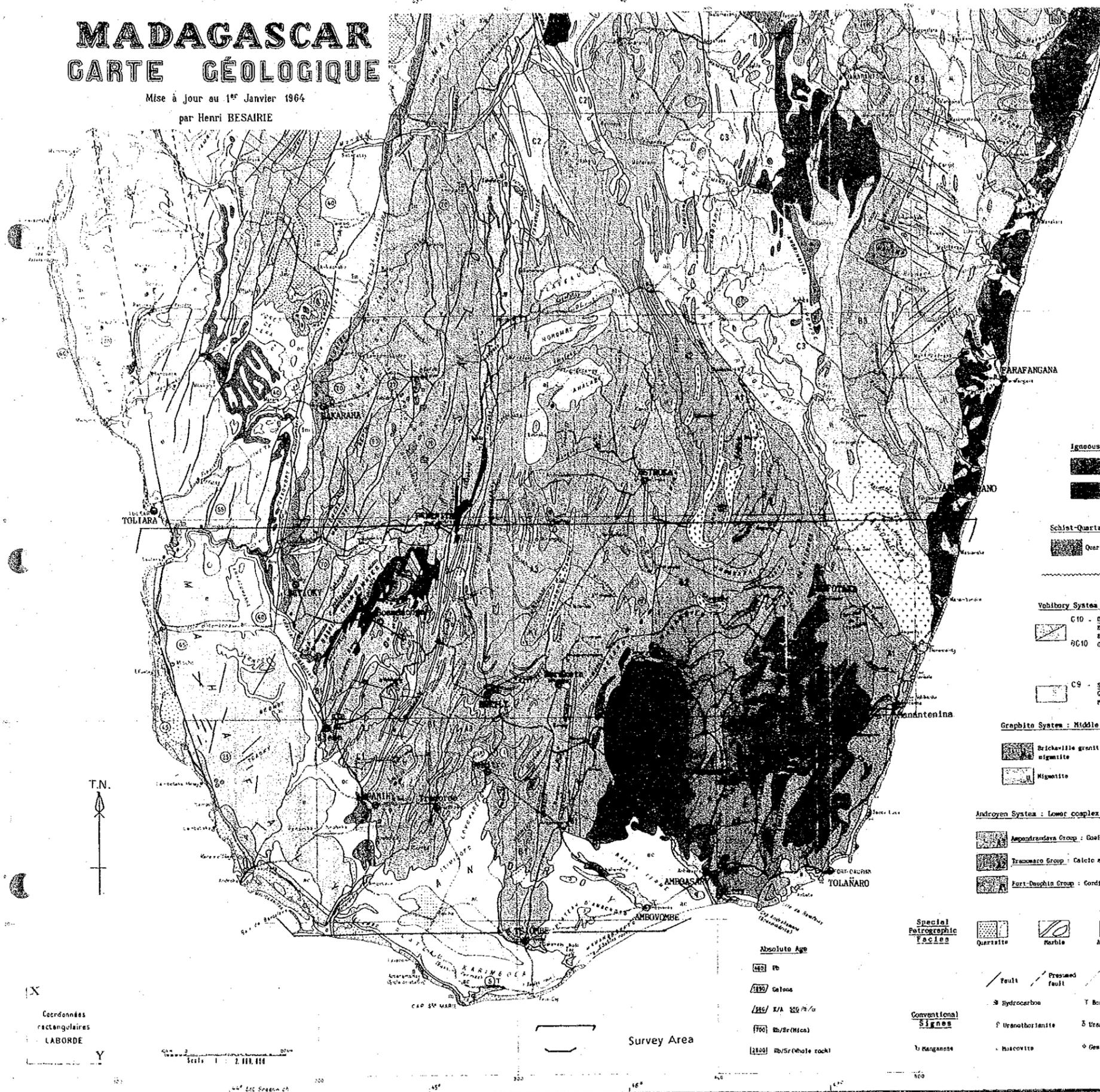
Time (Ma)	Era	System (Igneous Activity)	Rock Facies	Ore Deposits	Tectonics	Dis. Area			
1.6	Cenozoic	Holocene-Pleistocene Volcanic Rocks	Sand, Mud Basalt, Rhyolite	Placer (Monazite, Ilmenite, Zircon) Kaolinite, Lignite, Bilsand		E, W, S			
65		Neogene-Paleogene	Limestone, Marl	Limestone		W			
250	Mesozoic	Cretaceous Volcanic Rocks	Marl, Sandstone Basalt, Rhyolite		Rift System Tectonics	W			
		Jurassic	Marl, Limestone	Limestone		W			
		Karoo System — Isalo Group (Permian-Jurassic) — Sakamena Group Sakoa Group	Sandstone, Shale Shale, Marl Shale, Sandstone, Tillite	Bituminous sand Coal		W			
570	Paleozoic	Cambrian Intrusive Rocks	Granite, Syenite, Gabbro Charnockite, Pegmatite	Quartz, Beryle, Gernet Columbite-Fantalite U, Th, Be, Li	Pan African Orogeny	C, W			
							Unconformity		
								Vohibory System (1900Ma)	Ni, Cr, Fe, Barite, Asbest, Chrysotile, Cu, Zn, Au
Androyen System (3000Ma)	U, Th, Phlogopite, Al, Sn		C-W, S E, C						
2500	Archaean								

C: Central, W=Western, E=Eastern, S=Southern

# MADAGASCAR CARTE GÉOLOGIQUE

Mise à jour au 1<sup>er</sup> Janvier 1964

par Henri BESAIKIE



## LEGEND

Alluvium	Fluvial	Eluvial white sand	Mangrove mud
Clavier Quaternary	Carapace sand	Appareils old dune	Volcanic Rocks Pliocene and Pliocene
Plio-Pliocene lacustrine sediment	Pliocene continental sediment	Lat-clitic clay	Rhyolite, Trachyte
Basalt, Labradorite	Ankarite	<b>Crataceous Effusive Rocks</b>	
Rhyolite, Dellenite, Trachyte	Basalt, Labradorite, Schistivite	Dolerite and basic dikes	Granite, Syenite
Nepheline syenite	Phonolite	Gabbro	Peridotite Pyroxenite
Ultrabasic	<b>Continental Facies</b>		
Miocene	Oligocene	Eocene	Danian
Upper Cretaceous	Middle and lower Cretaceous	Upper Jurassic	Middle Jurassic
Upper Liass	Lower Triassic Upper Permian	Upper Cretaceous	Middle and lower Cretaceous
Upper Jurassic facies Isalo III	Isalo II	Isalo I	Schœnera
Sakoa	<b>Continental Facies</b>		
Unconformity	<b>Unconformity</b>		

Granite 550MA	Granite and migmatite 550MA	Syenite	Gabbro	Peridotite Pyroxenite
Antongil Granite with basic inclusions 710MA	Anosyensis Granite with charnockite 760-900MA	Vavato Granite 100-1100MA	Amphibole syenite	Ultrabasic
<b>Schist-Quartzite-Limestone Series (Proterozoic)</b>				
Quartzite	Schist, Mica schist	Marble		

**Major Orogenic Unconformity 2600MA**

**Vohibory System : Upper complex, mainly amphibole complex of old Proterozoic**

C10 - Garsina Group: Epidote amphibolite, Epidote, Gneiss, Grandiorite	C8 - Antongil Group: Epidote migmatite	C3 - Ankaropy Group: Gneiss, Amphibolite, Marble, M3 Migmatite
C1010 - Garsina Group: Epidote, Gneiss, Grandiorite	C7 - Ankaropy Group: Feldspathic mica schist	C2 - Malakilite Group: Mica schist, Marble, Quartzite
C9 - Saabirano Group: Gneiss, Quartzite, Marble	C6 - Nevelanana Group: Amphibolite, Green schist, Magnetite quartzite, Gneiss	C1 - Vohibory Group: Leptinite, Amphibole gneiss, Amphibolite, Marble
C5 - Beforona Group: Amphibole migmatite, Amphibolite	C4 - Nevelanana Group: Mica schist, Gneiss, Green schist, Migmatite	

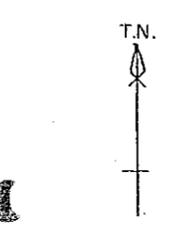
**Graphite System : Middle complex (migmatitic-gneissic)**

Brickville granitic migmatite	B4 - Andriha Group: Migmatite and Gneiss without graphite
Migmatite	B3 - Ankaropy Group: Mica schist and Gneiss with graphite
	B2 - Nevelanana Group: Gneiss and Migmatite with graphite
	B1 - Ankaropy Group: Leptinite with graphite

**Androyen System : Lower complex (migmatitic-leptinitic)**

Ampandravana Group: Gneiss, Leptinite, Pyroxenite, Marble, Charnockite	Tranozano Group: Calcic and magnesian paragneiss, Metarhyolite, Pyroxenite, Marble, Leptinite
Fort-Dauphin Group: Cordierite leptinite	

Quartzite	Marble	Amphibolite	Phlogopite Pyroxenite	Graphite	Oolitic migmatite	Charnockite	Bauxite	Muscovite	Cyanite	Garnet	Sillimanite	Cordierite							
Fault	Presumed fault	Strike	Hot spring	Spring water	Cave	Lignite	Coal	Fossil	Manganese	Hydrocarbon	Boring	Gold	Copper	Lead	Nickel	Uranium	Platinum	Columbite	Opium
Uranothorianite	Trastuz	Titanium	Beryl	Cassiterite	Corundum	Quartz	Philoposite	Saline soil	Manganese	Pyrochlore	Kaolinite	Bentonite							



Coordonnées rectangulaires LABORDE

**Absolute Age**  
 420 Pb  
 1130 Galena  
 126/ K/A 550 Pb/Po  
 790 Rb/Sr (Mica)  
 1200 Rb/Sr (whole rock)

**Conventional Signs**

Survey Area

Fig. 1-3 Geological Map of Southern Part of Madagascar

Imprimé par le Service Géologique de Madagascar, Tananarive  
 Carte Géologique de Madagascar, Feuille du Sud  
 Échelle 1:200,000





## 第4章 調査地域の状況

### 4-1 交通

調査地に至るには、調査地域の北西端に位置するToliara市または南東端に位置するTolanaro市を経由する。首都AntananarivoからToliara、Tolanaro両市へは航空便週5便がある。道路もあるが、距離約1,000kmで2日間の日程となる。本地域の道路は、極めて劣悪で、乾期でも4WD車が必要であり、雨期には走行困難となる。

### 4-2 調査環境

#### (1) 一般状況

本地域は未開発の後進地域であり、Toliara市、Tolanaro市など一部の大都市を除けば、道路事情、衛生事情、生活環境などは劣悪である。住民の生活は原始的な自給自足にたよっている。現地には宿泊可能な宿舎はなく、資器材、食料、飲料水の調達は難しく、現地調査には4WDのキャンピングカーが必要である。

#### (2) 地形及び水系

Soamanonga地区を含む本地域西部は、比較的なだらかな高原状地形を呈し、NNE系及びNW系の水系が顕著である。Toranomaro西部地区を含む本地域東部は、デコボコの多い山岳地形を呈し、NS系及びEW系の水系が発達する。本地域中央部は、なだらかな起伏を有する高原状の地形を呈する。

マダガスカル島は、その地形上、東部海岸平野地帯、中央高原地帯及び西部海岸平野地帯に大別される。東部海岸平野地帯は、海岸線に沿ってNNE-SW方向に延びる狭い低地帯である。中央高原地帯は、海拔ほぼ800~1,500mを示し、島の過半を占める。東側は急崖で、西方へは徐々に高度を減ずる。西部海岸平野地帯は、中央高原から漸移する広大な丘陵帯~海岸平野である。

### (3) 気候及び植生

マダガスカル島の気候は、4月～10月の乾期と11月～3月の雨期に大別される。雨期には、南東貿易風のほか北東季節風の影響が強く高温多湿であり、その上、サイクロンの被害が加わる。マダガスカル島は南回帰線上に位置するため、年間を通じて温暖であるが、西部海岸地帯の夏期は乾燥し酷暑となる。

年間降雨量は東部海岸平野で3,000mmを越え、中央高原では1,000～2,000mm、西部海岸平野では500mm以下となる。植生は、東岸が熱帯降雨林、中央高原は草原や低木林、西岸はサバンナ、南西部の乾燥地帯は独特な有棘植物で特徴付けられる。

## 第5章 結論及び提言

### 5-1 結論

#### (1) 衛星画像

衛星画像は、広域的な地質構造を極めてよく反映する。しかし、岩質の判読には、スペクトル特性が地表の植生の影響を強く受けるので、何らかの補正手段が必要である。

#### (2) Soamanonga地区

Soamanonga地区には、先カンブリア紀最上位のVohibory系 (1,890Ma)の片麻岩が分布し、本地区の北西部には、二畳紀末期～ジュラ紀中期のKaroo系の陸成堆積岩が分布する。本地区北部のVarahina付近には、片麻岩及びKaroo系中に金・銀・銅鉱床が賦存する。本鉱床は、石英脈及びその周辺の脈状～鉱染状鉱床で、白亜紀のNNE-SW系構造運動に起因した鉱床であろうと推定される。本鉱床の鉱石部は10cm×数10cm程度のパッチ状で、高品位部は、Cu15%、Au 3 g/t、Ag 120 g/t程度を示す。

#### (3) Tranomaro西部地区

Tranomaro西部地区には先カンブリア紀最下位のAndroyen系 (3,000Ma)の片麻岩が分布する。地区中央部には白亜紀火山岩類が造る顕著な環状陥没構造が発達する。本火山岩類は、主として玄武岩溶岩、流紋岩溶岩及び岩脈からなり、一部でその貫入相と思われる細粒花崗岩が分布する。本火成活動は、安定大陸地殻中に生じたホットスポットに関連する活動と考えられ、火成活動の様式と鉱化作用との関係が興味深い。

#### (4) 鉱物資源

マダガスカル南部地域には、貴石類、非金属資源、金属資源など多様な鉱物資源の賦存が期待される。本地域の鉱物資源は、そのほとんどが先カンブリア紀の片麻岩中に賦存するが、生成年代の異なる鉱床が混在している。鉱床生成の時代は、片麻岩堆積時から先カンブリア紀の造山運動期、カンブリア紀の火成活動期、白亜紀の構造運動・火山活動期、第四紀の風化・浸食・漂砂作用など極めて長期にわたると考えられる。

## 5-2 将来への提言

(1) Varahina地区の金・銀・銅鉱床は、小規模、断続的で、規模、まとまりに問題があるが、一部に極めて高品位な部分があるので、銅鉱徴が認められる周辺地区を含めて基礎的な調査を積み重ねて行くことが望ましい。

(2) 本地域の鉱物資源は、多様な鉱種、成因、生成年代を有するので、各々の品質、規模、賦存条件、開発条件、市場条件などの検討のほか、各鉱床を生成年代、成因の上から分類・検討することにより、将来の優先プロジェクトを選定することが望ましい。

## 第Ⅱ部 各論



## 第1章 既存資料コンパイル

### 1-1 一般地質

#### (1) 先カンブリア界及びカンブリア系

マダガスカル南部地域に分布する先カンブリア界は、下位から上位へAndroyen系、Graphite系、Vohibory系に区分され、東方から西方に向い上位の片麻岩が分布する。方鉛鉱、モナズ石、閃ウラン鉱、トリアナイト、ジルコンなどによる同位体年代測定値は、 $2,650 \pm 200\text{Ma}$ ～ $1,100 \pm 200\text{Ma}$ を示しており、この年代は上部始生界～中部・中部原生界に対応する。

先カンブリア界を貫いて花崗岩、チャーノットカイト、閃長岩及びペグマタイトが分布する。島内各所から得られた本岩類の同位体年代は、 $550 \sim 485\text{Ma}$ を示し、この年代はカンブリア紀～オルドビス紀初期に対応し、トリアナイトの鉱化年代( $485\text{Ma}$ ; Furon, 1963)とも一致する。

#### (2) Karroo系

本地域の西部には先カンブリア界を不整合に覆って、二畳紀～三畳紀～ジュラ紀の堆積層が分布する。本層は主として頁岩、砂岩からなる陸成層で、南アフリカのKarroo系に対比される。下位よりSakoa層群、Sakamena層群、Isalo層群に区分される。本地域には西方ほど上位の地層が分布する。

#### (3) 中部ジュラ系～白亜系

中期ジュラ紀以後は、泥灰岩、石灰岩を主とする海成層が卓越し、Karroo系を覆ってその西方に分布する。上部白亜系は玄武岩溶岩を含む。

#### (4) 第三系

第三系は、主として泥灰岩、石灰岩からなり、西部海岸に沿って分布する。一部地区で、玄武岩及び流紋岩の岩脈が認められる。

#### (5) 白亜紀火山岩類

本地城南東部のTranomaro西方に後期白亜紀の玄武岩と流紋岩が南北約70km、東西約45kmの

楕円形の複合火山岩体を形成している。

## 1-2 鉍床概要

マダガスカルには多鉍種の鉍床・鉍徴が発見されているが、探鉍が十分なされていないこともあり、鉍床規模が小さく、また十分な鉍量が確認されていないため、鉍山として操業されるに至っていないものがほとんどである。

現在開発され生産されている鉍物資源は、クロム、金雲母、石墨及び貴石類であるが、その他に鉄、石炭、ウラン、ニッケル、ボーキサイト、チタン鉄鉍、ニオブ、タンタル、銅、鉛、亜鉛などの鉍徴が知られている。

鉍業関係の行政機構として、鉍業エネルギー省 (Ministry of Industry Energy & Mines) 及び OMNIS (Office Militaire National pour les Industries Strategique) がある。フランス、イタリア、ソ連、イギリスなどの外国援助により、ペグマタイト (貴石類)、金、鉄、金雲母、銅、ニッケルなどの鉍種について探鉍が実施されている。

本調査地域には、ブラックサンド (モナズ石、チタン鉄鉍、ルチル、ジルコン)、石墨、金雲母、貴石類 (ザクロ石、コランダム、緑柱石など)、ウラノトリアナイト、金、銀、銅、亜鉛、鉄、クロム、カオリン、ボーキサイトなどの鉍床・鉍徴が分布している。これらを地区別に述べると次のとおりである。

### (1) Tolanaro (Fort-Dauphin) 周辺地区

インド洋に面した海岸線にモナズ石、チタン鉄鉍、ルチル、ジルコンを含むブラックサンド鉍床群が形成されている。これらの供給源は、先カンブリア紀の Androyen 系の片麻岩類で、河川によって運ばれた砂鉍が海流の作用で濃縮された漂砂鉍床である。Tolanaro の南西方 25km に Antete 鉍床、北方 100km に Vohibarika 鉍床などが分布する。本地区のブラックサンドは、1959～1963年間に、フランスの Pechiney 社と CEA (Commissariat a' l' Energie Atomique) の合併企業 SOTRASSUM 社によって 1,750 トンのモナズ石が採掘されたが、1965年以後は稼行されていない。本地区のブラックサンドの確認鉍量 (1970年現在) は、2,700,000 トンである。なお、Antete 鉍床の粗鉍品位はモナズ石 0.53～2.80%、ジルコン 0.57～2.60%、チタン鉄鉍 14.2～42.0% である。Tolanaro 周辺のブラックサンドについては、OMNIS とカナダの QIT

(Quebec Iron & Titanium)社との合併で、1992年から生産開始が予定されている。Tolanaroの北方120kmに位置するMananteninaにはボーキサイト鉱床(1億2,000万トン、 $Al_2O_3$  30%)が賦存する。

#### (2) Tranomaro周辺地区

貴石(コランダム)、金雲母、ウラノトリアナイト、錫石などの鉱床・鉱徴が知られている。現在は金雲母が小規模に採掘されている程度である。ウラノトリアナイトは、Manamboro川に沿った南北60km、東西20kmの範囲に分布し、Marosohy鉱山、Androtsabo鉱山、Amboanemba鉱山などで、1954~1964年にCEAによって採掘された。ウラン品位12%以上のものを採掘の対象としたとされるが、主要鉱床はほとんど掘りつくされている。鉱床は、輝岩、チャーノッカイト、結晶質石灰岩からなるAndroyen系の輝岩を母岩とし、鉱体はレンズ状、パイプ状を呈する。

#### (3) Bekitro周辺地区

金雲母、マンガン、貴石類(緑柱石、ザクロ石)、チタン鉄鉱などの鉱徴が知られている。金雲母鉱床は、Androyen系の輝岩中のペグマタイト鉱床で層状またはレンズ状を呈する。

#### (4) Ampanihy周辺地区

貴石類(ルビー、ザクロ石など)、石墨、金雲母、チタン鉄鉱、銅、マンガンなどの鉱徴が知られているが、現在稼行しているのは貴石採掘場のみである。本地区では、特に石墨が期待される。ザクロ石はマンガンザクロ石であり、Ampanihy周辺のGraphite系の含ザクロ石レプチナイトがラテライト化した部分が採掘対象である。石墨は石墨を含むレプチナイトがラテライト化作用を受け、軟弱化した所が採掘された。Ampanihy南東約4kmの半砂漠地帯にはほぼ水平に露出したカオリン鉱床がある。本鉱床は、Graphite系の角閃石片岩と上部のKaroo系Sakao層群の赤色砂岩との境界付近に胚胎している。層厚は試錐により10m程度とされる。

#### (5) Beraketa北方地区

金雲母の鉱床・鉱徴が知られている。金雲母はMarovalala鉱山、Ampandramdava鉱山及びAmbararata鉱山などで1900年代初頭から1940年頃まで採掘された。鉱床は、Androyen系の輝岩

中に胚胎したペグマタイト鉱床で層状またはレンズ状を呈する。金雲母に伴って方解石、透輝石、リン灰石、石膏、黄鉄鉱、輝水鉛鉱などを産する。本地区には、金雲母鉱床のほか石墨、ウラノトリアナイト、緑柱石の鉱徴が認められている。

(6) Soamanonga周辺地区 (Vohibory地区)

本地区には、金、銀、銅、亜鉛、マンガンの鉱徴が知られている。Besakoa鉱山などでは植民地時代に採掘が行われたとされる。本地区の銅鉱化作用は、Vohibory系中の鉱染状斑銅鉱、または石英脈で、少量の金と銀が伴われる (Lanapera鉱床、Besakoa鉱床など)。Besakoa鉱床では、銅のほか亜鉛の鉱化作用が認められる。二畳紀～ジュラ紀のKaroo系の赤色砂岩層中に鉱染状あるいはレンズ状の銅鉱化作用が認められる (Bevalaha鉱床)。本地区のKaroo系Sakao層群は石炭層を含み、Sakao川に沿うAnkinany付近において、英国BB-C Coal社によって探鉱が行われた。本地区西方のBetiooky南方には平均厚さ30cmの含鉄砂岩がある。本岩は、褐鉄鉱と赤鉄鉱を含むセメント用砂岩である。BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1959～1960) の調査によれば、10～14%Feの推定鉱量は600万トン、23%Feで150万トン、29%Feで60万トンである。H. Besairie (1966) によれば、10～14%Feの予想鉱量は1億3,000万トン、24%Feで3,000万トンである。

## 第2章 衛星画像判読

### 2-1 判読方法

6シーンのLANDSAT TMデータをCCTの形で入手し、リニアストレッチ及びエッジ強調処理を施し、バンド2・3・4を各々青、緑、赤に配色したフォールスカラー画像、縮尺1/50万を作成した。6シーンのLANDSAT TMデータ一覧をTab. II-2-1に、6シーンの位置関係図をFig. II-2-1に、マダガスカル南部地域をカバーするモザイク画像をFig. II-2-2に示す。

これらの画像を写真地質学的に解析し、29の単元に分類し、Besairie (1964)による地質図 (Fig. I-3) に対比した。地質単元一覧表をTab. II-2-2に、判読結果図をFig. II-2-3に示す。

### 2-2 判読単元

#### 1) 単元 PCa

調査地域北部のやや東寄りに分布し、切り立った尾根を持つ山稜を形成する。浸食抵抗は高く、フォールスカラー画像上で淡褐色の色調を示す。地質図では、先カンブリア時代の変成岩類のうち董青石帯に対比される。

#### 2) 単元 PCb

調査地域北部のやや東寄りて単元PCaに接して分布し、山岳地形を形成する。やや硬質で、画像上で黄土色を呈す。地質図では、先カンブリア時代の変成岩類のうち董青石帯に対比される。

#### 3) 単元 PCc

調査地域全域にわたり広く分布し、画像上で青緑色或いは白色の色調を示す。山脈と谷地形とが交互に現れ、軟質岩と硬質岩のリズミカルな互層の分布域と推定される。片理及び成層構造が認められ、それらが複雑な褶曲構造を呈すことから、著しい変形を受けていると考えられる。

地質図上では、先カンブリア時代の変成岩類に対比される。

#### 4) 単元 J1

調査地域の北西部に帯状の分布を示し、画像上で濃緑色を呈す。ケスタ地形或いは平坦な台

地状地形をつくることから、比較的均質な中硬質の堆積岩と推定される。地質図では下部二畳系の陸成層に対比される。

5) 単元 J2

調査地域北西部に帯状に分布し、画像上で濃緑色を示す。ケスタ状或いはホグバック状の地形を形成する。軟質の堆積岩を主とし、部分的に硬質岩が挟み込まれていると考えられる。地質図では下部二畳系～下部三畳系の陸成層のメンバーに対比される。

6) 単元 J3

調査地域北西部に帯状の分布を示し、画像上で灰緑色を呈す。ケスタ状地形を形成し、硬質の堆積岩を主とすると考えられる。地質図では上部二畳系～下部三畳系の陸成層のメンバーに対比される。

7) 単元 J4

調査地域北西部に単元J3と接して帯状の分布を示し、画像上で赤褐色を呈す。低平地を形成し、成層構造も不明瞭なことから、軟質の堆積岩を主とする単元と考えられる。地質図では上部二畳系～下部三畳系の陸成層のメンバーに対比される。

8) 単元 J5

調査地域北西部に断層に切られた不規則な分布を示し、画像上で赤褐色を呈す。平野或いはケスタ地形を形成し、やや硬質の堆積岩を主とすると考えられる。地質図では中部～上部ジュラ系の海成層のメンバーに対比される。

9) 単元 K

調査地域北西部にやや不規則な分布を示し、画像上で青緑色或いは赤褐色を呈す。ケスタ地形を形成し、やや硬質の堆積岩を主とすると考えられる。地質図では下部～中部白亜系の海成層のメンバーに対比される。

10) 単元 Kva

環状構造の外縁に同心円状の分布を示し、軟質で、連続性の良いU字形の谷を形成する。画像上では暗緑色を呈す。地質図中の白亜紀玄武岩類に対比される。

11) 単元 Kvb

調査地域中央やや東よりで単元Kva及びKviと共に環状構造を形成する。画像上では青緑色を呈す。岩質は軟らかく、U字形の谷地形を形成する。地質図中の白亜紀玄武岩類に対比される。

12) 単元 Kvc

調査地域北西部に帯状分布し、低い丘陵地形を形成する。画像上では深緑色を呈す。中程度の侵食抵抗を示し、成層構造は不明瞭である。地質図中の白亜紀玄武岩類に対比される。

13) 単元 Kvr

環状構造の中心と外縁部に分布し、やや硬質岩で、丸みを帯びた山稜、メサ或いは残丘を形成する。画像上では灰白色～黄褐色を呈す。地質図上で白亜紀流紋岩類に対比される。

14) 単元 Ta

単元Tbに囲まれる形で平野或いはメサ状地形を形成し、画像上で暗緑色或いは暗赤色を呈す。成層構造を有し、中程度の侵食抵抗を示す。ドリーネと考えられる凹みがあることから、泥灰岩を主とする炭酸塩岩卓越層と解釈される。地質図上で海成の始新統に対比される。

15) 単元 Tb

調査地域西部に平野或いはメサ状地形を形成し、画像上で白色パッチ入りの青緑色を呈す。成層構造を有し、やや硬質でドリーネと考えられる凹みがあることから、石灰岩を主とする炭酸塩岩卓越層と解釈される。地質図上で海成の始新統に対比される。

16) 単元 Tc

調査地域西部の平坦地に分布し、画像上で暗青緑色を呈す。表面組織はやや粗く凹凸が多い。成層構造を有し、中程度の侵食抵抗を示すことから、炭酸塩岩を主とする地層と考えられる。表面組織の粗さは、カルスト地形と考えられる。地質図上で海成の始新統に対比される。

17) 単元 Q1

調査地域南西部の低地に不規則な分布を示し、画像上で暗褐色或いは暗赤色を呈す。残丘を含む平野を形成し、軟質の堆積岩を主とすると考えられる。地質図上でCarapace砂層に対比される。

18) 単元 Q2

調査地域南部の低平地に不規則な分布を示し、画像上で白色を呈す。表面組織は非常に粗く、やや軟質の堆積岩を主とすると考えられる。地質図上では、残留白色砂層に対比される。

19) 単元 Q3

調査地域東部から南部にかけての海岸沿いに分布し、画像上で暗灰色或いは暗緑色を呈す。表面組織は粗く、風紋が見られることから、風成堆積物と考えられる。地質図上で主にAepyornis古期砂丘堆積物に対比される。

20) 単元 Q4

調査地域東部から南部にかけて、単元Q3の外側の海岸沿いに分布し、画像上で白色を呈す。表面組織はやや細かく、風紋が見られることから、単元Q3よりも新期の風成堆積物と考えられる。地質図上では、砂丘堆積物及び沖積層に対比される。

21) 単元 Q5

調査地域の河川沿いに分布し、画像上では多色が混在している。沖積層に対比される。

22) 単元 G1a

調査地域東部で広範囲に分布し、画像上で赤褐色を呈す。格子状の節理が発達し、非常に硬質で山岳地形を形成することから、花崗岩質と考えられる。地質図上でAnosyennes花崗岩類に対比される。

23) 単元 G1b

調査地域中央よりで脈状或いはレンズ状の分布を示し、画像上で白色～淡桃色を呈す。硬質岩でブロック状の丘陵地形を形成する。地質図上では、花崗岩類及び混成岩類に対比される。

24) 単元 A

調査地域中央部の褶曲帯中に眼球状の分布を示し、画像上で乳白色または青白色を呈す。表面組織は滑らかで、やや硬質、ブロック状の丘陵地形を形成する。地質図上で斜長岩に対比される。

25) 単元 L

単元P Cc中に含まれ、脈状～レンズ状の分布を示し、画像上で青白色を呈す。やや硬質で構造に平行な稜線を形成する。地質図上で結晶質石灰岩に対比される。

26) 単元 S

単元P Cc中に含まれ、脈状～レンズ状の分布を示し、画像上で白色を呈す。非常に硬質で構造に平行な稜線を形成する。先カンブリア界中の珪岩層と推定される。

27) 単元 TA1 (トーンアノーマリー)

単元P Cc中に含まれ、構造に平行な脈状～レンズ状の分布を示し、画像上で濃緑色を呈す。やや硬質で稜線を形成する。

28) 単元 TA2 (トーンアノーマリー)

単元P Cc中に含まれ、構造に平行な帯状の分布を示し、画像上で青緑色を呈す。やや軟質で細長い凹地を形成する。

## 29) 単元 TA3 (トーンアノーマリー)

調査地域中央の南部に不規則な分布を示し、画像上で桃白色を呈す。やや軟質で緩い丘陵地を形成する。

### 2-3 地質構造

衛星画像上で判読される本地域の主要な地質構造は次のとおりである。

判読単元 P C<sub>a</sub> から J 5 までの一般走向は、南北～北北東-南南西系で東側から西側へとより新期の地層が分布する。P C<sub>c</sub> から J 3 中の複雑な褶曲構造は画像上で比較的明瞭に認められ、いくつかの背斜及び向斜構造が抽出される。単元 P C<sub>c</sub> と J 1 及び K と T<sub>c</sub> の間には傾斜不整合が推定される。

調査地域中央部東寄りに、南北約70km、東西約45kmの楕円形の複合貫入岩体が分布し、岩体の北～北東側を取巻く陥没構造が認められる。本岩体は、既存地質図によれば白亜紀の火山岩類である。このような大規模な火成活動は、鉱床形成に関連した可能性もあり、精査対象として、興味深い。

調査地域西端の海岸部には海岸線に平行して走る断層があり、断層の西側が相対的に沈降していると推定される。



Table II-2-1 List of Used LANDSAT Data

	Satellite	Data Form	Sensor	Path	Row	Date	Cloud cover	Distributor
1	L5	CCT	TM	158	76	Nov.25,1984	20%	EOSAT
2	L5	CCT	TM	158	77	Nov.25,1984	20%	EOSAT
3	L5	CCT	TM	159	76	Jan.19,1985	10%	EOSAT
4	L5	CCT	TM	159	77	Jan.19,1985	10%	EOSAT
5	L5	CCT	TM	160	76	Feb.11,1985	10%	EOSAT
6	L5	CCT	TM	160	77	Feb.11,1985	10%	EOSAT

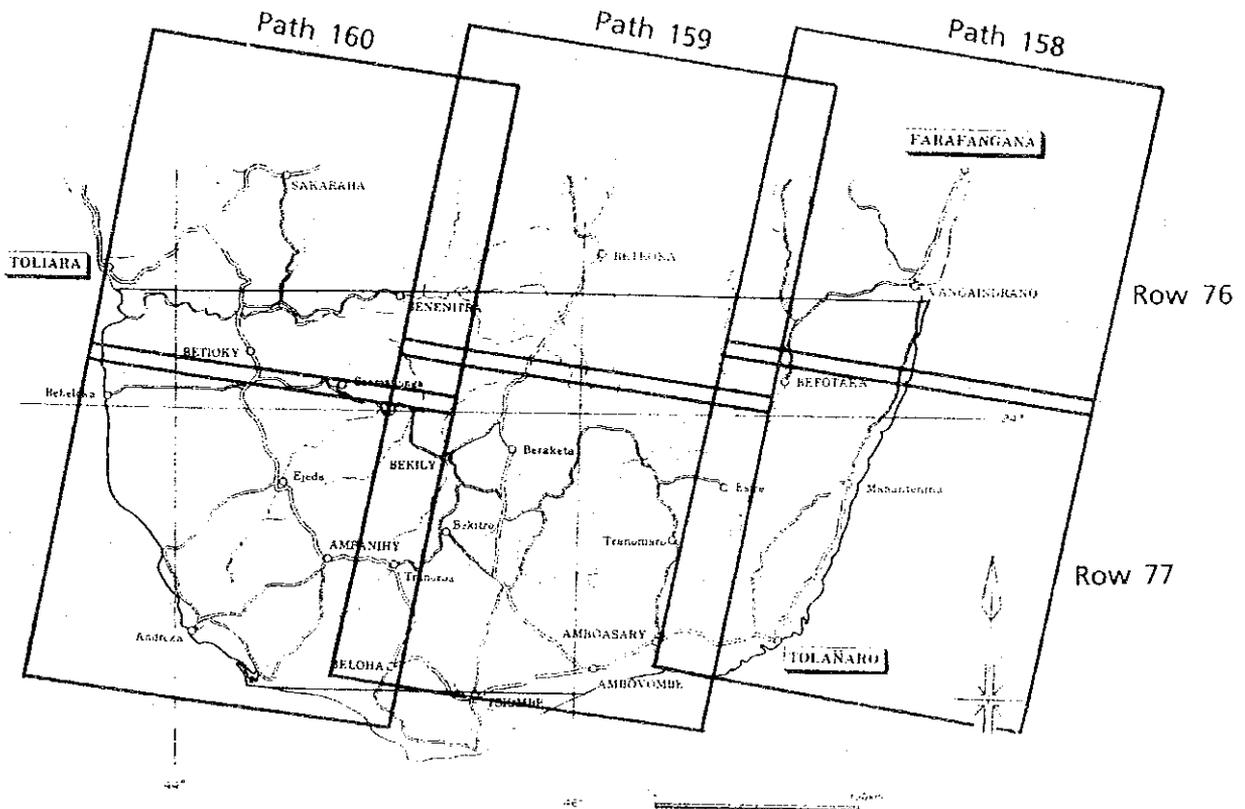


Fig. II-2-1 Index of LANDSAT Images



Table II-2-2 List of Geological Units by Photointerpretation

Units of Interpretation	Color	Tone	Texture	Resistance	Landform	Bedding	Pattern	Correlation with geologic map, and rock types
1	various	light	fine	low	plain, alluvial fan	none	granular	alluvium
2	white	very light	medium to fine	low	plain, dune	none	wavy form	dune, alluvium
3	dark grey, greyish green	dark	coarse	moderate to low	plain, dune	none	wavy form	Aegyptian old dune
4	white	very light	very coarse	moderate to low	plain	none	speckled	evulsated white sand
5	reddish brown, dark red	dark	coarse	low	plain	horizontal	speckled	Carapace sand
6	dark green, dark red	moderate to dark	fine	moderate	plain, mesa	horizontal	stratiform, sinkhole	Eocene marine facies
7	blueish green, white patch	dark	coarse	moderate to high	plain, mesa	horizontal to gentle	spotted, sinkhole	Eocene marine facies, Carapace sand
8	dark blueish green	very dark	rough	moderate	plain	gentle	stratiform	Eocene marine facies, Clavator Quaternary
9	greyish white to yellowish brown	moderate to light	coarse	moderate to high	roundish ridge	none	ring structure	Cretaceous (rhyolite, dolerite, trachyte)
10	blueish green	moderate to dark	fine	low	U-form valley	thin layered	ring structure	
11	blueish green	moderate to dark	fine	low	U-form valley	thick layered	ring structure	Cretaceous (basalt, labradorite, saktavite)
12	deep green	dark	rough	moderate	hilly	massive	none	
13	blueish green, reddish brown	moderate	fine	moderate to high	cuesta	well-bedded	stratiform	Lower to Middle Cretaceous marine facies
14	reddish brown	dark	smooth	moderate to high	plain, cuesta	thick	none	Middle to Upper Jurassic marine facies
15	reddish brown	dark	fine	low	plain	poorly bedded	white spotted	
16	greyish green	moderate to light	fine	high	asymmetric ridge	well-bedded	banded	Lower Permian to Lower Triassic
17	deep green	moderate to dark	fine	low	hogback	well-bedded	banded	continental facies
18	deep green	dark	medium to coarse	moderate	cuesta	well-bedded	banded	
19	pale brown	light	medium to coarse	high	V-form ridge	well-bedded	foliation	
20	yellowish brown	light	rough	moderate to high	mountainous	thick	foliation	Precambrian metamorphic rocks
21	blueish green, white	moderate to dark	coarse	moderate to high	hogback	well-bedded	foliation	
22	reddish brown	light	smooth	very high	steep mountainous	none	joint set	Anosyennes granite
23	white to pale pink	light	coarse	high	blocky and hilly	none	shifose structure	granite, migmatite
24	milky white, blueish white	very light	smooth	moderate to high	blocky and hilly	none	centripetal	anorthosite
25	blueish white	light	smooth to fine	moderate to high	ridge	thick	fine dendritic	marble
26	white	light	smooth	very high	ridge	thick	none	quartzite
27	deep green	very dark	fine	moderate to high	ridge	thick layered	lineation	tone anomaly
28	blueish green	dark	fine	moderate to low	elongated depression	thin layered	banded	tone anomaly
29	pinkish white	light	coarse	moderate to low	hilly	none	lineation	tone anomaly

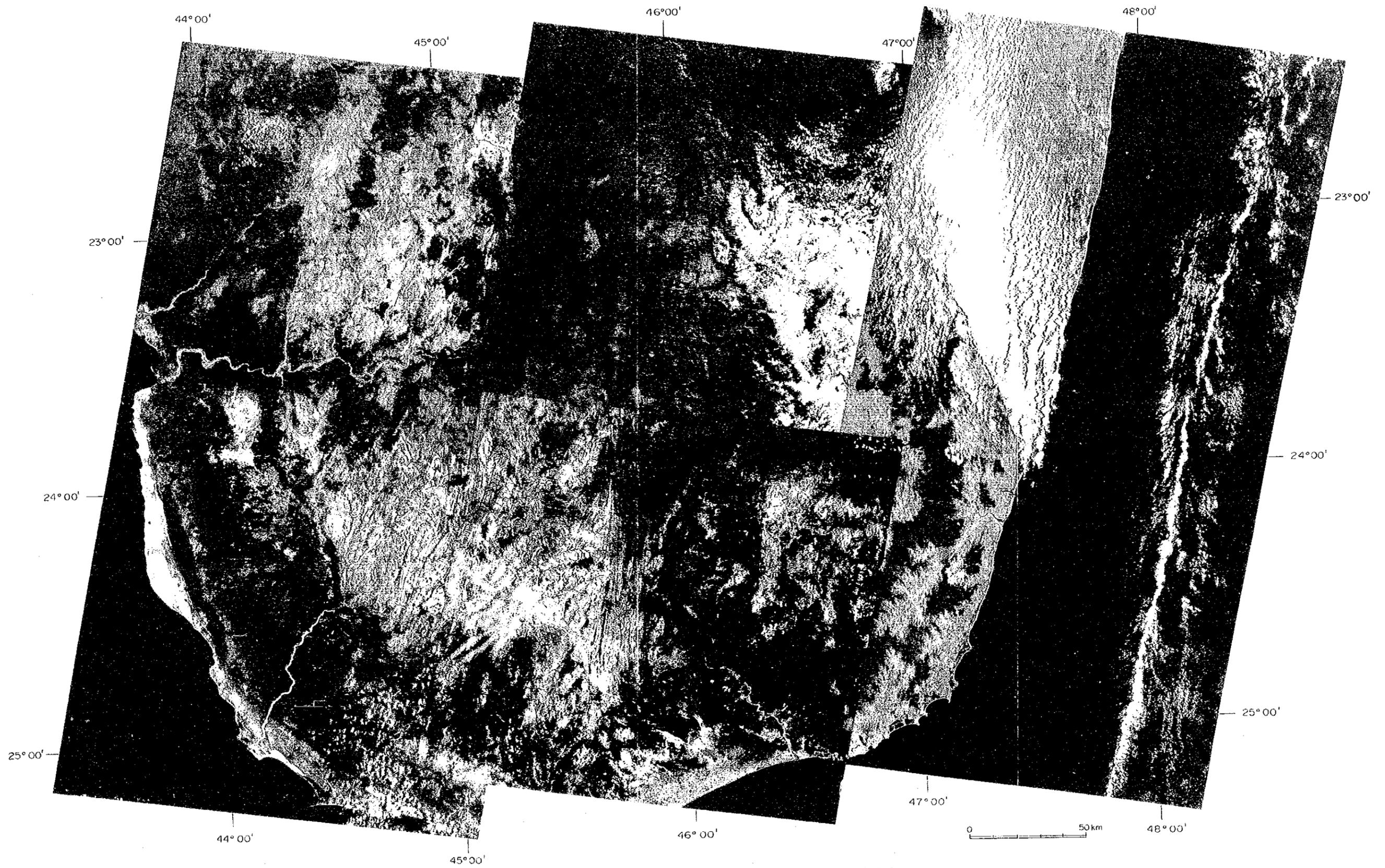
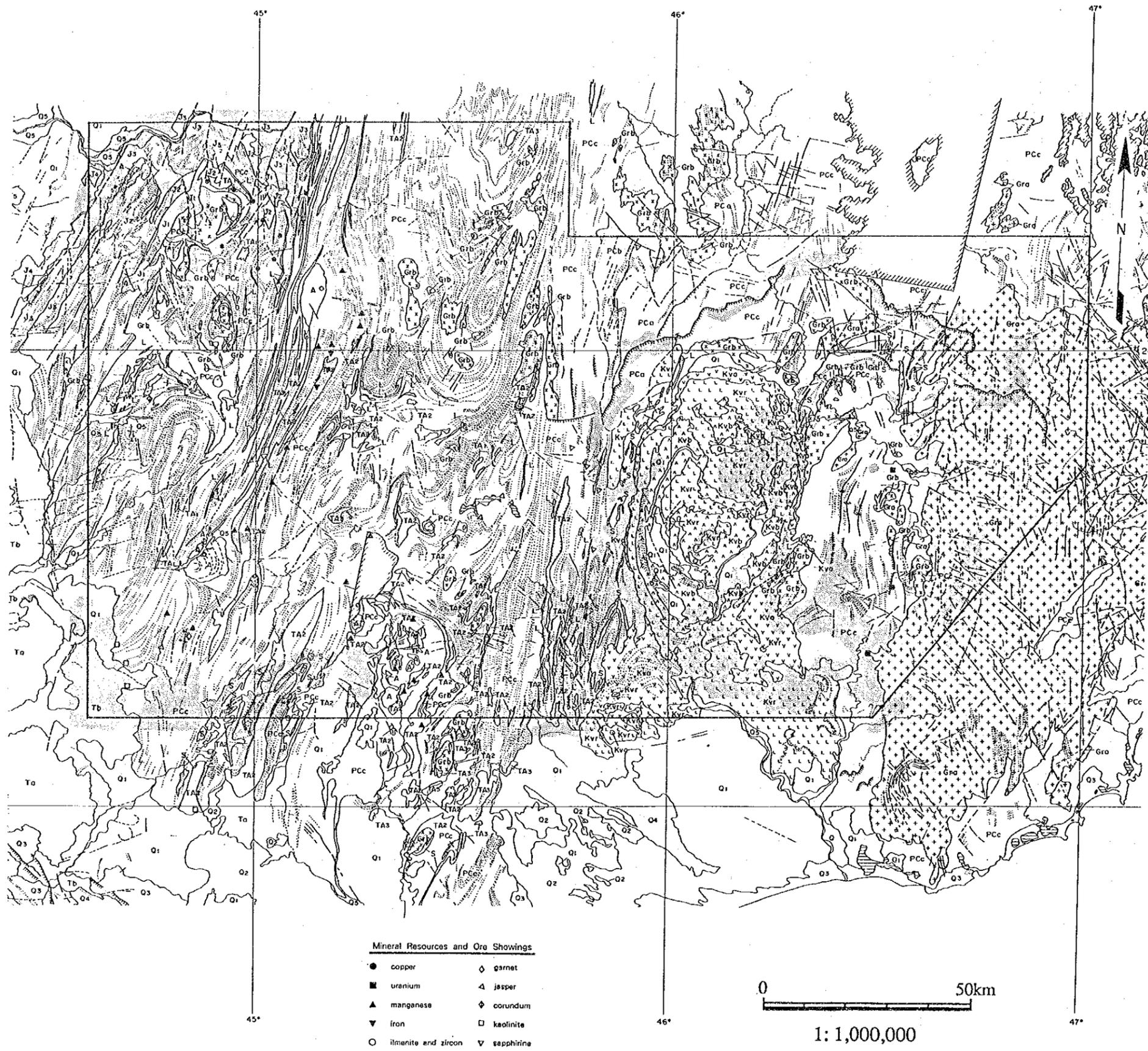


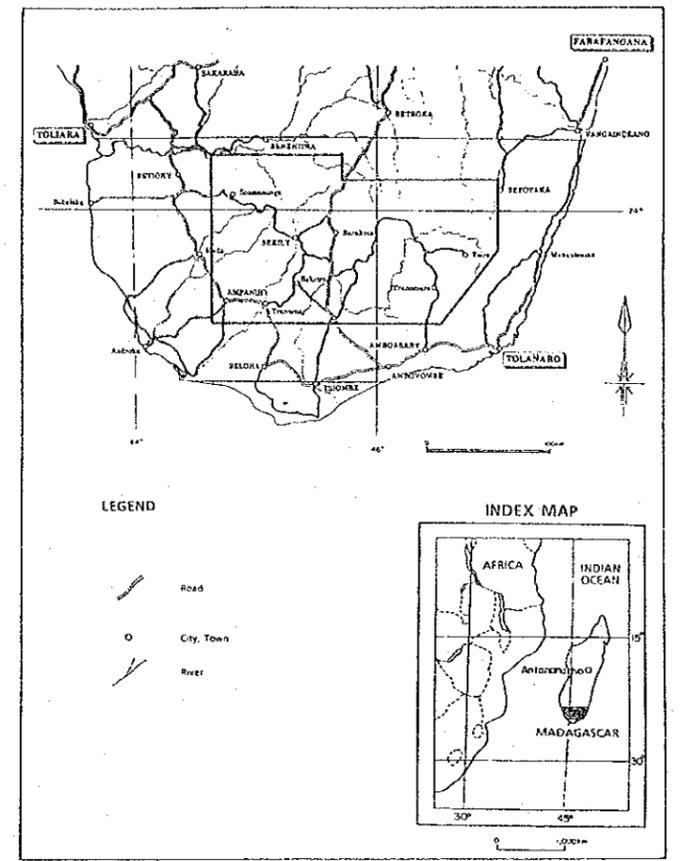
Fig. II-2-2 Mosaic of LANDSAT Images



- Mineral Resources and Ore Showings**
- copper
  - uranium
  - ▲ manganese
  - ▼ iron
  - ilmenite and zircon
  - ◇ garnet
  - △ jasper
  - ◇ corundum
  - kaolinite
  - ▽ sapphire

0 50km

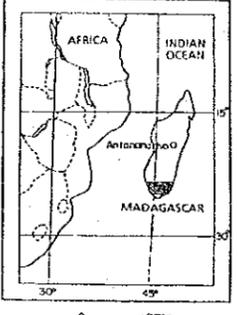
1: 1,000,000



LEGEND

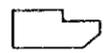
- Road
- City, Town
- River

INDEX MAP



LEGEND

Integrated units	Correlation with geologic map and rock types
Q1	alluvium
Q2	dune, subvion
Q3	Asyponis old dune
Q4	sharped white sand
Q5	Carapace sand
T1	Eocene marine facies
T2	Eocene marine facies, Carapace sand
T3	Eocene marine facies, Clavator Quaternary
K1	Cretaceous (rhynchia, dactyle, trachyle)
K2	
K3	Cretaceous (basalt, labradorite, saka'avia)
K4	
K5	
K6	Lower to Middle Cretaceous marine facies
J1	Middle to Upper Jurassic marine facies
J2	
J3	Lower Permian to Lower Triassic continental facies
J4	
J5	
P1	
P2	
P3	
P4	Precambrian metamorphic rocks
P5	
P6	
G1	Anosyana granite
G2	granite, migmatite
A	amphibolite
L	marble
S	quartzite
TA1	tonal anomaly
TA2	tonal anomaly
TA3	tonal anomaly
---	unit boundary
- - - -	uncertain unit boundary
.....	bedding trace or schistosity
+	strike and dip direction
+	anticline with direction of plunge
+	syncline with direction of plunge
+	fault (barbs on downthrown side)
---	inferred fault
---	lineament
---	drainage
---	lake
---	cloud cover
---	anomaly of TM S/T ratio



Survey area of second phase

Fig. II-2-3 Photointerpretation of LANDSAT Image



## 第3章 衛星画像スペクトル解析

### 3-1 解析方法

第2年次調査として、衛星画像の判読精度を上げるため、LANDSAT TM CCTデータのスペクトル（デジタル）解析を実施した。

まず、金銀を伴う銅鉱床の分布が知られているSoamanonga地区及びウラノトリアナイト鉱床の分布が知られているTranomaro地区をトレーニング モデル地区として選定し（Fig. I-1）、地質判読及び変質帯抽出に最適なバンド組み合わせ及び画像処理方法を検討した。そのため、バンド組み合わせを変えた3種類のフォールスカラー画像（Fig. II-3-3, Fig. II-3-8）、3種類の比演算画像（Fig. II-3-4, Fig. II-3-9）及び比演算の結果を用いた主成分(DPCA, Directed Principal Component Analysis)画像（Fig. II-3-4, Fig. II-3-9）の7種類の画像を作成し比較検討した。

その結果、バンド4・5・7のフォールスカラー画像が本地域の岩相区分及び地質構造の判読に最適であること、バンド比5/7の比演算画像が粘土鉱物の分布を良く反映し、変質帯抽出に適していることが判明した。これを受けて、調査地域全域をカバーするバンド4・5・7のフォールスカラー画像（Fig. II-3-11）及びバンド比5/7の比演算画像（Fig. II-3-13）各々、縮尺1/20万及び1/50万を作成し、地質・鉱床に関する総合解析を行った（Fig. II-3-11）。

### 3-2 モデル地区の解析結果

#### (1) Soamanonga地区

##### 1) 概況

Soamanonga地区はOnilaby川の中流部に位置し、水系の発達する北部を除けば植生は少いと予想される。花崗岩体を伴う先カンブリア界及び二畳系が分布し銅の鉱徴が知られている（Fig. II-3-1）。既存地質図からは、鉱床分布と地質との関連性は、必ずしも明瞭には読み取れない。

##### 2) フォールスカラー画像（Fig. II-3-3, (1), (2), (3)）

①バンド1・4・5の組み合わせ画像では、植生の密な部分が緑色に発色し、植生の疎な部分

とのコントラストが明瞭である。岩相の違いは、花崗岩体が識別できる程度で、先カンブリア界中の岩相変化は、それ程明瞭ではない。

②バンド1・5・7の組み合わせでは、先カンブリア界中の岩相変化は明瞭であるが、二疊紀～三疊紀の堆積岩類の識別は困難である。

③バンド4・5・7の画像では、先カンブリア界の岩相変化も明瞭であり、堆積岩類の岩相区分も可能である。

### 3) 比演算画像 (Fig. II-3-4, (1), (2), (3))

①バンド比3/2の比演算画像では、3/2比が高い画素が花崗岩及び先カンブリア界の分布域に集中している。また、先カンブリア界中でも石灰岩の分布域では、3/2比が低くなっている。一般に、TMバンド比3/2の比演算処理は鉄酸化物の抽出に有効とされており、本地区においても、磁鉄鉱等の鉄鉱物を含有する岩石の表面が酸化し、3/2比が高いゾーンは鉄酸化物に富むと考えられる。

②バンド比4/3は植生分布を抽出するのに有効な比演算処理であり、本地区においても植生分布の密なゾーンが4/3比が高いゾーンとして抽出された。

③バンド比5/7は粘土鉱物の赤外線吸収ピークがTMのバンド7に位置することから、粘土鉱物分布域の抽出に有効であると考えられている。本地区で5/7比が高いゾーンは4/3比の高いゾーンと良い相関を示している。4/3比の高いゾーンは植生分布が密なゾーンに対応する。このようなゾーンには、植物が繁茂するために十分な表層物質が分布していると考えられる。表層物質は一般に、粘土鉱物に富むのでバンド比5/7は粘土鉱物に富む表層物質の分布を反映していると考えられる。

### 4) DPCA画像

バンド比4/3及び5/7の比演算結果を用い主成分2をシュードカラー表示したDPCA画像をFig. II-3-4, (4)に示す。DPCA処理は、植生の影響を除去して粘土鉱物あるいは炭酸塩鉱物等TMバンド7の波長域に赤外線吸収ピークを持つ鉱物の分布を明瞭にすることに有効であると考えられている。Soamanonga地区のDPCA画像では、先カンブリア界中の石灰岩層が良く抽出されたが、原岩中に多量の粘土鉱物を含有すると予想される二疊系の分布域では主成分2は一般に低く、当画像が粘土鉱物の分布を表現しているとは言えない。

### 5) 考察

Soamanonga地区の地質判読図をFig. II-3-5に示す。既存地質図に比較して、各地層の分布

がより適確に捕らえられている。既存の銅鉱徴の多くが断層及び推定断層の近傍に位置しており、鉱床の形成に裂隙系の存在が影響を及ぼしたことが推定される。既知鉱床の多くがバンド比3/2の高いゾーンの内側あるいはその近傍に分布する傾向があるが、変質帯推定域と既存鉱床分布との関連性は明瞭ではない。

## (2) Tranomaro地区

### 1) 概況

Tranomaro地区はMandrare川の上流部に位置し、東部は標高1,000mを超える山岳地帯となっている。東部の山地には花崗岩コンプレックスが分布し、中央部から西部にかけては、先カンブリア界の変成岩類が主体をなす。花崗岩コンプレックスと先カンブリア界の境界部付近にはウラノトリアナイト鉱床が分布する。既存資料によれば、これらの鉱床は先カンブリア界の輝岩を母岩としている (Fig. II-3-7)。

### 2) フォールスカラー画像 (Fig. II-3-8, (1), (2), (3))

- ①バンド1・4・5の組み合わせ画像では、花崗岩コンプレックスと先カンブリア界の区分は不明瞭である。
- ②バンド1・5・7の組み合わせでは、花崗岩コンプレックスと先カンブリア界の識別はある程度可能であるが、先カンブリア界中の岩相区分は困難である。
- ③バンド4・5・7の画像では、花崗岩コンプレックスと先カンブリア界の識別が容易であり、かつ、先カンブリア界中の岩相区分も可能である。

### 3) 比演算画像 (Fig. II-3-9, (1), (2), (3))

- ①バンド比3/2の比演算画像では、3/2比が高い画素が標高の低い地帯に集中する。これは、鉄酸化物の形成が気候条件により規制されたことを示唆する。
- ②バンド比4/3が高いゾーンは、Mandrare川が蛇行して北流する地帯と一致しており、植生密度の高いゾーンを示すと考えられる。
- ③バンド比5/7が高いゾーンは4/3比の高いゾーンと良い相関を示している。このことは、5/7比が粘土鉱物を多量に含む表層物質の分布を反映しているためと考えられる。

### 4) DPCA画像

バンド比4/3及び5/7の比演算結果を用い主成分2をシェードカラー表示したDPCA画像をFig. II-3-9, (4)に示す。DPCA画像では、東部の花崗岩コンプレックス及び先カンブリア界の