

先王の御遺訓を以てして
治世の綱領を定むるの事

(徳川家)

徳川家

徳川家
御遺訓

JICA

703
661
MPN

LIBRARY

ブラジル連邦共和国 アンタゴルダ地域
資源開発協力基礎調査報告書

(第三年次)

JICA LIBRARY



1030082[0]

昭和 58 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団	
加入 月日 '84. 8. 22	703
登録No. 13581	66.1
	MPN

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、同国の南部に位置する Anta Gorda 地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調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事業の内容が地質およ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団に委託することとした。

本調査は昭和57年度が第三年次にあたり、金属鉱業事業団は、8名の調査団を編成して昭和57年7月2日から昭和57年10月21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関係機関、特に鉱山動力省鉱山局および鉱物探鉱公社の協力を得て予定通り完了した。

本報告書は第三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ブラジル連邦共和国政府関係機関ならびに外務省、通産省、在ブラジル連邦共和国日本大使館および関係各社の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

昭和58年2月

国際協力事業団

総 裁 有 田 圭 輔

金属鉱業事業団

理事長 西 家 正 起

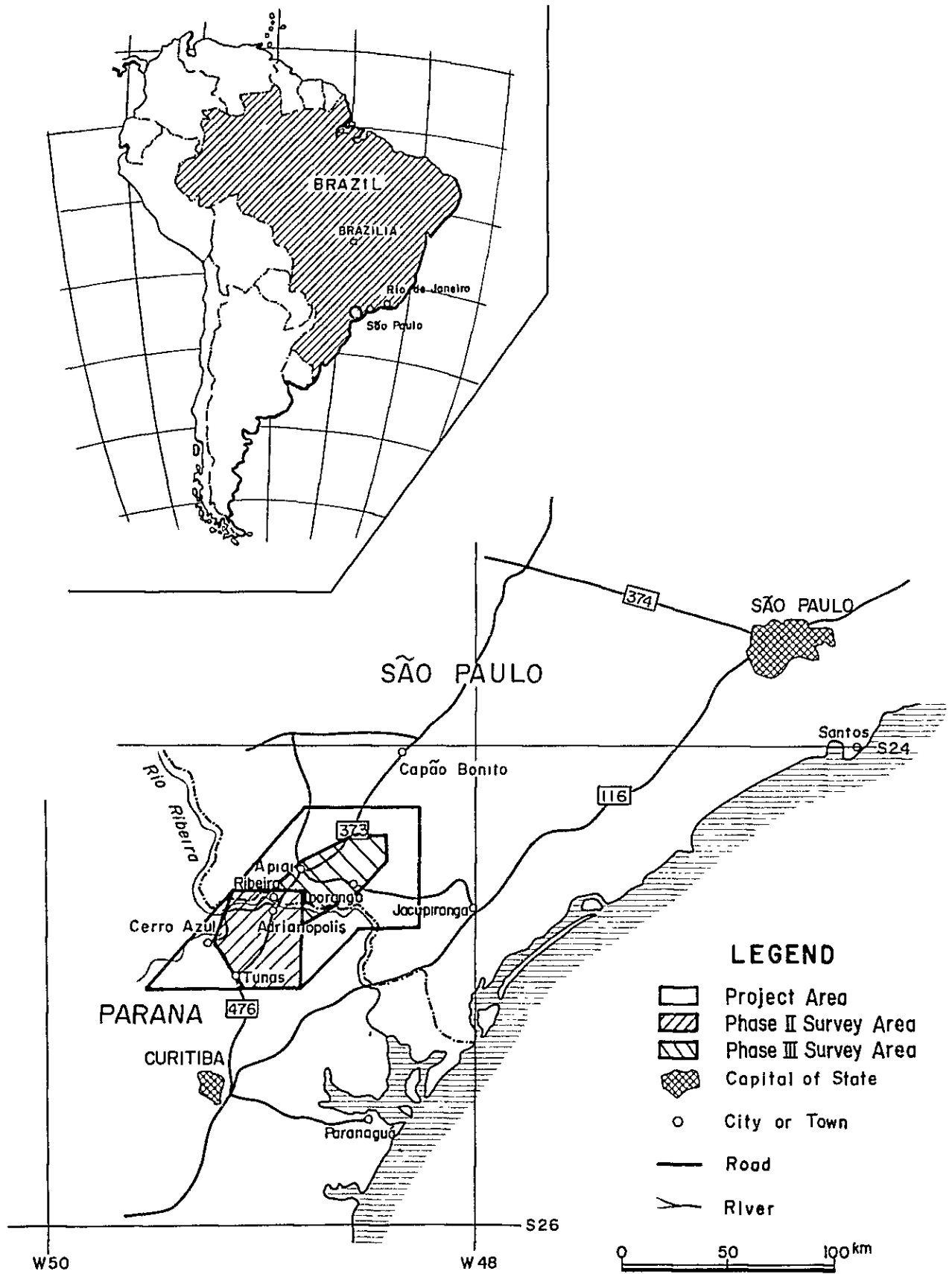


Fig. 1. Location Map of Survey Area

目 次

は し が き
位 置 図
目 次
要 約

総 論

第1章 序 論	1
1-1 調査の経緯および目的	1
1-2 調査の内容	1
1-3 調査団の編成	2
1-4 従来の調査	3
1-5 参考文献	4
第2章 調査地域の概要	6
2-1 位置・交通	6
2-2 地形・水系	6
2-3 気候および植生	7
第3章 総合検討	8
3-1 地質調査	8
3-1-1 準精査地区	8
(1) 地質層序	8
(2) 地質構造	8
(3) 鉛同位体測定結果	8
(4) 石灰岩化学分析結果	9
(5) 鉍 床	9
3-1-2 精査地区	9
(1) Perau 地区	9
(2) Barrinha 地区	10
3-2 物理探査	11
(1) IP法電気探査結果	11
(2) スペクトルIP法電気探査	11

3-3	ポーリング調査	12
第4章	結論および第四年次調査への提言	13
4-1	結 論	13
4-2	第四年次調査への提言	14

各 論

第 I 部 地 質 調 査

第1章 準精査地区	15
1-1 地 質	15
1-1-1 概 説	15
1-1-2 地 質 層 序	15
(1) Açungui I 層	15
(2) Açungui II 層	17
(3) Açungui III 層	20
1-1-3 貫 入 岩 類	28
(1) 変塩基性岩類	28
(2) 花崗岩類	29
(3) 輝緑岩類	31
1-1-4 変 成 作 用	32
1-1-5 地 質 構 造	33
(1) 褶 曲 構 造	34
(2) 断 層 構 造	35
(3) 小 構 造	36
1-1-6 地質構造発達史	37
1-2 鉍 床	39
1-2-1 概 説	39
1-2-2 鉍 床 各 論	39
(1) Espírito Santo 地区	39
(2) Furnas 地区	42
(3) Lageado 地区	45
(4) Itaoca 東部地区	48
1-2-3 鉛同位体測定結果	50
1-2-4 石灰岩化学分析結果	50
(1) 分析の目的	50
(2) 採試方法, 分析成分および分析方法	51
(3) 分析結果について	51
1-2-5 鉍床生成に関する考察	54



1-2-6	今後の探鉱余地	55
第2章	精査地区	56
2-1	Perau地区の地質鉱床	56
2-1-1	Perau 鉱山の概要	56
2-1-2	地質	56
(1)	Setuva 層	56
(2)	Açungui I 層	56
2-1-3	地質構造	58
2-1-4	鉱床	58
(1)	鉱床の概要	58
(2)	鉱石鉱物の組合せ	59
(3)	鉱石分析の結果	60
(4)	物理探査結果と鉱床の関連性	62
2-1-5	今後の探鉱について	62
2-2	Barrinha地区の地質鉱床	63
2-2-1	Barrinha鉱山の概要	63
2-2-2	地質	63
(1)	雲母片岩 (A III S ₁)	63
(2)	石灰岩・炭酸塩岩片岩・変石英砂岩 (A III S ₂)	63
(3)	雲母片岩～千枚岩 (A III S ₂)	64
2-2-3	地質構造	64
(1)	褶曲構造	64
(2)	断層構造	65
2-2-4	鉱床	65
(1)	鉱床の概要	65
(2)	鉱石鉱物の組合せ	65
(3)	物理探査結果と鉱化作用の関連性	65
2-2-5	今後の探鉱について	66

第Ⅱ部 物理探査

第1章 概 説	67
第2章 IP法電気探査	68
2-1 調査方法	68
2-1-1 測定方法	69
2-1-2 測線設定・測量	69
2-2 整理・解析方法	69
2-2-1 解析方法概要	69
2-2-2 IP物性測定	71
2-2-3 IPモデルシミュレーション	72
2-3 解析結果	73
2-3-1 Perau地区	73
2-3-2 Barrinha地区	75
2-3-3 物性測定結果	81
2-3-4 IPモデルシミュレーション結果	83
2-4 ま と め	85
第3章 スペクトルIP法電気探査	87
3-1 調査方法	87
3-1-1 測定方法	87
3-1-2 測定機器および機器設備	88
3-2 データ処理・解析方法	89
3-3 解析結果	93
3-4 ま と め	96

第Ⅲ部 ボーリング調査

第1章 ボーリング調査工事概要	98
1-1 目 的	98
1-2 工事概要	98
1-3 コア鑑定および解析作業	98
第2章 ボーリング調査工事	100
2-1 資・機材搬入路	100
2-2 ボーリング位置	100

2-3	設 営 作 業	100
2-4	掘 進 作 業	101
2-5	孔 曲 り 測 定	102
第3章	ボーリング孔の地質および鉍化作用	104
3-1	AG-01	104
3-2	AG-02	105
3-3	AG-03	106
3-4	ボーリング実施結果の考察	107

LIST OF ILLUSTRATION

- Fig. 1 Location Map of Survey Area
- Fig. 2 Recommended Area for Next Phase
- Fig. 1-1 Geological Map of Survey Area
- Fig. 1-2 Generalized Stratigraphic Columnar Section in Survey Area
- Fig. 1-3 Metamorphic Facies Map in Survey Area
- Fig. 1-4 Fracture Analysis of Furnas-Lageado Area
- Fig. 1-5 Geotectonic History of Survey Area
- Fig. 1-6-1 Geological Map and Vein Map in Lageado-Serra Deposits
- Fig. 1-6-2 Geological Sketch of Trench and Underground in Lageado-Serra Deposits
- Fig. 1-7-1 Geological Sketch of Trench in Espirito Santo Deposits
- Fig. 1-7-2 Geological Sketch of Trench in Monjolinho de Sebastião Deposits
- Fig. 1-8 Location Map of Galena Samples for Pb Isotopic Analysis in Project Area
- Fig. 1-9 Pb Isotopic Age by Ore Lead Growth Curve of Cumming and Richards
(1976)
- Fig. 1-10 Flow Chart of Statistical Analysis
- Fig. 1-11 Histogram for Cu, Pb, Zn, Mn, Ba, F, Na, K, and I.R. of Geochemical
Data of Carbonate Rocks in Survey Area
- Fig. 1-12 Dendrogram by Cluster Analysis of Geochemical Data of Carbonate Rocks
- Fig. 1-13 Cumulative Frequency Distribution of K, Ba, Na, Mn, Sr and F of Each
Horizon of Limestone
- Fig. 1-14 High Potential Zone of Pb-Mineralization in Survey Area
- Fig. 1-15 Geological Map and Geological Profile of Perau Area
- Fig. 1-16 Generalized Stratigraphic Columnar Section in Perau Area
- Fig. 1-17 Pb-Zn-Ag Diagram and BaO-SiO₂-Mgo/Cao Diagram of Perau Area
- Fig. 1-18 Geological Map and Geological Profile of Barrinha Area
- Fig. 1-19 Generalized Stratigraphic Columnar Section in Barrinha Area
- Fig. II-2-1 Flow Chart of IP and Spectral Data Analysis
- Fig. II-2-2 Plotting Method in IP Pseudo-Section
- Fig. II-2-3 Block Diagram of Terrain Correction
- Fig. II-2-4~7 IP Pseudo-Section (Line M~P) in Perau Area
- Fig. II-2-8 Location Map of IP and SIP Survey Lines in Barrinha Area (1 : 10,000)

- Fig. II-2-9~15 IP Pseudo-Section (Line BA~BG) in Barrinha Area
- Fig. II-2-16 Correlation between PFE and Resistivity of Rock Samples
- Fig. II-2-17~20 IP Model Calculation
- Fig. II-3-1 Survey and Communication Line
- Fig. II-3-2 Arrangement of Potential Electrodes and Preamplifiers
- Fig. II-3-3 Arrangement of Current Electrodes and Wires
- Fig. II-3-4 Block Diagram of Spectral IP Survey Instruments
- Fig. II-3-5 Spectral IP Effect
- Fig. II-3-6 Transmitting and Receiving Wave-forms
- Fig. II-3-7 Relation between Frequency Effect and Phase Shift
- Fig. II-3-8 Example for Cole-Cole Diagram
- Fig. II-3-9 Spectral IP Pseudo-Section (Line-BH)
- Fig. II-3-10 Spectral IP Pseudo-Section (Line-BI)
- Fig. II-3-11 Spectral IP Pseudo-Section (Line-BJ)
- Fig. II-3-12 Spectral IP Pseudo-Section (Line-BK)
- Fig. II-3-13~17 Phase Spectral of Rock Samples
- Fig. II-3-18~25 Phase Pseudo-Section
- Fig. II-3-26 Phase Spectrum (Line-BH)
- Fig. II-3-27 Phase Spectrum (Line-BI)
- Fig. II-3-28 Phase Spectrum (Line-BJ)
- Fig. II-3-29 Phase Spectrum (Line-BK)
- Fig. II-3-30 Cole-Cole Diagram (Line-BH)
- Fig. II-3-31 Cole-Cole Diagram (Line-BI)
- Fig. II-3-32 Cole-Cole Diagram (Line-BJ)
- Fig. II-3-33 Cole-Cole Diagram (Line-BK)
- Fig. II-3-34 Magnitude Spectrum (Line-BH)
- Fig. II-3-35 Magnitude Spectrum (Line-BI)
- Fig. II-3-36 Magnitude Spectrum (Line-BJ)
- Fig. II-3-37 Magnitude Spectrum (Line-BK)
- Fig. III-1-1-3 Progress Record of Diamond Drilling
- Fig. III-2-1 Geological Profile for AG-01 and AG-02
- Fig. III-2-2 Geological Profile for AG-03

Table I-1	Classification of Metamorphic Facies of Survey Area	
Table I-2	Characteristics of Geometrical Aspects of Folds by Order	
Table I-3	Results of Pb Isotopic Analysis	
Table I-4	Mean and Standard Deviation of Geochemical Data of Carbonate Rocks in Survey Area	
Table I-5	Correlation Matrix	
Table I-6	Factor Loading of Geochemical Data of Carbonate Rocks in Survey Area	
Table II-2-1	List of Method and Equipments for Geophysical Survey	
Table II-2-2	List of Survey Lines	
Table II-2-3	List of PFE and Resistivity of Rock Samples in Barrinha Area	
Photo A-1	Microphotograph of Thin Section	
Photo A-2	Microphotograph of Polished Section	
Table A-1	List of Mines and Showings in Survey Area	
Table A-2-1	Microscopic Observations (Thin Section) (Geological Survey)	
Table A-2-2	Microscopic Observations (Thin Section) (Logging Core)	
Table A-3-1	Microscopic Observations (Polished Section) (Geological Survey)	
Table A-3-2	Microscopic Observations (Polished Section) (Logging Core)	
Table A-4-1	Assay Results of Ore (Geological Survey)	
Table A-4-2	Assay Results of Drilling Core	
Table A-5	Result of Chemical Analysis of Carbonate Rocks in Survey Area	
Table A-6	Result of Factor Analysis of Geochemical Date of Carbonate Rocks in Survey Area	
Plate I-1-1~9	Geological Map of Survey Area	1:25,000 (9 sheets)
Plate I-2-1~2	Geological Profile of Survey Area	1:25,000 (2 sheets)
Plate I-3	Geological Columnar Section and Stratigraphic Correlation in Survey Area	1:10,000
Plate I-4	Relation Map between Mineralization and Geological Structure in Survey Area	1:50,000 (1 sheet)
Plate I-5	Distribution Map of Mines and Showings in Lageado-Serra Area	1 : 10,000 (1 sheet)

Plate I-6	Location Map of Samples for Carbonate Rock Analysis in Survey Area	1:50,000
Plate I-7-1	Factor Map of Carbonate Rock Analysis Data in Survey Area – Factor 1 and Factor 2 –	1:50,000
Plate I-7-2	Factor Map of Carbonate Rock Analysis Data in Survey Area – Factor 3 and Factor 4 –	1 : 50,000
Plate I-8	Pb–Zn Anomaly Map of Carbonate Rock Analysis in Survey Area	1 : 50,000
Plate I-9	Geological Map and Profile of Perau Area	1 : 10,000
Plate I-10	Geological Map and Profile of Barrinha Area	1 : 10,000
Plate II-1	Location Map of IP Survey Lines in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-2-1	Equi-Frequency Effect Map (a=200m, n=1) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-2-2	Equi-Frequency Effect Map (a=200m, n=3) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-2-3	Equi-Frequency Effect Map (a=200m, n=5) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-3-1	Apparent Resistivity Map (a=200m, n=1) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-3-2	Apparent Resistivity Map (a=200m, n=3) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-3-3	Apparent Resistivity Map (a=200m, n=5) in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-4	IP Interpretation Map in Perau Area	1 : 10,000
Plate II-5	Equi-Frequency Effect Map and Apparent Resistivity Map in Barrinha Area	1 : 10,000
Plate II-6	IP Interpretation Map in Barrinha Area	1 : 10,000
Plate III-1~3	Columnar Section of Core Logs in Perau Area	1 : 200 (3 sheets)

要 約

ブラジル連邦共和国 Anta Gorda 地域における第三年次の調査は、より詳細な地質層序、地質構造、火成活動および鉍化作用などの状況把握と、これらの相互関係を明らかにすることによって今後の探査に有益な指針を得るため、準精査地域では広域的な地質調査を実施し、精査地域では Perau 地区および Barrinha 地区で物理探査 (IP法, SIP法) と地質精査を実施した。さらに Perau 地区ではボーリング調査を実施した。

Anta Gorda 地域全体に分布する鉍床の鉛同位体による年代測定を実施した。

1. 準精査地域

地質調査の結果、準精査地域の地質を構成する先カンブリア系の Açungui 層群が細分され層序が確立された。

Açungui 層群最上位の Açungui III 層はさらに細分され、そのうち A III L₂ の石灰岩層に Lageado 鉍床群、A III L₃ の石灰岩層に Furnas 鉍床および Espirito Santo 鉍床群などが胚胎することが判明した。これらの石灰岩層の化学分析の結果、各石灰岩層ごとの地球科学的特性が判明した。とくに鉍化作用と密接な Pb-Ag-Zn 成分は Furnas, Lageado 地区や Espirito Santo 地区で卓越する。

2. 精査地域

1) Perau 地区

地質精査および物理探査 (IP) を実施した結果、Perau 鉍床層準の鉍化作用は南部に連続しないことが判明した。

Perau 鉍床の西側で実施したボーリング調査の結果、Perau 鉍床層準に有望な層状鉛・亜鉛・重晶石鉍床を確認した。この新鉍床は、さらに西方および北方にその鉍床規模を拡大する可能性がある。

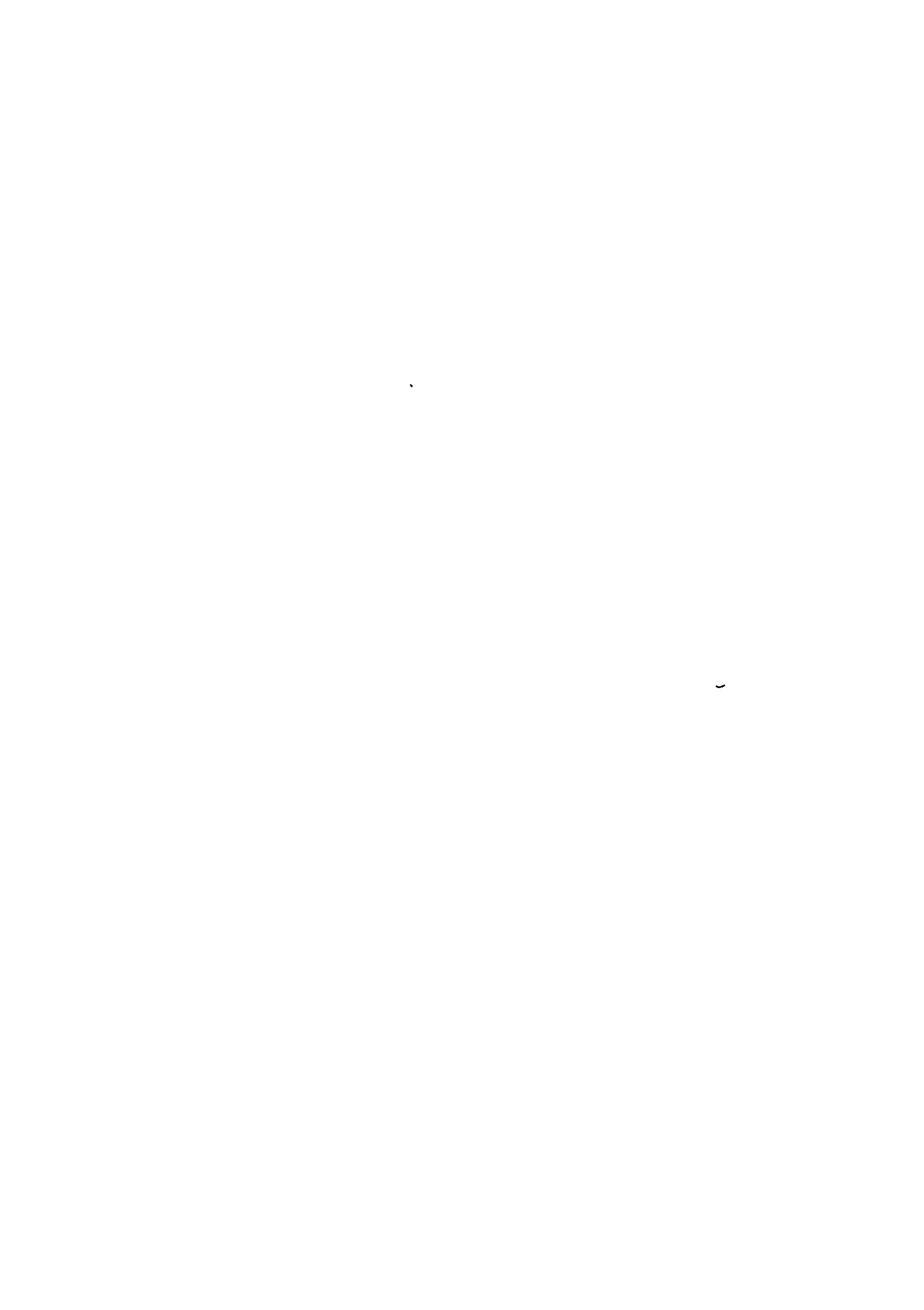
2) Barrinha 地区

Barrinha 鉍山の鉍床は Açungui III 層の石灰岩層 A III L₂ に胚胎する脈状-不規則塊状鉍床で、複雑な褶曲構造の軸部から翼部にかけて鉍床が集中している。

物理探査 (IP・SIP) の結果、いくつかの異常帯が検出され、とくに調査地域北東部の背斜軸部や Quatro 鉍床の南東部などの異常帯が注目された。

3. 鉛同位体年代測定結果

Anta Gorda 地域の鉛鉍床は、Perau 型の層状鉍床と Rocha 型の脈状-不規則塊状鉍床に大別される。鉛同位体による年代測定結果、Açungui I 層中にはい胎する Perau 型鉍床 (Perau, Canoas など) の年代は 1,400 m.y. に集中し、Açungui III 層の石灰岩層に胚胎する鉍床は 1,000~1,200 m.y. に集中することが確認された。



前者は Açungui I 層と同生的に生成し、後者は Açungui II 層の石灰岩層中に沈積した金属成分が後に石灰岩層の割目に濃集したと解釈される。



總 論



第 1 章 序 論

1-1 調査の経緯および目的

ブラジル連邦共和国における資源開発協力基礎調査は、国際協力事業団（JICA）の委託により、金属鉱業事業団（MMAJ）が、昭和55年度から調査を開始した。昭和55年10月金属鉱業事業団は、ブラジル連邦共和国の鉱産局（Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM）と本プロジェクトに関する作業協定（Scope of Work）を締結した。

ブラジル南東部のSão PauloとParana両州にまたがる地域には、多数の小規模な鉛鉱床が知られ、古くから種々研究が行われているが、鉱化作用と地質構造や火成活動の関係および鉱床の成因については、これまで定説がなかった。

本調査は第一年次の基礎調査からはじまり、逐次調査の精度を高めて地質構造や鉱床の成因を解明しつつ第三年次においてPerau鉱床西部で新鉱床を発見するに至った。

作業協定に従って、第一年次は鉛鉱床群を含む地域5,800km²について、地質概査を実施して地質層序を確立し、地質構造を解明すると共に既存鉱床の地質学的位置づけを行った。

第二年次の調査は、第一年次の調査結果から選出された有望地区のうち、南部地区（Rio Ribeira以南のParana州に属する地区）で、1,200km²の範囲について地質調査（準精査）を実施し、地質層序と地質構造をより詳細に解明した。さらにPerau型鉱床とRocha型鉱床を調査して鉱床胚胎の場と鉱床の性質を解明した。第三年次に当る本年度の調査は第一年次の調査結果から選出された有望地区のうち、北部地区（Rio Ribeira以北のSão Paulo州に属する地区）で、鉱床の地質学的位置づけを行い、さらに第二年次の調査結果から選出されたPerau地区で潜頭性鉱床の賦存状況を解明し、同様にBarrinha地区で有望な探鉱余地を解明することを目的とした。

1-2 調査の内容

第三年次の調査では北部地区（1,000km²）の地質準精査とPerau地区の地質調査（精査）、物理探査（IP）およびボーリング調査を実施し、Barrinha地区の地質調査（精査）および物理探査（IP, SIP）を実施した。

(1) 準精査地区

新たに作成された縮尺1/25,000の地形図に野外調査のデータをまとめ（ルートマップの作成）、縮尺1/25,000空中写真の解析を併用して地質図の作成を行った。

(2) 精査地区

Perau地区

既存の縮尺1/10,000地形図を利用して物理探査および地質精査を実施した。またボー

リング調査は3本、91220m (AG-01孔 331.15m, AG-02孔 330.55m, AG-03孔 250.50m) を実施した。

Barrinha 地区

既存の縮尺1/10,000地形図を利用して物理探査および地質精査を実施した。

今回の調査は日本人技師8名とブラジル人技師6名により行われた。この報告書をまとめるにあたり、鉛同位体年代については地質調査所、佐々木昭博士に、鉍石鉍物については、東京大学武内寿久禰教授に、変成岩類については秋田大学、丸山孝彦助教授に有益な御助言を頂いた。深く謝意を表したい。

1-3 調査団の編成

本年度調査のための計画と折衝および現地調査に参加した調査団員は下記のとおりである。

本調査には、ブラジル連邦共和国よりDNPMの委託を受けた鉍物探鉍公社 (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM) から地質技師および物理探査技師が参加した。

1-3-1 調査計画策定および折衝

(1) 日本側調査計画策定および折衝

中島 信久 (Nobuhisa Nakajima)	金属鉍業事業団
細井 義孝 (Yoshitaka Hosoi)	"
辻本 崇史 (Takashi Tsujimoto)	"

(2) ブラジル側調査計画策定および折衝

Carlos Oiti Berbert	DNPM
Luiz Eraldo Matoz	"
Fernando Batolla Junior	CPRM

1-3-2 現地調査

(1) 日本側調査団員

団長 鈴木 強 (Tsuyoshi Suzuki)	大手開発株
地質 柴田 精久 (Kiyohisa Shibata)	"
" 滝川 昭 (Akira Takigawa)	"
" 池田 則生 (Norio Ikeda)	"
" 高橋 洋 (Hiroshi Takahashi)	"
物理探査 田中 富雄 (Tomio Tanaka)	"
" 江川 昭 (Akira Egawa)	"
" 近藤 六夫 (Mutsuo Kondo)	"

(2) ブラジル側調査団員

団長	Elias Carneiro Daitx	CPRM
地質	Armando Teruo Takahashi	"
	Cassio Roberto da Silva	"
	Jos'e Carlos Garsia Ferreira	"
	Osamu Maeyama	"
物理 探査	Frederico Augusto Varejão Marinho	"

1-4 従来 の 調 査

本調査地域周辺の地質は、多くの人々によって研究されており、先カンブリア時代の岩石が主要部分を占めて分布することが知られている。

Cordani ほか(1967)は放射年代の研究により3,000~450m.y.の測定結果を得て、何回かの造山運動(Orogeny)が生じたことを述べている。

岩石学的、層序学的研究としては Bigarella ほか(1956), Marini ほか(1967), Fuck ほか(1971), Ebert(1971), Continho(1971)およびKaefen(1972)などがあり、地質層序の区分を試みている。

鉱床学的な研究としては、Melcher(1968)が Açungui Group の石灰岩類中の鉱床について報告している。Leonardos(1956)ほかは本地域の鉱床の成因は、付近に分布する花崗岩類に関係した深成鉱床と考えたが、Melcher(1968)や他の人々はPb放射年代や母岩のPb品位の研究などから意見を異にしているなど今日まで定説がない。

調査地域および周辺の広域地質図幅は、DNPMの編さんした縮尺1/1,000,000 Curitiba(1974)やCPRMがDNPMより委託されたProjeto Leste do Paranaで編さんした縮尺1/100,000図幅や1974年São Paulo州におけるProjeto SudelpaでCPRMが作成した1/50,000地質図などは広く利用されている。

近年の調査では、1978~1979年CPRMがDNPMの依頼により実施したProjeto ChumbãoはPerau地域およびRocha地域の地質、鉱床の調査が行われ、1980年その報告書(縮尺1/25,000地質図を含む)が発刊(未公開)された。MMAJはJICAの委託を受けて1980年1月~4月および1981年7月~10月、Anta Gorda地域の資源開発協力基礎調査を実施した。この報告書では地質層序の区分は基本的に1/1,000,000 Curitiba図幅(1974)に従ったが、Açungui層群を3層に区分して、それぞれAçungui I層、II層およびIII層とした。さらに同報告書では、本地域の鉛鉱床はPerau型の層状鉱床とRocha型の石灰岩中の割目充填鉱床に大別され、Perau型はI層中に、Rocha型はIII層の石灰岩中に分布すると述べている。

1 - 5 参 考 文 献

- (1) ALMEIDA, F.F.M. de (1967) – *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*. Bol. 241, DGM/DNPM, Rio de Janeiro, GB.
- (2) ALMEIDA F.F.M. et al. (1976) – The upper Pre-Cambrian of South America, – Bull. I.G. U.S.P. v.7 : 45–80, 1976.
- (3) BARBOSA A.F. (1955) – *Estrutura e Gênese da Jazida de Chumbo de Furnas, Estado de São Paulo*.
- (4) CORDANI, U.G., BITTENCOURT, I.(1967) – *Determinação de Idade Potássio-Argônio em Rochas do Grupo Açungui*. – Anais XXI^o Congr. Bras. Geol., SBG, Curitiba, PR.
- (5) COUTINHO, J.M.V. (1971) – *Estado Atual de Conhecimentos do Pré-Cambriano Superior Sul-Brasileiro, Uma Síntese*. – Anais XXV^o Congr. Bras. Geol., vol. 1, SBG São Paulo. Sp.
- (6) CRPM (1981) – *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira, Area Ribeirão do Rocha, vol. VII (Texto)*.
- (7) CRPM (1981) – *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira, Area Ribeirão do Perau, vol. VI (Texto)*.
- (8) Damasceno, E.C. (1966) – *Nota Sobre a Composição Isotópica de Chumbo em Galenas de Jazidas do Vale do Rio Ribeira* – XX. Congr. S.B.C., n. 1.
- (9) D.N.P.M. (1972) – *Projeto Sudeste do Estado de São Paulo, Mapa Geológico Itararé 1:25,000*.
- (10) D.N.P.M. (1974) – *Carta Geologica do Brasil ao Miliónésimo Folha Curitiba – SG22*.
- (11) D.N.P.M. (1977) – *Projeto Leste do Paraná (Anexo, Folha Apriai, Ribeira 1:1,000,000)*.
- (12) EBERT, H. (1971) – *Observações sobre a Litologia e Subdivisão do “Grupo Setuva” no Estado do Paraná ; com Sugestões à Tectónica Geral do “Geossinclínio Açungui”*. – Anais XXV^o Congr. Bras. Geol., vol. 1, SBG, São Paulo, SP.
- (13) FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E.; MURATORI, A. (1971) – *Geologia do Leste Paranaense*. – Anais XXV^o Congr. Bras. Geol. SBG, São Paulo, SP.
- (14) HASUI Y. et al (1975) – *The Ribeira Folded Belt* – *Revista Brasileira de Geociências* vol. 5, 1975.
- (15) JICA (1981) – *On Geological Survey of Anta Gorda Brazil, Phase I*.
- (16) JICA (1982) – *On Geological Survey of Anta Gorda Brazil, Phase II*
- (17) KAEFER, L.Q. & ALGARTE, J.P. (1972) – *Folha Itararé SG. 22-X-B. Geologia Preliminar. vol. 1, Proj. Sudeste de São Paulo, DNPM/CPRM, São Paulo, SP. inédito*.
- (18) LEONARDOS, O.H. (1956) – *Carbonatitos com Apatita e Pirocloro*. – Av. n^o. 80, DEPM/DNPM, Rio de Janeiro, GB.
- (19) MAACK, R. (1947) – *Breves Notícias sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina*. – Arq. Biol. Tecnol., vol. II, Curitiba, PR.

- (20) MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; TREIN, E. (1967) – Intrusivas Básicas Jurássico-Cretáceas do Primeiro Planalto do Paraná. *Bol. Par. Geoc*, N°. s. 23 a 25 Curitiba, PR.
- (21) MELCHER, G.C. (1968) – Contribuição ao Conhecimento do Distrito Mineral do Ribeira de Iguape, Estados de São Paulo e Paraná.
- (22) MELCHER, G.C., GOMES, C.B., CORDANI, U.G.; BETTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; GIRARDI, V.A.V.; MELFI, A.J. (1973) – Geologia e Petrologia das Rochas Metamórficas e Graníticas Associadas do Vale do Rio Ribeira de Iguape, SP e PR. – *Rev. Bras. Geoc.*, vol. 3 n°. 2, SBG, São Paulo, SP.
- (23) MIYASHIRO A. (1979) – *The Earth Science* 16, Iwanami Shoten, Tokyo (In Japanese).
- (24) Odan Y. (1978) – Geologia da Mina de Chumbo de Panelas – Adrianópolis – PR Anais do XXX Congresso B.G. Recife, 1978 v.4.
- (25) Oliveira, G.M. de A. (1937) – A gazida de Galena Argentifera de Panelas de Brejaúvas – *Min. e Met.*, v. 1. n. 5.
- (26) PEDERSEN, F. D. (1980) – Remobilization of the Massive Sulfide Ore of the Black Angel Mine, Central West Greenland.
- (27) CPRM (1978) – Relatório Cálculo.
- (28) D.N.P.M. (1981) – Relatório de Processamento, Projeto Aerogeofísico São Paulo-Rio de Janeiro, Sub-Área IV.
- (29) Hallof P.G., (1974) – The IP phase measurement and inductive coupling, *GEOPHYSICS* Vol. 35, No. 5, pp.650–665.
- (30) Nettleton L.L., (1971) – *Elementary Gravity And Magnetism For Geologists and Seismologists*, Society of Exploration Geophysicists.
- (31) Pelton W.H., etc. (1978) – Mineral Discrimination and Removal of Inductive Coupling with Multifrequency IP, *GEOPHYSICS*, Vol. 43, No.3, pp.588–609.
- (32) Petric W.R., Pelton W.H., and Ward S.H., (1977) – Ridge Regression Inversion Applied to Crustal Resistivity Sounding Data from South Africa, *GEOPHYSICS*, Vol. 42, No.5, pp.995–1005
- (33) Summer J.S., (1976) – *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier.



第 2 章 調査地域の概要

2-1 位置・交通

本調査地域はブラジル最大の都市 São Paulo の南西に位置し、準精査地域は Rio Ribeira 以北の São Paulo 州に属し、精査地域は Rio Ribeira 以南の Parana 州に属す (Fig. 1)。

準精査のベースキャンプとなった Apiaí までは São Paulo 市から約 320 km 離れており、車で 5 時間を要す。また物理探査、ボーリング調査のベースキャンプとなった Adrianopolis まではさらに 40 km 離れており、車で約 1 時間を要す。

調査地域内の西部の Apiaí を通る São Paulo 州道 373 号線は Parana 州では Parana 州道 476 号線になり、Adrianopolis までは舗装道路である。Apiaí および Adrianopolis の隣の Ribeira を通って São Paulo 市または Curitiba 市 (Parana 州の州都) まで定期バスが 1 日数便運行されている。

2-2 地形・水系

本調査地域の地形は、先カンブリア系の地質構造に大きく規制され、NE-SW 系方向の山系が卓越する。調査地域 (準精査地域) の北部・西部および南部にはそれぞれ Espírito Santo 花崗岩体、Apiaí 花崗岩体と Tres Corregos 花崗岩体および Itaoca 花崗岩体が分布し、この地域では比較的なだらかな地形を呈す。

花崗岩体を除く本地域の大部分は NE-SW 系の走向を示す石灰岩、千枚岩、雲母片岩類が広く分布している。この地域では急峻な地形とカルスト地形が特徴的に発達し、しばしばドリーネ (doline) が見られる。また、この地域の山系はこれらの地質の走向および褶曲構造等に大きく支配されて NE-SW 系の方向を示す山系が発達し、しばしば急峻な地形を示す。水系は、Rio Ribeira が最も大きな川で、地域の南～南東部を東に流下する。付近の水系はすべて Rio Ribeira の支流で、標高は本流付近で 100 m 前後であるが、地域北西部の山頂部付近では 1,000 m に達する。

水系の主なものは、地層の走向に平行に発達する NE-SW 系と、これと直交する NW-SE 系が発達し、格子状～平行状水系パターンが見られる。

石灰岩地帯ではカルスト地形と共に深い V 字谷を形成し樹枝状水系が発達するが、しばしばドリーネの発達する場所で水系が途絶える。

花崗岩地帯では、なだらかな地形と細かな樹枝状水系が特徴的である。

準精査地域で NW-SE 系に属する主要なものは、Rio Iporanga 上流、Rio Betari および Rio Palmital で NE-SW 系に属する主なものは Corrego Pasa Vinte, Corrego Lambari および Rio Iporanga などいずれも Rio Ribeira に流入する。これら NE-SW 系等の水系長は

NW-SE系に比べて一般に短い。

Perau 地区では Ribeirão Grande がほぼ N-S または NNE-SSW 方向を示して北流する。また、Barrinha 地区では Corrego Barrinha do Forquilha が E-W 方向で東流する。

2-3 気候および植生

本地域の気候は亜熱帯～温帯の多雨型で、四季の区別が比較的はっきりしている。年間の平均降雨量は 1,200～1,300_{mm} でその大部分は 10 月～2 月に集中している。気温は年平均 16～19℃ であるが、夏季（1 月～3 月）の日中最高気温は 35℃ を越えることも珍しくない。また、冬季（7 月～9 月）は 0℃ 近くまで下ることがある。植生は多く、松柏類や雑木が密生するが、多くの地区では山頂付近まで伐採されて畑や牧場に利用されている。これら松柏類や雑木のほかに小灌木や羊歯類（Samambaias）が密生するが、とくに羊歯類は花崗岩や変成岩類の分布する所で繁茂し、石灰岩類の分布する所ではほとんど成長しない。

第 3 章 総 合 検 討

3-1 地 質 調 査

3-1-1 準 精 査 地 区

(1) 地 質 層 序

準精査地区の地質は、先カンブリア系の Açungui 層群とこれに貫入するブラジル造山輪廻期(750~500m.y.)の変塩基性岩類・花崗岩類および白亜紀の輝緑岩類岩脈から構成される。

Açungui 層群は主として雲母片岩、千枚岩、変砂岩および石灰岩類などからなり、A I 層、A II 層および A III 層に区分される。A III 層はさらに変堆積岩類(S)と石灰岩類(L)との組合せにより下位より L₁, S₁, L₂, S₂, L₃, S₃, L₄, S₄ に細分される。

また Açungui 層群の砂・泥質起源の変成岩は白雲母帯~黒雲母帯の変成相を、そして変塩基性岩類は、緑色片岩相~緑レン石角閃岩相の変成相をそれぞれ示すブラジル造山輪廻期の広域変成作用を蒙っている。花崗岩体周辺には、ザクロ石ホルンフェルスおよび黒雲母ホルンフェンスに代表されるように接触変成作用も認められる。

(2) 地 質 構 造

準精査地区の主要な地質構造は、NE-SW系~NEE-SWW系の褶曲・断層構造で、ブラジル造山輪廻期に形成されたと考えられており、その要因は小地質構造解析結果から略NW-SE方向の横圧力と推察される。この地質構造内部には、より古い時代の造構運動によって形成されたと考えられるNNW-SSE系の褶曲構造が部分的に認められる。さらにこれらの各地質構造を切って後ブラジル造山輪廻期のN-S系の断層構造およびジュラ紀~白亜紀の輝緑岩岩脈の貫入方向が示すNW-SE系が卓越する。

(3) 鉛同位体測定結果

本プロジェクト地域内の鉛鉱床は、Perau型の層状鉛鉱床とRocha型の脈状鉛鉱床に大別され、方鉛鉱の鉛同位体測定値をCumming and Richards(1976)の鉛石鉛成長曲線上にプロットすると、第二年次の結果は、Perau鉛鉱床の同位体年代は1,400m.y.に、Rocha鉛鉱床の同位体年代は1,100m.y.に集中した。本年度は、本プロジェクト地域内の鉛鉱床を総括する意味で、第二年次地域と今回の準精査地区の諸鉛鉱床から計20個の方鉛鉱を採試し、測定した結果第二年次の結果と一致した同位体年代が得られた。すなわちPerau型鉛鉱床は1,400m.y.を示し、Rocha型鉛鉱床は幅があるものの1,000~1,200m.y.に集中した。

これらの同位体年代は、本プロジェクト地域内の花崗岩類の貫入時期(550m.y.)よりも古く、鉛化作用が花崗岩類の貫入に関係したとする考えには否定的で、Perau型鉛

床は鉍床母岩(A I層)と同生的に生成し、Rocha型鉍床は母岩(A II層)中に沈積した重金属が母岩の割目に濃集して生成したと考えられる。

(4) 石灰岩化学分析結果

鉛鉍化作用の指示元素あるいは鉍床を胚胎する母岩の堆積環境を推定し、金属鉍床胚胎の場を検討するために、石灰岩類の微量成分の分析が実施された。

採取された120試料は、原子吸光分析法および湿式分析法によりCu, Pb, Zn, Ag, Co, Ni, Mn, Ba, Sr, F, CaO, MgO, Na, K, I.R. (不溶解残渣)の15成分が分析され、これらのデータから多変量解析(因子分析)および単成分解析を実施した。

この結果、因子-1(I.R.-K-Ba-Na-Cu-Zn-Ni-F-Mn)、因子-2(Pb-Ag-Zn)、因子-3(Sr-Ca)、因子-4(Mg-F)が抽出された。因子-1は不純物に富む還元的な堆積環境の因子、因子-2は鉍化作用の因子と推定され、因子-1の分布域中に因子-2の因子得点が高い試料が偏在し、既知鉍床を包含する。因子-2に関してはPbとZnの単成分解析からさらに異常帯を抽出すると、既知鉍床と一致した分布を示した。

因子-3は岩石特性を反映したものと解釈され、層準別の差異が明瞭である。因子-4は苦灰岩を特徴づける因子と考えられる。

(5) 鉍 床

本地域には、現在稼行中のFurnas鉍山をはじめ、Lageado-Serra鉍床群、Espírito Santo鉍床など、いわゆるRocha型の脈状鉛鉍床が分布する。これらの鉍床母岩はA II層の石灰岩類で従来一層のみとされていたが、Furnas鉍床およびEspírito Santo鉍床はA III L₃層に、Lageado-Serra鉍床群はA III L₂層に胚胎することが判明した。

これらの鉍床は、いずれも方鉛鉍を主とし、黄鉄鉍、閃亜鉛鉍、黄銅鉍および白鉛鉍などを伴ない、高角裂かあるいは層面はく離を充填する。

地質鉍床調査、鉛同位体測定結果および石灰岩類分析結果を総合して、上記鉍脈型鉛鉍床の生成機構を考察すると還元的古環境下において、石灰岩類の堆積と同時にPb-Ag-Znの沈積が行われ、これらの重金属は後の略NW-SE方向の横圧力によると考えられるブラジル造山輪廻期に形成された割目に移動・濃集されたと推定される。

3-1-2 精査地区

(1) Perau地区

Perau地区の地質は、Setuva層に属する片麻岩類とAçungui I層に属する珪岩、石灰岩類-炭酸塩岩片岩、雲母片岩および角閃岩類から成る。

Perau鉍床はAçungui I層下部の石灰岩類-炭酸塩岩片岩中に胚胎する層状鉛鉍床で

ある。鉍床の母岩をなす石灰岩類～炭酸塩岩片岩“Perau Horizon”はAçungui I層の最下部を構成する珪岩の上に乗る、Perau付近で肥大し、北部および南部で尖滅するレンズ状形態を示して分布する。

Perau鉍山の主要鉍体は走向延長約350m、傾斜延長120mの規模で、数枚の鉍層から成り、いくつかの富鉍部を形成している。富鉍部の下限は地表下約120mで、主鉍体の上半分は浸食されたものと考えられている。

鉍床の直接下盤には石墨片岩層が分布し、鉍床の直上または数m上盤には局部的に鉛鉍化作用を伴った重晶石がレンズ状～層状に濃集し、さらに5～20m上盤には磁鉄鉍の濃集帯“Magnetite zone”が広く分布する。これらの石墨片岩層や磁鉄鉍帯はPerau Horizon中の鉍床を探索する場合非常に重要なKey bedとなる。

第二年次に実施した物理探査(IP・SIP)の結果、Perau鉍床層準は明瞭に捕捉され、下部に連続することが判明した。この中最も有望な個所にボーリング調査を実施した結果、Perau鉍床の西側で同一層準中に新鉍床の賦存を示す鉍化帯を捕捉した。この鉍化帯は重晶石-硫化鉍物(方鉛鉍、閃亜鉛鉍、黄鉄鉍など)の鉍物組合せを特徴とする層状鉍床である。この鉍物組合せは基本的にはPerau鉍床に比べて大きな変化はないが、重晶石を伴うこと、閃亜鉛鉍の量が多いことなど、Perau鉍床とは異った特徴を示し、Perau鉍床の鉍化作用の時期より若干遅く、層序的にやや上位に位置すると考えられる。

Perau地区の物理探査はPerau鉍山の南部のPerau Horizonの尖滅する付近で実施された。結果は地質調査結果と良く一致し、Perau鉍床層準はこの付近の下部には捕捉されなかった。

(2) Barrinha 地区

Barrinha地区の地質はAçungui II層の雲母片岩、石灰岩・炭酸塩岩片岩および千枚岩・雲母片岩から成る。Barrinha鉍山の各鉍床は、褶曲構造の発達したこの地域の石灰岩・炭酸塩岩片岩中に胚胎する脈状～不規則塊状鉛鉍床である。鉍物組合せは方鉛鉍、黄鉄鉍を主とし、若干の閃亜鉛鉍や黄銅鉍を随伴する。Barrinha鉍山には多数の鉍床や鉍徴地が存在するが、現在稼行中のものはQuatro鉍床のみである。Quatro鉍床は層序的には石灰岩層の上部に胚胎し、地質構造的には背斜の軸部に位置する。他の鉍床も同様の分布形態を示し、とくに上位の雲母片岩層との境界部付近に鉍化作用が濃集する傾向を示し、今後の探査に有効な指針となっている。Barrinha地区の物理探査(IP・SIP)の結果、IP探査では見掛け比抵抗は地質構造を良く反映している。また、鉍化作用に関係する異常帯としては、脈状の鉍化帯を反映したと考えられる小規模な異常帯の集合した南部異常帯や石灰岩層の背斜構造に調和的かつ連続的に分布する北部異常帯

が検出された。この北部異常帯の下部には層状または不規則塊状の鉍化帯の存在が期待される。

Quatro 鉍床周辺の S I P 探査の結果 Quatro 鉍床およびその南南東部に異常帯が検出され、Quatro 南南東地域に鉍化帯の存在が期待される。

3-2 物理探査

(1) I P 法電気探査結果

○ Perau 地区

本調査地区における Perau 鉍床層準の鉍化作用は微弱であるため、鉍床胚胎の可能性は極めて小さいと考えられる。また第二年次調査により把握された石墨質片岩と黄鉄鉍に起因すると考えられる C 異常帯の南限は、Perau 背斜軸付近であると推察される。

○ Barrinha 地区

強異常は調査地区北部及び南部に検出された。前者の異常は測線 B D ~ B A No.8 以北に地表付近から深部まで北傾斜で検出されている。この異常は Oito 鉍床、São Joaquim 鉍徴地等への連続した異常源に起因するものと考えられる。

また後者の異常は、浅部では局所的異常を呈しているが、深部では広範囲に検出されている。しかしその異常の中心と考えられるものは不明瞭である。

この異常の検出された付近には Cecrisa 等の鉍徴地が存在するため、それらに起因したものと考えられる。

本調査地区における見掛比抵抗は、低・高見掛比抵抗とも NE-SW および E-W 系で分布している。

この見掛比抵抗分布形態は地質構造と一致しており、その影響を良く反映していると考えられる。

(2) スペクトル I P 法電気探査結果

スペクトル I P 法により Oito, Quatro 鉍床および、それらの周辺で特徴的な 3 種の位相差スペクトル異常が検出された。

これら 3 種の位相差スペクトルを A, B, C と仮称した。これらの異常は次のような特徴を有している。

A 型スペクトル異常は 0.625 ~ 0.875 Hz に位相差のピークが認められるものである。

B 型スペクトル異常は 1 Hz までの低周波領域において周波数の増加とともに位相差の減少が認められる。

C 型スペクトル異常は 1 Hz までの低周波領域において周波数が増加しても位相差がほぼ一定ないしはやや大きくなる。

A型スペクトル異常の特徴は一般に黄鉄鉱による典型的なスペクトル・タイプといわれている。

B型スペクトル異常は測線BH NO. 8に電磁現象があるパイプライン効果が認められ、非常に電導性のよい岩体を反映していると考えられるが、今回の調査からだけでは何に起因するものかは判別出来ない。

C型スペクトル異常はOito, Quatro 鉱床に見られる鉱化作用を反映している、最も重要な異常であると考えられる。

Oito 鉱床付近ではC型スペクトル異常がOito 鉱床を包括するように存在し、B型スペクトル異常はOito 鉱床の南部に検出された。またA異常は局所的に分布している。

これらのC, B, A型スペクトル異常はIP法で検出された北東部異常にSão Joaquim を経て連続すると考えられ、Oito 鉱床西部にも分布する傾向にある。

一方Quatro 鉱床付近では、C型スペクトル異常が検出され、測線BH NO. 11 付近の深部を経てIP法で検出された南部異常に連続する。

3-3 ボーリング調査

Perau 地区において、第二年次の地質調査および物理探査データの解析結果選出された個所にボーリング調査を実施した結果、Perau 鉱床を胚胎する同じ層準に重晶石-硫化鉱物（方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱）の有望鉱床を捕捉した。

調査地域の地質は先カンブリア系 Açungui I 層に属す変成岩類が広く分布し、主に雲母片岩、角閃岩、炭酸塩岩片岩、石墨片岩、石灰岩および珪岩等を掘進した。鉱床は炭酸塩岩片岩を母岩とする層状鉱床で、主要鉱物は重晶石、方鉛鉱、閃亜鉛鉱および黄鉄鉱などで構成される。鉱床付近のコア採取率はほぼ100%である。

各孔の着鉱部の分析品位はつぎのとおりである。

孔名	着鉱深度(m)	着鉱長(m)	Pb %	Zn %	Cu ppm	Ag ppm	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	BaO %
AG-01	25595~26345	7.5	4.36	2.96	214	95	11.36	8.91	5.62	15.20
	26345~26590	2.45	2.56	0.56	236	56	1.25	8.85	33.06	4.44
AG-02	24285~24785	5.0	4.7	0.48	162	86	1.26	6.2	9.0	20.5
	25140~25250	1.1	4.5	4.5	60	68	1.22	7.5	4.3	17.9
	25335~25360	0.25	5.7	5.6	40	110	1.32	6.9	7.6	12.3
AG-03	194.30~196.20	1.9	2.5	0.9	293	35	8.3	3.1	40.4	4.7

第4章 結論および第四年次調査への提言

本調査地域において地質調査（準精査）を実施して、層序区分を確立し、地質構造と鉱床胚胎の場の関係をより明確に把握することに努めた。Perau地区では、地質調査（精査）、物理探査（IP）とボーリング調査を実施した。また、Barrinha地区では詳細な地質調査と物理探査（IP・SIP）を実施した。

4-1 結論

これらの調査結果から得られた結論はつぎのとおりである。

1. 調査地域の地質は、先カンブリア系に属するAçungui層群の変成岩類が整合的に分布し、火成岩類がこれを貫いている。Açungui層群は第一年次および第二年次の調査の層序区分に従ってAçungui I・II・III層に区分し、さらにAçungui III層を詳細に区分した。またIporanga周辺の従来のAçungui I層は今回の調査によりAçungui I層およびAçungui II層に区分された。
2. 変成岩類は広域変成作用を受け、砂・泥質片岩類は白雲母帯～黒雲母帯に属し、変塩基性岩類は緑色片岩～緑レン石角閃岩相に属する。Itaoca花崗岩体西部ではさらに接触変成作用に起因するザクロ石ホルンフェルスおよび黒雲母ホルンフェルスが重複する。
3. 準精査地域に分布する鉱床はすべてAçungui III層の石灰岩中に胚胎する脈状または不規則塊状鉱床である。鉱床胚胎母岩となる石灰岩はA III L₂およびA III L₃に細区分されLageado鉱床およびItaoca東部地区の鉛鉱床はA III L₂中に胚胎し、Furnas鉱床およびEspírito Santo鉱床などはA III L₃中に胚胎する。この中Furnas鉱床は脈状～不規則塊状の銀-鉛鉱床で、周辺に同種の鉱床の存在する可能性がある。
4. Açungui III層中に分布する各部層の石灰岩の分析結果、各石灰岩の地球化学的特性が得られた。また、鉱化作用に関係するPb-Ag-Zn因子は既知鉱床周辺で卓越する。
5. Perau地区における地質精査、物理探査（IP）およびボーリング調査の結果、Perau鉱山南部でPerau鉱床胚胎層準が尖波することが判明した。Perau鉱床西部のボーリング調査で重晶石-硫化鉱物（方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱）の層状鉱床が発見された。この鉱床はさらに西方および北方に鉱床規模を拡大する可能性がある。
6. Barrinha地区における地質精査および物理探査（IP・SIP）の結果、この地区の鉱床はAçungui III層の石灰岩A III L₂の上部に胚胎する脈状～不規則塊状鉛鉱床で、とくに褶曲構造（背斜）の軸部から翼部にかけて鉱化帯が分布する。

São Joaquim東部のIP異常帯およびQuatro鉱床南東部のSIP異常帯の下部に潜頭性鉱床の存在が期待される。

7. 本調査対象地域全域から得られた方鉛鋳サンプルの鉛同位体年代測定結果では、Perau型の層状鋳床は1,350~1,400m.y.を示し、その他の脈状~不規則塊状型鉛鋳床は1,000~1,200m.y.を示した。Perau型鋳床は鋳床母岩と同生的に生成し、他の鋳床は母岩中に堆積した重金属がブラジル造山輪廻期(750~500m.y.)に形成された母岩の割目に濃集した鋳床である。

4-2 第四年次調査への提言

以上のとおり過去3年間の調査から各種の基礎的データが得られたが、今後の探査方針としては下記のプライオリティによる探査が実施されることが望ましい。(Fig. 2)

1. Perau地区のボーリング調査によって発見された層状鋳床の西方および北方でボーリング調査を実施して本鋳床の規模を把握する。
2. Barrinha地区のIPおよびSIP異常帯は鋳化作用に起因する可能性があるため、ボーリング調査により明らかにする。
3. Furnas地区は脈状~不規則塊状鉛鋳床の賦存する可能性が大と考えられるため、地質精査、物理探査(IPまたはSIP)およびボーリングを実施して潜頭性鋳床存在の有無を明らかにする。
4. Perau地区の北東Canoas地区にはPerau地区と同様の鋳化作用が存在するため、地質精査および物理探査(SIP)を実施して鋳床賦存の可能性を探究する。

各 論

I. 地質調查

第 1 章 準 精 査 地 区

1-1 地 質

1-1-1 概 説

準精査地区の地質は、下位より先カンブリア系の Açungui (アスンギ) I 層・ Açungui II 層・ Açungui III 層の変成岩類から構成され、これらにブラジル造山輪廻期(750~500 m.y.)の変塩基性岩類・花崗岩類および白亜紀の輝緑岩類岩脈が貫入している。

Açungui I 層~ Açungui III 層の変成岩類および変塩基性岩類はブラジル造山輪廻期の変成作用を蒙り、緑色片岩相~緑レン石角閃岩相の変成相に属する。

地質構造は、略 NE-SW 系の褶曲・断層構造が卓越するが、そのほかに NNW-SSE 系の褶曲構造、N-S 系の断層構造および輝緑岩岩脈の貫入方向を示す NW-SE 系も認められる。

鉍床・鉍徴地に関しては、Açungui III 層の石灰岩類に胚胎する鉍脈型鉛鉍床(第二年次地域の Rocha 型鉍床)が多数分布している。

Plate I-1 および Fig. I-1 に地質図を、Fig. I-2 に総合地質柱状図を、各ブロックの対比柱状図を Plate I-3 に示す。

1-1-2 地 質 層 序

本地域の地質は、雲母片岩類、千枚岩類、変砂岩および石灰岩類を主とする Açungui 層群[※]から構成される。

今回の調査結果、本地域内で従来 Açungui I 層とされていたものを、Açungui I 層および Açungui II 層に細分した。

(1) Açungui I 層

Açungui I 層は本地域の最下部を構成する。千枚岩類を主体とし、変玄武岩と極少量の変砂岩~変礫岩を挟在する。本層は従来 Açungui I 層としたものの中で、Iporanga (イポランガ) 東部の変玄武岩の発達する部分を Açungui I 層と再定義した。

分 布

本層は調査地域の東縁部に分布する。Iporanga 付近より Serra do Monte Negro を結ぶ線の東部を占め、NNE-SSW の走向を示す。

層 厚

下位層が分布していないので、真の層厚は不明であるが、Serra do Monte Negro 東部で最大層厚は、3,000 m 以上と推定される。

※ Açungui 層群は従来の調査によって下位より Açungui I 層、II 層および III 層に区分されている (JICA, 1980)。

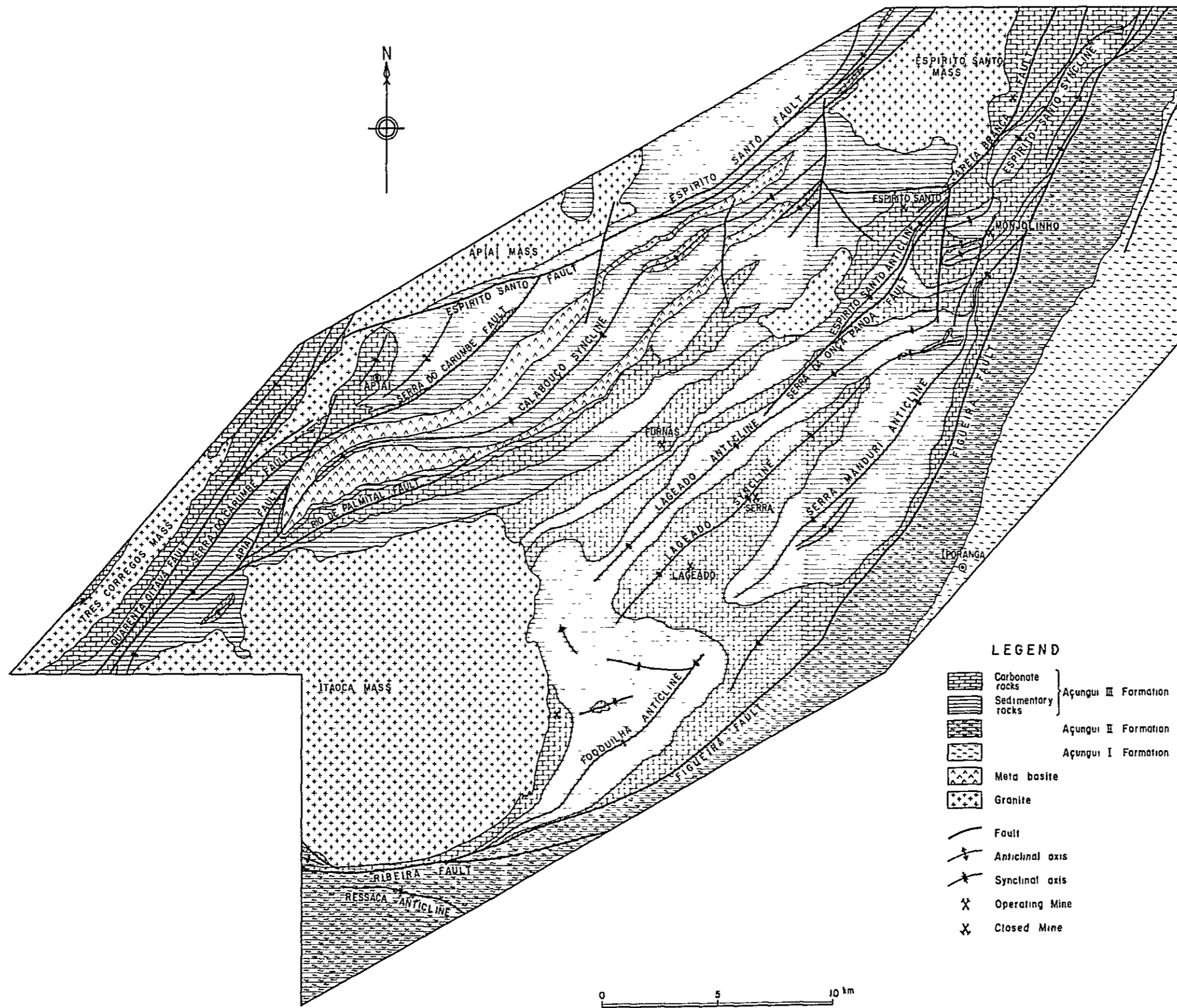


Fig. I -1

Geological Map of Survey Area

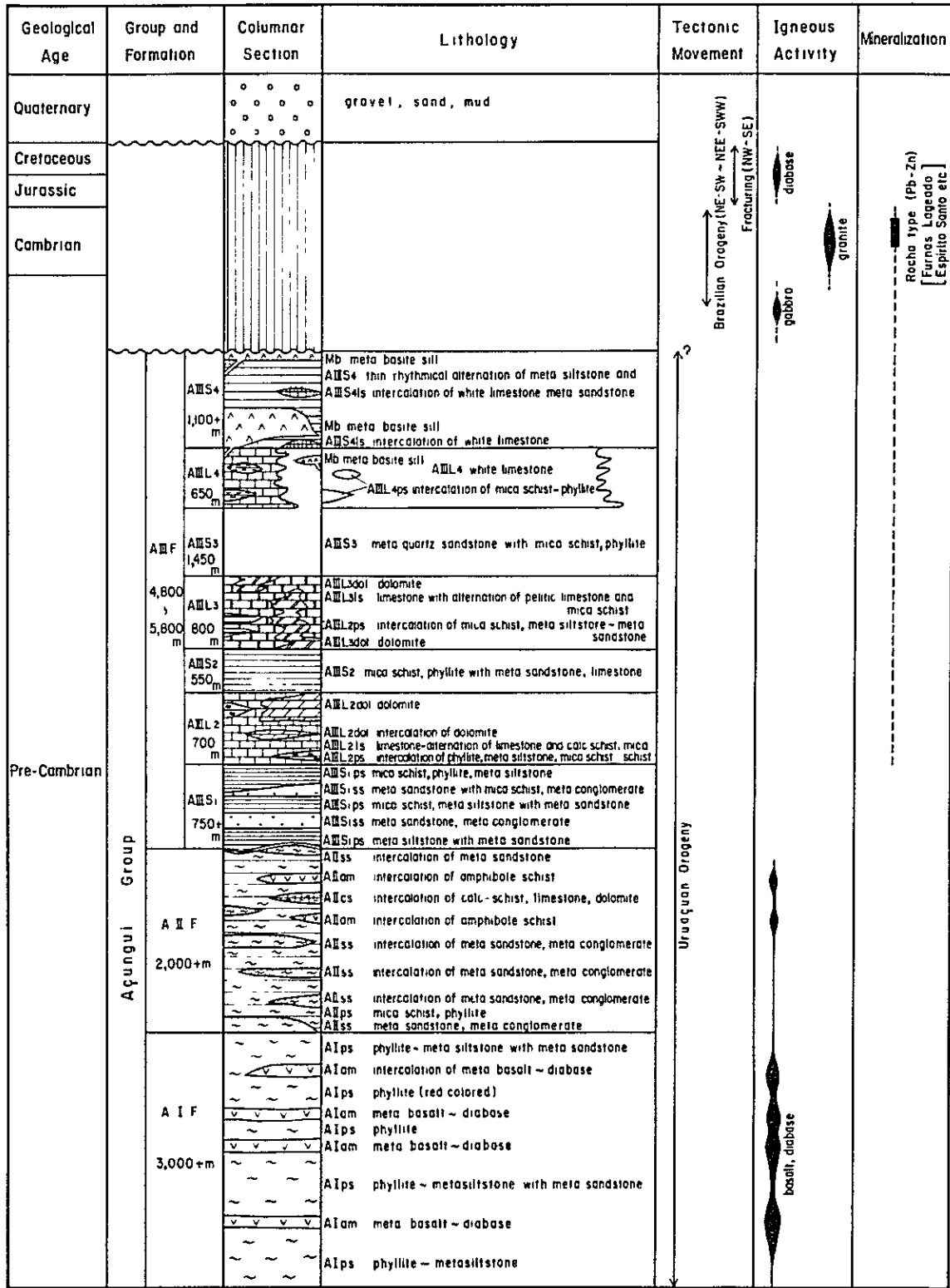


Fig. I - 2 Generalized Stratigraphic Columnar Section in Survey Area

岩 相

本層は、千枚岩～変シルト岩 (AIps) を主要構成岩類とし、変玄武岩 (AIam) および変砂岩～変礫岩薄層を挟在する。

(a) 千枚岩～変シルト岩 (AIps)

片状組織の明瞭なものを千枚岩、不明瞭なものを変シルト岩と呼称する。大部分が千枚岩よりなり、変砂岩～変礫岩の薄層を挟在する。千枚岩は淡褐色または紫灰色～灰緑色、細粒を呈する。主要構成鉱物は白雲母と石英からなり、ほかに石墨、赤鉄鉱および緑泥石を認める場合もある。

Serra do Monte Negro 東部では、赤色千枚岩 (含赤鉄鉱) が本層上部の 2 枚の変玄武岩溶岩の間に発達しており、この付近の鍵層として有効である。

Iporanga 北部では千枚岩は淡褐色～青紫色を呈し、細粒部と粗粒部が厚さ 5～10 cm 程度の互層をなし、層理は明瞭に観察される。

千枚岩中に薄層として挟在される変砂岩～変礫岩は、白色塊状の細粒を呈する石英質砂岩と千枚岩、珪岩および石英などを主要構成礫とする礫岩である。Feital 部落西方では、絹雲母を含んで弱い片状組織を示すものがみられる。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

千枚岩 (E-578)

位置：Morro do Mouro

組織：レピドプラスティック組織

構成鉱物：石英>白雲母、赤鉄鉱>緑泥石>アクチノ閃石

石英は他形で、0.01mm 前後の微細粒結晶である。白雲母は微細粒、他形～半自形結晶で、定方向配列を示し、アクチノ閃石および緑泥石に密接に伴われる。

アクチノ閃石は 0.02mm 大の半自形結晶が白雲母、緑泥石および石英の微細粒集合体中に点在している。

赤鉄鉱は 0.01mm 前後の大きさで、白雲母、緑泥石、アクチノ閃石および石英の粒間に分布する。

(b) 変玄武岩溶岩 (AIam)

本岩は暗緑色の細粒～中粒岩で一般に塊状を呈するが、末端部および周縁部では片状の岩相を呈す。地形的に鞍部を形成して走向方向によく連続し、最大 17 km に達する。層厚は数 10 m から 100 m 以下であり、厚さの変化は少ない。地域内では大小合わせて 7 層分する。低変成岩ではサブオフィチック組織が観察される。構成鉱物は主に斜長石、輝石よりなり、変成鉱物としてアクチノ閃石を有する。

本岩の起源については溶岩か岩床かを定めることは困難だが2枚の近接した変玄武岩の間に凝灰岩起源とみられる緑色千枚岩を伴うことから本岩の起源は玄武岩質溶岩と考えられる。

なお第二年次地域では角閃岩類が主体を占めていたので符号はAI amをそのまま使用した。

層位関係

本調査地域の南部(第二年次の調査地域)では、本層の下位にSetuba層,上位にAçungui II層が整合的に分布している。本調査地域のAçungui I層を構成する岩石は岩相および層序関係からAçungui I層の上部に対比される。そして上位のAçungui II層に整合的に覆れる。

(2) Açungui II層

Açungui II層は主として雲母片岩~千枚岩からなり、一般に下部に変砂岩~変礫岩を挟在するが、Itaoca(イタオカ)南部では上部に角閃岩を挟在し、さらに角閃岩に近接して石灰岩類の薄層を伴う。本層は従来Açungui I層とされていたものの中で、Iporanga西部~Figueira(フィゲイラ)断層間に分布し、変砂岩~変礫岩を多く挟在する部分をAçungui II層と再定義した。

分布

本層はFigueira断層東部に幅2.5km~4.0kmを有し、帯状に分布するほか、Ribeira(ヒベイラ)断層南部より地域外南東部にかけて広く分布する。

層厚

本層は小褶曲構造が発達し、構造の把握が困難なことから正確な層厚の推定は難しいが、地域北東部および南部では2,000m以上と推定される。

岩相

本層は主として雲母片岩~千枚岩(AII ps)からなり、少量の変砂岩~変礫岩(AII ss),角閃岩(AII am)および石灰岩類(AII cs)を挟在する。

(a) 雲母片岩~千枚岩(AII ps)

雲母片岩はItaoca南東部のRibeira断層以南に発達する。灰色~暗灰色、部分的に淡緑色、黄緑色を呈し、細粒~中粒の岩石である。下部~中部では石英、セリサイトを含む白雲母-黒雲母片岩が主体をなし、ザクロ石(径3~4mm)の斑状変晶が片理構造に斜交して晶出している。中部~上部では一部に石墨質な部分を挟在するセリサイト-緑泥石片岩よりなり、磁鉄鉱の斑状変晶を包有する。

千枚岩はFigueira断層東部に帯状に分布する。淡褐色~赤色または淡緑色を示し、

Açungui I 層の千枚岩の岩相とは肉眼的な差異は認められない。片理は局部的に波状を呈するが、概して発達は良くない。

地域北東部では Açungui I 層との境界より西側へ 700m~800m の地帯に赤色千枚岩が広く分布している。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

緑泥石-黒雲母片岩 (B-602)

位置：Ressaca 西方 2 km

組織：レビドプラスチック組織

構成鉱物：石英>白雲母>黒雲母>斜長石>緑泥石、緑レン石、堇青石

石英は 0.05~0.1mm 大で他形の粒状集合体を示し、波動消光が認められる。

白雲母は 0.05~0.2mm 大の半自形結晶で、定方向配列を示す。

黒雲母は、平均 1mm 大の自形斑状変晶を形成し、多くは回轉變位を示す。石英をポイキロプラスチックにとり込んだり、周縁に白雲母を形成することもある。

斜長石は少量認められ、一部カールスパッド双晶を示すが、ほとんど双晶は認められない。

緑レン石は 0.04mm 大の粒状で他形結晶がまれに認められる。

緑泥石は主として白雲母の粒間に、一部黒雲母の周縁に形成され、まれに堇青石を交代しているものもある。

堇青石は、0.1mm 大の粒状他形結晶で、一般に緑泥石化している。

(b) 変砂岩~変礫岩 (A II ss)

灰色~褐色、中粒~粗粒を呈し、一部に千枚岩の薄層を挟む。

地域南東部の Rio Ribeira 付近より北東部の Serra do Monte Negro 付近に向って最大層厚 150m を示して、細長く断続しながら分布する変礫岩卓越層は本層の最下部を構成し、これより上位を Açungui II 層とした。

変礫岩は Iporanga のテレビ塔に至る山道や調査地域南部の Rio Ribeira 沿いの Açungui I 層の直上に分布する。礫は千枚岩、珪岩、変砂岩を主体とし、一部 Iporanga には花崗岩、片麻岩の礫と思われるものも認められる。礫径は 5mm~5cm 大からなり、最大 20cm 大のものも観察され、レンズ状を呈する。一般に淘汰、級化層理は不良である。マトリックスは石質砂岩からなり弱い片理を示す。Iporanga 南西部の Rio Taquaravira の変砂岩は部分的に黒雲母を含み、塊状の石英質な部分も認められる。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

変礫岩 (D-528)

位置：Iporanga 南西方 3.5 km

組織：レピドプラスチック組織

構成鉱物：白雲母>石英>斜長石>アクチノ閃石，緑泥石，石墨

白雲母は 0.01_{mm}程度の小結晶で半自形を呈し，部分的に微細粒集合体（セリサイト）として存在する。

石英は 0.01～0.04_{mm} 大の細粒の他形結晶である。

斜長石は石英とモザイク状集合層をなし，カールスバッド双晶を示すこともあるが，多くは双晶は認められない。また径 1.7_{mm}大の砂質際に平均 0.2_{mm}大のやや大きな結晶が認められる。

石墨は，白雲母と微細粒集合薄層を形成したり，白雲母集合体の境界に沿って形成していることもある。

アクチノ閃石は，半自形を呈し，白雲母，石墨および緑泥石ともに微細粒集合体をなす。

(c) 角閃岩 (A II am)

角閃岩は調査地域南部において，本層上部に 3～4 枚の薄層として分布する。淡緑色～暗緑色，中粒～粗粒を呈し，塊状～片状の組織を示す。角閃岩が分布する付近は角閃岩より緑泥石－セリサイト片岩を経て雲母片岩に漸移する傾向がみられる。

(d) 石灰岩類 (A II cs)

石灰岩類は，石灰岩，苦灰岩，石灰質千枚岩および石灰片岩などからなり，地域北東部のRibeirão da Pescaria 付近以北および地域南部Ressaca 西部に分布し，角閃岩層 (A II am) に近接して発達する傾向がみられる。

白色～暗灰色を示すが，Açungui III 層の石灰岩類に比べ明るい色調を呈す。

Projeto Leste do Parana (1977, CPRM) によればRessaca 西部および南部では小規模の石灰片岩中に Cu, Pb, Zn 鉱徴の記載があるが，今回の調査では確認することはできなかった。

層位関係

第一年次の調査ではFigueira 断層の東部地域はAçungui I 層として一括されていたが今回の調査では地域南東部Rio Ribeira 付近からSerra do Monte Negro 付近にかけて分布する変砂岩～変礫岩 (A II ss) の下底を境界として下部をAçungui I 層，上部をAçungui II 層に区分した。Açungui II 層はI 層を整合的に覆っているが，上部のAçungui III 層とは，Figueira 断層で接している。

また、地域南部では、Medes 部落南部で変砂岩を最下部とし Açungui I 層を整合的に覆うが、上部は Ribeira 断層に切断される。

(3) Açungui III 層

本層は主として雲母片岩、千枚岩、変砂岩および石灰岩類から構成される。本地域中央部を中心とし、北東部および西部に広く分布する。

第二年次の調査では、石灰岩類と変堆積岩類の組合せにより、下部層 (A III L₁, A III S₁) 中部層 (A III L₂, A III S₂) および上部層 (A III L₃, A III S₃) の 3 部層に区分された。今回の調査では、これら各部層の延長を詳細に追跡した結果、さらに上位に石灰岩類 (A III L₄) および変堆積岩類 (A III S₄) が存在し、4 部層よりなることが判明した。

しかし、A III L₄ の分布は限られ、層序的には A III S₃ 上部と指交関係にあることから、今回は部層別に分類するのを避けた。また、各地層をさらに岩相別に細分した。

(a) A III S₁ 層

本層は雲母片岩～千枚岩、変シルト岩および変砂岩～変礫岩などから構成される。

分 布

調査地域の中央部および南東部を通る Lageado 背斜、Serra Manduri 背斜などの背斜構造のコアとして Morro do Manduri～Serra Sem Fim, Morro Grande～Fopouilha の山岳地帯に、上位の A III L₂ 層を取り囲むように分布する。

層 厚

層厚は Iporanga 西 4 km の Betari から Rio Betari に沿った上流 4 km 付近で最大 750m 以上を示す。

岩 相

雲母片岩～千枚岩および変シルト岩 (A III S_{1ps}) が主要構成岩類で変砂岩～変礫岩 (A III S_{1ss}) を挟在する。

雲母片岩～千枚岩～変シルト岩 (A III S_{1ps}) のうち雲母片岩～千枚岩は地域南部の Porto Velho, Fopouilha, Serra Sem Fim 付近に優勢に発達し、紫灰色～帯赤色を示し、細粒～中粒のセリサイト-緑泥石片岩～千枚岩よりなり、部分的に暗褐色の石墨質片岩および灰色石英-セリサイト片岩を挟在する。一部にはクロリトイド (φ6mm × 4mm) を包有し、しばしば層理面と片理面が斜交するところが各所に観察される。

変シルト岩は地域北東部の Rio Betari-Morro do Manduri に広く分布し、地域南部より北東部に向って変成度は低くなる傾向を示し、灰～紫灰色を呈し、塊状の岩相である。

変礫岩～変砂岩 (A₁S₁ss) は赤灰色を呈す。変礫岩の礫は、珪岩のみよりなり、礫径 4～15 mm で亜角礫～亜円礫を示し淘汰不良である。変砂岩は灰白色、細粒～中粒の石英砂岩でクロリトイドを含む。一部には変シルト岩～セリサイト片岩を挟在する。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

変礫岩 (I-546)

位置：Betari 西方 3 km

組織：グラノプラスチック組織

構成鉱物：石英>カリ長石>白雲母>緑泥石>赤鉄鉱、不透明鉱物、ジルコン

石英は粒状他形を呈し、1.0 mm 大の単一結晶ないし 0.05～0.2 mm 大のモザイク状集合体で、波動消光が著しい。

白雲母は 0.02～0.12 mm 大で自形～半自形を呈し、石英およびカリ長石の粒間をうめるように集合体として、あるいは単独に点在する。

赤鉄鉱は微細粒集合体として石英およびカリ長石の粒間に認められる。

緑泥石は白雲母の周縁に形成したり、細粒集合体のブールを形成している。一部 Fe にともむ緑泥石もある。

ジルコンは 0.05 mm 程度で粒状の他形結晶である。

(b) A₁L₂層

石灰岩と苦灰岩が主要構成岩類で、局所的に千枚岩類の薄層を挟在する。

分 布

調査地域中央部から Figueira 断層まで、および地域西部の Apiai 南西部付近に分布する。地域中央部では Lageado 背斜、Lageado 向斜および Serra Manduri 背斜などの褶曲構造によって繰り返しながら、NE-SW 方向に帯状および盆状の形を呈して分布する。また本地域西部では Apiai-Ribeira 道路に平行な Quarenta Oitava 断層の西側に細長く分布する。

本層の石灰岩中には Lageado, Agua da Limeira, Santo Antonio do Pavão などの各鉛鉱床および Santana 鉛鉱徴や Sette Barras 螢石鉱床などが胚胎しており、本層上位の A₁L₃層と合わせ、本地域の重要な鉛鉱床胚胎母岩となっている。

層 厚

層厚は Rio Iporanga 付近で 650 m, Lambari～Lageado で 500 m～750 m, Apiai～Ribeira 道路付近では約 800 m と推定される。

岩 相

A \parallel L₂層の主要構成岩類は石灰岩(A \parallel L₂ls)および苦灰岩(A \parallel L₂dol)である。下部では石灰岩(A \parallel L₂ls)が優勢に発達し、中～上部で苦灰岩(A \parallel L₂dol)が卓越する。

石灰岩(A \parallel L₂ls)は北東部では灰色～暗灰色、細粒～中粒を呈し、泥質～塊状緻密質な岩相を呈す。この中に層理が明瞭な変砂岩～変シルト岩(A \parallel L₂ps)を層厚数10m～100mの厚さで挟在する。

Lageado～Lambari 周辺では下部で暗灰色、細粒、泥質石灰岩が発達し、石灰質泥質岩～砂質岩および千枚岩類(A \parallel L₂ps)と苦灰岩の薄層を挟在する。石灰岩中にはしばしばクロスラミナおよび細粒の黄鉄鉱染が認められる。上部では暗灰色～灰色を呈し、塊状緻密の細粒～中粒石灰岩よりなり、その中に層理の明瞭な泥質石灰岩を挟在する。また、Serra周辺ではクロスラミナが発達した暗灰色、細粒、泥質苦灰岩～灰色細粒苦灰質石灰岩を挟在し、Corrego de Cotia上流では断層帯中に珩質岩の角礫帯が認められる。Lageado鉱床は、本石灰岩層の下部に胚胎する脈状鉛鉱床である。

Apiai～Ribeira道路には石灰-珩酸塩岩が露出する。石灰岩はTres Corregos花崗岩の貫入により、熱変成を受け、石灰、珩酸塩鉱物を特徴とするホルンフェルスになっている。淡緑色～灰色緻密な見掛けを呈し、黒雲母ホルンフェルスと、幅2cm～5cm単位で互層する。黒雲母、石英、透角閃石および緑レン石などを含有し、黒雲母(径3～4mm)の斑状変晶が認められる。

苦灰岩(A \parallel L₂dol)はA \parallel L₂層の中～上部(Lambari～Lageado)および上部(Monjorinho断層の両側)に分布する。暗灰色、細粒で塊状緻密質を呈し、肉眼的に石灰岩と区別することは困難である。一般に幅5～30cm程度で層状をなし、層理は明瞭である。

石灰岩、苦灰岩中には不規則に幅5cm以下の方解石脈、苦灰石脈がしばしば認められる。

(c) A \parallel S₂層

本層は主として雲母片岩～千枚岩よりなり、変砂岩を挟在する。

分 布

調査地域中央部ではMorro Grande北部～Santana～Espirito Santoに至るNE-SW方向に細長い帯状をなして分布する。地域北部ではEspirito Santo断層およびSerra do Carumbe断層以北に分布する。地域西部ではQuarenta Oitava断層の西側

に細長い分布を示す。

層 厚

Rio Betari では 350m であるが、その北東部では最大 700m に達する。Apiai 東部の Serra Agua Limpa 付近で 700m 以上である。地域西部 Pouso Triste では 300m 以上である。

岩 相

雲母片岩～千枚岩および変シルト岩 (A₁S₂) が卓越し、変砂岩～石英質砂岩を挟在する。極く一部に石灰岩、苦灰岩の薄層を挟む。

雲母片岩～千枚岩は灰色～赤褐色、細粒で片理が発達し、しばしば層理も観察され黒雲母-セリサイト片岩、石墨-セリサイト片岩の岩相を示す。本岩類は A₁S₁ 層の岩類と比較して、より砂質で Mn 成分に富み、各所に二酸化マンガンの汚染がみられる。

Rio Iporanga 左岸では片理がよく発達する雲母片岩、石墨片岩よりなり苦灰石とみられる斑状変晶を包有する。

Rio Betari 周辺ではセリサイト片岩が卓越し、赤色変砂岩～砂質片岩を挟在する。局部的にクロリトイドを含有し、黒色の石墨質な部分も観察される。

Apiai 東部では灰色～赤色の雲母片岩～千枚岩を主とし、黄色石英片岩～変砂岩を挟在するが、Espírito Santo 断層沿いのものは珪質岩に移化している。

Pouso Triste 地域では、暗灰色の石英-セリサイト片岩が Quarenta Oitava 断層に沿って細長く分布し、Tres Corregos 花崗岩周辺で粗粒のザクロ石を多量に包有する。

変シルト岩は赤色～紫灰色、細粒の岩相を示し、Serra de Paranapiacaba および Rio Iporanga 左岸などに露出する。Serra de Paranapiacaba では白色～赤色、細粒～粗粒を呈する変砂岩、一部アルコーズ質の石英片岩と互層し、Rio Iporanga 左岸では石灰岩、苦灰岩の薄層を挟在する。

(d) A₁L₃ 層

本層は主として石灰岩 (A₁L₃ls) よりなり、しばしば苦灰岩 (A₁L₃dol) を伴う。本層中には変砂岩および雲母片岩 (A₁L₃ps) を挟在する。

分 布

本層は Boa Vista～Furnas～Espírito Santo を結ぶ地域では一般走向 NE-SW を示し細長く分布するほか、Apiai～Pouso Triste を結ぶ地域は Carumbe 断層西側に帯状に露出する。

A III L₃ 層の石灰岩中には Furnas, Espirito Santo, Monjolinho de Sebastião および Braça da Pescaria などの鉛鋳床～鋳徴がほぼ一定の層準に胚胎しており、本調査地域では鉛鋳床の重要な母岩を構成している。

層 厚

層厚は Furnas 周辺では 840m～1,030m である。その北東延長部の Espirito Santo 付近では約 1,000m、地域西部 Caracol では上部が断層で切られ、層厚は不明であるが 800m 以上と推定される。

岩 相

石灰岩 (A III L₃ ls) は灰色～暗灰色、細粒～中粒を呈し、塊状緻密な岩相から粗粒な岩相まで変化する。A III L₂ の岩相に類似し、しばしばクロスリナが観察される。

Furnas 周辺では石灰岩 (A III L₃ ls) は比較的連続性の良い 2 枚の変堆積岩類 (A III L₃ ps) を挟在して上部・中部・下部に区分される。

下部の石灰岩は灰色～暗灰色、細粒～中粒、塊状石灰岩を主とし、部分的に泥質石灰岩、石灰片岩および変シルト岩～変砂岩の薄層を挟み、Furnas 鋳床の母岩となっている。中部の石灰岩は灰色、細粒～中粒の岩相が卓越し、細粒黄鉄鋳の鋳染が認められる。Furnas 西部の小沢では石灰岩・苦灰岩・セリサイト片岩の薄互層も認められる。上部の石灰岩は灰色～暗灰色、中粒～粗粒の岩相を呈し、部分的にクロスリナが発達する。しばしば方解石脈を伴う。

Espirito Santo 周辺およびその南西では苦灰岩が発達し、北東地域では石灰岩が優勢に発達する。石灰岩と苦灰岩とは肉眼的に岩相の差異は認められず、また A III L₂ 層との岩質的な違いは認められない。一般に幅 5～30cm の層状の構造が発達し層理は明瞭で、かつしばしば黄鉄鋳の鋳染が認められる。

Apiai 付近では主として暗灰色中～粗粒泥質石灰岩よりなり、変砂岩および変シルト岩の薄層 (20～50cm) と細かく互層する。Apiai 花崗岩体周縁部の石灰岩は接触変成作用を蒙り、塊状の晶質石灰岩となり、緑レン石およびザクロ石などを随伴する。

Camargo Correia の石灰岩採石場では、灰色～暗灰色、中粒～粗粒塊状の岩相を呈し Itaoca 花崗岩の近接部では大理石化して粗い岩相を呈し、粗粒の黒雲母片が多量に濃集する。

苦灰岩 (A III L₃ dol) は灰色～紫灰色または淡緑色の細粒～粗粒塊状苦灰岩で、方解石脈や苦灰石脈を伴う。

Furnas 周辺では 3 枚認められる。下部は灰色、細粒を呈し、中部は淡緑色～紫灰色を呈し、石英－亜鉛酸化鋳－黄鉄鋳細脈 (幅 5cm) および方解石細脈を伴う。上部は灰色、粗粒となり一部に暗灰色角礫状苦灰岩中に方解石－苦灰石の網状脈を随伴す

る。

サンパウロ州道373号線沿いでは、細粒で暗灰色部と淡灰色部の縞状模様の明瞭なゼブラ構造が観察される。

Espirito Santo 周辺およびその南西部では灰色、細粒で塊状緻密質な岩相を呈し、しばしばクロスラミナが観察される。

変堆積岩類(A III L₃ ps)は雲母片岩、変砂岩および変シルト岩などからなり、石灰岩、苦灰岩中に薄層として挟在される。

雲母片岩は暗灰色～褐色のセリサイト片岩が主体で石墨質な部分を伴う。変砂岩は灰色～褐色、細粒～中粒の変石英砂岩である。Apiai 付近では、変砂岩の層理面に斜交してザクロ石(径2～3 mm)の斑状変晶が認められる。

(e) A III S₃ 層

本層は主として変石英砂岩からなり、雲母片岩～千枚岩の薄層を挟在する。

分 布

Calabouço 向斜軸の南翼部および北翼部に細長く分布するほか Espirito Santo 向斜軸部に小規模に露出する。

Calabouço 向斜軸の南翼部では、Camargo Correia 石灰岩採石場付近より Serra Boa Vista, Serra da Vargem Grande を通り Espirito Santo 北部に分布し、同向斜軸北翼部では、サンパウロ州道373号線に沿いに分布する。

層 厚

層厚は Boa Vista 山地では900mであるが、その北東部 Serra da Vargem Grande 付近で1,500mに達する。

岩 相

本層の主要岩相は変石英砂岩(A III S₃)からなり、雲母片岩～千枚岩および一部に変シルト岩の薄層を挟在する。

変石英砂岩は灰白色～紫灰色または赤褐色で、細粒～中粒を呈し、塊状無層理の岩相や雲母片岩、千枚岩を伴って互層を示すものなどが観察されるが、一般に層理が明瞭である。局所的に黄鉄鉱の鉱染が認められる。

Espirito Santo 花崗岩の接触部付近にはセリサイト、空晶石が認められる。また、Itaoca 花崗岩の周辺ではザクロ石の斑状変晶が認められる。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

変石英砂岩(A-525)

位置: Furnas 北方2 km

組織：グラノプラスチック組織

構成鉱物：石英>カリ長石>白雲母>緑泥石，赤鉄鉱，不透明鉱物

石英は0.1~0.6mm大で歪円~歪角礫状の他形結晶である。またPartingおよび波動消光が認められる。

カリ長石は0.5mm大で歪円礫状の他形を呈し，細かな格子状双晶が認められる。

白雲母は0.02~0.06mm平均（最大0.1mm大）で半自形~自形を呈し，赤鉄鉱とともに石英およびカリ長石の粒間をうめている。また外縁部および劈開に沿って緑泥石化を受けている。

緑泥石は白雲母の劈開に沿うものおよびホルンブレンドを交代したものとがある。

ジルコンは0.06mm大の碎屑性結晶で，まれに認められる。

(f) A \parallel L₄層

石灰岩を主体とし，雲母片岩~千枚岩を挟在する。

分 布

Calabouço向斜軸の南翼に分布し，北翼には分布しない。すなわちGurutuvaよりCorrego Passa Vinte-Rio Betari 上流-Bairro da Cachimba 南東部まで細長い分布を示す。

層 厚

層厚はRio de PamitalよりRio Betari付近では530m~750mであるが，北東部に行くに従い層厚を減ずる。Bairro da Cachimba南東部では70m前後である。

岩 相

本石灰岩(A \parallel L₄)は白色~淡灰色，細粒~粗粒で比較的層理の明瞭な岩相が特徴で，暗灰色を呈すA \parallel L₂層およびA \parallel L₃層とは肉眼的に容易に識別される。

Rio de Pamitalでは褐色のセリサイト片岩~千枚岩の薄層を2層挟在する。Rio Betari付近では本石灰岩の上部は，不純な石灰岩となり苦灰岩および石灰片岩の薄層を挟在する。

また，Rio Betari上流では北東部に行くに従い石灰岩中に変石英砂岩(A \parallel S₃)の挟みが多くなり，変石英砂岩(A \parallel S₃)に漸移する。一方，Calabouço向斜軸の北翼には本石灰岩は分布せず，本層と同一層準には変石英砂岩(A \parallel S₃)が分布しており，両者は同向斜内部で指交関係で移化すると考えられる。

(g) AⅡS₄層

AⅡS₄層は調査地域に分布する地質の最上部を構成する。変シルト岩優勢な変シルト岩・変砂岩・炭酸塩岩類の薄互層が主体で、石灰岩の薄層を挟在する。

分 布

Gulutuva 西部より Parmital を通り, Bairro da Cachimba 東部付近まで Calabouço 向斜の軸部付近に帯状に分布する。

層 厚

AⅡS₄中に岩床状に進入した変塩基性岩類(後述)により2層に分断され,変塩基性岩類の下位では50m~320mを示し,上位では80m~780mを示す。

岩 相

灰色~淡緑色または褐色を呈する変シルト岩を主体とし,変砂岩および炭酸塩岩類などを伴う非常に規則的な薄互層(層厚5~10cm)である。局所的に珪質な岩相を挟在する。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

変シルト岩(B-544)

位置:Gurutuva 西方2km

組織:レピドプラスチック組織

構成鉱物:白雲母>石英>緑泥石>不透明鉱物>スフェーン, 紅柱石, クロリトイド

白雲母は平均0.05mm大で板状~柱状の自形を呈し,主として定方向配列を示すが,一部無方向のものもある。

石英は0.01~0.05mm大で他形を呈し,点在するものと細粒薄層を形成している場合がある。

緑泥石およびスフェーンは他形の細粒集合体である。

不透明鉱物は0.05mm程度の粒状結晶で点在している。

紅柱石は最大2mmに達する長柱状,半自形の斑状変晶として存在し,石英と不透明鉱物まれに白雲母をポイキロプラスチックに多量に取り込む。また劈開の発達が悪く,多色性もほとんどみられない。

クロリトイドは0.03mm大で柱状~短柱状の自形結晶がまれに認められる。

1-1-3 貫入岩類

本調査地域内に分布する貫入岩類は、変塩基性岩類、花崗岩類および輝緑岩類からなる。変塩基性岩類と花崗岩類は、先カンブリア紀末からカンブリア紀にかけて、ブラジル造山輪廻の産物とみられる。輝緑岩類は、ジュラ紀から白亜紀にかけて、南米卓状地の再活動に伴う塩基性火山活動の一部として、形成されたものと考えられる。

(1) 変塩基性岩類 (Mb)

分 布

本地域では、Açungui Ⅲ層中に岩床状形態を示して貫入し、Açungui 層群と共に褶曲および変成作用を蒙っている。

主要な岩体は、A Ⅲ S₄層中に貫入した岩体で、Calabouço 向斜軸部に沿って、延長28 kmにわたりNEE-SWW方向を示して細長く分布する。厚さは平均300~400 m、最大で780 mに達する。A Ⅲ S₄層中の上部にも小規模に貫入しているほか、Faz Bachada Grande 北東方のA Ⅲ S₃層の変石英砂岩中にも小岩体が見られる。

岩 相

暗灰色~暗緑色、細粒~粗粒塊状の変斑れい岩、変輝緑岩および変玄武岩など、様々な岩相を示す。一般に岩体内部では変成度は弱い、岩体周縁部では変成度は高くなる傾向を示す。構成鉱物は、斜長石、輝石およびアクチノ閃石が主で、緑泥石、緑レン石および磁鉄鉱などを随伴する。緑泥石脈や白色鉄物脈が部分的に発達する。

代表的な岩石の検鏡結果はつぎのとおりである。

変斑れい岩 (H-516)

位置：Pamital 南方1 km

組織：オフィチック組織

構成鉱物：斜長石 > オージェイト > ハイパーシン > アクチノ閃石、黒雲母、磁鉄
鉱

変成鉱物：アクチノ閃石、黒雲母

斜長石は平均1.5×0.4 mm大で自形~半自形の長柱状結晶をなし、アルバ
イト双晶やカールスパッド双晶を呈する。組成はアンデシンである。

オーヂャイトは平均1 mm以下、最大2 mm大でやや多色性が認められる。
しばしばビジョン輝石の離溶組織が見られる。

ハイパーシンは0.4 mm程度の他形結晶で多色性は弱い。しばしば虫くい
状にオーヂャイトの離溶組織が認められる。

アクチノ閃石は0.01~0.03 mm大でオーヂャイトの周縁を取り囲むよう

に存在する。黒雲母は0.1 mm大の他形～半自形結晶で量は少ない。

変斑れい岩 (E-583)

位置：Rio Betarizinho 右岸

組織：オフィチック組織

構成鉱物：アクチノ閃石，ホルンブレンド>斜長石>石英>スフェーン，緑レン石

変成鉱物：アクチノ閃石，緑レン石

アクチノ閃石はホルンブレンドの周辺に認められ，繊維状または長柱状の結晶で，かつ多片集合体をなす。

ホルンブレンドは，平均0.6×0.2 mm大で半自形～他形を示す。

斜長石は平均0.3～0.5 mm大で他形～半自形を示す。双晶はあまり認められず，組成はアンデシンである。

石英は0.1 mm以下で斜長石および緑レン石の周辺に認められる。一般に波動消光を示す。

スフェーンは他形結晶で，緑レン石を伴ってアクチノ閃石およびホルンブレンド中に片状構造と平行に配列している。

緑レン石は粒状他形を呈し，斜長石およびホルンブレンド中に認められる。劈開の発達が悪い。

貫入時期

貫入時期は Açungui 層群堆積後で，褶曲および変成作用以前であり，ブラジル造山輪廻の初期もしくは，それ以前の活動と考えられる。

(2) 花崗岩類 (Gr)

分 布

調査地域北東部から南西部に向かって，Espírito Santo 岩体の一部，Serra da Onça Panda 北方の岩体，Apiáí 岩体の一部，Três Córregos 岩体の一部，Itaoca 岩体の一部などがパンリスまたはストックとして，Açungui Ⅲ層を貫いて分布している。Itaoca 岩体は，地域内では最も広い分布を示しており，東西18 km，南北12 kmの楕円形でパンリス状に貫入している。同岩体周縁部では，Açungui Ⅲ層の変堆積岩類の捕獲岩塊が取り込まれている。

また岩脈規模の花崗岩質小貫入岩体も Itaoca 岩体周辺部，Lageado 南東部および Rio Betari 上流にみられる。

岩 相

淡灰色～灰色，細～粗粒塊状の黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩からなる。一般に斑晶は長径0.5～2cmのカリ長石斑晶を含むのが特徴で，Itaoca 岩体では最大5cm以上の斑晶を包有する。石基は1～3mm大のカリ長石，斜長石，石英，黒雲母，角閃石および磁鉄鈹などからなる。Espírito Santo 岩体では，ほかの岩体に比べて角閃石は一般に乏しい。

流理構造や肉眼的な変成組織は観察されていないが，Apiáí 岩体の一部ではマイロナイト組織を呈す。Itaoca 岩体周縁部ではNW-SE系の石英脈が所々にみられる。

代表的な岩石の鏡下での特徴は，つぎのとおりである。

黒雲母花崗閃緑岩 (C-685: Espírito Santo 岩体)

位置: Espírito Santo 北方4.5 km

組織: 粒状(～斑状)組織

構成鉱物: カリ長石, 斜長石 > 石英 > 黒雲母 > ホルンブレンド > ジルコン, セリサイト, 緑泥石, スフェーン, リン灰石, 緑レン石

二次鉱物: セリサイト, 緑泥石, スフェーン, 緑レン石

カリ長石は，他形の場合が多く，最大6mm以上でしばしば斑状組織を呈する。また，パーサイト構造が認められる。

斜長石はオリゴクレイスで半自形～他形結晶で種々の双晶を示す。一般に累帯構造も認められ，中心はセリサイト化を受けている。

黒雲母は0.8mm大の自形～半自形結晶で，Inclusionとしてリン灰石やジルコンを含む。また劈開に沿って緑泥石化を受けたり，スフェーンを含むところもある。

ホルンブレンドは0.8×0.2mm大の長柱状，自形～半自形結晶である。

黒雲母花崗岩 (I-558: Apiáí 岩体)

位置: Pinheiros 北東2 km

組織: 粒状組織

構成鉱物: 斜長石 > 石英 > カリ長石 > 黒雲母 > ホルンブレンド > ジルコン, セリサイト, 緑泥石, 緑レン石, スフェーン, リン灰石, 褐レン石

二次鉱物: セリサイト, 斜泥石, 緑レン石, スフェーン, 褐レン石

斜長石は3mm大の半自形結晶で，種々の双晶が認められるが，累帯構造は顕著ではない。また部分的にセリサイトに変質している。組成はオリゴクレースである。

石英は他形結晶で，波動消光が認められる。

カリ長石は最大のもは $6 \times 4 \text{ mm}$ で斑状を呈し、黒雲母、斜長石および石英を含む。一般にパーサイト構造を示すが、まれに格子状双晶がみられる。石英または斜長石との境界部付近ではミルメカイトを呈する。

黒雲母は $0.5 \sim 0.7 \text{ mm}$ 大の他形～半自形結晶で、緑泥石、スフェーンおよび果帯構造を示す緑レン石に変質している場合がある。

ホルンブレンドは $1.2 \times 0.5 \text{ mm}$ 大の半自形結晶で、多色性が顕著である。

貫入時期

貫入時期はブラジル造山輪廻の中で変成作用後の断層運動の前後と考えられる。

Cordani et al. (1967) による黒雲母の K/Ar 年代測定では、Tres Corregos 岩体が $510 \pm 15 \text{ M.a.}$ を示し、Itaoca 岩体が $500 \pm 15 \text{ M.a.}$ を示し、いずれもカンブリア紀初期に相当する。

Cordani et al. (1967) によればブラジル造山輪廻時期の花崗岩類の貫入時期はつぎのように区分される。

- ① $650 \sim 600 \text{ m.y.}$ 造山運動中の貫入
- ② $600 \sim 590 \text{ m.y.}$ 造山運動後期の貫入
- ③ $590 \sim 500 \text{ m.y.}$ 造山運動末期の貫入

したがって本地域の花崗岩類は③期の造山運動末期の貫入と考えられている。

(3) 輝緑岩類 (Db)

分布・産状

輝緑岩類は、NW-SE 系の岩脈で Açungui 層群および Itaoca 花崗岩体を貫く。岩脈の幅は、数 m ～ 数 $10 m$ のものが多く最大 $75 m$ を示す。走向延長は様々であるが、最大のものでは 15 km に達する。また岩脈の間隔は約 12 km で、規則的に 4 帯配列する。

岩相

暗灰色～暗緑色、中粒～細粒の輝緑岩またははんれい岩からなる。構成鉱物は、斜長石、輝石を主とし、黒雲母や磁鉄鉱を含むものもある。一部の岩体では、自変質的な弱い熱水変質作用を蒙っており、緑泥石や黄鉄鉱を生じている。また極く一部には玢岩様の岩相を呈する部分もある。

代表的な岩石の鏡下の性質は、つぎのとおりである。

斑れい岩 (C-501)

位置：Bairro da Cachimba 北東方約 3 km

組織：オフィチック組織

構成鉱物：オージャイト、斜長石 > アクチノ閃石 > 黒雲母

オージャイトは最大 2.5 mm 大で、粗粒結晶の周囲に光学的方位の異なる細粒結晶が取り囲む。

斜長石はオージャイトとほぼ等量で最大 2.6×0.8 mm の長柱状、半自形結晶である。組成はラブラドライトである。

アクチノ閃石は他形～半自形結晶で、2つの産状を示す。1つは単独に存在する場合、ほかの1つは不透明鉱物を伴ないオージャイトを交代する場合である。

黒雲母は非常に小さな結晶で半自形～自形を呈し、多色性は非常に強い。

輝緑岩 (C-681)

位置：Bairro da Cachimba 西南西約 2.5 km

組織：オフィテック組織

構成鉱物：オージャイト > 斜長石 > 緑泥石、磁鉄鉱

オージャイトは 0.3～0.4 mm 大の粒状他形結晶が多い。周縁部に緑泥石がみられる。

斜長石は最大 2×0.06 mm 大で、長柱状半自形結晶を示す。組成はアンデシンである。

貫入時期

輝緑岩類はブラジル造山輪廻後の活動で、ジュラ期より始った、南米卓状地の再活動に伴う塩基性火成活動の一部とみられ、ジュラ紀～白亜紀に貫入したと推定される。

1-1-4 変成作用

第二年次調査では、野外観察、岩石分析、鏡下観察などによって Setuva 層、Açungui I, II, III 層の変成岩の鉱物組み合わせを識別し、変成相分帯図を作成した。

本調査地域は、第二年次調査の北部に位置し、今回の調査では、第二年次の調査結果をもとに野外観察、鏡下観察により変成相の分帯を行なった。今回の調査と第二年次の調査を総合した変成相分類表を Table I-1 に、変成分帯図を Fig. I-3 に示す。

Setuva 層、Açungui I, II, III 層の変成作用は広域変成作用と接触変成作用に分類される。

(1) 広域変成作用

本調査地域の変成岩の構造は NE-SW 系を示し、ブラジル造山輪廻にともなって生成されたものである (JICA and MMAJ, 1981, 1982)。

Table I — 1 Classification of Metamorphic Facies of Survey Area

type of metamorphism	origin rock	metamorphic grade		→ height
		low ←		
regional metamorphism	pelitic rock	muscovite (sericite) zone	biotite zone	garnet zone
		graphite-sericite-muscovite-Assem.	muscovite-biotite-Assem.	garnet-muscovite-biotite-Assem.
	Basic rock	green rock facies		epidote-amphibolite facies
		chlorite-epidote-Assem.	actinolite-epidote-Assem.	(garnet)-epidote-amphibole-Assem.
contact metamorphism	pelitic rock	biotite hornfels		biotite-garnet hornfels
	carbonate rock	marble		

Assem. : Assemblage

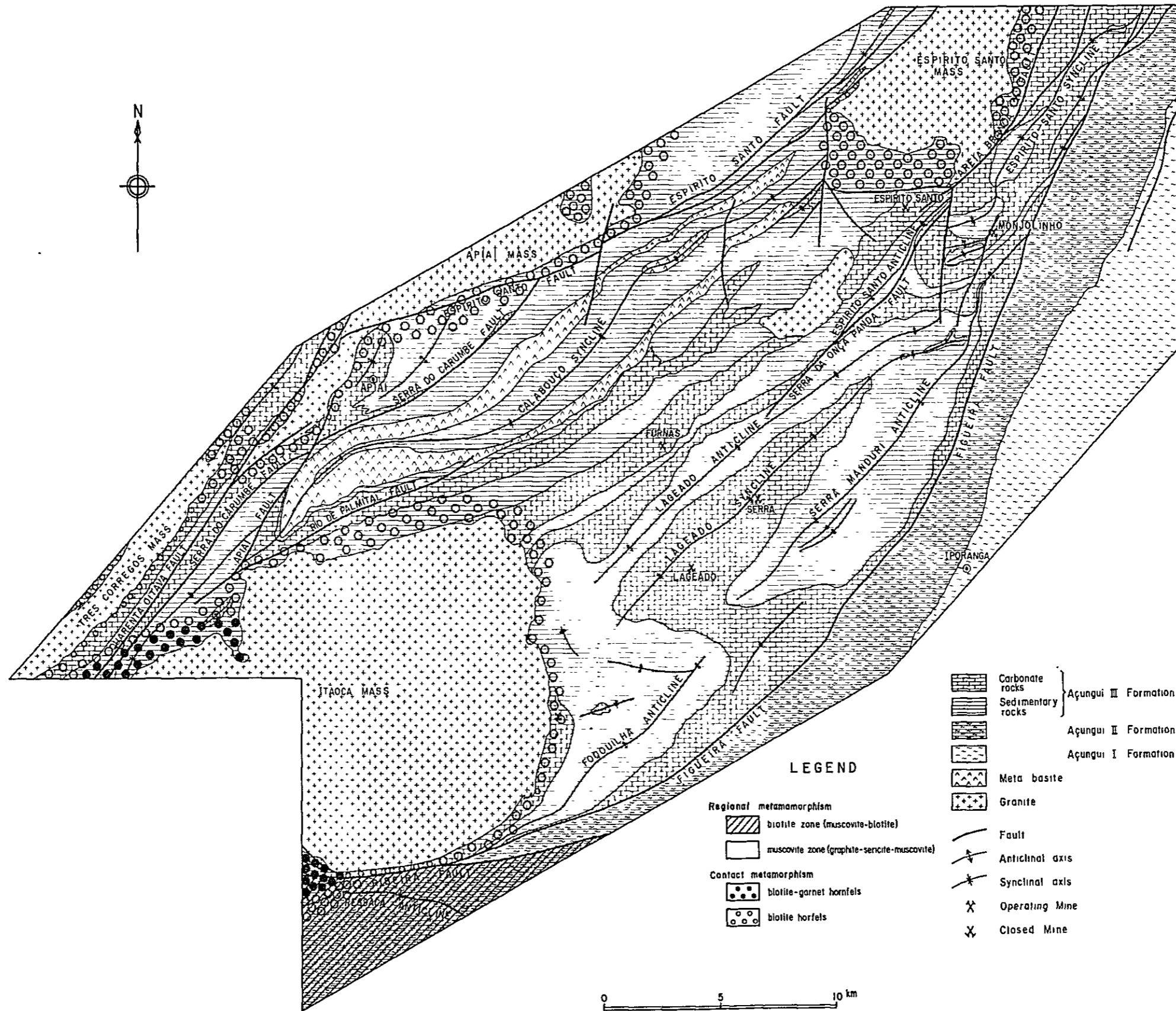


Fig. I - 3 Metamorphic Facies Map in Survey Area

砂・泥質岩起源の岩石は、鉱物組み合わせにより、①ザクロ石帯 ②黒雲母帯 ③白雲母帯に分帯される。

- ① ザクロ石帯 …………… 黒雲母－ザクロ石
- ② 黒雲母帯 …………… 白雲母－黒雲母
- ③ 白雲母帯 …………… 石墨－セリサイト－白雲母

①ザクロ石帯は第二年次調査地域に存在するが、本調査地域で認められなかった。

②黒雲母帯は第二年次調査地域より連続し、Ribeira断層以南に分布する。③白雲母帯はRibeira断層の以北の本調査地域全域に分布する。

変塩基性岩類は緑色片岩～緑レン石角閃岩相に属し、泥質岩の鉱物帯とはつぎのような対応がある。

Ribeira断層以南にはAçungui II層の角閃岩(AIIam)が分布するが、この鉱物組み合わせは緑色片岩相のアクチノ閃石－緑レン石ないし、緑レン石－角閃岩相の緑レン石－角閃石である。これらの鉱物組み合わせは泥質岩の②黒雲母帯に対応する。

Ribeira断層以北のAçungui III層中に岩床状に貫入している変塩基性岩の鉱物組み合わせは、南部では緑色片岩相の緑泥石－緑レン石、北部では緑色片岩相のアクチノ閃石－緑レン石で、北部がやや変成度が高くなる傾向が認められる。これらの鉱物組み合わせは泥質岩の③白雲母帯に対応する。

(2) 接触変成作用

本調査地域では、ブラジル造山輪廻の末期の貫入と考えられるTres Corregos, Apíai, Itaoca, Espírito Santoなどの花崗岩体の周辺に、黒雲母の斑状変晶を含む黒雲母ホルンフェルスが生成している。Itaoca岩体の西部にはザクロ石ホルンフェルスが生成し、その外帯に黒雲母ホルンフェルスが生成している。

また花崗岩体に近接する石灰岩類中には、一部に大理石化あるいはスカルン化が明瞭に認められる。

1-1-5 地質構造

本地域は、ブラジルの地質構造区分上、Mantiqueira構造区のApíai褶曲帯中に位置する(Almeida, F.F.M, 1981)。また本地域の東方には、トランスアマゾン造山輪廻(2,200～1,800m.y.)に形成されたと考えられる結晶複合岩類(片麻岩類～ミグマタイト岩類)からなるParaba do Salと呼ばれる海岸山脈がある。

本地域の地質構造を大きく支配する方向は、NE-SW系～NEE-SWW系である。これらの地質構造の方向は、ブラジル造山輪廻期(750～500m.y.)に形成されたと考えられてい

る。さらにこれらの構造内部には、より古い時代の造構運動によって形成されたと考えられる NNW-SSE 系の褶曲構造が残存しているのが認められる。上記の各地質構造の方向を切つて NW-SE 系および N-S 系の断層構造が発達する。この方向は本地域内で最も新期の地質構造と考えられている。

Figueira 断層南東側に分布する Açungui I・II 層の地質構造は、NE-SW 系の構造が卓越するが、層理面が不明確であること、見かけの傾斜が非常に急であり、詳細な褶曲構造や断層構造などの把握は困難である。しかし広域地質の見地から、大小のオーダーの褶曲をくり返しながら北西側に向つて若くなると推定される。

Figueira 断層および Ribeira 断層の北西側に分布する Açungui III 層は、石灰岩類および変堆積岩類の厚い互層が特徴的で、地質構造の把握は、野外調査においても、空中写真上でも比較的容易である。本層中では、NE-SW 系～NEE-SWW 系の地質構造が卓越する。

以下に本地域に特徴的な褶曲構造、断層構造および小構造について述べる。

(1) 褶曲構造

褶曲構造を分類する場合、変形様式による分類、褶曲形態に基づく分類、褶曲軸長によるオーダーの分類、波長-振幅比による分類など、種々な分類の方法がある。

本地域の褶曲構造に関しては、地層別に褶曲軸長の規模、褶曲の形態および褶曲軸の方向などについて述べる。

(a) Açungui II 層中の褶曲構造

Ressaca 向斜(仮称)……本地域南西縁部に位置する。褶曲軸の長さは、地域内では 7 km であるが、さらに Ribeira 断層に沿つて東方に約 60 km が認められている。平面における褶曲軸の分布形態は、NNW-SSE 系の褶曲をもち波曲しながら SSE 方向へ 5° ～ 10° ブランジする。断面における褶曲形態は、北翼が 60° ～ 70° S、南翼が 30° ～ 40° N の傾斜を示し、褶曲軸面がほぼ垂直～やや北に傾斜する非対称褶曲である。

(b) Açungui III 層中の褶曲構造

本層中には古い時代に形成されたと考えられる NNW-SSE 系の褶曲構造と、調査地域全体を支配する NE-SW 系～NEE-SWW 系の褶曲構造が認められる。

○ NNW-SSE 系の褶曲構造：

この系統の褶曲構造は、Lageado 周辺の A III L₂ 層中に認められる。褶曲軸の長さは 0.5～1.5 km で、褶曲の波長は 1.5 km である。また褶曲形態は、褶曲軸面が垂直で、翼間角のゆるやかな特徴を示す。また NE-SW 系～NEE-SWW 系の褶曲構造中に NNW-SSE 系の古い褶曲構造が残存して、NE-SW 系褶曲軸のブランジの方向を変えることがある(Pamital 付近および Morro do Manduri)。

○ NE-SW系～NEE-SWW系の褶曲構造：

この系統の褶曲構造は、Açungui III層中に顕著に認められ、かつ本調査地域の地質構造を支配する方向である。これらは褶曲軸の長さにより下記のように第1次から第4次のオーダーに分類される。

第1次のオーダーは、褶曲軸の長さが35 km以上のCalabouço向斜(D.N.P.M., 1977)およびSerra Manduri～Foqueilha背斜(仮称)、第2次のオーダーは褶曲軸の長さが20 km前後のLageado向斜(仮称)およびLageado背斜(仮称)、第3次のオーダーは褶曲軸の長さが10 km前後のEspírito Santo向斜(仮称)およびEspírito Santo背斜(仮称)、第4次のオーダーは褶曲軸の長さが5 km以下でMonjolinho 鉱床北東部、Betari 北西部およびApirai 周辺に発達する。

Table I-2 に第1次～第3次のオーダーの褶曲形態の特徴を示す。

(2) 断層構造

本地域の地質構造を大きく支配する断層構造の方向は、NE-SW系が卓越する。またこれらの断層を切って小規模なNW-SE系およびN-S系断層が認められる。

(a) NE-SW系の断層

Figueira断層(D.N.P.M., 1972)……地域北東部のRibeirão Grande中流から南部Ressacaまで連続し、Açungui II層とAçungui III層を境する本地域でもっとも重要な断層で傾斜移動断層である。センスは北落ちで転移量は南部Ressaca付近で1,500 mであるが、北東部程増加し、最大3,000 mである。複数の分岐断層が北東縁部に認められる。また、断層沿いの石灰岩は珩質な角礫岩様の岩相を呈し、地層の逆転構造を示す。また石灰岩中には、Figueira断層と平行な走向を示す北西に70°～80°傾斜する小断層も一部に発達する。

Ribeira断層(D.N.P.M., 1972)……第二年代地域から連続するもので地域南部のRessacaを通り、さらに地域外南東へと発達する。Figueira断層との会合点以西はセンスは北落ち、転移量は1,600～2,000 mでFigueira断層の延長と考えられる。しかし会合点以东は、本断層とFigueira断層にはさまれたブロックが相対的に上がっていると考えられる。

Espírito Santo断層(D.N.P.M., 1972)……地域北部にサンパウロ州道373号線沿いに発達し、Apirai北部ではその連続が不鮮明になるが、Quarenta Oitava断層(後述)に吸収されると考えられる。センスは南東落ち、転移量は北東部程大きく最大2,500 mである。また北東部Bairro da Cachimba 周辺において、複数の分岐断層が認められるほか、数ヶ所で幅15 m以上の黒色断層粘土帯がみられる。

Table I-2

Characteristics of Geometrical Aspects of Folds by Order

Standard of classification	Order	Fold of the first order	
		Catabouço Syncline	Serra Mandun ~ Fogouilha Anticline
Wave length of fold		A half of the wave length is 12 km (±) which is however 7.9 km toward the Lagrado anticline	A half of the wave length is 12 km (±) which is however 13.5 km toward the Lagrado syncline
Length of fold axis		40 km (±)	35 km (±)
Form of distribution in a horizontal plane		The northeastern part is cut by the fault of N-S system on the northwest of Espirito Santo but the southwestern part continues to the area of survey of the Phase II The axis curves gently from the trend of NE-SW to NEE-SWW at Paraital and Faz da Cachimba. It plunges toward Far da Cachimba with the inclination of 5° to 10°	The northeastern part is cut by the Figueira fault on the east of Monjolinho de Sebastião. The southwestern part is cut by the Figueira fault in the vicinity of Porto Velho It waves gently with the interval of 2-4 km. The direction of plunge changes at the transformational point of waving. The structure is diversified on the south of Lagrado
Shape of fold in cross section	Axial plane of fold	90°	90°
	Characteristics of the apex of fold	The apex closes toward the northeast and southwest with a gentle form having its center in the upstream area of Rio Betan	Gentle
	Characteristics of the fold wings and wave shape of fold	The southeastern limb continues to the Lagrado anticline while the northwestern limb is cut by the Espirito Santo faults and the Serra do Carumbe fault	The limbs are curved in a gentle form. The northwestern limb extends to the Lagrado syncline while the southeastern limb is cut by the Figueira fault being curved by several gentle folds (partly asymmetric). It is more open toward the southwest
Standard of classification	Order	Fold of the second order	
		Lagrado Syncline	Lagrado Anticline
Wave length of fold		4.5 ~ 6 km	1/2 wave length is 1 ~ 2 km
Length of fold axis		20 km (±)	20 km (±)
Form of distribution in a horizontal plane		The northeastern part diverges and disappears in the midstream of Rio Iporanga. It diverges in the vicinity of Lagrado for about 4 km with the maximum width of interval of 0.5 km and is again put together. On the southwest of Lagrado it forms a semi-basin structure. The direction of plunge is indefinite because of gentle waving of the fold	The northeastern part plunges toward the midstream of Rio Iporanga and disappears. The southwestern part forms a dome at Morro Grande. It extends linearly but the direction of plunge is indefinite
Shape of fold in cross section	Axial plane of fold	90°	90°
	Characteristics of the apex of fold	Gentle	The apex closes toward the northeast and the southeastern part is more gentle
	Characteristics of the fold wings and wave shape of fold	The limbs waves gently The ratio of the length of limbs northwestern limb : southwestern limb 1 : 1.5 ~ 1 : 2	The northwestern limb is generally steep Several gentle folding is observed in the northwestern limb in the vicinity of Morro Grande
Standard of classification	Order	Fold of the third order	
		Espirito Santo Syncline	Espirito Santo Anticline
Wave length of fold		2 km (±)	1/2 wave length is 2 km (±)
Length of fold axis		13 km	8 km (±)
Form of distribution in a horizontal plane		The northeastern part is cut by the Figueira fault. The southwestern part forms synclinal and semi-basin structure with presence of faults within them. The direction of plunge is indefinite because of gentle waving	The northeastern part is cut by a branch fault of the Arera Branca fault. The southwestern part is cut by the Serra da Onça Parda fault. It plunges toward the northeast with gentle waving
Shape of fold in cross section	Axial plane of fold	90°	90°
	Characteristics of the apex of fold	Gentle	The northeastern part is sharply closed The southwestern part is gentle
	Characteristics of the fold wings and wave shape of fold	The northwestern limb is cut by the Arera Branca fault. The southeastern limb is cut by the Figueira fault in the northeastern part. It continues to the Serra Mandun anticline in the southwestern part although it is partly cut by the Monjolinho fault	The northwestern limb continues to the Catabouço syncline being curved by the effects of the intrusion of granite and faulting. The southeastern limb is cut by the Serra da Onça Parda fault

Serra do Carumbe 断層 (JICA and MMAT, 1982) ……地域中央部北部で Espírito Santo 断層から分岐し、南西部 Pouso Triste を経てさらに第二年次地域へ連続する。センスは南東落ち、転移量は北東部程大きく $2,500m$ 、南西部ではほとんどなくなる。しかし第二年次地域はセンスは北西落ちとなるため、Mato Dentro (第二年次地域) 付近を軸とする回転断層と考えられる。

Areia Brauca 断層 (仮称) ~ Serra da Onca Panda 断層 (仮称) ……前者が約 $300m$ 南東落ちで、後者が $250\sim500m$ 北西落ちである。これらが会合する Barro Serra da Duviba 付近は、 $500\sim900m$ 北落ちの E-W 系および $300m$ 東落ちの N-S 系の分岐断層が存在する。

Rio de Palmital 断層 (仮称) ……Gurutuva 付近に軸を持ち、北東部で南東落ちおよび右横手ずれのセンスを示し、南西で逆のセンスを示す回転断層である。転移量は北東部で走向隔離が $100\sim400m$ 、傾斜隔離が $100\sim200m$ 、南東部で傾斜隔離が $200m$ 以上と考えられる。

Quarenta Oitava 断層 (JICA and MMAJ, 1982) ……第二年次地域から Apiaí 北西部にかけて連続し AIII S₂ と AIII L₃ を境する。センスは南東落ち、転移量は最大 $800m$ と考えられる。

以上の断層のうち前 4 者 (Figueira 断層 ~ Serra do Carumbe 断層) によって相対的に落ちたブロック内のみ鉛鉱床および鉱徴地が発達する。その他に Monjolinho 断層などの転移量が小さな断層も認められる。

(b) NW-SW 系の断層

Espírito Santo 付近に明瞭な NW-SE 系のリニアメントが認められ、方向および位置から輝緑岩岩脈類と関係するものと考えられる。

(c) N-S 系の断層

北部の Paranapiacaba には $4\sim5km$ ごとに 3 本の N-S 系の断層が分布し、NE-SW 系の構造を切る。左手横ずれの水平移動成分が主体と考えられる。また西部には Apiaí から Camargo Correia 石灰岩採石場付近まで延びる左手ずれ断層 (Apiaí 断層と仮称) が認められ、上記の Serra do Calumbe 断層および Rio de Palmital 断層を切る。

(3) 小 構 造

AIII S₁ 層および AIII S₂ 層には、層理面に対して低角に斜交する略 NE-SW 系の片理面が認められる。これらのほとんどは片理面が層理面に比較してより急傾斜であることから、地層は正常と判断される。また、略 NE-SW 系の片理に切られて、略 NW-SE 系の

片理もわずかに認められる。

Figueira 断層沿いの A III L₂ には、石灰岩中に挟在される相対的にインコンピートな石灰片岩薄層が示すドラッグ褶曲が認められる、このドラッグ褶曲の形態および褶曲軸との位置関係から、地層の上下判定が比較的容易に行われた。この結果、部分的に逆転した地層も認められた。しかし、Figueira 断層沿いの地層の傾斜は、一般に急傾斜で、露頭オーダーの褶曲波面によるものと考えられ、さらに大きなオーダーの褶曲波面による地層の傾斜は、地質断面図に示したように、より緩くなるものと考えられる。

また本地域には後述するように鉍脈型鉛鉍床・鉍徴地が多数分布し、鉍脈裂かなどの小断裂構造が発達する。これらのうち Furnas 鉍床および Lageado 鉍床には共役セットと考えられるいずれも鉍化作用を蒙った小断裂構造が認められたので、主応力場解析を試みた。(Fig. I-4) すなわち、転移のセンスから判断し、高角裂かと、はく離が認められる層理面とを共役セットに組んだ結果、最大圧縮主応力軸は S S E 下方から非常にゆるい NNW 上がりの方向を示し、NNW-SSE 系の横圧力によってこれらの鉍脈裂力系が形成されたと解釈される。この主応力場は、第二年次の Rocha 鉍山で得られた結果とも良く一致し、本地域の主要な NE-SW 系～NEE-SWW 系の褶曲構造を形成したブラジル造山輪廻によって鉍脈裂かも形成されたことを示唆しているものと考えられる。

1-1-6 地質構造発達史 (Fig. I-5)

地質構造発達史を編むことは、鉍床の成因を考察するうえで重要と考える。また本地域に認められている Uruaçuán 造山輪廻 (1,400-1,100 m.y.) およびブラジル造山輪廻 (750-500 m.y.) は広義には一つの造山輪廻と考えられる。以下に本地域の構造発達史を4回のステージに分けて記述する。なお Fig. I-5 に、地質断面図 (Plate I-2) のライン 5 に Furnas・Lageado の両鉍床を投影した2次元ダイアグラムを示す。

ステージ I (Uruaçuán 造山輪廻期)

本地域に分布する変堆積岩類の源岩の年代は、Pb/Sr 年代測定結果から 1,400-1,100 m.y. であることが知られており (Batolla Jr, 1977, C.P.R.M., 1981) Uruaçuán 造山輪廻期に堆積したと考えられる。したがってステージ I は、地向斜の段階と考える。また鉍脈型鉛鉍床の鉛同位体測定資料 (後述) から、鉛鉍床沈積もこの時期に行われたと考えられている (JICA and MMAJ, 1982)。

ステージ II (Uruaçuán 造山輪廻期～ブラジル造山輪廻期)

NW-SE 系の片理が、NE-SW 系の片理に切られていることから、Uruaçuán 造山輪廻以後ブラジル造山輪廻以前にも初期の変形作用が行われたと推定しても矛盾はない。変形作用の原因として、不均一荷重圧、基盤の昇降運動あるいは NE-SW 系の横圧力などが考えられ

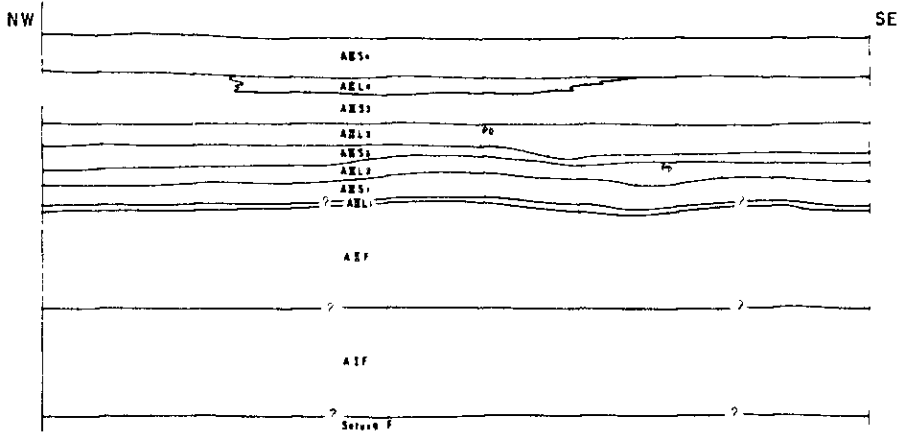


Location	Lageado deposits, Santana Nova G5	Furnas Mine, Santa Barbara
Set of Fractures	f ₁ N65°E65°S (fracture of vein) f ₂ N50°E10°N (bedding fissility)	f ₁ N60°W80°S (fracture of vein) f ₂ N40°E45°W (bedding fissility)
Sketch	<p>fracture with Pb oxide ore</p> <p>SE ← → NW</p> <p>0 0.5 1 (m)</p> <p>dark gray medium-fine limestone with thin calc-schist</p> <p>piled ore and waste</p>	<p>Pb oxide ore vein (W 0.1-0.2 m)</p> <p>alternation of black limestone & white limestone</p> <p>black limestone</p> <p>NE ← → SW</p> <p>0 20 40 (cm)</p>
Stereo net Projection	<p>N</p> <p>σ_1</p> <p>σ_2</p> <p>σ_3</p>	<p>N</p> <p>σ_1</p> <p>σ_2</p> <p>σ_3</p>
PRINCIPAL STRESS AXIS (COMPRESSIONAL)	<p>MAX(σ_1) S27°E27°, MED (σ_2) S64°W2°.</p> <p>MIN(σ_3) N23°W63°, SHEAR PLANE ANGLE 103°</p>	<p>MAX(σ_1) S2°E23°, MED (σ_2) N69°W42°.</p> <p>MIN(σ_3) N68°E39°, SHEAR PLANE ANGLE 91°</p>

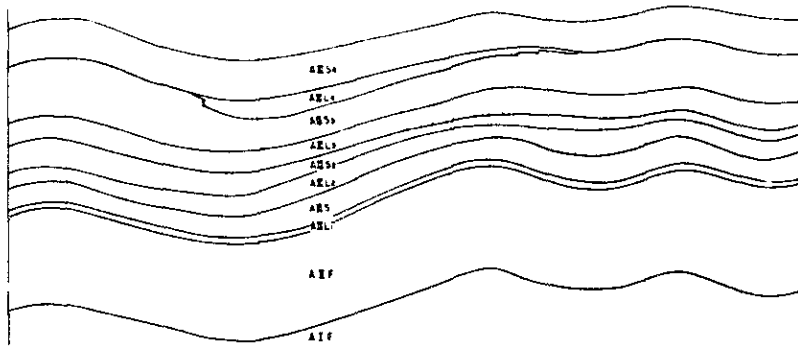
Fig. I-4

Fracture Analysis of Furnes-Lageado Area

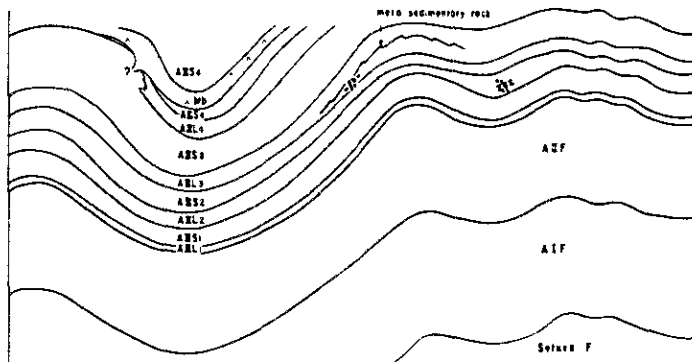
STAGE I SEDIMENTATION and ACCUMULATION of Pb (URUAÇUAN OROGENY, 1400-1100^{m.y.})



STAGE II DEFORMATION and BENDING or BUCKLING (URUAÇUAN to BRAZILIAN OROGENY)



STAGE III BASIC MAGMATISM, METAMORPHISM, BUCKLING, FRACTURING and CONCENTRATING of Pb (EARLY to MIDDLE BRAZILIAN OROGENY, 750(-500)^{m.y.})



STAGE IV FAULTING and ACIDIC MAGMATISM (LATER BRAZILIAN OROGENY, 1750-1500^{m.y.})

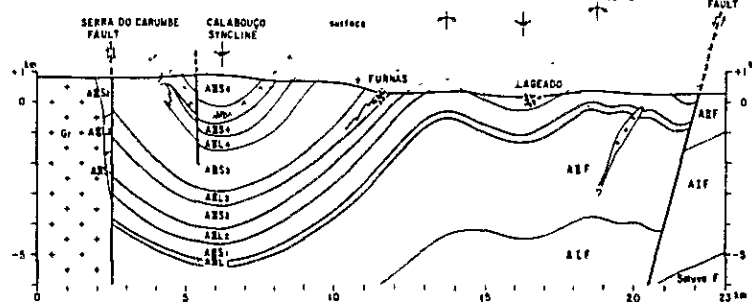


Fig. I - 5

Geotectonic History of Survey Area

る。これらの運動は、すなわち横曲げ褶曲作用あるいは座屈褶曲作用をも生じさせ、前述したようにほぼNE-SW系の褶曲構造に重複されたNNW-SSE系の褶曲構造は、この時期に形成されたのかも知れない。しかし後者の褶曲構造は、ステージ I あるいはそれ以前に形成されたとも考えられ、検討の余地が残されている。

ステージ III (初期～中期ブラジル造山輪廻期)

この段階には、塩基性火成活動および略NE-SW系の片理を特徴づける変形・変成作用が行なわれ、温度・圧力条件により層序上および地域的な変成度の相違が生じた。同時にほぼNW-SE方向の横圧力による座屈褶曲作用が生じ、ほぼNE-SW系の褶曲構造と高角裂かおよび層理面上のはく離などの小断裂構造が形成された。そして鉛鉱床はこの小断裂構造に濃集したものと考えられる。

Fig. 1-5から明らかのように、Furnas は南東部の背斜軸部から急激に層厚が減少する翼部にあたり、Lageadoは層厚が最大になる向斜軸部に位置する。

ステージ IV (後期ブラジル造山輪廻期)

この段階には、Figueira断層で代表されるNE-SW系の断層構造が形成されたと同時に、Itaoca・Tres Corregos・Araí・Espírito Santoなどの諸花崗岩体が貫入、すなわち酸性火成活動が生じたと考えられる。

さらに後期には図に示されていないが、後ブラジル造山輪廻の運動としてN-S系の左手横づれ断層およびジュラ紀～白亜紀のNW-SE系の輝緑岩岩脈の活動があげられる。

1-2 鉍 床

1-2-1 概 説

本地域に分布する Açungui Ⅲ 層の石灰岩類中に鉍脈型鉛鉍床および鉍徴地が多数胚胎することが知られている (Plate 1-4)。

鉍床母岩となる Açungui Ⅲ 層の石灰岩類は、従来一層のみ存在すると考えられていたが、本調査結果 A Ⅲ L₂, A Ⅲ L₃ および A Ⅲ L₄ に区分され、Espírito Santo 地区および Furnas 地区のほとんどの鉛鉍床は A Ⅲ L₃ 中に、Lageado 地区および Itaoca 東部地区の全鉛鉍床は A Ⅲ L₂ 中に胚胎し、A Ⅲ L₄ には胚胎しないことが判明した。

また今回鉛同位体測定および石灰岩類化学分析を行なったので、地質鉍床調査結果および室内解析結果を総合して鉍床有望地域を抽出した。

1-2-2 鉍 床 各 論

(1) Furnas 地区

この地区に存在する鉍床・鉍徴地としては、本地域で現在唯一稼行中の Furnas 鉍山および Gruta de Santana, Agua Suja, Cafezal などの鉍徴地が知られている。

(a) Furnas 鉍山

鉍 山 概 要

本鉍山は Apiaí から東に約 17 km に位置し、サンパウロ州道 165 号線沿いに存在する。本鉍山には現在採掘中の Santa Barbara 鉍床と Maximal 鉍床のほか東部に休止中の São Manoel 鉍床がある。Santa Barbara 鉍床からは 1955 年まで精鉍約 200 T / 月出鉍した。1981 年現在 Pb 7%, Ag 3000 g / t で 500 T / 月出鉍している。

地 質

鉍山周辺の地質は Açungui Ⅲ 層の石灰岩 (A Ⅲ L₃ ls), 苦灰岩 (A Ⅲ L₃ dol) および変堆積岩類 (A Ⅲ L₃ ps) の互層からなる。Furnas 鉍床は A Ⅲ L₃ の基底から約 200 m 上位の石灰岩中に胚胎する。鉍床のさらに 30 m 上位には層厚 40 m の変堆積岩類が分布し、鉍床の形成に寄与していると考えられている (Cassedane, J. 1970)。

この地域は本地域第 1 次のオーダーの褶曲構造である Calabouço 向斜および Serra Manduri 背斜の中間に位置し、一般走向 N 60°E, 一般傾斜 45°NW を示す。

鉍 床

本鉍床は A Ⅲ L₃ の石灰岩中に形成された割目を充填した鉛鉍床で、多量の方鉛鉍を主とし、閃亜鉛鉍, 黄鉄鉍, 鉛酸化鉍などを随伴する。

現在 Santa Barbara 鉛床の一部および Maximal 鉛床で探鉛と採掘が実施されている。鉛体は層理面に沿うはく離および NWW-SEE 系の裂かを充填した鉛鉛床で、これらの断裂の交差部で鉛体が肥大する傾向を示す。

Melcher (1968) の報告や鉛山資料によると、これまでに 7 つのパイプ状鉛体が開発されているが、いずれも上記の断裂の組合せによる交差部が採掘対象となっている。現在採鉛中の新鉛体も同種のもので、鉛体の規模は最大 $15\text{ m} \times 7\text{ m} \times 100\text{ m}$ である。

また前述したように転移のセンスが逆で共役セットと推定される層面はく離と NWW-SEE 系の裂かによる主応力場解析結果から、略 NW-SE 系の主応力が求まり、本地域の略 NE-SW 系の褶曲構造を形成した一連の運動によって断裂も形成されたと考えられる。

鉛石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

E-643

方鉛鉛 > 黄鉄鉛 > 閃亜鉛鉛

方鉛鉛は黄鉄鉛および脈石鉛物の間隙を充填している。黄鉄鉛は部分的に方鉛鉛に融食される。黄鉄鉛の分布は方鉛鉛中よりも脈石鉛物中でより密である。また少量の細粒の黄銅鉛と方鉛鉛を含む閃亜鉛鉛の大きな粒子が、方鉛鉛中に認められる。

E-645

方鉛鉛 = 閃亜鉛鉛 > 黄鉄鉛 = 四面銅鉛 = 白鉛鉛

方鉛鉛は閃亜鉛鉛および黄鉄鉛の丸い粒子と四面銅鉛の不規則なパッチを含む。これらのうち、閃亜鉛鉛および黄鉄鉛は融食組織が認められるが、四面銅鉛と方鉛鉛は共生する。閃亜鉛鉛は多量の細粒の方鉛鉛および丸い黄鉄鉛を含む。また閃亜鉛鉛および方鉛鉛には、細粒の白鉛鉛の細脈が認められる。

鉛石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
E-643	0.3	1540	0.02	1281	0.13
E-644	0.2	2586	0.11	1260	3.82
E-645	0.0	1891	0.13	11.28	17.75

(b) Gruta de Santana 鉛徴地

本鉛徴地は Furnas 鉛山東方約 2.5 km に位置する。交通はサンパウロ州道 165 号線

から Santana 鐘乳洞まで未舗装道路が続き、沢沿いにさらに北東 500 m 間徒歩を要する。以前 10 T 以下の低品位鉍が出鉍された記録がある (C.P.R.M., 1975)。

周辺の地質は Açungui 層の石灰岩類 (A L₂) からなる。鉍床母岩は A S₁ 直上の暗灰色細粒石灰岩 (A L₂ L₃) で一般走向 N 60° E 傾斜 35° NW を示す。

地質構造上の位置は、Furnas 鉍床と同様 Galabouço 向斜と Serra Manduri 背斜の間である。

鉍床は微量の方鉛鉍を含む脈幅 1 ~ 5 cm の不規則網状脈である。脈石は肉眼的には方解石のみである。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

E-544a

方鉛鉍 = 閃亜鉛鉍

方鉛鉍および閃亜鉛鉍の鉍条が脈石鉍物中に認められる。また方鉛鉍および閃亜鉛鉍は炭酸塩鉍物の間隙を充填する。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
E-544a	0.0	7.9	0.02	5.92	2.79
E-544b	0.0	7.5	0.00	0.17	0.06

(c) Agua Suja ou Abismo do Córrego Seco 鉍徴地

SUDELPA (C.P.R.M., 1975) によれば Furnas 鉍山の北東約 2 km にこの鉍徴地の記載があるが、今回本鉍徴地は確認されず、さらに東北東約 1 km に酸化鉍の転石を確認したにすぎない。

周辺の地質は A L₃ 中の石灰岩からなり、鉍徴地はその基底部付近に位置する。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

E-548

赤鉄鉍 > 針鉄鉍

細粒の赤鉄鉍が針鉄鉍に関連して認められる。赤鉄鉍は細かい網目状組織を呈し、石英と、同心円ノジュールおよび硫化鉍物の仮像からなる細脈の間隙を充填している。凹凸に富む面ではさらに多くの針鉄鉍を伴う。また硫化鉍物は認められない。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
E-548	11.8	2.0	0.01	0.12	0.01

(d) そのほかの鉍徴地

Furnas 鉍山西南西約 2 km の苦灰岩中に脈幅 5 cm の黄鉄鉍—亜鉛酸化鉍—石英脈が認められる。この鉍徴地は層準的に Furnas 鉍床より 320 m 上位に位置する。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

D-542

黄鉄鉍 > 赤鉄鉍 > 黄銅鉍 = 銅藍

黄鉄鉍は塊状集合体がほとんどで、間隙を黄銅鉍に充填されたり、部分的にとくに粒子の縁に沿って赤鉄鉍に交代されている。赤鉄鉍は、塊状黄鉄鉍を囲んでいる鱗状集合体として産する。また赤鉄鉍集合体中に細粒の銅藍集合体が認められる。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
D-542	0.1	18.0	0.02	0.12	31.48

さらに同鉍徴西南西 4 km には同一層準に鉍徴地が認められる。しかし 2, 3 の崩壊した坑口および石英の転石のみ認められるにすぎない。

(2) Lageado - Serra 地区

これまでに Lageado 地区で 23 ヶ所、Serra 地区で 8 ヶ所の鉍床・鉍徴地が知られている (Plate I-5, Fig. I-6-1)。今回これらのうち Lageado 地区で 9 ヶ所、Serra 地区で 2 ヶ所の鉍床調査を実施した (Fig. I-6-2)。

(a) Lageado 鉍床群

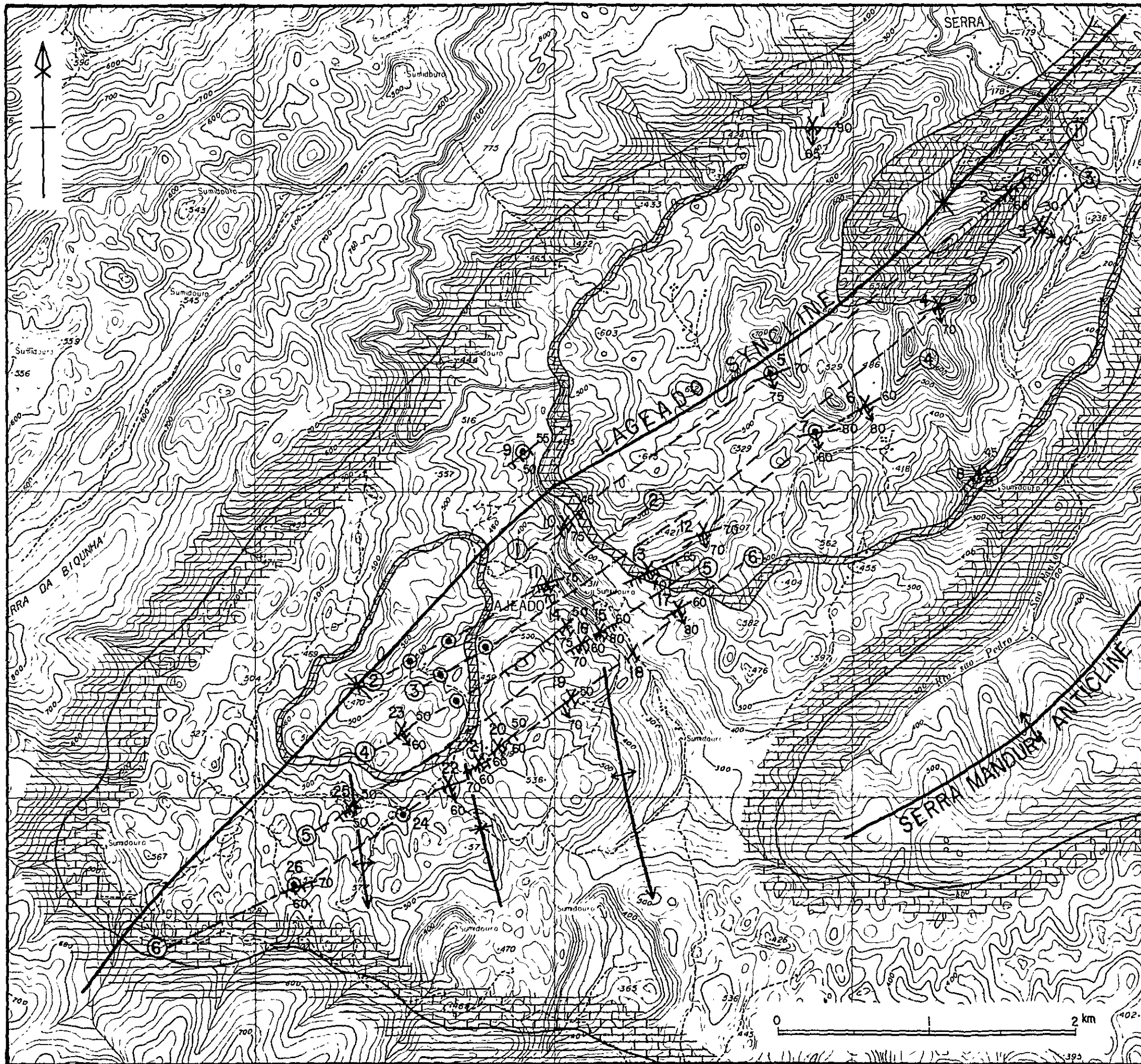
鉍床概要

本鉍床群は Furnas 鉍山の南南東約 5 km に位置し、1.5 km × 4 km の範囲に 23 ヶ所の鉍床・鉍徴地が集中している。これらは 1944 ~ 1968 年に操業されたが、各各はいずれも小規模でわずかな生産に止まった。交通はサンパウロ州道 165 号線から未舗装道路が分岐し、約 9 km で旧鉍山施設跡に至る。

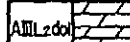
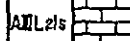
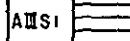






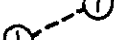
記録によれば本鉍床群最大の Santa Nova (走向延長 600 m, 傾斜延長 200 m) は、Pb 5 ~ 50 % で出鉍量が数千 T である。6 つの坑口があり、G1 は坑道 30 m, G2 は坑道 80 m, G3 はトレンチ 10 m, 坑道 300 m, G4 はトレンチ 30 m, 坑道 200 m, G5 は坑道 600 m, G6 は坑道 400 m である。

地質

周辺の地質は Açungui 層の変堆積岩類 (A S₁) および石灰岩類 (A L₂) からなる。鉍床を胚胎する A L₂ は主として石灰岩 (A L₂ ls) からなり、苦灰岩 (A L₂ dol) および変堆積岩類 (A L₂ ps) を挟在する。鉍床母岩は、灰色 ~



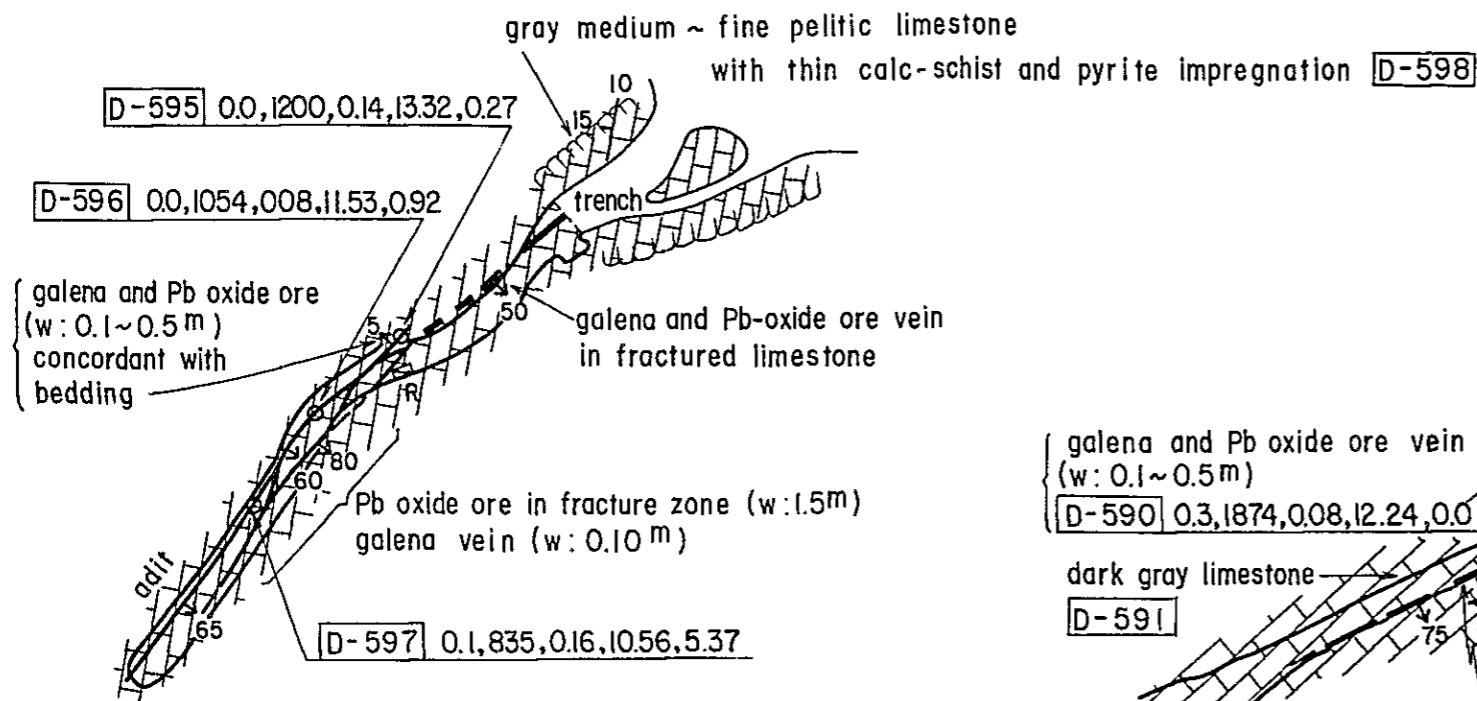
LEGEND

-  dolomite
-  limestone
-  mica schist ~ phyllite,
meta conglomerate ~ meta sandstone
-  dip and strike of vein (surveyed)
-  do (by reference)
-  synclinal axis
-  anticlinal axis
-  underground
-  trench and/or outcrop of vein
-  line number of vein

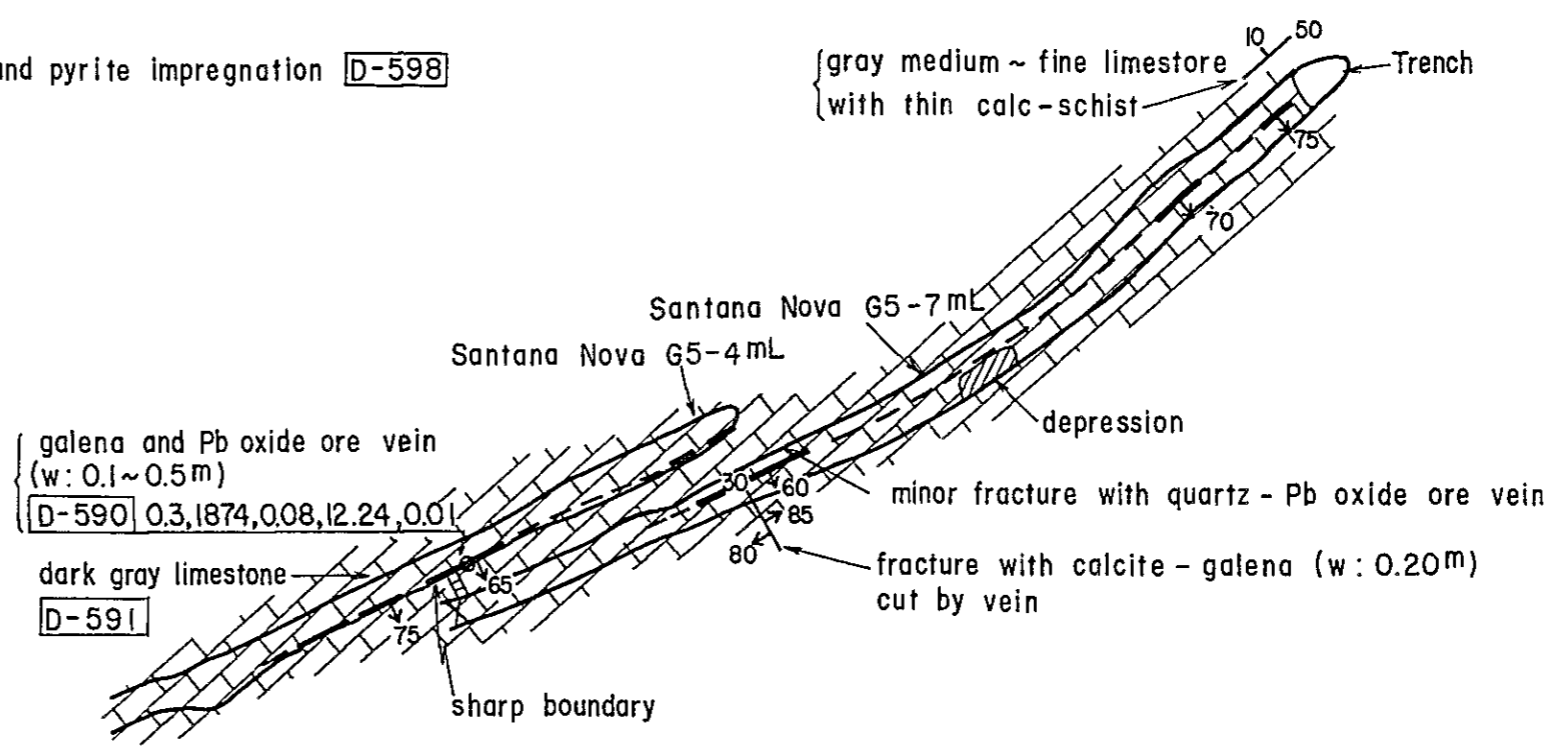
- 1 Macaquinho
- 2 Jagatirica
- 3 Berta Funda
- 4 Alto do Bento or Descanso
- 5 Sete Algueires
- 6 Casa Velha
- 7 Sítio Novo
- 8 Aberta do Leão
- 9 Cu showing
- 10 Lourenço Velho
- 11 Santana Velha
- 12 Parco do Mato
- 13 Mamangabe
- 14 Santana Nova
- 15 São Francisco
- 16 Nova Esperança
- 17 Coqueiro
- 18 I.G.G.
- 19 Bugios
- 20 Jardim II
- 21 Jardim I
- 22 São Rafael
- 23 Santana F
- 24 Sebastião Gabriel
- 25 São Vicente
- 26 Boa Ventura

Fig. I-6-1 Geological Map and Vein Map in Lageado-Serra Deposits

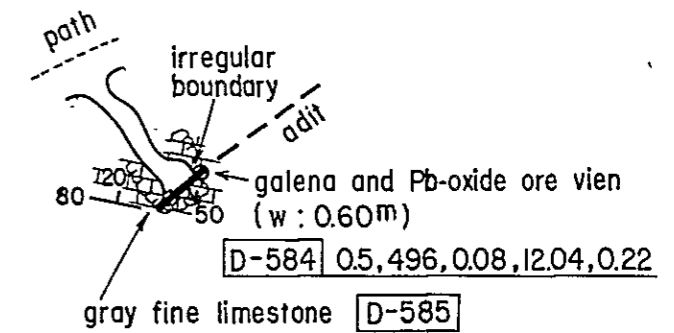
[Jaguatirica] (trench and adit)



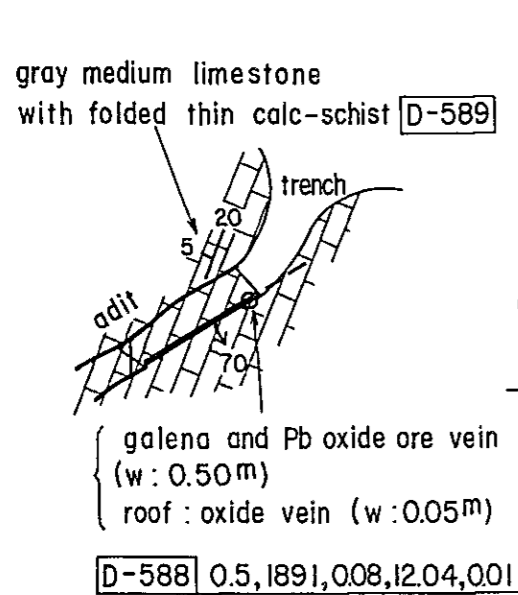
[Santana Nova G5] (trench and adit)



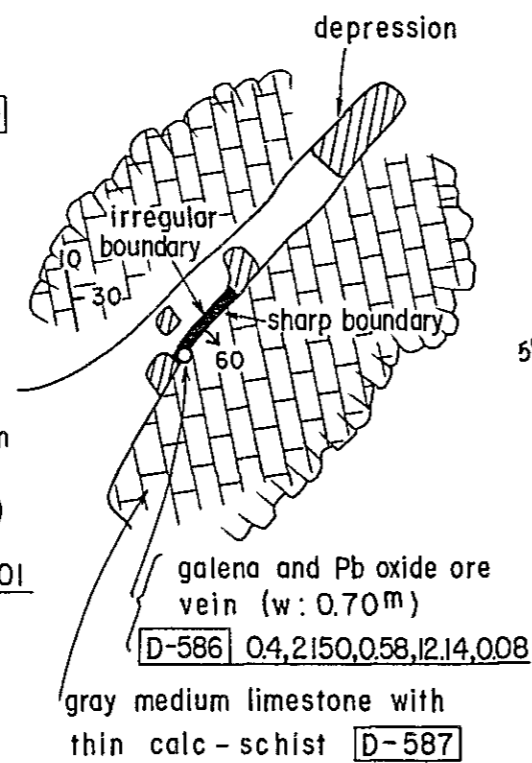
[São Vicente] (trench)



[Nova Esperança] (trench and adit)



[Jardim 2] (trench)



[Boa Ventura] (trench)

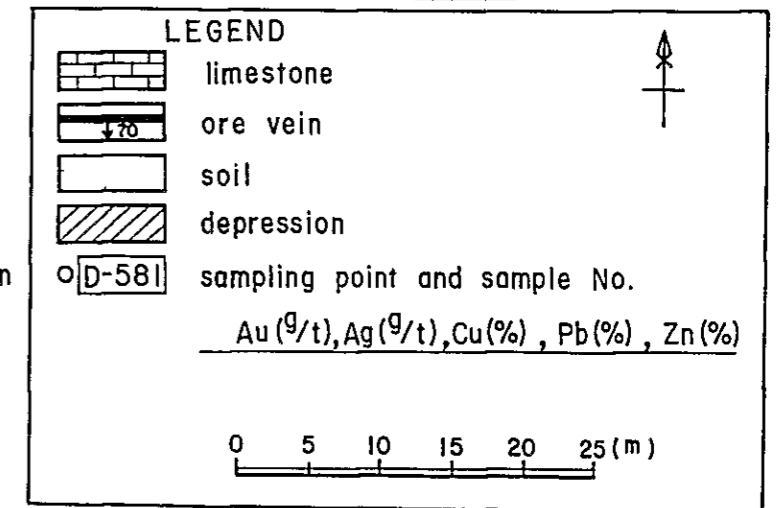
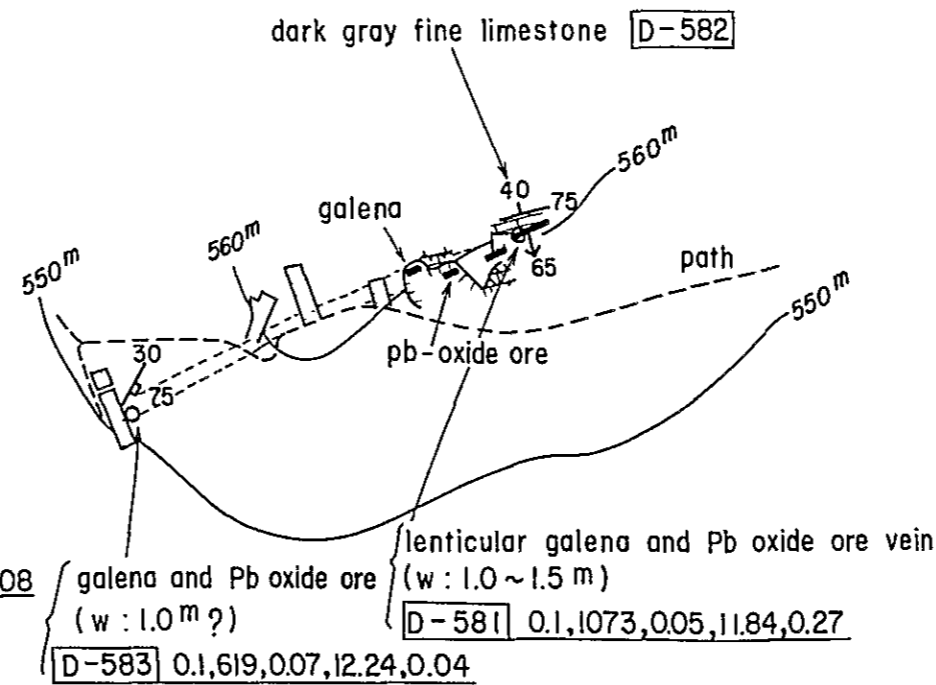


Fig. I - 6 - 2

Geological Sketch of Trench and Underground in Lageado-Serra Deposits

暗灰色泥質石灰岩で、微褶曲構造を呈する石灰片岩～石灰質千枚岩の極薄層を挟在する。鉍床は A III L₂ の比較的下部に位置する。

本鉍床群は本地域の第1次のオーダーの Serra Manduri 背斜の北西翼部に位置するが、同時に第2次のオーダーである Lageado 向斜の南東翼部にほとんどの鉍床・鉍徴地が集中していることおよび NE-SW 系の褶曲構造と交差して NNW-SSE 系の褶曲構造が認められることも特徴としてあげられる。以上の事実から推察すると、重複するオーダーの違う褶曲構造および別系統の褶曲構造は本地区の鉍床生成に何んらかの作用を及ぼしたと考えられる。

鉍 床

本鉍床群は鉍脈型鉛鉍床（銅鉍徴地1つを含む）で鉍脈裂かの走向は $N 45^{\circ} \sim 75^{\circ} E$ 、傾斜は $5^{\circ} \sim 8^{\circ} SE$ を示す。鉍脈は脈幅平均 0.3 m、最大 1.5 m で非常に膨縮に富み、一部に剪断帯のみで鉍石鉍物を伴わない部分も認められる。鉍石鉍物は方鉛鉍を含む鉛酸化鉍が主体で少量の黄鉄鉍を伴なう。

Melcher (1968) によれば、これらの鉍脈は露頭や坑口の分布を結ぶと並走する6列に区分され、今回の調査資料を追加すると Serra 地区まで延長される (Fig 1-6-1)。

前述したように、Furnas 鉍床同様共役セットと推定される層面はく離と高角裂かによる主応力場解析から求めた略 NW-SE 系の横圧力は、本地域の略 NE-SW 系の褶曲構造を形成した応力とも一致する。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

D-581-b (Boa Ventura)

方鉛鉍 > 赤鉄鉍 = 白鉛鉍

方鉛鉍は粗粒の緻密な結晶であるが、部分的に白鉛鉍に交代される。赤鉄鉍は劈開に沿った白鉛鉍細脈の中心部に認められる。

D-588 (Nova Esperança)

方鉛鉍 > 白鉛鉍 > 黄鉄鉍 = 黄銅鉍 = 銅鋳

粗粒の方鉛鉍ではほとんど白鉛鉍に交代されていないが、細粒の方鉛鉍では白鉛鉍に交代されている。黄鉄鉍は斑点状のごく少量の黄銅鉍および方鉛鉍を含む。少量の銅藍が白鉛鉍集合体中に認められる。また赤鉄鉍および針鉄鉍の混合物は、白鉛鉍、炭酸塩鉍物および石英の集合体中で、黄鉄鉍の仮像として認められる。

D-590 (Santana Nova)

方鉛鉱>黄鉄鉱>白鉛鉱>銅藍

方鉛鉱は、粒子の境界および劈開に沿って部分的に白鉛鉱集合体に交代される。黄鉄鉱は様々の状態で方鉛鉱に erode され、いくらかは自形を呈すが、ほかは脈石鉱物に充填された割れ目によって切られ全く不規則な形を呈す。

D-593 (Copper Showing)

方鉛鉱>銅藍>黄鉄鉱=赤鉄鉱=白鉛鉱=針鉄鉱

方鉛鉱は、ほとんど炭酸塩鉱物および石英からなる脈石鉱物のすき間を充填したり、脈石鉱物を切る細脈として石英とともに認められる場合もある。また劈開あるいは縁に沿って白鉛鉱にしばしば交代される。細粒の黄鉄鉱は、輝銅鉱およびダイジェナイト (Cu_7S_4) の混合物で満たされたすき間に認められる。

鉱石サンプルの分析結果は Table A-4-1, Fig. 1-6-2 および PL. 1-5 に示す。

(b) Serra 鉱床群

本鉱床群は Lageado 鉱床群の北東部延長上に位置する。

本鉱床群の地質鉱床および鉱床の成因は Lageado 鉱床群と同じであるが、層準は Lageado 鉱床群よりやや上位に位置する。

鉱床・鉱徴地は 8ヶ所認められ、それらの分布は Fig. 1-6-1 に示すように Lageado 鉱床群から延長するものとする。

鉱石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

D-595-a (Jagatirica)

方鉛鉱>白鉛鉱>閃亜鉛鉱=黄鉄鉱=磁鉄鉱=赤鉄鉱

方鉛鉱は劈開および縁に沿って白鉛鉱に交代される。白鉛鉱は細かいコロフォームまたは板状組織を呈し、細粒の方鉛鉱を含む。黄鉄鉱は自形あるいは他形を呈し、白鉛鉱集合体または丸い閃亜鉛鉱を伴う方鉛鉱中に認められる。銅藍も白鉛鉱集合体中に点在する。部分的に赤鉄鉱に交代された磁鉄鉱は、方鉛鉱の劈開中に白鉛鉱に伴って産する。

1-508 (Aberta do Leão)

方鉛鉱>閃亜鉛鉱=黄鉄鉱

方鉛鉱は粗粒のモザイク状集合体で、白鉛鉱および2次鉱物に交代される。方鉛

鉍中には、丸い立方体の黄鉄鉍が、脈石鉍物および閃亜鉛鉍に伴なって認められる。

鉍石サンプルの分析品位はつきのとおりである

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
D-595	0.0	1200	0.14	13.32	0.27
D-596	0.0	1054	0.08	11.53	0.92
D-597	0.1	835	0.16	10.56	5.37
I-508	0.0	1131	0.01	12.86	0.27

(3) Espírito Santo 地区

この地区では Espírito Santo, Monjolinho de Sebastião, Agua da Limreira, Braço da Pescaria, Paciencia および Figueira の鉛鉍床・鉍徴地が知られている。ここでは今回鉍床露頭または鉍石転石が観察できた前3者について述べる。

(a) Espírito Santo 鉍床

鉍床概要

本鉍床は Apiaí の東約 2.4 km に位置する。サンパウロ州道 373 号線より鉍床付近まで約 1.7 km 未舗装の大型トラック道路がある。トラック道より Córrego Espírito 沿いに約 100 m 下流の左岸側に鉍石焙焼施設跡および旧坑が存在する。旧坑の坑道延長は約 85 m あり、2本の褐鉄鉍脈が認められるが、鉛鉍石は認められない。同地点よりさらに約 250 m 下流の右岸側に方鉛鉍-石英脈を採鉍したトレンチおよび坑道が存在する (Fig. 1-7-1) トレンチの延長は約 17 m でそのうち土壌部分約 6 m, 岩盤部分約 11 m を占める。坑道は短く 1.3 m のみである。トレンチおよび坑道中にそれぞれ幅数 cm の方鉛鉍-石英脈を認めるが、稼行に耐えるものではなく、現在休山中である。これまでの全出鉍量は数百 T である (C. P. R. M., 1975)。

地質

鉍床周辺の地質は、Açungui 層の石灰岩類 (A₁ L₃) からなる。この石灰岩類は主として石灰質若灰岩~若灰岩 (A₁ L₃ dol) からなり、層厚は約 1000 m である。鉍床は挟在される石灰岩中にあり、層序的に A₁ L₃ 基底から約 620 m 上位に位置する。鉍床母岩は、下盤側が石灰岩、上盤側が若灰質石灰岩で、いずれも暗灰色細粒で、5~20 cm ほどの層状構造を示している。

この地域は本地域第1次のオーダーである Calabouço 向斜および Serra Manduri 背斜の中間にあたりと同時に、本地域第3次のオーダーである Espírito Santo 背斜の北西翼部に位置し、走向 N 50° E, 傾斜 50°~80° NW を示す。

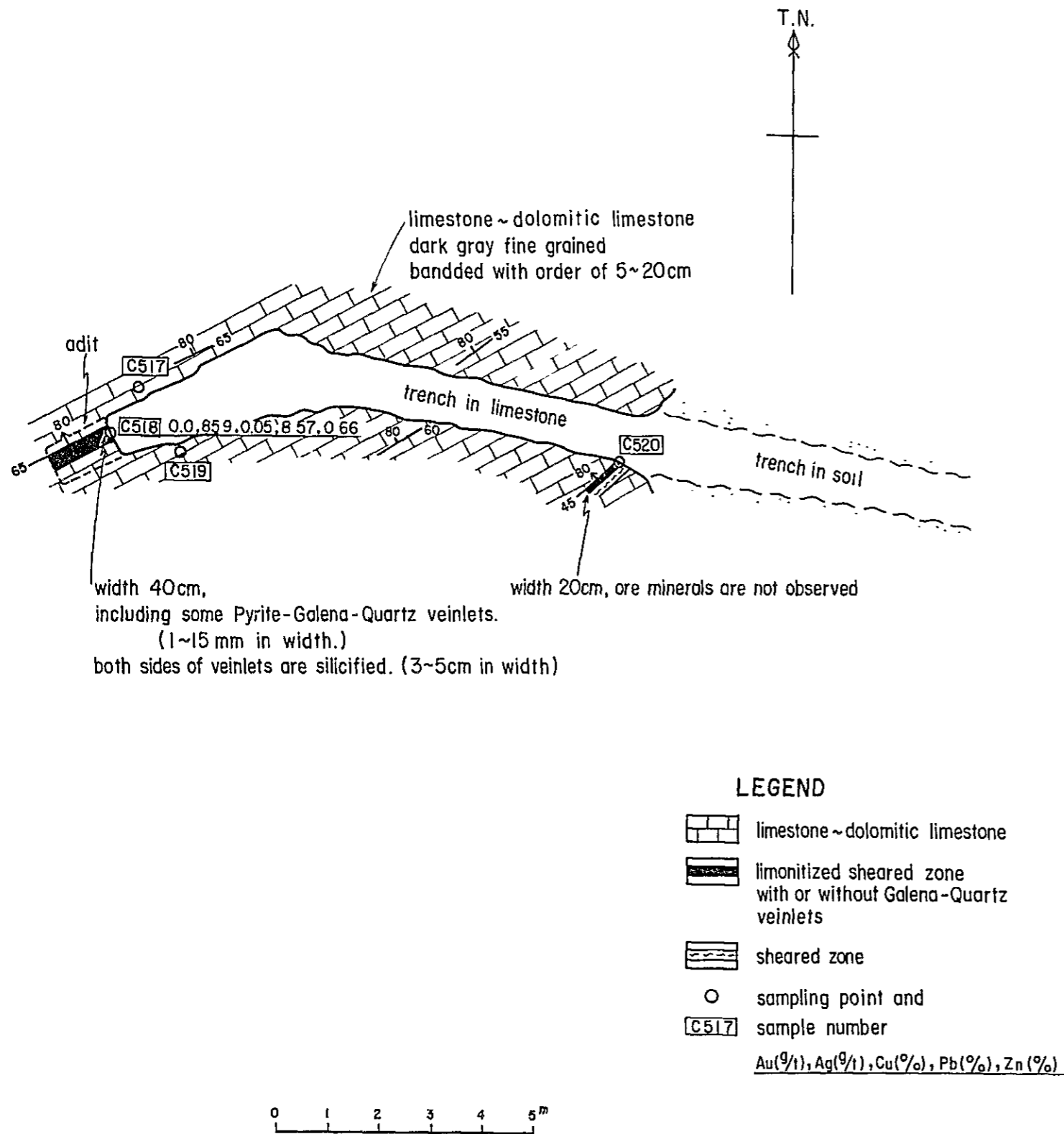


Fig. I-7-1 Geological Sketch of Trench in Espirito Santo Deposits

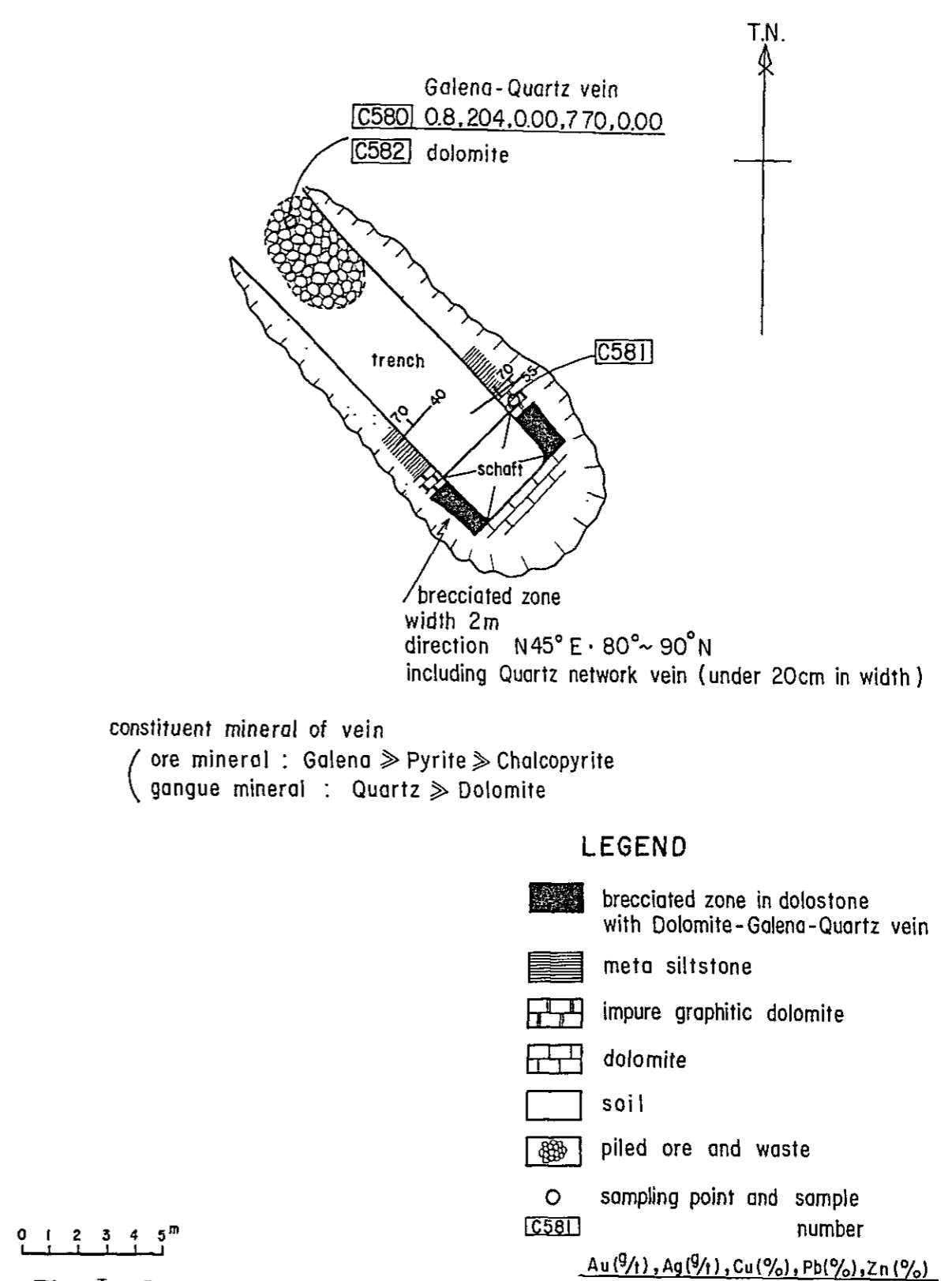


Fig. I-7-2

Geological Sketch of Trench in Monjolinho de Sebastião Deposits

鉍 床

鉍床は石灰岩中の剪断帯に胚胎する脈状鉍床で、その走向はN 65°E、傾斜は80°NWで、石灰岩の層理にほぼ平行する約40cmの褐鉄鉍汚染した剪断帯中に1~1.5cm幅の黄鉄鉍一方鉛鉍-石英脈が数条観察される。石英脈の両側3~5cm間に灰色珪化部を伴ない、石英脈中に小晶洞が認められる。またトレンチの南側側壁にも走向N 45°E、傾斜80°NWの剪断脈が観察される。この剪断脈は層理面と緩く斜交し、上盤20cmが強褐鉄鉍化しているのみで、方鉛鉍そのほかの鉍石鉍物は認められない。鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

C-518

方鉛鉍 = 赤鉄鉍 > 白鉛鉍 > 黄鉄鉍 = 銅藍

方鉛鉍は緑あるいは劈開に沿って白鉛鉍に交代される。赤鉄鉍は、細粒の板状あるいはウーライト組織を呈する方鉛鉍および黄鉄鉍を交代する。細粒の少量の銅藍が白鉛鉍集合体中に認められる。自形または他形の黄鉄鉍は、方鉛鉍中あるいは白鉛鉍と赤鉄鉍の集合体中にみられる。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
C-518	0.0	85.9	0.05	8.57	0.66

(b) Monjolinho de Sebastião 鉍床

鉍 床 概 要

本鉍床はEspírito Santo 鉍床の東南東約4km、Córrego Manimiano 左岸の小丘部に位置する。交通はEspírito Santo へのトラック道路途中のBairro das Cadoclos から南向け分岐車道に入り、約1.5km先に終点がある。同地点よりさらに南へ徒歩約1.5kmで現場近くに達する。現在トレンチおよび立坑入口部が観察可能であるが、鉍石は貯鉍中のものしか観察できない (Fig. 1-7-2)。現在休山中で出鉍量は数Tである。

地 質

周辺の地質は、Aqungui 層の石灰岩類 (A L₃) および変石英砂岩類 (A S₃)、これらに貫入した輝緑岩岩脈からなっている。鉍床は石灰岩類中に胚胎され、層序的位置はA L₃；基底から約400m上位である。鉍床母岩は灰色を呈し、細~中粒塊状の若灰岩からなる。若灰岩の上盤は層厚約0.8mの泥質若灰岩を挟み変シルト岩に変わる。母岩は走向N 40°~55°E、傾斜は70°NWを示す。

本鉍床は本地域第1次のオーダーであるSerra Manduri 背斜の北西翼部に位置す

るが、さらに第3次のオーダーである Espírito Santo 向斜の南東翼部に位置する。また本鉍床の西部ごく近傍には Monjolinho 断層が通る。石灰岩類の走向は一般に $N 40^{\circ} \sim 60^{\circ} E$ 、傾斜は $70^{\circ} NW$ である。

鉍床

鉍床は苦灰岩角礫化帯中の不規則網状石英脈からなる。角礫化帯は幅約 $2 m$ 、一般走向 $N 45^{\circ} E$ 、傾斜は $90^{\circ} NW$ で、苦灰岩の層理にほぼ平行である。石英脈は幅 $20 cm$ 以下で立坑部に認められるが観察困難である。貯鉍の鉍石をみると、肉眼で鉍石鉍物として方鉛鉍 \gg 黄鉄鉍 $>$ 黄銅鉍が観察され、方鉛鉍は不規則脈状～斑状の産状を示し、脈石鉍物は石英が主体で苦灰石を伴なり。

角礫化帯は、傾斜方向への追跡は立坑で $10 m$ 以上なされているが、走向方向への追跡はなされていない。

鉍石サンプルの分析品位は、つぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
C-580	0.8	204	0.00	7.70	0.00

(c) Agua da Limeira 鉍徴地

鉍徴地概要

本鉍徴地は、C. P. R. M (1975) によれば5ヶ所の鉍徴地が分布し、Monjolinho de Sebastião 鉍床の東～北東 $1 \sim 2 km$ の範囲にある。現地へは Monjolinho de Sebastião 鉍床よりさらに山道を徒歩約 $3 km$ で達することができる。旧坑の大部分は崩壊して調査は困難である。本調査では5ヶ所の鉍徴地のうち南部の2ヶ所について不毛石英脈の露頭および鉍石転石の観察を実施した。

地質・鉍床

周辺の地質は、Açungui Ⅲ層の石灰岩類 (A Ⅲ L₂)、変シルト岩類 (A Ⅲ S₂) およびこれらに貫入した輝緑岩岩脈からなり、鉍床は A Ⅲ L₂ 中の石灰岩または若灰岩に胚胎する。

構造的には、鉍徴地は Figueira 断層と Monjolinho 断層とにはさまれた Serra Manduri 背斜のほぼ軸部に位置している。北西部の4鉍徴地は、A Ⅲ L₂ 中に胚胎しその上限に近いほぼ一定層準を占めて $500 \sim 700 m$ 間隔で並んでいる。

鉍脈は CPRM (1975) によれば NW-SE 系の銀-銅-鉛石英脈であると報告されているが、今回の調査で観察された不毛石英脈は、走向 $N 50^{\circ} E$ 、傾斜 $85^{\circ} SE$ および走向 $N 55^{\circ} E$ 、傾斜 $75^{\circ} NW$ 、脈幅 $0.5 \sim 3 cm$ で、層理にほぼ平行な脈である。また周辺には多くの石英脈の転石がみられ、脈幅 $2 \sim 20 cm$ 、肉眼で鉍石鉍物は方鉛

鉍，黄銅鉍および黄鉄鉍が，脈石鉍物として石英のみが観察される。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

C-591

少量の方鉛鉍が脈石鉍物の間隙を充填したり，非常に凹凸に富む面をもつ小さな集合体として産することもある。

C-592

黄銅鉍 > 黄鉄鉍 = 輝銅鉍 = 銅藍

黄銅鉍は脈石鉍物の間隙を充填したり，非常に凹凸に富む面を示す。黄銅鉍は，2，3の丸い黄鉄鉍を含有したり，輝銅鉍およびダイジェナイトの混合物に不規則に交代される。銅藍はダイジェナイトと輝銅鉍の混合物の境界にまれに認められる。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
C-591	0.4	55.4	0.06	12.09	0.00
C-592	0.0	16.8	0.11	0.14	0.00

(b) そのほかの鉍徴地

今回の調査でRio Iporanga沿いに小規模な鉍徴地が3ヶ所確認された。いずれもAⅢL₂ またはAⅢL₃ 中の脈幅数cmの石英-方解石脈で，低品位の鉛酸化鉍である。鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
C-596	0.0	3.2	0.01	0.15	0.00
E-571	0.0	5.8	0.00	0.02	0.00
E-620	0.0	5.2	0.00	0.03	0.01

(4) Itaoca 東部地区

本地区には鉛鉍床としてSanto Antonio do Pavão (サント アントニオ ド パボン) 鉍床のみであるが，Itaoca 南部には第一年次に報告したAⅢL₂ 中の螢石鉍床のほか Açungui Ⅱ層中のCu, Pb, Zn 鉍徴が知られている。

○ Santo Antonio do Pavão 鉍床

鉍床概要

Itaoca の東方約7kmの標高400~500mの山岳北斜面に位置する。Itaocaより

り Pavão 農場口までバス道路を通じ、同地点から木材搬出道路を約 2 km で Santa Marina II 坑口に達する。本鉍床は探鉍坑道 6 ケ所を有し、1954 年までに 7 T の鉍石を出鉍したが、現在休山中である。

地 質

鉍床周辺の地質は、Açungui III 層の雲母片岩 (A III S₁ ps) と石灰岩類 (A III L₂ ls) からなり、これらに Itaoca 花崗岩が貫入する。鉍床母岩である A III L₂ ls は走向 N-S ~ N 20°E、傾斜 60° ~ 80°NW を示し、層厚は 800 m である。岩相は大きく 2 分され、下部は暗灰色中粒石灰岩・灰 ~ 暗灰色中粒緑泥石 - 絹雲母片岩薄互層からなり、上部は灰色 ~ 暗灰色を呈し、中 ~ 粗粒塊状石灰岩からなる。上部の石灰岩には微量の黄鉄鉍が鉍染し、花崗岩との接触部では一部大理石状の粗粒石灰岩になる。これらのうち鉍床は、A III L₂ ls の下部および上部の境界直上の石灰岩に胚胎する。

また本鉍床は、Sarra Manduri 背斜から連続する Foquilha 背斜の北西翼部に位置する。

鉍 床

鉍床の形態は鉍脈型で、裂か系は①走向 N 70°E ~ E-W、傾斜 60° ~ 80°NW、②走向 N-S ~ N 20°W 傾斜 80° ~ 85°NE、③走向 N 60°W、傾斜 30° ~ 80°NE の 3 系統に分類される。

N 70°E ~ E-W 系統の裂かは、本鉍床東部の Santa Marina I 坑 (坑道 80 m) および II 坑 (坑道 130 m) で観察される。Santa Marina II 坑では N 70°E 系および E-W 系の会交部を掘り下り探鉍されている。この系統の裂かは方解石に充填されているのみで、鉍石鉍物は認められていない。

N-S ~ N 20°W 系統の裂かは、本鉍床中央部の Santo Antonio 坑 (坑道 100 m) に数本発達するが、いずれも方解石しか認められない。最大幅は 10 cm である。

N 60°W 系統の裂かは、本鉍床西部の Nova Esperança 坑 (坑道 60 m) に認められ、鉍化作用を蒙っている。鉍脈の最大走向延長 30 m、脈幅は 5 ~ 20 cm と膨縮に富む。肉眼で認められる鉍石鉍物は方鉛鉍、黄鉄鉍および少量の黄銅鉍と閃亜鉛鉍、脈石鉍物は方解石および少量の石英である。

鉍石サンプルの検鏡結果はつぎのとおりである。

B-622

黄鉄鉍 > 方鉛鉍

黄鉄鉍はほとんど粗粒で多形を呈し、細粒の方鉛鉍および脈石鉍物を含む。また脈石鉍物に充填された割れ目が黄鉄鉍に不規則に入り込む。

鉍石サンプルの分析品位はつぎのとおりである。

	Au (g/T)	Ag (g/T)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
B-622	0.0	51.9	0.00	4.29	0.06

1-2-3 鉛同位体測定結果

Ribeira 谷鉛鋳床帯を包括した第一年次の調査では、鉛鋳床は Açungui I 層の石灰・珪酸塩岩中に層状で胚胎する Perau 型と Açungui III 層の炭酸塩岩中に脈状で胚胎する Rocha 型に大別された (JICA and MMAJ, 1981)。

Ribeira 谷南部を包括した第二年次の調査では、これらの鋳床の生成年代を知るために代表的な鋳山から方鉛鋳試料 (各 2 個) を採取して鉛同位体を測定した。これらの鉛同位体測定値を Cumming and Richards (1976) の鋳石鉛生長曲線上にプロットした結果、鉛同位体学的にも Perau 型と Rocha 型は明瞭に区分されることが判明した (JICA and MMAJ, 1982)。すなわち、Perau 鋳床の同位体年代は約 1,400 m.y. で、Rocha 鋳床の同位体年代は約 1,100 m.y. を示した。

今回の調査地域は Ribeira 谷鉛鋳床帯の北部を包括し、地域内には Furnas, Lageado, Espirito Santo などの Rocha 型鉛鋳床が点在する。

今回の調査では、Ribeira 谷の Perau 型と Rocha 型鉛鋳床を総括するために、第二年次調査地域と今回調査地域内の諸鋳床から計 20 個の方鉛鋳試料を採取し、鉛同位体測定を行なった (Fig. 1-8)。これらの試料の鉛同位体測定値 (Table 1-3) を Cumming and Richards (1976) の鋳石鉛生長曲線上にプロットした結果は Fig. 1-9 に示すとおり、本プロジェクトの前年次までの結果と矛盾しない。

Perau 鋳床と母岩の年代が良く一致することは、Perau 鋳床が同生的に堆積したとする考えを、また Rocha 型鋳床の年代が花崗岩類の活動よりも古く母岩の年代に近似することは、この地域の脈状鋳床は母岩中に沈積した重金属が母岩の割目に濃集して生成したとする考えと矛盾しない。

1-2-4 石灰岩類化学分析結果

(1) 分析の目的

本地域に分布する Açungui III 層中の石灰岩類は多くの鉛鋳床を胚胎しており、従来同一層準が褶曲によりくり返し分布しているとされていたが、今回の調査によって石灰岩類の層序区分および鉛鋳床の地質学的位置づけが明確になった。

第二年次地域においては、Rocha 鋳山の鋳床母岩 (A III L₂) の重金属 (Cu, Pb, Zn, Ag) 分析を実施し、Turekin & Wedepohl (1961) による一般的炭酸塩岩類の平均値と比較して、Rocha 鋳山の母岩は Ag 含有量が非常に高く、鋳床母岩を指示する重要

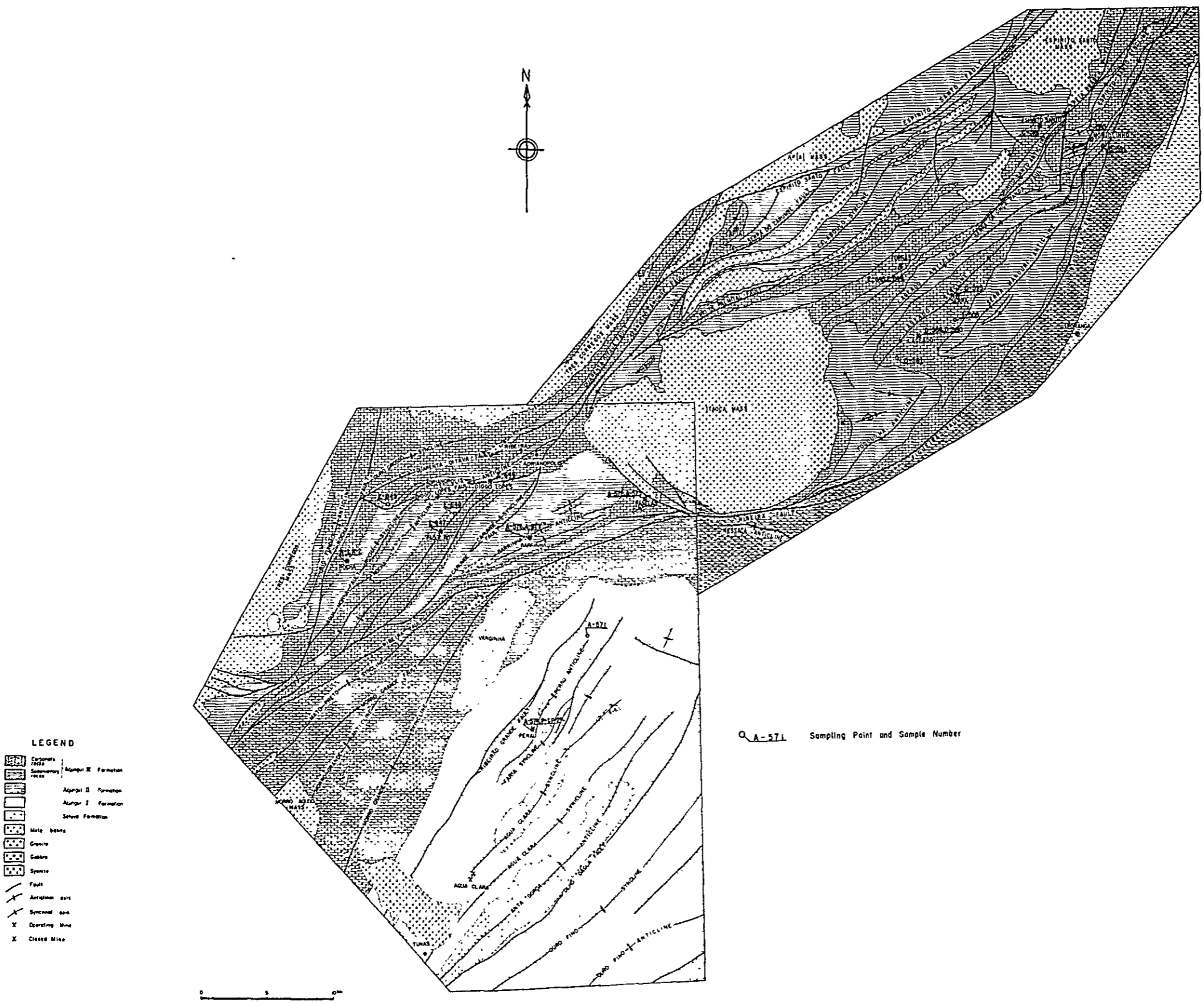


Fig. I-8 Location Map of Galena Samples for Pb Isotopic Analysis in Project Area

Table I-3

Results of Pb Isotopic Analysis

Deposit type	No.	Sample No.	Location	Ore Name	Isotopic Relation		Isotopic Age (m.y.)
					Pb 207/Pb 204	Pb 206/Pb 204	Cumming and Richards (1975)
Perau type	1	A-574	Perau Mine G2+8-S	Pyrite-Galena Ore	15.49	16.20	1440
	2	A-571	Canoas	Galena Ore	15.51	16.24	1420
	*A	P-1	Perau Mine	Galena Ore	15.51	16.24	1420
	*B	P-2	Perau Mine	Galena Ore	15.56	16.31	1380
Rocha type	3	A-572	Panelas Mine 110+26 mL	Galena Ore	15.48	16.66	1180
	4	A-573	Panelas Mine 110+34 mL	Galena Ore	15.47	16.66	1180
	5	A-576	Barrinha Mine	Pyrite-Galena Ore	15.54	17.09	950
	6	A-577	Barrinha Mine	Pyrite-Galena Ore	15.51	17.04	980
	7	C-518	Espirito Santo	Hematite-Galena Ore	15.49	16.52	1260
	8	C-580	Monjolinho de sebastiao	Galena Ore	15.57	17.20	890
	9	C-591	Agua da Limeira	Galena Ore	15.53	16.89	1060
	10	D-581	Boa Ventura	Galena Ore	15.55	16.91	1050
	11	D-588	Nova Esperança	Pyrite-Galena Ore	15.54	16.99	1010
	12	D-590	Santa Nova G-S	Pyrite-Galena Ore	15.51	16.93	1030
	13	D-595	Jaguatrica	Serussite-Galena Ore	15.53	16.97	1020
	14	I-508	Aberto do Leao	Galena Ore	15.54	16.97	1020
	15	E-643	Furnas Mine	Pyrite-Galena Ore	15.57	17.27	850
	16	E-644	Furnas Mine	Galena Ore	15.51	16.95	1030
	17	E-646	Diogo Lopes Mine	Senissite-Galena Ore	15.45	16.62	1210
	18	E-647	Paqueiro Mine	Galena Ore	15.52	16.87	1070
	19	E-648	Bueno Mine	Galena Ore	15.50	16.61	1210
	20	E-649	Onça II	Galena Ore	15.51	16.85	1080
	*C	R-1	Rocha Mine	Galena Ore	15.54	16.91	1050
	*D	R-2	Rocha Mine	Galena Ore	15.51	16.84	1080

*A ~ D after Phase II

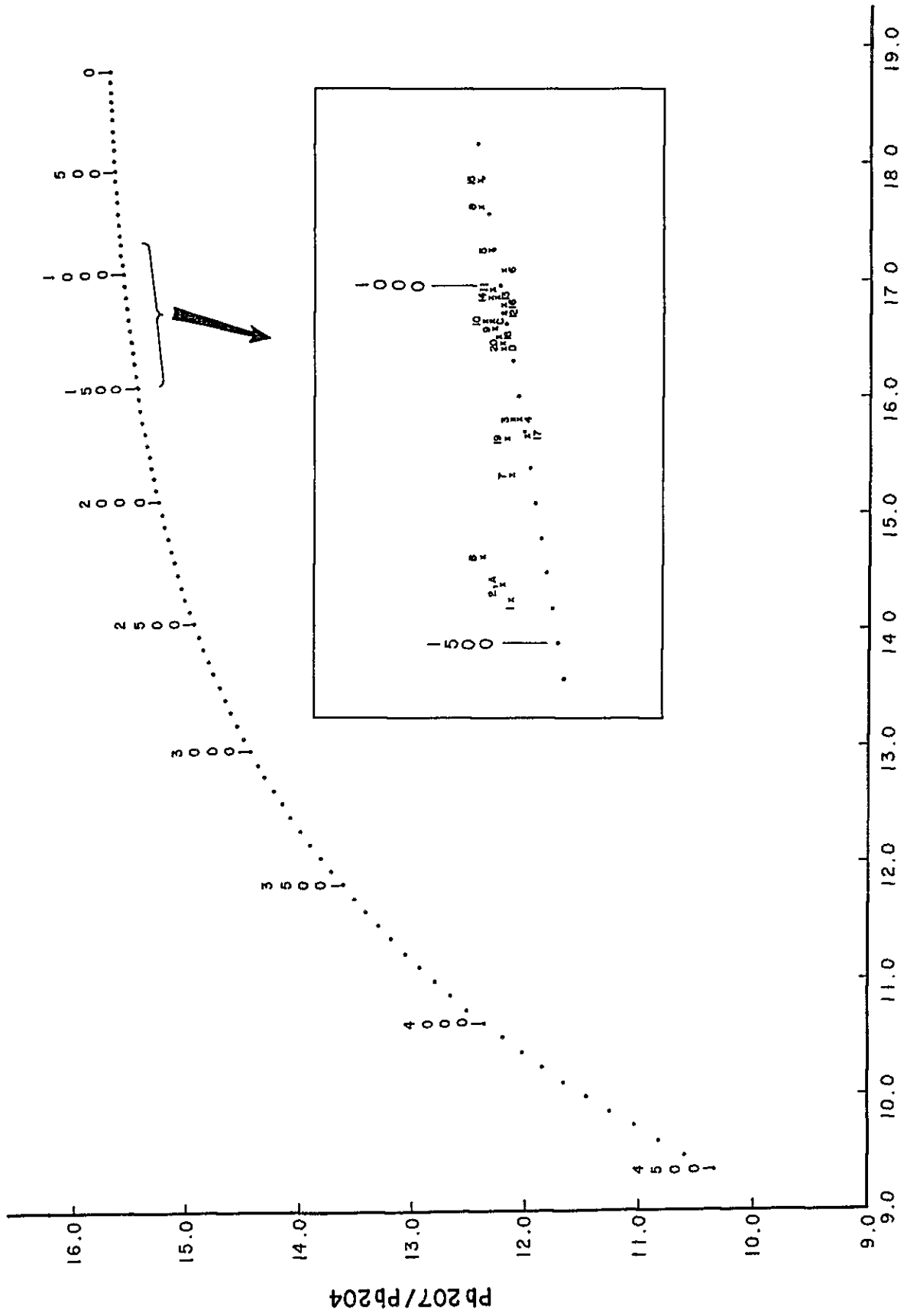


Fig. I—9 Pb Isotopic Age by Ore Lead Growth Curve of Cumming and Richards (1976)
 Pb206/Pb204

な特徴と考えた(JICA and MMAJ, 1982)。

炭酸塩岩中の微量成分の含有量・分布などは、堆積環境推定の一手段として扱われている(Davies, P. J., 1972)。

したがって本年度は石灰岩類の地球化学的特性を見出し、さらに鉛鋳化作用の指示元素あるいは鋳床を胚胎する母岩の堆積環境を推定して、金属鋳床胚胎の場を検討するために、石灰岩類の微量成分の分析を実施した。

(2) 採試方法、分析成分および分析方法

本地域のAçungui III層には、L₂、L₃およびL₄の3層準の石灰岩類が挟在される。これらの石灰岩類の中には多くの鉛鋳床が胚胎しており、とくにL₂にはLageado-Serra鋳床群、L₃にはFurnas鋳床およびEspírito Santo鋳床など比較的まとまった鉛鋳床が胚胎している。したがってこの地域で鋳床探査を実施する場合、L₂およびL₃が鉛鋳床の重要な母岩となっている。これら各層準の石灰岩類の地球化学的特性を知るために、全石灰岩類の分布域から均一になるように試料の採取を実施した(PL. 1-6)。

採取された120個の石灰岩類は、原子吸光分析法および湿式分析法により、Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Ni, Mn, Ba, Sr, F, CaO, MgO, Na, K, I.R. (不溶解残渣)の15成分が分析された(Table A-5)。

(3) 分析結果の解析

得られた分析データから成分ごとのヒストグラムを作成し、つぎに鋳化作用と堆積環境などを推定するため多変量解析を実施した。そして多変量解析結果から重要と考えられる元素の単成分解析をフィードバックし、鉛鋳化作用に関連した異常帯が抽出された。Fig. 1-10には採試計画から異常帯の抽出までのフローチャートを示した。

(a) ヒストグラム

分析データをすべて対数に変換し、各成分の最大値と最小値を両端として20級に分けてヒストグラムを作成した。全成分のうち比較的正規分布に近い形態を示すCu, Pb, Zn, Mn, Ba, F, Na, K, およびI.R.のヒストグラムをFig. 1-11に、全成分の各成分ごとの平均値(\bar{x})および標準偏差値(σ)をTable 1-4に示す。得られたヒストグラムは複数の母集団から構成されているが、この理由としては、後の多変量解析で述べるように種々の因子が複合して影響していると考えられる。

なおAg, Co, Ni, Sr, Ca, およびMgの6成分は、分析の検出限界以下の値が多量であったり、石灰岩および苦灰岩をまとめて分析したために正規分布を示さない。

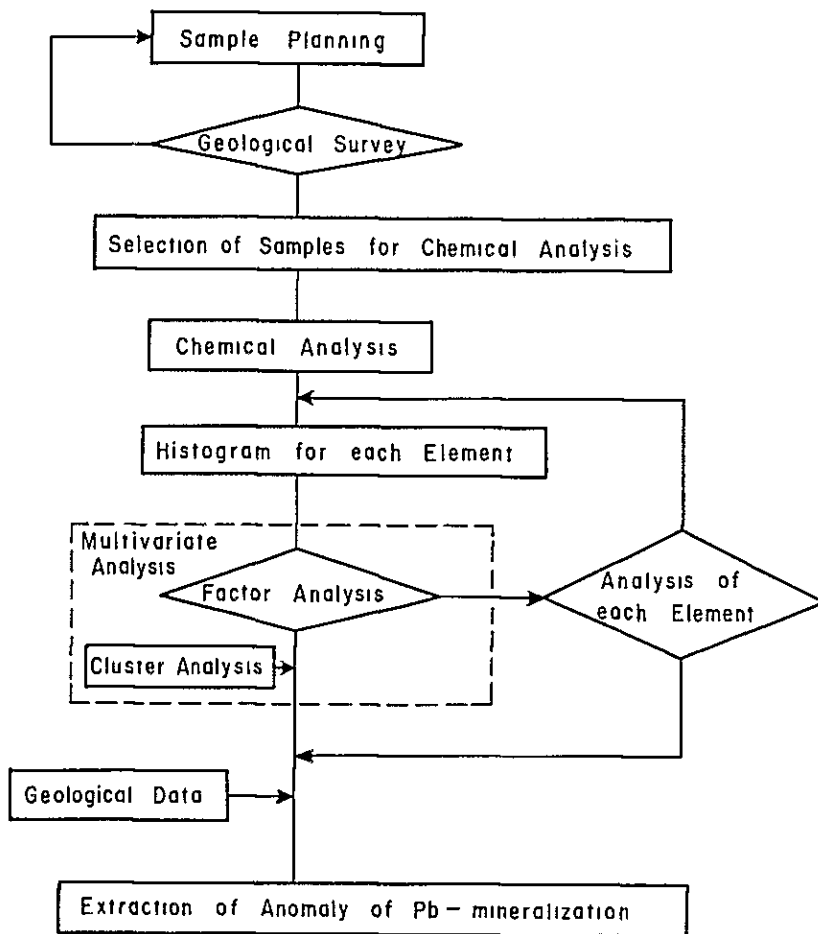


Fig. 1-10 Flow Chart of Statistical Analysis

Table I-4 Mean and Standard Deviation of Geochemical Data of Carbonate Rocks in Survey Area

Element	Max	Min	Mean 10^x	SD 10^y	$10^{x+\sigma}$	$10^{x+2\sigma}$	Unit
Cu	240	3	6.10	2.63	16.0	42.2	ppm
Pb	5400	5	17.10	2.49	42.6	105.9	
Zn	920	3	10.52	3.05	32.1	98.2	
Ag	12.0	0.5	0.53	1.44	0.76	1.10	
Co	20	3	3.62	1.51	5.5	8.3	
Ni	55	3	5.06	2.17	11.0	23.9	
Mn	7400	6	183.23	4.51	826.0	3723.9	
Ba	2400	10	124.74	2.81	349.9	981.7	
Sr	2300	5	553.35	2.74	1517.1	4159.1	
F	2750	50	328.85	2.62	861.0	2254.2	
CaO	55.4	0.1	33.88	2.12	71.8	152.1	
MgO	19.3	0.3	2.71	3.39	9.2	31.1	
Na	0.75	0.03	0.07	2.45	0.17	0.42	
K	1.80	0.03	0.16	3.24	0.52	1.68	
IR	97.1	0.3	8.07	3.54	28.6	101.2	

IR insoluble residues

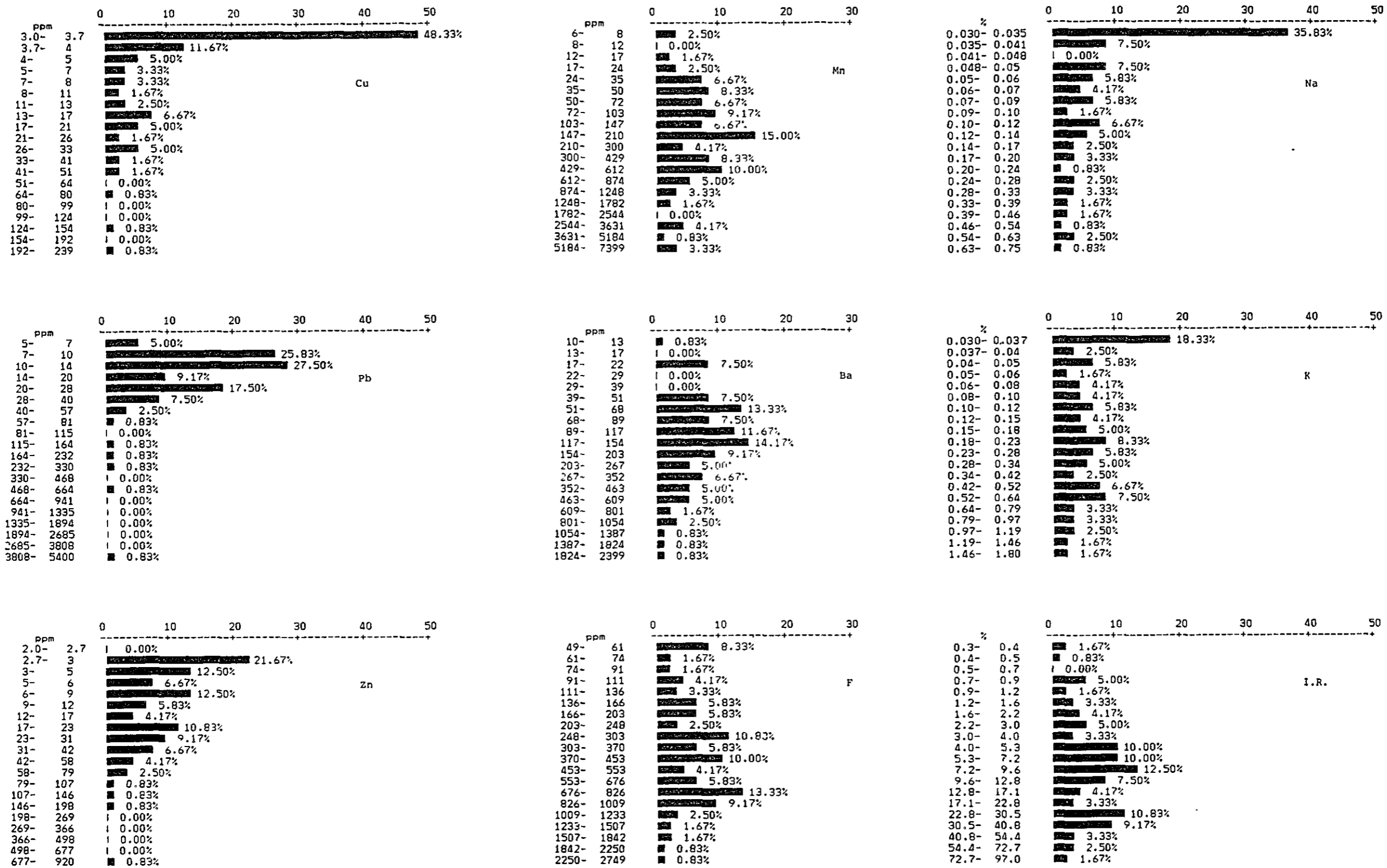


Fig. I - 11

Histogram for Cu, Pb, Zn, Mn, Ba, F, Na, K, and I.R. of Geochemical Data of Carbonate Rocks in Survey Area

(b) 多変量解析

多変量解析には種々の方法があるが、多変量にあらわされる変動をより少数の代表的、仮説的変動によって説明し、これによって科学的に単純性を求めるための解析法として因子分析が有効である。また各成分の相互関係を明らかにするため、補助的手段としてクラスター分析が併用された。

各成分間の相関係数は Table I-5 に示すとおりである。

今回得られた 120 試料 15 成分をコンピュータ (NEC8801) により因子分析(バリマックス法)を実施した結果、4つの因子が抽出された (Table I-6)。すなわち因子負荷量 0.4 以上のものを抽出すると、因子-1 は I.R.-K-Ba-Na-Cu-Zn-Ni-F-Mn, 因子-2 は Pb-Ag-Zn, 因子-3 は Sr-Ca, 因子-4 は Mg-F となる。

各試料ごとの因子別の得点は Table A-6 に示す。

またクラスター分析によるデンドログラム (ウォード法) を Fig. I-12 に示す。これによると因子-1 と因子-4 の 2 グループ, 因子-2 と因子-3 の 2 グループが近い距離で結ばれていることがわかる。

またこの因子分析は個々の元素の相対的量比は示していない。そこで $L_2 \cdot L_3 \cdot L_4$ ごとの相対的な濃度分布の傾向を把握するため、各因子別の因子負荷量が比較的高い元素を選び、各元素の累積度数曲線を作成した。すなわち因子-1 では K, Ba, Na および Mn, 因子-3 では Sr, 因子-4 では F の累積度数曲線を作成した (Fig. I-13)。各層準別の試料数は、 L_2 が 59, L_3 が 48, L_4 が 13 と統計的手法を用いて解析するに十分な信頼度が得られる程多くはないが、おおよその傾向を知ることができる。

つぎに各因子特性の検討を行なう。

因子-1 (I.R.-K-Ba-Na-Cu-Zn-Ni-F-Mn)

SiO_2 , Al_2O_3 などの不溶解残渣 (I.R.), 粘土鉱物として存在すると考えられる Na や K, そしてこれらに Ba が加わった組合わせが主体である。ほかに若干の Cu, Zn, Ni, F および Mn も含まれる。これらを総合すると、不純物に富む還元的な堆積環境の因子が推定される。

PL. I-7-1 は、因子-1 の各試料ごとの因子得点を、0 以上 0.5 未満, 0.5 以上 1.0 未満および 1.0 以上の 3 段階に分けて図示した因子図である。これによると因子得点 0 ~ 0.5 は L_2 , L_3 および L_4 の全層準に認められ、とくに L_2 および L_3 にはまとまって分布する。

また Fig. I-13 から、累積度数曲線の 50% 値をバックグラウンドとすると、Ba および Na は L_2 と L_3 がほぼ等しく L_4 がやや大きい、K と Mn はほとんど層準別の

Table I-5 Correlation Matrix

	Cu	Pb	Zn	Ag	Co	Ni	Mn	Ba	Sr	F	Ca	Hg	Na	K	I.R
Cu	0.714														
Pb	0.348	0.727													
Zn	0.671	0.389	0.705												
Ag	0.278	0.722	0.340	0.722											
Co	0.678	-0.033	0.456	-0.070	0.840										
Ni	0.714	-0.047	0.689	-0.090	0.840	0.840									
Mn	0.257	0.167	0.705	0.241	0.465	0.614	0.705								
Ba	0.548	0.007	0.504	0.060	0.527	0.582	0.464	0.711							
Sr	-0.304	0.108	-0.276	-0.031	-0.234	-0.269	-0.288	-0.201	0.646						
F	0.299	-0.000	0.415	-0.037	0.326	0.489	0.183	0.428	-0.069	0.609					
Ca	-0.479	0.171	-0.363	0.054	-0.365	-0.432	-0.221	-0.328	0.646	-0.208	0.646				
Hg	0.222	-0.074	0.423	-0.141	0.314	0.502	0.353	0.127	-0.442	0.504	-0.234	0.504			
Na	0.481	-0.073	0.406	-0.121	0.492	0.550	0.390	0.552	-0.176	0.367	-0.340	0.312	0.613		
K	0.664	0.080	0.644	0.066	0.560	0.704	0.555	0.711	-0.129	0.609	-0.368	0.327	0.606	0.813	
I.R	0.566	-0.050	0.636	0.028	0.412	0.612	0.627	0.672	-0.253	0.479	-0.567	0.312	0.613	0.813	0.813

I R insoluble residues

Table I-6 Factor Loading of Geochemical data of Carbonate Rocks in Survey Area

Element	Factor Loading			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Cu	0.480	0.365	-0.272	0.055
Pb	-0.030	0.843	0.143	0.001
Zn	0.468	0.474	-0.220	0.380
Ag	0.021	0.842	-0.030	-0.099
Co	0.327	-0.058	-0.126	0.123
Ni	0.467	-0.016	-0.180	0.377
Mn	0.404	0.340	-0.234	0.241
Ba	0.761	0.046	-0.033	0.025
Sr	0.005	-0.008	0.803	-0.196
F	0.466	-0.031	0.056	0.599
CaO	-0.367	0.093	0.715	-0.011
MgO	0.095	-0.062	-0.276	0.682
Na	0.602	-0.112	-0.125	0.149
K	0.809	0.112	-0.057	0.288
I.R	0.837	0.051	-0.300	0.202

I R insoluble residues

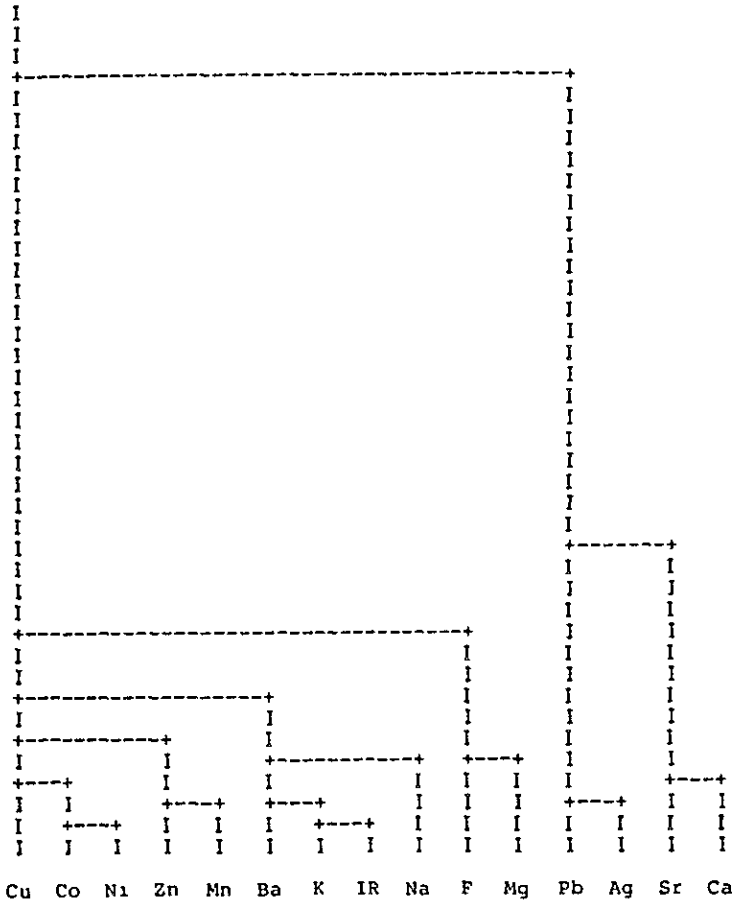


Fig. I-12

Dendrogram by Cluster Analysis of Geochemical Data of Carbonate Rocks

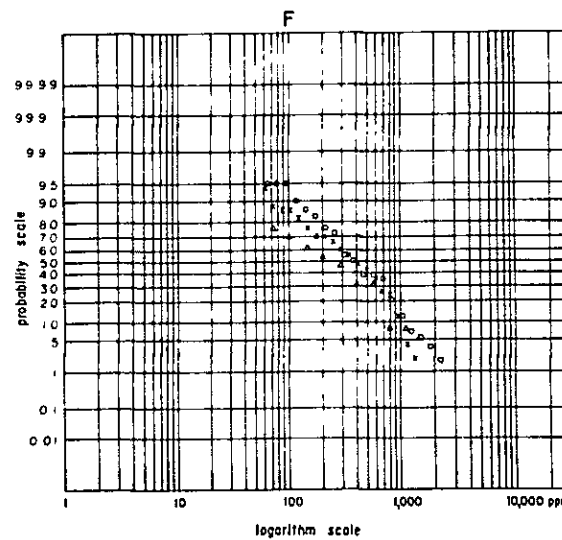
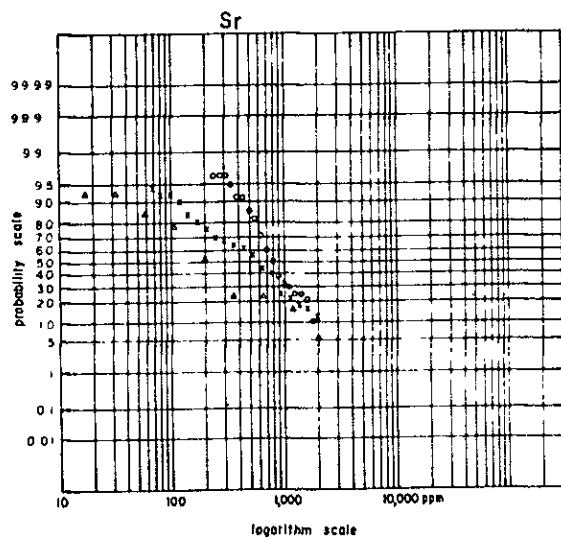
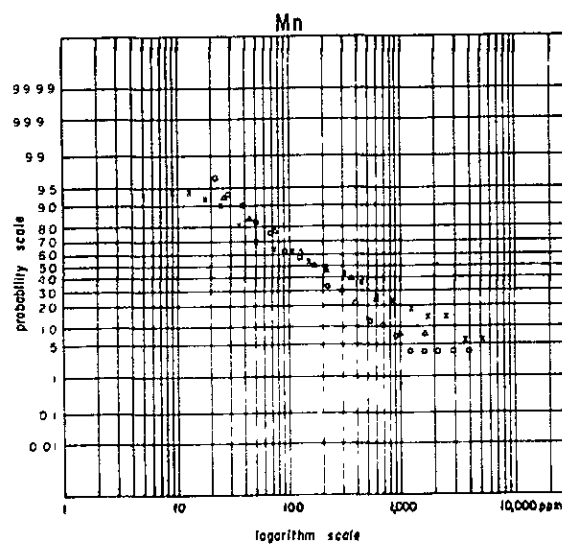
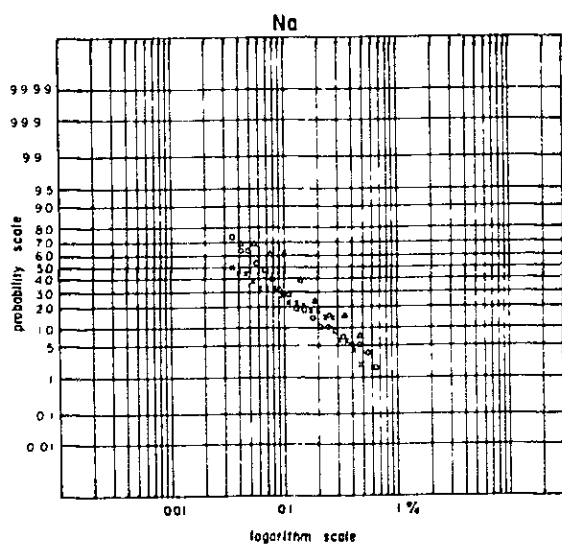
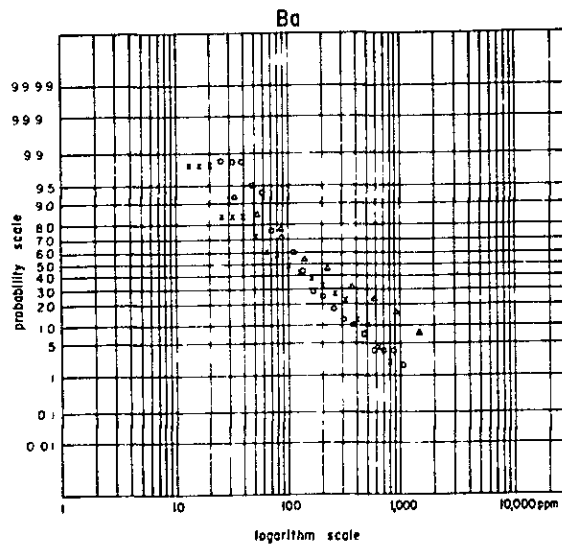
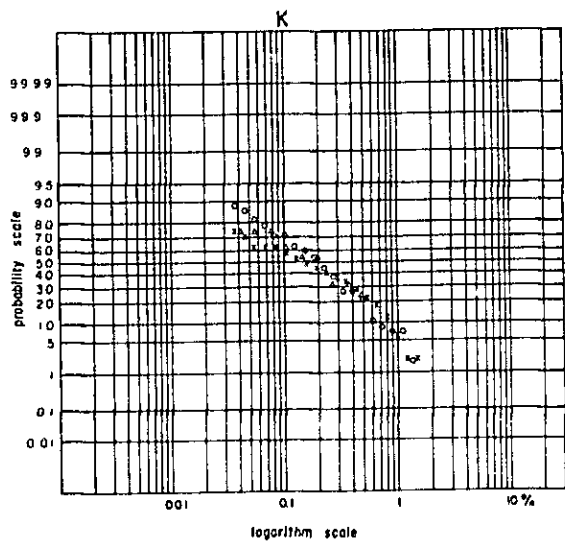


Fig. 1-13 Cumulative Frequency Distribution of K, Ba, Na, Mn, Sr and F of Each Horizon of Limestone

- A III L2
- × A III L3
- △ A III L4

差がない。Mnに関しては、AⅡS₂層に酸化マンガンの汚染が認められることから、石灰岩類にも影響をおよぼしていると推定したが、層準別の差は認められない。

因子-2 (Pb-Ag-Zn)

この因子はFurnas, LageadoおよびEspirito Santoなどの諸鉱床の鉱石の金属元素(Pb-Ag-Zn)と一致し、鉱化作用の因子と考えられる。

PL. I-7-1に、因子-2の因子得点を因子-1と同じように分類し、図示した結果、因子-2は因子-1の分布域中に認められ、かつ既知鉱床周辺にはまとまって分布する。

つぎにPb, Ag, Znのうち、Agは分析限界以下の値が多く統計処理が行えないが、PbおよびZnはTable I-4から得られた平均値(M)および標準偏差(S.D.)をもとにつぎのように異常値(t)を決定した。

Pbは、 $t_1 = M + 0.5 \text{ S.D.} = 27.0 \mu\text{m}$, $t_2 = M + \text{S.D.} = 42.6 \mu\text{m}$, $t_3 = M + 2 \text{ S.D.} = 105.9 \mu\text{m}$, Znは $t_1 = M + \text{S.D.} = 32.1 \mu\text{m}$, $t_2 = M + 2 \text{ S.D.} = 98.2 \mu\text{m}$, $t_3 = M + 3 \text{ S.D.} = 299.9 \mu\text{m}$ となる。したがってPbに関しては27.0 μm 以上42.6 μm 未満を弱異常帯、42.6 μm 以上105.9 μm を中異常帯、105.9 μm 以上を強異常帯として異常図を作成した(PL. I-8)。同様にZnに関しては、32.1 μm 以上98.2 μm 未満を弱異常帯、98.2 μm 以上299.9 μm 未満を中異常帯、299.9 μm 以上を強異常帯とした。

PL. I-8のPb-Zn異常帯は、PL. I-7-1の因子図で因子-2の分布域のうちL₂およびL₃のものと一致する。

以上からPb異常帯および因子-2を総合して鉛鉱化作用の可能性のある地域を簡単に図示すると、Fig. I-14となり、前述したようにFurnas, LageadoおよびEspirito Santoなどの既知鉱床と一致した分布を示す。ここでL₄には因子-2が小規模に分布するが、Pb異常が認められていないのは、Turekian & Wedepohl(1961)による一般の炭酸塩岩中のPb含有量に比較して、L₄のPb含有量が若干高いだけであるためと考える。一方L₂およびL₃のPb含有量は一般の炭酸塩岩中のPb含有量の2倍以上の値を示す。

因子-3 (Sr-Ca)

Srの存在状態は、CaCO₃の結晶格子中にCaの一部を置換するものと、不純物中に存在するものの2つが考えられる。後者に関しては、因子-1でわずかに示されており、前者の存在状態を示していると考えられる。したがってこの因子-3は、CaCO₃の結晶学的性質、すなわち石灰岩類の岩石学的性質を特徴づける因子と考えられる。

PL. I-7-2に因子-3の因子得点を因子-1同様3段階に分けて図示したよう

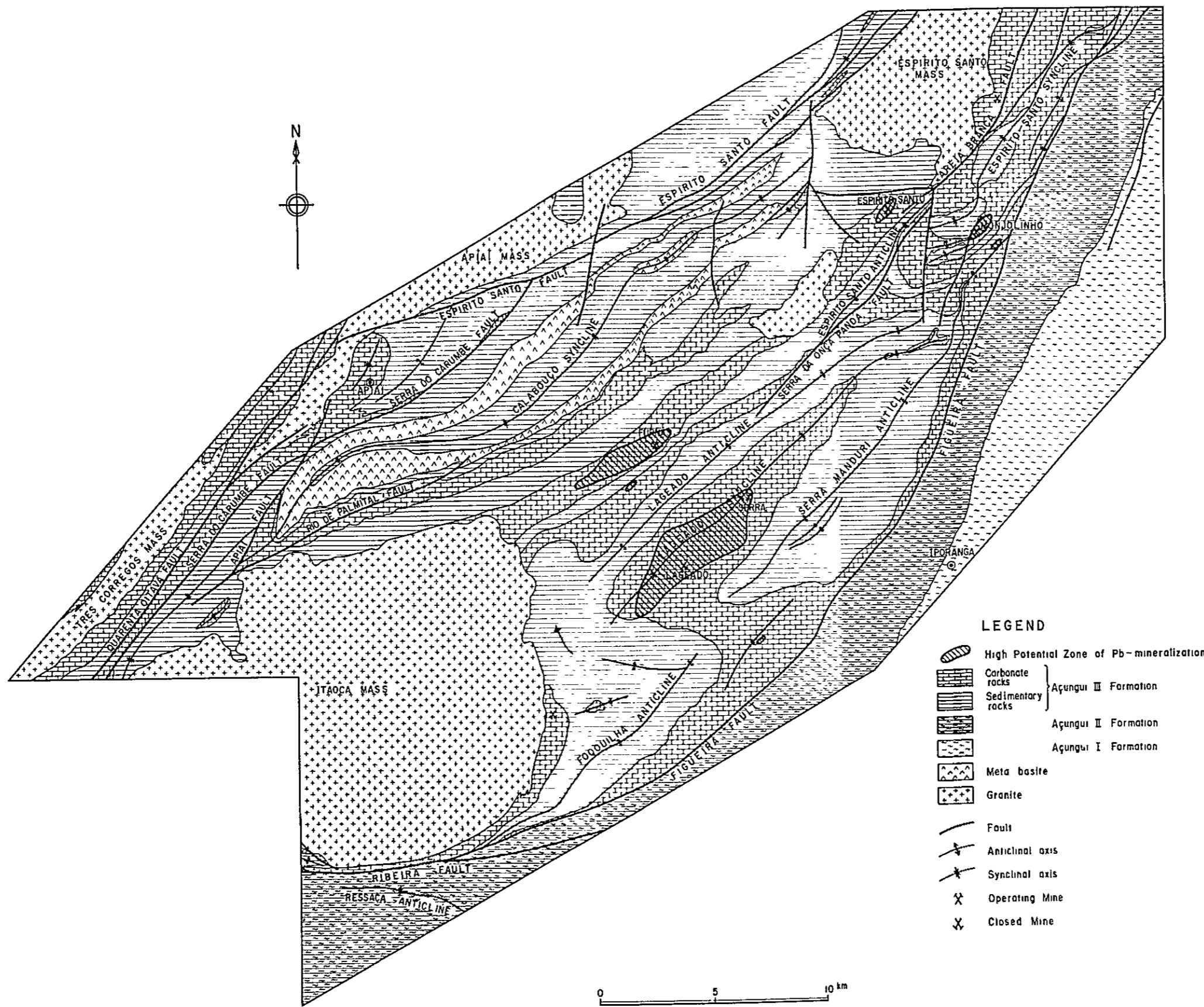


Fig. I - 14

High Potential Zone of Pb-Mineralization in Survey Area

に、 L_4 に比較して L_2 および L_3 に因子得点の高い試料が多く認められる。

つぎに S_r はFig. 1-13に示したように、各層準の石灰岩によって明瞭に含有量の差が認められる。すなわち下位の石灰岩程、含有量が増加しており、岩石の特性の違いを表わしていると察する。

因子-4 (Mg-F)

この因子は、若灰岩を特徴づける因子と考えられる。またクラスター分析により、因子-4は因子-1と相関があることから、若灰岩の一部は初生的に還元的堆積環境で堆積したと考えられる。

PL. 1-7-2には、因子-4の因子得点を因子-1同様3段階に分けて図示してある。

つぎにFig. 1-13に示したように、Fの50%値をみると、 L_2 および L_3 が等しく L_4 は小さいことがわかる。このことは、 L_4 は L_2 および L_3 と比較して、若灰岩が圧倒的に少ないという地質データと矛盾しない。

1-2-5 鉍床生成に関する考察

本地域における石灰岩類中に胚胎する鉍脈型鉛（一重鉛）鉍床の生成機構を考察するには、鉛同位体測定で得られた時代と鉍脈裂か形成の時代が異なることから

- ① 地質構造の解明
 - ② 鉍床母岩の地球化学的検討
- が重要であると考えられる。

①に関しては、Plate 1-4に本地域に分布する鉍床・鉍徴地と地質構造との関係を示したように、Furnas, Lageado, Espirito Santo, MonjolinhoおよびPavãoなどの諸鉍床は、本地域の第1次のオーダーのCalabouço向斜およびSerra Manduri - Foquilha背斜の間に分布する。

各々の鉍床の地質構造上の特徴を述べると、Furnas鉍床は鉍床母岩の層厚が極端に減少する位置にあるのに比べて、Lageado鉍床は鉍床母岩の層厚が最大となる場所に位置する。後者のLageado鉍床周辺は、本地域の第2次のオーダーのLageado向斜の底部にも位置し、かつNNW-SSE系の褶曲構造が重複している。Espirito Santo鉍床およびMonjolinho鉍床は本地域の第3次のオーダーのEspirito Santo背斜およびEspirito Santo向斜の翼部にも位置する。これらの鉍床の鉍脈裂力は、前にも述べたように、本地域のNE-SW系の褶曲構造を形成したブラジル造山輪廻期のNW-SE方向の横圧力による座屈褶曲作用によって変堆積岩類に比べてよりコンピーテントな石灰岩類中に形成されたと考えられる。このように鉍床を胚胎する割目の形成には、オーダーまたは方向の異なる褶曲

構造が重複したトラップや鉛鋳床母岩の極端な層厚変化などが相乗的に作用したものと推定される。

鉛鋳床母岩の地球化学的検討に関しては、石灰岩類の化学分析結果から得られた母岩の堆積環境を指示すると考えられる因子-1 (I.R. -K-Ba-Na-Cu-Zn-Ni-F-Mn) および鉛化作用に関連すると考えられる因子-2 (Pb-Ag-Zn) は、ほぼ重複しており、既知鉛鋳床群はすべてこの因子-2 の分布する範囲に存在することは既に述べたとおりである。また Pb 含有量は L_2 および L_3 に一般の炭酸塩岩中の Pb 含有量の 2 倍以上の値を示す結果も得られた。

以上から本地域の鉛鋳床の生成機構を考察すると、環元的古環境下において、石灰岩類の堆積と同時に溶脱された Pb-Ag-Zn の沈積が行なわれ、この Pb-Ag-Zn は後のブラジル造山輪廻期に形成された裂かに移動・濃集されたと推定される。

なお Lageado 鉛鋳床および Rio Betari 上流の Cu 鉛鋳床地に関しては、近傍に花崗岩類の小岩脈が認められることや、脈石鉛鋳物が石英で母岩に若干の熱水変質を与えていることなど上記の鉛鋳床とは様相を異にすることから、花崗岩類の活動に関係した熱水鉛鋳床の可能性も考えられる。

1-2-6 今後の探鉛余地

地質構造および石灰岩化学分析結果から、本地域で有望な鉛鋳床賦存の可能性のある地域としては、Furnas 鉛山周辺があげられる。Furnas 鉛山では比較的規則的に配列する大きな鉛鋳床を開発してきており、本鉛山周辺とくに南西部には潜頭性の鉛鋳床が期待できる。

また Lageado-Serra 鉛鋳床群には、断続しながらも旧坑が多数存在することから、ほかの地域に比較して、小規模なものが存在する可能性が高い。

残りの Espirito Santo 地区および Itaoca 東部地区に関しては、地質鉛鋳床調査結果および石灰岩類の化学分析結果から判断して大きな鉛鋳床は期待できないと考える。

