

1942

中華民國商部

資源調查協力基礎調查報告書

第一卷

資源調查協力基礎調查報告書

第一卷

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

第3年次

27655

JICA LIBRARY



1119699[5]

平成6年3月

国際協力事業団

金属鉱業事業団



はしがき

日本国政府はマダガスカル共和国政府の要請に応え、マダガスカル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、地化学探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年度を第1年次とする第3年次にあたり、金属鉱業事業団は2名の調査団を編成して平成5年9月26日から11月12日まで現地に派遣した。

現地調査は、マダガスカル共和国政府関係機関、動力鉱山省鉱山地質局の協力を得て予定どおり完了した。本報告書は、第3年次の調査結果をまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

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

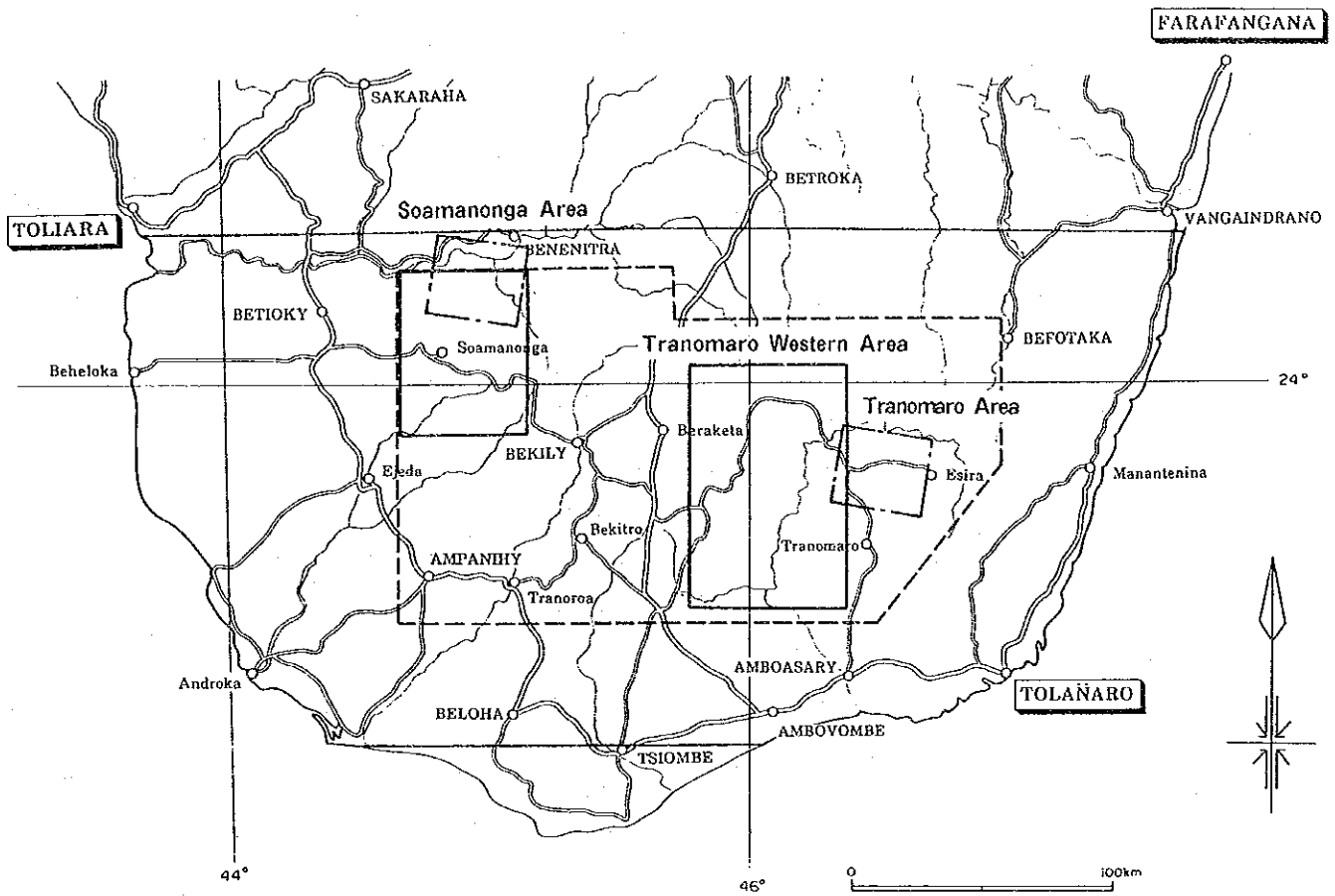
平成6年3月

国際協力事業団


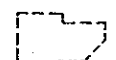


総 裁 柳 谷 謙 介

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

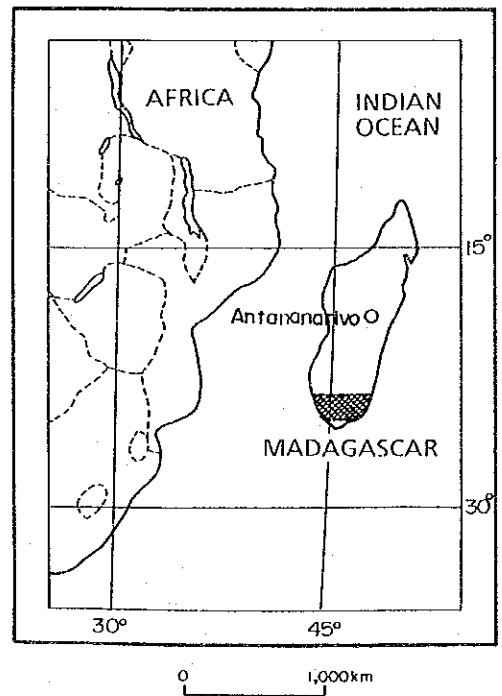


Fig. I-1 Location Map of Survey Area

要 約

本報告書は、マダガスカル共和国南部地域資源開発協力基礎調査、第3年次の調査結果をまとめたものである。本調査の目的は、第1～2年次に実施された既存資料収集、衛星画像判読及び衛星データスペクトル解析の結果について、地質チェック現地調査を実施することにより、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にある。

本年度は、第1～2年次調査の結果、有望地域として抽出された2地区、Soamanonga地区2,000km²及びTranomaro西部地区5,000km²について、地質チェック現地調査、踏査長合計280kmを実施した。本年度の調査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

調査地域位置図

要 約

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論	1
1-1 調査の経緯	1
1-2 第 1 年次調査の結論と提言	1
1-2-1 第 1 年次調査の結論	1
1-2-2 第 1 年次調査の提言	3
1-3 第 2 年次調査の結論と提言	3
1-3-1 第 2 年次調査の結論	3
1-3-2 第 2 年次調査の提言	4
1-4 第 3 年次調査の概要	4
1-4-1 調査地域	4
1-4-2 調査目的	4
1-4-3 調査方法	5
1-4-4 調査団の編成	5
1-4-5 調査期間	6
第 2 章 調査地域の地理	7
2-1 位置及び交通	7
2-2 地形及び水系	7
2-3 気候及び植生	7

第3章 一般地質	9
3-1 マダガスカルの地質概要	9
3-2 調査地区の地質概要	10
第4章 結論及び将来への提言	11
4-1 結 論	11
4-2 将来への提言	12

第II部 各 論

第1章 Soamanonga地区	13
1-1 調査概要	13
1-2 地質概況	13
1-3 地質調査結果	14
1-4 鉍石分析結果	16
第2章 Tranomaro西部地区	18
2-1 調査概要	18
2-2 地質概況	18
2-3 地質調査結果	18
2-4 岩石分析結果	20
第3章 調査結果の総合検討	22
3-1 衛星画像と地表の植生状況	22
3-2 新期堆積岩類と基盤岩との関係	23
3-3 片麻岩類の岩相	23
3-4 Tranomaro西部地区の環状構造	24
3-5 マダガスカル島の広域地質構造	24

3-6 鉱物資源	25
----------------	----

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結論	27
--------------	----

第2章 将来への提言	29
------------------	----

参考文献	R-1
------------	-----

LIST OF FIGURES AND TABLES

Fig. I -1 Location Map of Survey Area

Fig. I -2 Geological Map of Southern Part of Madagascar

Table I -3 Stratigraphy of Madagascar Island

Fig. II -1 Geologic Column of Survey Area

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

Fig. II -3 Sampling Location Map of the Soamanonga Area, 1:250,000

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

Fig. II -5 Geological Map of the Toranomaro Western Area, 1:250,000

Fig. II -6 Sampling Location Map of the Tranomaro Western Area, 1:250,000

Fig. II -7 Geochemical Diagram of Rock Samples

LIST OF APPENDICES

Ap. 1	List of Rock and Ore Samples	A-1~2
Ap. 2	Assay Results of Ore Samples	A-3
Ap. 3	Analysis Results of Whole Rock Samples	A-4
Ap. 4	Microphotographs and Microscopic Observations of Thin Sections	A-5~27
Ap. 5	Microphotographs and Microscopic Observations of Polished Sections	A-28~31
Ap. 6	Summary of X-Ray Diffractive Analysis	A-32

第 I 部 総論

第1章 序 論

1-1 調査の経緯

マダガスカル共和国の国土は、約59万km²の面積を有し、その地質は大部分が先カンブリア紀の変成岩類からなり、東西両海岸に沿って帯状に古生代二畳紀以降の堆積岩類がこれを覆っている。各種の鉱物資源に恵まれているが、インフラストラクチャーの未整備、資本不足などから、開発は進んでいない。稼行されている鉱物資源としては、クロム鉄鉱、金雲母、石墨、貴石類（ルビー、ざくろ石、緑柱石など）があり、その他に、鉄、石炭、ウラノトリアナイト、ニッケル、ポーキサイト、チタン鉄鉱、ニオブ、タンタル、金、銅、鉛、亜鉛などの鉱徴が知られている。

本調査は、マダガスカル共和国政府の要請を受けて、1991年6月19日付で締結された Scope of Work に基づいて日本国政府がマダガスカル南部地域面積66,300km²において鉱物資源調査を実施するものである。調査の目的は、マダガスカル南部地域において、地質状況を解明することにより、鉱床賦存状況を把握することである。このため、第1年次調査は資源関連資料の収集検討と、衛星画像判読を行った。第2年次調査は第1年次調査で抽出された鉱床賦存有望地域面積30,000km²に対し、変質帯の抽出を目的とするLANDSAT TMデータのスペクトル解析を実施した。

1-2 第1年次調査の結論と提言

1-2-1 第1年次調査の結論

(1) 既存資料コンパイル

本調査地域の地質は、先カンブリア界の変成岩類を基盤とし、主として本地域西部で基盤を覆う二畳紀以降の堆積岩類から構成される。本調査地域には、ブラックサンド、石墨、金雲母、貴石類、ウラノトリアナイト、金、銀、銅、亜鉛、鉄、クロム、カオリン、ポーキサイトなどの鉱床・鉱徴が分布する。これらのうち、ウラノトリアナイト鉱床と一部の金雲母鉱床、金・銀・銅・亜鉛鉱床がかつて試掘または採掘されたが、ほとんどの鉱床・鉱徴は探鉱が十分なされておらず鉱山として操業されるに至っていない。現在は、金雲母、貴石類が小規模に採掘さ

れている程度である。

本地域の主な鉱徴は以下のとおりである。

- ① Tolanaro (Fort-Dauphin) 周辺地区：インド洋に面した海岸地帯のモナズ石、チタン鉄鉱、ルチル、ジルコンを含むブラックサンド鉱床群。Mananteninaのボーキサイト鉱床。
- ② Tranomaro 周辺地区：貴石類（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。現在は金雲母が小規模に採掘されている。ウラノトリアナイトは1954～1964年に採掘された。
- ③ Bekitro 周辺地区：金雲母、マンガン、貴石類（緑柱石、ざくろ石）、チタン鉄鉱などの鉱徴。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に胚胎する。
- ④ Ampanihy 周辺地区：貴石類（ルビー、ざくろ石など）、石墨、金雲母、チタン鉄鉱、銅、マンガン、カオリンなどの鉱徴。現在稼働しているのは貴石採掘場のみである。
- ⑤ Beraketa 北方地区：金雲母の鉱床・鉱徴。金雲母はMarovalala鉱山、Ambararata鉱山などで1900年代初頭から1940年頃まで採掘された。本地区には、このほか石墨、ウラノトリアナイト及び緑柱石の鉱徴が分布する。
- ⑥ Soamanonga 周辺地区（Vohibory地区）：金、銀、銅、亜鉛、マンガンの鉱徴が分布し、Besakoa鉱山などでは植民地時代に試掘が行われた。本地区に分布するKaroo系のSakao層群は石炭層を挟む。

(2) 衛星画像判読

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。これらの画像を写真地質学的に解析し、29の地質単元に分類した。地質的に興味ある構造として、調査地中央東部に、南北約70km、東西約45kmの楕円形の複合火山岩体が分布し、岩体の北～北東側を取り巻く陥没構造が認められた。このような大規模な火成活動は、鉱床の形成に関連した可能性もあり、精査対象として興味がある。

1-2-2 第1年次調査の提言

本地域には多鉱種の鉱床・鉱徴が分布し、鉱物資源賦存の可能性は高いものの、探鉱が十分なされていないこともあり、現在のところ個人経営による小規模な鉱山を除き、本格的な開発は行われていないことが判明した。本地域の地質状況を解明し、鉱床賦存状況を把握するために、次の調査を実施することが提言された。

- ①衛星データ解析：調査対象地域には衛星画像上のトーンアノマリーが多く見られ、これらの一部は火成活動の影響による変質帯と考えられる。また、楕円形の複合火山岩体や大規模な陥没構造などが見られ、構造規制型鉱床存在の可能性が考えられる。このため衛星データのスペクトル解析を実施し、変質帯などのアノマリーを抽出することが望ましい。
- ②地質調査・地化学探査：衛星画像判読及び資料コンパイルで得られた情報を現地で確認するとともに、地質構造と鉱化作用の関係を把握し、鉱床賦存有望地区を抽出する。調査対象としては、Tolanaro (Fort-Dauphin) 周辺地区、Tranomaro 周辺地区、Bekitro 周辺地区、Ampanihy 周辺地区、Beraketa 北方地区、Soamanonga 周辺地区 (Vohibory 地区) などが候補となる。

1-3 第2年次調査の結論と提言

1-3-1 第2年次調査の結論

第2年次調査は、第1年次に続き、現地事情から現地調査は中止され、衛星画像の判読精度を上げるための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、地質判読及び変質帯抽出に最適なバンド組み合わせと画像処理方法を検討した。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及びバンド比5/7の比演算画像縮尺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。

衛星画像再解析の結果、Soamanonga地区に分布する銅鉱徴は、先カンブリア界と二疊系～三疊系下部との境界近傍に分布し、多くの場合、断層あるいは衛星画像から判読されたリニアメ

ントの近傍に位置しており、発展性に富むと推定された。また、環状陥没構造沿い及びその内側に分布する複合火山岩体中に抽出されたTMバンド比5/7の異常は、熱水変質帯の存在を示唆する。

1-3-2 第2年次調査の提言

第3年次調査として次の調査が提言された。

- ① Soamanonga地区を対象とした地質調査・地化学探査。
- ② Tranomaro西部地区の環状陥没構造を対象とした地質チェック調査。

1-4 第3年次調査の概要

1-4-1 調査地域

第1年次及び第2年次に実施した衛星画像解析・衛星データのスペクトル解析結果により抽出された2地区、Soamanonga地区面積2,000km²及びTranomaro西部地区面積5,000km²について、地質チェック調査（グラウンド トゥルース）を実施した。

Soamanonga地区は、Toliara市の東南東約130km、内陸の高原地帯に位置し、標高は350～520mである。先カンブリア界片麻岩類と中生界堆積岩類の境界部にあたり、銅鉱徴が賦存する。

Tranomaro西部地区は、Tolanaro市の北西約130km、Mandrare川の中流域に位置し、標高は100～900mである。地区中央部に白亜紀の複合火山岩体が分布し、環状構造が発達する。

1-4-2 調査目的

衛星画像解析・衛星データのスペクトル解析結果について、現地での地質チェック調査を実施することにより、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、また相手国機関に対して技術移転を図ることを目的とする。

1-4-3 調査方法

踏査長280kmの地質チェック調査を実施した。マッピングには縮尺1/10万の地形図を使用した。なお、本地域の磁針は実測の結果西偏差約22°を示したので、調査ではこの数値を使用し

た。室内試験・分析のための試料として、岩石、鉱石及び鉱物サンプル約60ヶを採取した。

現地調査対象地域は、未開発の後進地域で、道路事情、衛生事情などは劣悪であるため、4WD車2台による移動キャンプ方式で調査を実施した。Toliara市にベースを設け、飲料水、食料、燃料など資器材一式をToliara市で調達した。

地質チェック調査の調査数量は次のとおりである。

1) 踏査長

Soamanonga地区	120 km
Tranomaro西部地区	160 km
合計	280 km

2) 室内試験

薄片作成、鑑定	22 試料
研磨片作成、鑑定	3 試料
X線回折	10 試料
鉱石分析 (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe)	10 試料
全岩分析	10 試料

1-4-4 調査団の編成

本調査に係った調査団員を下表に示す。

(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
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) 現地調査団

日 本 側		マダガスカル共和国側	
氏 名	所 属	氏 名	所 属
中村 仁一(副長)	三井金属資源開発株式会社	J. R. Ratsimbazafy (全脱)	動力鉱山省鉱山地質局
原田 春夫(地質)	三井金属資源開発株式会社	J. Andrianarimanana (全脱)	動力鉱山省鉱山地質局
		R. Anduamanantena (地質)	動力鉱山省鉱山地質局

1-4-5 調査期間

調査期間を下表に示す。

年月日 調査項目	1993年				1994年	
	9月	10月	11月	12月	1月	2月
計画準備	1.0 — 2.5					
現地調査		2.6 — 1.2				
試験・分析			1.3 — 3.1			
解析・報告書				1 — 2.5		

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

マダガスカル島の総面積は594,200km²で、日本の1.6倍に相当する。マダガスカル南部地域は、ほぼ南回帰線直下の熱帯圏に位置する。

本地域の道路は、道床が極めて悪く、乾期でも4WD車が必要であり、雨期には走行困難となる。Toliara市とTolanaro市間には、Anpanihy市を除き宿泊可能な宿舎はない。

Toliara市からSoamanonga地区には、最短走行距離220kmであり、約7時間を要する。Toranomaro西部地区には、距離約520kmで、約17時間を要する。首都Antananarivo市-Toliara市間の道路は、距離約1,000kmであり2日間の日程である。両市間には航空便週5便がある。

2-2 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地帯~海岸平野である。

2-3 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3章 一般地質

3-1 マダガスカル島の地質概要

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-2 に示す。

3-2 調査地区の地質概要

3-2-1 Soamanonga地区

Soamanonga地区は、先カンブリア紀の片麻岩類と古生代末期～中生代の堆積岩類の境界部に位置する。

片麻岩類は、本岩類の最上部を構成する原生代のVohibory系で、主に片麻岩、レプチナイト、角閃岩からなり、大理石を挟み、一部でカンブリア紀の花崗岩に貫入されている。本地区の北西部には、二疊紀末期～三疊紀のKaroo系Sakoa層群及びSakamena層群の頁岩、砂岩、礫岩が分布する。本地区北部のVarahina付近（Vohibory地区）には、銅の鉱徴が知られている。

3-2-2 Toranomaro西部地区

Toranomaro西部地区には、最下位を構成する始生代～原生代のAndroyen系の片麻岩類が分布する。片麻岩基盤中に、顕著な環状構造が発達し、本構造内及びその周辺には白亜紀の火山岩類が分布する。大陸楯状地内部での火山活動の性格、及びこれと鉱化作用の可能性を検討する上で興味深い地区である。本地区東方のToranomaro付近の片麻岩中にはウラノトリアナイト鉱床の賦存が知られている。

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, Bitsand		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 Sakamena Group (Permian-Jurassic) — 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-Tantalite U, Th, Be, Li	Pan African Orogeny	C, W	
				Vohibory System (1900Ma) Graphite System (2400Ma) Androyen System (3000Ma)			Ni, Cr, Fe, Barite, Asbest, Chrysolite, Cu, Zn, Au Graphite, Fe, Al, Garnet U, Th, Phlogopite, Al, Sn
2500	Archaean						

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

第4章 結論及び提言

4-1 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、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、第三紀の構造運動・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。

4-2 将来への提言

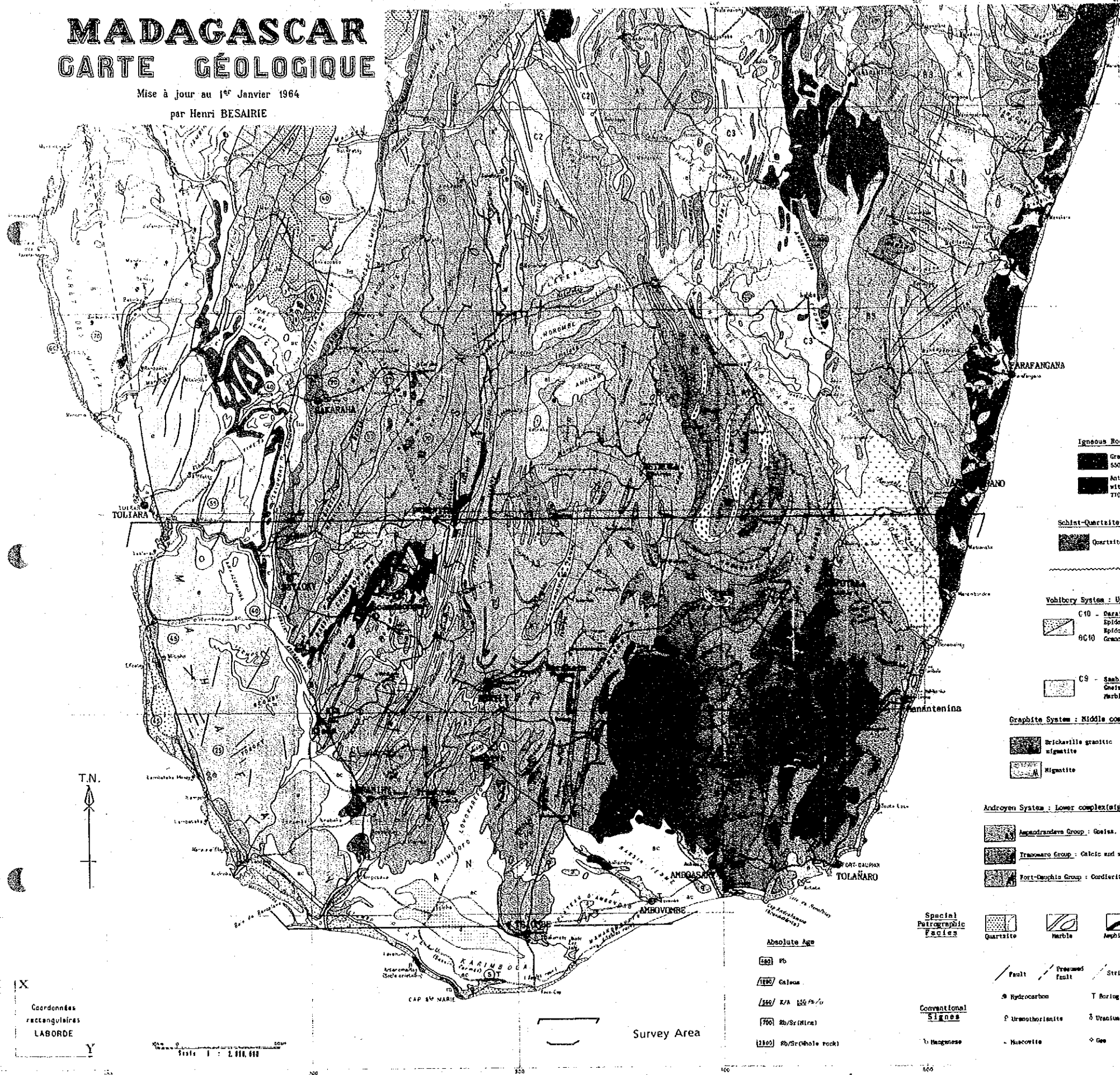
(1) Varahina地区の金・銀・銅鉱床は、小規模、断続的で、規模、まとまりに問題があるが、一部に極めて高品位な部分があるので、銅鉱徴が認められる周辺地区を含めて基礎的な調査を積み重ねて行くことが望ましい。

(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。

MADAGASCAR CARTE GÉOLOGIQUE

Mise à jour au 1^{er} Janvier 1964

par Henri BESAIKIE



LEGEND

Alluvium	Duna	Elevated white sand	Mangrove mud
Clastor Quaternary	Carpoca sand	Argillite old dune	Volcanic Rocks
Plio-Pliocene lacustrine sediment	Pliocene continental sediment	Lat-rillite clay	Pleistocene and Feogene
Marine Facies		Continental Facies	
Miocene	Oligocene	Eocene	Danian
Upper Cretaceous	Middle and lower Cretaceous	Upper Jurassic	Middle Jurassic
Upper Lias	Lower Triassic	Upper Permian	
Continental Facies		Continental Facies	
Miocene	Eocene	Upper Cretaceous	Middle and lower Cretaceous
Upper Jurassic	Middle Jurassic	Upper Jurassic facies	Isalo III
Isalo II	Isalo I	Sakava	Saboa

Igneous Rocks

Granite 550MA	Granite and migmatite 550MA	Syenite	Gabbro	Peridotite Pyroxenite
Antongil Granite with basic nodules 710MA	Aosymena Granite with charnockite 780-900MA	Yavavato Granite 100-1100MA	Nepheline syenite	Ultrabasic

Schist-Quartzite-Limestone Series (Precambrian)

Quartzite	Schist, mica schist	Marble
-----------	---------------------	--------

Major Orogenic Unconformity 2600MA

Vohibory System : Upper complex, mainly amphibole complex of old Precambrian

C10 - Oaratan Group : Epidote amphibolite, Epidote, Gneiss, Gneissolite	C9 - Saalirano Group : Gneiss, Quartzite, Marble	C8 - Antongil Group : Epidote migmatite, Amphibolite Group : Feldspathic mica schist	C7 - Ambohitra Group : Amphibolite, Green schist, Nepheline quartzite, Gneiss	C6 - Maroantona Group : Amphibolite, Green schist, Nepheline quartzite, Gneiss	C5 - Beforona Group : Amphibole migmatite, Amphibolite	C4 - Manakia Group : Mica schist, Gneiss, Green schist, Nepheline	C3 - Ambohitra Group : Gneiss, Amphibolite, Marble, Mica schist	C2 - Malakia Group : Mica schist, Marble, Quartzite	C1 - Vohibory Group : Lepidolite, Amphibole gneiss, Amphibolite, Marble
---	--	--	---	--	--	---	---	---	---

Graphite System : Middle complex (amphibolite-gneissic)

Briokaville granitic migmatite	Migmatite	B4 - Andrija Group : Migmatite and Gneiss without graphite	B3 - Ambohitra Group : Mica schist and Gneiss with graphite	B2 - Manakia Group : Gneiss and Migmatite with graphite	B1 - Ambohitra Group : Lepidolite with graphite
--------------------------------	-----------	--	---	---	---

Androyen System : Lower complex (amphibolite-lepidolite)

Ambohitra Group : Gneiss, Lepidolite, Pyroxenite, Marble, Charnockite	Travaro Group : Calcic and magnesian paragneiss, Maroonite, Pyroxenite, Marble, Lepidolite	Fort-Dauphin Group : Cordierite lepidolite
---	--	--

Special Petrographic Facies

Quartzite	Marble	Amphibolite	Phlogopite Pyroxenite	Graphite	Colitic amphibolite	Charnockite	Aegirine	Granite	Bauxite	Muscovite	Cyanite	Garnet	Sillimanite	Cordierite
-----------	--------	-------------	-----------------------	----------	---------------------	-------------	----------	---------	---------	-----------	---------	--------	-------------	------------

Conventional Signs

Fault	Preformed fault	Strike	Hot spring	Spring water	Cave	Lignite	Coal	Fossil
Hydrocarbon	Uranium	Titanium	Beryl	Cassiterite	Corundum	Quartz	Phlogopite	Salt soil
Nasconite	Gee	Iron	Mica	Barite	Monazite	Pyrochlore	Kaolinite	Beautonite

Characteristic Minerals

Muscovite	Cyanite	Garnet	Sillimanite	Cordierite
-----------	---------	--------	-------------	------------

X
Coordonnées
rectangulaires
LABORDE
Y

Scale 1 : 2,000,000

Survey Area

Absolute Age

- 550 Pb
- 710 Rb
- 780 Rb/Sr (Mica)
- 1000 Rb/Sr (Whole rock)

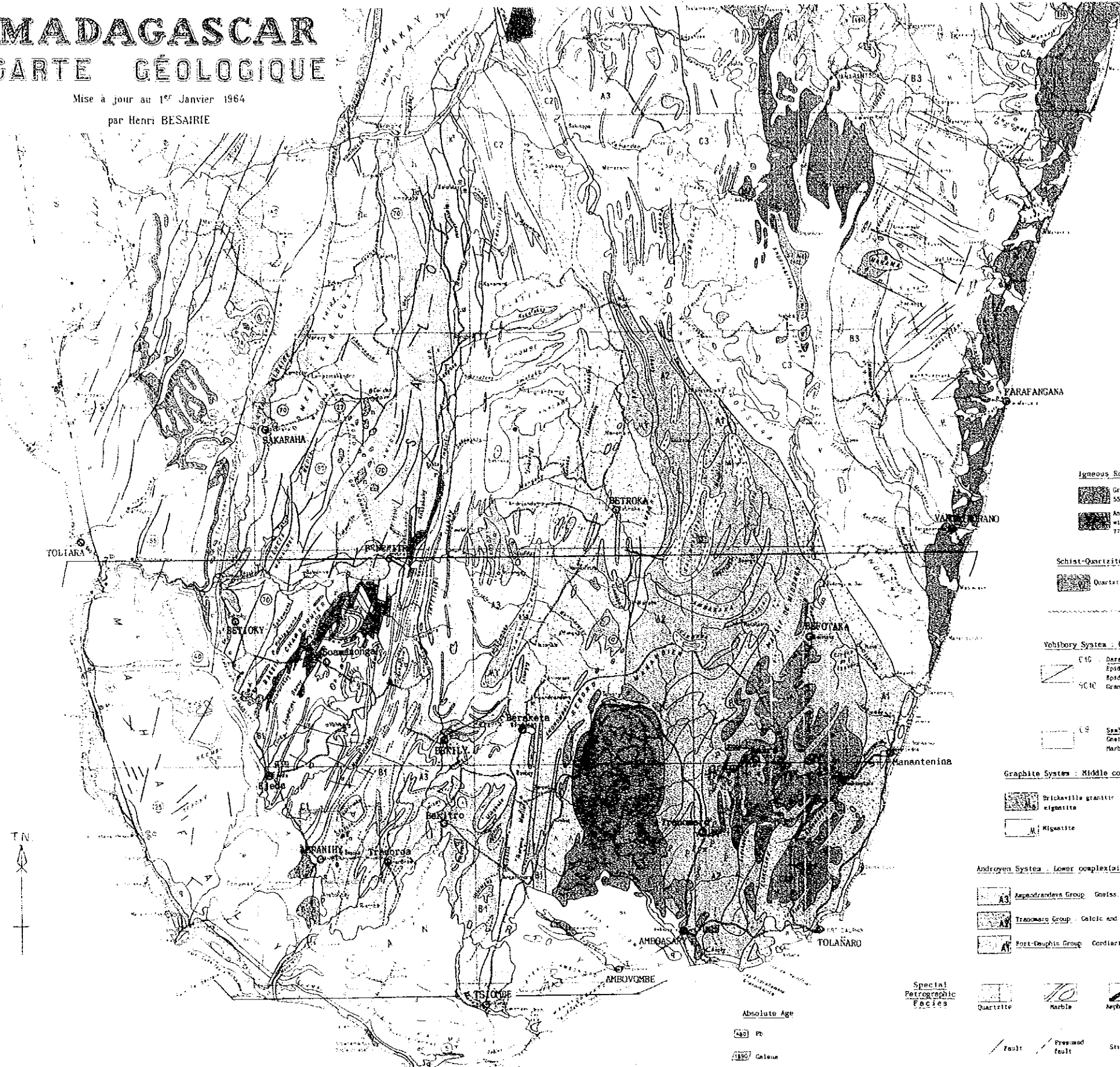
Fig. 1-2 Geological Map of Southern Part of Madagascar

Programme National de Cartographie Géologique de Madagascar
 Epave : Service Géologique de Madagascar-Tananarive
 Carte 1102 (1964)
 Carte No. 1102 (1964) 1:2,000,000

MADAGASCAR CARTE GÉOLOGIQUE

Mise à jour au 1^{er} Janvier 1964
par Henri BESAIRES

LEGEND



	Alluvium		Elevator Quaternary		Pliocene continental sodium		Pliocene continental sodium		Pliocene continental sodium
	Marine Facies		Continental Facies		Unconformity		Igneous Rocks		Schist-Quartzite-Limestone Series
	Miocène		Naogone		Granite 550MA		Quartzite		C10
	Oligocène		Upper Crétacé		Antongil Granite		Schist, mica schist		C7
	Eocène		Middle and lower Crétacé		Anosy Granite		Marble		C6
	Danien		Upper Jurassien		Varovato Granite		Gabbro		C5
	Crétacé supérieur		Middle Jurassien		Varovato Granite		Amphibolite		C4
	Crétacé moyen et inférieur		Lias supérieur		Varovato Granite		Gabbro		C3
	Jurassien supérieur		Trias inférieur		Varovato Granite		Gabbro		C2
	Jurassien moyen		Permien supérieur		Varovato Granite		Gabbro		C1
	Lias supérieur		Unconformité		Varovato Granite		Gabbro		C0
	Trias inférieur		Unconformité		Varovato Granite		Gabbro		C0
	Permien supérieur		Unconformité		Varovato Granite		Gabbro		C0

Fig. 1-2 Geological Map of Southern Part of Madagascar

第Ⅱ部 各論

第1章 Soamanonga地区

1-1 調査概要

Soamanonga地区面積2,000km²については、踏査長120kmの地質チェック調査を実施した。調査には国家地理院発行の縮尺1/10万の地形図を使用し、調査結果を縮尺1/10万及び1/25万の地質図にまとめた。岩石サンプル約10ヶ、鉱石サンプル約10ヶを採取した(Fig. II-2, Fig. II-3)。

Soamanonga地区は、乾燥した高原地帯に位置する未開発地域である。SoamanongaからFortrevotに至る幹線道路のほかに、牛車道、徒歩道があり、これらの一部は4WD車の通行が可能である。北部のVarahina銅鉱徴地(Vohibory地方)へは、4WD車の通行は途中のSakoaまでで、Sakoa以北へは徒歩になる。Soamanongaにキャンプを設営し、調査には4WD車を活用した。

1-2 地質概況

Soamanonga地区には、中央部から南部にかけて、先カンブリア紀Vohibory系の片麻岩類が分布する。本地区のVohibory系は、レプチナイト、片麻岩、角閃岩、大理石からなり(Besairie, 1964)、方鉛鉱中のPb同位体年代は1890Maを示す(Furon, 1963)。片麻岩類中には花崗岩が貫入しており、花崗岩の同位体年代は485Maを示し、この年代はカンブリア紀に対応する(Furon, 1963)。

本地区の北東部及び北西部には、片麻岩類を不整合に覆って、二疊紀～ジュラ紀の陸成の堆積岩類が分布する。陸成堆積岩類の層序は下位より次のとおりであり、南アフリカのKaroo系に対比される(Furon, 1963, Besairie, 1964)。

(1) Sakoa層群(下部二疊系)

①下部層：黒色頁岩及び礫岩からなり、層厚は150m。

黒色頁岩はロボク科(Schizoneura)の植物化石を含む。

②中部層：砂岩・頁岩互層で石炭層を挟む。層厚は約100m。

石炭層は層厚数m以下で数層が発達する。

本層はシダ類(Gangamopteris, Glossopteris)及びロボク科の植物化石を含む。

③上部層：長石質砂岩及び赤色頁岩からなり珪化木を産する。層厚は500～600m。

本層の最上部には石灰岩が分布する。

(2) Sakamena層群（上部二疊系～下部三疊系）

①下部層：シダ類(Glossopteris, Pecopteris)を含む頁岩で代表される。

最下部に礫岩が発達する。一部で石灰岩の薄層を挟む。

②中下部層：砂岩を主とし、爬虫類、両生類などの動物化石群を産する。

本層は二疊紀の終了と三疊紀の初まりを示す。

③中上部層：泥岩及び泥灰岩からなり、魚類、アンモナイト類、両生類などの動物化石を含む。最上部は頁岩、砂岩となる。

(3) Isalo層群（上部三疊系～中部ジュラ系）

主として砂岩からなり、本地区の北西方及び北方に分布する。

ジュラ紀以降は泥灰岩、石灰岩、石灰質砂岩などからなる海成層が卓越し、本地区の北西方、マダガスカル島の北部及び西部に分布する(Fig. I-1)。

1-3 地質調査結果

(1) 片麻岩類

Soamanonga地区の片麻岩類は、堆積岩起源の準片麻岩(Paragneiss)、花崗岩質の正片麻岩(Orthogneiss)、優黒質で角閃石に富む角閃岩(Amphibolite)、大理石などから構成される。

準片麻岩は、優黒質部(Pelitic gneiss)と優白質部(Psammitic gneiss)の互層からなり、互層のパターンは数mm～10数cm～10数mである。

有色鉱物は主として角閃石で黒雲母を伴う。優黒質部は、通常、細粒であり、優白質部は中～細粒である。

花崗岩質の正片麻岩は、淡灰色を呈し、通常中～粗粒である。有色鉱物は角閃石が主で、黒雲母、ざくろ石を伴う。地表では楕円～円頭丘の形で露出することが多い。

角閃岩は角閃石を主とし、中～細粒で黒色を呈する。一部で蛇紋岩の小規模な分布が認められる。

大理石は白色、粗粒で、地表によく露出するので、画像解析では最も有効なKey-bedである。

Betaly付近に分布する正片麻岩は、地表で卵形の規則的な形を呈し、その周辺に大理石を伴

っている。これは堆積岩の構造を残している可能性が考えられる。

片麻岩類の片理構造は、 $NE-SW$ 及び $NNW-SSE$ 方向が卓越し、傾斜は、通常 W 方向を示す。 $NE-SW$ 系は急傾斜が多く、 $NNW-SSE$ 系は急傾斜のほか緩傾斜もある。

片麻岩類の全体的な構造は、本地区の東方で $NE-SW$ 方向で急傾斜を示すが、本地区では一般的に緩傾斜となり、ドーム - ベーズン構造を繰り返していると推定される。その方向は $NNW-SSE$ 方向及び $NW-SE$ 方向であると推定される。

(2) 堆積岩類

本地区の北西部及び北東部に、南アフリカのKaroo系に対比される二疊紀～三疊紀の堆積岩類が分布する。堆積岩類と下位の片麻岩類との関係は不整合関係であるが、その分布は $NNW-SSE$ 系の断層に強く影響されている。

北東部のVohimany付近では、主として頁岩・砂岩互層が分布し、本互層はSakoa層群上部層に対比される。本互層の構造は、ほとんどフラットである。

北西部では、主としてVarahina-Ankinanyを結ぶ線以西に分布し、北部では砂岩・頁岩互層であるが、中西部では粗粒砂岩が分布し、これらはSakoa層群下部層～中部層に対比される。本岩層の走向は $N-S$ ～ $NNW-SSE$ で、傾斜は 20° ～ 30° W である。本地区の北西端、Sakoa川以西では、Sakamena層群下部層に対比される頁岩が広く分布する。本岩層の走向は $NNW-SSE$ 、傾斜は 10° 程度で西方へ緩く傾斜する。

Sakoa層群中部層の砂岩・頁岩互層は、石炭層を挟み、主要な炭層は5層あると言われている。Ankinanyには炭坑廃坑がある。

(3) 鉍化作用

Soamanonga地区は、銅鉍徴が分布するVohibory地方に含まれ(Bousteyak, 1970)、本地区北部のVarahina付近では、ピットによる試掘が行われ、銅鉍石のパイルが放置されている。今回、3個所のピットを確認できた。

鉍徴は、すべて角閃岩中の石英脈及びその周辺の破碎部及び角礫部に緑色銅を鉍染した小規模な鉍床である。石英脈は、 $NE-SW$ 系及び $NW-SE$ 系が卓越する。脈巾は、通常数 cm ～数 $10cm$ である。銅鉍石部は鉍染状で、規模 $10cm$ ～ $30cm$ 程度パッチ状で連続性に乏しい

(Fig. H-4)。

L. Bousteyak (1970)によれば、Varahina地方の銅の鉱徴は基盤岩中のみならず、上位のKaroo系堆積岩中にも認められる (Vohibory北部及びVohibory東方のIboaka川地区)。これらの銅鉱徴の多くは、NNE-S SW系またはNNW-SSE系の断層に沿って分布しており、銅鉱化作用と断層活動の密接な関連性が推定される。

なお、Ampisapio付近、Betaly西方4 km、Soamanonga西方2 kmなどで、ゴッサン露頭が認められる。ゴッサンはいずれもNNE-S SW系の断層破碎帯～角礫帯に伴われている。

1-4 鉱石分析結果

(1) Varahina銅鉱石

Varahina付近の3箇所のピット及び鉱石パイルから採取した緑色銅鉱石の分析結果は次のとおりである。

No.	Name	Location	Length (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)
511	Green Cu	V-No. 1	0.1	3.38	125	15.6	0.01	0.01	2.88
512	Green Cu	V-No. 1	0.1	<0.02	<0.3	0.14	<0.01	0.01	5.90
514	Green Cu	V-No. 1	0.1	0.30	110	21.6	<0.01	0.01	3.20
515	Green Cu	V-Pile		2.57	184	31.7	<0.01	<0.01	5.60
516	Green Cu	V-No. 2	0.1	0.03	1.6	0.49	<0.01	<0.01	1.38
518	Green Cu	V-No. 3	0.2	3.27	198	14.8	<0.01	<0.01	1.06
519	Green Cu	V-No. 3	0.2	3.56	8.4	9.7	<0.01	<0.01	2.04

今回の分析結果によれば、高品位部は、Cu 15 % 程度を示し、Au 3 g/t 程度、Ag 120 g/t 程度を含んでいる。X線回折によれば、主要な銅鉱物は孔雀石 (Malachite)、藍銅鉱 (Azurite)、プロシャン銅鉱 (Brochantite) などの2次鉱物である。研磨片の顕微鏡観察では、このほかに、ダイジェナイト (Digenite)、硫酸銅鉱 (Boothite)、輝銅鉱 (Chalcocite)、銅藍 (Covellite) などが認められた。主要鉄鉱物は、アンケライト (Ankerite) である。脈石鉱物は、石英、正長石、斜長石を主とする。

本鉱石は、金・銀に富む銅鉱石である。局部的には十分高品位を示すので、鉱体規模の拡大と高品位部の連続性が確認できれば、有望性が増す。

(2) ゴッサン

Soamanonga地区3個所で採取した角礫脈に伴うゴッサンの分析値は次のとおりで、Feを除きAu、Ag、Cu、Pb、Znは極微量であった。X線回折によれば、ゴッサンの主要鉱物は、石英、針鉄鉱(Goethite)、赤鉄鉱である。

No.	Name	Location	Length (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)
313	Gossan	Ampisapiso	0.5	<0.02	0.3	0.01	<0.01	0.01	31.6
358	Gossan	Betaly	0.5	<0.02	<0.3	0.01	<0.01	<0.01	1.9
359	Gossan	Soamanonga	1.0	0.03	0.6	0.01	<0.01	<0.01	19.8

第2章 Tranomaro西部地区

2-1 調査概要

Tranomaro西部地区面積5,000km²については、踏査長160kmの地質チェック調査を実施した。調査には縮尺1/10万の地形図を使用し、調査結果を縮尺1/10万及び1/25万の地質図にまとめた。岩石サンプル約40ヶを採取した (Fig. II-5, Fig. II-6)。

Tranomaro西部地区は、Mandrare川の中流域に位置する内陸の孤立した未開発地域である。西方のBekily及び南方のAmbosaryから本地区北部のTsivory、中央部のMarotsiraka及びEbeloを結ぶ幹線道路は、4WD車による通行が可能である。Ebelo及びTsivoryにキャンプを設営し、調査には4WD車を活用した。

2-2 地質概要

Tranomaro西部地区は、中央部に環状構造が発達し、白亜紀の火山岩類が分布する。環状構造の外側には先カンブリア紀Androyen系の片麻岩類が分布する。Androyen系の片麻岩類は、主として、片麻岩、レプチナイト、輝岩、花崗岩質片麻岩などからなり、3,000Maの年代と言われる (Furon, 1963)。白亜紀火山岩類は玄武岩と流紋岩を主とする。環状構造の周辺部には、白亜紀の細粒花崗岩が貫入している (Fig. II-1)。

2-3 地質調査結果

(1) 片麻岩類

Tranomaro西部地区の片麻岩類は、花崗岩質片麻岩 (Gneissose granite)、正片麻岩、準片麻岩、輝岩などからなり、環状構造の外側に分布する。

花崗岩質片麻岩は、優白質、粗粒、比較的均質であり、有色鉱物として少量の輝石、ざくろ石などを含み、本地区の東部に分布する。正片麻岩は、淡灰色、粗粒で、有色鉱物として輝石、ざくろ石、黒雲母などを含み、本地区の東部に分布する。輝岩は、暗緑色、中～粗粒、比較的均質であり、本地区の北東部に分布する。準片麻岩は、淡灰色～暗灰色を呈し、中～粗粒、不

均質である。角閃石、輝石のほかざくろ石を含み、環状構造の外側に広く分布する。本地区西部の準片麻岩は董青石 (Cordierite) を含むのが特徴である。

片麻岩類の片理構造は、環状構造の東側ではN-S~NNE-S SW方向で複雑に変動するが、西側ではN-S方向、急傾斜である。

(2) 細粒花崗岩

細粒花崗岩 (Microgranite) は、淡灰色、細粒で、黒雲母、角閃石を含み、片理構造は示さない。Tsivoryの北方及びImanombo付近などで環状構造の外縁部に分布する。産状は岩株状~岩脈状である。本岩はその岩相、産状などからみて、白亜紀火山岩類の活動に関連する貫入岩であると推定される。

(3) 白亜紀火山岩類

白亜紀火山岩類は、玄武岩及び流紋岩からなり、主として、Mandrare川の支流河川が造る大規模な環状構造 (東西45km、南北70km) の内側に分布する。玄武岩は主として溶岩であり、一部で集塊岩を挟む。流紋岩は溶岩、岩脈、岩株などがある。

1) 玄武岩

玄武岩は、輝石、かんらん石の斑晶を有し、暗灰色~黒色を呈し、緻密である。玄武岩の流理はほぼ水平である。玄武岩溶岩流の頂部は北部で海拔300m、中部で海拔300m、南部で海拔100m程度を示し、全体的に南方~南東方へ緩く傾斜する。南方へは環状構造の外側まで分布する。環状構造の外側では、北部のElonty付近などで、環状構造に直交する方向の放射状岩脈が認められる。なおEbelo周辺では、玄武岩溶岩の露頭表面が角礫岩状となり、緑色~褐色を呈する。

2) 流紋岩

流紋岩は、石英と長石の斑晶を有し、通常、淡灰色を呈するが、褐鉄鉱を鉱染し褐色を呈することがある。次の3種類の岩相が認められ、一般的にみて、①は溶岩、②は岩脈、③は岩株に対応する。

- ①流理構造を有するもの
- ②流理構造を示さないもの
- ③珪化、角礫化が著しく、黄鉄鉱を鉱染するもの

流紋岩は、主として、環状構造を埋めた玄武岩溶岩上に噴出し、海拔900mに達する環状の溶岩台地を造っている。流紋岩は、2～3重の環状の分布を示しており、中央部のMarotsiraka付近では、流紋岩岩脈が玄武岩中に環状に貫入している。環状の流紋岩溶岩台地の下部には、環状の岩脈または岩株が伏在すると推定される。

環状構造の外側では、北部、西部などで流紋岩岩脈が片麻岩中に貫入している。流紋岩溶岩台地の構造から、流紋岩の活動には3～4回のサイクルがあったと考えられる。

(4) 鉍化作用

本地区の鉍物資源としては、北東部Elonty東方の片麻岩中にカオリンを主とする粘土及び珪石があるが、いずれも小規模である。金属資源としては、流紋岩岩株部に鉍染する黄鉄鉍、玄武岩に鉍染する磁鉄鉍及び黄鉄鉍のほかには顕著な鉍徴は認められない。

本地区東方のTranomaro付近の片麻岩中には、ウラノトリアナイト(Uranothorianite)鉍床が知られている。鉍床は脈状を呈し、石英・カリ長石脈中にウラノトリアナイトを鉍染する。脈巾は数mに達するが、高品位部は断続的でパッチ状である。鉍床周辺の片麻岩中には、直径10cmに達する黒雲母の巨晶が特徴的に発達する。1954～1964年にCEAにより採掘されたが、現在は休止されている。

2-4 岩石分析結果

Tranomaro西部地区及びSoamanonga地区で採取した岩石試料、各々、15試料及び5試料、合計20試料の全岩化学分析値を、Ap. 3に示す。

分析結果から次の傾向が明瞭である。

玄武岩：MgO, FeO, Fe₂O₃, TiO₂, 及びCaOに富む

流紋岩：K₂O及びSiO₂に富む

細粒花崗岩：SiO₂に富む

正片麻岩：SiO₂及びAl₂O₃に富む

角閃石：MgO及びCaOに富む

Anorthosite：Al₂O₃及びCaOに富む

角礫化珪化流紋岩：Al₂O₃, K₂O及びNa₂Oに乏しい

火山岩及び貫入岩の岩質を検討するため、SiO₂-(Na₂O+K₂O)図及びACF [(Al₂O₃-Na₂O-K₂O)

-CaO-(FeO+MgO) 図を作成し、Fig. I-7に示す。Tranomaro西部地区の火山岩類は、 SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図上で、すべて流紋岩とアルカリ玄武岩に分類され、中間の岩質を欠いている。これは本地区の白亜紀の火山活動がバイモーダル (bimodal) な火成活動であったことを示している。

ACF図では、両地区の貫入岩及び正片麻岩はすべて、 Al_2O_3 及び $(\text{FeO}+\text{MgO})$ に比較してCaO成分に富む I-Type (White and Chappel, 1977) の花崗質岩に分類される。

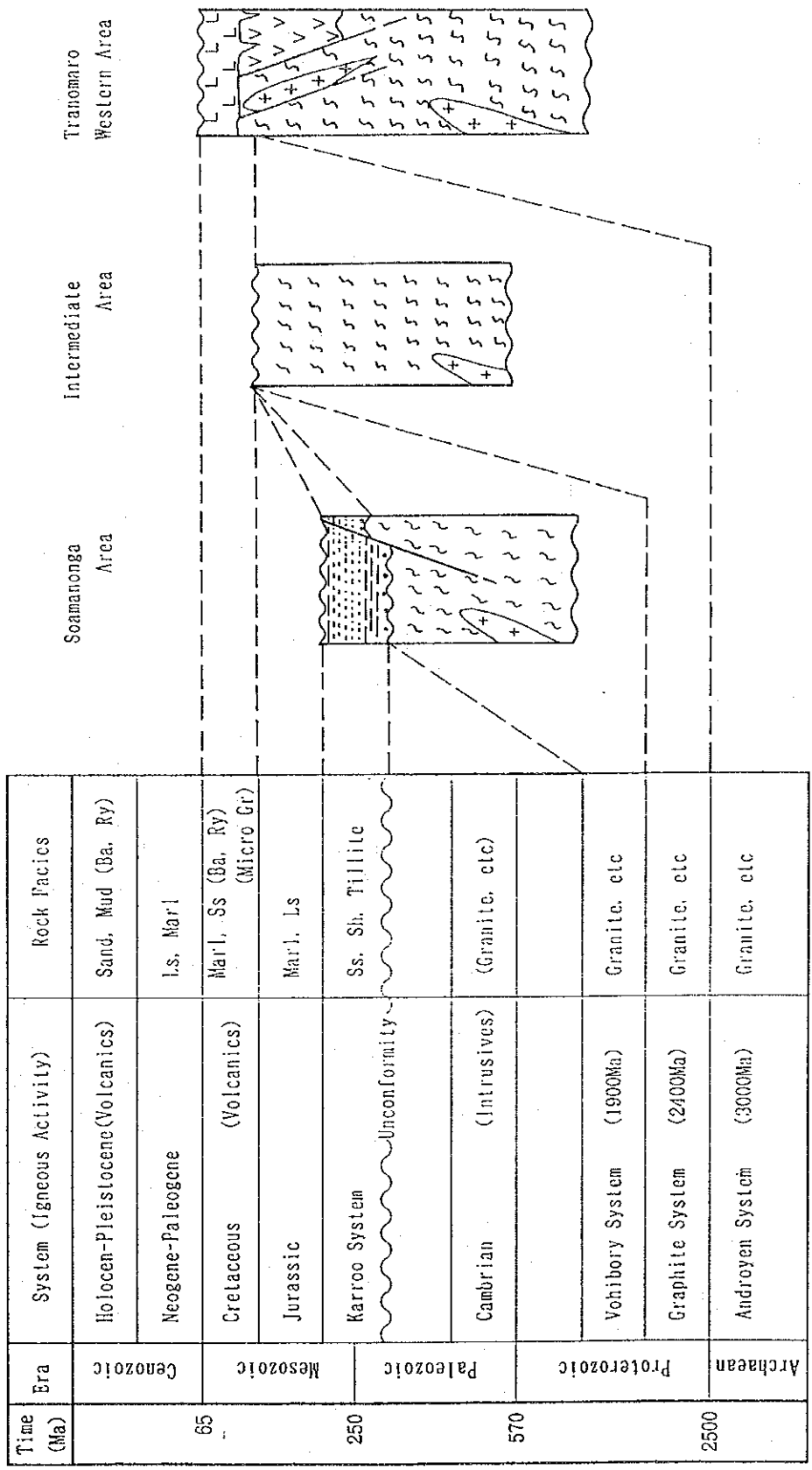
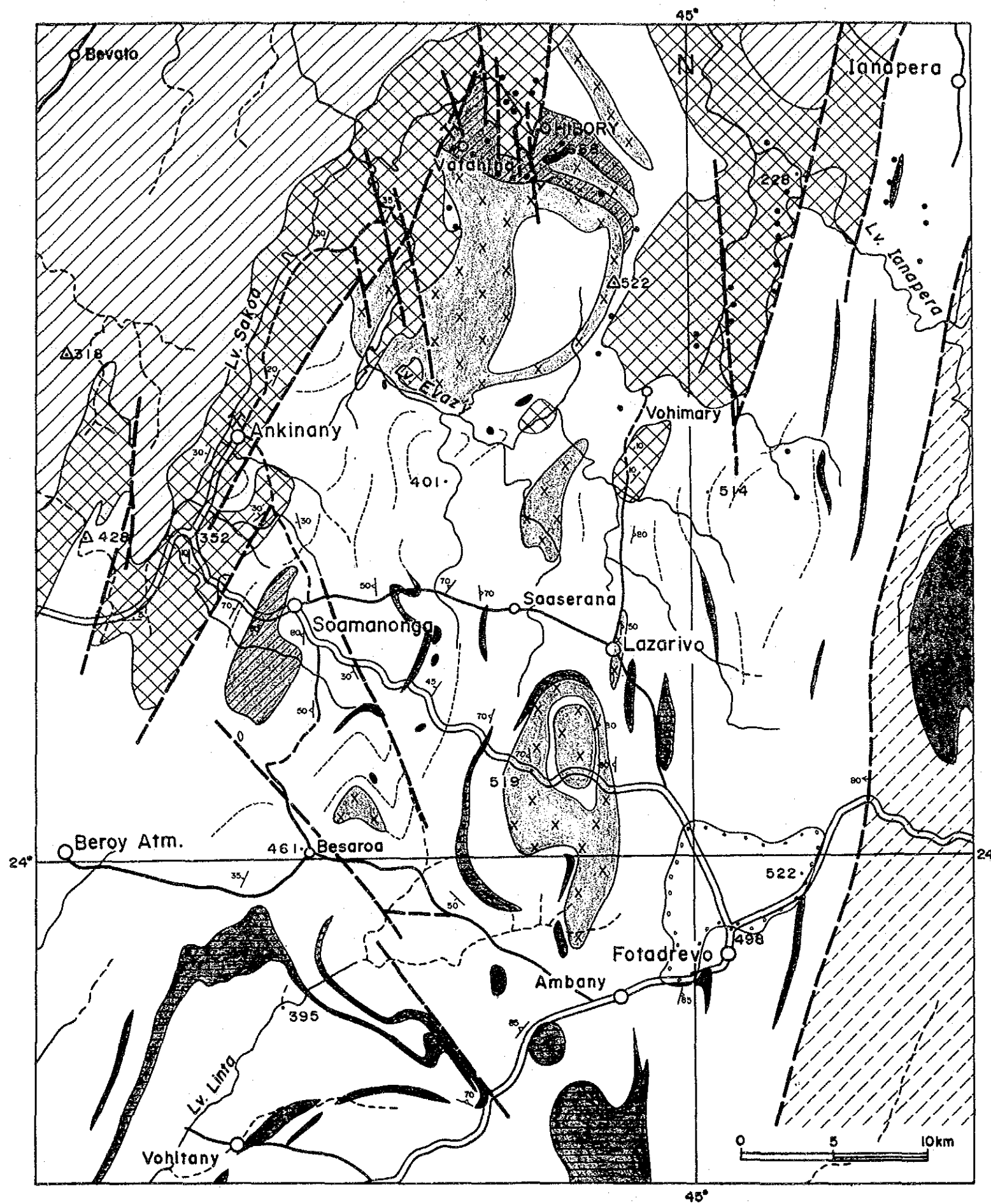


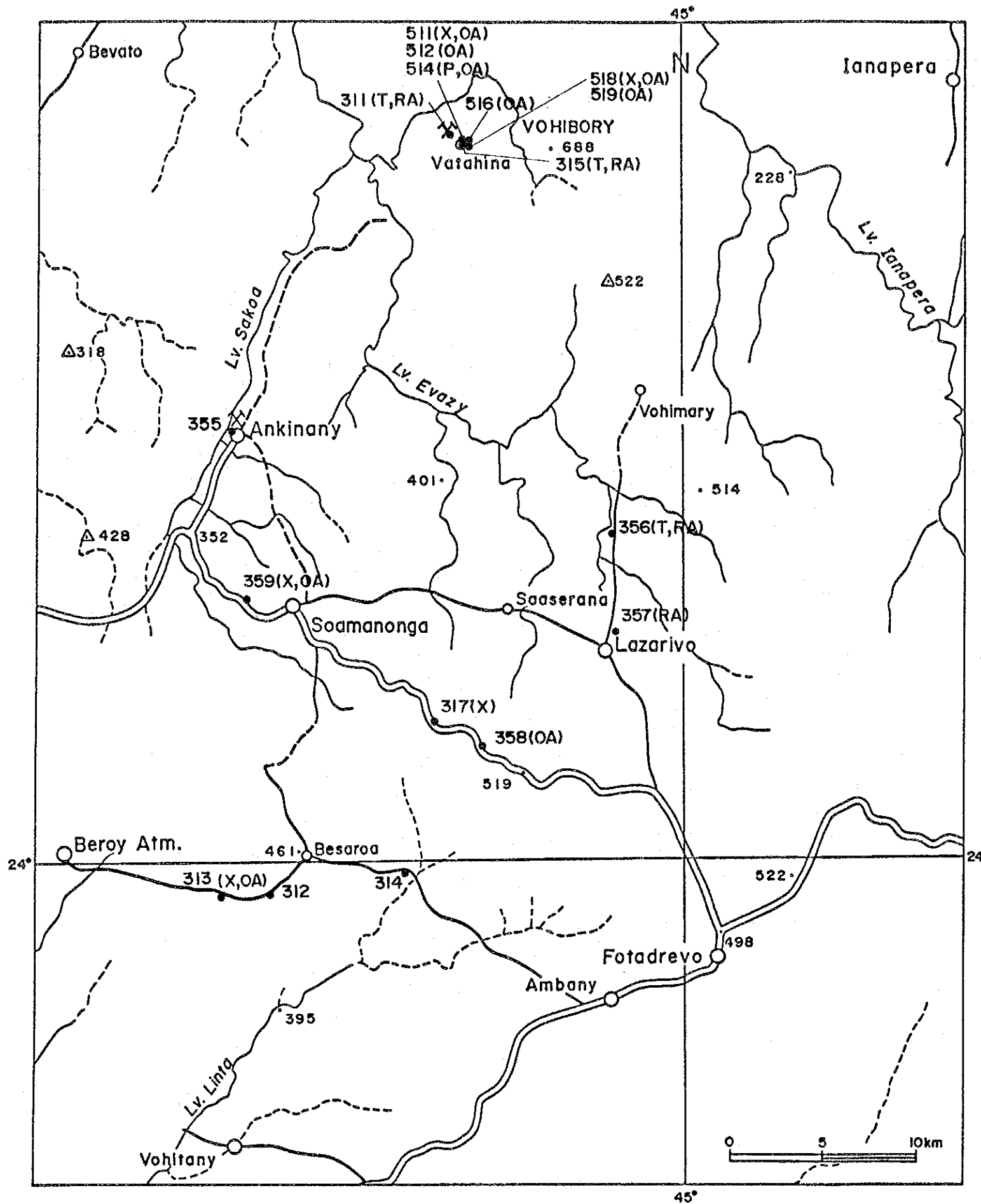
Fig. II-1 Geologic Column of Survey Area



LEGEND

Alluvium		Sand, Mud
Cretaceous Volcanics		Rhyolite
		Basalt
		Microgranite
Triass-Perm. Sediments		Sakamen Fm. (Shale, Marl)
		Sakoa Fm. (Shale, Sandstone)
Intrusives (Cambrian)		Granite, Syenite, Gabbro
Precambrian Vohibory System		Orthogneiss
		Amphibolite
		Serpentine
		Paragneiss
		Marble
Graphite System		Gneiss, Migmatite
		Anorthosite
Androyen System		Orthogneiss
		Pyroxenite
		Paragneiss
Structure		Bedding
		Gneissosity
		Fault
Mineralization		Cu-Mineralization

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



LEGENDE

- 311 Sampling Location and Sample No.
- T Thin Section
- P Polished Section
- X X-Ray Refraction
- RA Whole Rock Analysis
- OA Ore Assay

Fig. II-3 Sampling Location Map of the Soamanonga Area, 1:250,000

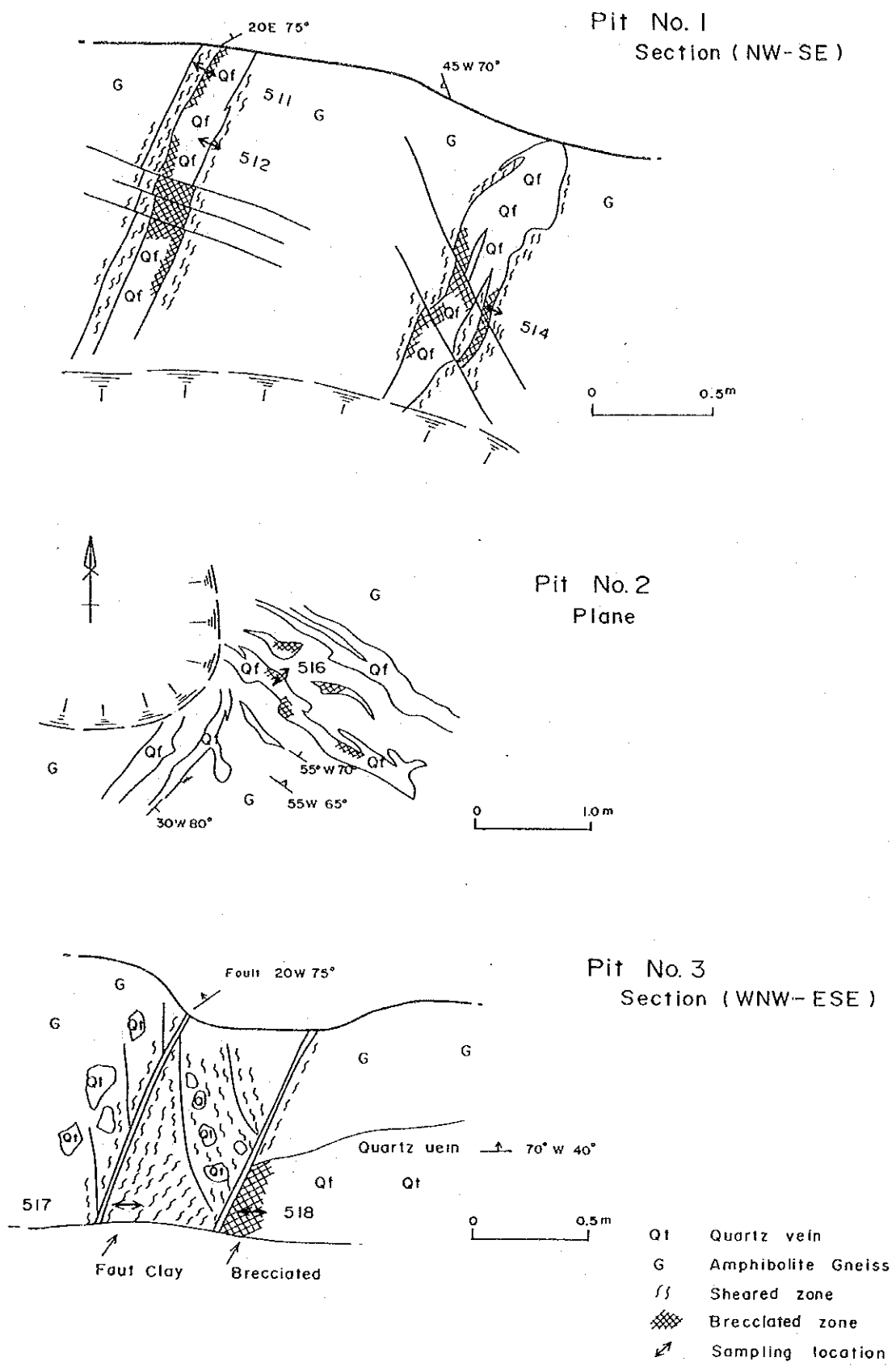
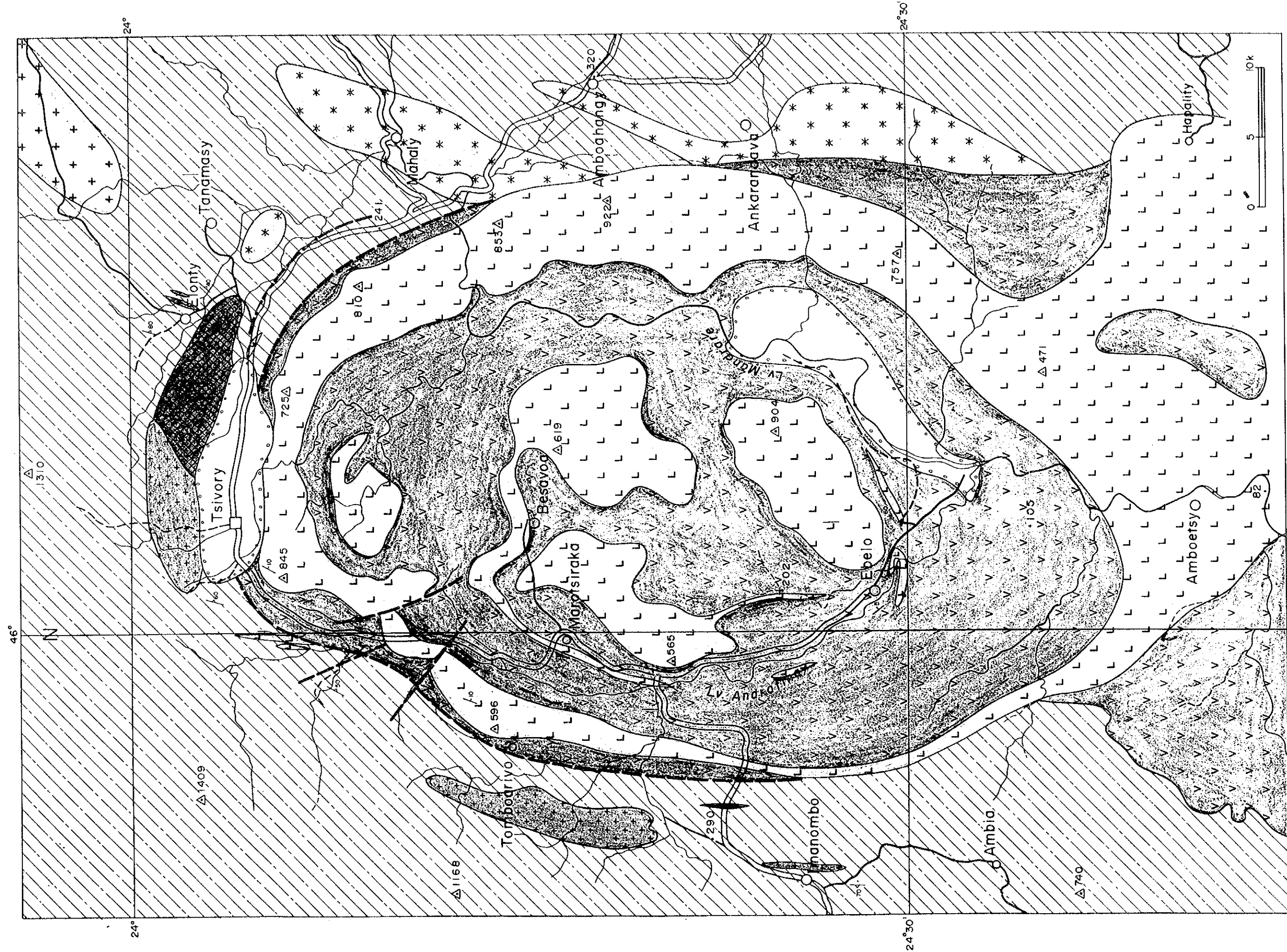
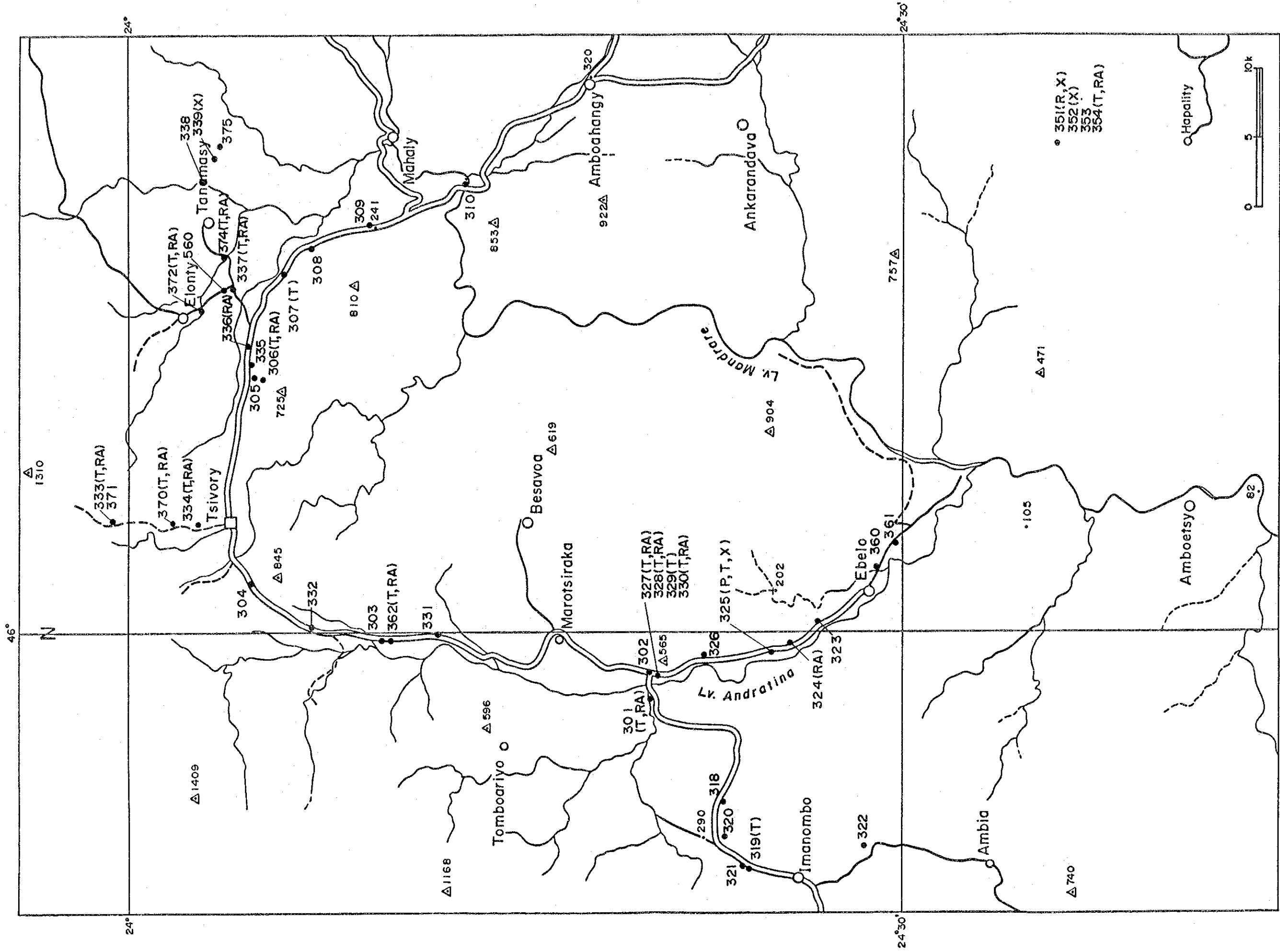


Fig. II-4 Geological Sketch of Copper Indication of Vohibory Area



LEGEND is shown in Fig. II-2

Fig. II-5 Geological Map of the Toranomaro Western Area. 1:250,000



Legend is shown in the Fig. II-3

Fig. II-6 Sampling Location Map of the Tranomaro Western Area. 1:250,000

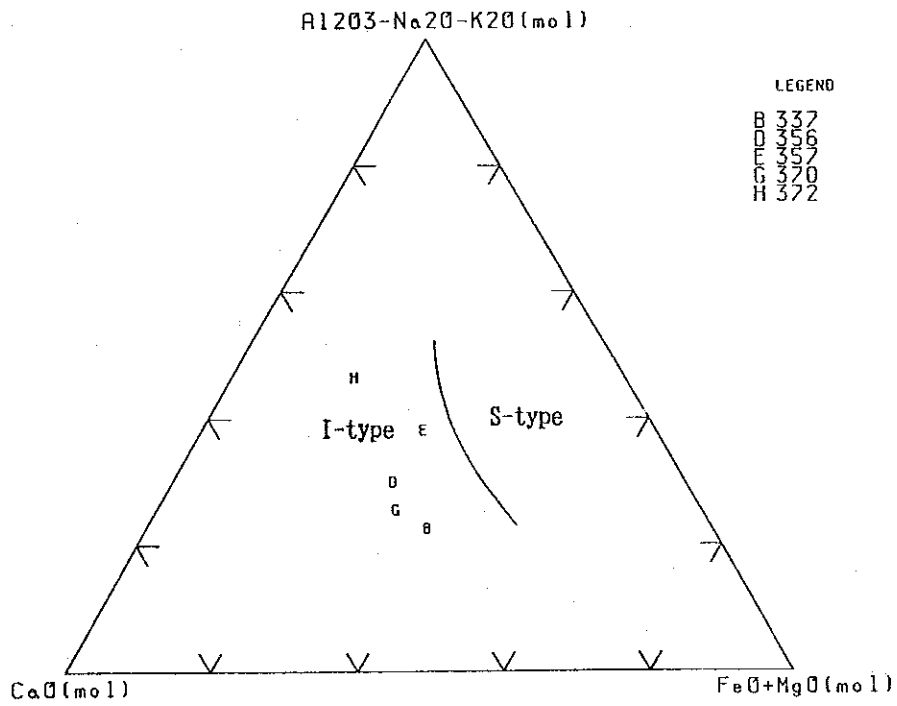
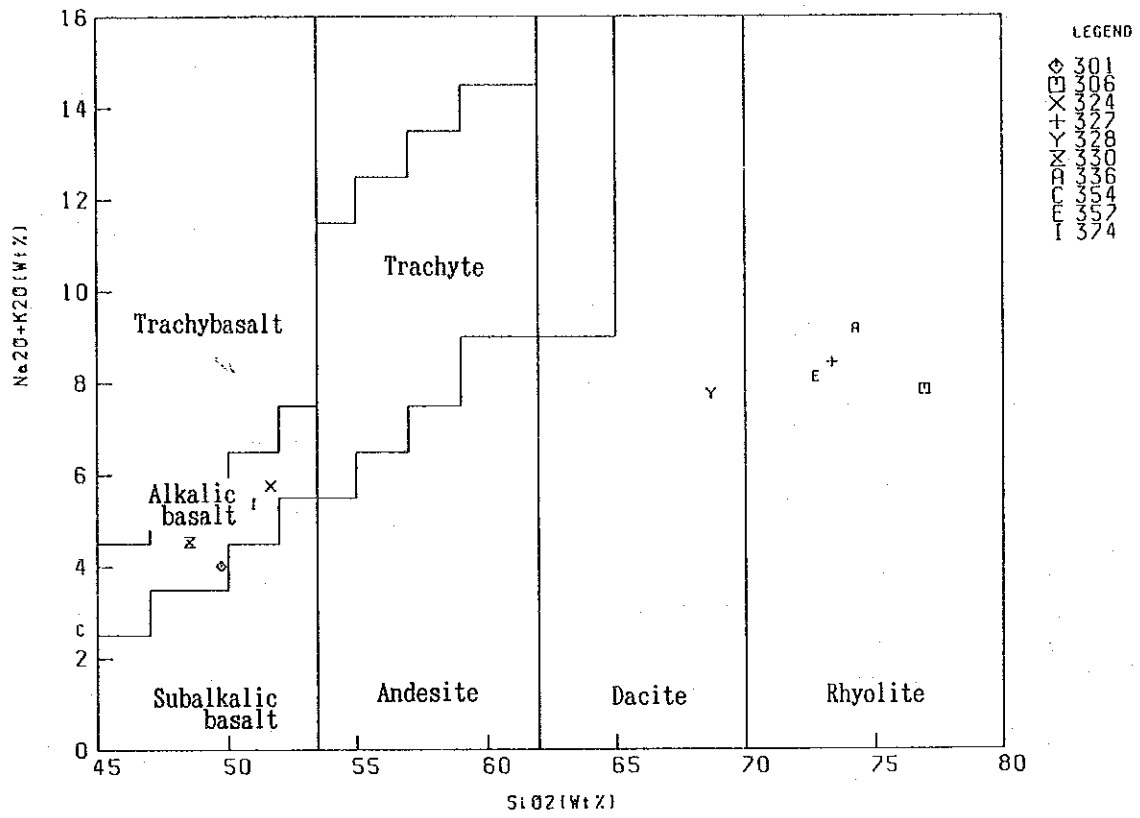


Fig. II-7 Geochemical Diagram of Rock Samples

第3章 調査結果の総合検討

3-1 衛星画像と地表の植生状況

衛星画像は、全体的にみて、地質構造—特に、地表調査では確認困難な大構造を極めて良く反映する。岩質を反映するのは主としてスペクトル特性であるが、スペクトル特性は地表の植生を強く反映するので、衛星画像のみから岩質・岩相を判読するのは必ずしも容易ではない。このためには現地でのチェック調査が有効である。

調査地域の地表・植生状況は変化に富み次のとおりである。

- ①砂漠（岩石、砂礫）
- ②草原
- ③灌木
- ④森林（有棘植物、落葉樹、常緑樹）
- ⑤人工物（田畑、村落）

上記の植生状況を規制する要因には、気象条件と地形・地質条件とがある。気象条件は広域的なので無視できる。地形・地質条件は次の要素に区分できる。

- ①地質構造、岩質分布
- ②地形
- ③土壌
- ④水系（流水・地下水）

植生は、直接的には広域的な気象条件と水系、土壌の発達状況など規制され、さらに地形に規制される。これらの要因は基本的には地質構造及び岩質分布に影響される。

従って、画像解析により、岩質・岩相を正しく判読するためには、地表の植生状況を加味した補正が必要である。

今回の現地チェック調査で確認された幾つかの注目点を下記に記述する。

- ①流紋岩は、バンド2・3・4のフォールスカラー画像で、主として植生状況により淡青色、淡褐色、黄褐色、黒色などの多様な色彩を呈する。
- ②植生でも種類により、赤色（濃緑樹）、暗褐色（有棘樹林、落葉樹など）から青色（草地、有棘植物など）まで変化する。

- ③ Sakoia層群の砂岩、頁岩は下部に不透性の片麻岩が分布するので、樹林帯となり暗褐色を呈する。Sakamen層群の砂岩は下部に透水性のSakoia層群が分布するので砂漠～草地となり淡青色を呈する。
- ④ 石灰岩は地表に良く露出するので、バンド2・3・4のフォールスカラー画像で明灰色を呈し、追跡が可能である。
- ⑤ バンド比3/2のスペクトル異常は、地表部の褐鉄鉱を示す。
バンド比5/7のスペクトル異常は、土壌（粘土鉱物）の発達を示す。

3-2 新期堆積岩類と基盤岩との関係

二疊紀以後の堆積岩類は、本地区の北西部、北東部などで基盤の片麻岩類を不整合に覆い、全体的には西北西へ 5° ～ 15° 程度で緩く傾斜する。本地区での堆積岩類の分布の形は、一般的に不規則であるが、両岩類の境界は、局部的に直線的であり、NNE-SSE方向が卓越している。この方向の境界線の近辺では、堆積岩類の構造は乱れが強く、傾斜は西北西へ 25° ～ 35° 程度で急傾斜を示す傾向がある。さらに、堆積岩類はNNE-SSW方向に繰返し分布する。

これらの事実は、両岩類の境界部にはNNE-SSW系断層群が発達することを示している。NNE-SSW系断層群は、全体的に堆積岩類と片麻岩類の分布を規制しており、本地区の西方で古生代末期から中生代末期にかけて発達した大地溝帯の東縁を示すものと考えられる。

3-3 片麻岩類の岩相

Soamanonga地区とTranomaro西部地区の片麻岩類の岩相は明らかに異なる。Soamanonga地区の片麻岩は、Vohibory系（年代1,890Ma）に分類され、準片麻岩、正片麻岩、角閃石のほか大理石を含む。岩相は細～中粒で、堆積時の構造を保存している。鉱物組成としては角閃石に富むのが特徴で、変成相としては中圧・中温の角閃石相に属すると推定される。

なお、本地区の正片麻岩は、その形態が極めて規則的で、周縁部に大理石を伴う場合があるので堆積岩起源である可能性が考えられる。

Tranomaro西部地区の片麻岩は、Androyen系（年代3,000Ma）に分類され、正片麻岩、準片麻

岩、花崗岩質片麻岩、輝岩などからなる。岩相は著しく粗粒、等粒状で、比較的均質である。鉱物組成としては、輝石、ざくろ石に富むのが特徴で、変成相としては、中圧・高温のグラニユライト相に属すると推定される。

3-4 Tranomaro西部地区の環状構造

Tranomaro西部地区には、片麻岩中に噴出した白亜紀火山岩類が造る環状構造が発達する。環状構造は、3～4重に発達しており、そのうち最も顕著なのが、Tsivoryを通り、東西約45 km、南北約70 kmの環状陥没構造である。この環状陥没構造の内側は白亜紀の玄武岩溶岩で満たされている。玄武岩溶岩は南方へは環状陥没構造の外側へ流出している。

さらに玄武岩溶岩台地上に、流紋岩が2～3重の環状に貫入～噴出している。環状構造の北部、東部、南部などでは、流紋岩溶岩が標高差700 mに達する溶岩台地～山嶺を造っており、西部では玄武岩溶岩を切る環状岩脈が発達する。流紋岩溶岩台地の下部には、流紋岩環状岩脈の伏在が予測される。この環状陥没構造の外側には、径100 kmに達する円形～馬蹄形の大規模な崩壊地形が発達している。

これらの事実は玄武岩溶岩及び流紋岩の噴出に先立って大規模な火山活動があったことを示唆する。Tsivory北方などで認められる細粒花崗岩は、環状構造の形成に関与した火山活動の貫入相を代表すると考えられる。

本地区の火山活動は、安定大陸地殻中に生じたホットスポットに関連する典型的な火成活動であろう。

3-5 マダガスカル島の広域地質構造

既存の地形図及び地質図によれば、マダガスカル島の基本的な地質構造として、次の2系統の地質構造線の重要性が指摘できる。

① NNE - SSW系地質構造線 (NW - SE系断層を伴う)

② NNW - SSE系地質構造線 (NE - SW系断層を伴う)

NNE - SSW系地質構造線は、先カンブリア紀基盤岩中の大規模な地溝-地壘構造の形成に関係し、白亜紀の火山活動を伴っている。最も典型的に発達するのは、マダガスカル島の東

海岸の急崖及び海岸線である。本系統の構造線は、基盤岩の分布、さらにはマダガスカル島の基本構造を規制していると推定される。

NNW-SSE系地質構造線は、主として中生代堆積岩類の分布に平行して発達し、第三紀の火山活動を伴っている。本系統の構造線は、マダガスカル島の北西部、中西部などで中生代堆積岩類の分布に関係し、現在の水系に影響を与えていると推定される。

3-6 鉱物資源

マダガスカル南部地域で、賦存が期待できる鉱物資源としては次のものがある。

- ①片麻岩中の貴石類（エメラルド、ルビー、サファイヤ、ガーネットなど）
- ②片麻岩中の非金属鉱床（珪石、石墨、ウラノトリアナイトなど）
- ③片麻岩中の風化残留鉱床（カオリン、ポーキサイトなど）
- ④片麻岩中の金属鉱床（縞状鉄鉱など）
- ⑤中生層中の石炭
- ⑥第四紀の漂砂鉱床（ブラックサンド）
- ⑦Varahina地区の金・銀・銅鉱床

これらの鉱物資源は、成因上次のように分類できよう。

- ①片麻岩中、先カンブリア紀に形成された鉱床：貴石類、縞状鉄鉱など
- ②片麻岩中、カンブリア紀の造山運動期に形成された鉱床：ウラノトリアナイト、Cr、Ni
など
- ③白亜紀火山活動及びNNE-SW系構造運動に関連して形成された鉱床
- ④第三紀～第四紀の火山活動及びNNW-SSE系構造運動に関連して形成された鉱床
- ⑤第三紀～第四紀の風化残留鉱床及び漂砂鉱床：カオリン、ポーキサイト、ブラックサン
ドなど

Varahina地区の金・銀・銅鉱床は、基盤岩中のNNE-SW系及びNW-SE系の石英脈に沿っていること、及び中生代Karoo系堆積岩中にも鉱徴が認められることなどから、成因上③に分類できるのではないかと考えられる。

本地域には、上記のような多様な資源が期待できるが、その探鉱・開発には、各々、次のような特徴がある。

- ①私企業による小規模継続的な開発が適当なもの：貴石類など
- ②需要サイドの品質条件が厳しいもの：珪石、カオリン、鉄鉱石、ボーキサイトなど
- ③コスト条件が厳しいもの：石炭、鉄鉱石など
- ④安定操業の維持に難点があるもの：ブラックサンドなど
- ⑤計画的な探鉱・開発が可能なもの：非鉄金属、貴金属など
- ⑥開かれた国際市場が整備しているもの：非鉄金属、貴金属など

上述した観点からみると、銅、クロム、ニッケルなどの非鉄金属及び金、銀などの貴金属が、今後、探鉱ターゲットを絞り込む上で重要であろうと思われる。

特にVarahina地区の金・銀・銅鉱床群は、現時点では小規模で開発対象とはなりえないが、下部及び周辺へ発展する可能性も考えられるので、基礎的調査を積み重ねて行くことが望ましいと思われる。

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結 論

第1年次に既存資料コンパイル及び衛星画像判読、第2年次に衛星データスペクトル解析を実施し、その結果有望地区として抽出された2地区、Soamanonga地区及びTranomaro西部地区について、第3年次に現地地質チェック調査を実施した。その結果、次の事実が判明した。

1) 衛星画像は、全体的にみて、広域的な地質構造を極めてよく反映する。また、衛星画像は、様々な事象を客観的に反映するので、初期の地質概査段階のみでなく精査段階でも極めて有効に活用できる。しかし、岩質の判読については、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り、現地チェック調査は有効である。

2) 本地域の基盤をなす片麻岩類は、東部と西部とで岩相と変成相を異にする。東部のTranomaro地区の片麻岩は、Androyen系(3,000Ma)に分類され、比較的均質粗粒等粒状で、輝石、ざくろ石に富み、中圧・高温のグラニュライト相に属する。西部のSoamanonga地区の片麻岩は、Vohibory系(1,890Ma)に分類され、比較的不均質細～中粒で、角閃石に富み、中圧・中温の角閃石相に属する。

3) Soamanonga地区で片麻岩類とこれを不整合に覆う新期堆積岩類との境界線は、NNE-SW系断層群に規制されている。このNNE-SW系断層群は、本地区の西方でマダガスカル島とアフリカ大陸を分ける大地溝帯の東縁を示すと考えられる。

4) Tranomaro西部地区の環状陥没構造は、東西約45km、南北約70kmの規模を有し、内側が白亜紀の玄武岩溶岩で満たされ、さらに玄武岩溶岩台地上に、流紋岩が2～3重の環状に貫入～噴出している。この環状陥没構造の外側には、径100kmに達する大規模な崩壊地形が発達している。

この環状陥没構造の形成に関与した火山活動は、安定大陸地殻中に生じたホットスポットに関係する大規模な火成活動と考えられる。本構造の周縁部に分布する細粒花崗岩は、上記火山岩類の貫入相の片鱗と考えられる。本構造の周辺部～深部には貫入岩体の存在が予想され、この火成活動に関連する鉍化作用が伏在する可能性に興味がある。

5) マダガスカル島の基本的な地質構造としては、次の2系統の地質構造線が重要である。

① NNE-S SW系地質構造線 (NW-SE系断層を伴う)

② NNW-SSE系地質構造線 (NE-SW系断層を伴う)

NNE-S SW系地質構造線は、先カンブリア紀基盤岩中の大規模な地溝-地畳構造の形成に関係し、白亜紀の火山活動を伴っている。本系統の構造線は、基盤岩の分布及びマダガスカル島の基本構造を規制していると推定される。

NNW-SSE系地質構造線は、中生代堆積岩類の分布に平行して発達し、第三紀の火山活動を伴っている。本系統の構造線は、中生代堆積岩類の分布を規制するほか、現在の水系に影響を与えている。

6) マダガスカル南部地域には、片麻岩中の貴石類、非金属鉱物、金属鉱物など多様な鉱物資源の賦存が期待されるが、各々、品質、規模、賦存条件、開発条件、市場条件などを考慮すれば、Varahina地区の金・銀・銅鉱床の調査・探鉱に期待がもてる。

本鉱床は、片麻岩中の脈状～鉱染状鉱床であるが、小規模、断続的で、現状では開発対象とはなりえないが、今回の調査の結果、高品位部は、Cu 15%、Au 3 g/t、Ag 120g/t程度を示し、部分的ではあるが、金、銀、銅とも極めて高品位であることが判明した。周辺部には広く銅の鉱徴が分布することが報告されている。

7) Varahina地区の金・銀・銅鉱床は、従来カンブリア紀の花崗岩に関係する鉱化作用とみられていたが、今回の調査で白亜紀のNNE-S SW系断層帯の活動に関係する鉱化作用である可能性が推定された。本系統の断層は、他地域で顕著な火山活動を伴っており、鉱化作用の起源は、地下深部での火成活動であろうと推定される。

第2章 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、今後、銅鉱徴が知られている周辺地区を含めて、基礎的な調査（地質精査、地化学調査、物理探査など）を積み重ねて行くことが望ましい。

調査上の主眼点としては、鉱化作用と断層との関係、鉱化作用と火成岩との関係、鉱石鉱物の累帯分布、下部への鉱況変化、初生鉱物の胚胎状況などの確認・解明を目的とすべきであろう。今後の調査対象地区としては、Varahina、Vohibory、Ilanapera、及びVohimaryを含む地区が重要である。

2) 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、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、第三紀の構造運動・火山活動期のものまで極めて長期にわたる年代の鉱床が混在していると予想される。

個々の鉱床に関するデータをできるだけ収集・整理し、各鉱床を生成年代、成因の上から再検討し、将来の優先プロジェクトの選定に役立てることが望ましい。

