

705
66.7
MIV

ブラジル連邦共和国 クライスノボス地域
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

20610

JICA LIBRARY



108005613

平成 2 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



は し が き

日本国政府はブラジル連邦共和国政府の要請に応え、同国の北東部に位置するクライスノボス地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査及び地化学探査等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。本調査は平成元年度を第1年次とする初年次にあたり、金属鉱業事業団は5名の調査団を編成して平成元年9月22日から平成元年12月1日まで現地に派遣した。

現地調査は、ブラジル連邦共和国政府機関である鉱山動力省鉱産局及び鉱物探鉱公社の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたって御協力いただいたブラジル連邦共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在ブラジル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2年2月

国際協力事業団

総 裁 柳谷 謙介

金属鉱業事業団

理事長 福原 元一

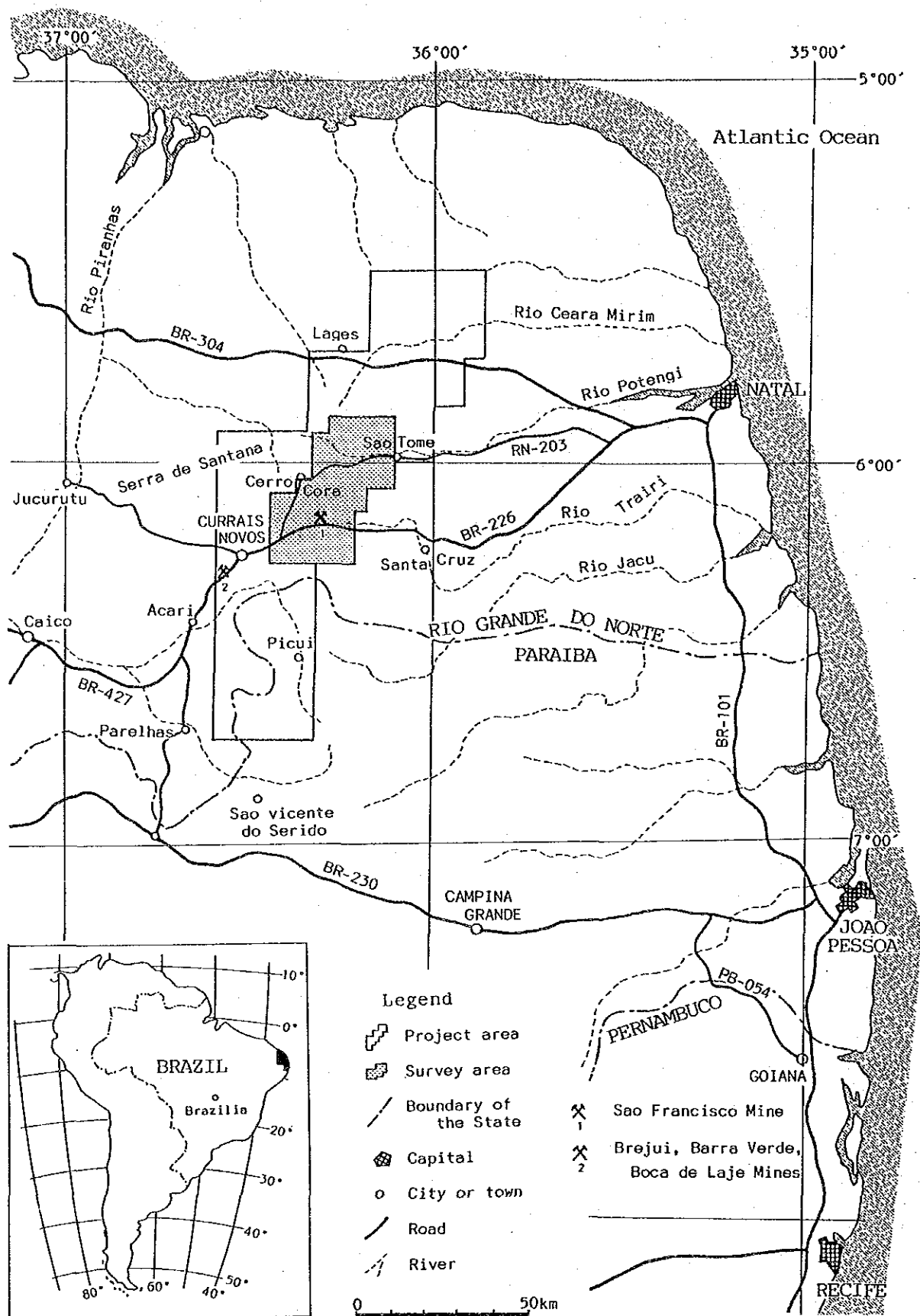


Fig.1 Location of the survey area

要 約

本調査は、ブラジル連邦共和国政府と日本国政府の間で1989年7月11日に決められた作業協定(Scope of Work)に基づき、ブラジル連邦共和国リオグランデノルテ州クライスノボス地域において実施されたものである。調査範囲は5,910km²(Fig. 1)、調査期間は3年である。本年度はその第1年次にあたる。調査はブラジル側及び日本側からそれぞれ人員を派遣して実施された。

本年度調査の内容は既存資料の解析、ランドサット画像解析及び現地調査である。5,910km²の調査範囲における既存資料の解析により1,000km²の現地調査範囲を選定し、その現地調査と並行して5,910km²の範囲のランドサット画像解析を実施した。

既存資料の解析により選定された1,000km²の現地調査範囲は、リオグランデノルテ州の中央南部で、ほぼ南緯5°53′～6°17′、西経36°04′～36°25′の間に位置する。

現地調査では、金鉱床の地質・地化学上の賦存状況を把握するために、地質調査、地化学探査を実施した。地化学探査の対象元素は河川堆積物では金を含む13元素である。また河川堆積物のパンニング試料により金粒の有無を確認し、金を含む7元素の濃度も調査した。

現地調査の結果によれば、本年度の調査地域には主として先カンブリア紀の地層が分布し、その上に極く小規模に第三紀と第四紀の地層が載る。先カンブリア系は下位より始生代のカイコ岩体、原生代のセリド層群から成る。セリド層群はさらに、下位よりジュクルトゥ層、エクアドル層及びセリド層に細分される。カイコ岩体は片麻岩-ミグマタイト-花崗岩で、ジュクルトゥ層は片麻岩で、エクアドル層は珪岩で、セリド層は黒雲母片岩で代表される。地域北半部には、カイコ岩体、ジュクルトゥ層及びセリド層が、いずれもNNE-SSW方向のトレンドで分布し、南半部には主としてセリド層が分布する。エクアドル層は地域西部に小規模に分布する。

セリド層と他の岩体・地層の境界には断層が発達することが多く、いずれもNNE-SSW方向に延長する。これらの断層系は調査地域を北端から南端まで通過し、南方の調査地域外まで延長する可能性がある。南部のセリド層分布域にはWNW-ESE方向のいくつかの小規模の断層も見られる。調査地域内の唯一の金鉱床であるサンフランシスコ鉱床(Fig. 1)は鉱床の走向がNNE-SSWで、NNE-SSW系の構造に強く規制されたと考えられるが、巨視的にはNNE-SSWとWNW-ESEの2系統の断層の交差部付近に位置する。

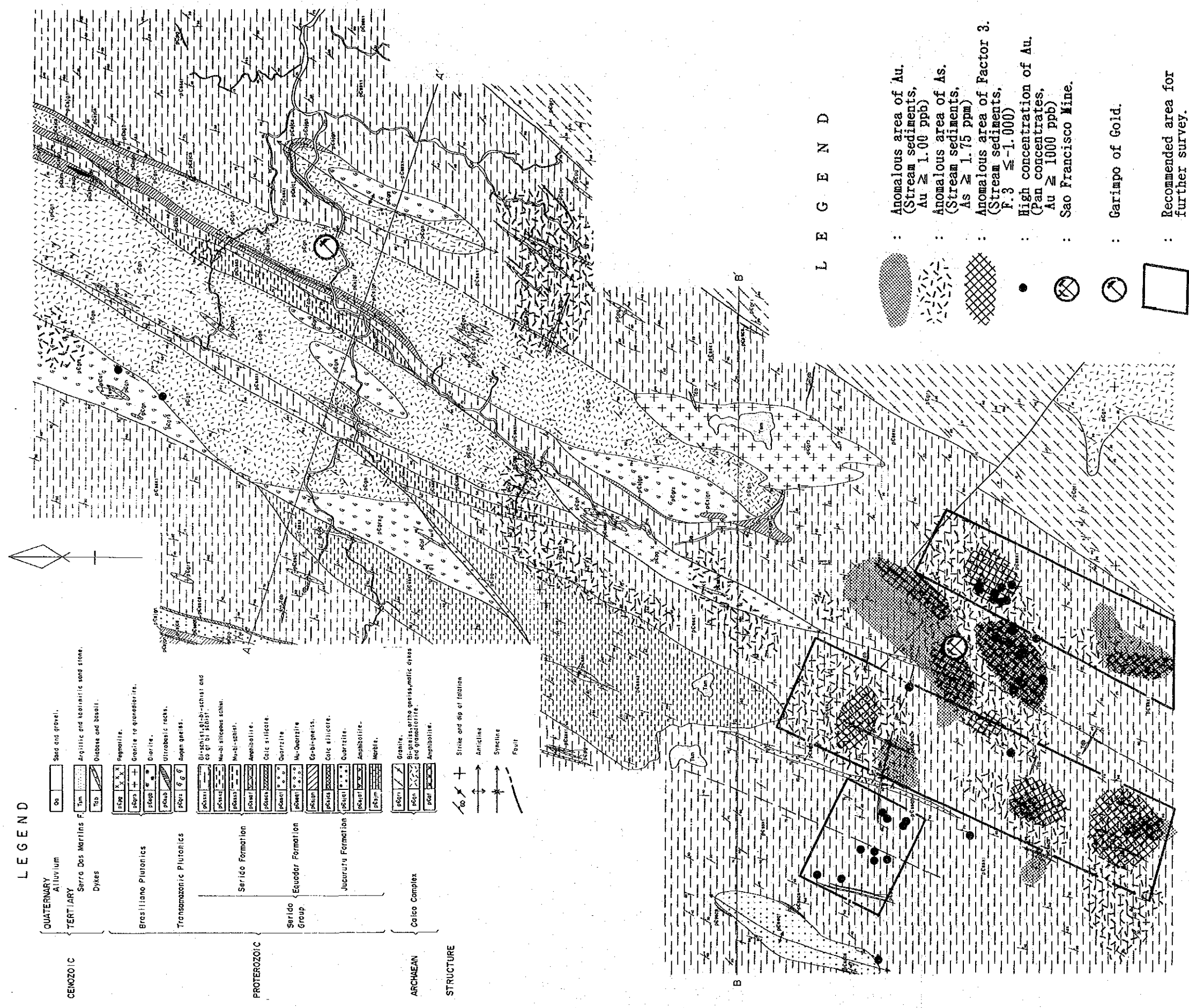
また、ランドサット画像によれば、NNE-SSW方向の連続性の良い断層群及びリニエーション群がサンフランシスコ金鉱床付近から北部に発達し、また同鉱床から南部に連続の良い明瞭なWNW-ESE系のリニエーション群が発達している。これら2系統の断層あるいはリニエーションの交差部には断層あるいは断裂が発達していることが推定される。サンフランシスコ鉱床はランドサット画像からも2系統の断層群あるいはリニエーション群が交差するゾーンの中に位置することが

判明した。本年度調査地域の南部には上述のサンフランシスコ金鉱床があり、地域北東部のサントメ(Sao Tome)西方にも極く小規模の金鉱徴が認められた。いずれも、主として含金石英脈から成り、黄鉄鉱、黄銅鉱などの硫化鉱物を伴う。サンフランシスコ鉱床は推定鉱量約59万トン(品位 2.5~4.3 g/t)であり、北東部の鉱徴は鉱量を算定するに至っていない。サンフランシスコ鉱床は上記のように巨視的に2系統の断層群が交差する位置に存在し、北部の鉱徴が断層の屈曲部に位置するなど、いずれの鉱床・鉱徴もその位置が、上記の断層・裂かなどの構造に規制されており、鉱床と構造の関連性が指摘される。

河川堆積物による地化学探査では、Nb, Ta, Sn, Au及びAsがまとまった異常として抽出された。Nb, Taの異常域はほぼ重なり、サンフランシスコ鉱山の NNE方約10kmからさらに NNE方向に延長するカイコ岩体の分布域の一部と重なる。Snの異常域は調査地域北半部に広く分布する。Au, Asの異常域は調査地域の南部に集中し、一部重複する。

さらに、河川堆積物の13元素間の因子分析によりAuとAsの相関関係が抽出され、このAuとAsの異常地の分布を検討した結果、サンフランシスコ鉱床付近、その西~西南方及び南東~南方の3か所に金のポテンシャルの高い地域が抽出された。河川堆積物の異常地の分布をさらに検討した結果、サンフランシスコ鉱床の西~西南方に位置する異常地はNNE-SSWのトレンドを強く示し、地質構造との強い関連性が伺われるので、優先度の高い有望地域として選定された。これはさらに南方の調査地域外まで連続する可能性がある。サンフランシスコ鉱床の南東~南方の河川堆積物による異常地は地質構造との関連性が強く現れていないため、有望であるとしながらも、その優先度は低いとした。河川堆積物のパンニング試料で金粒が観察されたのはサンフランシスコ鉱床に関連すると考えられる水系、及び同鉱床の西北西7~10kmの水系においてである(Fig. 2)。

以上の結論から、第2年次調査として次の4項目を提言した。第1に、サンフランシスコ鉱床の西~西南方の地化学異常域における、鉱床に関連する断層・裂かなどの賦存状況解明のための磁気探査、さらに鉱化状況の解明のためのトレンチングによる精密調査。第2に、本年度調査域の南方における地質・地化学探査。第3に、サンフランシスコ鉱山の西北西7~10kmの河川堆積物パンニング試料で金の高濃集が得られた地域において、鉱床に関連する断層・裂かなどの賦存状況解明のための磁気探査を、そして鉱化状況の解明のためのトレンチングによる精密調査。第4に、サンフランシスコ鉱床の東南~南方の地化学異常域における、鉱床に関連する断層・裂かなどの賦存状況解明のための磁気探査及び鉱化状況の解明のためのトレンチングによる精密調査。



LEGEND

CENOZOIC	QUATERNARY Alluvium	Sand and gravel.
	TERTIARY Serra Dos Martins F. Dykes	Argillite and laminitic sand stone. Dykes and basalt.
	BRASILIANO PLUTONICS	Granite. Granite to gneissiferous. Quartzite. Ultrabasic rocks. Aluminous gneiss.
	TRANSAMAZONIC PLUTONICS	Bi-christalline bi-schists and gneiss. Micro-siliceous schist. Micro-schist. Amphibolite. Calc silicate. Quartzite.
	SERIDO FORMATION	Micro-siliceous schist. Micro-schist. Amphibolite. Calc silicate. Quartzite.
	ECUADOR FORMATION	Micro-siliceous schist. Micro-schist. Amphibolite. Calc silicate. Quartzite.
	JACURUING FORMATION	Micro-siliceous schist. Micro-schist. Amphibolite. Calc silicate. Quartzite.
	CAICO COMPLEX	Granite. Bi-granitic, ortho-gneiss, mafic dykes and gneissiferous. Amphibolite.

STRUCTURE

Strike and dip of foliation	Anticline	Syncline	Fault
-----------------------------	-----------	----------	-------

LEGEND

- : Anomalous area of Au. (Stream sediments, Au ≥ 1.00 ppb)
- : Anomalous area of As. (Stream sediments, As ≥ 1.75 ppm)
- : Anomalous area of Factor 3. (Stream sediments, F.3 ≤ 1.000)
- : High concentration of Au. (Pan concentrates, Au ≥ 1000 ppb)
- : Sao Francisco Mine.
- : Garimpo of Gold.
- : Recommended area for further survey.

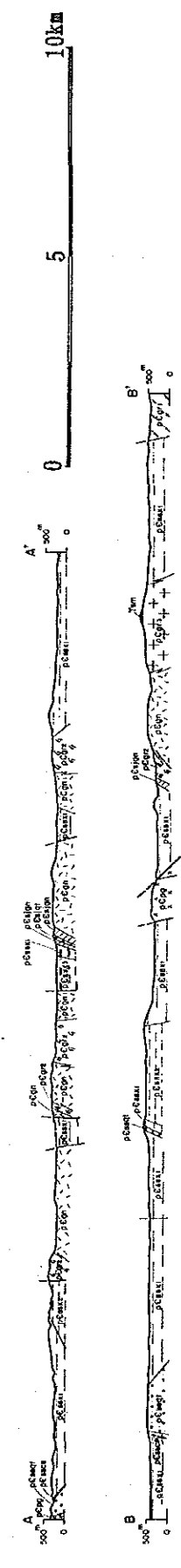


Fig. 2 Compilation of the survey results and the recommendation of further survey.

目 次

はしがき
調査地域位置図
要約
目次

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第 1 年次調査の範囲、目的及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	2
1-4 調査期間	4
第 2 章 調査地域の地理	5
2-1 位置及び交通	5
2-2 地形及び水系	5
2-3 気候及び植生	6
第 3 章 調査地域の既存地質情報	9
3-1 既往調査の概要	9
3-2 調査地域の地質的位置づけ	10
3-3 調査地域の鉱業略史	13
第 4 章 調査結果の総合検討	15
4-1 ランドサット画像解析	15
4-2 地質及び地質構造の特性	16
4-3 鉱化作用の特性と鉱化規制について	16
4-4 地化学異常と鉱化作用との関係について	18
4-5 期待鉱床賦存のポテンシャルについて	19
第 5 章 結論及び提言	21

5-1	結 論	21
5-2	第2年次調査への提言	21
第II部 各 論		
第1章	既存資料解析	23
1-1	過去の探査結果	23
1-2	調査地域の選定	31
第2章	ランドサット画像解析	33
2-1	解析目的及び方法	33
2-1-1	解析目的	33
2-1-2	使用データ	33
2-1-3	解析方法	34
2-2	解析結果	43
2-2-1	岩相分類	43
2-2-2	地質構造解析	46
2-3	考 察	48
第3章	地質調査	51
3-1	調査目的及び方法	51
3-1-1	調査目的	51
3-1-2	調査方法	51
3-2	調査結果	51
3-2-1	地 質	51
3-2-2	地質構造	71
3-2-3	鉍化作用及び変質作用	74
3-3	考 察	86
第4章	地化学探査	89
4-1	探査目的及び方法	89
4-1-1	探査目的	89
4-1-2	探査方法	89

4-2 河川堆積物による探査結果	94
4-2-1 分析値の統計値	94
4-2-2 元素間の相互関係	94
4-2-3 元素別濃度分布	99
4-2-4 元素の多変量解析	120
4-3 河川堆積物パンニング試料による探査結果	133
4-3-1 試料採取位置	133
4-3-2 試料の肉眼鑑定	137
4-3-3 分析結果	137
4-4 考 察	141

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結論	159
第2章 第2年次調査への提言	161
参考文献	163
図表一覧	171
付 録	A1

第 I 部 總 論

第1章 序 論

1-1 調査の経緯及び目的

本調査は、ブラジル連邦共和国政府と日本国政府の間で1989年7月11日に取決められた作業協定(Scope of Work)に基づき、ブラジル連邦共和国リオグランデドノルテ(Rio Grande do Norte)州クライスノボス(Currais Novos)地域において実施されているものである。調査範囲は5,910 km²であり、予定の調査期間は3年である。本年度はその第1年次にあたる。調査は、日本側及びブラジル側からそれぞれ人員を派遣して実施される。

クライスノボス地域は、1940年代初めから現在にいたるまでタングステン鉱床地区として知られており、現在でもその埋蔵量はブラジル一を誇っている(Meira Barbosa, R. L. 1988)。稼行中の鉱山には Brejui, Barra Verge, Boca de Lage などがある(Fig. 1, Fig. I-3-1の14)。

一方、タングステンと同様に金も1940年代初めからその存在が知られていたが、組織的な探査がなされず、1970年代の中頃まではガリンポで小規模に採掘されていたに過ぎない。1977年になり、Itapebira Marmores e Granitos Ltda. が現在の Minerasao Xapetuba Ltda. (サンフランシスコ鉱山)のある地域で組織的な探査を開始した。その結果、サンフランシスコ鉱床の概要が明らかになるとともに、推定鉱量を含めた埋蔵鉱量約59万トン(品位 2.5~4.3 g/t)が計上された(Terran, A., 1988)。本地域においては、現在のタングステン鉱業の後退と共に、金に対する関心が高まっている。

本調査の目的は、上記の一般状況に基づき、クライスノボス地域における鉱床、特に金鉱床賦存有望地域を抽出することである。第1年次は既存資料の調査により調査地域を範囲全域の5,910 km²から1,000 km²に絞り、現地調査の対象とした。あわせて、ランドサット画像の解析を5,910 km² 全域にわたり実施した。

1-2 第1年次調査の範囲、目的及び作業の概要

第1年次調査の範囲は、既存資料の解析により選定された。それは、リオグランデドノルテ州中央南部で、ほぼ南緯5°53'~6°17'の間及び西経36°04'~36°25'の間に位置する。その面積は約1,000 km²である(Fig. 1)。

第1年次調査の目的は、調査地域の地質を解明すると共に、特に金の鉱化作用を把握することである。作業としては、地質調査、地化学探査を実施した。地質調査では踏査密度0.8 km/1 km²程度の調査をすることにより地層の分布、地質構造、及びそれらと鉱床との関連性を明らかにすることを目的とした。地化学探査では、河川堆積物を採取密度1.5個/1 km²で採取することによ

り、金を含む13元素の地域全体における分布状況、及びそれらの間の関連性を明らかにすることを目的とした。

既存資料解析、ランドサット画像解析及び野外調査の調査量、さらに室内作業における化学分析及び各種試験の件数をTable 1-1-1 に示す。

Table 1-1-1 Summary of works done and laboratory tests

Previous data compilation		5,910km ²	
LANDSAT image interpretation 5,910km ²			
Field survey		Laboratory tests	
		Chemical analysis & assay	
Survey area	1000km ²	Stream sediments (13 elements)	1500
Geological traversing	900km	Pan concentrates (7 elements)	150
Stream sediment samples	1500	Rocks (25 elements)	30
Pan concentrates samples		Ores (5 elements)	15
of stream sediments	150	Thin section testing of rocks	30
		Polished section testing of ores	7
		X ray powder diffraction	20

1-3 調査団の編成

1-3-1 プロジェクト選定

日本側	ブラジル側
森川正之 通産省	Elmo Serejo Farias DNPМ
資源エネルギー庁	Carlos Oiti Berbert DNPМ
平野英雄 金属鉱業事業団	Maria Helena T. Oguino DNPМ
林 歳彦 金属鉱業事業団	Kiomar Oguino DNPМ
向井英昭 金属鉱業事業団	Julio de Resende Nesi DNPМ
(リオデジャネイロ調査員)	Mauro Caldas Mendes DNPМ
	Benedicto Waldir Ramos DNPМ
	Raul Branco DNPМ

1-3-2 調査計画策定及び事前折衝

日本側	ブラジル側
川田正博 外務省経済協力局	Elmo Serejo Farias DNPМ
池田 肇 国際協力事業団	Manoel da Redencao e Silva DNPМ
松本勝時 金属鉱業事業団	Carlos Oiti Berbert DNPМ
向井英昭 金属鉱業事業団	Benedicto Waldir Ramos DNPМ
(リオデジャネイロ調査員)	Maria Helena T. Oguino DNPМ
鈴木哲夫 金属鉱業事業団	Augusto Cesar DNPМ
	Alarico Antonio Frota Mont Alverne DNPМ
	Julio de Resende Nesi DNPМ
	Marinho Alves DNPМ
	Holton Heleri DNPМ
	Carlos Arberte DNPМ
	Joao de Castro CPRM
	Marinho Arberte CPRM

DNPМ: Departamento Nacional da Producao Mineral

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

1-3-3 現地調査

日本側	ブラジル側
川上和夫 大手開発(株)	Alarico Antonio Frota Mont Alverne DNPМ
小野寺政勝 大手開発(株)	Julio de Resende Nesi DNPМ
池田則生 大手開発(株)	Jose Robinson Alcoforado Dantas DNPМ
後藤 求 大手開発(株)	Roberto Batista Santos DNPМ
番場光隆 大手開発(株)	Mauro Caldas Mendes DNPМ
	Cicero Alves Ferreira CPRM
	Antonio Jose Barbosa CPRM
	Jorge Luiz da Costa DNPМ
	Severino do Ramos Souza DNPМ

1-4 調査期間

第1年次調査の期間は以下のとおりである。

調査計画策定 平成元年 7月 7日 ～ 平成元年 7月22日

現地調査 平成元年 9月22日 ～ 平成元年12月 1日

(日本出発日から帰国日まで)

報告書作成 平成元年12月 2日 ～ 平成2年 2月20日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査範囲全体は、ブラジル連邦共和国東部のリオグランデドノルテ州の中央南部にあり、ほぼ南緯 $5^{\circ} 30' \sim 6^{\circ} 45'$ 、及び西経 $35^{\circ} 50' \sim 36^{\circ} 35'$ の中に位置する。第1年次の調査地域は、その中の南緯 $5^{\circ} 52' \sim 6^{\circ} 14'$ 、及び西経 $36^{\circ} 04' \sim 36^{\circ} 25'$ の間に位置する。調査範囲の中央西端、第1年次の調査地域の西方約 10km には本地域最大で人口約 2万5千人のクライスノボス市がある (Fig. 1)。

クライスノボス市に至る経路としては、次の二つがある。ペルナンブコ (Pernambuco) 州の州都 レシフェ (Recife) まで空路、そこから自動車を利用する経路、もうひとつは、リオグランデドノルテ州の州都 ナタル (Natal) まで空路、そこから自動車を利用する経路である。レシフェから自動車を利用するときは、国道 BR-101、州道 PB-054、国道 BR-230 を通ってカンピナグランジ (Campina Grande) を経由、さらに国道 BR-427 を通ってクライスノボスに至る。全行程は 420 km である。ナタルから自動車を利用する場合は、国道 BR-226 を通り、190 km で、クライスノボスに達する。

調査地域内の舗装道路は BR-226 及びこれと北方のセホコラ (Serro Cora) を結ぶ BR-104 がある。また、未舗装道路はセホコラとサントメ (Sao Tome) を結ぶ州道 RN-203、調査地域のほぼ中央を北北東に走る道路、そしてセホコラから北西に向かう道路などが大きい。小型トラックあるいは四輪駆動車によりこれらの道路を利用することができる。

2-2 地形及び水系

調査範囲全域は地形の特徴から大きく3つの地域に分けられる。ひとつは北端部の平坦地、次に調査範囲の大部分を占める標高 300~600 m の起伏の大きい山岳地形、そして中央西部の標高約 700m のサンタナ山脈 (Serra da Santana, Fig. 1 参照) である。第1年次の調査地域は標高 300~600 m の山岳地形にある。

第1年次調査地域は細かな地形の違いからさらに3つの地区に細分される。北半部は NNE-SSW 方向に伸びる高い地区と低い地区が標高 300m ~ 600m の間で交互に配列する瓦屋根状の地形を呈する。高い地区と低い地区の幅はいずれもほぼ 4 km 程度である。この地形は地質の分布によく一致し、被風化・浸蝕の程度の違いを現わしている。後述するカイコ岩体 (Caico Complex) の片麻岩が高い地区を形成し、セリド層 (Serido Formation) の雲母片岩が低い地区を形成する。この地区では、低地から高地に移る所に急崖を形成することが多い。また顕著な地形として、中央

西部のペグマタイト分布域には NE-SW方向に伸びる板状に突出した山頂が見られる。

本地域における水系 (Fig. I-1-1) もこの地形を反映して、NNE-SSW 方向に伸びる主水系とそれから派生する WNW-ESE その他の方向の小さな水系で構成される。これらの水系は、中央部を東方に流下するポテンジ川(Rio Potenji) に集中する。

調査地域南半部は、標高 400~480m の起伏の緩やかな山岳地形である。この地形を呈する地域はセリド層雲母片岩の分布域と一致し、風化・浸蝕に対し弱い地域である。この中で、特に中央南部付近には、浸蝕から取り残され、急傾斜板状に突出する微地形が見られる。ここには、より珪質な破砕帯が残っている。

この地域における水系は、中央南部で、浸蝕に対して強い破砕帯の岩石の存在のために NNE-SSW 方向が卓越する。さらに細かく見ると、同じ中央南部で WNW-ESEの方向も随所に見られる。これも断層、岩脈などの地質構造を反映していると考えられる。そのほかの地区では全体として網状の水系を呈する。これらの水系は西方に向かうクライスノボス川(Rio Currais Novos) 及びムルング川(Rio Murungu) の流系である。

調査地域南東部は、標高 500~550 m のほぼ平坦な台地状の地形を呈する。この地域はカイク岩体の花崗岩及び片麻岩の分布域と一致する。

この地域の水系は、カイク岩体の花崗岩を反映して網状を呈する。この水系は東方に向かうサンジョアオダグア川(Rio Sao Joao d'Agua) の流系である。

2-3 気候及び植生

本調査地域の気候は、気候帯から半乾燥(semi-arido)地域に位置づけられ、ケッペンの気候帯区分ではBShwに対応する。

本地域の一年間の気候は大きく二つに分けられる。2月~5月の雨季、他の乾季である(Table I-2-1)。雨季には断続的な豪雨があり、乾季には雨量は極端に少なくなる。

気温は一年を通じて大きな変化はなく、高い時には40℃に達し、低いときでも20~30℃である(Table I-2-1)。

調査地域の水系には、雨季には水流があるが、乾季には水流がなくなる。沢底が表面に現れ、涸れ沢となる。第1年次の調査期間中はほとんどの沢が涸れ沢であった。

第1年次の野外調査期間中、10月には全く雨がなかったが、11月に入り 9日間は午前中に少量の降雨があった。

本地域は植生上はブラジル東部のいわゆる森林地帯に含まれる。調査地域全体に高さが 2~3 m の灌木が生える。調査地域の北半部にはそれらの灌木が密生する。沢沿いの低地には、その他に 10 m に達する喬木も散在する。植種は小さいトゲのあるカチンガ(Caatinga)が卓越するXi

que-xique, Cardeiro, Facheiroなどのサボテン類も多く見られる。

第1年次調査期間中は乾季であり、大部分の灌木の葉が落ちていたために、露頭などの見通しも良く、調査の障害にはならなかった。しかしながら、灌木の密生する場所では、その伐開にかなりの時間を要した。

Table I-2-1 Temperature and precipitation change in the survey Area (1980 ~ 1988)
compiled from the data of Secretaria da Agricultura/RN, 1989

	Monthly precipitation (mm)												Temperature(°C)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Max	Min
Currais Novos	35	120	166	135	53	20	25	6	4	0	7	42	33	22
Cerro Cora	74	94	151	210	54	34	27	24	10	0	3	33	33	20
Sao Tome	36	90	174	133	92	35	26	25	11	0	2	10	36	20

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査の概要

(1) 地質層序及び地質構造

本調査範囲はブラジル北東部を占める大きな地質構造単元の一つに含まれ、その地質単元はボルボレマ(Borborema)地区と呼称されている(Almeida et al., 1981)。

このボルボレマ地区は、片麻岩-ミグマタイト-花崗岩から成る地塊と、主として変火山岩-変堆積岩からなる褶曲帯に分けられている(Brito Neves, 1975, 1983; Almeida et al, 1976)。本調査範囲はこのうち主として変火山岩-変堆積岩が分布する地域にあり、セリド(Serido)地区として細区分されている (Fig. II-3-6)。

セリド地区の地質層序及び地質構造は多くの研究者により調査されている。場所によっては最大1:100,000の地質図が公表されている。1960年代末ないし1970年代初めから本地区の総括的な層序の組み立てが始まったが、変堆積岩中の珪岩層の層序的位置をめくり様々な議論がなされた。

Jardim de Sa & Salim (1980) は決定的な証拠を提示して、この珪岩層を含めた総括的な地質層序を確立した。この発表以後新たな説は出ていない。この珪岩層は現在エクアドル(Ecuador)層と呼ばれている。

Jardim de Sa & Salim (1980) によれば、セリド地区の先カンブリア系の層序は下位よりカイコ岩体、セリド層群から成る。セリド層群はさらに下位よりジュクルトゥ(Jucurutu)層、エクアドル層、そしてセリド層からなる。先カンブリア系の上位は、白亜系のジャンダイラ(Jandaira)層、アス(Acu)層、第三紀のセハドマルティンス(Serra do Martins)層、第四紀の崩壊積成堆積物、河川堆積物である。本報告書ではこの層序を踏襲する。

地質構造上ボルボレマ地区はジェキエ(Jequie)造山輪廻(2900 ~ 2600 Ma)、トランスアマゾン Transamazonian) 造山輪廻(2100 ~ 1800 Ma)、ブラジル造山輪廻(700 ~ 450 Ma)の影響を受けている。特にセリド地区ではトランスアマゾン造山輪廻による2段階の造構運動、ブラジル造山輪廻による3段階の造構運動が識別されている (Fig. II-3-1)。トランスアマゾン造山輪廻による造構運動は低角度の破碎帯で代表され、ブラジル造山輪廻による造構運動は高角度の破碎帯で代表される。これらの破碎帯に沿い様々な貫入岩が見られる。

(2) 鉱床探査

調査範囲の主な金属鉱床はタングステン鉱床であり、小規模なものとして金、さらにニオブ、

タンタル等を含む鉱床がある (Fig. I-3-1)。

タングステン鉱床は1970年代初めからDNPM/CPRM によって探査され、かなり進んだ段階にある。セリド地区では 216か所の鉱徴が確認され、推定鉱量 138,000,000トン (平均品位 0.2% WO₃) を計上するに至っている。特に、クライスノボス市南方の Brejui, Barra Verde, Boca de Lage, 鉱山では現在も稼行されており、探査が進み、鉱床の胚胎層準、構造規制などが詳細に解明され、今後の探査指針も企てられている。

金鉱床についてボーリングを含む本格的な探査が実施されたのは1977年以降である。Itapebia Marmores e Granitos Ltda. (IMG)がサンフランシスコ鉱山付近を探査し、鉱床母岩、鉱床形態、構造規制、鉱量及び精錬法などを明らかにした。それは Ferran, A. (1988)にまとめられている。

1980~1983年に DNPM/CPRMは本調査範囲を含む地域で金の調査を実施し、ほぼリオグランデノルテ州全体における金鉱床の総括を行った。

Souza, Z. S. et al (1986)はサンフランシスコ鉱山北方のサントメーラジェス(Sao tome-Lages)間の金鉱化が地質構造に細かく規制されていることを指摘した。

CPRM(1989)は金の鉱化についての調査(Curso de Metalogenia de Ouro)によりリオグランデノルテ州からパライバ州にかけてのセリド-カショエイリニャ(Cachoeirinha)-ヒアショドポンタル(Riacho do Pontal)破砕帯 (Fig. I-3-2)の金の鉱化を調査し、金の鉱化が広域的な破砕帯に関連することを指摘した。

以上が本地域の金鉱化作用に関する主な報告であり、本調査範囲の金の調査はまだ詳細に行われているとは言えない。

3-2 調査地域の地質的位置づけ

調査範囲は記述したボルボレマ地区のうちのセントラル領域-セリド地区内に位置する。調査範囲の北部には、片麻岩-ミグマタイト-花崗岩から成るカイコ岩体の一部に分布し、他の大部分には変火山岩-変堆積岩からなるセリド層群が分布する。それらは、下位から始生代のカイコ岩体、原生代のジュクルトゥ層、エクアドル層、セリド層、中生代白亜紀のアス層、新生代第三紀のセハドマルティンス層、そして第四紀層である。

本調査範囲はトランスアマゾン造山輪廻、ブラジル造山輪廻の造構運動を受けており、その運動の形式、それに伴う変成作用の形式などから5段階の造構変成事変 (Structural and metamorphic events)が識別されている (Table II-3-1)。トランスアマゾン造山輪廻は低角度の破砕帯で、ブラジル造山輪廻は高角度の破砕帯で特徴づけられている。いずれの造山輪廻においても、変成作用における変成度は角閃岩相に達した。これらの破砕帯に沿って様々な貫入岩類がみられる。大きな構造としては、セントラル領域を他の領域から区分する構造線、南のパライバ州から連続

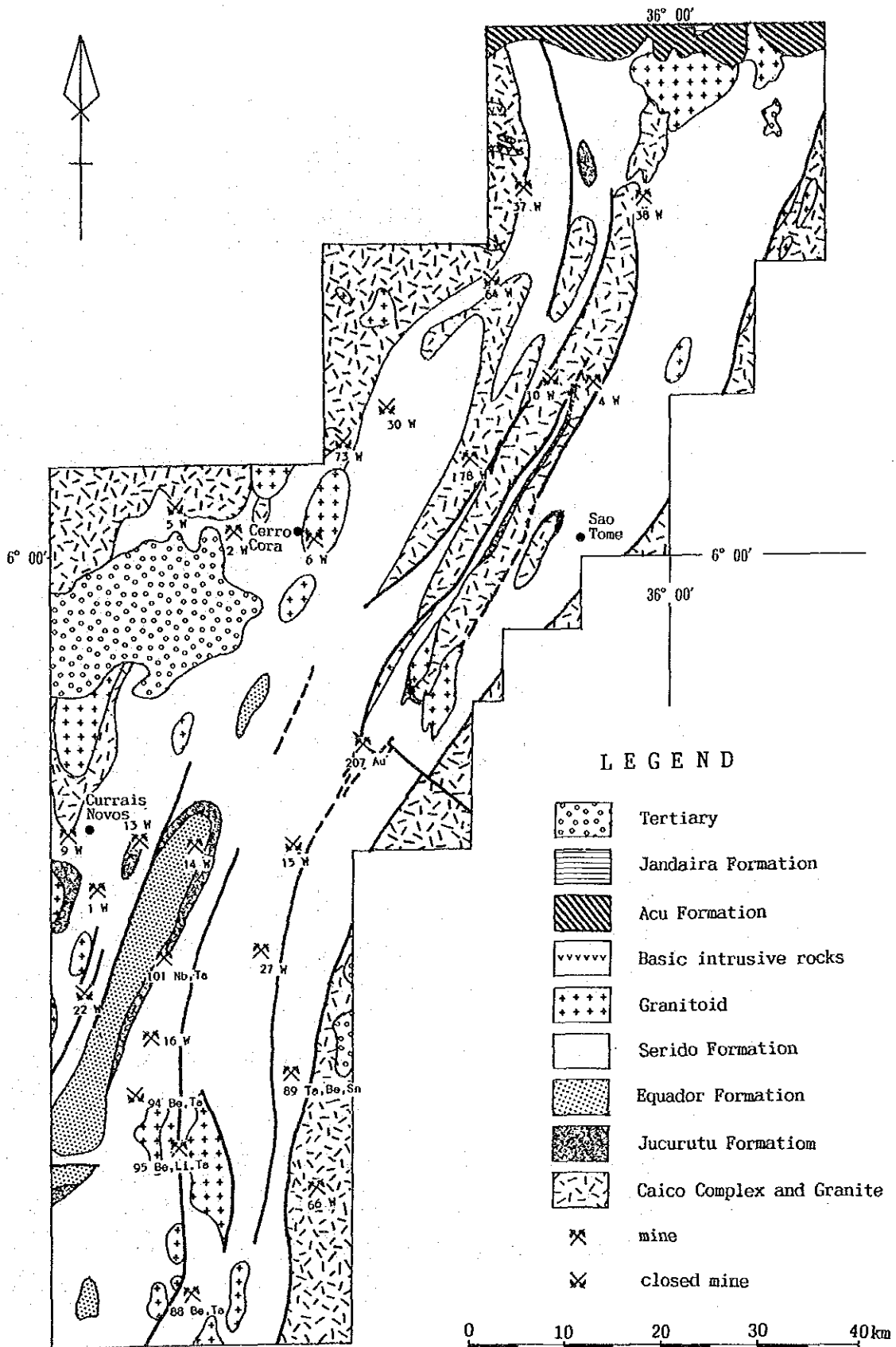


Fig. I-3-1 Known mineral deposits in the project area derived from Carta Geologica do Brasil, Folha Jaguaribe (SB-24)/Folha Fortaleza (SA-24) DNPW, 1974

Table I -3-1 Known mineral deposits in the project area

No.	Mineral	State	Locality	Geographic Orientation		Morphology	Genetic type
				Lat. S	Long. W		
1	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 19' 00"	36° 33' 00"	Stratiform	Hydrothermal
1	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 20' 00"	36° 33' 00"	Stratiform	Hydrothermal
1	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 21' 00"	36° 33' 00"	Stratiform	Hydrothermal
2	Scheelite	RN	Santana dos Matos	5° 59' 00"	36° 25' 00"	Stratiform	Hydrothermal
4	Scheelite	RN	Sao Tome	5° 51' 00"	36° 05' 00"	Stratiform	Hydrothermal
5	Scheelite	RN	Santana Dos Matos	5° 57' 30"	36° 27' 00"	Stratiform	Hydrothermal
6	Scheelite	RN	Santana Dos Matos	5° 59' 00"	36° 29' 00"	Stratiform	Hydrothermal
6	Scheelite	RN	Santana Dos Matos	5° 58' 00"	36° 29' 00"	Stratiform	Hydrothermal
9	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 17' 00"	36° 35' 30"	Stratiform	Hydrothermal
9	Scheelite	RN	Acari	6° 17' 30"	36° 38' 30"	Stratiform	Hydrothermal
9	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 16' 55"	36° 35' 14"	Stratiform	Hydrothermal
10	Scheelite	RN	Lajes	6° 20' 20"	36° 07' 43"	Stratiform	Hydrothermal
13	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 17' 09"	36° 33' 18"	Stratiform	Hydrothermal
14	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 18' 00"	36° 27' 00"	Stratiform	Hydrothermal
15	Scheelite	RN	Currais Novos	6° 16' 00"	36° 21' 30"	Stratiform	Hydrothermal
16	Scheelite	PB	Frei Martinho	6° 27' 00"	36° 30' 30"	Stratiform	Hydrothermal
22	Scheelite	RN	Acari	6° 25' 00"	36° 33' 00"	Stratiform	Hydrothermal
27	Scheelite	PB	Frei Martinho	6° 23' 00"	36° 24' 00"	Stratiform	Hydrothermal
30	Scheelite	RN	Cerro Cora	5° 53' 00"	36° 17' 00"	Stratiform	Hydrothermal
37	Scheelite	RN	Lajes	5° 41' 00"	36° 08' 00"	Stratiform	Hydrothermal
38	Scheelite	RN	Caicara do Rio dos Vento	5° 04' 00"	36° 02' 00"	Stratiform	Hydrothermal
64	Scheelite	RN	Lajes	5° 44' 13"	36° 11' 24"	Stratiform	Hydrothermal
66	Scheelite	RN	Picui	6° 36' 30"	36° 21' 30"	Disseminated	Hydrothermal
73	Scheelite	RN	Cerro Cora	5° 53' 00"	36° 19' 00"	Vein	Hydrothermal
78	Scheelite	RN	Sao Tome	5° 54' 30"	36° 11' 30"	Vein	Hydrothermal
88	Beryl, tantalite	PB	Pedra Lavrada	6° 44' 00"	36° 28' 30"	Vein	Pegmatite
89	Tantalite, beryl, cassiterite	PB	Pedra Lavrada	6° 29' 30"	36° 21' 30"	Vein	Pegmatite
94	Beryl, tantalite	RN	Carnauba dos Dantas	6° 31' 00"	36° 30' 30"	Vein	Pegmatite
95	Beryl, mica, tantalite	RN	Cachoeira da Cruz	6° 34' 00"	36° 28' 00"	Vein	Pegmatite
101	tantalite Columbite tantalite	PB	Frei Martinho	6° 24' 30"	36° 29' 00"	Vein	Pegmatite
207	Gold	RN	Currais Novos	6° 11' 49"	36° 17' 00"	Stratiform	Sedimentary

Reference: Carta Geologica do Brasil ao Milionesimo, Folha Jaguaribe (SB-24)/forna Fortaleza (SA-24) DNP - 1974.

するセリドーカショエイリニャーヒアショドポントル構造線があげられる (Fig. I-3-2)。

3-3 調査地域の鉱業略史

1942年、この地域で初めて灰重石が発見され、同時に採掘が開始された。調査地域の西南方にある Brejui-Barra Verde 鉱床はその後すぐに発見され、1943年から1954年までガリンボ*¹ で小規模採掘された。1955年からは組織的に採掘されている。1942～1982年の間に全国の95%近くがこの地で生産された。現在は Brejui, Barra Verde, Boca de Lage, Zangareilhas の5つの鉱山が操業している。

本地域の金は Pago Entubido*² において1942年に発見された。1942年から1952年までは、砂鉱として採掘された。さらに1976年までは砂鉱とともに母岩の風化帯、母岩中の石英が採掘されたが、金品位の低下とともに採掘が低下し、中止するに至った。この時期に本地域はサンフランシスコ (Sao Francisco) と呼ばれた。1977年、Itapebira Marmores e Granitos Ltda. が鉱区を取得し、組織的な探鉱・開発を始めた。その後、1987年11月 Mineracao Xapetuba Ltda. によって露天掘により生産開始された。Ferran, D. A. (1988) によれば、サンフランシスコ鉱床の鉱量は確定鉱量、推定鉱量を合わせて、587,646トン、含金量が1,750kgである。

Table I-3-2 Production and ore reserves of mines in the survey area

Metal	mine	Production		Ore reserves	grade
		Concentrate (73% WO ₃)	ore		
W	Brejui	19,633.3 t	total 5.5×10 ⁶ t	total 10.8×10 ⁶ t (original)	~0.5% (WO ₃)
	Barra Verde	14,297.2 t			
	Boca de Lage	2,613.0 t			
	Zangareilhas	--			
	total	36,543.5 t			
Au	S. Francisco	--	--	587,646 t	2.5 ~ 4.3(g/t)

from : Brejui/Boca de Lage/Zangareilhas mines ; Maranhao, R. (1986)

S. Francisco Deposit ; Ferran, A. (1988)

*¹ 手掘り鉱夫による採掘場

*² 現在のサンフランシスコ鉱床がある付近の古い地名

第4章 調査結果の総合検討

4-1 ランドサット画像解析

本地域の地質判読に最も妥当であると判断したTMデータの1, 4, 5バンドを選び、それぞれに青, 緑, 赤, を割り当ててフォルスカラー画像を作成し、さらに、岩石及び土壌の色調を強調させる主成分分析画像, 比演算画像も作成し、解析に使用した。これらの画像上の色調, 水系模様及び抵抗性などの地形的特徴を総合して検討し、地質単元の区分, 地質構造の判読及び鉱化変質帯の抽出を実施した。

地質単元の区分には、サンフランシスコ鉱山周辺の写真地質的特徴を抽出し、ランドサット画像の特徴と対比した結果、カイク岩体, エクアドル層, セリド層, 花崗岩, ペグマタイトハンレイ岩, 白亜紀の堆積岩及び岩脈類, 第三系及び沖積層が区分された。しかしながら、その区別が明瞭にできる地域は、岩相の差異が明瞭な地域に限定された。

地質構造の判読においては、断層及びリニアメントが明瞭に抽出された。本調査範囲で抽出されるリニアメントはほとんどがNNE-SSW系とE-W系から成る。本調査範囲はNNE-SSW系の地質構造が支配的であるが、画像においてもこの系統のリニアメントが最も明瞭である。E-W系の地質構造はあまり知られていないにもかかわらず、リニアメントとして、NNE-SSW系のリニアメントの頻度と同程度の頻度で抽出される。サンフランシスコ鉱山付近から南部のピクイ(Picui)付近にかけてはNNE-SSW系の連続するリニアメントが不明瞭であるが、この地域はセリド層の分布域であり、侵蝕に影響を与える岩相の差異がないために判読できないものと考えられる。

NNE-SSW系の断層及び連続性の良いリニアメントは、特にサンフランシスコ鉱山付近から北方において発達しており、E-W系の連続性の良いリニアメントはサンフランシスコ鉱山周辺からその南方にかけて発達している。すなわち、サンフランシスコ鉱山周辺はNNE-SSW系のNNE-SSW系の断層及び連続性の良いリニアメントとの交差部にあたり、他の地域に比較して断層がより発達していることが予想される。

調査範囲南方のパライバ州の金鉱化地帯であるテイシェイラ(Teixeira)付近は、本調査範囲から連続するセリド-カショエイリニャーヒアショドポントル構造線に沿う地域にあり(Fig. I-3-2), しかも、主構造線とそれに斜交あるいは直交する断層あるいは断層が発達する場所に位置している。これは、サンフランシスコ鉱山付近のリニアメントの発達状況と類似する。

以上から、本調査範囲における金鉱床の賦存位置は連続性の良いNNE-SSWあるいはN-S系の断層及びリニアメントとE-WあるいはWNW-ESE系のリニアメントの交差部が抽出される。

画像上では鉱化変質帯を識別できなかったが、これは厚い植生被覆, あるいは鉱化変質の範囲が狭いことによると考えられる。

4-2 地質及び地質構造の特性

第1年次調査地域の層序は、下位より始生代のカイコ岩体、原生代のジュクルトゥ層、エクアドル層、セリド層、新生代第三紀のセハドマルティンス層、新生代第四紀の崩壊積成堆積物、沖積層である。第三紀及び第四紀は極く小規模に分布する。カイコ岩体は片麻岩—ミグマタイト—花崗岩で特徴づけられ、ジュクルトゥ層は石灰岩及び石灰珪酸塩岩を伴う片麻岩で特徴づけられ、セリド層は黒雲母片岩で特徴づけられる (Fig. II-3-2)。

上記の地層のうち、セリド層が最も広く分布し、調査地域内の南半分を占める。北半分では、いずれもNNE-SSW方向に伸びるカイコ岩体とセリド層が交互に配列する。ジュクルトゥ層はカイコ岩体の周縁部に断続的に小規模に分布する。カイコ岩体とセリド層の境界は、一部断層、一部不整合である。今回カイコ岩体とした地層の中には、既存資料でジュクルトゥ層とされていた部分もある。それらはサンフランシスコ鉱山の北方でNNE-SSW方向に伸びる2つの岩体であり、岩相の詳細な検討の結果カイコ岩体とするに至った。

調査地域全域に亘り、NNE-SSW方向の断層が発達する。これらは主として上記のように調査地域北半部でカイコ岩体とセリド層の境界部を通るが、一部調査地域の南端まで延長しており、さらに調査地域の南方まで延長すると推定される。また、ランドサット画像によれば、同方向の、北から連続する大規模な断層はサンフランシスコ鉱床付近まで追跡されるが、同鉱床の南方のセリド層分布地域で不明瞭になる。しかし、さらに25km南方付近から南に再び明瞭に認められる。

調査地域の南半部にはWNW-ESE方向の小規模の断層も認められる。これらは調査地域内でその延長5km程度である。

サンフランシスコ鉱床は上記のNNE-SSW方向の断層とWNW-ESE方向の断層が交差する付近に位置する。サントメ西方7kmの金鉱徴は、上記のカイコ岩体とセリド層の境界を通る断層の走向が南部のN30°Eから北部のN10°Eへ屈曲する付近に位置する。

上記の断層とほぼ同様のNNE-SSW走向の、顕著な片理が調査地域全体に認められる。サンフランシスコ鉱床の北部ではこの片理の走向が一般的なNNE-SSWからNE-SWに急激に変化しており、構造の乱れを表している。

4-3 鉱化作用の特性と鉱化規制について

金の鉱徴は2か所に認められる。ひとつはサンフランシスコ鉱床で、セリド層の中にあり、もうひとつはサントメの西方7kmにあるガリンポで、カイコ層の中にある。既存資料によれば、セリド層及びジュクルトゥ層の中に鉱化があるとしているが、本調査ではこれらの他にカイコ岩体中にも鉱化があることが判明した。したがって、本地域では金鉱化作用の層準規制は特に限定で

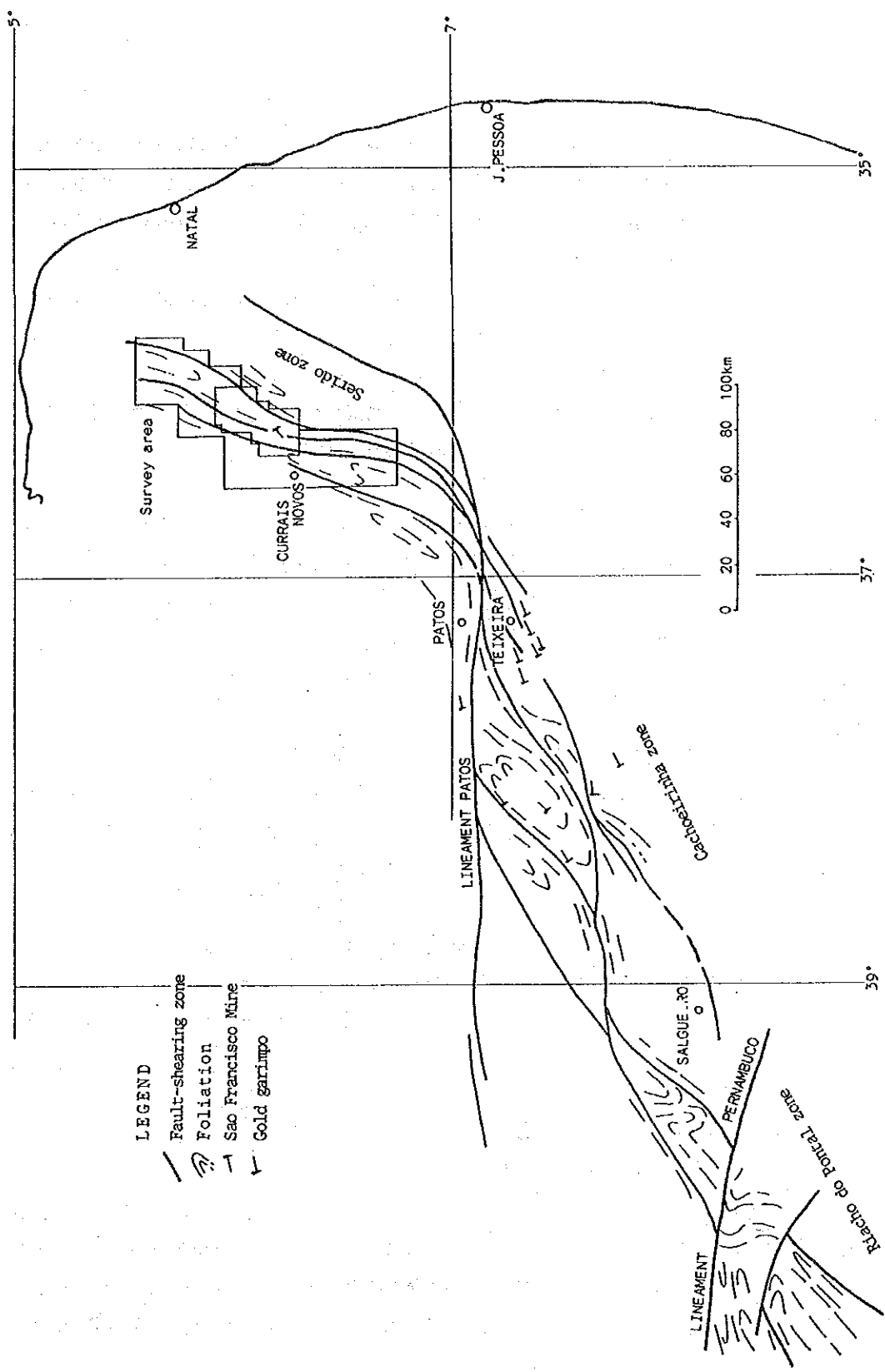


Fig. I -3-2 Location of gold mineralization and main structural lineaments after Barbosa(1989)

きない。

2つの鉱徴のうち、サントメ西方のガリンポではカイク岩体とセリド層の境界を通るNNE-SSW方向の断層が南から北へ向け、北方に屈曲する付近にあり、サンフランシスコ鉱床はNNE-SSW方向の断層が小さく枝別れし、WNW-ESE系の断層と交差する位置に存在する。2つの鉱徴を通る断層は同じ系列のものと考えられる。

サンフランシスコ鉱床では、金は主として石英脈中に含有されるが、その母岩にも弱い鉱化が認められる。サントメ西方のガリンポでは、今回実施した分析資料に関する限り、石英脈のみに金が検出された。石英脈及びその母岩から採取した試料の分析値のAu/Ag比をとると、サントメ西方のガリンポでは約2であるのに対し、サンフランシスコ鉱床ではほぼ1/8以下である。これから、両者の鉱化作用においては少なくとも、Au、Agの鉱液中の含有成分比が異なっていたことがうかがわれる。

いずれの鉱徴においても黄鉄鉱・黄銅鉱を伴ない、サンフランシスコ鉱床ではさらに磁硫鉄鉱、銅藍、輝銅鉱、赤銅鉱、緑塩銅鉱、クジャク石及び褐鉄鉱などの二次鉱物を伴っている。

鉱化帯の変質鉱物として絹雲母及びカオリンが認められ、緑泥石も微量認められる。絹雲母は金の鉱化をもつ石英脈の脈際に認められ、鉱化作用に関連すると考えられる。カオリンは、絹雲母と共に認められることから、絹雲母の酸化による生成物と考えられる。微量な緑泥石については不明である。

鉱床生成の時期はブラジル造山輪廻による造構運動以後であると考えられる。なぜなら、上記の石英脈に密接する絹雲母は、ブラジル造山輪廻による造構運動時の、高温の、角閃岩相の変成作用では生じないはずであり、その絹雲母が存在するということは、変成作用の後で生じたと言う事にほかならない。しかしながら、絹雲母の産状、その由来については調査が未だ不十分であり、今後の検討が必要である。

また、鉱化を伴う石英脈胚胎の場としての裂かばは造構運動の結果としての裂かであるが、サンフランシスコ鉱床中には鉱化を伴う石英脈と伴わない石英脈が接近して存在している。今回、これらの石英脈の前後関係については十分に調査を実施することができなかったため、今後の詳細な調査が必要である。

4-4 地化学異常と鉱化作用との関係について

河川堆積物試料による地化学探査の結果、Nb、Ta、Sn、Au及びAsがまとまった異常として抽出された。Nb、Taの異常地はほぼ重なり、サンフランシスコ鉱山のNNE方約10kmからさらにNNE方向に延長するカイク岩体の分布域の一部と重なる。Snの異常域は調査域北半部に広く分布する。

河川堆積物試料の化学分析値の因子分析によれば、ペグマタイト鉱床、タングステン鉱床及び

花崗岩などの岩石の化学組成などを反映する元素群が抽出されると同時に、Auと関連のある元素としてAsが抽出された。サンフランシスコ鉱床の含金石英脈中にもAsが含まれており、2元素の関連が裏付けられる。ここでは2元素の異常をまとめて議論する。

河川堆積物のAuの異常域は次の5地域にまとめられる(Fig. II-4-6)。

- ① サンフランシスコ鉱山、及びその西方のサンタリ(Santa Ri)付近。これらは同水系にある。
- ② サンフランシスコ鉱山の南西方2 km、これは同鉱床の南延長線上にある可能性が高い。
- ③ サンフランシスコ鉱山の東南方2 kmにあるマリショ(Marixo)付近。
- ④ 調査地域南西端に位置するカンゴラ(Cangorra)の東方2 km。
- ⑤ ④の南南西3 km付近に位置する。サラディニョ(Saladinho)の東方2 kmである

①、②はその位置からNNE-SSW方向のサンフランシスコ鉱床に関連すると考えられる。

一方、Asの異常域は以上に述べた5つのAuの異常域を広く覆うとともに、④、⑤を結ぶNNE-SSWのゾーンから、さらに北北東方向に約20km延長する(Fig. II-4-6)。

河川堆積物パニング試料の分析では上記の①、②、③の流系の他に、④、⑤を結ぶゾーンよりさらに西方のフォルタレザ(Fortaleza)からサントアントニオ(Santo Antonio)にかけて異常域が分布する。①、②、③の流系ではガリンペイロ(金鉱徴における個人鉱夫)により砂金が採取されており、本調査でも肉眼で見える金粒が確認された。サンフランシスコ鉱山の地質技師によれば、同鉱床では肉眼金はほとんどないということであり、その他の地域における今回の調査でも肉眼金は認め得なかった。砂金の源についてさらに検討を要するところである。しかしながら、Bowles, J. F. S. (1988)によれば、『熱帯及び乾燥気候下の河川堆積物中の金粒は、母岩が浸蝕される過程でそれに含まれる金が地下水中に溶出し、適当な環境下で再結晶して出来るものもあり、さらにそれは増大する』ので、本地域の砂金、特に①、②、③の流系の砂金は地理的に最も近いサンフランシスコ鉱床にその源を求めるのが妥当であろう。フォルタレザからサントアントニオにかけての異常域はその源に相当する鉱徴を見出していず、上流域の今後の検討を要する。

以上から、河川堆積物のAuの異常域はサンフランシスコ鉱床に由来する下流の異常を除けば、サンフランシスコ鉱床を通るNNE-SSW方向のゾーン、その西～西南方約5 kmのNNE-SSW方向に並んだ地域及びサンフランシスコ鉱床の東南方2 km及び6 kmの4つの地域にまとめられる。サントメ西方7 kmのガリンボ周辺には何等の地化学異常も生じなかった。鉱徴の小規模なためと考えられる。

4-5 期待鉱床賦存のポテンシャルについて

本年度の調査域では、既知鉱床の他の新たな金の鉱徴として小規模のガリンボを確認した。これらの鉱床及び鉱徴は、鉱化作用のタイプが類似している。岩相の規制はなく、NNE-SSW系の断

層などの地質構造と関係することが判明した。一方、河川堆積物による地化学探査では、新たな鉱床賦存の可能性がある地域としてサンフランシスコ鉱床の東南～南方及び西～西南方が抽出された。これらのうち西～西南方の地域はNNE-SSW 方向に延長し、地質構造との強い関連性が推定され、今後の詳細な探査を優先的に進めることが必要である。また、当鉱床の東南～南方では地化学異常の規模が小さく今後の調査に対する優先度は低い。しかしながら、今後、本年度調査域の南部で調査が実施され、新たに有望性が認められれば、このサンフランシスコ鉱床の東南～南方も調査の対象になる可能性がある。

また北部のガリンボはそれ自体が小規模であること、周辺に地化探の異常が見られないことから今後の調査は特に必要としない。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

本地域に分布する地層は、下位より始生代のカイコ岩体、原生代のジュクルトゥ層、エクアドル層、セリド層、そして第三系及び第四系である。鉍床の胚胎は岩体・地層に規制されないが、岩石分析の結果、カイコ岩体よりセリド層の岩石に金含有量が多いことがわかった。

本地域には稼行中の金鉍床であるサンフランシスコ鉍床があり、他の金鉍徴としてサントメ西方のガリンポがある。サンフランシスコ鉍床は鉍量が587,646トン、含金量は1,750kgであるが、サントメ西方のガリンポではその鉍量を計算するまでに至っていない。いずれも石英脈中で、黄鉄鉍、黄銅鉍などの硫化鉍物を伴ない、熱水性鉍脈鉍床の可能性はある。サンフランシスコ鉍床はNNE-SSW系の構造帯中で、WNW-ESE方向の断層群と交差する付近に位置し、ガリンポはNNE-SSW方向の断層が小さく屈曲する付近に位置するなど、その成因は地質構造に強く関連していると推定される。

河川堆積物による地化学探査の結果、Nb、Ta、Sn、Au及びAsがまとまった異常として抽出された。Nb、Taの異常域はほぼ重なり、サンフランシスコ鉍山のNNE方約10kmからさらにNNE方向に延長するカイコ岩体の分布域の一部と重なる。Snの異常域は調査域北半部に広範囲に分布する。

サンフランシスコ鉍山周辺、サンフランシスコ鉍山の西～西南方及び東南方に金の異常地が抽出された。同鉍山西～西南方の異常地はそのNNE-SSWに延びる分布形態が地質構造と調和しており、地質構造との成因上の関連性が推定される。同鉍山東南方の異常地はその規模が極く小さく、地質及び構造との関連性も明確ではない。

既知鉍床と同タイプの新たな鉍床が本地域に存在するとして、地化学探査による有望地を選定すると、サンフランシスコ鉍山の西～西南方の異常地が同鉍山の南東～南方の異常地より金鉍床賦存のポテンシャルは高いと考えられる。また、断層などの地質構造の連続性から、これらの金鉍床賦存可能性のある地域はさらに本年度調査域のさらに南方に延長する可能性が高い。

河川堆積物パニング試料では、サンフランシスコ鉍床周辺及び同鉍床の西北西方7～10kmに金の濃集が認められた。サンフランシスコ鉍床周辺の濃集は同鉍床に由来すると考えられるが、他の地域ではその源が不明であり、さらに検討を要する。

5-2 第2年次調査への提言

第1年次調査の結果に基づき、下記を提言する。

- ① サンフランシスコ鉍山の西～西南方の地化学異常域の詳細な調査。その方法及び目的は、

- (a) 地質構造に直交するWNW-ESE 方向のトレンチを掘削しての金鉱化作用の状況の解明。
 - (b) 物理探査による、断層・裂かなどの含金石英脈が胚胎する構造状態の解明。
探査手法のひとつとして磁気探査が考えられる。
- ② 第1年次調査域のさらに南方の調査。その方法及び目的は、
- (a) 第1年次調査と同様の地質調査及び地化学探査による、金鉱化作用の状況の把握。
 - (b) 物理探査による、断層・裂かなどの構造状態の解明。特に、NNE-SSW 系の構造の連続性、WNW-ESE 系の構造の賦存状態の解明。
- ③ サンフランシスコ鉱床西北西7～10kmの河川堆積物パンニング試料による金の濃集地域の詳細な調査。その方法及び目的は、
- (a) 物理探査により、異常地付近及び上流の地質構造を解明すること。
手法は上記と同様、磁気探査が有効と考えられる。
 - (b) 地質構造に直交するWNW-ESE 方向のトレンチを掘削して金鉱化作用の状況を確認すること。
- ④ サンフランシスコ鉱山の南東～南方の地化学異常域の詳細な調査。
その方法及び目的は、①と同様。

第II部 各論

第1章 既存資料解析

1-1 過去の探査結果

(1) 地質層序及び地質構造

本調査範囲のあるブラジル北東部は Cordani & Brito Neves(1982)によれば、南のサンフランシスコ台地と北のサンルイス台地の間に位置し、大きな構造单元の一部にあたる (Fig. II-1-1)。この单元はボルボレマ地区と呼称される (Almeida et al, 1981) (Fig. II-1-2)。

ボルボレマ地区では多くの研究者により地質層序の組み立てと地質図の作成が行われてきた。(Fig. II-1-3)。

Brito Neves (1983)と Almeida et al (1976)は、このボルボレマ地区で片麻岩-ミグマタイト-花崗岩からなる『地塊』と、主に変火山岩-変堆積岩からなる上部地殻の褶曲帯の2つの基本的な地質单元を認めた。さらにこの褶曲帯を砂質及び泥質の堆積岩類・火山岩類で構成される『内陸型』と陸源堆積物を挟在する厚層の炭酸塩岩で構成される『縁辺型』に分けた。

Brito Neves (1983)は、褶曲の程度や変成の程度に基づきボルボレマ地区を5つの地質領域 (Geologic Domain) に区分した (Fig II-1-4)。この区分では調査範囲はセントラル領域-セリド地区内に位置する。また、Santos et al (1984)も地質構造的観点から Brito Neves (1983)とほぼ同様の5つの地質領域に区分した。これによると、調査範囲はトランスノルデスチノ (Trans nordestino) 領域に位置する。

セントラル領域-セリド地区 (Brito Neves, 1983)の地質は、主として始生代のカイコ岩体とセリド層群 (さらにジュクルトゥ層, エクアドル層, セリド層に細分される) から成る。カイコ岩体は上述の『地塊』に対応し、ジュクルトゥ層は『縁辺型』に、セリド層は『内陸型』に対応する。Jardim de Sa et al (1987)によれば、ジュクルトゥ層, エクアドル層は前造山期の堆積物であり、セリド層はフリッシュ堆積物である。

Evert (1969, 1970)は本地区で最初の組織的な地質図の作成を行なった。地質層序の組み立てを行ううえで、彼は大理石層を鍵層として用いた。Ferreira & Albuquerque (1969)は鍵層として珪岩を用いて地質層序を組立てた。Santos (1973)と Torres H.F. et al (1973)はセリド層群の基盤としてカイコ岩体を認めた。Siqueira & Maranhao (1973), Andritzuky & Busch (1975)及び CNEN* / CPRMの共同プロジェクトも地質層序を組立てるうえで貢献した。以上の層序確立の過程で、現在エクアドル層と呼ばれている珪岩層の層序上の位置について様々な議論がなされた。

Jardim de Sa & Salim (1980)はそれまでの地質層序について再検討を行ない、エクアドル層の層序的位置を確実なものとした。すなわち、セリド地区における先カンブリア系は、下位より

* Comissao Nacional de Energia Nuclear

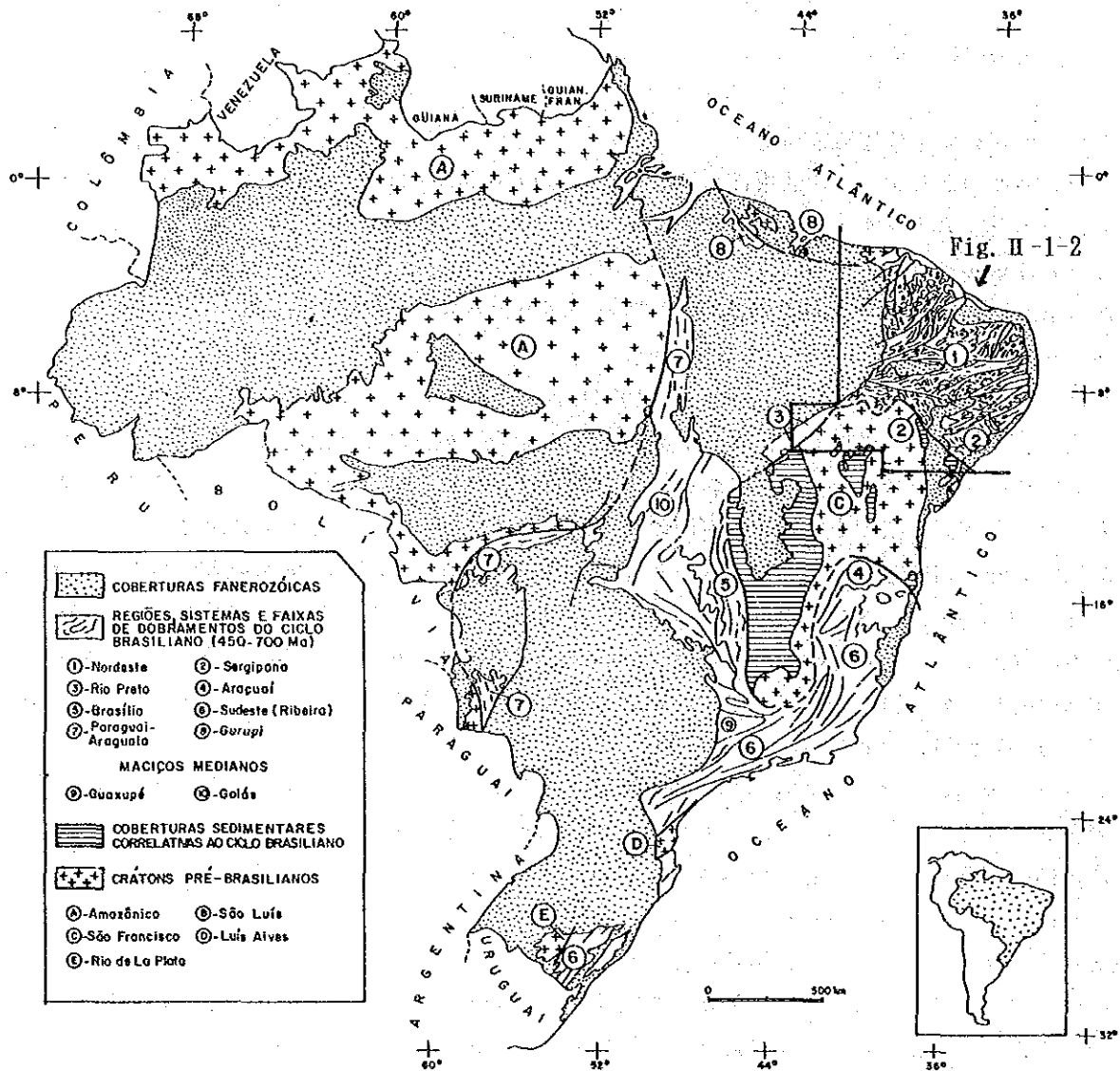
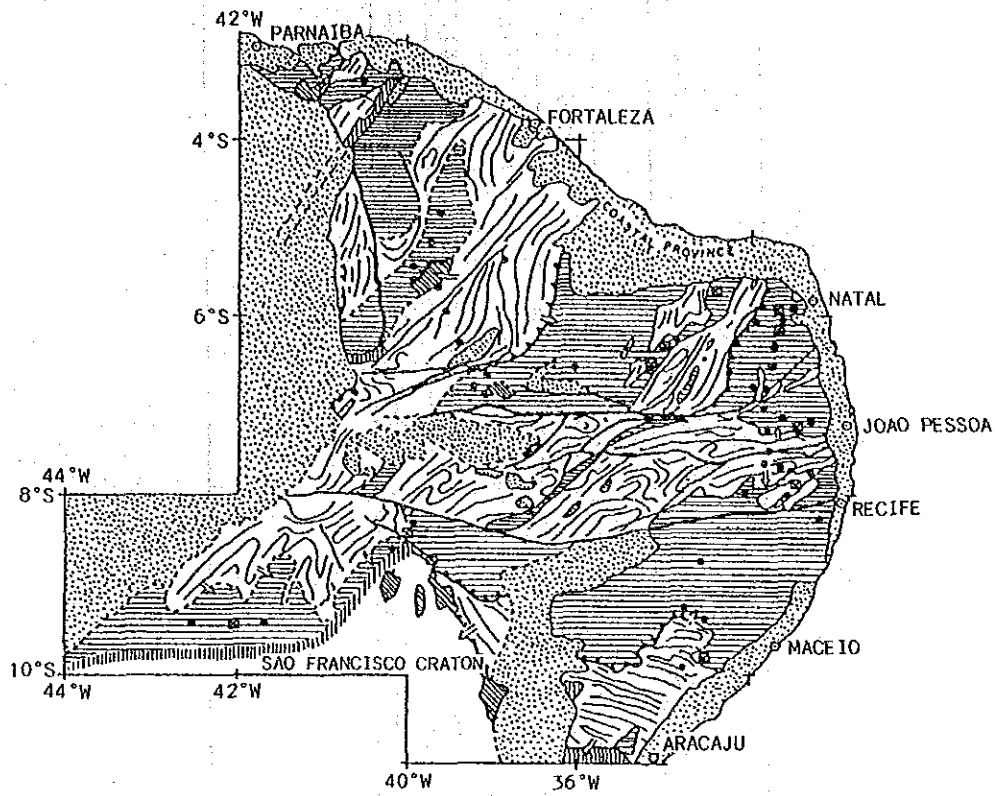








Fig. II-1-1 Folded belts of the Brasiliano cycle and related cratons
after Brito Neves, 1975; Almeida et al, 1977; Santos, 1975

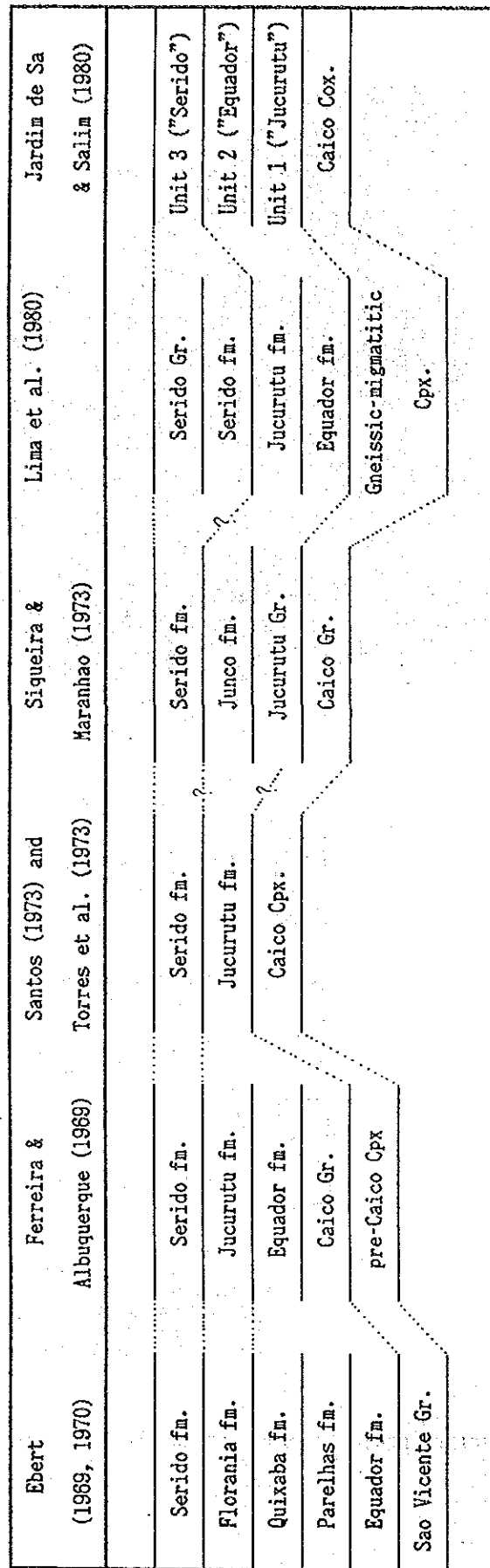


-  PHANEROZOIC SEDIMENTARY COVER
-  MOLASSES OF BRASILIANO CYCLE
-  SEDIMENTARY COVERS ASSOCIATED WITH THE FOLDED BELTS
-  PROTEROZOIC FOLD BELTS (BRASILIANO STRUCTURES)
-  GNEISS MIGMATITIC MASSIFS
-  SAO FRANCISCO (CRATON) PROVINCE

- ISOCHRONES CONVENTIONAL Rb/Sr OR K/Ar AGES OF THE TRANS-AMAZONIAN CYCLE-EARLY PROTEROZOIC
- ◻ CONVENTIONAL Rb/Sr AGES OF THE JEQUIE CYCLE-ARCHAEAN (SOME FEW ISOCHRONES AND K/Ar AGES)

Fig. II-1-2 Principal geologic elements in the Borborema Province

Fig. II-1-3 History of stratigraphic correlation in the Serido region



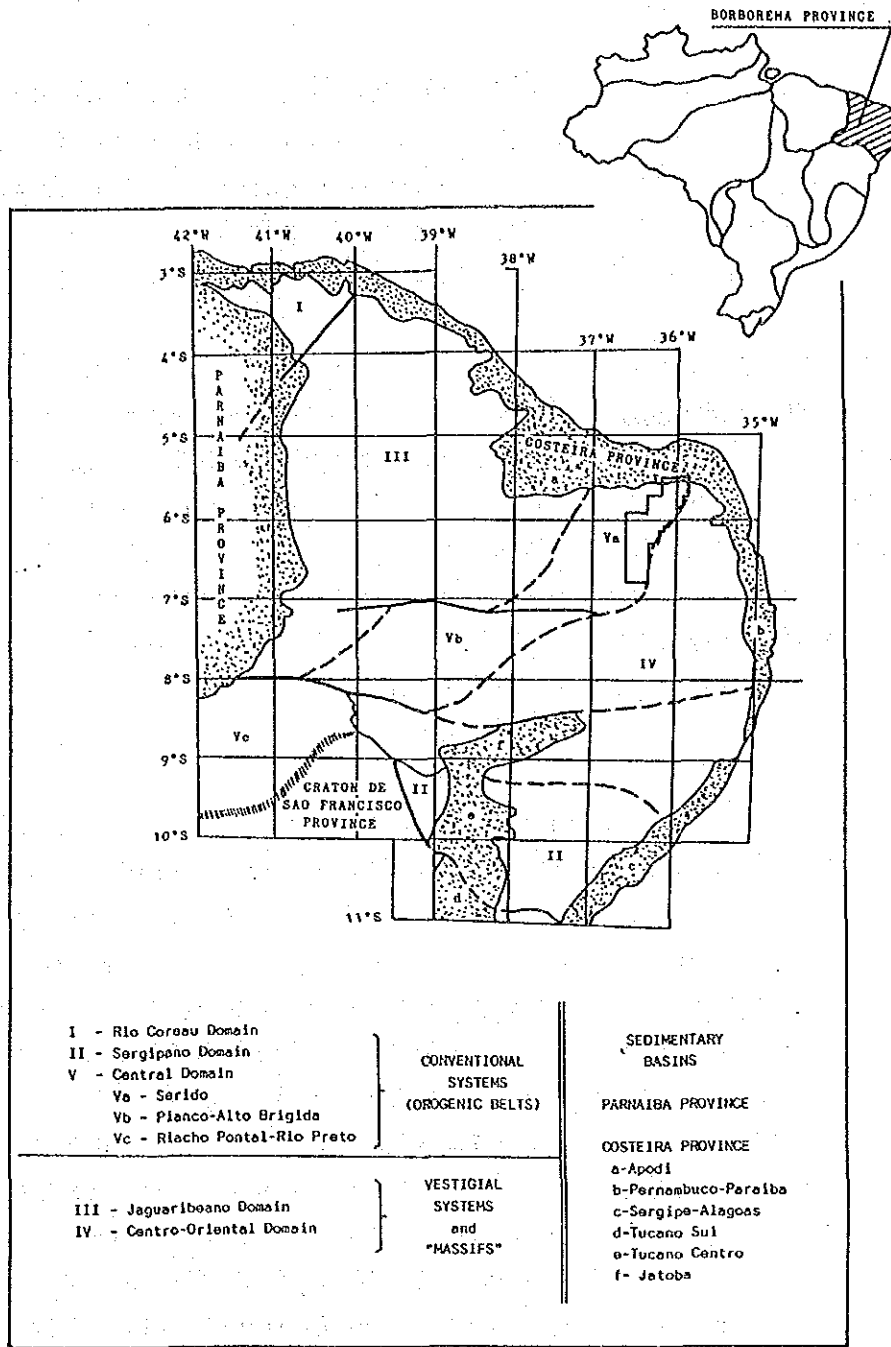


Fig. II-1-4 Geologic domain of the Borborema Province after Brito Neves, 1983

カイコ岩体、ジュクルトゥ層、エクアドル層、セリド層であるとした(Table II-1-3)。

このセリド地区には、以上の他に、中生代白亜系のジャンダイラ(Jandaira)層とアス(Asu)層、及び新生代第三紀に属するセハドマルティンス(Serra do Martins)層、そして第四紀の残留崩壊積成物及び沖積層が分布する。また、花崗岩、花崗閃緑岩、角閃岩など数多くの、様々な規模の深成岩、半深成岩類も分布する。本調査ではJardim de Sa & Salim (1980)の層序を踏襲している。

地質構造も多くの研究者により調査され、ブラジル全体の地質構造との関係からジェキエ(Jequie)造山輪廻(2900 ~ 2600 Ma)、トランスアマゾン(Transamazon)造山輪廻(2100 ~ 1800 Ma)、ブラジル造山輪廻(700 ~ 450 Ma)などの多段階の構造運動が識別されている。最近では、セリド地区で、Jardim de Sa (1984)などによりトランスアマゾン造山輪廻からブラジル造山輪廻にわたる5段階の構造運動が識別されている(Table II-1-1)。トランスアマゾン造山輪廻は低角度の破砕帯で代表される F_1 、 F_2 の2つの構造事変が識別され、変成度は角閃岩相に達した。ブラジル造山輪廻は高角度の破砕帯で代表される F_3 、 F_4 が識別され、変成度はやはり角閃岩相に達した。その後、後退変成作用として F_5 が識別されている。

(2) 鉍床

鉍床探査は主としてタングステンについて実施されているが、金についても広域的な調査がなされた。タングステンの調査は、DNPM/CPRMにより『Projeto Tungstenio/Molibdenio』としてRN州及びパライバ州において1965年に開始され、1973年に報告書がだされた。また1980年にはProjeto Scheelita do Seridoの報告書が出された(Lima, E. de A. M. et al, 1980)。これらの調査がセリド地区の層序の解明、地質図の作成に果たした役割は大きい。タングステン鉍床についてはその後、Maranhao, R. et al (1986)がセリド地区の代表的な鉍床である Brejui, Barra Verde, Boca de Lage, Zangarelhas鉍床についてその地質鉍床を詳しく述べている。

本地域における金の存在は1940年代の初めに知られ、1976年までは砂鉍、風化帯、石英が採掘されたが、品位の低下とともに採掘がスローダウンし、中止された。しかし1970年の終り頃からCPRMの調査が開始されたとみえ、1980年になり、多くの調査結果が1:1,000,000及び1:100,000の調査結果図として公表された。1980~1983年にはDNPM/CPRMによって金の調査が実施され、『Projeto Mapas Metalogeneticos e de Recursos Auriferos, Folhas SB24/SB25, Jaguaribe/Natal』としてその報告書が出され、『Carta Metalogenetico das Recursos Auriferos, 1:1,000,000』として図面にまとめられた。この調査により、調査範囲を含むほぼRN州全体における金鉍床の総括を行なった。本報告には簡単ではあるが、第1年次調査地域内の中央にあるサンフランシスコ鉍床の概要が述べられている。

本調査範囲の金に関する報告の主なものは① Souza, Z. S. et al (1986), ② Ferran, A. (1988),

Table II-1-1 Kinematic and metamorphic episodes at the survey area

Structural events		Metamorphic events		Igneous events	Ages
Ph	Events	Ph	Events	Intrusions	
F ₁	lower grade/lower strain fabrics F ₁ folds appear not developed or are not readily detected.	S ₁	green schist to high amphibolite facies, low to intermediate pressure. peak metamorphic conditions was reached during F ₂ . S ₁ foliation was formed in green schist facies.	G ₂ ; syn-F ₂ sheet like intrusives along flat lying S surface. Emplacement was strongly controlled by recumbent structures of the F ₃ phase. Always intrude the Jucurutu F., mainly close to its basal contact. In a few cases, these rocks intrude at the level of the Serido F. G ₂ cut through the Archaean main foliation and structurally conformable with the supracrustals of the Serido G.	2.1 ± 0.1 Ga (Rb-Sr WR isochron). during Transamazonian Orogeny.
	F ₂		associated with ductile thrust (flat-lying shear zone)		
F ₃	upright to overturned folds with gently dipping NNE axes having crenulation cleavage or schistosity as axial plane structure. upright - inclined folds were generated during a NNE trans-current simple shear regime.	S ₃	low pressure green-schist to high amphibolite facies.	G ₃ occur as minor isolated bodies, or as large composite diapirs. Plutons of granite to granodiorite composition are the most voluminous part, including medium or coarse porphyritic types, as well as equigranular leucogranite. Diorite, gabbro to diorite, quartz diorite to tonalite, hornblende are also included. G ₃ granitoids involve contributions from deep sources mostly of mafic/ultramafic and/or primitive nature, I-type granitoids.	up to 760 Ma (Rb-Sr WR isochron) 660 - 500 Ma during Brazilian age plutonics 650 - 550 Ma is peak of genic condition
	F ₄		shear zones developed slightly later or during another retrogressive phase. coaxial with F ₃ folds NNE, more steep axial planes, much less developed crenulation cleavage		
F ₅	late kink bands formed by N-S compressive stress	S ₅	retrograde phase green schist facies.		F ₄ , F ₅ events were probably completed up to 500 Ma.

Compiled from Jardim de Sa & Jaziel Martins Sa (1987), Jardim de Sa et al (1987) Jardim de Sa (1988), Jardim de Sa et al (1988)

③ Barbosa, A. J. (1989) である。それぞれ、次のように鉱床タイプ、鉱床胚胎層、地質構造規制、鉱床成因などを述べている。

a) 調査対象地域

- ① ラジェスーサントメ (Lages-Sao Tome) 間
- ② サンフランシスコ鉱山
- ③ セントラル領域内の断層を伴う構造帯

b) 鉱床タイプ

- ① 脈状石英、流動した石英塊
- ② 珪岩 (再結晶したチャート層)、及び母岩の片岩中：珪岩の幅は10~20cm。
- ③ 破碎帯中の熱水鉱脈。脈はレンズ状・球根状。長さは数10m 以下、幅はまれに1mを越える。

c) 鉱床胚胎層

- ① ジュクルトゥ層の黒雲母片麻岩、雲母片岩、縞状片麻岩。
- ② セリド層の石英-黒雲母-柘榴石片岩。
- ③ 雲母片岩、メタペーサイト、含雲母千枚岩など。岩相の規制はない。

d) 地質構造規制

- ① 構造運動を反映する3つの石英脈生成段階がある。
- ② サンフランシスコトレンドとモホペラドトレンドがあり、前者は走向 NNE-SSW、傾斜 45E。走向延長はkm単位。鉱化帯は 12° SWにプランジ。後者の走向・傾斜は前者に同じ。幅の狭いチャート層が褶曲のため繰り返し現れる。
- ③ 鉱脈は低角度あるいは高角度の破碎帯中。

e) 鉱石鉱物

- ① 金は点状、板状の自然金として、あるいは黄鉄鉱、輝水鉛鉱などに伴う。
- ② 金は、自然金として、あるいは黄鉄鉱、輝水鉛鉱、磁硫鉄鉱、方鉛鉱などに伴う。
- ③ 金は、黄鉄鉱、黄銅鉱、硫砒鉄鉱、方鉛鉱などと共に、石英脈中に産する。

f) 鉱床成因

- ① 金の源は bimodal volcanic sequence。低度変成作用の間に破碎帯の活動が含金溶液を再移動させた。高度変成作用の間に高い熱勾配が金を溶かし、地殻浅部あるいは還元環境下の割れ目、節理面を通して分散。
- ② 噴気堆積性鉱床
- ③ 金は火山・深成・変成源である。破碎帯中に存在していた金濃集体が構造運動の動力変成過程により再濃集された。

1-2 調査地域の選定

以上に述べた金鉱床の記載に基づき、金鉱床が存在するための必要条件として次の4事項を上げ、これらの事項が満たされる地域を検討した。

- ① 金鉱床胚胎層は存在するか。
- ② 破碎体、褶曲など金の鉱化に関係のある構造が存在するか。
- ③ 実際に金鉱徴は存在するか。
- ④ 考えられる金鉱床成因説を満たす条件は存在するか。

そして、Fig.1 に示す 1000 km² の地域を第1年次の調査地域として選定した。

以上の検討内容に基づき、以下のような今後の探査指針を提示した。

- ① 探査の対象地域はセリド層及びジュクルトゥ層の分布地域である。
- ② 噴気堆積性鉱床成因説にたつ場合、既知鉱化チャート層の層序・構造上の追跡。
- ③ セリドーカショエイリニャーヒアシェドポントル等の断層破碎体における探査。
- ④ 鉱徴のある既知の石英脈の追跡、及び新しい含金石英脈の発見。
- ⑤ 既知の鉱徴が硫化鉱物に伴うという性状から、硫化鉱物の発見、追跡。
- ⑥ 既存資料及び今後の資料も含め、河川堆積物で得た異常地の上流の探査。
- ⑦ 一般的な金鉱床の成因より花崗岩質岩の探査。

第2章 ランドサット画像解析

2-1 解析目的及び方法

2-1-1 解析目的

解析調査範囲（約 5,910km²）についてランドサットTM画像の写真地質学的判読を行い、広域的な地質構造を解明し、本地域における地質構造と鉱化作用との関係を把握することを目的とした。本地域に分布する金鉱床が裂か充填型と考えられることから、特に鉱床と断裂との関係の解明に重点を置いた。

2-1-2 使用データ

本解析に使用したデータは、米国NASAが1984年に打ち上げた地球観測衛星ランドサット5号によって取得された、パス215-ロウ64とパス215-ロウ65の2シーンのTM (Thematic Mapper) データである。これらのデータについての詳細及びカバーする範囲をそれぞれTable II-2-1及びFig. II-2-1に示す。なお、これらはいずれもブラジルの受信局で受信されたデータである。

Table II-2-1 List of LANDSAT Data

Path	Row	Date	ID No.	Cloud Cover	Sun Elevation
215	064	09/MAY/87	58712-91158	0 %	52°
215	065	02/AUG/89	58921-41202	0 %	51°

*ランドサットTMデータの各バンドの波長帯域および特性は以下の通りである。

Band	Wavelength	Band Characteristics
Band 1	0.45~0.52 μm	water body penetration, differentiation soil from vegetation
Band 2	0.52~0.60 μm	useful for vigor assessment of vegetation
Band 3	0.63~0.69 μm	chlorophyll absorption band
Band 4	0.76~0.90 μm	useful for determining biomass content
Band 5	1.55~1.76 μm	indicative of moisture content of vegetation and soil
Band 6	10.40~12.50 μm	thermal infrared band
Band 7	2.08~2.35 μm	discriminating rock types, hydrothermal mapping

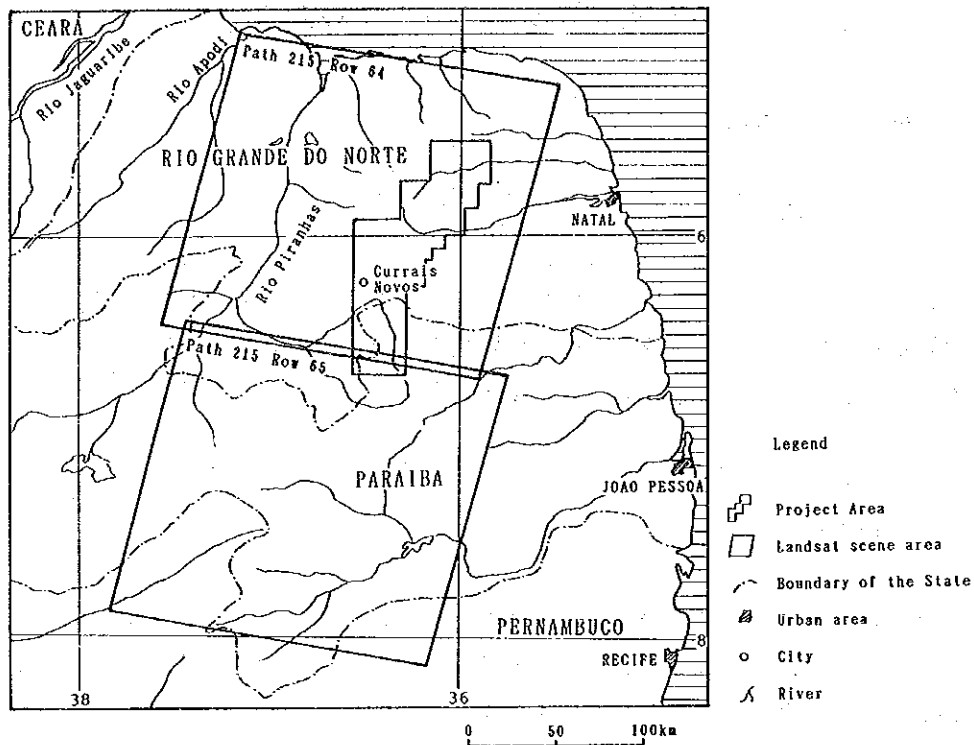


Fig. II-2-1 Index Map of LANDSAT Data

2-1-3 解析方法

(1) 画像作成

ブラジルのランドサットデータ販売機関 (INPE) より購入した CCT (Computer Compatible Tape) を用いて、Table II-2-2に示すように、フォルスカラー画像、主成分分析画像及び比演算画像を作成した。なお、フォルスカラー画像についてはフルシーン2枚 (縮尺1:200,000) と本対象地域が含まれる部分のサブシーン4枚 (縮尺1:100,000)、主成分分析画像及び比演算画像についてはサブシーンのみをそれぞれ4枚ずつ (縮尺1:100,000) 作成した。

フォルスカラー画像については、TMデータのバンド1, 4, 5を選び、それぞれに青, 緑, 赤を割り当てて、コントラスト及びエッジ強調処理を施した後、カラー合成を行った。バンド1, 4, 5を用いたのは、この組み合わせの場合に画像の色調が最も多彩となり、本地域の地質判読に最も適当であると判断されたためである。

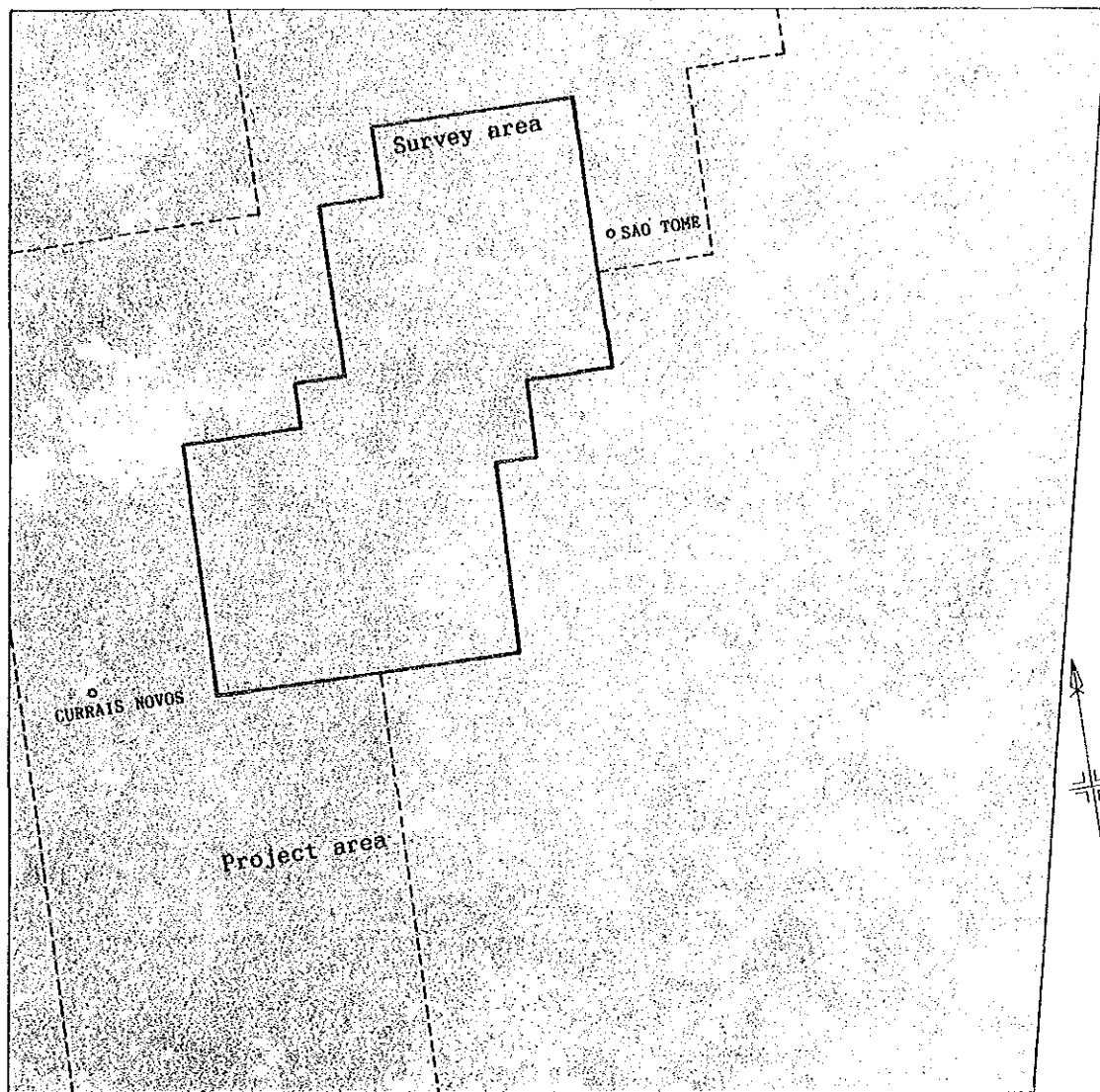
主成分分析画像は、岩石及び土壌の色調をより強調させることを目的として作成した画像で

Table II-2-2 List of LANDSAT TM Images Generated

Type of Image	Path-Row	Sub Scene No.	Scale of Image
False Color Image	215-64	(Full Scene)	1:200,000
False Color Image	215-65	(Full Scene)	1:200,000
False Color Image	215-64	Quadrant 2	1:100,000
False Color Image	215-64	Quadrant 3	1:100,000
False Color Image	215-64	Quadrant 4	1:100,000
False Color Image	215-65	Quadrant 2	1:100,000
Principal Component Image	215-64	Quadrant 2	1:100,000
Principal Component Image	215-64	Quadrant 3	1:100,000
Principal Component Image	215-64	Quadrant 4	1:100,000
Principal Component Image	215-65	Quadrant 2	1:100,000
Ratio Image	215-64	Quadrant 2	1:100,000
Ratio Image	215-64	Quadrant 3	1:100,000
Ratio Image	215-64	Quadrant 4	1:100,000
Ratio Image	215-65	Quadrant 2	1:100,000

である。分解能が他のバンドと異なるバンド6（分解能 120m：他のバンドは30m）を除いた6つのバンドのデータを使用して主成分データを算出し、最も色調が多彩となり、地質判読に最も適当であると判断された第1、第2、第3主成分データの組み合わせを用いてカラー合成を行った。なお主成分データの計算結果では、第1主成分に対してはすべてのバンドが平均的に寄与しており、第2主成分にはバンド4が、第3主成分にはバンド5と7が寄与している。また第3主成分までの寄与率は97.42%である。

比演算画像も主成分分析画像と同様な目的で作成した。使用したデータの組み合わせは、バンド5/バンド7、バンド4/バンド3、バンド3/バンド2の3つの比演算データである。このうち、バンド5/バンド7のデータは粘土鉱物及び炭酸塩岩の抽出に効果的であり、この値が高い部分はこれらの存在を示す。バンド4/バンド3は植生密度の差及び植種の違いを表現するのに有効である。植生密度が高い部分はこの値も高くなる。また、バンド3/バンド2については、この高い値が鉄鉱物の存在の指標となる。



Map of the Survey area and Project area, showing the location of CURRAIS NOVOS and SAO TOME.

Map of the Survey area and Project area, showing the location of CURRAIS NOVOS and SAO TOME.

TM145 (BGR) 58712-91158 P215 R64 QUADRANT 4 09 MAY 87 S05-45 W036-28 CARIRE, BRAZIL

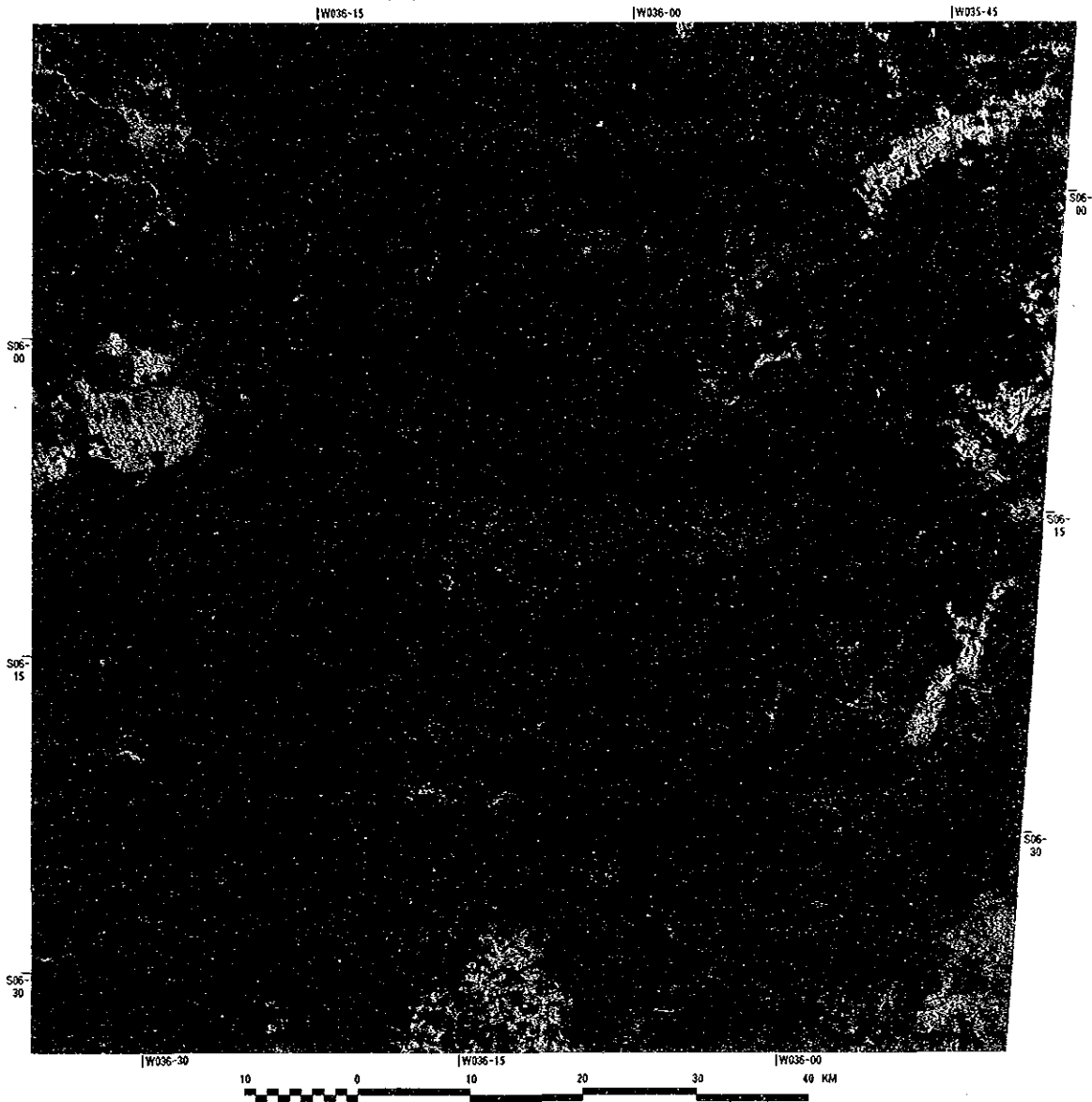
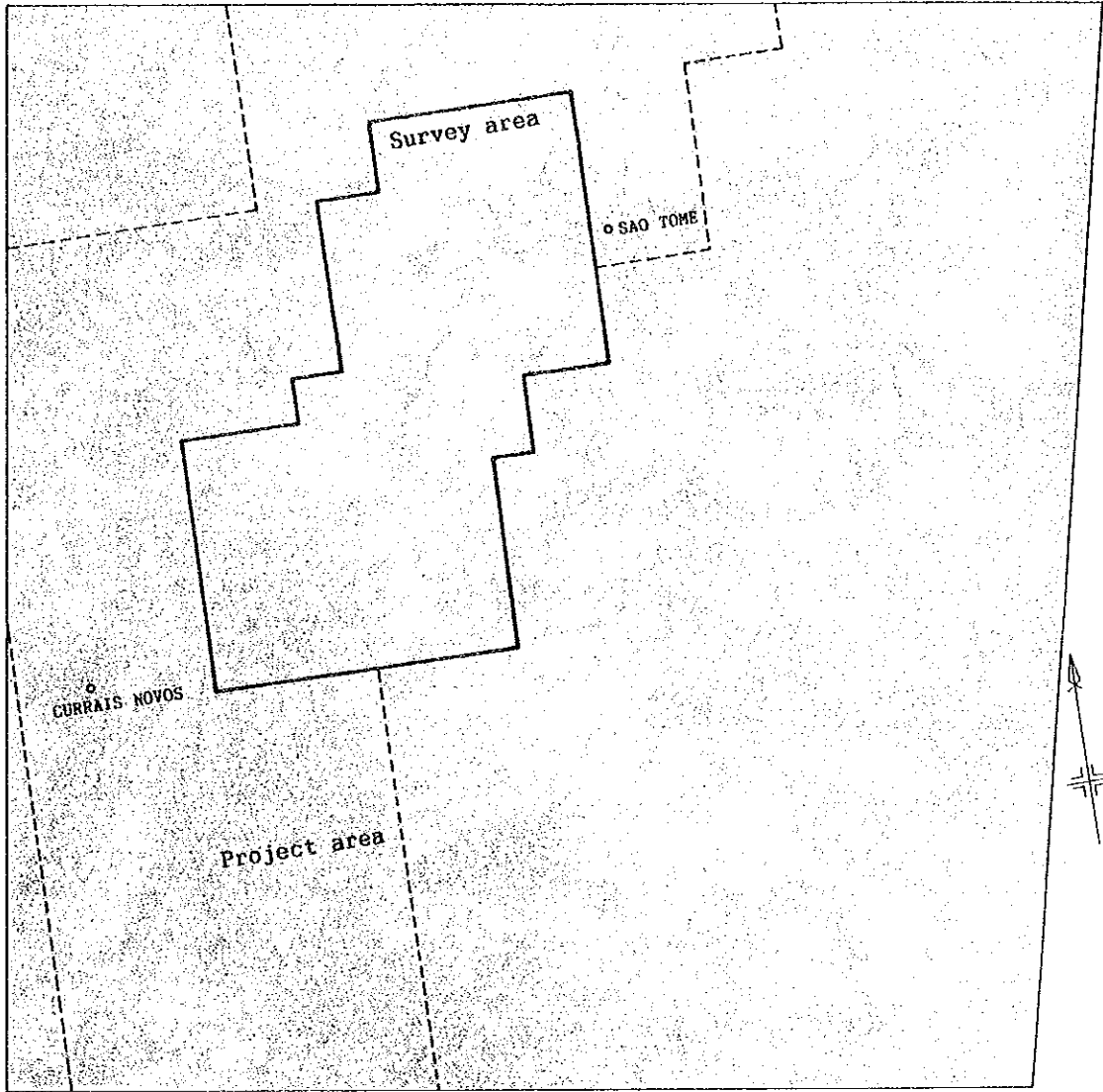


Fig. II-2-2 LANDSAT TM false color image.



Map of the Survey area and Project area.

Map of the Survey area and Project area.

TMS/7A/3.3/2 (BGR) 58712-91158 P215 R64 QUADRANT 4 09 MAY 87 S05-46 W036-28 CARIRE, BRAZIL

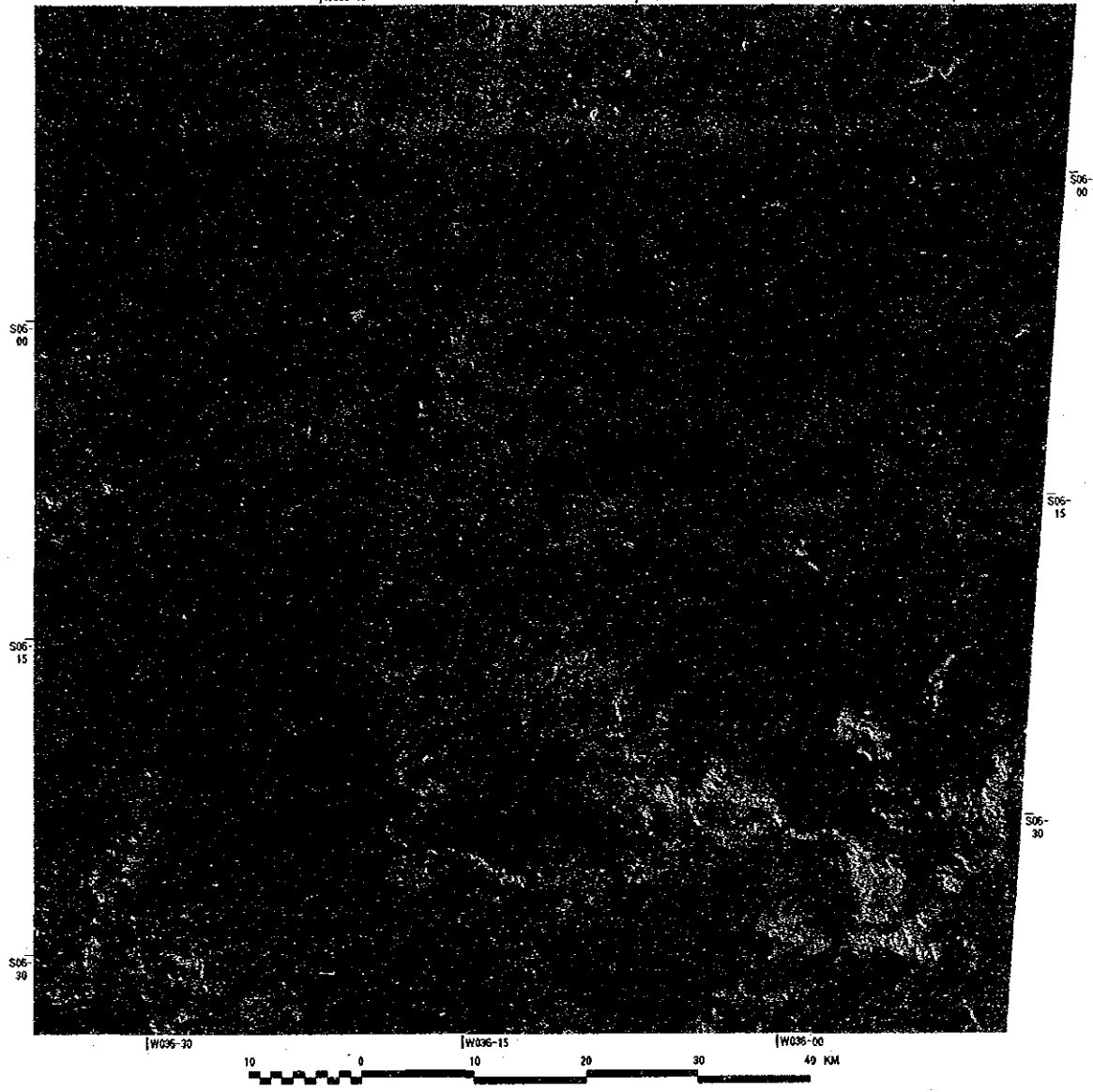
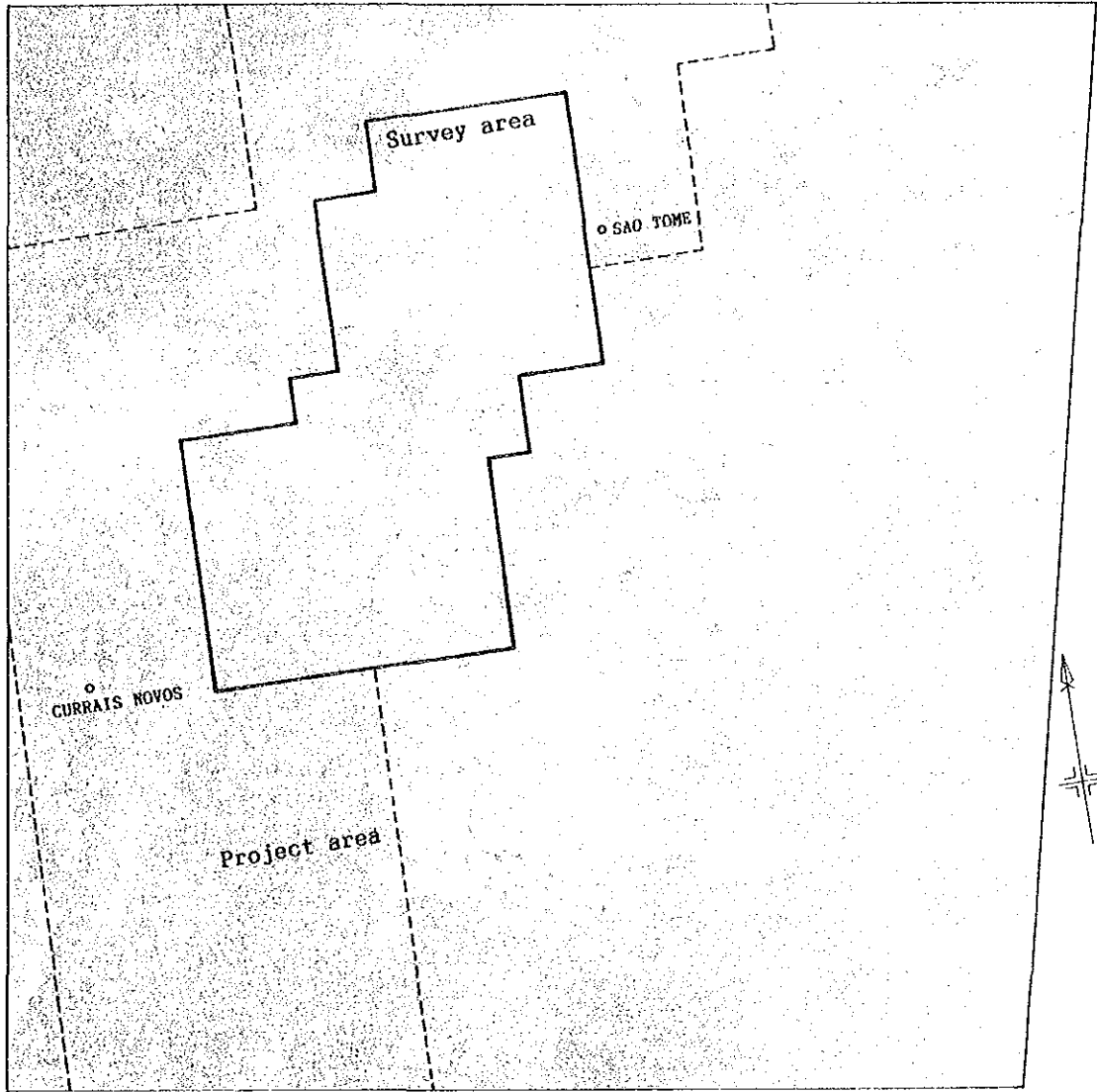


Fig. II-2-3 LANDSAT TM ratio color image.



Map of the Survey area and Project area, showing the locations of CURRAIS NOVOS and SAO TOME.

Map of the Survey area and Project area, showing the locations of CURRAIS NOVOS and SAO TOME.

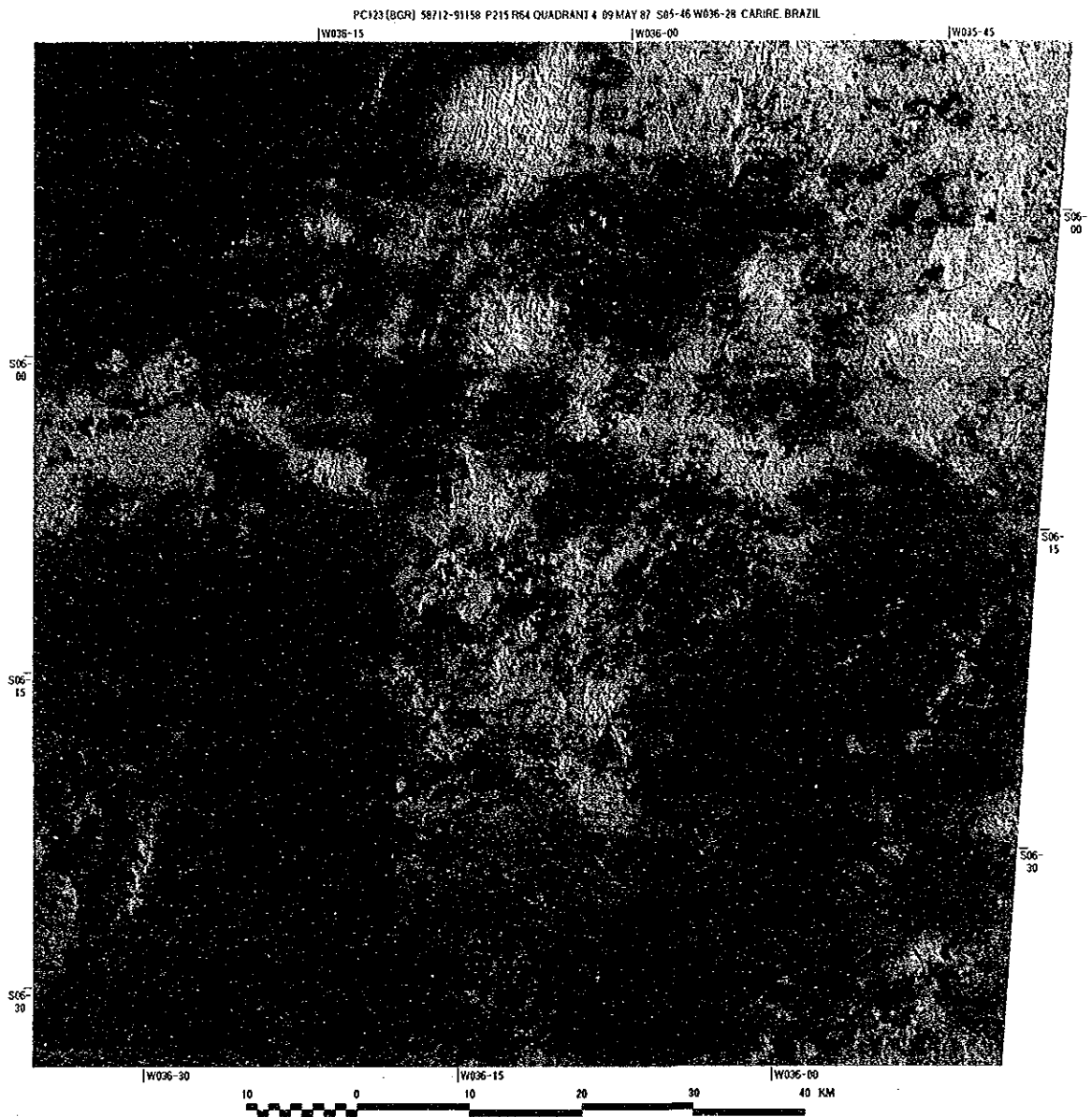


Fig. II-2-4 LANDSAT TM principal color image.

(3) 地質解析

作成した画像を用いて、これらの画像上の色調、及び水系模様、浸食に対する抵抗性などの地形的特徴を総合して検討し、地質単元の区分、地質構造の判読及び鉱化変質帯の抽出を行った。また、調査地域近傍の鉱山周辺の写真地質的特徴を抽出し、調査地域の写真地質的特徴と対比した。

2-2 解析結果

2-2-1 岩相分類

画像上の特徴から、Table II-2-3及びFig. II-2-5に示すように16の地質単元に分類した。各地質単元について以下に述べる。

単元 p e 1 a : 本単元は調査範囲の東縁部に沿って分布し、細かい凹凸があり、高密度の格子状の水系を示すこと及び断層に平行する層理状の構造が発達するのが特徴である。本単元はカイコ岩体(始生代)の片麻岩を主体とする岩相部に相当する。

単元 p e 1 b : 本単元は北西部に分布し、比較的低い抵抗性及び水系密度を示す。比演算画像上では褐色を呈しており、これは地表部に鉄酸化物が多く分布しているためであろうと考えられる。本単元もカイコ岩体の片麻岩を主体とする岩相部に相当するが、層理状の構造は認められない。

単元 p e 1 c : 本単元は北部に分布しており、高い抵抗性と比較的低い水系密度を示すのが特徴である。また、層理状の構造が発達しており、リニアメントも多く認められる。本単元もカイコ岩体の片麻岩を主体とする岩相部に相当する。

単元 p e g 1 : 本単元はピクイ(Picui)の南東方に分布している。フォルスカラー画像上で白色を示す部分が多いこと、極めて粗い樹枝状の水系を示し、地形が平坦であることが特徴である。本単元はカイコ岩体の花崗岩を主体とする岩相部に相当する。

単元 p e 2 : 調査範囲の西側に断続的に分布する。抵抗性が高く、層理が発達し、部分的に層理面を画像上で見ることができなのが特徴である。本単元は主としてエクアドル層(原生代)の珪岩層に対応する。

単元 p e 3 a : 中央部から南部にかけて広く分布する。水系密度が高く、細かい樹枝状或いは格子状の水系を示し、層理(片理)が発達しているのが特徴である。本単元はセリド層(原生代)に対応する。

Table II-2-3 Photogeologic interpretation chart.

Units	Drainage Pattern	Morphological Expression							Remarks	Comparison with Existing Data
		Drainage Density	Cross. Sect. of Valley	Cross. Sect. of Ridge	Rock Resistance	Bedding or Schistosity	Lineament Density			
Q	—	low	—	—	low	none	none		Alluvial beds	
T	—	low	—	—	high	none	none	flat terrain	Tertiary beds	
Kda	—	low	—	—	low	none	none	black color	Creta. diabase	
K	dendritic	low	—	—	low	none	none	flat terrain	Cretaceous beds	
pEgb	—	—	—	—	low	none	none	purple color	Protero. gabbro	
pEPg	parallel	low to med.	∨	∧	high	—	high		Protero. pegmatite	
pEE3	—	low	—	—	low	—	low	whitish color	Protero. granitic r.	
pEE2	parallel	low	∨	∧	high	—	high	purplish color	Protero. granitic r.	
pEEc	parallel	high	∨	∧	high	common	high		Serid Formation	
pEEb	dendritic	low	—	—	low	none	low		Serid Formation	
pEE3a	dendritic, trellis	high	∨	∧	medium	locally common	high		Serid Formation	
pEE2	parallel	medium	∨	∧	high	common	high		Equador & Jucurutu F.	
pEE1	—	low	—	—	med. to low	none	none	whitish color	Caico complex	
pEE1c	parallel, trellis	low to med.	∨	∧	high	common	high		Caico complex	
pEE1b	subparallel	medium	∨	∧	med. to low	none	high		Caico complex	
pEE1a	trellis	high	∨	∧	high	common	high		Caico complex	

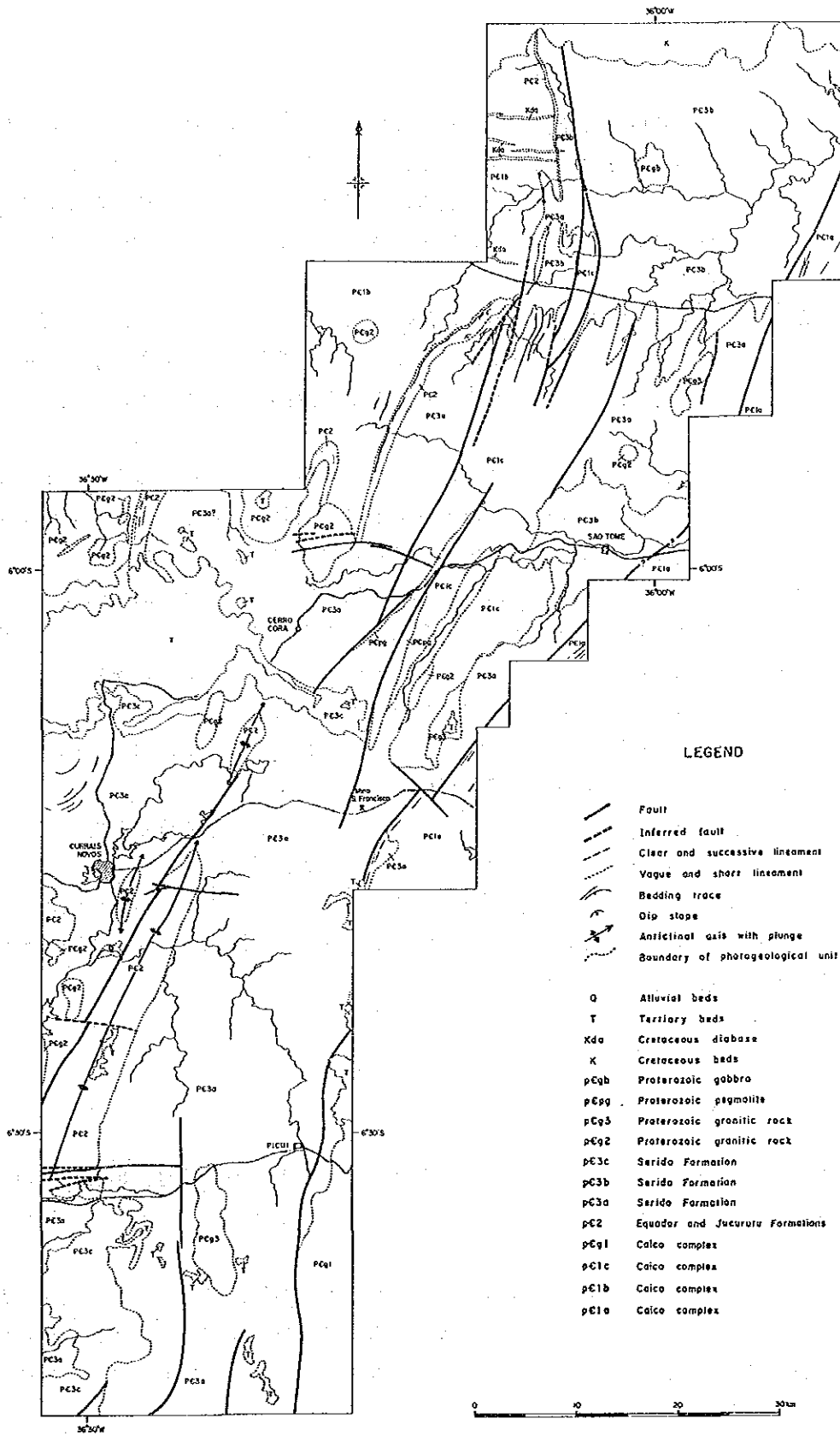


Fig. II-2-5 Geologic interpretation of LANDSAT image in the project area

- 単元 p e 3 b : 北部地域に分布し、緩やかな起伏があるものの全体としては平坦な地形を示す。粗い樹枝状の水系を示し、水系密度は低い。本単元もセリド層に対応する。
- 単元 p e 3 c : サンフランシスコ鉱山の北方に小規模に分布する。抵抗性が高いことで p e 3 a と区別されるが、そのほかの特徴はよく似ている。本単元もセリド層に対応する。
- 単元 p e g 2 : 本単元は本調査地域の縁辺部に分布する。抵抗性が高く、ゴツゴツした感じを与え、リニアメントが良く発達しているのが特徴である。植生に覆われていない部分は、フォルスカラー画像上で青紫色を呈する。本単元は原生代の花崗岩類に対応する。
- 単元 p e g 3 : ピクイの南西方に岩株状に分布するほか、サントメの北方にも小規模なものが認められる。p e g 1 のように平坦な地形を示し、裸地の部分はフォルスカラー画像上では白色を呈す。本単元も原生代の花崗岩類に対応する。
- 単元 p e p g : サンフランシスコ鉱山の北方に細長く分布しており、高い抵抗性と尖った尾根を示すのが特徴である。本単元は原生代のペグマタイト岩脈に対応する。
- 単元 p e g b : 北部の単元 p e 3 b 中に分布している。抵抗性が低く、紫色を呈するのが特徴である。本単元は原生代のハンレイ岩に対応する。
- 単元 K : 本単元は調査範囲の北縁部に沿って分布し、わずかな起伏があるがほぼ平坦な地形を示す。本単元は白亜紀の堆積岩類に対応する。
- 単元 K d a : 調査範囲の北縁部の単元 p e 1 b 中に岩脈状をなして分布しており、黒色を呈す。本単元は白亜紀の玄武岩及び輝緑岩の岩脈に対応する。
- 単元 T : クライスノボスの北方に広く分布するほか、各地に小規模な分布が認められる。非常に平坦な台地を形成しているのが特徴である。本単元は第三紀の堆積岩類に対応する。
- 単元 Q : 河川に沿って分布している沖積層である。

2-2-2 地質構造解析

地質構造解析結果を Fig. II-2-6 に示す。なおリニアメントについては、既存の資料において断層とされているもの、それ以外の明瞭で連続性の良いリニアメント、不明瞭及び短いリニアメントの3種類に区分した。

Fig. II-2-6 より、本地域においてリニアメントが発達する地区は、サントメ北西方から本調査地域南西部にかけて NNE-SW 方向に連続する帯状のゾーンである。また本地域の断層及び連続性の良いリニアメントについて作成したローズダイヤグラム (Fig. II-2-7) で明らかなよう

に、本地域のリニアメントはほとんどがNNE-S SW系とE-W系よりなる。

前章で述べたように、本地域はNNE-S SW系の地質構造によって支配されていることが知られており、画像上においてもこの方向性を示すリニアメントが最も明瞭であり、連続性も良い。一方、E-W系の主要な地質構造はほとんど知られていないにもかかわらず、リニアメントとしてNNE-S SW系のものと同程度の頻度で抽出されている。

NNE-S SW系の断層及び連続性の良いリニアメントは特にサンフランシスコ鉱山より北方において発達しており、サンフランシスコ鉱山はその南方延長上に位置し、E-W系の連続性の良いリニアメントはサンフランシスコ鉱山周辺からその南方にかけて発達している。このことは、サンフランシスコ鉱山周辺部では他の地区に比べて断層がより発達していることを示唆するものと考えられる。また、このE-W系のリニアメントのうち特に連続性の良いものが発達する地域は限定されており、サンフランシスコ鉱山付近ではこの系統の第三紀の塩基性岩脈の存在が知られていることなどから、本地域の鉱化作用との関係において興味もたれる。

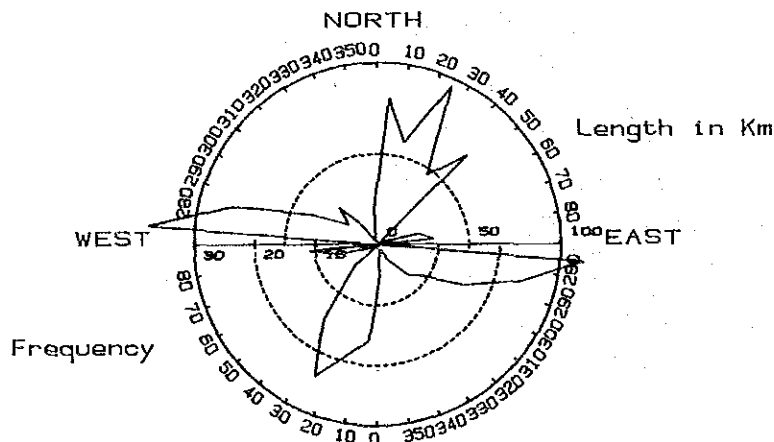


Fig. II-2-7 Rosediagram of Lineament

2-3 考察

Fig. II-2-8に画像解析結果の総合解釈図を示す。図中には、主要な断層或いはリニアメントが分布するところを主要リニアメント帯として示し、色調異常が認められる部分も併せて示した。

既述したように、サンフランシスコ鉱山周辺はNNE-S SW系の断層及び連続性の良いリニアメントとE-W系の連続性が良いリニアメントとの交差部にあたり、断層が発達していることが予想される。また、調査範囲近傍の金鉱化地帯として知られているテイシェイラ (Teixeira)

付近は、本調査地域と同様にセリドーカショエイリニャーヒアショドポントル構造線に沿う地区であり、断層に挟まれた部分に位置している（Fig. I-3-1参照）。しかもその断層に斜交或いは直行するリニアメントが発達しており、この地区は断裂が発達した破碎帯部であると考えられる。これらのことから、サンフランシスコ鉱山の北方及び南方を含めた周辺部は、サンフランシスコ鉱山のほかにも鉱脈型の金鉱床賦存の可能性が高いと考えられる。

画像上において鉱化変質帯を識別することはできなかったが、これは厚い植生被覆のためか或いは鉱化変質の範囲が狭いことによるものと考えられる。また、3か所において色調異常が認められたが、これらは現地調査によって地質現象と関係するものかどうかを調べる必要がある。

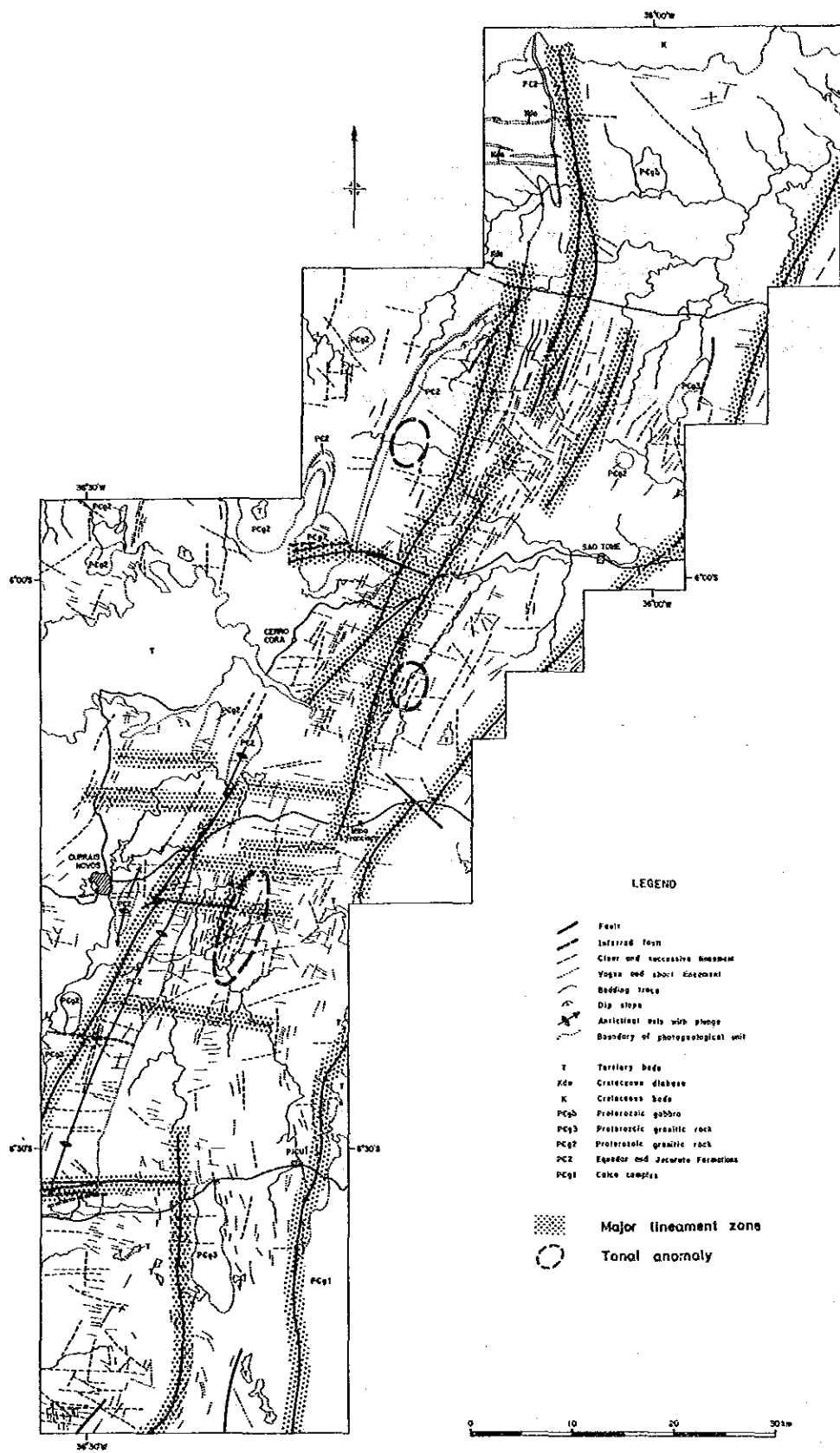


Fig. II-2-8 Compilation of LANDSAT image interpretation in the project area

第3章 地質調査

3-1 調査目的及び方法

3-1-1 調査目的

本調査の目的は、クライスノボス地域の調査範囲における本年度現地調査域(1,000km²)の地質状況を解明することにより、金鉱床の賦存状況を把握することである。

調査においては上記の目的を達成できるように、下記に観点を置いた。

- ① 調査地域内の岩石分布の把握、及び層序の確認。
- ② 調査地域における地質構造の特徴の把握。
- ③ 岩石と既存鉱床との関係の解明。
- ④ 新たな含金石英脈の把握及びその追跡。
- ⑤ 広域的観点からの鉱床と地質構造との関係の把握。
- ⑥ 既存鉱床の鉱石の鉱物学的・化学的特性の把握。

3-1-2 調査方法

フィールド調査では、クライスノボスにベースキャンプを設置し、調査の便宜上南から北にむけて順次岩相図を作成していった。

地質調査における踏査ルートは調査地域全域をカバー出来るように、ルート密度0.8km/km²以上とした。後述するが、この地質調査と同時に地化学探査用の河川堆積物も採集した。

現地調査を開始する前に、1/60,000の空中写真(1971年撮影)から1/50,000の地形図を日本で作成した。現地調査にあたっては、この1/50,000の地形図をさらに1/25,000に拡大して使用した。

3-2 調査結果

3-2-1 地 質

(1) 層 序

本地域には主として始生代のカイコ岩体、原生代のセリド層が分布する。セリド層群は下位よりジュクトゥ層、エクアドル層、セリド層に区分される。

1960年代後半及び1970年代の前半には、エクアドル層はセリド層群の基底部に位置すると考えられていたが、Jardin de Sa and Salim (1978), Jardin de Sa (1982) はフィールドにおける詳しい検討の結果、上述の順序のようにエクアドル層をセリド層群の中部に位置づけた。それ以

後、新たな根拠に基づく層序の考え方が出ていないので、本調査においては、この層序を適用する (Fig. II-3-2)。

調査地域の最上位には、新生代第三紀のセハドマルティンス (Serra do Martins) 層が極く狭い範囲に分布する。

(i) カイコ岩体 (Caico Complex)

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1 参照)

調査地域の北部及び調査地域の南東部に広く分布する。北部に分布する本岩体は、NNE-SSW 方向に帯状に伸びる4つの岩体に別れ、東西に並ぶ。これらの岩体を東から①、②、③、④とすれば、①の岩体は、サントメの西方5kmのマルティニャ (Martinha) から南南西方に伸びる。規模は他の岩体に比較し小規模で、幅は最も狭く2km、延長は約8kmである。②の岩体は、南のCacimbd Velka から北へセハマタフォミ (Serra Mata Fome) を通り、オイチシカ (Oiticica) の東に伸びる。③の岩体は、南のイリョタ (Ilhota) から北へ、セハドサンパウロ (Serra do Sao Paulo)、セハドエスピニェイロ (Serra do Espinheiro) を経て、さらにノボムンド (Novo Mundo) を通り、セハドオイチシカ (Serra do Oiticica) に伸びる。④の岩体は、南のセハドサオジョアオ (Serra do Sao Joao) から北のバハドスドイスリオス (Barra dos Dois Rios) に伸びる。②、③、④の岩体の幅は2~4kmであり、延長は30kmを越える。

調査地域の南東部に分布する岩体は、その分布の西縁がNE-SWに伸びる直線であり、その東側は調査地域の外側に向けて広く分布する。

調査地域の北部に分布するカイコ岩体は、急峻な山脈及びその尾根を形成し、地形に良くあらわれている。一方、調査地域の南東部では、起伏の少ない平坦な地形を形成する。

(b) 岩相

Jardim de Sa (1987) は、この岩体の層序、年代が十分に分かっていないとしながらも、TTG (Tonalite-Trogniemite-Granite) と略称される深成岩起源でミグマタイトを伴う片麻岩、及び、角閃岩-片岩-珪岩-超塩基性岩-大理石などで構成される変堆積岩 (表成岩と呼称される) の2つに大別されるとしている。

調査地域南東部の本岩体は花崗岩 (pGgrl) を主としTTGにはいる。その分布域の中のほぼ3km × 5km の範囲に黒雲母を含む準片麻岩 (pEgn) が分布する。これ表成岩にはいる。

調査地域北部に分布する本岩体の中、東端の①の岩体は黒雲母を含む準片麻岩 (pEgn) を主とする。②、③の岩体の岩相も黒雲母を含む準片麻岩を主とするが、正片麻岩、角閃岩、眼球状花崗岩、縞状片麻岩などを伴い、注入片麻岩の岩相を示す所も多い。黒雲母片麻岩及び角閃岩中に

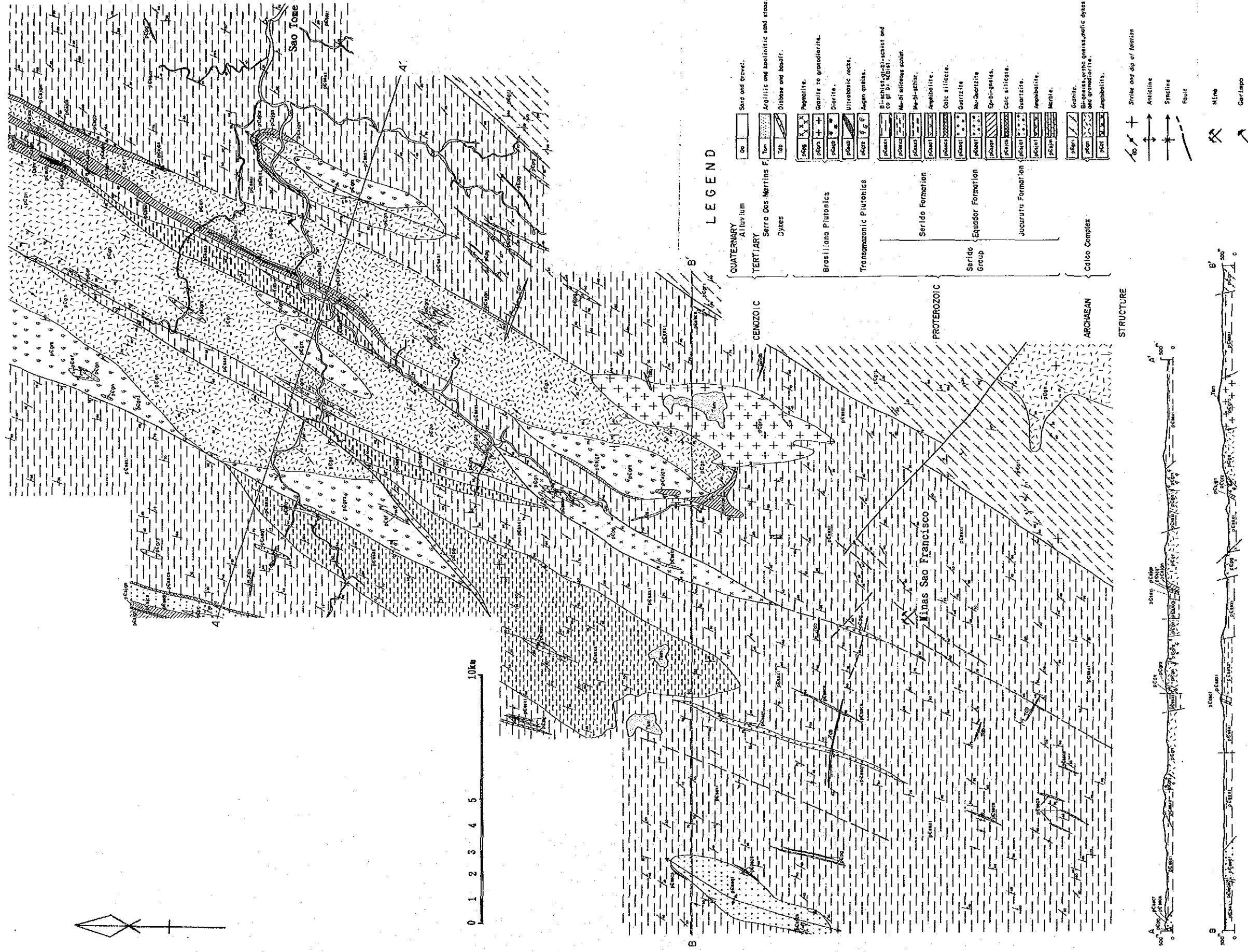


Fig. II-3-1 Geologic map of the survey area

Era	Period	Formation	Column	Tectonics	Igneous Activity	Mineralizations	
Ceno- zoic	Quaternary						
	Tertiary	Serra do Martins Fm	ss				
Meso- zoic					mafic dike		
Paleo- zoic				Brasiliano cycle F5 N-S compression F4 high angle shear F3	G3 Gr, Gd & other 760-500 Ma	? Gold Pegmatite	
				Trans-amazonico cycle F2 low angle shear F1	G2 augen-Gn 2.0-1.9 Ga	Scheelite	
Pro- tero- zoic	Pre- cambrian	Serido Group	mi-Sch				
			Serido Fm	ss			
			Equador Fm	Qtz, Ls			
		Jucurutu Fm	para Gn, BI				
Ar- cheo- zoic		Caico Complex	SC		TTG		
			ortho-Gn Gn, Gd, Mig	Jequié cycle 2.9-2.6 Ga	ortho-Gn 2.7-2.3 Ga		

mi: mica Sch: schist
SS: sandstone BI: basic intrusion
LS: limestone Gn: gneiss
Qtz: quartzite SC: supracrustals

Fig. II-3-2 Generalized columnar section of the survey area

は磁鉄鉱を含む所がある。②、③の岩体は準片麻岩を主とすることから表成岩起源の片麻岩に区分される。本岩体中には後述するG₂の花崗岩(pGgr2)、ペグマタイト(pGpg)が様々の規模で貫入する。④の岩体も同様に黒雲母準片麻岩、正片麻岩、角閃岩、眼球状花崗岩、縞状片麻岩などから成るが、角閃岩の量が①、②、③岩体に比較し非常に多い。

これら①、②、③、④の岩体のいずれにおいても、その南部においては黒雲母準片麻岩が卓越するが、北部では正片麻岩及び角閃岩が卓越する。特に北西部では角閃岩の量が多い。また、ほとんど極粗粒の黒雲母のみから成る黒雲母岩が数箇所で見られる。これらの黒雲母岩の厚さは数10cmで、最大50cm程度である。この黒雲母岩の生成は交代作用が原因ではないかとされている。

カイク岩体を全体的に見ると、1cm以下から数mの幅の様々のペグマタイト質岩体の貫入が顕著である。このペグマタイト質岩体は南部のセリド層中に見られるペグマタイトに比較し、より細粒であり、より小規模のものが多い。

カイク岩体の分布域から肉眼的に異なる岩石13試料を採取し、それらにつき化学分析、薄片の検鏡を行った(Table II-3-1, Table II-3-2)。試料はA023, A031, B010, B011, C029, C039, C041, D068, E048, E052, E064, E065, E068, D047である。A023, E064, E068及びD047は正片麻岩、B010, B011, C039, D068, E052及びE065は準片麻岩、C029は眼球片麻岩、A031, C041及びE048は角閃岩である。正片麻岩及び眼球片麻岩は花崗岩源であると考えられる。準片麻岩は非常に珪質で、火成岩源であれば流紋岩の成分に相当する。角閃岩の試料A031にはMgO及びCaOが多く、試料C041及びE048にはAl₂O₃及びCaOが多いのが特徴である。C041及びE048はガプロ源かも知れない。

化学分析値から作成したACF図(Fig. II-3-3)では、準片麻岩は一部「泥質岩・グレイワック」の範囲に、一部は「塩基性火成岩」の範囲に入り、源岩がそれらであったことを窺わせる。また、試料D047の花崗岩はIタイプ、磁鉄鉱系の範疇にはいる(Takahashi et al, 1980)。

化学分析を実施した試料と同じ試料について薄片の検鏡を行なった。結果はTable II-3-2のとおりである。それらをまとめると、以下のようになる。

正片麻岩(A023, E064, E068, D047)

肉眼的にはいずれの岩石も肌色味を帯びた灰色で、細粒、片麻状を呈する。

岩石名：白雲母・黒雲母花崗岩、黒雲母片麻岩

組織：片麻状組織

構成鉱物：主成分；石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、±白雲母

副成分；磷灰石、ジルコン、±チタン石、±緑泥石

不透明鉱物；磁鉄鉱

二次鉱物；±細粒白雲母

Table II-3-1 (continued)

Sample	E010	E011	C029	C039	C041	D068	E048	E052	E064	E065	E068	E066	D047	D022	A062
Coordinate of location	815.70 9338.15	815.70 9338.15	806.95 9330.40	806.20 9339.20	809.75 9342.90	809.80 9346.55	813.95 9347.25	810.70 9345.80	816.05 9341.80	812.90 9342.65	811.85 9344.80	815.70 9341.95	808.85 9306.50	807.55 9318.85	819.70 9346.25
Lithology	mu-bi Gn Caico C.	mu-bi Gn Caico C.	bi Gn Caico C.	bi Gn Caico C.	Amph Caico C.	hb-bi Gn Caico C.	am Sch Caico C.	hb-bi Gn Caico C.	mu-bi Gn Caico C.	bi Gn Caico C.	bi Gn Caico C.	bi Gn Jucurutuf.	bi Gn Caico C.	bi Gr (G ₂)	sa-hb Sch Intrusion
SiO ₂ %	71.00	78.10	69.20	70.00	51.00	70.50	52.90	65.40	70.10	70.30	70.30	77.40	71.80	70.40	60.00
TiO ₂ %	1.00	0.85	0.50	0.46	1.40	0.43	0.85	0.58	0.17	0.95	0.40	0.51	0.31	0.22	0.60
Al ₂ O ₃ %	12.20	9.60	14.00	13.00	15.40	12.50	12.80	14.20	15.40	10.80	13.60	9.00	14.00	14.90	10.30
Fe ₂ O ₃ %	1.10	1.30	0.93	1.20	3.80	1.00	2.30	1.60	1.00	1.90	1.20	1.10	0.76	0.97	0.82
FeO %	2.30	1.50	2.40	3.10	7.20	3.20	8.60	2.60	1.50	4.10	1.70	1.70	1.30	1.20	3.40
MnO %	0.03	0.02	0.07	0.08	0.19	0.08	0.23	0.07	0.02	0.06	0.03	0.09	0.05	0.10	0.19
MgO %	3.90	2.30	1.90	1.90	5.30	1.70	7.50	3.80	0.83	3.90	2.70	1.40	0.78	0.73	5.90
CaO %	0.73	0.30	2.50	1.50	10.10	1.80	12.00	4.50	1.10	1.00	3.00	2.30	2.40	2.80	13.60
Na ₂ O %	1.70	0.39	3.80	5.20	3.30	4.50	1.30	4.60	5.80	2.50	5.00	2.60	4.40	5.30	1.40
K ₂ O %	4.40	3.90	3.90	2.90	1.20	3.60	0.54	1.80	4.60	3.30	1.30	2.60	3.60	2.60	1.80
P ₂ O ₅ %	0.34	0.29	0.21	0.12	0.29	0.14	0.27	0.17	0.10	0.38	0.14	0.11	0.16	0.33	1.30
LOI %	1.26	1.40	0.53	0.51	0.79	0.45	0.68	0.58	0.34	0.73	0.59	1.12	0.40	0.39	0.67
total %	99.96	99.95	99.94	99.97	99.97	99.90	99.97	99.90	100.06	99.82	99.96	99.93	99.96	99.94	99.98
Au ppb	2	2	2	4	1	3	1	L 1	L 1	1	1	1	L 1	L 1	L 1
Ag ppm	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2
Fe %	2.6	2.1	2.5	3.2	8.3	3.2	8.3	3.1	1.2	4.5	2.2	2.1	1.5	1.6	3.2
Mn ppm	216	151	530	648	1483	648	1758	519	130	464	259	702	356	800	1450
Mo ppm	1	L 1	1	2	5	1	4	L 1	L 1	1	L 1	L 1	L 1	L 1	2
W ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Sn ppm	14	8	2	L 2	L 2	L 2	L 2	L 2	L 2	19	L 2	L 2	L 2	L 2	L 2
Nb ppm	100	60	15	10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	81	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Ta ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Be ppm	3	2	0.6	1	L 0.5	1	L 0.5	0.6	0.5	1	0.5	0.7	L 0.5	L 0.5	0.5
Li ppm	44	35	29	28	16	21	6	21	11	27	12	22	14	16	4
As ppm	1	L 1	L 1	1	3	L 1	1	1	L 1	1	1	1	L 1	2	1
Sb ppm	1	2	L 1	1	1	1	1	2	L 1	1	1	1	L 1	1	1

L: lower than

analysed by GEOSOL Ltda.

Table II-3-1 Analytical data of rock samples

Sample	C019	C028	C032	C060	E013	E018	E020	E022A	E022B	E040	E041	E042	E067	A023	A031
Coordinate of location	E 796.70 N 9317.55	800.45 9326.80	805.05 9331.00	800.20 9313.65	801.90 9312.15	798.50 9319.60	797.45 9322.10	803.35 9321.00	803.35 9321.00	796.25 9329.45	795.70 9329.70	795.70 9329.70	817.85 9346.90	805.00 9328.15	811.10 9332.65
Lithology	hb-sp-gt-sa Rock Serido F.	bi Sch Serido F.	bi Sch Serido F.	bi Sch Serido F.	gt-ct-bi Sch Serido F.	gt-ct-bi Sch Serido F.	am Sch Serido F.	gt-ct-bi Sch Serido F.	gt-ct-bi Sch Serido F.	gt-bi Sch Serido F.	hb Sch Serido F.	gt-bi Sch Serido F.	hb-bi Sch Serido F.	mt-bi Gr Caico C.	Amph Caico C.
SiO2 %	58.60	72.50	56.60	63.80	67.70	68.60	65.70	51.80	58.10	65.80	67.00	65.00	63.60	71.80	56.30
TiO2 %	0.81	0.68	1.10	0.95	0.90	0.72	0.78	1.30	1.20	0.96	0.95	0.92	0.55	0.51	0.33
Al2O3 %	17.00	11.40	17.50	15.30	15.50	13.60	14.80	22.40	20.20	14.20	13.60	13.60	15.00	13.30	3.30
Fe2O3 %	1.00	1.60	2.20	L 0.10	0.43	L 0.10	1.10	0.95	1.10	1.00	0.78	0.48	3.40	1.70	2.80
FeO %	4.20	2.50	4.70	6.50	5.10	4.80	3.40	8.50	6.50	5.10	5.10	5.60	2.40	2.20	6.60
MnO %	0.65	0.12	0.17	0.39	0.19	0.18	0.25	0.21	0.22	0.13	0.17	0.15	0.15	0.10	0.27
MgO %	3.40	3.00	4.50	3.70	4.30	2.50	2.20	6.90	4.30	4.00	2.60	4.80	4.90	0.74	15.90
CaO %	12.50	2.00	2.80	2.30	1.10	2.40	9.50	1.40	1.60	2.20	5.90	2.80	2.70	1.50	12.50
Na2O %	0.56	3.30	3.60	3.10	1.80	4.00	0.95	2.20	3.10	2.90	0.90	3.10	2.50	4.40	0.79
K2O %	0.30	2.00	4.30	2.90	1.20	2.20	0.20	2.30	2.00	2.40	1.60	2.60	3.30	3.10	0.11
P2O5 %	0.28	0.18	0.24	0.19	0.28	0.22	0.39	0.30	0.19	0.22	0.28	0.22	0.12	0.14	0.08
LOI %	0.62	0.70	2.25	0.85	1.46	0.69	0.71	1.69	1.39	0.99	1.08	0.71	1.34	0.48	0.96
total %	99.92	99.98	99.96	100.08	99.96	100.01	99.98	99.95	99.90	99.90	99.96	99.98	99.96	99.97	99.94
Au ppb	2	1	3	635	3	9	1	4	3	5	2	L 1	2	2	L 1
Ag ppm	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	0.2	L 0.2	0.2	L 0.2	0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2	L 0.2
Fe %	4.0	3.1	5.2	5.1	4.3	3.7	3.4	7.3	5.8	4.7	4.5	4.7	4.2	2.9	7.1
Mn ppm	5033	908	1363	3020	1505	1406	1978	1670	1714	994	1319	1135	1135	789	2110
Mo ppm	3	2	3	3	1	3	2	4	3	3	3	3	2	L 1	4
V ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Sr ppm	3	L 2	3	L 2	L 2	L 2	L 2	2	2	2	L 2	2	L 2	L 2	L 2
Nb ppm	12	13	15	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	10	L 10	L 10	L 10	L 10
Ta ppm	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10	L 10
Be ppm	3	1	1	L 0.5	9	0.5	0.8	4	10	4	L 0.5	0.5	1	0.5	0.5
Li ppm	9	52	69	24	169	38	9	240	127	66	20	41	47	28	4
As ppm	60	L 1	1	1	1	2	1	3	1	L 1	4	1	1	1	L 1
Sb ppm	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	L 1

L: lower than

Table II-3-2 Mineral assemblages determined by thin section observation

Sample	Rock name determined by thin section testing	Structure	Rock forming minerals													opaque minerals	second minerals				
			quartz	K-feldspar	plagioclase	biotite	muscovite	hornblende	salite	pyralospite	cordierite	sphene	apatite	zircon	chlorite				epidote	calcite	
C019	hb-ep-gt-sa R	Sch	○		○			○	○							○	○	•	○	* f. g. mu po cp dissem	
C028	bi Sch	Sch	◎		○	◎												•			
C032	bi Sch	Sch	○		○	◎	•						○	○				○	○	* f. g. mu	
C060	bi Sch	Sch	○		○	◎	○											○	○	* py • ch	
E013	gt-ct-bi Sch	Sch	◎		○	○	•			○	○		•	•	•			•		pyrite layer	
E018	gt-mu-bi Sch	Sch	◎		○	◎	•			○			•	•				•			
E020	am Sch	Sch	○		○			◎					•					○			
E22A	gt-ct-bi Sch	Sch	◎		○	○	•			○	○		•	•	•			•		py cp dissem	
E22B	gt-ct-bi Sch	Sch	◎		○	○	•			○	○		•	•				•			
E040	gt-bi Sch	Sch	◎		○	○	•			○			•	•				•			
E041	hb Sch	Sch	○		○			◎										○	○	* actinolite * f. g. mu, ch	
E042	gt-bi Sch	Sch	◎		○	○				○			•	•				•			
E067	mu-bi Sch	Sch	○		•	○	○						•	•				○	○	* f. g. mu	
A023	mu-bi Gr	Gn	○	○	○	○	•											○	○	* mag	
A031	Amphibolite				○			◎										•			
B010	mu-bi Gn	Gn	◎		○	○	○						•	•	•						
B011	mu-bi Gn	Gn	◎	○	○	○	○						•	•	•						
C029	bi Gn	au Gn	○	○	○	◎	•						○	•	•	•		•	•	* mag * f. g. mu	
C039	bi Gn	Gn	○		○	○							•	•	•	•					
C041	Amphibolite		○		○	○		◎					•	•				○	○	* f. g. mu	
D068	hb-bg bi Gn	Gn	○		○	○		○					•	•							
E048	am Sch	Sch	○		○			◎					•	•							
E052	hb-bi Gn	Gn	○		○	○		○					○	•	•	•	•	•	•	•	* mu
E064	mu-bi Gr	Gn	○	○	○	○	○														
E065	bi Gn	Gn	◎		○	○	•						•	•	•						
E068	bi Gn	Gn	○	○	○	○							•	•	•	•		•	•	* mag	
E066	bi Gn	Gn	◎	•	○	○	•						•	•	•	•		•			
D047	bi Gr	Gn	○	○	○	○							○	•	•			•	•	* mag * f. g. mu	
D022	bi Gr	Gn	○	○	○	○							○	•	•	•		•	•	* mag * ep	
A062	sa-bg hb Sch	Gn?	○	•	○			◎	○				○	•							

◎ > ○ > ○ > ○ > •

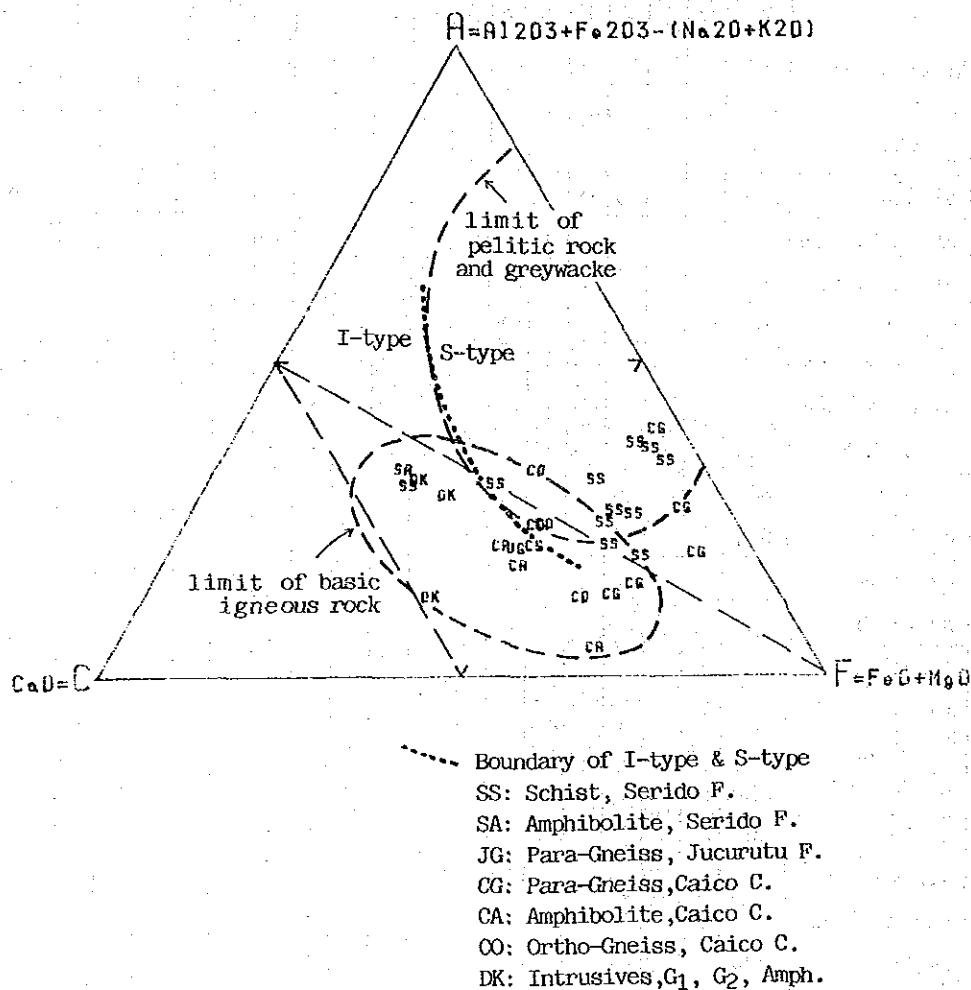


Fig. II-3-3 ACF diagram drawn from the analytical data of rock samples

準片麻岩(B010, B011, C039, D068, E052, E065)

肉眼的には灰色が主であるが、D068, E065は褐色味を帯びる。細粒～粗粒で、片麻状を呈する。

岩石名：白雲母・黒雲母片麻岩, 黒雲母片麻岩, 含角閃石黒雲母片麻岩, 角閃石黒雲母片麻岩,

組織：片麻状組織

構成鉱物：主成分；石英, 斜長石, 黒雲母, 土カリ長石, 土白雲母, 土角閃石

副成分；チタン石, 燐灰石, 土ジルコン, 土緑泥石, 土緑簾石

不透明鉱物；存在するが、鉱物名は不明

二次鉱物；細粒白雲母

眼球片麻岩(C029)

肉眼的には 1cm×3cm程度の肌色の眼球を含み、他は灰褐色の細粒片麻状を呈する。

岩石名：黒雲母片麻岩

組織：(眼球)片麻状

構成鉱物：主成分；石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母, 白雲母

副成分；チタン石, 燐灰石, ジルコン, 緑泥石

不透明鉱物；磁鉄鉱

二次鉱物；細粒白雲母

角閃岩(A031, C041, E048)

肉眼的にはA031は濃緑色で、細粒～中粒、3mm程度の長さの針状の角閃石が顕著である。C041は淡緑灰色で中粒、片状を呈する。E048は濃緑色で、中粒、1～2mm程度の針状の角閃石が顕著である。

岩石名：角閃岩(E048), 角閃石片岩(A031, C041)

組織：角閃石片岩は片状

構成鉱物：主成分；斜長石, 角閃石(A031は左の2鉱物のみ), 石英, 土黒雲母

副成分；チタン石, 燐灰石, 緑泥石, 緑簾石

不透明鉱物；存在するが、鉱物名は不明

二次鉱物；土細粒白雲母

(c) 時代

Santos et al (1984)によれば、この岩石の放射年代は 2720 ± 135 Ma(Rb-Sr isochron)である。トランスアマゾン造山運動及びブラジル造山運動の影響を受けたとされている。

(d) 層序関係

本調査地域における最下位層である。

(e) 堆積環境

準片麻岩と塩基性貫入岩を主とする岩石は表成岩 (Supracrustal rock) の範疇に入り、花崗岩系統の正片麻岩と少量の塩基性岩を主とする岩石は内成岩 (Endogenic rock) の範疇に入る。

(ii) ジュクルトゥ層 (Jucurutu Formation)

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

カイク岩体、特に①、②、③の岩体の周縁部に狭長に分布する。①の岩体ではその北縁及び西側に狭く分布する。②の岩体の西部ではNNE-SSW方向に幅500m、約18kmに亘り分布し、東北端及び南南西端にも小規模に分布する。③の岩体の東北端には、幅400m、延長350mの規模で分布する。以上の分布のいずれもがカイク岩体が分布する方向と一致する。

(b) 層厚

Torres et al (1973) によれば、リオグランデドノルテ州中央南部では300m以上とされているが、本地域では不明である。

(c) 岩相 (Fig. II-3-4)

典型的な岩石にはミリメートル規模の縞状構造が見られる。一般的には、主として少量の黒雲母、白雲母、緑簾石を伴う石英長石質片麻岩 (pCsjgn) から成る。マルアスンブラド (Mal Assmbrado) の北方では、局部的にミグマタイト (pCsjm) を生じている。特徴的なこととして、ほとんどの層に厚さが2~3mから5~6mの範囲で変化する大理石、石灰珪酸塩岩 (スカルン)、珪岩及び雲母片岩のレンズを挟在する。スカルン中には灰重石が産し、過去にタングステン鉱床として採掘された。

代表的な岩石の化学組成は Table II-3-1の試料 E066 に示すとおりであり、この試料は非常に珪質である。同試料の薄片の検鏡結果は以下のとおりである (Table II-3-2参照)。肉眼的には淡緑灰色で、細粒、片麻状を呈する。

岩石名：黒雲母片岩 (E066)

組織：細粒の片麻状

構成鉱物：主成分；石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、白雲母

副成分；チタン石、燐灰石、ジルコン、緑泥石、方解石

二次鉱物；存在するが、鉱物名は不明

(d) 時代

放射年代、化石などの資料は今回の調査では見出だしていない。

(e) 層序関係

不整合を境にカイコ岩体の上位に位置するとされているが、本地域では、岩石の組織によるフェイスング(Facing)を決定することができず、両者の関係は不明である。しかしながら、両者の境界部付近にマイロナイトが認められる所では、両者は断層関係にあるとした。

本岩相中の石灰珪酸塩岩に酷似する石灰珪酸塩岩が調査域北西部のエクアドル層の東部に存在する。これは層序的にエクアドル層の上位に位置すると判断し、セリド層中のものとした。

(f) 堆積環境

石灰質岩を含むことなどの岩相から、浅海堆積物とされている。

(iii) エクアドル層(Ecuador Formation)

(a) 分布(P1, II-3-1, Fig. II-3-1参照)

本調査地域内では2か所に分布する。ひとつはセホコラの南南西で、セホコラと国道 BR-226の間にある。それは長軸がNNE-SSW方向の楕円形に分布し、クルショイロ山(Serra Cruxoiro)を形成する。その分布の幅は2km、延長は約7kmである。他は調査地域北西端のポルトダグア(Porto d'Agua)の西方に分布するもので、前者同様にNNE-SSW方向に帯状に延長する。その幅は最大600m、延長が5.5km以上あり、調査地域の外に向け延長する。

(b) 層厚

リオグランデドノルテ州中央南部では800m+(Ebert, 1968)とされているが、本地域では不明。

(c) 岩相

純粋な珪岩(pC seqt)、あるいは白雲母珪岩から成る。白雲母の量は少ない。調査地域北西端のそれはほとんど純粋な珪岩で構成され、波長が数10mから数m規模のgentle~tightな褶曲構造が認められる。調査地域の南西部の分布域では、それはほとんど白雲母珪岩で構成される。

(d) 時代

年代測定値及び化石などの資料は見つからないが、他の地層との層序上の関係から原生代下部とされる。

(e) 堆積環境

先造山期の堆積物であるとされている。

(iv) セリド層(Serido Formation)

(a) 分布(Fig. II-3-1参照)

調査地域内で最も広く分布する。調査地域南半部ではその大半に、北半部では東部および西部の広い地域、そしてその間のカイク岩体・ジュクルトゥ層の分布域の間に分布する。カイク岩体・ジュクルトゥ層の分布域間を埋める本層は、その幅がほぼ1km以下であるが、南に行くに従い広い分布域に合流する。北端は調査地域外までその狭長な分布が延長する。

(b) 層厚

平均層厚は300mのオーダーとされている(Ferran et al., 1973)が、本地域では不明である。

(c) 岩相

主として雲母片岩から成り、少量の珪岩、大理石、角閃岩及び石灰珪酸塩岩(スカルン)を伴う。

雲母片岩は、肉眼的には黒雲母片岩、柘榴石・黒雲母片岩、董青石・柘榴石・黒雲母片岩(以上3種の岩石は pE sss1で表す)、及び白雲母・黒雲母を含む珪質な片岩(pE sss2)、そして白雲母・黒雲母片岩(pE sss3)から成る。董青石及び柘榴石を含む黒雲母片岩は南半部に広く分布する黒雲母片岩中で 1/50,000 のスケールの図面上に表現できない程入り組んだ分布を示すので、pE sss1として一括して表現する。これらの岩石中には局部的に微量の珪線石を含む。また紅柱石も1か所で認められた。pE sss2は調査地域の西部に特徴的に認められ、一般的に硬く緻密、しかも珪質で、若干量の白雲母及び黒雲母を含む。pE sss3は多量の白雲母及び黒雲母を含み、後退変成作用の産物の可能性がある。この岩石は調査地域北半部のカイク層分布域の間に分布するセリド層中に全体の分布傾向と同様に分布する。

以上から、セリド層は巨視的には pE sss1のより泥質な部分、及び pE sss2のより珪質な部分に細分される。

なお、基底部近くでは石灰珪酸塩岩を含む準片麻岩がある。これは調査地域北西端のポルタダグア(Porta d'Agua)の西に分布する。また、セリド層中の層位上の位置は不明であるが、層厚数10cmの複数の石灰珪酸塩岩と黒雲母片岩が互層を形成し、全体として10m程度の層厚になる部分が見られる。これらは調査地域の南西端に特に多い。

調査地域南西部ではこのセリド層の中に珪岩層が分布する。分布の幅は約200m, 長さは約10kmであり, N20° E 方向に延長する。

セリド層全体として片理構造の発達が著しく, 岩石の組織は強い鱗片状を呈する。また多くの場所に褶曲の著しい脈状石英, あるいはブーディン化した石英が認められる。

セリド層分布地域全体から肉眼的に異なる岩石13試料を採取し, 化学分析及び薄片の検鏡を実施した。試料は pC sss1からC019, C060, E013, E018, E22A, E22B, E040, E041及びE042, pC sss2からC028及びE020, pC sss3からC032及びE067である。また試料は雲母片岩が10個, 石灰珪酸塩岩が1個, 角閃岩が2個である。

A C F 図における雲母片岩の位置はA端よりもF端に近い方に集中している (Fig. II-3-3)。したがって, これらは典型的な泥質岩とは言えない。分析値 (Fig. II-3-1) を見ると, 雲母片岩のSiO₂の量には相当のばらつきがあり, Al₂O₃の量はSiO₂の量とほぼ反比例している。Al₂O₃の多い岩石はより泥質であり, SiO₂の多い岩石はより砂質であったと判断できる。

化学分析と同時に薄片の検鏡を実施した (Table II-3-2)。その結果は以下のようにまとめられる。

雲母片岩 (pC sss1: C060, E013, E018, E22A, E22B, E040, E042)

肉眼的には, E013が褐色及び青味を帯びた灰色, E042が暗灰色で, 他は全て褐色味を帯びた灰色である。粒度は細粒で片状を呈する。C060を除き全て柘榴石の斑状変晶を伴う。C060には幅 1 mm以下の黄鉄鉱細脈を伴う。

岩石名: 柘榴石・堇青石・黒雲母片岩, 柘榴石・白雲母・黒雲母片岩, 柘榴石・黒雲母片岩

組織: 片状

構成鉱物: 主成分; 石英, 斜長石, 黒雲母, パイラルスパイト, 土白雲母, 土黒雲母

副成分; 燐灰石, 土ジルコン, 土緑泥石

不透明鉱物; 若干量, 鉱物名は不明

なお, E018には白雲母が片状構造の方向と交差する方向に生じている。これは主変成作用の後の生成物であると考えられる。

C060には脈状の黄鉄鉱があり, 変成作用後に生成したと考えられる。

雲母片岩 (pC sss2: C028)

肉眼的には暗灰色で, 片状を呈する。

岩石名: 黒雲母片岩

組織: 片状

構成鉱物: 主成分; 石英, 斜長石, 黒雲母

副成分; 燐灰石 (微量)

不透明鉱物; 微量, 鉱物名は不明

雲母片岩(pG ssx3: C032, E067)

いずれも帯緑灰色，細粒で、片状を呈する。E067は雲母が白く輝くのが特徴的である。

岩石名：白雲母・黒雲母片岩

組織：片状

構成鉱物：主成分；石英，斜長石，白雲母，黒雲母

副成分；燐灰石，緑泥石，緑簾石

不透明鉱物；若干量，鉱物名は不明

二次鉱物；細粒白雲母

C032の緑泥石，緑簾石はその産状から後退変成作用時の産物と考えられる。

石灰珪酸塩岩(pG ssx1: C019)

帯緑灰色，粗粒，硬く緻密で，弱い片状を呈する。柘榴石の斑状片晶を伴う。

岩石名：角閃石・緑簾石・柘榴石・サーラ輝石岩

組織：片状

構成鉱物：主成分；石英，斜長石，角閃石，サーラ輝石，パイラルスパイト

副成分；緑泥石，方解石

不透明鉱物；微量，鉱物名は不明。全体的に磁硫鉄鉱，黄銅鉱が鉱染している。

二次鉱物；細粒白雲母

角閃岩(E020, E041)

E020は緑灰色，粗粒。E041は緑灰色，細粒で，硬く，白色の石英脈を伴う。

岩石名：角閃石片岩

組織：片状

構成鉱物：主成分；石英，斜長石，角閃石（E041ではアクチノ閃石か？）

副成分；燐灰石，緑泥石(E041)，緑簾石(E020)，方解石(E041)

不透明鉱物；微量，鉱物名は不明

二次鉱物；細粒の白雲母及び緑泥石(E041)

(d) 時代

先カンブリア紀前。トランスアマゾン造山運動の影響を受けていることから、21億年以前の堆積物である。

(e) 層序関係

エクアドル層の上位であるが、エクアドル層が分布しない所ではジュクルト層に直接接する。

(f) 堆積環境

フレッシュ堆積物とみなされており、グレイワッケ～アージライト・タービダイトのサイクルで構成されている。深海堆積物である。

(v) 第三紀セハドマルティンス層(Serra do Martins Formation)

(a) 分布(Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

調査地域の中央部に、ほぼWNW-ESE方向に並んで3か所に小規模に分布する。セホコラの東南東では東西方向に2か所に別れて分布する。それらは西方に広がるサンタナ山脈(Serra da Santana)の延長部であり、分布の直径は1km程度である。他はさらに東方のセハベルド(Serra Verde)の頂部に分布するものであり、その規模は東西1km、南北2kmである。

(b) 層厚

本地域では40m程度である。

(c) 岩相

本地域では、灰色粗粒砂岩及び粘土質の細粒～中粒の砂岩から成る。

(d) 時代

化石はないが、本地域周囲の地層との対比から、新生代第三紀とされている。

(e) 層序関係

ボルボレマ地区全体をみた場合に北部の海岸近くに分布する白亜紀は本地域では欠如し、直接先カンブリア系の上位に不整合に載る。

(f) 堆積環境

Bigarella(1975)(in Santos et al, 1984)によれば、ベディプレーン上に堆積した陸上堆積物であるとされている。

(2) 貫入岩類

本地域の貫入岩類は、トランスアマゾニアン造山輪廻の貫入岩(G_2)、ブラジル造山輪廻期の貫入岩(G_3)、及びその後の貫入岩、そして第三紀の貫入岩に分けられる。 G_2 、 G_3 の命名はJardim de Sa (1981)による。

(i) G₂ 岩体

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

大部分がカイク岩体の貫入岩として産する。一か所例外があり、カイク岩体とジュクルトゥ層の境界部に貫入している。カイク岩体中の貫入岩はその全てがカイク岩体の伸びの方向と同方向に伸びている。その規模は様々であり、最大のものは最も西のカイク岩体中に貫入したもので、最大幅が約2km、最大延長が約10kmである。次に規模の大きいのはカイク岩体とジュクルトゥ層の境界に貫入したもので、幅が約2km、延長が約8kmである。その他はいずれも小規模のもので、幅が1.5km以下、延長が4km以下である。

(b) 岩相

花崗岩ないし花崗閃緑岩の組成を持つ眼球片麻岩、及び細粒の正片麻岩である。本調査地域ではカイク岩体中の貫入岩として産するが、カイク岩体中の正片麻岩と酷似した岩相を持つことから、本G₂岩体とカイク岩体の正片麻岩とを識別することは困難であり、この貫入岩を十分に区分できたとは言い難い。G₂岩体中にはカイク岩体の準片麻岩のゼノリスが含まれるが、カイク岩体の正片麻岩中にはそれが認められないことにより、両者を識別している。カイク岩体中の正片麻岩と記載したE068、E064などは、記述のG₂の可能性もある。

試料 E068 は I タイプ・磁鉄鉱系、E064 は S タイプ・イルメナイト系である。同試料の化学分析結果、及び薄片の検鏡結果は記述した。

(c) 時代

ジュクルトゥ層及びセリド層に貫入していることからこれらの地層の堆積後である。ジュクルトゥ層とカイク岩体の境界付近及びカイク岩体中に貫入していることなどの構造上からG₂とされる。

Rb-Sr 法で 2090 Maの放射年代が得られている(Macedo et al, 1984; in Jardim de Sa, 1987)。これはトランスアマゾン造山輪廻期と一致している。

(ii) G₃ 岩体

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

2か所に分布する。ひとつは、サンフランシスコ鉱山の約7km北東にあり、NNE-SSW 方向に伸びる。ベルド山 (Serra Verde) を中心とする、最大幅が約3km、延長が約10kmである。もうひとつ

つは、調査域北西部の Port da Agua の北北東方約 1 km に NNE-SSW に延びて小範囲に分布する。幅が約 200 m , 延長が約 1 km である。

(b) 岩相

中粒灰色の花崗閃緑岩である。試料 D022 について化学分析, 及び薄片の検鏡を行なった。この岩石は I タイプ・磁鉄鉱系である。検鏡の結果は以下のとおりである。

本岩石(D022)は肉眼的には淡い肌色味を帯びた灰色, 細粒で、片状を呈する。

岩石名: 黒雲母花崗岩

組織: 片麻状

構成鉱物: 主成分; 石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母

副成分; チタン石, 磷灰石, ジルコン, 緑泥石

不透明鉱物; 磁鉄鉱

二次鉱物; 緑簾石

(c) 時代

Rb-Sr 法で 765Ma, また 550Ma, 660Ma (Jardim de Sa, et al, 1987) の放射年代が得られている。いずれもブラジル造山輪廻期の貫入である。

カイコ岩体とセリド層の境界付近に貫入しており, ジュクルトゥ層も切っている。従って, いずれの岩体, 地層よりも後の時代のものである。G₂ との直接関係は認められない。

(iii) その他の貫入岩類

(iii-1) ペグマタイト (pegmatite)

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1 参照)

調査地域全体に渡り分布する。概して小規模である。最大のもはサンフランシスコ鉱山の北方にあるもので, ホサンカ山脈 (Serra da Hosanca) の東半分を占め, NNE-SSW 方向に伸びる。幅が約 1 km, 延長が約 13 km に達する。次に規模の大きいものは, 調査地域の中央西部のサオジョア山脈 (Serra do Sao Joao) の頂部を占めるもので, NE-SW 方向に伸びる。これは, 幅が約 100 m, 長さが約 7 km である。小規模のペグマタイトは幅が数 m ~ 数 10 m で, 延長は最大 4 km に達する。それらは, 岩相を選ばず貫入し, 方向も NNE-SSW のものが多い。しかしながら, 最西部から 2 番目のカイコ岩体の北半部を含め, その西側ではペグマタイトの数は極端に少なくなる。

(b) 岩相

カイク岩体中のみに入したものと、カイク岩体、ジュクルトゥ層、セリド層のいずれにも貫入したペグマタイトがある。組成鉱物は主としてカリ長石、石英、斜長石、白雲母及び黒雲母であるが、今回の調査ではさらに詳細な岩相の区分はできない。

(c) 時代

カイク岩体からセリド層までの全ての先カンブリア系に入しているので、セリド層堆積以後の貫入岩である。第三紀層には貫入していない。

(iii-2) 角閃石片岩 (p e s g b)

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

サントメの北北西方約 8kmでマルアスンブラド (Mal Assmbrado) 北方に NNE-SSW方向に伸び小規模に分布する。幅が約200m, 延長が約2kmである。セリド層とジュクルトゥ層の境界の断層に沿い貫入している。

(b) 岩相

粗粒で、角閃石などの濃緑色部が石英の白色部の中に散在し、濃緑色部の線状構造が顕著に認められる。試料 A062 の化学分析値、薄片の検鏡結果を下に示す。

岩石名：含サーラ輝石 角閃石片岩

組織：片麻状

構成鉱物：主成分；石英、カリ長石、斜長石、角閃石、サーラ輝石

副成分；チタン石、燐灰石、緑泥石、緑簾石、方解石

(c) 時代

ジュクルトゥ層とセリド層の間に貫入しているので、セリド層以後の貫入岩である。

(iii-3) 超塩基性岩 (p e s u b)

(a) 分布 (Pl. II-3-1, Fig. II-3-1参照)

サントメの北北西方約10kmで、オイチシカ (Oiticica) の南南西方約 1kmの所に NNE-SSW方向に分布する。幅が100m強、延長が約700mである。ジュクルトゥ層中にジュクルトゥ層の延長方向