

2

196. 4
196. 4
196. 4

196. 4

JICA LIBRARY



1124676(6)

196. 4
196. 4

196. 4
196. 4
196. 4

ボリヴィア共和国ワヌニ地域
資源開発協力基礎調査報告書
地域開発計画調査

中間報告書

平成7年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1124676 [6]

は し が き

日本国政府はボリヴィア共和国政府の要請に応え、同国中央部に位置するワヌニ地域の鉱床賦存の可能性を確認するため、地質調査・物理探査・ボーリング調査などの鉱床調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6年度から平成7年度までの2年間実施されることとなり、この間、金属鉱業事業団は数次にわたり調査団を編成し現地に派遣した。これらの現地調査は、ボリヴィア共和国政府機関、ボリヴィア鉱山公社の協力を得て予定どおり完了した。

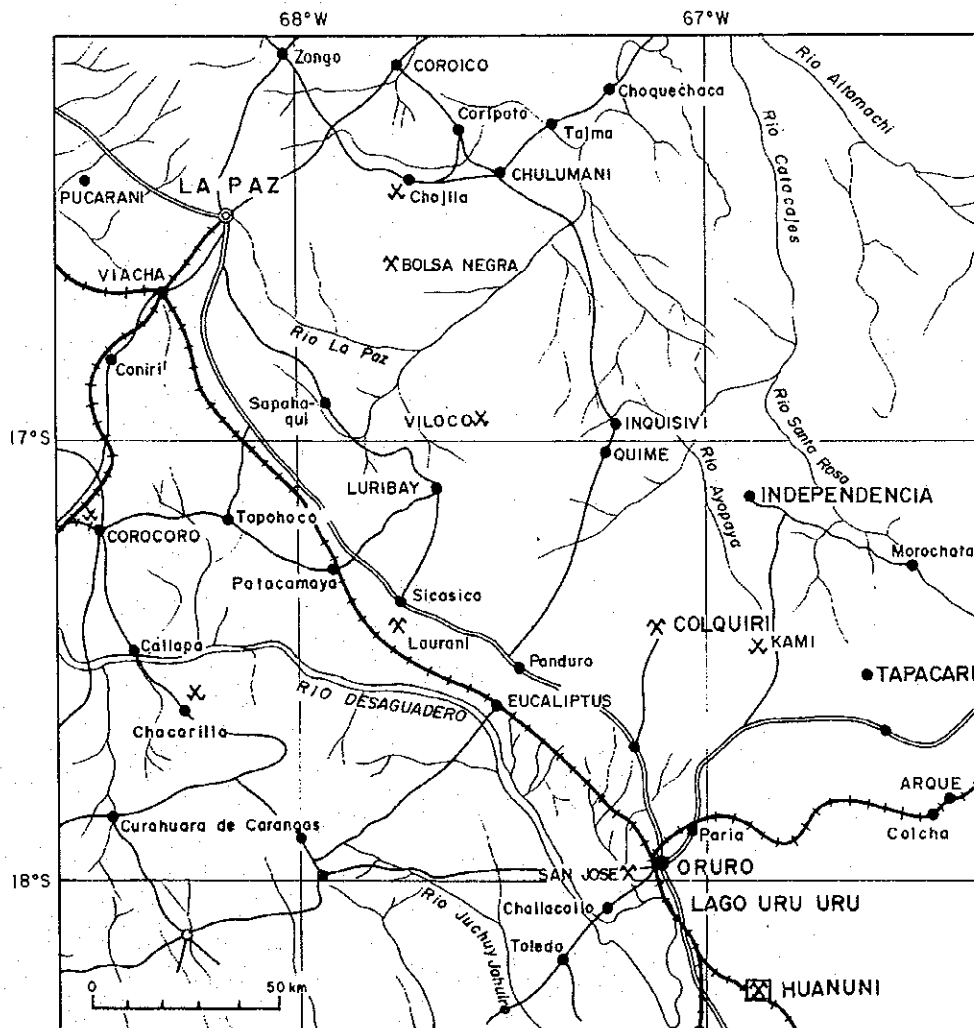
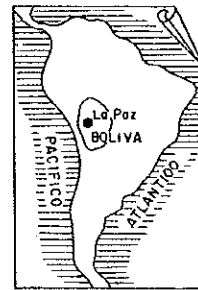
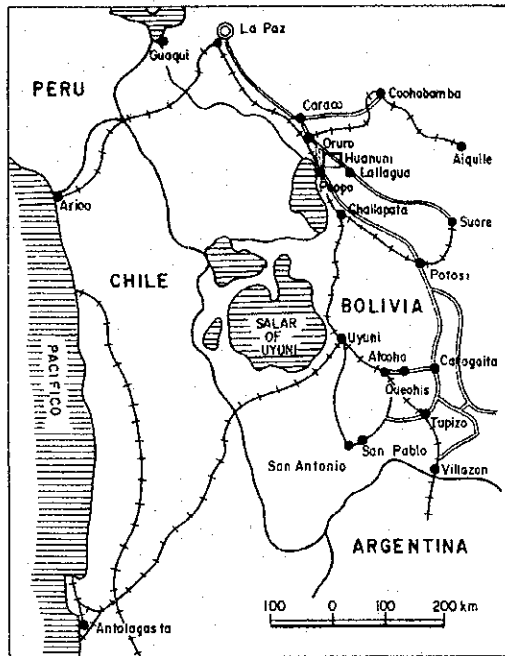
本報告書は、平成6年度の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたボリヴィア共和国政府機関並びに外務省、通商産業省、在ボリヴィア大使館及び関係各位に衷心より感謝の意を表する。

平成7年2月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

金属鉱業事業団
理事長 石川 丘



要 約

本調査はボリヴィア共和国ワヌニ(Huanuni)地域において鉱床賦存状況を解明し、新鉱床を発見することにより、同鉱山の鉱業活動を支援すること、並びに相手国機関に対して技術移転を図ることを目的とする。この目的を達成するために平成6年度は地質調査・物理探査及びボーリング調査を実施した。本報告書はこれらの調査結果を取りまとめたものである。

1 目的

(1)地質調査 当地域の地質・鉱床及び地質構造の詳細を解明し、鉱化帯の形成機構及び賦存状況を考察する。また、物理探査の解析結果と併せて総合的に検討し、ボーリング調査実施位置の選定及び鉱床賦存ポテンシャルの評価に資する。

(2)物理探査 当地域における鉱化帯と地下地質構造との関係を解明すると共に、異常帯の抽出を行い、ボーリング調査実施位置の選定に必要な情報を得る。併せて当手法の鉱床探査に対する有効性を評価する。

(3)ボーリング調査 地質調査及び物理探査により抽出された鉱床賦存の有望地区において、鉱化作用、その連続・規模及び鉱況などを確認し、鉱量の増大を図る。

2 調査結果

(1)当地域の地質は下位よりシルル系のカンカニイリ(Cancaniri)層、ワヌニ層、リャリャグア(Llallagua)層、ウンシア(Uncia)層、カタビ(Catavi)層及びこれらを不整合に覆う第三系のモロッコカラ(Morococala)層から構成される。

(2)シルル系の各層は砂岩及び粘板岩を主体とし北西系の分布を示し、同方向の褶曲軸を有する著しい褶曲構造及び東北東方向の断層運動を被っている。これらに貫入する石英斑岩岩脈は今回の調査で 19.9 ± 0.5 m. y. の絶対年代を示すことが確認され、鉱化作用に密接に関連するものと推定されている。さらにこれら全体を覆う第三系のモロッコカラ層は6~7m. y. を示すデイサイト溶岩及び同質火砕岩から構成される。

(3)鉱床はほぼ東北東系を示す南傾斜の錫を主体とする多金属鉱脈鉱床で、主な鉱化帯はポソコニ(Pozokoni)、ビスカチャニ(Viscachani)、マリア・フランシスカ(Maria Francisca)、ペピイトス(Pepitos) 鉱化帯などであり、これらはほぼ南北5km、東西3kmの範囲内に分散分布する。これらのほかに、今回の調査で当地域北端にコンドル・チュコ(Condor Chuko)、フチュイ・ヨレトニ(Juchuy Yoretani)の網状石英脈鉱化帯及びケブラーダ・チュチロニ(Quebrada Chuchilloni)の粘土化変質帯を確認した。

(4)鉱床の構成鉱物は錫石、黄錫鉱を主体に閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、磁硫鉄鉱、磁鉄鉱、白鉄鉱、輝安鉱、菱鉄鉱、藍鉄鉱、毛鉱、車骨鉱、フランケアイト、石英、電気石系鉱物、ウバイト、バージェライト、螢石、燐灰石などで、鉱石はこれ

らの高温から低温生成の鉱物が密接に共生するテレスコープ組織を示し、典型的なゼノサーマル・タイプの鉱床である。

(5) 鉱化作用に伴う変質作用は絹雲母化、カオリン化、電気石化作用などを主体とし、螢石、燐灰石などのハロゲン及び磷酸塩鉱物を産する気成鉱化作用の特徴を示す。

(6) 前記の鉱化帯のうち最大規模のポソコニ鉱化帯は走向方向に 1,500m 以上、傾斜方向に 700m 以上の規模を有し、平均脈幅 30-40cm で、さらに北東延長部及び下部への発展が期待し得る。

(7) 錫の富鉱体は $N80^{\circ} \sim 65^{\circ} E, 72 \sim 60^{\circ} S$ 系の鉱脈に集中し、富鉱体の規模は走向及び傾斜方向にそれぞれ 100m ~ 150m 程度であり、鉱床はこの程度の規模の平行鉱脈の集合脈鉱床である。これ以外の系統の鉱脈群は黄鉄鉱を主体に錫に乏しい鉱脈で、二つのタイプの鉱化作用が想定される。

(8) これらの鉱脈を胚胎する裂カ系は広域的な地質構造運動により形成されたものではなく、ポソコニ鉱化帯の深部に想定される深成岩岩体の貫入活動に伴い形成された局所的なものと解釈される。

(9) 鉱脈自体は母岩の角礫をあまり含まない塊状及び縞状鉱を主体とし、母岩との境界の明瞭な産状を示す事実から判断して、典型的な開孔裂カ充填鉱床である。しかし、鉱床全体としてはかなりの部分が網状脈及び鉱染状鉱床を形成している。

(10) I P 探査結果は調査地域から採取した岩石、鉱石及びボーリング・コアの物性測定値と調和的で、地質調査結果をほぼ正確に反映しており、当地域に対する I P 探査の有効性が立証された。

(11) I P 調査で抽出された異常帯はポソコニ北東部、ビスカチャニ、ポソコニ北部部、コンドル・チュコ東部及びセロ・ビスカチャニ異常帯の 5箇所であり、その賦存場所はコンドル・チュコ東部異常帯以外はいずれも既知鉱化帯の分布とほぼ調和的である。

(12) ボーリング調査によりビスカチャニ、セロ・ビスカチャニ及びポソコニ北東部異常帯の地表下 600m 付近に以下の鉱脈を伴う優勢な鉱化変質帯の存在が確認された。

	着鉱深度	着鉱長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
MJBH-1	11.70m-	15cm	0.03	81.3	0.01	0.38	16.25
"	124.00m-	25cm	0.03	16.4	0.04	0.20	22.12
"	173.70m-	20cm	0.03	49.2	14.90	3.15	9.22
"	177.35m-	40cm	0.07	48.7	0.08	1.48	7.71
"	410.60m-	30cm	0.03	243.0	0.39	18.11	0.65
"	481.60m-	60cm	0.03	152.4	0.07	2.06	0.32
MJBH-2	66.85m-	20cm	0.06	31.7	0.01	0.05	0.59
"	115.70m-	15cm	0.03	16.2	0.01	0.07	0.67
"	127.40m-	15cm	0.03	32.71	0.01	0.65	0.55

3 第2年次への提言

地質調査、物理探査及びボーリング調査結果を総合的に解析した結果、以下の地域に対して坑外ボーリングを実施し、新鉱床の発見及び埋蔵鉱量の増大に努めるべきである。

(1)ポソコニ北東部異常帯地域：物理探査で抽出された異常帯及びボーリング MJBH-1 で確認された優勢な鉱脈群の上部及びその北東延長部に対する確認ボーリング探査。

(2)ビスカチャニ及びゼロ・ビスカチャニ異常帯地域：地質調査で確認された鉱化変質帯と物理探査で抽出された異常帯及びボーリング MJBH-2 で確認された優勢な鉱化変質帯の上部に対する確認ボーリング探査。

(3)ポソコニ北部異常帯：物理探査で抽出された異常帯で、かつ、既知バンディ鉱脈群の北東延長部に対する確認ボーリング探査。

(4)コンドル・チュコ東部異常帯：物理探査で新たに抽出された異常帯に対する確認ボーリング探査。

目 次

はしがき

調査地域位置図

要約

第1部 総論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 調査方法及び調査量	1
1-3 調査期間及び調査員	1
第2章 調査地域の地理	3
2-1 位置及び交通	3
2-2 地形及び水系	3
2-3 気候及び植生	4
第3章 地質概要	4
3-1 既存調査概要	4
3-2 地質的位置付及び地質概要	5
3-3 調査地域の鉱業沿革	5
第4章 調査結果の総合検討	6
4-1 鉱化作用の特性と鉱床生成モデル	6
4-1-1 鉱化作用の特性	6
4-1-2 鉱床生成モデル	6
4-2 物理探査の異常帯と鉱化作用の関係	6
4-3 ボーリング調査結果と鉱化作用の関係	7
4-4 鉱床賦存のポテンシャル	8
第5章 結論及び第2年次への提言	8
5-1 結論	8
5-2 第2年次への提言	11

第2部 各論

第1章 地質調査	13
1-1 地質概要	13
1-2 地質各論	13
1-3 地質構造	20
1-4 鉱床	23
1-4-1 鉱床概要	23
1-4-2 鉱化帯各論	24
1-5 考察	30
1-5-1 鉱脈の配列パターンと鉱化作用の特性	30
1-5-2 鉱床賦存のポテンシャル	34
第2章 物理探査	36
2-1 調査目的・内容及び使用主要機材	36
2-2 測定方法	36
2-2-1 測線設定及び測量	36
2-2-2 物性測定	36
2-2-3 IP測定	39
2-3 調査結果及び考察	39
2-3-1 物性測定	39
2-3-2 IP調査	40
2-4 総合解析	43
第3章 ボーリング調査	92
3-1 調査目的	92
3-2 調査工事概要	92
3-3 調査結果及び考察	92

第3部 結論及び第2年次への提言

第1章 結論	102
1-1 結論	102
1-1 鉱床賦存のポテンシャル	102
第2章 第2年次への提言	105

付表・付図・付録一覧

付 表 一 覧

Tabla 1-1-1	調査手法・調査量及び室内試験項目・数量表
Tabla 1-1-2	調査期間表
Tabla 1-1-3	調査団員名簿
Tabla 2-1-1	ワヌニ鉱山地域地質層序表
Tabla 2-1-2	主要鉱脈一覧表
Tabla 2-1-3	鉱化・変質帯一覧表
Tabla 2-1-4	鉱脈走向・傾斜解析結果一覧表
Tabla 2-2-1	主要使用機材表
Tabla 2-2-2	サンプリング・タイム一覧表
Tabla 2-3-1	ボーリング調査結果一覧表
Tabla 2-3-2	ボーリング調査工程表
Tabla 2-3-3	使用機器一覧表
Tabla 2-3-4	使用消耗品及びダイヤモンドドット、リマー消耗一覧表
Tabla 2-3-5	掘進実績表 (MJBH-1及び 2)

付 図 一 覧

巻頭	調査地域位置図
Fig. 1-1-1	鉱床生成モデル図
Fig. 2-1-1	地質平面及び断面図
Fig. 2-1-2	地質構造概要図
Fig. 2-1-3	鉱徴地位置図
Fig. 2-1-4	坑内地質平面及び断面図
Fig. 2-1-5	坑内鉱脈走向・傾斜解析図
Fig. 2-1-6	坑内鉱脈スケッチ
Fig. 2-2-1	測線位置図
Fig. 2-2-2	測定概念図
Fig. 2-2-3	測定方法概念図
Fig. 2-2-4	見掛比抵抗・分極率断面図

- Fig. 2-2-5 見掛比抵抗平面図
- Fig. 2-2-6 分極率平面図
- Fig. 2-2-7 総合解析図
- Fig. 2-3-1 ボーリング位置図
- Fig. 2-3-2 ボーリング地質断面図 (MJBH-1及び 2)
- Fig. 2-3-3 ボーリング結果総合解析図

巻 末

- A-1 岩石薄片顕微鏡観察結果一覧表及び同写真
- A-2 石研磨変観察結果一覧表及び同写真
- A-3 X線回折試験結果一覧表及び同チャート
- A-4 鉍石化学分析結果一覧表
- A-5 E P M A 試験結果一覧表
- A-6 年代測定結果一覧表
- A-7 岩石・鉍石物性測定結果一覧表
- A-8 ボーリング地質柱状図 (MJBC-1及び2)
- A-9 野外調査スケッチ
- A-10 鉍脈の走向・傾斜測定一覧表(L-200)

別 添 図

- PL-1 ワヌニ鉍山地質図
- PL-2 ワヌニ鉍山地質断面図
- PL-3(1) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 A 及び B)
- PL-3(2) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 C 及び D)
- PL-3(3) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 E 及び F)
- PL-3(4) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 G 及び H)
- PL-3(5) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 J 及び K)
- PL-3(6) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 L)
- PL-3(7) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 M)
- PL-3(8) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 N)
- PL-3(9) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 O)
- PL-3(10) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 P 及び Q)
- PL-3(11) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 R 及び S)
- PL-3(12) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 X)
- PL-3(13) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 Y)

- PL-3(14) 見掛比抵抗及び分極率断面図 (測線 Z)
 PL-4 見掛比抵抗平面図
 PL-5 分極率平面図
 PL-6 物理探査総合解析図

付 帯 資 料

- | | | |
|----|--------------------|----|
| 1 | ルート・マップ | 1式 |
| 2 | 岩石及び鉱石サンプル | 1式 |
| 3 | 岩石薄片 | 1式 |
| 4 | 鉱石研磨片 | 1式 |
| 5 | 化学分析値フロッピー | 1式 |
| 6 | 物理探査測定記録 | 1式 |
| 7 | 物理探査測定値一覧表 | 1式 |
| 8 | 解析曲線図 | 1式 |
| 9 | 孔別作業状況記録写真 | 1式 |
| 10 | 全コアのカラー写真 (鉱徴部を含む) | 1式 |
| 11 | 地質調査、物理探査作業状況写真 | 1式 |

第1部 総論

第1章 調査概要

1-1 調査の経緯及び目的

ボリヴィア共和国では1976年以降、同国南部のサン・アントニオ (San Antonio)、サン・ビセンテ (San Vicente) 及びグラン・チョコカヤ (Gran Chocaya) 地域並びに中央部のコルキリ (Colquiri) 地域で資源開発協力基礎調査が実施された。これらの結果は鉱山開発に結つく多大な成果をあげ同国でも高い評価を受け、併せて両国の友好関係にも貢献してきた。この経緯を踏まえてボリヴィア共和政府は同国のほぼ中央部に位置するワヌニ鉱山付近の鉱床探査を日本国政府に要請してきた。ワヌニ鉱山はボリヴィア鉱山公社(以下単にCOMIBOL)に属し、錫を生産しているが埋蔵鉱量に不安がある。しかし、既知鉱床周辺部は地質・鉱床学的に鉱床賦存の可能性が高いものと判断されているが、同社はこの有望地域に対して探鉱を促進する資金的余裕がなく本格的な探査がまったく実施されていない。この有望地域に対して地質調査、物理探査及びボーリング調査を実施し、新鉱床を発見することは同鉱山の長期安定操業及び同国の経済発展にも直接貢献するものと判断される。

従って、日本国政府は1994年度から2カ年計画で同地域における資源開発協力基礎調査を実施することとした。

1-2 調査目的・内容及び調査量

各調査手法の調査量・室内試験項目・数量をTable 1-1-1 に示す。

調査内容及び目的は以下のとおりである。

地表地質調査は当地域の鉱化作用と地質構造の位置的關係を、坑内地質調査は鉱脈の配列パターン・裂カ系の形成機構、富鉱体の形態、共生鉱物などの鉱化作用の特性を解明し鉱床探査の基礎資料とする。この結果を活用し新規鉱床賦存のポテンシャルを評価しボーリング実施位置の選定に資する。

物理探査は当地域の既知鉱化帯を中心にその周辺部も含めてIP法を実施し、鉱化帯と地下地質構造の關係を解明すると共に、異常帯の抽出を行い、ボーリング調査実施位置の選定に必要な情報を得る。併せて当手法の鉱床探査に対する有効性を評価する。

ボーリング調査は地質調査及び物理探査結果により抽出された鉱床賦存のポテンシャルの高い地域の実態を確認し、埋蔵鉱量の増大を図る。

1-3 調査団及び調査期間

調査期間及び調査団員名簿をTable 1-1-2, 1-1-3 に示す。

Tabla 1-1-1 調査手法・調査量及び室内試験項目・数量

地質調査	調査面積	20km ²	岩石薄片観察	20件
地表調査	ルート長	40km	鉱石研磨片観察	20件
坑内調査	“	6日	X線回折試験	30件
			EPMA(定量分析)	15件
			年代測定(K-Ar法)	3件
			化学分析(鉱石品位)	36件
			(Sn, Zn, Pb, Au, Ag)180成分	
物理探査	I P 調査			
測線総延長		44.9km	比抵抗値測定	30件
測線間隔		200 m	分極率測定	30件
測線数		21測線		
測点間隔		100 m		
ボーリング調査	総掘削長	1.002m(2孔)		
	MJBH-1	501m	岩石薄片観察	5件
	MJBC-2	501m	鉱石研磨片観察	10件
			X線回折試験	7件
			EPMA(定量分析)	5件
			化学分析	23件
			(Sn, Zn, Pb, Au, Ag)115成分	

Tabla 1-1-2 調査期間

現地調査	平成 6年 11 月 10 日～平成 7年 02 月 18 日
地質調査	平成 6年 11 月 10 日～平成 6年 12 月 29 日
物理探査	平成 6年 11 月 10 日～平成 7年 02 月 2 日
ボーリング調査	平成 6年 11 月 10 日～平成 7年 02 月 18 日
解析・報告書作成	平成 7年 01 月 4 日～平成 7年 03 月 15 日

Tabla 1-1-3 調査団員名簿

	日本国側	ボリヴィア共和国側
調査計画及折衝	佐藤 彬 金属鉱業事業団	Jose Antonio Flores (COMIBOL)
	塩川 智 金属鉱業事業団	Alberto Alandia Ballon
	水沢誠一 金属鉱業事業団	Jose E. del Solar Melagarejo
	遠藤英史 金属鉱業事業団	Calros Toro Calderon
	五十嵐吉昭 金属鉱業事業団	Juan Calros Vadivia Crespo Jose Antonio Flores D. Romulo Sasamoto
現地調査	伊藤 俊弥 総括責任 同和工営株式会社 (以下同じ)	Humberto Aguilar Ignacio (COMIBOL)
	相沢 恒 地質	
	山本平三郎 地質	
	木村 邦夫 物理探査	
	乳井 正 物理探査	
	岩谷真理生 物理探査	
	大沢孝一郎 ボーリング調査	

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査位置図を巻頭に示す。

当地域はボリヴィア共和国のほぼ中央部、首都ラ・パス(La Paz)の南東約250km、途中の郡庁所在地のオルロー (Oruro)市の南東約50kmのパタレオン・ダレエンセ (Pataleon Dalence) 県オルロー区カタリカグア (Cataricagua)の海拔約 4,000m の高地に位置する。ラ・パスからはオルロー経由でマチャカルキタ (Machacamarquita)まで高速道路を利用し約3.5時間、これより良好な非舗装道路を利用して約 30 分でワヌニ鉱山事務所に至る。オルローからの定期バスの便も多くボリヴィア国内の鉱山としては立地条件は極めて良好である。

なお、調査地域北西のオルロー市は人口約 200,000人の歴史の古い鉱山・商業都市であり、調査に必要な一般機材及び食料品・日用品の調達には不便はない。また、調査地からは各地に電話及び FAXが通じている。

2-2 地形及び水系

当地域はポーポ(Poopo、海拔 3,830m)湖の東方、アルティプラーノと東アンデス山系の境界部付近の海拔 3,850~4,600mの山岳部に位置する。地区内にはポソコニ(4,535m)、ピスカチャニ(4,612m)、リャリャグアニ(Llallaguani, 4,400m)山などの高峰が複雑で急峻な壮年期の地形を形成している。さらに、変成作用を被ったリャリャグア層の砂岩及び粘板岩の浸蝕作用に対する抵抗差がより地形を複雑にしている。地域内ではほぼ北東び北西系の水系がワヌニ川を經由して西方に位置するポーポ湖に流入する。

2-3 気候及び植生

当地域は南緯約 18 度の熱帯地域に属するが、前述の様な山岳地域に位置するため、乾期(冬季)と雨期(夏季)の区別が明瞭である。年間降雨量の約 300mmは 12 月から 2月の雨期に集中しこの期間の気温は 2~15度、3 月から11月の乾期の気温は -15~8 度で降水量はほぼ 0 mmである。しかし、当地域は標高の高い山岳地域であるため、年間を通して気温の日較差が 20 度程度と極めて大きい。従って、当地域は典型的な山岳地帯の寒冷乾燥気候を示す。

この様な厳しい気候条件であるため一般的な植生は殆ど認められず、馬鈴薯を主体とする小規模な農耕とリャマの放牧が行われているのみである。

第3章 地質概要

3-1 既存調査概要

当地域に関する多数の地質調査資料が知られているが、その実施時期、保存場所の正確なものは少ない。これらのうち所在の明らかな当鉱山に関する主な資料及びその要旨は以下のとおりである。

*1944年にBandy 及びMac Laren は、既存の報告書を編纂した結果、主要鉱化作用はパンティニョ(Pantino) 準以下には期待し得ないとしている。

*1949年にF. S. Turneure は、当地域を含む広域的な地質調査を実施している。

*1962年にDr. W. H. Grevef は、ドイツのミッションと共に鉱山付近の調査を実施し、引続きThorman, Maldonado, Bustosなどと当地域の層序、地質構造、構造運動などを適切に集大成している。

*1981年にP. Velasco は、当鉱山の鉱床と地質構造の関係を報告している。

*1984年にManfred Wolfは、“Algunos criterios y conceptos de asociacion, sucesion, secuencia y generacion” を報告している。

*1986年にUMSAとJICAは、当鉱山のBandy とKeller脈の鉱物共生関係を鉱山地質学的な観点から調査・研究している。

3-2 地質的位置付及び地質概要

当地域は、北西～南東方向に発達する東アンデス山系の分布形態にほぼ調和的に約 800 kmに亘って分布する多金属鉱床区内に位置する。従って、付近にはコルキリ、サン・ホセ (San Jose)、カタビ (Catavi)、ボリーバル (Bolivar) などの大規模な鉱山及び多数の中小鉱山・鉱徴地などが知られている。この鉱床区は古生代の褶曲運動を被った堆積岩地域に火成岩が貫入し、これに伴う鉱化作用により形成されたものと解釈されている。当地域もこれと全く同じ地質的環境にあり、付近には新規鉱床の賦存可能性は極めて高いものと期待されている。

当地域を構成する岩石はシルル系と第三系である。

シルル系は著しい褶曲、断層運動を被った地向斜堆積物である粘板岩、細粒砂岩で代表され、全体としてアンデス山系の地質構造に調和的な北西～南東系の分布形態及び地質構造を示す。本系はアンデス山系の骨格を形成するもので、下位よりカンカニリ層、ワヌニ層、リャリャグア層、ウンシア層及びカタビ層の各堆積岩類から構成される。

第三系はデイサイト溶岩（一部には火砕流）から構成され当地域の高地の大部分を覆ってほぼ水平に分布する。

鉱化作用は第三紀の火成活動に伴って数箇所に分散分布しその賦存場所は岩相及び裂カ系に規制されている。鉱床は錫を主体に鉛・亜鉛・銀・銅・タングステンなどを随伴し、これらが立体的な累帯分布を示すゼノサーマル型鉱脈鉱床であるが、鉱化作用は電気石系の鉱物、ウバイト (Uvite)、バージェライト (Buergerite) などの硼素系鉱物を多量に伴う気成鉱化作用の特徴を示す。

3-3 調査地域の鉱業沿革

ワヌニ鉱山の採掘は銀を対象としてスペイン植民地時代から開始されているがその詳細は不明である。従って、記録の明らかな当鉱山の沿革の概要を以下に述べる。

*1841年にチレヌス社 (Chilens) によりポルベニール及びマリア・フランシスカ鉱床が採掘される。

*1860年にセロ・ポソコニ (Cerro Pozokoni)、クチリャニ (Cuchillani) 及びピスカチャニを統合しポリゴノ (Poligono) 社の経営となる。

*1883年にボリヴィアで最初の鉱山会社であるテレス・ノス (Telles Hnos) 社が創設されその経営となる。

*1895年にペニー・デンカン (Penny Duncan) 社と合併し稼行されるが、1905年に社名をワヌニ鉱山会社と改名する。

*1908～1912年はパンティニョ財閥が付近の鉱山も含めて統合しその経営となる。

*1932年～1937年はパンティニョ財閥の操業となり、その後パンティニョ財閥傘下のボリヴィア・ツウステン (Bolivian and Tusten Mines Corporation) 鉱山会社の経営となる。

*1949～1952年のボリヴィア革命による大私企業の国有化政策により COMIBOLの所有と

なる。その後、増産により3,500人以上の従業員を雇用するに至る。

*1985年～1988年5月までは生産を増強しポリヴィア国内では最大の錫鉱山の地位を保つ。

*1992年からCOMIBOLの合理化に伴い、COMIBOL傘下のワヌニ鉱山会社として独立採算で稼行し、1995年1月現在の全従業員約500人、粗鉱生産量15,00t/m(Sn 2.40%), 錫精鉱800 t/m(Sn 45-50%)を生産し、錫精鉱はオルロー市のピント(Vinto)製錬所で処理している。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 鉱化作用の特性と鉱床生成モデル

4-1-1 鉱化作用の特性

当鉱床は基本的には開孔裂カ充填鉱脈鉱床である。構成鉱物は錫石、黄錫鉱、黄鉄鉱を主体に閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱、磁鉄鉱、白鉄鉱、輝安鉱、菱鉄鉱、藍鉄鉱、毛鉱、車骨鉱、フランケアイト、石英、電気石ードラバイト（以下単に電気石系鉱物）、螢石、磷灰石、ウバイト、バージェライトなどのである。鉱石は、これらの高温から低温生成の鉱物が密接に共生するテレスコープ組織を示し、かつ、ポソコニ鉱化帯を中心に鉱物の立体的累帯分布を伴う典型的なゼノサーマル鉱床であるものと結論し得る。

また、ポソコニ鉱化帯を中心に電気石系鉱物及びウバイト、バージェライトなどのハロゲン鉱物を多量かつ普遍的に産する事実から、当鉱床の鉱化作用は典型的な気成鉱化作用の特徴を示す。

4-1-2 鉱床生成モデル

当鉱床はポソコニ鉱化帯を中心とする立体的な鉱化作用の累帯分布を示す典型的なゼノサーマル鉱床であり、かつ、気性鉱化作用の特徴を顕著に備えている。

地質調査の結果、ポソコニ鉱化帯を中心とする地質構造は著しく乱れており広域的なそれとは非調和的である。また、鉱脈を胚胎する裂カ系も広域的な地質構造運動に起因して形成されたことを示す共役的裂カ現象が全く認めらず、同じく広域的な地質構造とも非調和的である。以上の事実から、当鉱床はポソコニ鉱化帯の深部に貫入したと推定される酸性深成岩岩体の活動に伴って形成された裂カ系に胚胎された鉱脈鉱床であり、その結果、当鉱床は上述の鉱化作用の特徴を示すに至ったものと結論し得る。この鉱床生成概念図を Fig. 1-1-1に示す。

4-2 物理探査の異常帯と鉱化帯の関係

物理探査により抽出された異常帯と既知鉱化作用の関係は以下のとおりである。

(1)ポソコニ北東部異常帯：異常帯はポソコニ鉍化帯の北東延長部に位置し、かつ、ボーリング MJBH-2 で確認された地表下約 600m に賦存する優勢な鉍化変質帯の地表部にほぼ対応する。従って、当異常帯はポソコニ鉍化帯北東部及び MJBH-2 の鉍化変質帯の上部を反映しているものと判断される。

(2)ビスカチャニ異常帯：異常帯は地質調査で確認された鉍化帯の分布範囲にほぼ一致し、かつ、ボーリング MJBH-2 で確認された地表下約 600m に賦存する優勢な鉍化変質帯の北西延長部の地表部にほぼ対応する。従って、当異常帯はビスカチャニ鉍化帯と MJBH-2 の鉍化変質帯の上部を反映しているものと判断される。

(3)ポソコニ北部異常帯：異常帯は L-200で稼行されているバンディ鉍脈群の北東延長部に位置する。従って、当異常帯はバンディ鉍脈群の北東延長部の上部の鉍化変質作用を反映しているものと判断される。

(4)コンドル・チュコ異常帯：異常帯付近では地質調査により鉍徴を確認していない。しかし、当異常帯は地質構造的には鉍床胚胎母岩であるワヌニ背斜構造のリャリャグア層下部層の延長部に位置することから、新たな鉍化変質帯の賦存の可能性が期待し得る。

(5)セロ・ビスカチャニ異常帯：異常帯はボーリング MJBH-2 で確認された地表下約 600mに賦存する優勢な鉍化変質帯の北部に近接して位置する。従って、当異常帯はMJBH-2 の鉍化変質帯の上部を反映しているものと判断される。

4-3 ボーリング調査結果と鉍化作用の関係

ボーリング調査結果と既知鉍化帯及び鉍化作用との関係は以下のとおりである。

(1)MJBH-1: 当孔はポソコニ鉍化帯東部の北東延長部に着鉍長 20cm 以上の 12 本の鉍脈を伴う優勢な鉍化変質帯の存在を確認した。これらのうち特に高品位の鉍脈は以下の通りである。

着鉍深度	着鉍長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
11.70m-	15cm	0.03	81.3	0.10	0.38	16.25
124.00m-	25cm	0.03	16.4	0.04	0.20	22.12
173.70m-	20cm	0.03	49.2	14.90	3.15	9.22
177.35m-	40cm	0.07	48.7	0.08	1.48	7.71
410.60m-	30cm	0.03	243.0	0.39	18.11	0.65
481.60m-	60cm	0.03	152.4	0.07	2.06	0.32

鉍化作用はポソコニ鉍化帯から離れるにしたがい錫鉍物の含有量が減少するとともに、閃亜鉛鉍の含有量が著しく増加し、鉍物の累帯分布の一端が明らかにされた。しかし、これに伴う母岩の鉍物組合せは電気石系鉍物を中心としておりポソコニ鉍化帯との間には差異は認められない。

(2)MJBH-2: 当孔はポソコニ鉱化帯の北西部に着鉱長 20cm 以上の4本の鉱脈を伴う優勢な鉱化変質帯の存在を確認した。これらのうち錫品位 0.5% 以上の鉱脈は以下のとおりである。

着鉱深度	着鉱長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
66.85m-	20cm	0.06	31.7	0.01	0.05	0.59
115.70m-	15cm	0.03	16.2	0.01	0.07	0.67
127.45	15cm	0.03	32.7	0.01	0.65	0.55

鉱化作用はポソコニ鉱化帯から離れるにしたがい錫石の含有量が減少するとともに、閃亜鉛鉱を伴う黄鉄鉱鉱脈に移行し、鉱物の累帯分布の一端が明らかにされた。しかし、これに伴う母岩の鉱物組合せは電気石鉱物系を中心としておりポソコニ鉱化帯との間には差異は認められない。

4-4 鉱床賦存のポテンシャル

今年度の当地域における地質調査、物理探査及びボーリング調査結果を総合的に解析し、以下の鉱床賦存のポテンシャルの高い地域を抽出した。

(1)ポソコニ鉱化帯北東部地域：当地域はポソコニ鉱化帯の北東延長部に位置し、物理探査の異常帯及びボーリング MJBH-1 により地表下 500m 付近に優勢な鉱化変質帯及び賦存が確認されている。

(2)ピスカチャニ鉱化帯地域：当地域は地質調査により確認された鉱化帯と物理探査により抽出された異常帯がほぼ一致し、かつ、当地域の地表下 600m 付近にボーリング MJBH-2 により優勢な鉱化変質帯の存在が確認されている。

(3)ポソコニ鉱化帯北部地域：当地域は L-200で稼行されているバンディ鉱脈群(Sistema Bandy)の延長部に位置し、かつ、物理探査により抽出された異常帯にほぼ一致する。

(4)コンドル・チュコ異常帯：物理探査により抽出された異常帯で付近には鉱化変質作用は認められないが、地質構造的に地下深部に鉱化変質帯の賦存する可能性が高い。

第5章 結論及び将来への提言

5-1 結論

(1)地質調査：当調査地域には主要鉱化帯であるポソコニ鉱化帯を中心に 10箇所以上の鉱化帯が分散分布し、以下の鉱床学的特性が解明された。ポソコニ鉱化帯を中心とする鉱化作用は高温生成と低温生成の鉱物が密接に共生するテレスコープ組織を示し、さらに電気石系鉱物を中心にハロゲン鉱物を多量かつ普遍的に産する事実からゼノサーマル型気成鉱化

作用と結論し得る。有価金属としてポソコニ鉱化帯は錫鉱化作用が主体であるが、当鉱化帯から離れるにしたがい鉛、亜鉛、銀などの鉱化作用が顕著になり、明らかに鉱化作用の立体的な累帯分布が認められる。鉱床はほぼ北東-南西系の多数の平行鉱脈群から構成され、その富鉱体の規模は走向及び傾斜方向にそれぞれ100-150m程度であり、最大脈幅は70cm程度である。鉱床はワヌニ背斜構造の中心部を構成するリャリャグア層下部層の砂岩中にほぼ限定されて賦存する。鉱脈を胚胎する裂カ系はポソコニ鉱化帯の深部に想定される深成岩岩体の活動に伴って形成され、錫富鉱体はほぼ $N80^{\circ} \sim 65^{\circ} E, 72 \sim 60^{\circ} S$ 系の鉱脈に集中する。

従って、以上の結果、今後の錫鉱床の探査はリャリャグア層下部層中の電気石化作用の顕著に認められる砂岩層の分布する地域に限定し、さらにその外部に対しては銀、鉛、亜鉛などの複雑鉱を対象にすべきである。

(2)物理探査：IP法により以下の主要な異常帯が抽出され、既知鉱化帯との対応関係が検討された。

*ポソコニ北東部異常帯：異常帯はポソコニ鉱化帯の北東部に位置し、かつ、ボーリング MJBH-1 で確認された地表下約 600m に賦存する優勢な鉱化変質帯の地表部に位置する。従って、当異常帯はポソコニ鉱化帯の北東延長部及び MJBH-1 の鉱化変質帯の上部を反映しているものと判断される。

*ビスカチャニ及びゼロ・ビスカチャニ異常帯：異常帯は地質調査により確認されたビスカチャニ鉱化帯の分布にほぼ一致し、かつ、ボーリング MJBH-2 で確認された地表下約 600m に賦存する優勢な鉱化変質帯の地表部に位置する。従って、異常帯はビスカチャニ鉱化帯及び MJBH-2 の鉱化変質帯の上部を反映しているものと判断される。

*ポソコニ北部異常帯：異常帯は L-200 で稼行されているバンディ鉱脈群の北東延長部に位置する。従って、当異常帯はバンディ鉱脈群の北東延長部の上部の鉱化作用を反映しているものと判断される。

*コンドル・チュコ異常帯：異常帯付近には具体的な鉱化変質帯が確認されておらず、地下深部に鉱化変質帯又はこれと同性質の物質の賦存が期待し得る。

従って、以上の結果、今後、ワヌニ鉱床と同様な鉱脈鉱床の探査にIP法の適用が有効である事が今回の調査でほぼ実証された。

(3)ボーリング調査：ポソコニ鉱化帯の北東部の坑内L-200 から実施した 2孔のボーリング調査結果から以下の事実が明らかにされた。

*MJBH-1：ポソコニ鉱化帯東部の北東延長部にも着鉱長 20cm 以上の 12 本の鉱脈を伴う優勢な鉱化変質帯の存在が確認され、これらのうち特に高品位の鉱脈は以下のとおりである。

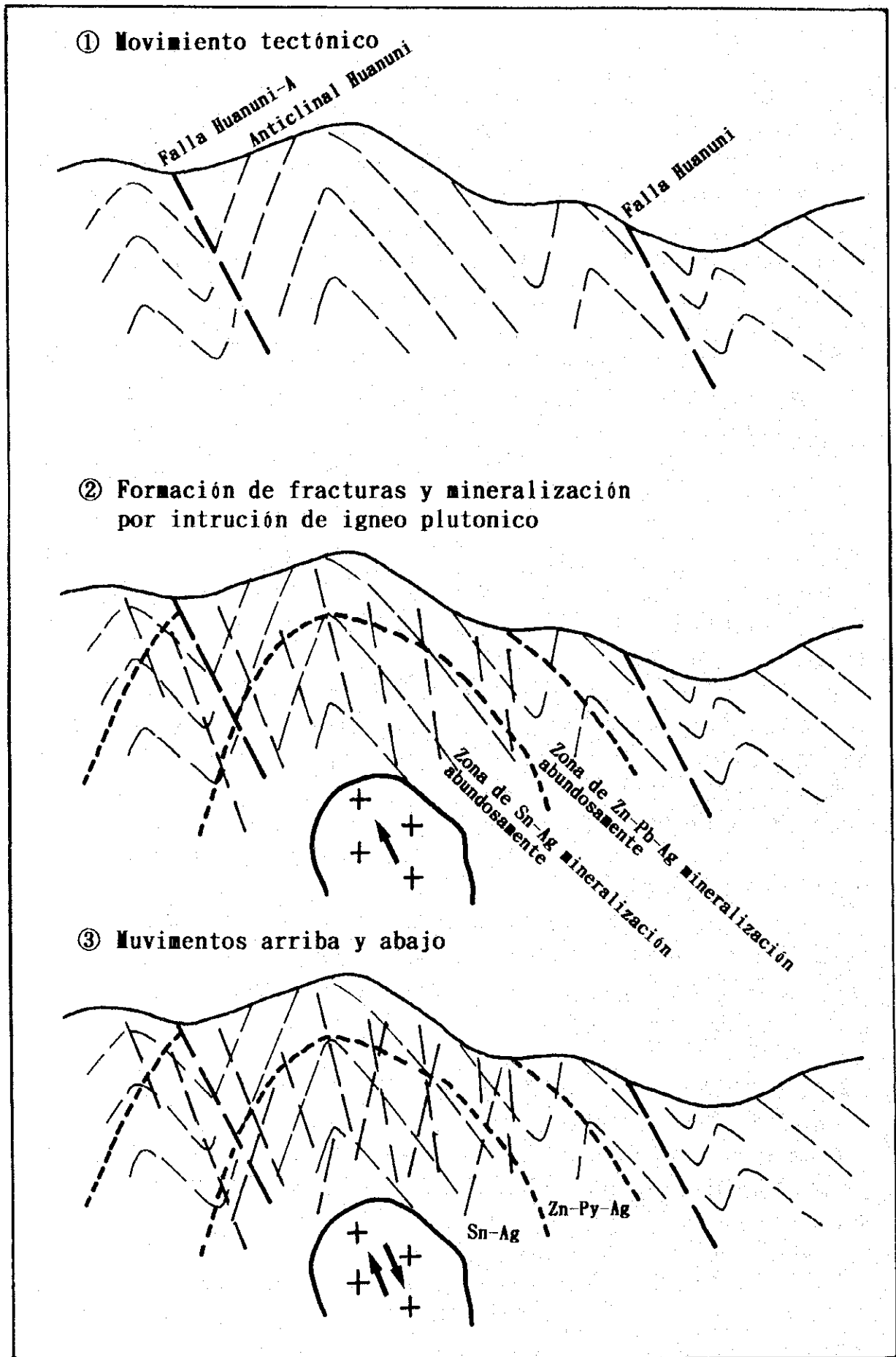


Fig. 1-1-1 鉱床生成モデル図

着鉱深度	着鉱長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
11.70m-	15cm	0.03	81.3	0.10	0.38	16.25
124.00m-	25cm	0.03	16.4	0.04	0.20	22.12
173.70m-	20cm	0.03	49.2	14.90	3.15	9.22
177.35m-	40cm	0.07	48.7	0.08	1.48	7.71
410.60m-	30cm	0.03	243.0	0.39	18.11	0.65
481.60m-	60cm	0.03	152.4	0.07	2.06	0.32

鉱化作用はポソコニ鉱化帯から離れるにしたがい錫鉱物の含有量が減少するとともに、閃亜鉛鉱の含有量が著しく増加し、鉱化帯内の鉱物の累帯分布の一端が明らかにされた。しかし、これに伴う母岩の鉱物組合せは電気石系鉱物を主体としておりポソコニ鉱化帯との間には差異が認められず、一連の鉱化帯の連続性が確認された。

*MJBH-2: ポソコニ鉱化帯の北西部に着鉱長 20cm 以上の 4本の鉱脈を伴う優勢な鉱化変質帯の存在が確認され、これらのうち錫品位 0.5% 以上の鉱脈は以下のとおりである。

着鉱深度	着鉱長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
66.85m-	20cm	0.06	31.7	0.01	0.05	0.59
115.70m-	15cm	0.03	16.2	0.01	0.07	0.67
127.45m-	15cm	0.03	32.7	0.01	0.65	0.55

鉱化作用はポソコニ鉱化帯から離れるにしたがい錫石の含有量が減少し閃亜鉛鉱を伴う黄鉄鉱脈に移行し、鉱化帯内の鉱物の累帯分布の一端が明らかにされた。また、これに伴う母岩の鉱物組合せは上述の MJBH-1 の現象と同様であり、ポソコニ鉱化帯の連続性が確認された。

5-2 第2次年次への提言

地質調査、物理探査及びボーリング調査結果を総合的に解析した結果、以下の地域に対して坑外ボーリングを実施し新鉱床の発見及び埋蔵鉱量の増大に努めるべきである。

(1)ポソコニ北東部異常帯地域：物理探査で抽出された異常帯及びボーリングMJBH-1で確認された優勢な鉱脈群の上部及びその延長部に対する確認ボーリング探査。

(2)ビスカチャニ及びゼロ・ビスカチャニ異常帯地域：地質調査で確認された鉱化帯と物理探査で抽出された異常帯及びボーリング MJBH-2 で確認された優勢な鉱化変質帯の上部に対する確認ボーリング探査。

(3)ポソコニ北部異常帯：物理探査で抽出された異常帯で、かつ、既知バンディ鉱脈群の北東延長部に対する確認ボーリング探査。

(4)コンドル・チュコ異常帯：物理探査で新たに抽出された異常帯に対する確認ボーリング探査。

第2部 各論

第1章 地質調査

1-1 地質概要

当地域の地質層序表をTable 2-1-1 に、地質図・地質断面図をFig. 2-1-1 に示す。

当地域は、北西～南東方向に発達する東アンデス山系の分布形態にほぼ調和的に約 800 kmに亘って分布する多金属鉱床区内に位置する。付近にはコルキリ、サン・ホセ、カタビ、ポリバルなどの大規模な鉱山及び多数の中小鉱山・鉱徴地などが知られている。この鉱床区は古生代の褶曲運動を被った堆積岩に火成岩が貫入し、これに伴う鉱化作用により形成されたものであると解釈されている。当地域もこれと全く同じ地質的環境にあり、付近での新規鉱床の賦存可能性は極めて高いものと期待されている。

当地域を構成する岩石はシルル系及び第三系である。

シルル系はアンデス山系の骨格を形成すもので下位よりカンカニイリ層、ワヌニ層、リヤリャグア層、ウンシア層、カタビ層の各堆積岩類が各々整合的（極一部で断層）に累重し、著しい褶曲、断層運動を被り、全体としてアンデス山系の地質構造に調和的な北西～南東系の構造を示す。本系は、陸成層を一切挟在しない一連の地向斜堆積物である粘板岩、頁岩、細粒砂岩などで構成される。地史的には、これらの地層が細粒～中粒砂岩を挟在する事実から、その堆積環境は比較的陸地に近い地向斜堆積環境にあったものと判断される。この地向斜はカタビ層堆積後（石炭紀？）に急激に陸地化し、著しい浸蝕作用、褶曲及び断層運動を伴う造山運動を繰り返され、第三紀に至り陸地源の火成岩に覆われたものと解釈されている。

第三系はデイサイト溶岩（一部には火砕流）から構成され、これは当地域の高地の大部分を覆ってほぼ水平に分布する。鉱化作用は第三紀の火成活動に伴って数箇所に分散分布し、その賦存場所は母岩の岩相及び裂カ系に規制される。鉱床は錫を主体に亜鉛・銀・鉛・銅・タングステンなどを随伴し、これらが立体的な累帯分布を示す典型的なゼノサーマル型鉱脈鉱床であるが、当鉱化作用は電気石系鉱物、ウバイト、バージェライトなどのハロゲン鉱物を多量かつ普遍的に伴う気成鉱化作用の特徴を示す。

1-2 地質各論

(1) カンカニイリ層

標式地は当地域の東南東のカタビ鉱山付近のカンカニイリであるが、当地域では最下位層であるためその層厚は不明である。地域内では南端のチュツハク (Chyucjatu) 付近の背傾構造の中心部に北北西系で小規模に分布するのみである。

当地域のカンカニイリ層は、塊状・無層理の暗緑色～暗灰色を呈する雲母に富む頁岩である。鏡下では多量の石英を主体に、二次鉱物としてlepidoblastic 絹雲母を主体に微量の緑泥石及び黄鉄鉱を随伴する準片岩である。

(2) ワヌニ層

Tabla 2-1-1 ワヌニ鉱山地域地質層序表

ERA		PERIODO	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	LITOLOGIA	METROS (m)	DESCRIPCION	ACTIVIDAD IGNEA Y MINERALIZACION		
CENOZOICO	CUATERNARIO					aluvial, morrene, coluvial			
	TERCIARIO		HOROCOCALA		100	lava de dacita, piroclastico			
PALEOZOICO	SILURICO	LAMPAYANO	SUPERIOR	FORMACION CATAVI		300	arenisca grano mediana, negruzca, estratificada menor a un metro	veta cuarzo	
			INFERIOR-MEDICO	FORMACION UNCIA		1.000	pizarra negra filitizada, con estrato arenoso en parte		
		CHAYANTIANO	SUPERIOR	FORMACION LLALLAGUA	MIEMBRO SUPERIOR		500	alterancia de arenisca fina y pizarra gris, estrato menor a un metro	cuarzo porfido, reoritico
				MIEMBRO INFERIOR		700	arenisca fina ~ mediana, taburar (cuarcita), con estrato fino pizarra, alterancia de arenisca fina ~ mediana blanca o gris y cuarcita, con mica bastrante metamorfismo		
			INFERIOR	FORMACION HUANUNI		150	alterancia lutita y arenisca, con conglomerado fino, esquisto (biotita).		
		INFERIOR	FORMACION CANCANIRI		?	limo negro con lente de arenisca en parte	mineralizacion		

標式地は当地域でありその層厚は約 150m と推定され、南端のチュツハク付近に小規模に分布するのみでその実態は明らかではない。

岩相は粘板岩及び砂岩の互層から構成され、10~20cm間隔に層理面が発達する。広域変成作用を被りスレート劈開又は多量の雲母を伴う片理面の発達が普遍的に観察される。鏡下では微細鱗片状絹雲母、緑泥石、石英を主体とする鱗状組織が顕著に認められる。

下位のカンカニリ層とは不整合または断層関係で接する。

(3) リャリャグア層

標式地は当地域の南東東約 30km のリャリャグア付近である。上部及び下部の2部層に区分され、当地域での全体の層厚は1,200mに達するものと推定される。

下部リャリャグア部層は地域中央部にほぼ N30° W の方向で分布し、層厚は場所により 50 ~ 500mと変化に富む。本層の上半部はラミナ状層理構造の発達する細粒砂岩、粘板岩及びこれらの互層から構成される。しかし、下半部は白色の細粒砂岩(鉍山現場では珪岩と呼称) が主体となりこの部分の厚さは最大約 220m に達するものと推定される。全体に白色~灰色を呈し広域変成作用の結果、多量の雲母が認められる。砂岩は径 0.7mm以下の石英破片を主体とし微量の黒雲母、電気石、ジルコン、燐灰石などを随伴し、基質部は絹雲母が主体をなす。粘板岩は斜長石の破片を主体とし基質部は多量の絹雲母及び少量の黄鉄鉍、緑泥石から構成される。一部に微弱な千枚岩化作用が認められる。変質作用は微弱な緑泥石及び絹雲母化作用を被っている。しかし、本岩は坑内の鉍脈付近では多量の電気石を含み、二次鉍物としては緑泥石、絹雲母及び黄鉄鉍を普遍的に伴う。

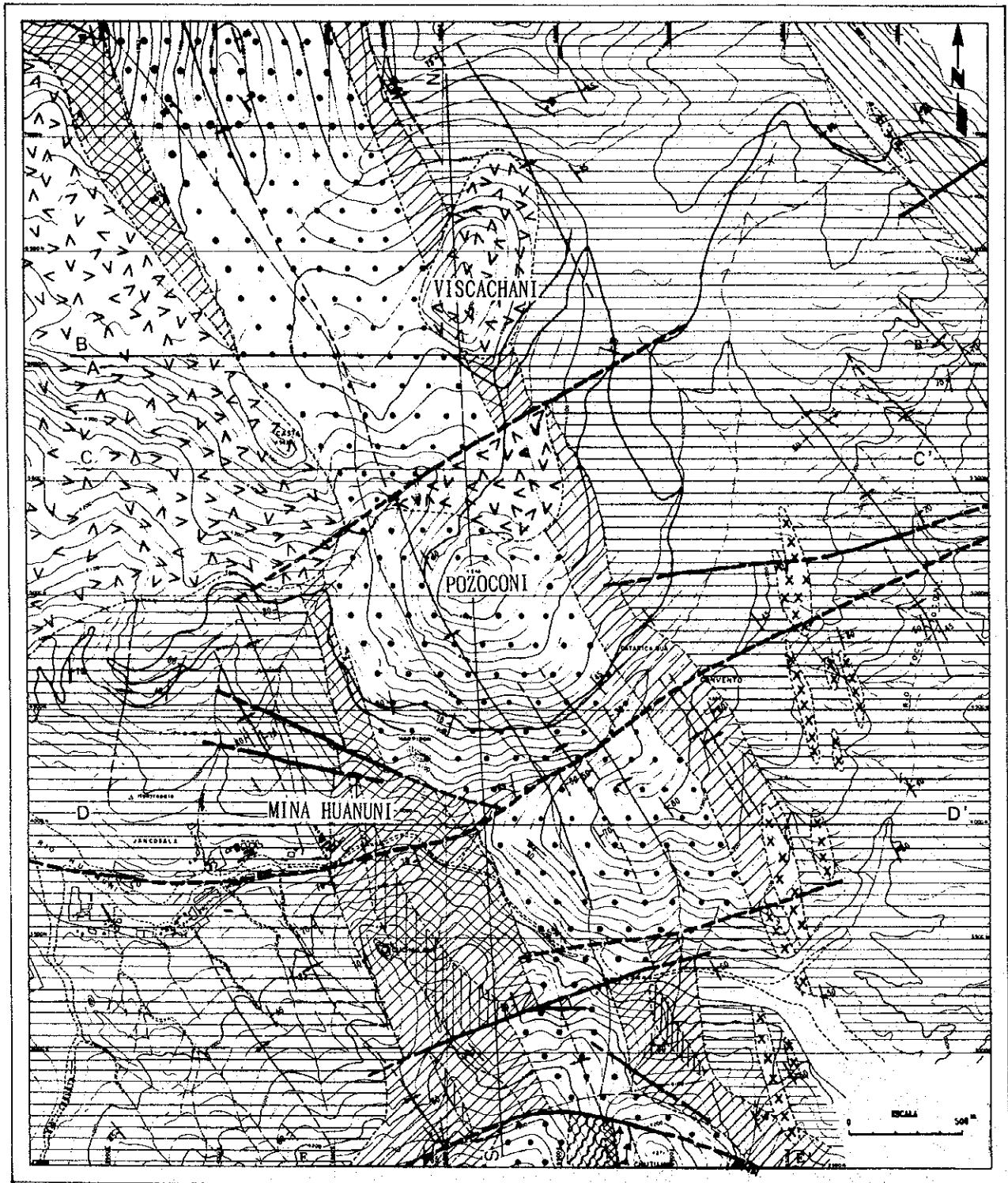
上部リャリャグア部層は当地域東部および西部に下部リャリャグア層の上位に整合的にほぼ N30° W 方向で分布し、層厚は場所により 5~250mと変化に富む。本層は一部に動力変成作用及び珪化作用を被っているものの粘板岩で代表され、北西部では粘板岩と砂岩の細かい互層に移行する。全体に暗灰色~栗色を呈し雲母に富む部分も認められる。砂岩の構成鉍物は前記の下部リャリャグア部層と同質であり、変成度が前者より高いのみである。

チュクハツ付近では本層の最下部に基底礫岩と判断される礫岩層が発達する。構成礫は直径 20 ~ 5cmの細粒~中粒砂岩の亜角礫が主体で、一部に最大 40cm に達するワヌニ層由来の黒色頁岩を含む。基質部は砂質物であり固結度は高い。

従って、この礫岩層の存在から本層は下位のワヌニ層と不整合関係で接するものと判断される。

(4) ウンシア層

標式地は当地域の東南東約 30km のウンシア鉍山付近である。層厚は 1,000m 前後と推定され、地域東部および西部にリャリャグア層の上位に整合的にほぼ N30° W の方向で分布する。本層は全体としては粘板岩を主体とするが上部では細粒~中粒の砂岩の薄層と互層し細かい成層構造を示す。全体としては暗緑色~灰色を呈する。本層からは三葉虫及び植物破片の化石が多数知られており地質時代の同定がなされている。粘板岩は斜長石の破片を主体とし微量の石英破片を随伴し、基質部は葉片状絹雲母及び緑泥石から構成される。

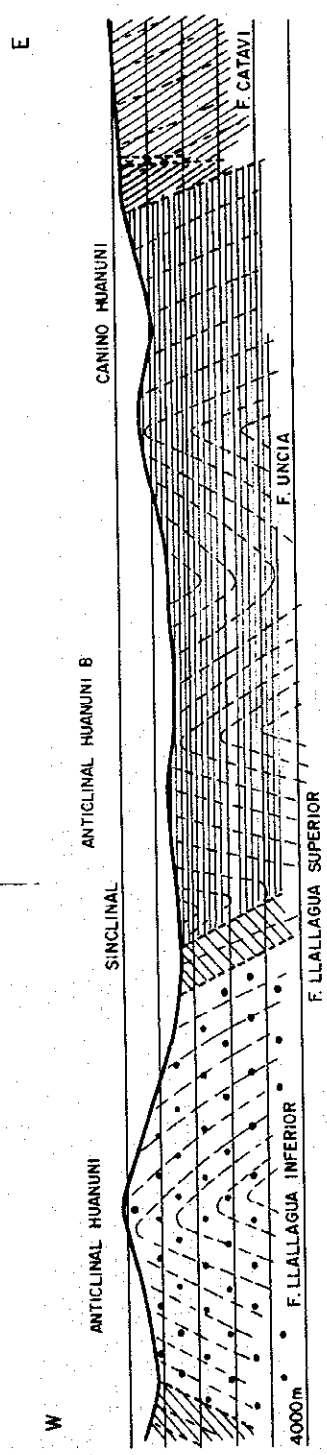


Leyenda

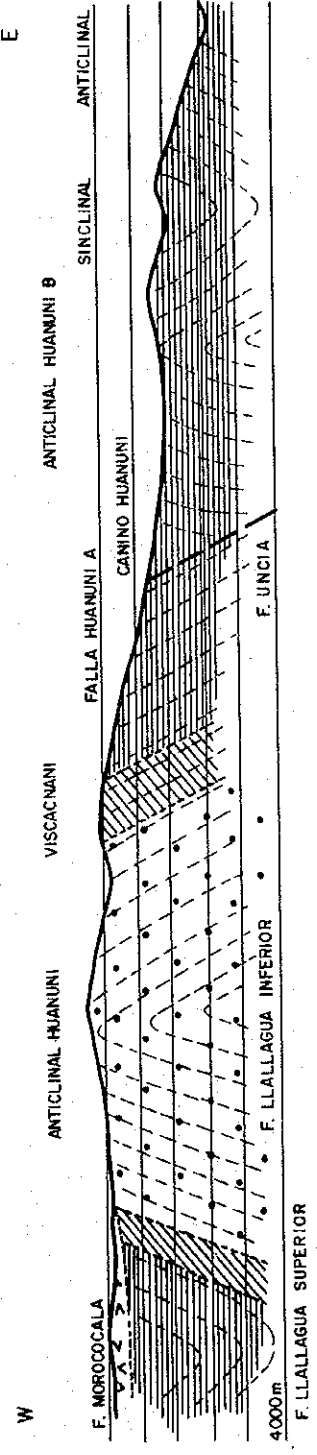
- | | | | | | |
|--|-----------------------|--|-----------------------------|--|-------------------------|
| | F. MOROCOCALE | | F. LLALLAGUA INFERIOR | | Eje de anticlinal |
| | F. CATAVI | | F. HUANUNI | | Eje de sinclinal |
| | F. UNCIA | | F. CANCAÑIRI | | Falla |
| | F. LLALLAGUA SUPERIOR | | Dique de porfido cuarcifers | | Rubo y buzamiento |
| | | | | | A - A' Linea de seccion |

Fig. 2-1-1(1) 地質平面及び断面図

A ——— A'

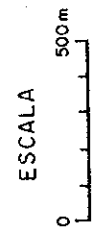


B ——— B'



Leyenda

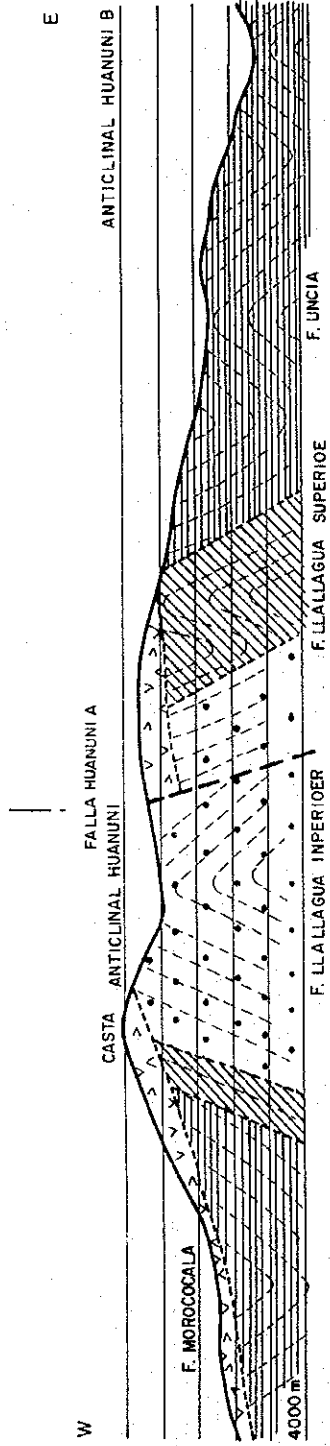
- F. MOROCOCALE
- F. CATAVI
- F. UNCIA
- F. LLALLAGUA SUPERIOR
- F. LLALLAGUA INFERIOR
- F. HUANUNI
- F. CANCANIRI
- Dique de porfido cuarifers
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Falla
- Veta
- Galeria



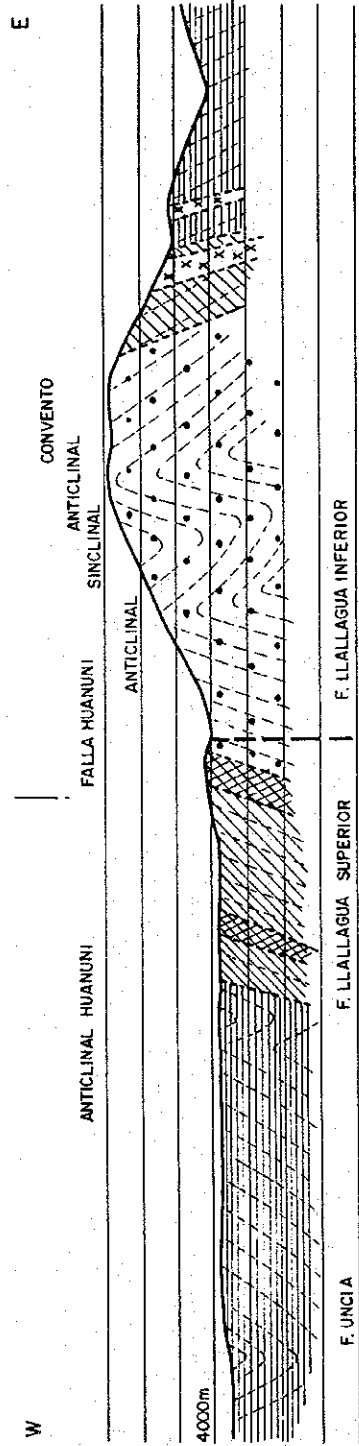
5000 E

Fig. 2-1-1(2) 地質平面及び断面図

C ————— C'



D ————— D'



- Leyenda
- F. MOROCOCCA
 - F. CATAVI
 - F. UNCIA
 - F. L.LALLAGUA SUPERIOR
 - F. L.LALLAGUA INFERIOR
 - F. HUANUNI
 - F. CANCARIRI

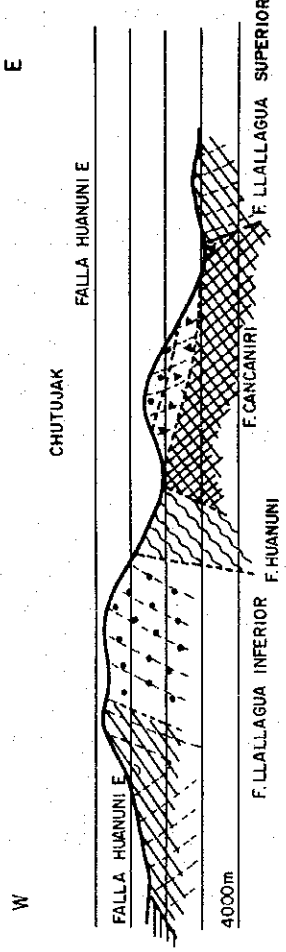
- Dique de porfido cuarcifers
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Falla
- Veta
- Galeria

ESCALA
0 500

5000E

Fig. 2-1-1(3) 地質平面及び断面図

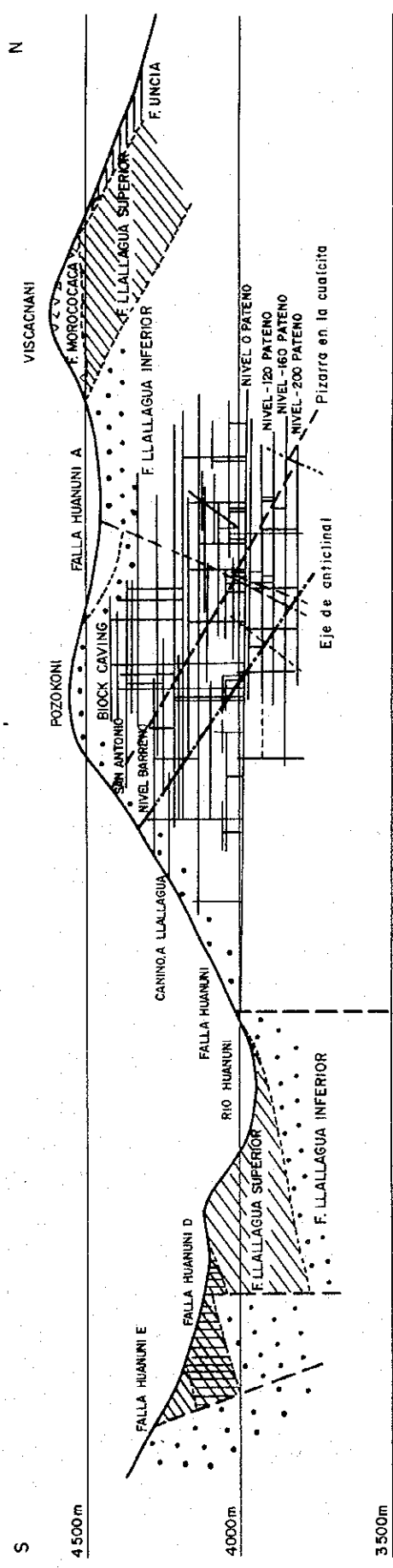
E ————— E'



Leyenda

- F. MOROCOCCA
- F. CATAVI
- F. UNCIA
- F. LLALLAGUA SUPERIOR
- F. LLALLAGUA INFERIOR
- F. HUANUNI
- F. CANCARI
- Dique de porfido cuarcifers
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Falla
- Veta
- Galería

5000E



ESCALA



5000E

砂岩の構成鉱物はリャリャグア層とはほぼ同質である。変成作用は微弱な千枚岩化作用を被っている。

下位のリャリャグア層とは整合関係で接する。

(5) カタビ層

標式地は当地域東南東約 35km のカタビ鉱山付近である。当地域に隣接する東方及び西方ではウンシア層の上位に整合的に広範囲に分布し、その層厚は約 300m と推定される。本層は全体としては細粒～中粒の砂岩を主体とし、部分的に粘板岩の薄層と互層し、細かい成層構造を示す。全体としては緑灰色を呈する。砂岩の構成鉱物は前記のウンシア層と同質であるが基質部の量が前者よりやや少ない。頁岩の構成鉱物もウンシア層と同質である。両岩とも変質作用は緑泥石及び絹雲母化作用である。砂岩の石英粒のモードは80-90%を占める。

下位のウンシア層とは漸移関係である。

(6) モロッコカラ層

標式地は当地域北方約 15km のモロッコカラである。当地域での最大層厚は 100m 前後と推定され山頂部に前述の各層を不整合に覆ってほぼ水平に分布する。本層はデイサイト溶岩を主体とするが局部的に小規模な火砕流堆積物を挟在する。しかし、本層は砂岩、頁岩などの堆積岩を全く挟在しない事実から陸成の溶岩であるものと判断される。本層は全体としては径 10 mm 大の石英、斜長石及び微量の黒雲母斑晶を服務む灰白～灰色の岩石である。全般的に塊状を示すが一部では流理構造が発達し、少量の砂岩、粘板岩などの異質礫を含む凝灰岩薄層を局部的に挟在する。

下位の各地層とは不整合関係で接する。

(7) 岩脈類

当地域の岩脈は主として鉱山事務所の東方約 2km の地域に南北方向に約 3km にわたって約 10 個の岩脈が集中的に分布する。各岩脈の規模は南北方向に約 500m、平均幅 100m を示す。岩相は灰色ないし淡灰色の黒雲母石英斑岩である。斑晶鉱物は2～40mm大の斜長石、カリ長石、石英、黒雲母などで、石基は斑晶と同種の鉱物の他に燐灰石、ガラス及び鉄鉱物から構成される。これらの岩脈は殆ど鉱化変質作用を被っていない新鮮な岩相を示すが、局部的に少量の絹雲母及びカオリン鉱物が認められ場合もある。

これらの小規模な岩脈の分布形態及び配列などの産状は明らかに地下深部の構造的弱線を反映し、火成活動の通路を示すものと判断される。しかし、当地域内では坑内も含めて、鉱化作用に直接関連する深成岩の存在は確認されていない。なお、これらの岩脈の絶対年代は今回の調査でK-Ar法により 19.9 ± 0.5 m.y を示すことが確認された。

これらの岩脈の他に鉱山の北東約 4km 付近に北西方向に約 300m、幅約 20m の小規模な黒雲母デイサイト岩脈が分布する。

1-3 地質構造

当地域の地質構造概要図を Fig. 2-1-2 に示す。また、地表調査で確認された地質構造運動及び裂カ系の特徴を示す代表的なスケッチを巻末 A = 9 に付す。

当地域は地質学的には東アンデス山系の一部を形成し、地質構造も完全に東アンデス山系の地質構造に一致する。

アンデス山系は石炭紀以降の各地質時代の造山運動を被り形成された。山系を構成するシルル系には断層運動によるブロック化及び褶曲構造が発達し、最終的にはアンデス造山運動による $N30^{\circ} W$ 方向の褶曲軸を有する褶曲構造を示す。現地調査に先立ち同和工営株式会社により実施された当地域を中心としたランドサット画像の解析結果でも、これらの地質構造及び $N60^{\circ} E$ 系の断層構造の発達が顕著に認められる。

断層構造：当地域内にはワヌニ断層を中心にこれとほぼ平行な走向規模 2km 以下の 5 本の断層 (Falla Huanuni-A ~ E) 及びワヌニ断層から分岐または斜交する 2 の断層が存在する。

この内最大規模のワヌニ断層はワヌニ川に沿う東西方向から鉾山付近で $N60^{\circ} E$ に走向を変える。当断層の存在は従来から指摘されており、上述の衛星画像にも顕著に現れている。しかし、地質調査では具体的な断層を示す地質的現象は確認されておらず、幅数 10cm の破碎帯を伴う極めて移動量の少ない断層であるものと判断される。

Falla Huanuni-A は約 70 度で南に傾斜する正断層でモロッコカラ層を切る現象が確認されており、その落差はほぼ 100m 程度と推定される。

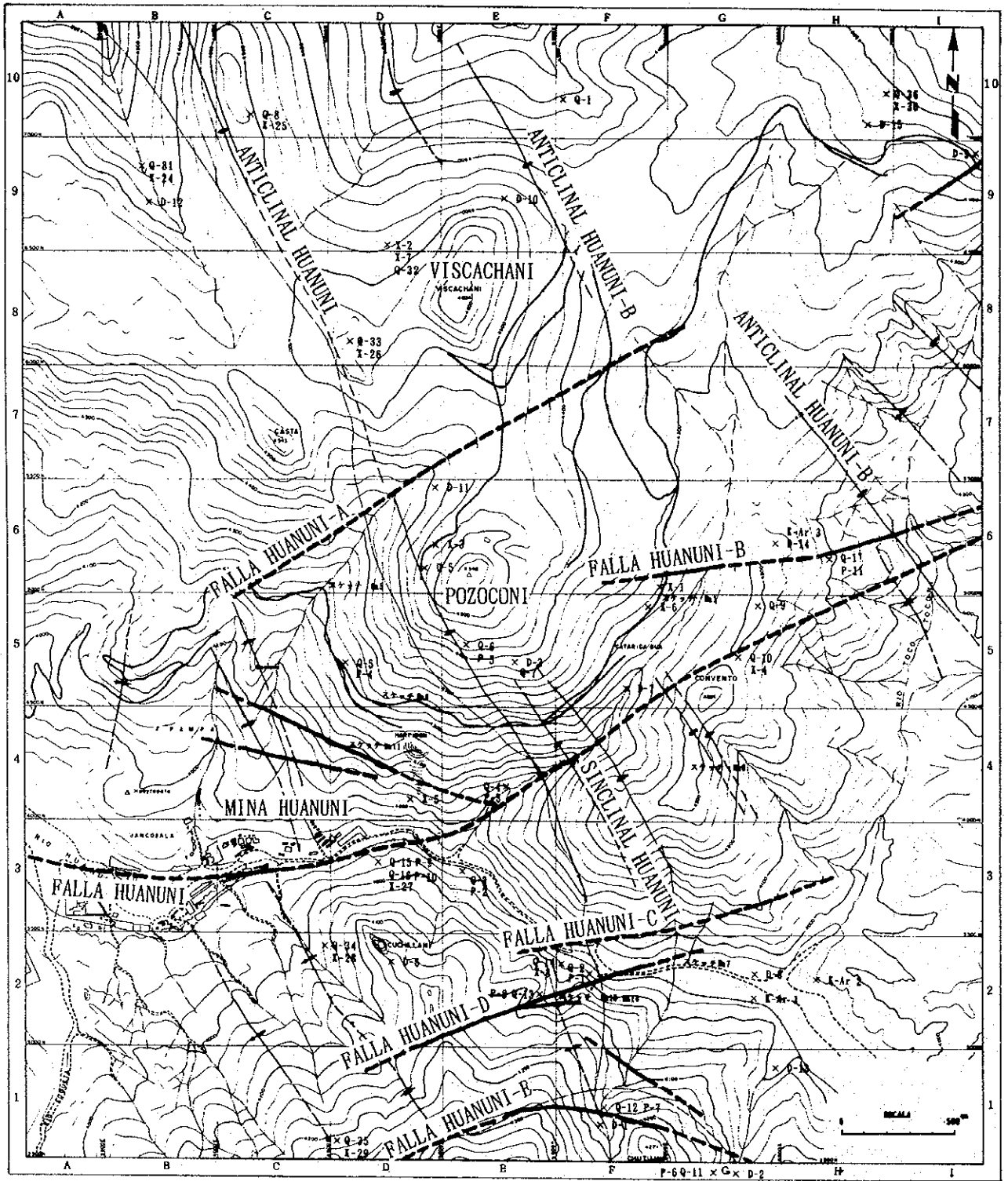
Falla Huanuni-B は Anticlinal Huanuni-B の西翼で幅数 10cm の断層破碎帯を伴ってウンシア層及び石英斑岩岩脈を切っているが、破碎帯を境にした移動量はほとんど認められない。

Falla Huanuni-C ~ E はカンカリイニ層からウンシア層までを切っており、その落差はほぼ 300m 程度で Falla Huanuni-E は北に傾斜する正断層であるが、その他はほぼ垂直であるものと推定される。これらの内、当地域南端の Falla Huanuni-E のみは南に湾曲しながらほぼ東西系を示し、リャリャグア層とその下位のワヌニア及びカンカリイニ層を境している。

これらの断層の一部が明らかにモロッコカラ層まで達している現象から、その形成時期は新第三紀の最終的地質活動であるものと判断される。また地表で確認されたこれらの断層には鉾化作用を伴っておらず、坑内ではこれらの一部が鉾脈を切っている。従って、これらの現象から一連の断層は鉾化作用後の活動であると推定し得る。

坑内調査では鉾脈は断層または開孔裂カに胚胎しており、その走向方向は地表の断層と斜交している。従って、これらの事実から地表の断層と鉾脈を胚胎する断層及び裂カ系は一連の構造運動によって形成されたものではなく、明らかに両者の形成機構及び時期は異なるものと結論し得る。従って、これらの鉾脈を胚胎する裂カ系の形成機構と鉾化作用の関係を解明することは、当地域及び周辺と同タイプの鉾床の探査に重要な指針を与えるものと期待される。

以上の断層・裂カ系の他に、前記の岩脈の分布形態・配列などの産状から地下深部に南



- Leyenda
- Eje de anticlinal
 - Eje de sinclinal
 - Falla
 - X-D- Ubicacion de muestras de seccion ligadas
 - X-P- Ubicacion de muestras de seccion pulidas
 - X-Q- Ubicacion de muestras de analisis quimico
 - X-X- Ubicacion de muestras de rayos-X

Fig. 2-1-2 地質構造概要図

北方向の構造線の賦存が予想される。

褶曲構造：当地域を含む広域的な褶曲構造はほぼ $N30^{\circ} W$ 系の褶曲軸を有する比較的なだらかな傾斜を示す等斜褶曲構造で、その褶曲軸の間隔は約 1km の規模で発達する。しかし、当地域の Pozokoni を中心とした褶曲構造は同方向の褶曲軸を有するが、西翼がほぼ 60 度以上、東翼がほぼ 60 度以下の傾斜を示す顕著な非対象波状褶曲構造である。さらに、この構造は Pozokoni 南部から Convento にかけての Anticlinal Huanuni の西部ではその隣り合う褶曲軸の間隔が数 100m 以下となり、広域的な褶曲構造パターンとは極めて非調和的である。Anticlinal Huanuni に関しては従来より東傾斜の過褶曲構造であるものと結論し得る。しかし、坑内・坑外地質調査では過褶曲構造に特有のほぼ垂直なスレート劈開及び Pressure shadow の発達が認められず、さらに、過褶曲構造を決定する地層の逆転現象など同構造を支持する地質学的現象は一切認められない。一方、坑内・坑外調査で得られた地質学的現象は全てノーマルな褶曲構造を支持している。以上の現調査結果から、Anticlinal Huanuni は西翼が東翼に比較して急傾斜を示す非対象褶曲構造であるものと解釈される。

しかし、この Anticlinal Huanuni が北西及び南東方向に数 10km にわたりノーマルな等斜褶曲構造を示すことが確認されているにもかかわらず、Pozokoni 付近のみが急傾斜な非対称褶曲構造を示す。この事実は Pozokoni の地下深部に褶曲構造を乱す深成岩貫入岩体の存在する可能性を暗示しているものと推定される。

1-4 鉱床

1-4-1 鉱床概要

当地域は前述のとおりボリヴィア国内でも有数の多金属鉱脈鉱床区に属し、付近には多数の鉱山、旧坑、鉱化変質帯などの鉱徴などが知られている（調査位置図参照）。

当地域の鉱床は主として下部リャリャグア部層の砂岩中に賦存するが、微弱な鉱化作用はウンシア層中にも及ぶ。これらの鉱床は形態的には裂力帯中に胚胎される鉱脈型鉱床で、含有金属は錫を主体に亜鉛、鉛、銅、銀、タングステンなどを随伴する多金属鉱床である。また、高温から低温生成の鉱物が共生する事実から成因的にはゼノサーマル型鉱床といえる。また、後述のとおり脈石鉱物として電気石系鉱物、ウバイト、バージェライトなどのハロゲン鉱物を多量かつ普遍的に産する事実から、当鉱床は顕著な気成鉱化作用の特徴を有する。

ポソコニ坑内 L-200 から採取した典型的な 5 個の鉱石の顕微鏡観察では主成分鉱石鉱物は黄鉄鉱、白鉄鉱、黄錫鉱が主体でこれに微量の閃亜鉛鉱、錫石及び黄銅鉱を伴う鉱石と結論し得る。ただし、これらの鉱物にはコロフォーム組織はまったく確認されておらず、全般的に黄鉄鉱が自形結晶を呈し、錫鉱物の相対的な後期晶出を示唆している。

主な鉱化変質帯はポソコニ、ビスカチャニ、ポルベニール、マリア・フランシスカ、ペピトス、パンテイパタ鉱化帯などであり、南北約 5km、東西約 3km の範囲内に分散分

布する。Tabla 2-1-2 に示すように主要鉱脈の走向は一般に N50° ~70° E 系で 50° ~80° で南東に傾斜する。鉱脈の走向規模は一般に 100~300 m 程度ではあるが、このうち富鉱体の規模は走向及び傾斜方向にともに 100~150m程度である。これらの鉱脈には分岐脈の発達が普遍的に認められる。脈幅は変化に富むものの最大 70cm に達し、同じく錫品位も変化に富む。しかし、当鉱床では脈幅が小規模でも数 10%の錫品位を示す鉱脈も希ではなく、当鉱床に関しては単に鉱脈の規模のみではなく富鉱部の特性を考慮した密度の高い探鉱を実施する必要がある。

Tabla 2-1-2 主要鉱脈一覧表

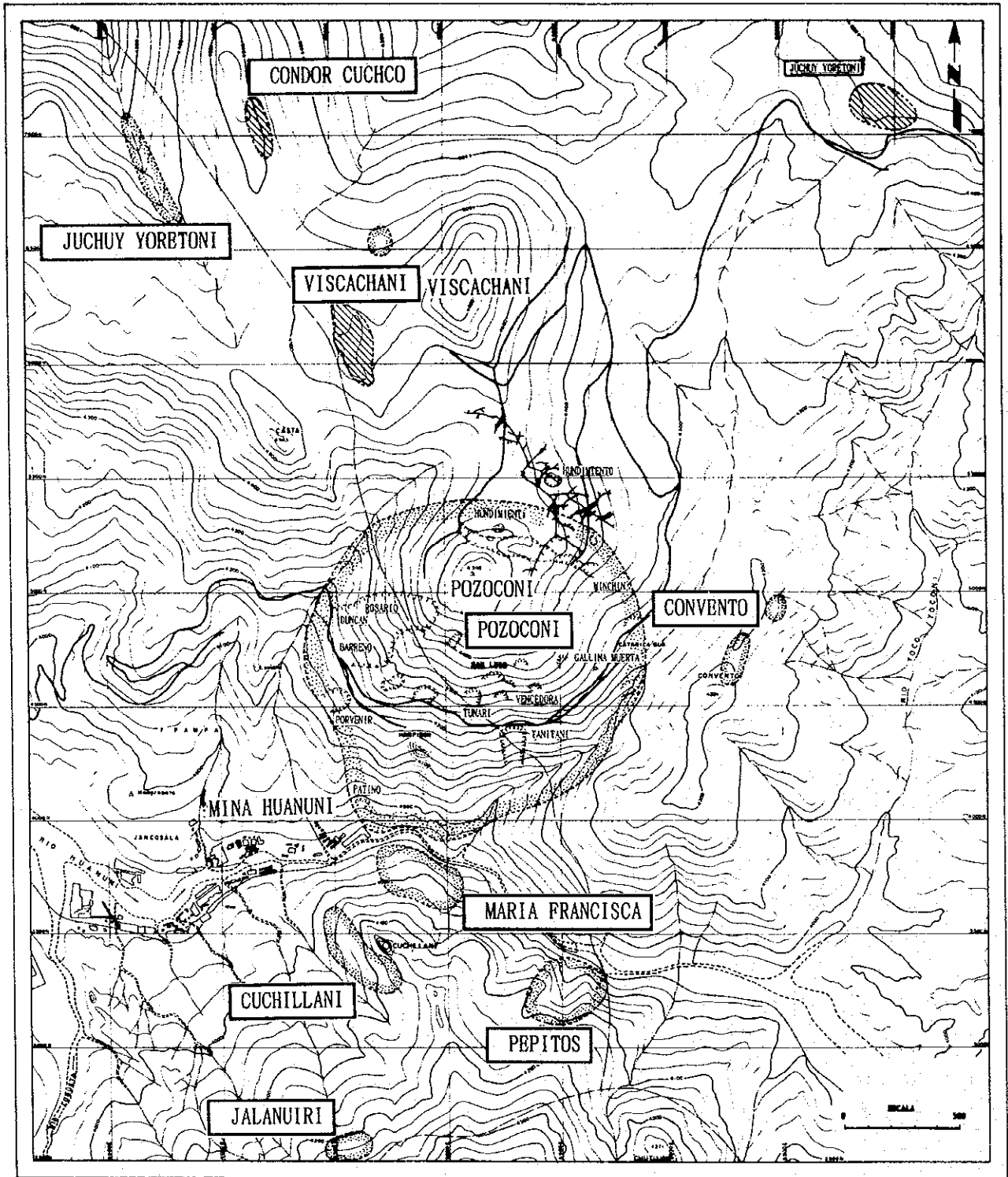
鉱脈名	延長	走向	傾斜	鉱脈名	延長	走向	傾斜
Amarilla	160m	N80° E	85° S	Despreciada	180m	N45° E	65° S
Bandi	200m	N40° E	80° S	Grande	300m	N48° E	85° S
Central	150m	N25° E	60° S	Keller	200m	N60° E	68° S
Chaulani	160m	N80° E	85° S	Nothaft	280m	N70° E	66° S
Conde	100m	N50° E	70° S	Nueva	170m	N40° E	70° S
Cr-Keller	250m	N65° E	75° S	Prometedora	130m	N20° E	80° S
Crucera	220m	N10° E	78° S	Vencedora	210m	N70° E	85° S

鉱石鉱物は錫石、黄錫鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、磁硫鉄鉱を主体に硫砒鉄鉱、方鉛鉱、毛鉱、黄銅鉱、四面銅鉱、輝安鉱、プーランジェライト、エムプレクタイト、白鉄鉱、菱鉄鉱、鉄マンガン重石、銀鉱物などを随伴し、脈石鉱物は石英を主体に電気石系鉱物、ウバイト、バージェライト、藍鉄鉱、燐灰石、螢石、絹雲母、カオリン、その他の粘土鉱物から構成される。これらの多様な鉱石鉱物及び脈石鉱物は後述する立体的な累帯分布を示し、今後の有効な探鉱指針となり得るものと期待されている。鉱石は母岩との境界面に平行な縞状構造を示す縞状鉱、特別な構造を示さない塊状鉱及び母岩中の鉱染状鉱、網状鉱に大別される。鉱脈の形態は安定した典型的な鉱脈を主体とするものの、一部には高品位な網状脈及び鉱染状鉱も認められる。また、これらの鉱化作用に伴う変質作用は鉱脈に接してはカオリン石化作用が顕著で、鉱化帯内では絹雲母が普遍的に認められる。さらに、より広範囲には電気石化作用が普遍的に存在する。しかし、すべての変質帯内に普遍的に認められる白雲母は原岩の砂岩の構成鉱物であるものと判断される。従って、これらの産状は裂力系の形成機構、構成鉱物の累帯分布、富鉱体の特性などと併せて有効な探鉱指針になり得るものと判断される。今回の坑内調査ではモンモリロ石、緑泥石などの変質鉱物は確認されていない。しかし、ワヌニ断層以南の鉱化帯からは clinochlore がの存在が普遍的に確認されている。

1-4-2 鉱化帯各論

Tabla 2-1-3 鈹化・變質帶一覽表

名 称	分布規模	鈹化・變質概況	備 考
Pozokoni	1,500 × 1,500m	Sn-veta incluyendo Porvenir, Rosario, Minchin, Dancan, San Luis, Gallina Tunari, Vensedora Muerta, Patino Tanitani etc. mineralizacion de neumatlisis	cubierta por desmonte
Viscachani	400 × 150m	net work de venilla de cuarzo, mineralizacion de neumatlisis	cateos
Maria Francisca	400 × 200m	Ag-Pb-Zn-veta, N60E. 70N. mineralizacion de neumatolisis y clinochlore	abandonada
Pepitos	300 × 300m	Ag-Pb-Zn-veta, N50E. 70SE, 100m Rey dereserva: Ag:300g/t, Pb:3%, Zn:4%, Sn:0.3%, mineralizacion de neumatolisis	abandonada
Cuchillani	500 × 150m	Ag-Pb-Zn-veta, N50W, 90?, clinochlore, no tormalina	abandonada
Jalnuiri	200 × 100m	Ag-Pb-Zn-veta, N70W, ?, clinochlore, no tormalina	cateo
Convento	200 × 100m	Ag-Pb-Zn-veta, rumbo-buz. ?, mineralizacion den eumatolisis	cateo
Quebrada Chuchlloni	500 × 100m	argillizacion blanca albita, no tormalina	cateo
Condod Chuko	300 × 100m	net work de venillas de cuarzo albita-clinochlore, no tormalina	no cateos
Juchuy Yoretoni	300 × 200m	net work de venillas de cuarzo no mineral alterada	no cateos



Leyenda

- Zona mineralizada y alterada
- Venilla de cuarzo
- Socavon abandonada
- Galeria de nivel.
-200m

Fig. 2-1-3 鉍微地位置図

調査地域にはポソコニ、ビスカチャニ、マリア・フランシスカ、ペピイトス、クチイリヤニ、ハラヌイリ、コンベント、ケブラーダ・チィチロン、コンドル・チュコ及びフチュイ・ヨレトニなどの多数の鉱化帯が確認されている。但し、本項では従来のポソコニ、ポルベニール、パティニョなどの鉱化帯を一括してポソコニ鉱化帯として扱う。これらの鉱化帯の概要を Tabla 2-1-3に、その分布を Fig. 2-1-3にそれぞれ示す。

(1)ポソコニ鉱化帯：当鉱化帯は現在の稼行対象の中心を占めており、無数の鉱脈群の集合体であるが、開発の歴史も古く鉱化帯の詳細は不明である。ポソコニ山を中心にその平面的分布規模は東西及び南北方向に 1,500m 程度でリャリャグア層下部層中に位置する。当鉱化帯は地表から地下約 700m まで採掘の実績があり、無数の鉱脈の品位は世界一の高品位を保ったという。坑内関係の正確な地質的資料は殆ど保存されておらず、かつ、短期間に担当地質技師が交替するため坑道及び地質資料は殆ど存在しない。また、地質構造図も従来の過褶曲構造図の保存に止まっている。

(2)ビスカチャニ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の北方約 700m に位置する。平面的分布規模は東西方向に 150m, 南北方向に 400m 程度でリャリャグア層下部層中に位置する。付近には旧坑が存在するが採掘の実績はない。ズリ中の石英脈の分析値はAg 1.6g/t, Pb Tr., Zn 0.03%, Sn 0.08%と極めて低い値を示す。X線回折による鉱物組合せに関しては電気石系の鉱物を主体としてポソコニ鉱化帯との差異は認められない。当鉱化帯の分布は後述の物理探査の異常帯の分布にほぼ一致する。また、当鉱化帯の地表下約 600下部ではボーリング MJBH-2 により優勢な鉱化変質帯が確認されている。

(3)ペピイトス鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の南方約 900m のワヌニ川の南岸に位置する。平面的分布規模は東西及び南北方向に約 300×300m程度でリャリャグア層下部層中に位置する。現在は稼行されていないが、過去の採掘資料によると鉱脈はN50E, 70SE を示し、ほぼ100mの走向規模を有する。鉱化作用は方鉛鉱、閃亜鉛鉱を主体とし鉱量計算品位は Ag 300g/t, Pb 3.0%, Zn 4.0%, Sn 0.3%を示し、錫を主体とするポソコニ鉱化帯とはまったく異なった鉱石品位を示す。一部の鉱石の鏡下では閃亜鉛鉱、黄鉄鉱を主体に少量の黄銅鉱及び四面銅鉱が確認されている。しかし、X線回折による鉱物組合せに関してはポソコニ鉱化帯との差異は認められない。

当鉱化帯は Ag, Pb及び Zn の品位が高く、当鉱山の主要鉱化帯である Sn 品位の高いポソコニ鉱化帯とはかなり鉱石の質を異にするが、両者の相違は単にポソコニ鉱化帯を中心とした鉱化作用の水平的な累帯分布を反映している現象であるものと解釈される。

この鉱化作用の累帯分布の現象は今年度のボーリング・コア調査による連続的な観察により確認されている。

(4)マリア・フランシスカ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の南にほぼ接して位置する。平面的分布規模は東西方向に 400m, 南北方向に 200m 程度でリャリャグア層上部層中に位置する。現在は稼行されていないが、過去の採掘資料によると鉱脈は N50W, 80NW、走向規模 150-300m、脈幅 20-100cm を示す。鉱化作用は方鉛鉱、閃亜鉛鉱を主体とし、多量の

銀を含むが錫品位は低いとされている。一部の鉱石の鏡下では方鉛鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱、磁鉄鉱が確認されている。X線回折による鉱物組合せに関してはポソコニ鉱化帯とほぼ同じであるが、緑泥石の一種(clinochlore)が確認されている。

従って、当鉱化帯の鉱化作用もポソコニ鉱化帯のそれとは異なりペピイト鉱化帯のそれに類似しているが、この相違もポソコニ鉱化帯を中心とした一連の鉱化作用の水平的累帯分布を反映している現象であるものと解釈される。

(5)クチリヤニ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の南方約 500m に位置する。平面的分布規模は北西方向に 500m、これと直交する方向に 150m 程度でリャリャグア層上部層中に位置する。現在は稼行されておらず、過去の資料も存在しないが、ズリ中の鉱石は Ag 110g/t, Pb 0.05%, Zn 29.1%, Sn 1.26% の分析値を示し、ペピイトス及びマリア・フランシスカ鉱化帯と同質の鉱化作用を示す。X線回折による鉱物組合せに関しては電気石系の鉱物を全く産せず clinochlore がかなり確認されており、ポソコニ鉱化帯に比較して鉱化作用の温度が低下したことを示している。

(6)ハラヌイリ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の南方約 1.500m に位置する。平面的分布は東西方向に 200m、南北方向に 100m 程度の規模でリャリャグア層上部層に位置する。現在は 2-3 の旧坑が存在するのみで過去の資料も不明であるが、ズリ中の鉱石は多量の細粒黄鉄鉱を随伴し Ag 95g/t, Pb 0.11%, Zn 28.3%, Sn 3.13% の分析値を示し、ペピイト及びマリア・フランシスカと同質の鉱化作用を示す。X線回折による鉱物組合せに関しては電気石系の鉱物を全く産しないが、clinochlore が確認されており、上記同様に鉱化作用温度の低下を示している。

(7)コンベント鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の西方約 300m に位置する。平面的分布規模は南北方向に 300m、東西方向に 100m 程度でリャリャグア層上部層及びウンシア層中に位置する。現在は 2-3 の旧坑が存在するのみで過去の資料も不明であるが、ズリ中の鉱石は Ag 485g/t, Pb 3.76%, Zn 21.3%, Sn 0.35% の分析値を示し、ペピイトス、マリア・フランシスカ鉱化帯などと同質の鉱化作用を示す。一部の鉱石の鏡下では閃亜鉛鉱及び黄鉄鉱を主体に輝銀鉱が確認されている。X線回折による鉱物組合せに関してはポソコニ鉱化帯との差異は認められない。ポソコニ鉱化帯を中心とした当鉱化帯に向けての鉱化作用の累帯分布は、ポソコニ鉱化帯から当鉱化帯の下部に向けて実施された MJBH-1 ボーリング・コア調査により連続的な現象として確認されている。

(8)ケブラーダ・チチイロオニ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の北西約 1.800m に位置する。平面的分布規模は南北方向に 500m、東西方向に 100m 程度でリャリャグア層上部層中に位置する。付近には旧坑は存在するが鉱石又はズリなどは認められない。当鉱化帯は灰白色の粘土化作用を主体とし、その分析品位は Ag 8g/t, Pb 0.01%, Zn 0.01%, Sn 0.06% と極めて低い。X線回折による鉱物組合せに関しては電気石系の鉱物を全く含まず曹長石が確認されている。

(9)コンドリ・チュコ鉱化帯：当鉱化帯はポソコニ鉱化帯の北北西約 1.8000m に位置する。

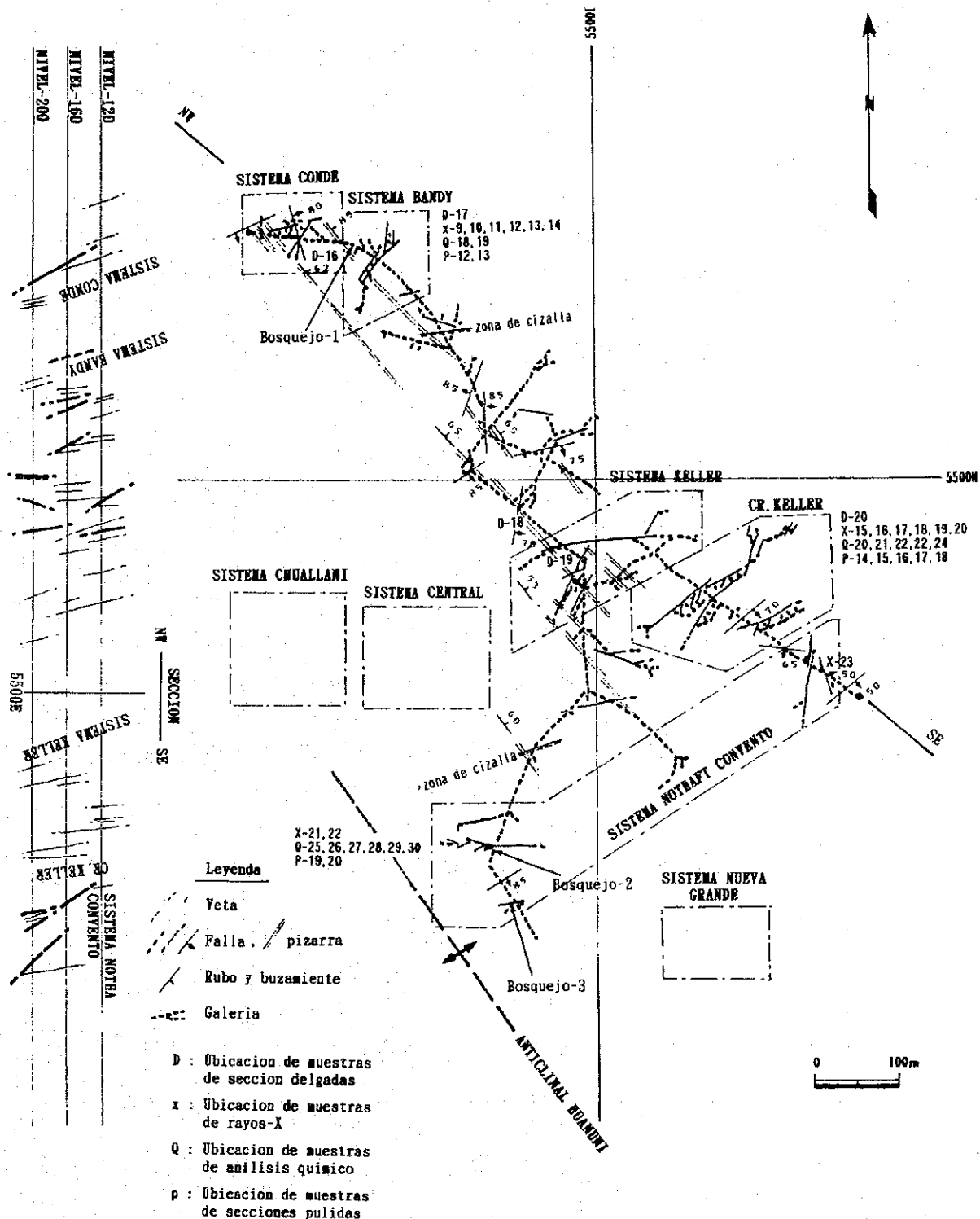


Fig. 2-1-4 坑内地質平面及び断面図

平面的分布規模は南北方向に 300m, 東西方向に 100m 程度でリャリャグア層下部層中に位置する。付近には旧坑などは全く認められない。鉍徴は砂岩中に発達する幅 10cm 以下の不規則な形態を示す石英脈であり、その分析品位は Ag 32g/t, Pb 及び Zn 0.01%, Sn 0.07% と極めて低い。X線回折による鉍物組合せに関しては電気石系の鉍物は全く認められずカオリン、曹長石、clinocllore などが確認されている。従って、当鉍化帯はポソコニ鉍化帯とは異質の鉍化変質作用であるものと判断される。

(10) フチュ・ヨレトニ鉍化帯：当鉍化帯はポソコニ鉍化帯の北東約 2,200m に位置する。平面的分布規模は東西方向に 300m, 南北方向に 200m 程度でウンシア層中に位置する。付近には旧坑などは全く認められない。鉍徴は砂岩中に発達する幅 10cm 以下の不規則な形態を示す石英脈であり、その分析品位は Ag 2g/t, Pb 及び Zn 0.01%, Sn 0.07% と極めて低く、鏡下では赤鉄鉍が確認されたのみである。X線回折による鉍物組合せに関しては電気石系の及び緑泥石系の鉍物も全く確認されていない。

1-5 考察

1-5-1 鉍脈の配列パターンと鉍化作用の特性

(1) 鉍脈の配列パターン：ポソコニ鉍化帯の L-200における坑内地質図・地質断面図を Fig. 2-1-4に、また、鉍脈形成後の運動を示す典型的なスケッチを Fig. 2-1-5に付す。

当鉍床の鉍脈の配列パターンとその裂カ系の形成機構を解析するためポソコニ鉍化帯の L-200の CR, Keller, Sistema Keler及びSistema Bandy の富鉍体から 271箇所 の鉍脈の走向・傾斜を実測し、これらを統計処理した。解析法としては 271資料全体とこのうち錫に富む鉍脈 144資料を分割し処理し、両者を比較し錫に富む鉍脈の配列パターンを検討した。

CR, Keller, Sistema Kelle及びSistema Bandy についても同様な処理した。これらの結果を Fig 2-1-6及び Tabla 2-1-4に示す。Tabla 2-1-4 には走向・傾斜の集中度の高い数値を表示している。また、測定された鉍脈の走向及び傾斜の一覧表を巻末 A-10 に示す。

Tabla 2-1-4 鉍脈走向・傾斜解析結果一覧表

	鉍脈全資料	錫鉍脈資料
L-200 全資料 (n=271)	N66 ° E/72° S, N35° E/74° S N15 ° E/75° S (n=271)	N65 ° E/72° S, N79 ° E/60° S N15 ° E/72° S (n=144)
CR, Keller (n=107)	N62 ° E/74° S, N15° E/73 S (n=107)	N72 ° E/72° S, N17 ° E/73° N (n=56)
Sistema Keller (n=127)	N68 ° E/70° S (n=127)	N80 ° E/61° S (n=65)
Sistema Bandy	規則性なし	規則性なし

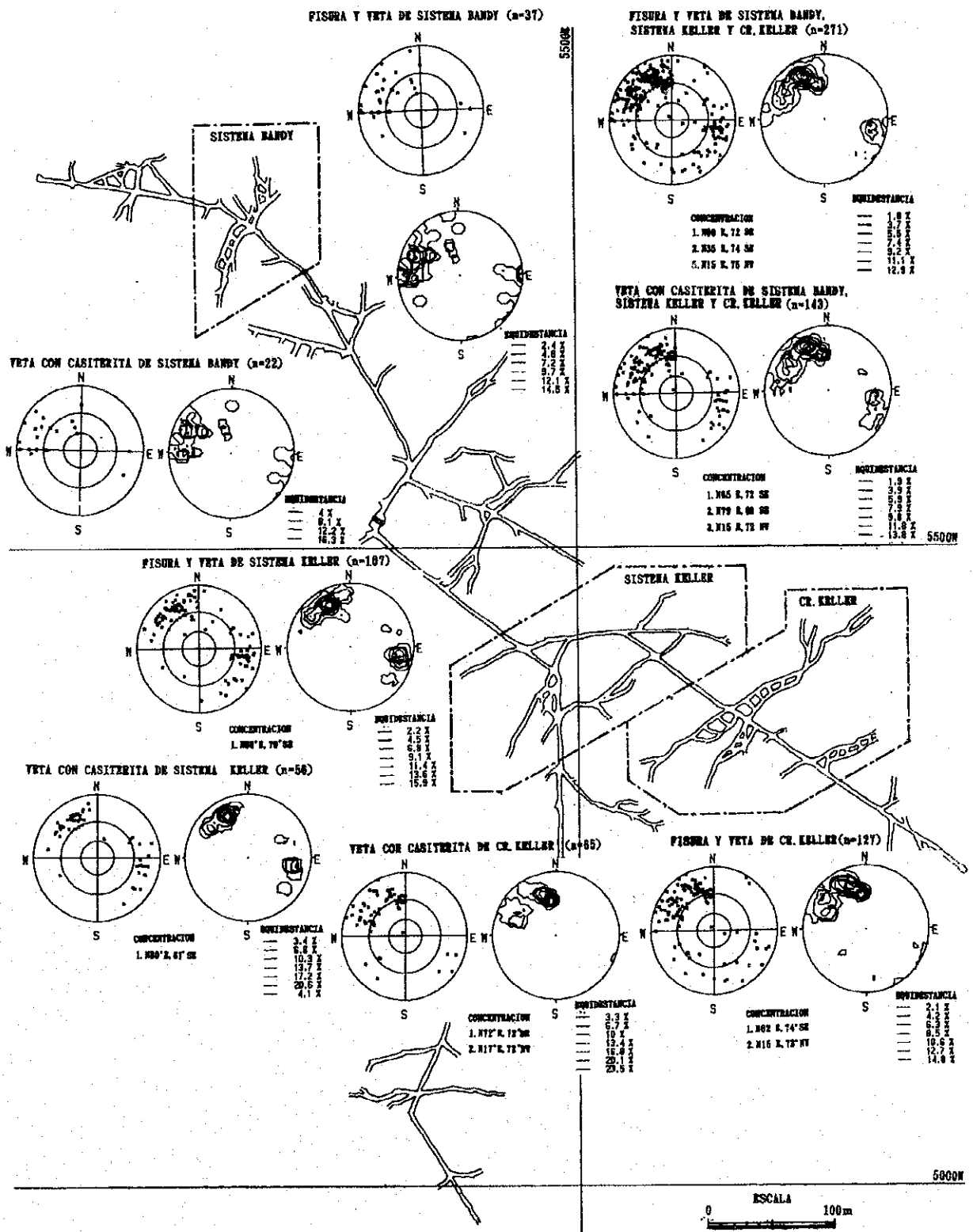


Fig. 2-1-5 坑内磁脈走向・傾斜解析図

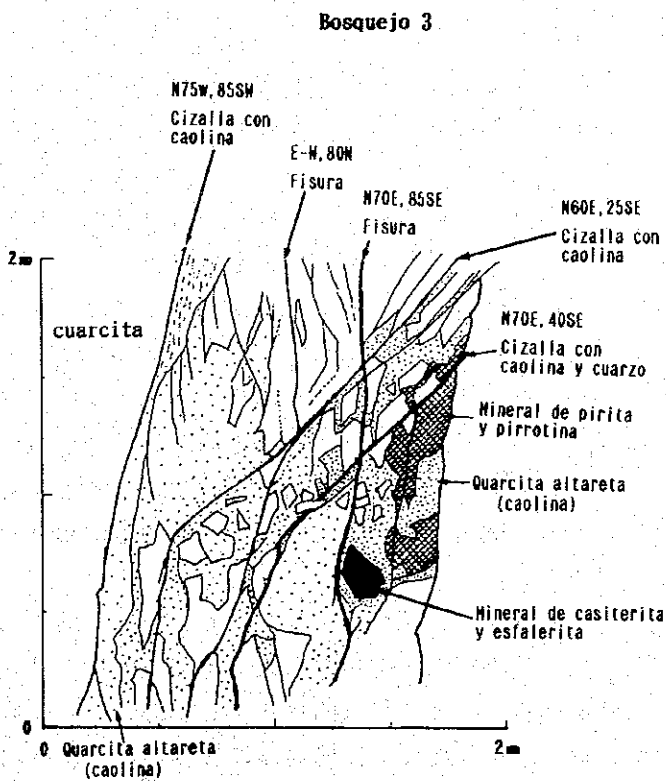
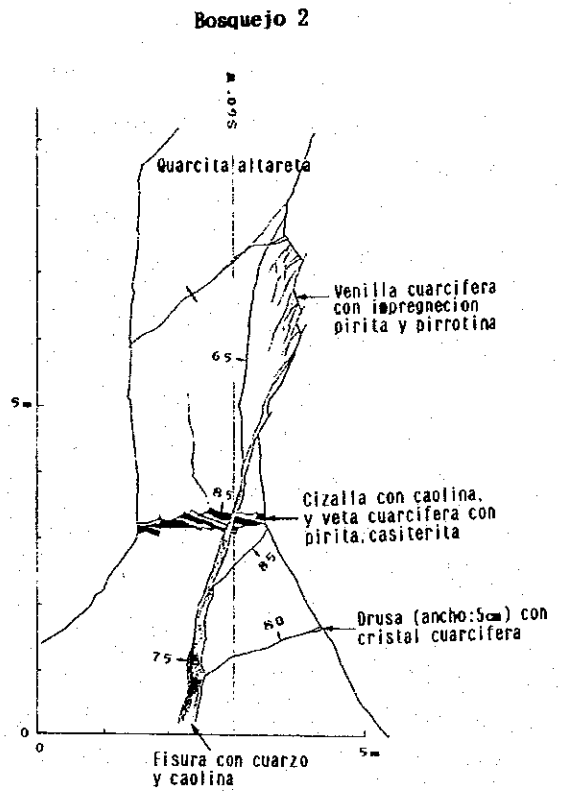
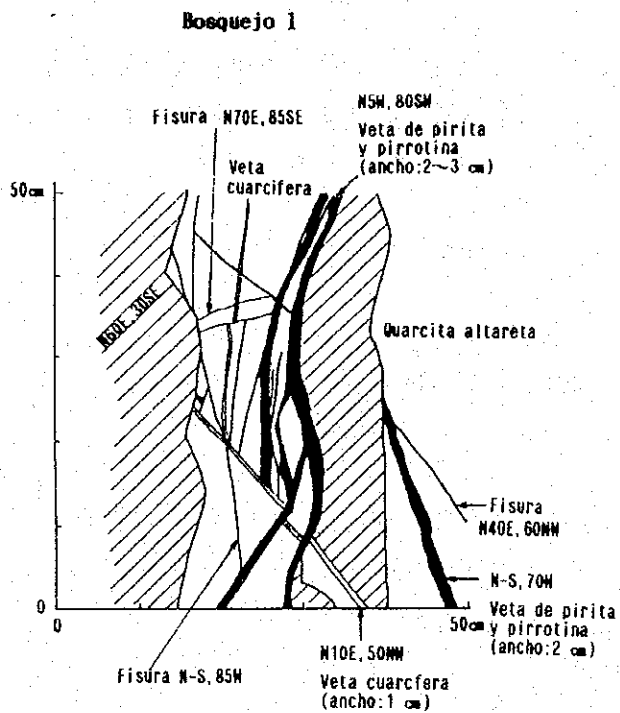


Fig. 2-1-6 坑内鉱脈スケッチ

錫鉍脈の走向・傾斜の集中する数値は全資料のそれにほぼ一致する。CR. Keller 及び Sistema Keller については全体の鉍脈の方向に対して錫鉍脈は東側に 10 度程度ずれる傾向を示すものの、両者はほぼ一致しているものと判断し得る。Sistema Bandy については資料数が少ないためか走向・傾斜の規則性が認められない。以上の結果から、当鉍床の鉍脈の走向・傾斜ともかなり変化に富むものの、錫鉍脈の富鉍体はほぼ走向 N80° ~ 65° E、傾斜 60° ~ 72° S の鉍脈に限定されるものと結論し得る。

錫鉍脈とこれを伴わない黄鉄鉍鉍脈との裂カ系はほぼ一致するとはいえ、両者は明らかに異なるグループを形成している。この事実は錫鉍脈と黄鉄鉍鉍脈を胚胎する裂カ系の形成時期及び鉍化作用の時期が異なることを示している。この推定は後述のボーリング・コア調査により明らかにされている。

これらの鉍脈を胚胎する裂カ系の形成機構を解明するため詳細な坑内・坑外の地質現象の観察を実施したにもかかわらず、主応力の方向を解明する決め手となる共役的裂カ現象は確認されなかった。また、坑内調査では早期形成の石英脈が破碎されたり、後期形成の石英脈に切断される現象が各所で普遍的に確認されている。この現象は裂カ系を形成せしめた運動が鉍化作用時期に繰り返された事実を示している。

以上の現象から、当鉍床を胚胎する裂カ系は広域的な構造運動に伴って形成された規則的な配列パターンの裂カ系ではなく、むしろ、ポソコニ鉍化帯深部に想定される局所的な深成岩岩体の貫入岩活動に伴って形成された裂カ系と解釈すべきものと判断する。また、この深成岩活動も数回の上下運動を繰り返した結果、既存の鉍脈を破壊し、多様な方向の裂カ系を形成させたものと推定される。これらの鉍脈にはその形成時期及び鉍化作用の時期を異にする錫鉍脈と黄鉄鉍鉍脈が存在する。この深成岩岩体の存在は前述のポソコニを中心とした地質構造の乱れ及び後述の鉍化作用の特性の説明にも極めて調和的であるものと判断される。

(2) 鉍化作用の特性：鉍脈の主要鉍石鉍物は硫砒鉄鉍・黄鉄鉍・閃亜鉛鉍・錫石で、副成分鉍石鉍物としては黄錫鉍・白鉄鉍・硫砒鉄鉍・黄銅鉍・方鉛鉍・毛鉍・フランケアイト、などが知られており、今回の調査で新たにコスアライト (Cosalite) 及びリリアナイト (Lilianite) が確認された。また、脈石鉍物は石英を主体に燐灰石・螢石・電気石・藍鉄鉍・菱鉄鉍・絹雲母・カオリン・モンモリロン石などが報告されおり、今回の調査では新たに clinocllore、バージェライトなどが確認された。従って、当鉍床の鉍化作用は螢石、電気石 (Tourmaline-Dravite and Dravite)、ウバイト、燐灰石、バージェライトなどの多様なハロゲン鉍物、燐酸塩鉍物及び藍鉄鉍を脈石として産しており、この点がポリヴィア国内の他の多金属鉍脈鉍床と異なる特徴といえる。

これらの鉍物は比較的高温生成の錫鉍物・磁硫鉄鉍・鉄マンガン重石・燐灰石・螢石・電気石と、比較的低温生成の白鉄鉍・菱鉄鉍・銀鉍物、複雑な硫塩鉍物に大別される。これらの鉍物は産出する量比に差異はあるものの、普遍的に共生し、かつ、その鉍石組織も単純であり、さらに、鏡下ではコロフォーム組織・複雑な硫塩鉍物の存在、高温から低温

条件への移行を示す離溶組織・黄鉄鉱及び磁硫鉄鉱からの白鉄鉱への移行などの現象が普遍的に観察される。従って、以上の事実から当鉱床の鉱化作用は成因的にはゼノサーマル型鉱化作用と判断される。同時に、当鉱床には電気石系の鉱物及びウバイト、バージェライトなどのハロゲン鉱物を多量かつ普遍的に産することから、典型的な気成鉱化作用の特徴を備えている。

また、当鉱床はポソコニ鉱化帯を中心にして外側に向かって鉱化作用が立体的累帯分布を示すことが指摘されている。今回の調査でもポソコニ鉱化帯を中心として鉱化作用が、その南部のペピトス、マリア・フランシスカ鉱化帯などでは錫品位が低下する反面、銀、鉛、亜鉛品位上昇し、脈石鉱物は電気石系鉱物が減少する一方、緑泥石が確認された。従ってポソコニ鉱化帯を中心として外側に向かって鉱石及び脈石鉱物とも高温生成から低温生成鉱物へ漸移する明らかな累帯分布を示すことが確認された。この事実は MJBH-1 及び MJBH-2 のボーリング・コア調査でも確認されている。

鉱脈の産状は母岩との境界面が鮮明であり、かつ、母岩の角礫を殆ど含まない。鉱脈の内部構造は母岩との境界面に平行な縞状構造が普遍的に存在し、これ以外は塊状鉱である。この産状は一部に産する網状鉱にも共通しており、開孔裂カを鉱液が充填した事を明瞭に示している。また、これらの他に鉱染状鉱もかなり普遍的に産し、鉱化溶液の開孔裂カから母岩の空隙へ浸透したことを示している。

従って、以上の諸事実から当鉱床の鉱化作用はポソコニ鉱化帯を中心として高温生成から低温生成の鉱物が密接に共生しつつ、これらの鉱物による立体的な累帯分布を示す典型的なゼノサーマル型裂カ充填脈鉱床であり、中心部の鉱化作用は顕著な気成鉱化作用の特徴を備えている鉱化作用であるものと結論し得る。

1-5-2 鉱床賦存のポテンシャル

以上の地質調査・後述の物理探査及びボーリング調査結果を総合的に解析し、以下の鉱床賦存のポテンシャルの高い地域を抽出した。

- (1)ポソコニ北東部異常帯地域：当地域はポソコニ鉱化帯の北東延長部に位置しボーリング MJBH-1 により地表下 500m 付近に優勢な鉱化変質作用の存在が確認されている。
- (2)ビスカチャニ及びセロ・ビスカチャニ異常帯地域：当地域は地質調査により確認された鉱化帯と物理探査により抽出された異常帯がほぼ一致し、かつ、当地域の地表下 600m 付近にボーリング MJBH-2 により優勢な鉱化変質帯が確認されている。
- (3)ポソコニ北部異常帯：当地域は L-200で稼行されているバンディ(Sistema Bandy)の延長部に位置し、かつ、物理探査により抽出された異常帯が賦存する。
- (4)コンドル・チュコ異常帯：物理探査で抽出された異常帯で付近には鉱化変質作用が認められないが、地質構造的に地下深部に鉱化変質帯の賦存する可能性が高い。

第2章 物理探査

2-1 調査目的・内容及び使用主要機材

当地域における鉱化帯と地下地質構造の関係を解明すると共に、異常帯の抽出を行い、ボーリング調査実施位置選定に必要な情報を得る。併せて、当手法の鉱床探査に対する有効性を実証する。調査内容はIP調査及び岩石・鉱石の室内物性試験であり、その細目をTable 1-1-1 に、調査位置図を巻頭に、測線位置図をFig. 2-2-1 に、また、調査に使用した主要機材をTable 2-1-1 に示す。

調査内容

測線延長：44.9km
測線数：21測線(南北18,東西3測線)
測定方法：強制分極法(IP法)
測定方式：時間領域(タイム・ドメイン法)
電極配置：ダイポール・ダイポール配置
電極間隔： $a = 100\text{m}$
電極隔離係数： $n = 1 \sim 5$

Table 2-2-1 使用主要機材表

発電機	KUBOTA, AE-2200, 50Hz, 220KVA
送信機	IRIS, ELECTRA-V/I 1000, 1,000V, 4A max, 1,000w
受信機	SINTREX, IPR-12, 8-chanel, 14-window, input range: 50 μv to 14v

2-2 測定方法

2-2-1 測線設定及び測量

測線(測線間隔は原則 200m)は当地域の南西に位置する Huayrapata 三角点(HU-7)を起点として設定した。測線は鉱化帯の方向にやや斜交する南北方向に 18 測線、地質構造にほぼ直交する東西方向に 3 測線を設定した。当地域の地形が急峻であるため作業に際しては測点間距離の誤差による解析精度への影響を避けるため、測点間隔を常に 100m の水平距離に保つ測量を実施した。測量作業はポケット・コンパス及びエスロン・テープを用いて実施された。

2-2-2 物性測定

当地域で採取した 30 個の岩石、鉱石及び変質を受けた岩石の比抵抗及び分極率を測定し、解析業務に供した。

測定に際しては可能な限り自然条件を反映させるために試料を 24 時間水に浸した後にタイム・ドメイン法で 2 方向から現地調査で使用した同一受信機で測定した。

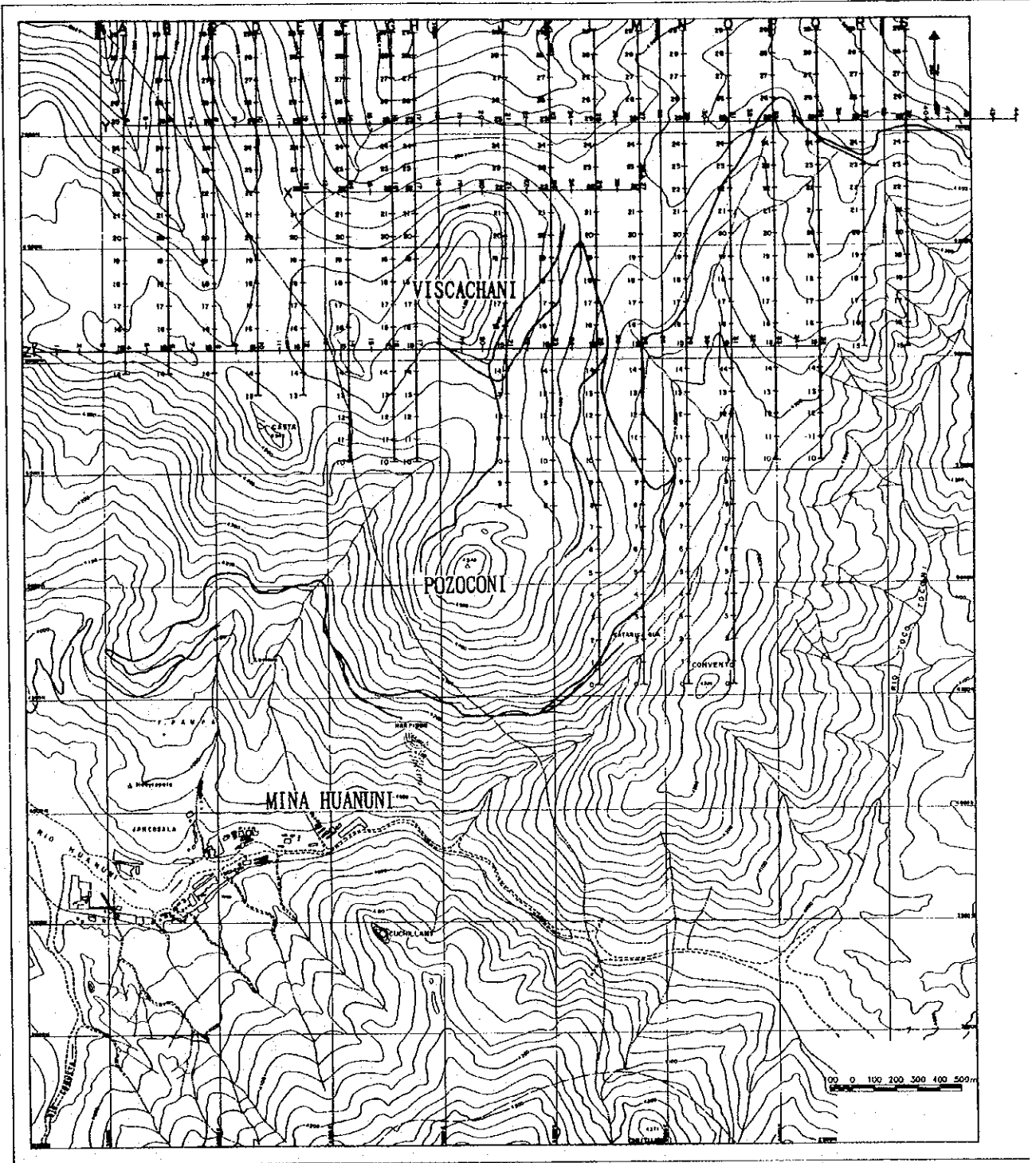


Fig. 2-2-1 測線位置図

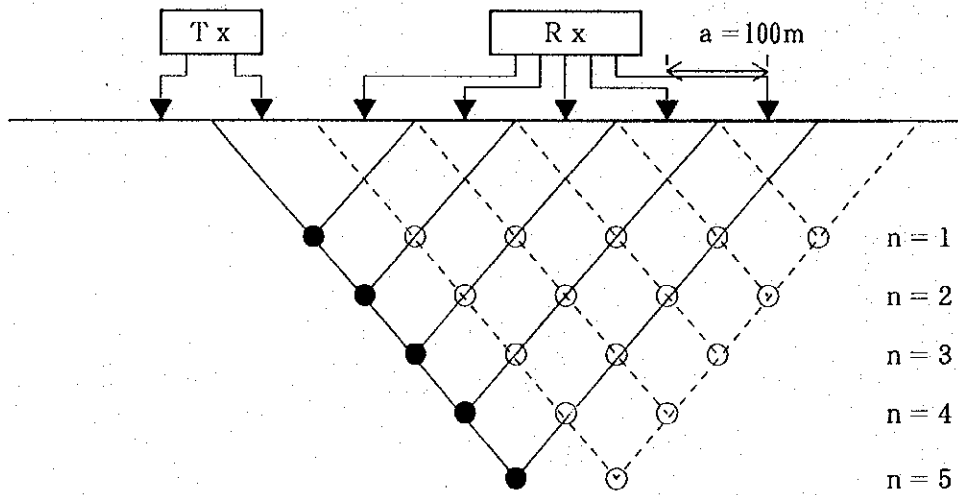


Fig. 2-2-2 測定概念図

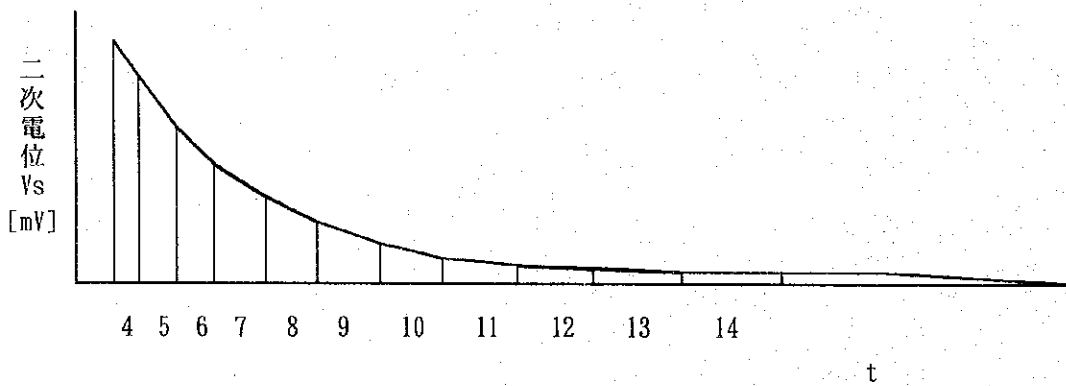


Fig. 2-2-3 測定方法概念図

Table 2-2-2 サンプルング・タイム一覧表

Slice #	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Width(msec)	20	40	40	80	80	140	140	230	230	360	360
Mid-Point(")	60	90	130	190	270	380	520	705	935	1230	1590

2-2-3 IP探査

(1)IP法の原理は大地に電流を流すことによりこれを構成する岩石中に各種の電気化学的現象を強制的に発生させ、このうち次の2要素を測定・解析し探鉱に応用することである。

*Over voltage effect:電気伝導体は通電によりその表面に電気二重層が生じる。しかし、通電を切断することにより通電とは逆の方向に放電する特性を有する。この現象はイオン伝導と電子伝導の組合わせによる効果で電子伝導性を持つ鉱物により生ずる。硫化物鉱物はこの電子伝導性を有しており、IP法によりこれを測定する。

*Natural effect or background: 通常の岩石は、通電により含有されている少量の粘土鉱物の膜分極作用により微弱な分極現象を生じる。この分極現象は粘土鉱物の種類によりその値は異なるが、一般に岩石中の粘土鉱物の容積比が5%程度の場合に最大値を示す。この値は硫化物鉱物のOver voltage effectの値に比較して極めて小さい。

(2)IP現象の測定法: タイム・ドメン法は、一对の電流電極 C_1 及び C_2 を通して大地に断続直流電流 (on/off 2.0 sec.) を流し、他の一对の電位電極 P_1 及び P_2 の間で電流切断直前の一次電位差 V_p 及び電流切断後の二次電位差 $V_s(t)$ を測定する。

今回の調査では、測定概念図 Fig. 2-2-2, 計測方法概念図 Fig. 2-2-3及びサンプリング・タイム一覧表を Table 2-2-2に示すように電流切断後の時間 ($t-4 \sim t-14$)における $V_s(4 \sim 14)$ を測定した。

IP効果測定値は分極率 V_s/V_p (mV/V) で表現される。今回の調査ではMid-point 935(msec.) の分極率を採用した。また、周波数法及びタイム・ドメン法における分極率はそれぞれ1%と5 mV/Vが対応する。

2-3 調査結果

2-3-1 物性測定結果

調査地域で採取した30個の母岩、鉱石、変質を受けた岩石の比抵抗及び分極率は以下のとおりである。なお、個々の測定結果の詳細は巻末 A-7に示す。

試料名 (個数)	比抵抗値 ($\Omega \cdot m$)	分極率 (mV/V)
鉱石 (n=3)	1.8 ~ 73.2	25.1 ~ 131.6
変質を受けた岩石 (n=9)	15.3 ~ 1721.2	0.1 ~ 10.3
母岩 (n=18)	16.9 ~ 4240.4	0.1 ~ 10.5

平均比抵抗値は鉱石 30.3, 変質を受けた岩石 575.1, 粘板岩では359.8, 砂岩1131.8, デイサイトは29.3 $\Omega \cdot m$ を示す。同じく分極率は鉱石82.7, 変質を受けた岩石4.6, 粘板岩4.4, 砂岩3.55, デイサイトは2.2 mV/Vを示す。鉱石の物性値は硫化物鉱物の含有量の程度によって変化し、比抵抗値は1.8 ~ 73.2 $\Omega \cdot m$, 分極率は25.1 ~ 131.6 mV/Vを示す。変

質を受けた岩石の物性値は、珪化作用及び酸化物鉱物である錫石の鉱染を受けたサンプルでは比抵抗値が比較的高い。また、黄鉄鉱の細脈を含むサンプルでは通電方向の違いで値が変化する異方性（サンプルNo. 25 の比抵抗、No. 26 の分極率）を示す。デイサイトの比抵抗値は多孔質な岩質を反映して低比抵抗を示す。通常の岩石や珪化作用を受けた岩石ではともに数mV/Vの低分極率を示す。

以上の結果から、母岩の岩石と鉱石では比抵抗、分極率ともかなり明瞭な差異が認められ、両者を区別し得ることが確認された。従って、当地域で抽出された異常帯は鉱化変質帯、またはこれと同じ物性値を有する地質現象を反映しているものと結論し得る。

2-3-2 IP調査結果

(1)見掛比抵抗及び分極率断面図

見掛比抵抗・分極率断面図をFig. 2-2-4(1)～(21)に示す。

見掛比抵抗・分極率断面図について分布パターンを検討した結果、F、J、K、L、M、N、Y、Zの8測線において異常パターンが認められた。他の13測線に関しては、注目すべき異常が認められなかった。従って、異常の認められた上記8測線についての異常パターンの形態、それから推察される異常源の深度及び地質調査結果との関連について説明する。

* F測線：測線は、リャリャグア層下部層の砂岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No. 15～17の浅部から深部にかけて100 Ω・m以下の低比抵抗帯が分布する他は、概ね200 Ω・m以上の高比抵抗を示す。

分極率は、最大25.2mV/Vを示す。No. 17, 18には、表層部に頂部を持つ「ハの字」型パターンが認められる。想定される異常源の深度は、分極率異常の形態から約100m程度と推察される。当異常は、低比抵抗帯の位置とも調和的で、地質調査で確認された「ビスカチャニ鉱化帯」の分布ともほぼ一致する。従って、当異常はビスカチャニ鉱化帯を反映したものと判断される。

* J測線：測線は、No. 24 以北ではウンシア層の粘板岩、No. 16～24ではデイサイト、No. 12～16ではリャリャグア層上部層の砂岩、No. 12 以南ではリャリャグア層下部層の砂岩が分布する地域に設定された。

比抵抗分布は、No. 13, 14の表層部（深度約100m付近）に20 Ω・m以下の局所的な低比抵抗帯が認められる。また、この位置を異常源とする分極率異常が「ハの字」型パターンとして認められ、両者は調和的である。

また、No. 11～14の深部（約200m以下）に50 Ω・m以下の低比抵抗帯が分布するが、分極率は異常パターンを示さない。

以上の異常と地質との関連については、隣接するK測線と併せて後述する。

* K測線：測線は、No. 12 以北ではウンシア層の粘板岩、以南はデイサイトとリャリャグア層上部層の砂岩の境界部に設定された。

比抵抗は、No. 13, 14の深度約200m付近に $100 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布する。また、同位置に「ハの字」型パターンを示す分極率異常が認められ、両者は調和的である。この分布形態から異常源の深度は約150mと推定される。

上記J測線及び当K測線の異常は、地表下約600mで確認されているバンディ鉱脈群の北東延長部に位置する。従って、当異常帯はバンディ鉱脈群の北東延長部上部の鉱化変質帯を反映したものと判断される。

*L測線：測線は、No. 7以北ではウンシア層の粘板岩、以南ではリャリャグア層上部層の砂岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No. 2~6の深部（約200~300m以深）で $10 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が認められる。また、No. 10の深部（約250m以深）にも $20 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布する。

分極率は、複雑なパターンを示すが、No. 10の深部（約300m以深）で $30mV/V$ 以上の値を示し、比抵抗分布とはほぼ調和的である。従って、当異常のさらに深部において異常源の存在する可能性が推定される。

当異常帯の地質との関連については、隣接するM、N測線と併せて後述する。

*M測線：測線は、No. 3以北ではウンシア層の粘板岩が、以南ではリャリャグア層上部層の砂岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No. 2の地表付近からNo. 7の深部（約250m以深）にかけて $10 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗を示す。しかし、分極率の解析に足る測定値は得られず、その分布が不明瞭であるため異常源の特定は困難である。また、No. 9の深度約250m付近に $50 \Omega \cdot m$ 以下の局所的な低比抵抗帯が認められ、この付近を頂部とする不鮮明な「ハの字」型分極率異常が認められる。

*N測線：測線は、No. 2以北ではウンシア層の粘板岩が、以南ではリャリャグア層上部層の砂岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No. 2~7の深部（約250m以深）で $10 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布する。

分極率は、No. 6~8の深部（約200m以深）に高分極率が認められるが、M測線と同様に分極率の解析に足る測定値は得られなかった。従って、坑内の稼働に伴う電氣的影響を避けて休日に再測を実施したが、同じ結果であり実測測定値のバラツキの原因は解明出来なかった。しかしながら、少なくとも、深度200m以深に異常源がある可能性が期待し得る。

これらL、M及びN測線の異常帯は、地表下約600mで確認されているポソコニ鉱脈群の北東延長部に位置する。さらに、ボーリングMJBH-1により確認されている高品位錫鉱脈を含む優勢な鉱化変質帯の北部にも位置する。従って、以上の異常帯はこれらの鉱脈群及び鉱化変質帯の北部延長部及びその上部を反映したものと判断される。

*Y測線：測線は、No. 15以西ではリャリャグア層下部層の砂岩が、以東では主としてウンシア層の粘板岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No. 15の深部（約300m以深）で $100 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布し、ほぼ同深度に分極率異常の上端が認められ、深部に異常源の存在が推定される。

当地域には、地質調査では鉱化変質帯は確認されていない。しかし、地質構造的に鉱脈

を胚胎するリャリャグア層下部層の砂岩層が分布する地域であり、鉍化変質帯またはそれと同質の地質現象の存在を反映しているものと判断される。

*Z測線：測線は、No.9以西ではデイサイトが、No.9～19でリャリャグア層下部層の砂岩が、No.21以東ではウンシア層の粘板岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、No.8の深部（約250m）～No.11の地表付近にかけてと、No.12～No.22の地表付近から深部（約350m以深）で $100 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布する。地表部では高比抵抗部が不規則に分散分布する。

分極率は、No.13,14の地表部、No.16,17の深度約250m、No.21,22の地表部にそれぞれ頂部を持つ「ハの字」型パターンが認められ、比抵抗分布と調和的な分布を示す。また、No.17,18,19の深部（深度400m以深）に分極率異常の一部が認められ、深部異常源の存在を示唆している。

これらの異常のうち、No.13,14の異常はF測線とほぼ調和的であり、同測線と同様な地質現象を反映しているものと判断される。

(2)見掛比抵抗平面図及び分極率平面図

見掛比抵抗平面図及び分極率平面図をそれぞれFig.2-2-5及びFig.2-2-6に示す。なお、ダイポール・ダイポール電極配置による異常パターンは断面図では「ハの字」型パターンとして現れる。これを電極隔離係数 n レベルで切った平面図に表すと、異常の分布は異常源をはさんで2つの異常として現れる。 n が大きくなるにしたがって異常のパターンは広がり、異常源の位置と対応しない分布になる。従って、見掛比抵抗平面図・分極率平面図は、表層付近の地質状況を直接反映するように電極隔離係数 $n=1$ の図面を採用した。なお、平面図の作成にあたっては、通電方向の違いによる測定値の相違（異方性）が認められたため、南北測線のデータのみを使用した。

*見掛比抵抗平面図：調査地域の西部にNW-SE方向で及びセロ・ビスカチャニ付近に分布する $100 \Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯はモロッコカラ層のデイサイトの分布にば一致する。調査地域中心部のNW-SE方向に分布する $100 \sim 200 \Omega \cdot m$ の地域は、ほぼリャリャグア層の砂岩を主体とする分布地域に対比される。調査地域の東及び西に分布する $200 \Omega \cdot m$ 以上の地域は、ほぼウンシア層の分布地域に一致する。これらのうち、ウンシア層は粘板岩を主体とし砂岩の薄層を挟在するため、比抵抗の値は変化に富む。

従って以上の結果から、当地域における見掛比抵抗平面図はほぼ地質及び地質構造を反映しているものと結論し得る。

*分極率平面図：調査地域北西部のリャリャグア層下部層の砂岩分布域は $5 \sim 10mV/V$ の分極率を示す。ウンシア層の粘板岩の分布域は北部で $5mV/V$ 以下の低分極率を示すが南部では $15 \sim 25mV/V$ を示す。従って、当地域における分極率平面図と地質図との対応性は殆ど認められないと結論し得る。