


米リウイと英洞國の二地域
資源開発協力基礎調査報告書
地域開発計画調査

最終報告書

平成8年3月

JICA LIBRARY



J 1128277 (9)

国際協力事業団
資源開発協力基礎調査

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

最終報告書

平成8年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1128277(9)

は し が き

日本国政府はポ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、ポリヴィア共和国政府機関、ポ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、2カ年の調査結果をとりまとめた最終報告書である。

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

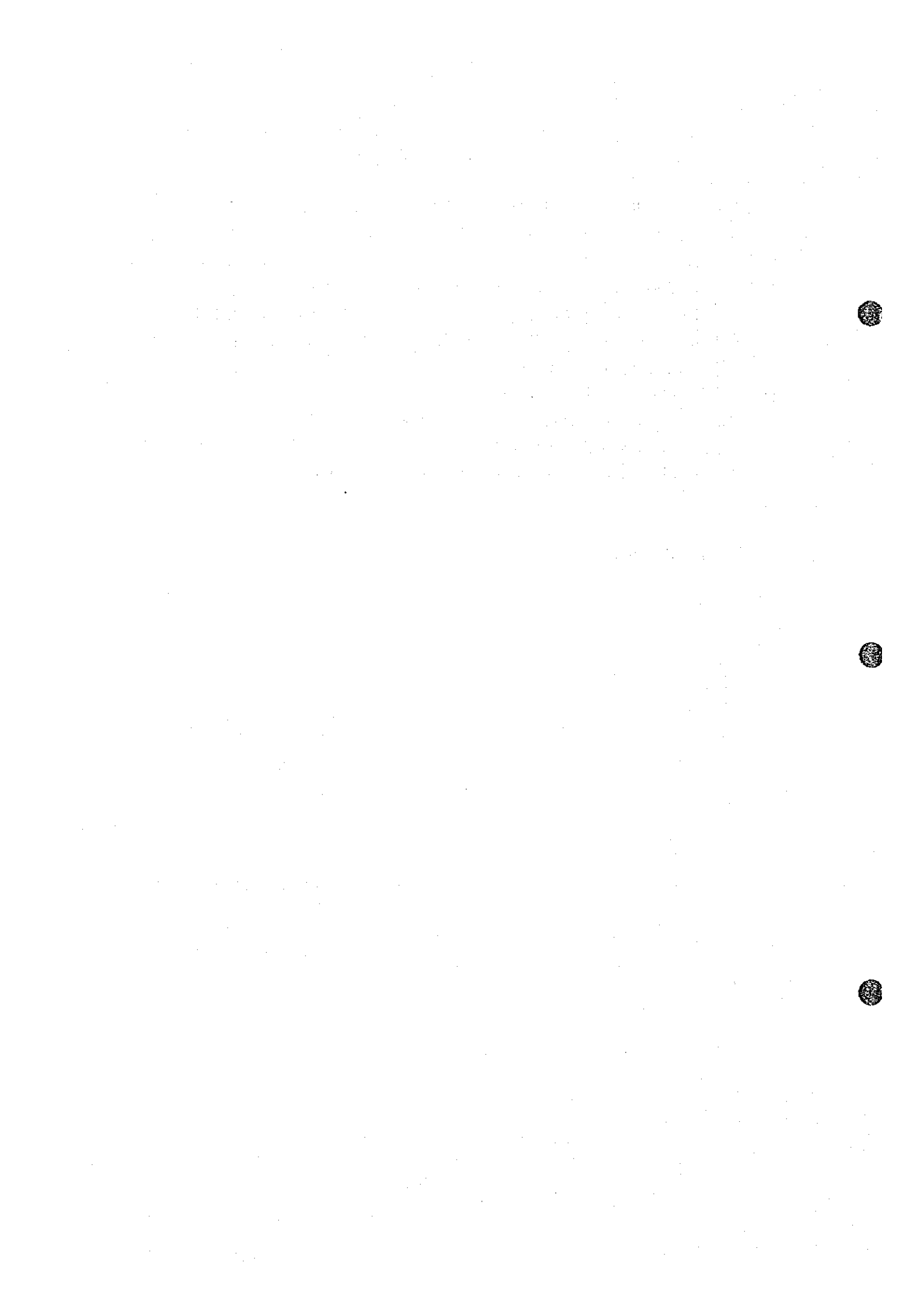
平成8年2月

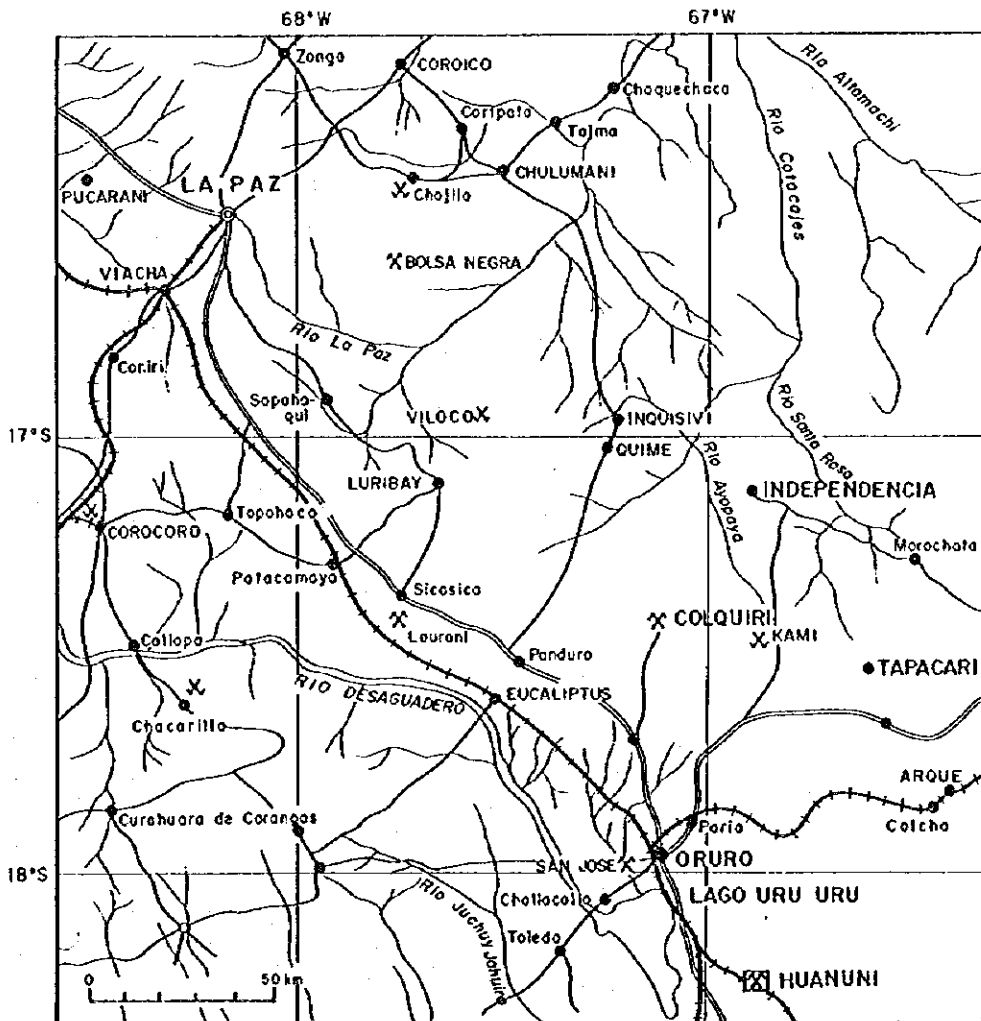


国際協力事業団
総裁 藤田公郎

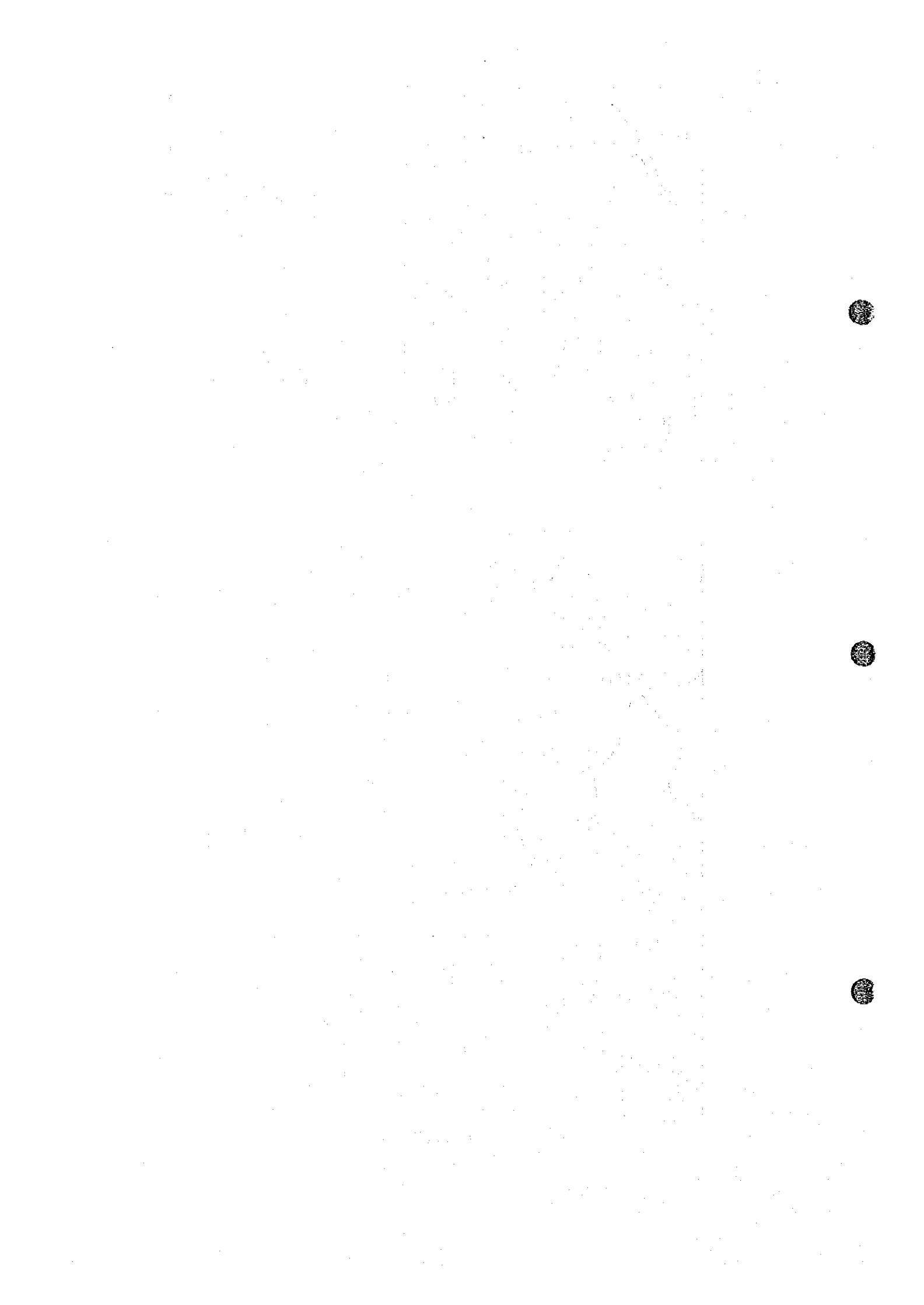


金属鉱業事業団
理事長 清瀧昌三郎





調査地域位置図



要 約

本調査はボリビア共和国ワヌニ(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、平成7年度は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目的で IP 法が実施された。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～南東方向の分布を示し、同方向の褶曲軸を有する著しい褶曲構造及び北東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)鉱床はほぼ北東東系を示す南傾斜の錫を主体とする多金属鉱脈鉱床である。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・チュチイロニ(Quebrada Chuchilloni)の粘土化変質帯を確認した。

(4)鉱床の構成鉱物は黄鉄鉱、磁硫鉄鉱を主体に、閃亜鉛鉱、錫石、黄錫鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、硫砒鉄鉱、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、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燐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、その規模は走向及び傾斜方向にそれぞれ 100m \sim 150m 程度であり、鉱床はこの程度の規模の平行鉱脈の集合鉱脈鉱床である。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あり、錫品位に富む鉱脈を含め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力系は広域的、かつ、規則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裂力系と解釈される。

(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、当鉱床は典型的な開口裂力充填鉱床であるものと判断される。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) 調査地域から採取した鉱石は低比抵抗・高分極率を、岩石は高比抵抗・低分極率を示し、両者は明らかに区別し得る。従って、当地域で IP 探査によって抽出された異常帯は鉱化変質帯を反映しているものと結論づけられる。この結果、同手法の当地域の鉱床探査に対する有効性が立証された。

(11) IP 調査で抽出された異常帯はポソコニ北東部、ピスカチャニ、ポソコニ北部、コンドル・チュコ及びセロ・ピ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) 以上の異常帯うちポソコニ北東部異常帯、ポソコニ北部異常帯及びセロ・ピスカチャニ異常帯は優勢な鉱脈群を伴う鉱化作用に起因することが、ボーリング調査によって確認された。

(13) 7孔のボーリング調査で以下の成果を確認した。

* 坑内ボーリング調査：セロ・ピ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。これらのうち錫品位の高い鉱脈の一部は既に採掘に移行し、ワヌニ鉱山の生産に直接貢献している。

	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

	着鉱深度	着鉱長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
MJBH-1	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

*坑外ボーリング調査：ボソコニ北東部及びボソコニ北部異常帯において、一部に錫品位に富む以下の鉄脈を伴う優勢な鉄化変質帯の存在が確認された。

孔番号	着鉄深度(m)	着鉄長(cm)	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)	S(%)
MJBH-3	305.8-	160	0.14	42	0.57	0.46	0.14	42.9
"	373.7-	40	0.08	29	0.14	0.47	0.30	38.3
MJBH-4	170.7-	100	0.09	7	0.38	0.11	0.04	11.8
"	245.2-	85	0.14	27	0.99	2.60	0.06	32.5
"	269.0-	40	0.05	5	0.03	0.83	3.20	42.0
MJBH-5	154.4-	40	0.07	17	0.17	7.77	0.13	45.8
"	229.0-	425	0.03	14	0.13	4.41	0.68	34.0
"	236.0-	60	0.06	18	0.08	1.80	0.42	38.8
"	236.9-	80	0.10	13	0.11	1.02	0.24	38.1
"	242.1-	60	0.07	12	0.05	0.39	1.67	38.3
"	252.7-	60	0.03	10	0.05	2.02	1.18	38.4
MJBH-6	109.5-	50	0.04	14	0.01	0.08	0.25	47.6
"	199.3-	90	0.11	17	0.06	0.87	0.09	38.7
"	535.3-	80	0.03	8	0.01	2.11	0.10	20.3
MJBH-7	257.0-	60	0.03	12	0.06	1.04	1.51	44.9
"	299.8-	150	0.02	6	0.06	2.85	0.51	39.0
"	307.1-	40	0.02	5	0.08	2.99	0.24	40.1
"	397.2-	30	0.05	25	0.34	0.33	2.58	36.6

これらの5孔のうちMJBH-4、MJBH-5及びMJBH-7は一部に錫品位の高い鉄脈を確認しており、これらの鉄脈に対しては今後の探鉄価値があるものと判断される。

3 将来への提言

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、今後、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ことを提言する。

(1) ポソコニ北東部及びポソコニ北部異常帯において、ボーリングMJBH-1, MJBH-4, MJBH-5及びMJBH-7によって捕捉された、錫品位の高い鉱脈を含む鉱脈群の走向・傾斜延長部に対する確認精査ボーリング探査。

(2) 物理探査によって抽出されたビスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯に対する確認ボーリング探査。

(3) 銀-鉛-亜鉛に富む既知鉱化帯であるマリア・フランシスカ、コンベント及びペピィトス鉱化帯の走向・傾斜延長部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	4
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	8
4-3 ボーリング調査結果と鉱化作用の関係	8
4-4 鉱床賦存のポテンシャル	10
第5章 結論及び将来への提言	11
5-1 結論	11
5-2 将来への提言	13

第2部 各論

第1章 地質調査	15
1-1 地質概要	15
1-2 地質各論	15
1-3 地質構造	23
1-3-1 漸層構造	23
1-3-2 褶曲構造	25
1-4 鉍床	25
1-4-1 鉍床概要	25
1-4-2 鉍化帯各論	27
1-5 考察	31
1-5-1 鉍脈の配列パターンと鉍化作用の特性	31
1-5-2 鉍床賦存のポテンシャル	37
第2章 物理探査	39
2-1 調査目的・内容及び使用主要機材	39
2-2 測定方法	39
2-2-1 測線設定及び測量	39
2-2-2 物性測定	39
2-2-3 IP測定	40
2-3 解析結果	40
2-3-1 物性測定結果	40
2-3-2 IP解析結果	41
2-4 異常帯と鉍化作用の関係	43
第3章 ボーリング調査	66
3-1 調査目的	66
3-2 調査工事概要	66
3-3 調査結果及び考察	70

第3部 結論及び将来への提言

第1章 結論	87
1-1 結論	87
1-2 鉍床賦存のポテンシャル	89

第2章 将来への提言	90
------------	----

参考文献	91
------	----

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	調査内容
Tabla 2-2-2	使用主要機材一覧表
Tabla 2-2-3	岩石・鉱石物性測定結果総括表
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	使用主要機器一覧表
Tabla 2-3-4	ダイヤモンドビット、リマー消耗一覧表
Tabla 2-3-5	使用消耗品一覧表
Tabla 2-3-6	掘進実績表

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	見掛比抵抗・分極率断面図
Fig. 2-2-2	見掛比抵抗平面図

- Fig. 2-2-3 分極率平面図
 Fig. 2-2-4 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

巻 末

- A-1 岩石薄片顕微鏡観察一覧表及び同写真
 A-2 鉍石研磨片顕微鏡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 EPMA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 野外調査スケッチ
 A-9 鉍脈の走向・傾斜測定結果一覧表
 A-10 ボーリング地質柱状図

付 帯 資 料

- | | | |
|---|-------------------|----|
| 1 | 岩石及び鉍石サンプル | 1式 |
| 2 | 岩石薄片 | 1式 |
| 3 | 鉍石研磨片 | 1式 |
| 4 | 化学分析値フロッピー | 1式 |
| 5 | 孔別作業状況記録写真 | 1式 |
| 6 | 全コアのカラー写真（鉍微部を含む） | 1式 |

第I部 總 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1975年に同国全域の概査が実施され、引き続きサン・ピセンテ (San Vicente, 1976-1978) 地域、グラン・チョコカヤ (Gran Chocaya, 1979-1981) 地域、サン・アントニオ (San Antonio, 1982-1984) 地域、リベス (Lipez, 1987-1989) 地域及びコルキリ (Colquiri, 1991-1993) 地域の各地域で調査が実施された。これらの結果は鉱山開発に結付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国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。同鉱山の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し得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関係を、坑内地質調査は鉱脈の配列パターン、裂力系の形成機構、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。この成果を基に新規鉱床賦存のポテンシャルを評価し、ボーリング調査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IP法を実施し、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って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・数量表

第 一 年 次	地質調査 地表調査 坑内調査	調査面積 20km ² ルート長 40km " 6H	岩石薄片観察 20件 鉍石研磨片観察 20件 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 36件
	物理探査 測線総延長 測線間隔 測線数 測点間隔	I P 調査 44.9km 200 m 21測線 100 m	比抵抗測定 30件 分極率測定 30件
	ボーリング調査	総掘削長 1,002m(2孔) MJBH-1 501m MJBH-2 501m	岩石薄片観察 5件 鉍石研磨片観察 10件 X線回折試験 7件 EPMA(定量分析) 5件 化学分析 23件
第 二 年 次	ボーリング調査	総掘削長 2,478.1m(5孔) MJBH-3 450.6m MJBH-4 274.0m MJBH-5 601.5m MJBH-6 551.0m MJBH-7 601.0m	分極率測定 30件 鉍石研磨片観察 15件 X線回折試験 30件 化学分析 50件 (Sn, Zn, Pb, Au, Ag, S) 岩石薄片観察 10件 比抵抗測定 30件

Tabla 1-1-2 調査期間表

第 一 年 次	現地調査	平成 6年 11月 09日～平成 7年 02月 20日
	地質調査	平成 6年 11月 09日～平成 6年 12月 31日
	物理探査	平成 6年 11月 09日～平成 7年 02月 4日
	ボーリング調査	平成 6年 11月 09日～平成 7年 02月 20日
	解析・報告書作成	平成 7年 01月 04日～平成 7年 02月 28日
第 二 年 次	現地調査	平成 7年 08月 23日～平成 7年 12月 23日
	ボーリング調査	平成 7年 08月 23日～平成 7年 12月 23日
	解析・報告書作成	平成 7年 12月 24日～平成 8年 02月 27日

Tabla 1-1-3 調査団員名簿

		日本国側	ボリヴィア共和国側
第 一 年 次	調査計画及び折衝	佐藤 彬 金属鉱業事業団 塩川 智 金属鉱業事業団 水沢誠一 金属鉱業事業団 遠藤英史 金属鉱業事業団 五十嵐吉昭 金属鉱業事業団	Jose Antonio Flores Alberto Alandia Ballon Jose E.del Solar Melagarejo Calros Toro Calderon Juan Calros Vadivia Crespo Jose Antonio Flores D. Romulo Sasamoto Jose E.del Solar Melagarejo
	現地調査	伊藤 俊弥 総括責任 同和工営株式会社 (以下同じ) 相沢 恒 地質調査 山本平三郎 地質調査 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 ポーリング調査	Humberto Aguilar Ignacio (以上COMIBOL)
第 二 年 次	計 画 折 衝	両角 寿春 金属鉱業事業団	Jose E.del Solar Melagarejo
	現地調査	伊藤 俊弥 総括責任 同和工営株式会社 (以下同じ) 大沢孝一郎 ポーリング調査	Romulo Ssamoto Humberto Aguilar

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)市から南東約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)に位置し、海拔約 4,000m の高地にある。ラ・パスからはオルロー経由でマチャルマルカ(Machamarca)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。オルローから調査地までの定期バス便も多く、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、アルティプレ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)山、ビスカチャニ(4,612m)山、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ニ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及び北西系の水系がワヌニ川を経山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、主要鉱化作用はパティニョ(Patino)坑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, suces

ion, 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800km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)、コリ・コーリョ (Kori Kollo) 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。従って、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～南東方向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、下位よりカンカニイリ層、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・ビスマス鉱物などを随伴し、これらの鉱物は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、これらのうち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) によりボ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年にポ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年にテレス・ノス社はペニー・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年はパティニョ鉱山の操業となり、その後パティニョ財閥傘下のポリヴィア・ツウステン(Bolivian and Tusten Mines Corporation) 鉱山会社の経営となる。

*1949～1952年のポ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操業し、1995年1月現在の全従業員約500人、粗鉱生産量15,000t/m(Sn 2.40%), 錫精鉱800 t/m(Sn 45～50%)を生産し、精鉱はオルロー市のピント(Vinto)製錬所で処理されている。

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口裂力充填鉱脈鉱床である。構成鉱物は黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、を主体に、錫石、黄錫鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁鉄鉱、白鉄鉱、輝安鉱、菱鉄鉱、藍鉄鉱、毛鉱、車骨鉱、フランゲアイト、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前述の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、広域的な地質構造とは非調和的である。また、鉱脈を胚胎する裂力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力現象が全く認めらず、同じく広域的な漸層・裂力系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、高温の酸性深成岩岩体の活動に伴って形成された裂力系に胚胎される鉱脈鉱床であり、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

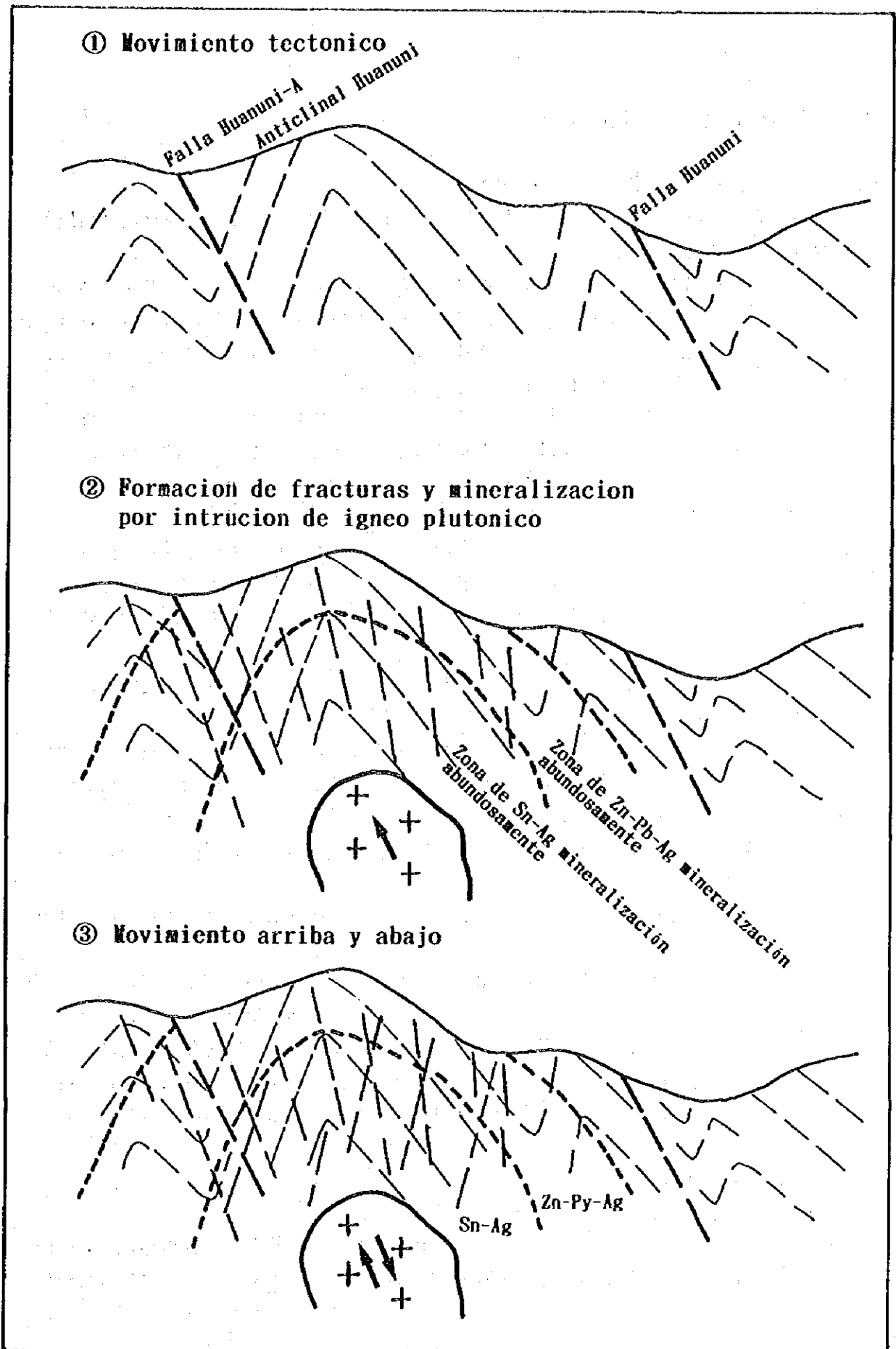


Fig. 1-1-1 鉍床生成モデル図

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

IP 探査によって以下の主要な異常帯が抽出され、既知鉱化帯及びボーリング調査結果との関係は以下に要約される。

(1)ポソコニ北東部異常帯：当異常帯はポソコニ鉱化帯の北東延長部のボーリング MJBH-1 によって、地表下約 600m に確認された優勢な鉱化変質帯の地表部に位置する。さらに、当異常帯に対して実施されたボーリング MJBH-3, MJBH-4, MJBH-5 及び MJBH-7 によって、硫化物鉱物に富む鉱脈群及び鉱化作用が確認された。

従って、当異常帯はポソコニ鉱化帯北東部、MJBH-1 の鉱化変質帯の上部及び坑外ボーリングによって捕捉された鉱化作用に起因することが確認されたものと判断し得る。

(2)セロ・ビスカチャニ異常帯：当異常帯はボーリング MJBH-2 によって、地表下約 600 m に確認された鉱化変質帯の地表部にほぼ位置する。

従って、当異常帯は MJBH-2 の鉱化変質帯の上部を反映しているものと判断し得る。

(3)ポソコニ北部異常帯：当異常帯は L-200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。さらに、当異常帯に対して実施されたボーリング MJBH-6 によって硫化物鉱物に富む鉱脈及び鉱化作用が確認された。

従って、当異常帯はバンディ鉱脈群の北東延長部の上部及びボーリング MJBH-6 によって捕捉された鉱化作用を反映しているものと判断し得る。

(4)コンドル・チュコ異常帯：当異常帯付近には地質調査によって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る。

従って、当異常帯は鉱化変質帯またはそれと同質の物性を示す地質現象を反映しているものと判断し得る。

(5)ビスカチャニ異常帯：当異常帯は地質調査によって確認されたビスカチャニ鉱化帯の分布にほぼ一致する。

従って、当異常帯はビスカチャニ鉱化帯浅部を反映しているものと判断し得る。

以上の結果、当地域で IP 探査法によって抽出された 5ヶ所の異常帯のうち、ポソコニ北東部異常帯、ポソコニ北部異常帯及びセロ・ビスカチャニ異常帯は硫化物鉱物に富む鉱脈群及びこれと同質の微細脈・鉱染状鉱化作用に起因することが確認された。また、併せて IP 探査法がワヌニ鉱床と同タイプの鉱床の探査に有効であることも実証された。

4-3 ボーリング調査結果

7孔のボーリング調査によって以下の成果を確認した。

(1)坑内ボーリング調査：セロ・ビスカチャニ及びポソコニ北東部異常帯の地表下約600m に、以下の鉱脈を伴う優勢な鉱化帯の存在が確認された。これらのうち錫品位の高い鉱

脈の一部は既に採掘に移行し、ワヌニ鉱山の生産に直接貢献している。

孔番号	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	0.10	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
MJBH2	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

MJBH-1の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する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ず、一連の鉱化帯の連続性が確認された。

(2)坑外ボーリング調査：ポソコニ北東部及びポソコニ北部異常帯において、一部に錫品位に富む以下の鉱脈を伴う鉱化帯の存在が確認された。

孔番号	着鉱深度	着鉱長(cm)	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn (%)	S(%)
MJBH-3	305.8-	160	0.14	42	0.57	0.46	0.14	42.9
"	373.7-	40	0.08	29	0.14	0.47	0.30	38.3
MJBH-4	170.7-	100	0.09	7	0.38	0.11	0.04	11.8
"	245.2-	85	0.14	27	0.99	2.60	0.06	32.5
"	269.0-	40	0.05	5	0.03	0.83	3.20	42.0
MJBH-5	154.4-	40	0.07	17	0.17	7.77	0.13	45.8
"	229.0-	425	0.03	14	0.13	4.41	0.68	34.0
"	236.0-	60	0.06	18	0.08	1.80	0.42	38.8
"	236.9-	80	0.10	13	0.11	1.02	0.24	38.1
"	242.1-	60	0.07	12	0.05	0.39	1.67	38.3
"	252.7-	60	0.03	10	0.05	2.02	1.18	38.4
MJBH-6	109.5-	50	0.04	14	0.01	0.08	0.25	47.6
"	199.3-	90	0.11	17	0.06	0.87	0.09	38.7
"	535.3-	80	0.03	8	0.01	2.11	0.10	20.3
MJBH-7	257.0-	60	0.03	12	0.06	1.04	1.51	44.9

“	299.8-	150	0.02	6	0.06	2.85	0.51	39.0
“	307.1-	40	0.02	5	0.08	2.99	0.24	40.1
“	397.2-	30	0.05	25	0.34	0.33	2.58	36.2

以上の5孔ともポソコニ鈳化帯から離れるにしたがい錫鈳物の含有量が減少するとともに、閃亜鉛鈳の含有量が増加し、坑内ボーリングの結果と同様に鈳化帯内の鈳物の累帯分布の一端が解明された。しかしながら、これら5孔のうちMJBH-4、MJBH-5及びMJBH-7は一部に錫品位の高い鈳脈を確認しており、これらの鈳脈に対しては今後の探鈳価値はあるものと判断される。

4-4 鈳床賦存のポテンシャル

以上の地質調査、物理探査及びボーリング調査の結論から、以下の鈳床賦存ポテンシャルの高い地域を抽出し得る。

(1)ポソコニ北東部異常帯においてボーリングMJBH-1、MJBH-4、MJBH-5及びMJBH-7によって捕捉された錫品位の高い鈳脈の走向・傾斜延長部。

(2)ポソコニ北東部異常帯北東延長部：上述(1)のボーリングによって捕捉された鈳脈群の北東延長部深部にもIP異常が確認されている。また、これらの鈳脈群はポソコニ鈳化帯に比較して錫品位に乏しいものの比較的亜鉛品位に富み、ポソコニ鈳化帯を中心とする鈳化作用の累帯分布を反映している。従って、これらのボーリングによって捕捉された鈳脈群の北東走向延長部は銀-鉛-亜鉛に富む鈳脈に移行する可能性が高い。

(3)ポソコニ北部異常帯北東延長部：ボーリングMJBH-6によって捕捉された鈳脈群の北東延長部深部にもIP異常が確認されている。また、これらの鈳脈群は前述(2)と同様な鈳化作用の特性を示している。従って、ボーリングMJBH-6によって捕捉された鈳脈群の北東走向延長部は銀-鉛-亜鉛に富む鈳脈に移行する可能性が高い。

(4)コンベント鈳化帯：当鈳化帯内の地表には多数の旧坑が点在し、かつ、銀-鉛-亜鉛に富む鈳石が確認されている。さらに、物理探査測線0の南部にIP異常が確認されている。従って、当異常帯に銀-鉛-亜鉛に富む多金属鈳脈の賦存可能性が高い。

(5)マリア・フランシスカ及びペイトス鈳化帯：これらの鈳化帯では銀-鉛-亜鉛に富む多金属鈳脈を小規模に採掘した実績はあるが、鈳脈の走向・傾斜方向に対する具体的な探査がなされていない。従って、これら鈳化帯の下部及び南西延長部に銀-鉛-亜鉛に富む多金属鈳脈の賦存可能性が高い。

(6)ビスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯(鈳化帯)：地質調査及び物理探査によって抽出されたビスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯(鈳化帯)の下部に鈳化作用の賦存可能性が高い。

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鈳化帯であるポソコニ鈳化帯を中心に 10 箇所の鈳化帯が分布し、以下の鈳床学的特性が解明された。

ポソコニ鈳化帯を中心とする鈳化作用は高温生成と低温生成の鈳物が密接に共生するテレスコープ組織を示し、さらに電気石系鈳物を中心にハロゲン鈳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鈳化作用と結論し得る。有価金属としてポソコニ鈳化帯では錫鈳化作用が主体であるが、当鈳化帯から離れるにしたがい、鉛、亜鉛、銀などの鈳化作用が顕著になり、明らかに鈳化作用の立体的な累帯分布が認められる。鈳床はほぼ北東東-南西西系の多数の平行鈳脈群から構成され、その富鈳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。鈳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。鈳脈を胚胎する裂力系はポソコニ鈳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、錫富鈳体はほぼ $N80^{\circ} \sim 65^{\circ} E, 72 \sim 60^{\circ} S$ 系の裂力系に集中する。

以上の結果、今後の錫鈳床の探査は、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、亜鉛などの複雑鈳を対象にすべきである。

(2)物理探査：IP探査法によって以下の主要な異常帯が抽出され、既知鈳化帯及びボーリング調査結果との関係は以下に要約される。

*ポソコニ北東部異常帯：当異常帯はポソコニ鈳化帯の北東部延長部のボーリング MJBH-1 によって地表下約 600m に確認された、優勢な鈳化変質帯の地表部に位置する。さらに、当異常帯に対して実施されたボーリング MJBH-3, MJBH-4, MJBH-5 及び MJBH-7 によって硫化物鈳物に富む鈳脈群及び鈳化作用が確認された。

従って、当異常帯はポソコニ鈳化帯の北東延長部、MJBH-1 の鈳化変質帯の上部及び坑外ボーリングによって捕捉された鈳化作用に起因することが確認されたものと判断し得る。

*セロ・ビスカチャニ異常帯：当異常帯はボーリング MJBH-2 によって地表下約 600m に確認された鈳化変質帯の地表部にほぼ位置する。

従って、当異常帯は MJBH-2 の鈳化変質帯の上部を反映しているものと判断し得る。

*ポソコニ北部異常帯：当異常帯は L-200で稼行されているバンディ鈳脈群の北東延長部に位置する。また、当異常帯に対して実施されたボーリング MJBH-6 によって硫化物鈳物に富む鈳脈及び鈳化作用が確認された。

従って、当異常帯はバンディ鈳脈群の北東延長部の上部と MJBH-6 によって捕捉された鈳化作用に起因することが確認されたものと判断し得る。

*コンドル・チュコ異常帯：当異常帯付近には地質調査によっては鈳化変質帯は確認されていない。しかし、地質構造的に鈳脈を胚胎するリュリャグア層下部層の砂岩層が分布

する地域である。

従って、当異常帯は鉍化変質帯またはこれと同質の物性を示す地質現象を反映しているものと判断し得る。

*ビスカチャニ異常帯：当異常帯は地表調査によって確認されたビスカチャニ鉍化帯の分布にほぼ一致する。

従って、当異常帯はビスカチャニ鉍化帯浅部を反映しているものと判断し得る。

以上の結果、当地域において IP 探査法によって抽出された異常帯のうち、ポソコニ北東部異常帯、ポソコニ北部異常帯及びセロ・ビスカチャニ異常帯は硫化物鉍物に富む鉍脈群及びこれと同質の微細脈・鉍染状鉍化作用に起因することが確認された。また、併せて IP 探査法がワヌニ鉍床と同じタイプの鉍床の探査に有効であることも実証された。

(3) ボーリング調査

*坑内ボーリング調査：ポソコニ鉍化帯の坑内L-200 から実施した 2孔のボーリング調査結果から、以下の優勢な鉍脈を伴う鉍化帯の存在が確認された。これらのうち錫品位の高い鉍脈の一部は既に採掘に移行し、ワヌニ鉍山の生産に直接貢献している。

孔番号	着鉍深度	着鉍長	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)
MJBH-1	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
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
"	127.45m-	15cm	0.03	32.7	0.01	0.65	0.55

これら2孔の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増加する鉍化帯内の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主体としており、ポソコニ鉍化帯との間には差異が認められず、一連の鉍化帯であることが確認された。

*坑外ボーリング調査：ポソコニ北東部及びポソコニ北部異常帯において、一部に錫品位に富む以下の鉍脈を伴う鉍化帯の存在が確認された。

孔番号	着鉱深度	着鉱長(cm)	Au(g/t)	Ag(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Sn(%)	S(%)
MJBH-3	305.8-	160	0.14	42	0.57	0.46	0.14	42.9
"	373.7-	40	0.08	29	0.14	0.47	0.30	38.3
MJBH-4	170.7-	100	0.09	7	0.38	0.11	0.04	11.8
"	245.2-	85	0.14	27	0.99	2.60	0.06	32.5
"	269.0-	40	0.05	5	0.03	0.83	3.20	42.0
MJBH-5	154.4-	40	0.07	17	0.17	7.77	0.13	45.8
"	229.0-	425	0.03	14	0.13	4.41	0.68	34.0
"	236.0-	60	0.06	18	0.08	1.80	0.42	38.8
"	236.9-	80	0.10	13	0.11	1.02	0.24	38.1
"	242.1-	60	0.07	12	0.05	0.39	1.67	38.3
"	252.7-	60	0.03	10	0.05	2.02	1.18	38.4
MJBH-6	109.5-	50	0.04	14	0.01	0.08	0.25	47.6
"	199.3-	90	0.11	17	0.06	0.87	0.09	38.7
"	535.3-	80	0.03	8	0.01	2.11	0.10	20.3
MJBH-7	257.0-	60	0.03	12	0.06	1.04	1.51	44.9
"	299.8-	150	0.02	6	0.06	2.85	0.51	39.0
"	307.1-	40	0.02	5	0.08	2.99	0.24	40.1
"	397.2-	30	0.05	25	0.34	0.33	2.58	36.2

以上の5孔とも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増加し、坑内ボーリング結果と同様な鉱化帯内の鉱物の累帯分布の一端が解明された。しかしながら、これら5孔のうちMJBH-4, MJBH-5及びMJBH-7は一部に錫品位の高い鉱脈を確認しており、今後の探鉱価値があるものと判断される。

5-2 将来への提言

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、今後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ことを提言する。

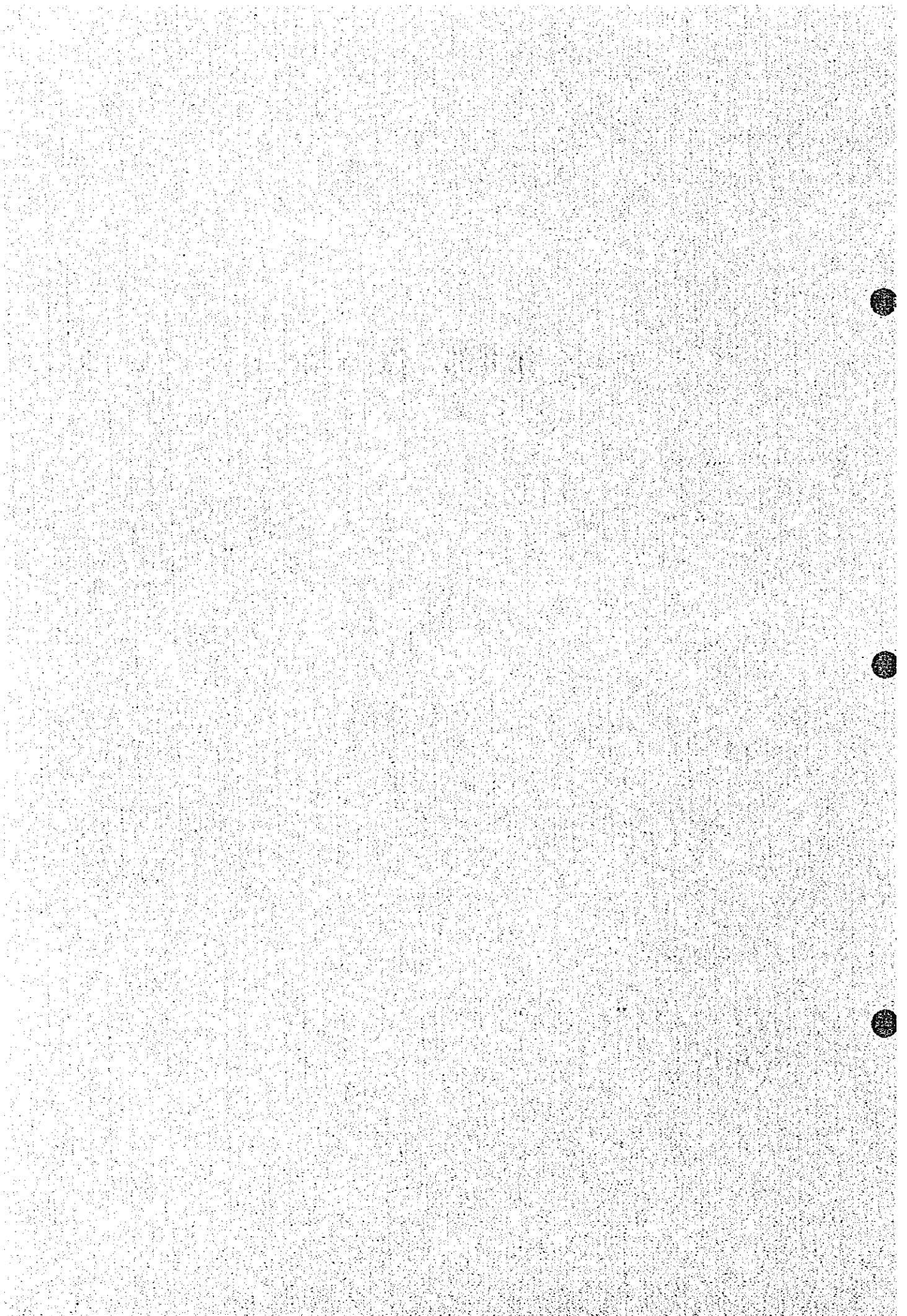
(1)ポソコニ北東部及びポソコニ北部異常帯においてボーリングMJBH-1, MJBH-4, MJBH-5及びMJBH-7によって捕捉された、錫品位の高い鉱脈を含む鉱脈群の走向・傾斜延長部に対する確認精査ボーリング探査。

(2)物理探査によって抽出されたピスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯に対する確認ボーリング探査。

(3)銀-鉛-亜鉛に富む既知鉱化帯であるマリア・フランシスカ、コンベント及びペピイトス鉱化帯の走向・傾斜延長部に対する確認ボーリング探査。



第Ⅱ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Tabla 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、ボリーバル、コリ・コーリョなどの大規模な鉱山及び多数の中小鉱山・鉱微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。従って、当地域もこれと全く同じ地質的環境にあり、付近で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、リャリャグア層、ウンシア層、カタビ層の各堆積岩類が各々整合的（極一部で断層及び不整合）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、細粒砂岩などから構成される。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す被り、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、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分布し、その賦存場所は母岩の岩相及び裂力系の方向に規制される。鉱床は錫を主体に亜鉛・銀・鉛・銅・タンゲ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り、かつ、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

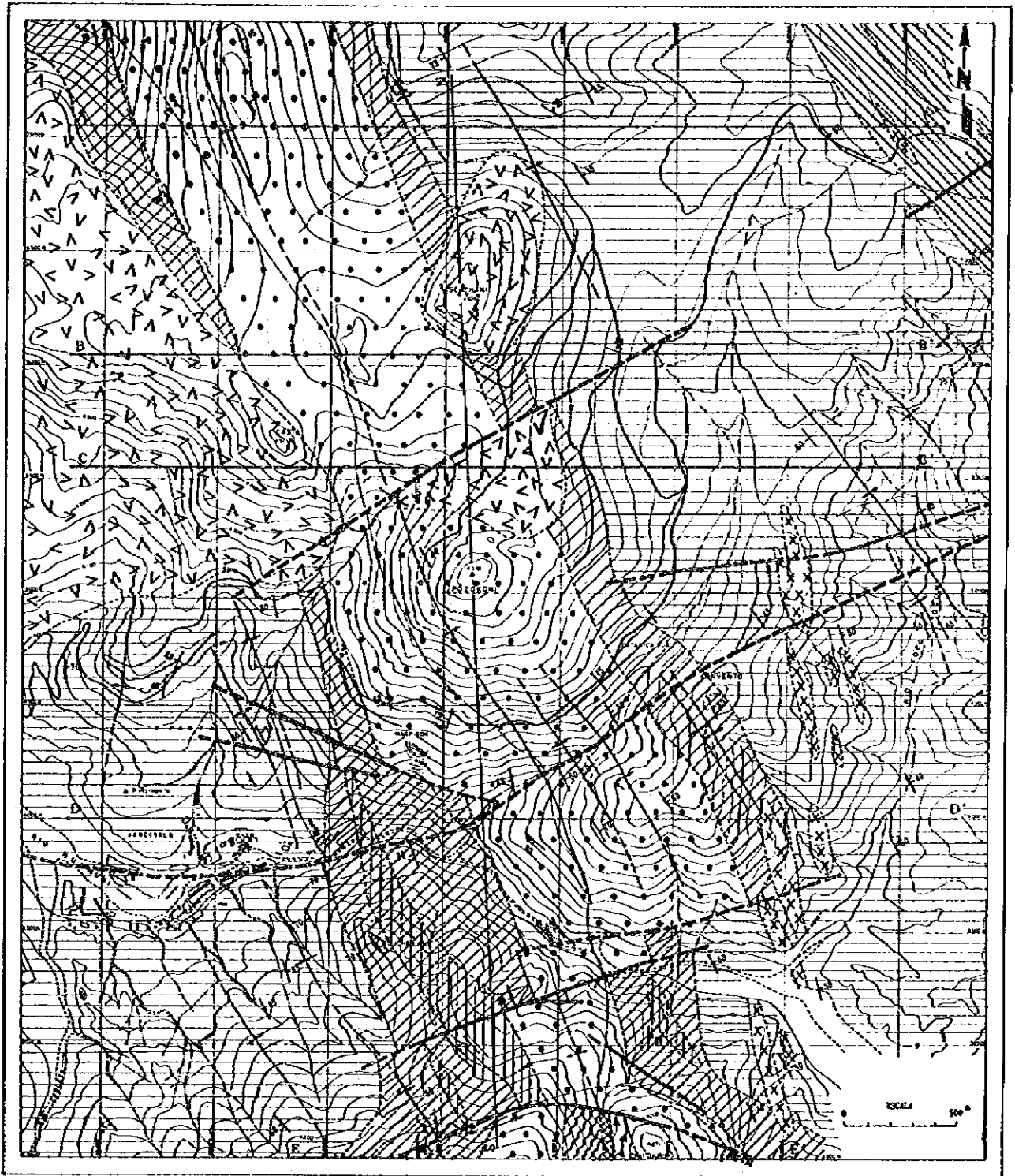
(1) カンカニイリ層

標式地は当地域の南東東のカタビ鉱山付近のカンカニイリである。しかし、当地域では最下位の地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（Chyucjat u）付近の背傾構造の中心部に北北西方向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組織が顕著に認められる。

Tabla 2-1-1 ワヌニ鉦山地域地質層序表

ERA		PERIODO	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	LITOLOGIA	METROS (m)	DESCRIPCION	ACTIVIDAD IGNEA Y MINERALIZACION		
PALEOZOICO	GENOZOICO	CUATERNARIO				aluvial, morreno, coluvial			
		TERCIARIO	MOROCOCALE		100	lava de dacita, piroclastico			
	SILURICO	LAMPAYANO	SUPERIOR	FORMACION CATAYI		300	arenisca grano mediana, negruzca, estratificada menor a un metro		
			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	
					MIEMBRO INFERIOR		700	arenisca fina ~ mediana, tabular (cuarcita), con estrato fino pizarra, alterancia de arenisca fina ~ mediana blanca o gris y cuarcita, con mica bastrante metamorfisno	
			INFERIOR		FORMACION HUANUNI		150	alterancia lutita y arenisca, con conglomerado fino, esquistos (biotita).	
					FORMACION CANCANERI		?	limo negro con lente de arenisca en parte	
								<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>cuarzo porfido, reoritico</p> <p>↑</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>mineralizacion</p> <p>↑</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>veta cuarzo</p> <p>↑</p> </div> </div>	



Legenda

F. MOROCOCALA

F. CATAVI

F. UNCIA

F. LLALLAGUA SUPERIOR

F. LLALLAGUA INFERIOR

F. HUANUNI

F. CANCARIRI

Dique de porfido cuarcifero

Eje de anticlinal

Eje de sinclinal

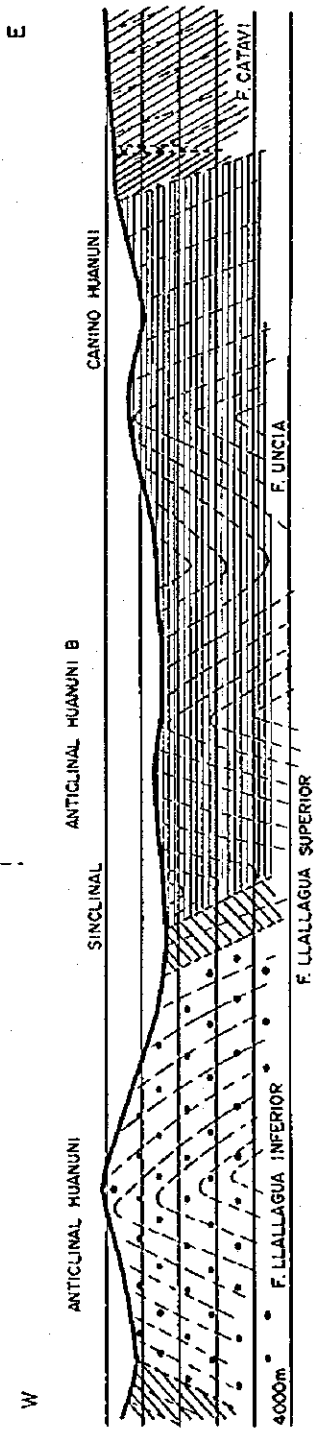
Falla

Rubo y buzamiento

A-A' Linea de seccion

Fig. 2-1-1 (1) 地質平面及び断面図

A ——— A'

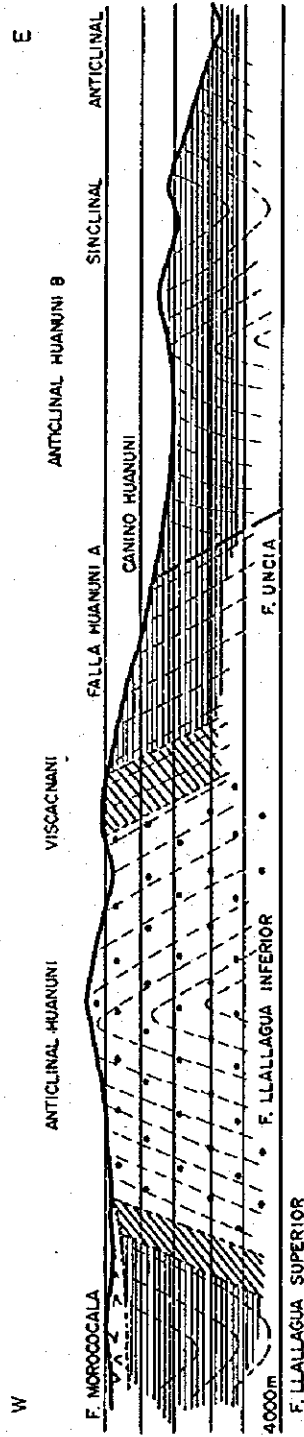


Leyenda

- F. MOROCOCALE
- F. CATAVI
- F. UNCIA
- F. LLALLAGUA SUPERIOR
- F. LLALLAGUA INFERIOR
- F. HUANUNI
- F. CANCANTIRI

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

B ——— B'

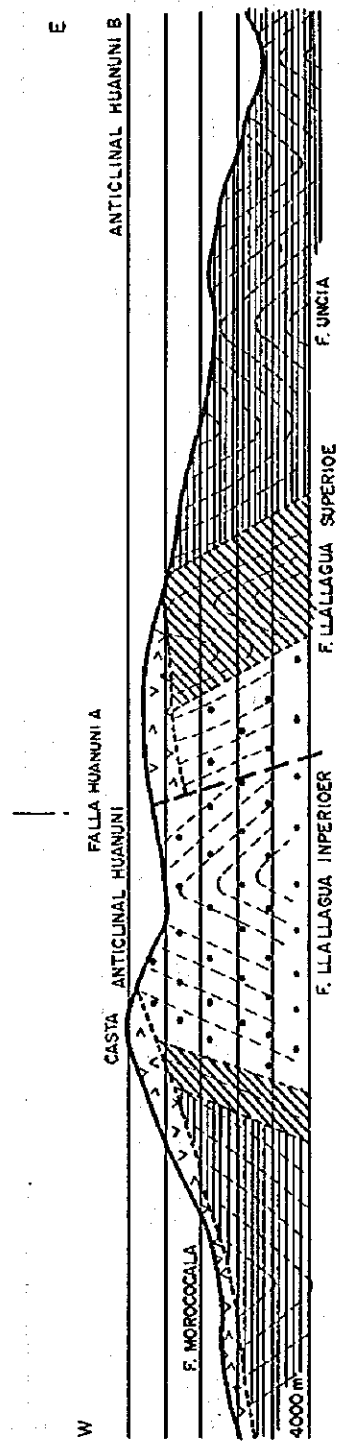


ESCALA
0 500m

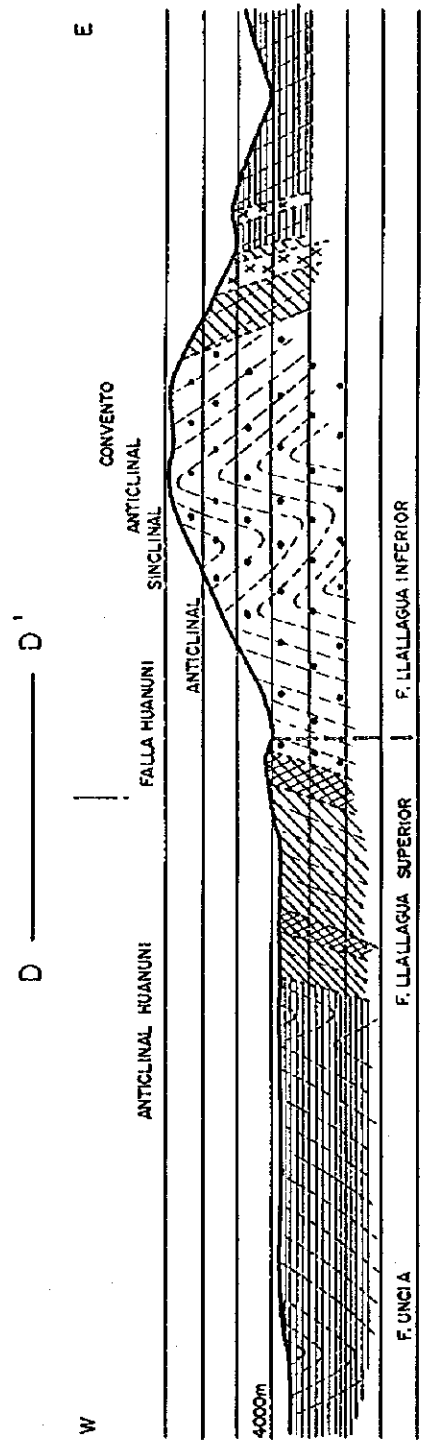
5000E

Fig. 2-1-1 (2) 地質平面及び断面図

C ————— C'

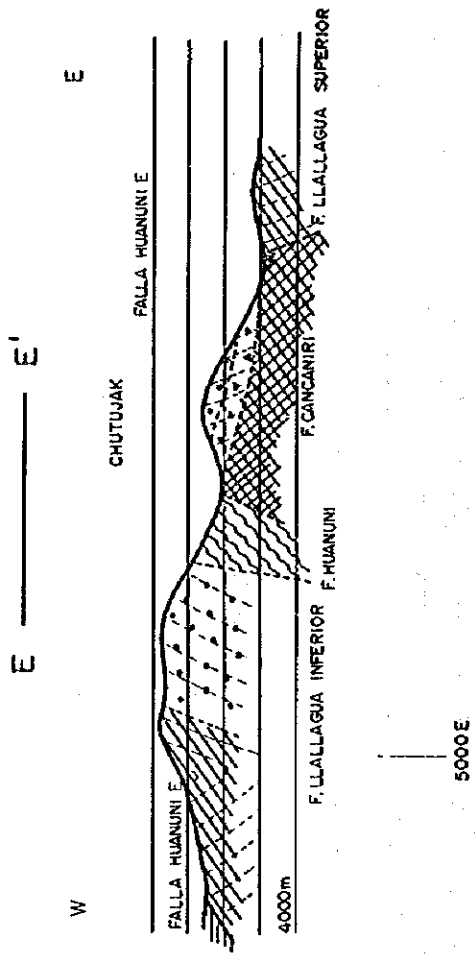


- Legenda
- F. MOROCOCCALA
 - F. CATAVI
 - F. UNCIA
 - F. LLALLAGUA SUPERIOR
 - F. LLALLAGUA INFERIOR
 - F. HUANUNI
 - F. CANCARIRI
 - Dique de porfido cuarcifero
 - Eje de anticlinal
 - Eje de sinclinal
 - Falla
 - Veta
 - Galeria



ESCALA
0 500

Fig. 2-1-1 (3) 地質平面及び断面図



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

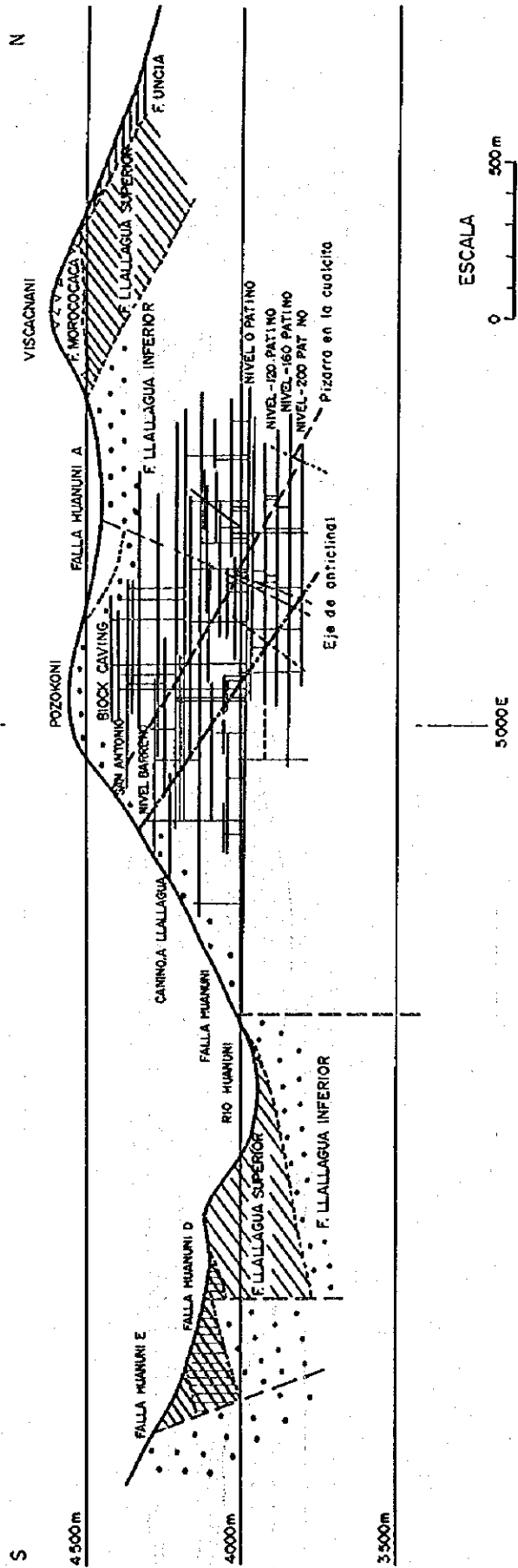


Fig. 2-1-1 (4) 地質平面及び断面図

(2) ワヌニ層

標式地は当地域である。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。

下位のカンカニイ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、当地域での両層の層厚は1,200mに達するものと推定される。

リャリャグア層下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。本部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(鉱山現場では珪岩と呼称され、鉱床の主要な母岩を成している) が主体を成し、この部分の層厚は最大約 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、多量の雲母の生成が認められる。砂岩は粒径 0.7mm以下の石英破片が卓越し、微量の黒雲母、電気石、ジルコン、燐灰石などを随伴する。基質部は主として絹雲母から構成される。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鉱、緑泥石から構成される。また、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である。しかし、本岩は坑内の鉱脈付近では多量の電気石を含み、二次鉱物としては緑泥石、絹雲母及び黄鉄鉱を普遍的に伴う。

リャリャグア層上部層は当地域東部及び西部に、リャリャグア層下部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。本層部は一部に動力変成作用及び珪化作用を被っている粘板岩で代表され、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。砂岩の構成鉱物は前記のリャリャグア層下部層と同質であり、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 5~20 cm の細粒~中粒砂岩の亜角礫が主体であるが、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は不整合関係で接するものと判断される。

(4) ウンシア層

標式地は当地域の南東東約 30km のウンシア鉱山付近である。層厚は 1,000m 前後と推定され、地域東部及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。本層は全体として粘板岩を主体とするが、上部では細粒~中粒砂岩の薄層と互層する成層構造を示し、全体的に暗緑色~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、これらにより地質時代の決定がなされている。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する。基質部は葉片状絹雲母及び緑泥石から構成される。砂岩の構成鉱物はリャリャグア層のそれとほぼ同質である。変成作用は微弱な千枚岩化作用である。

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

標式地は当地域南東東約 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する成層構造を示し、全体的に緑灰色を呈する。砂岩の構成鉱物は前記のウンシア層のそれとほぼ同質であるが、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のそれとほぼ同質である。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接する。

(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含む灰白～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疑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 個の岩脈として集中的に分布する。各岩脈の規模は南北方向に約 500m、平均幅は 100m 程度であり、灰色ないし淡灰色を呈する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、鉄鉱物などから構成される。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る場合もある。

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南北方向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力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構造に一致する。

当山系は石炭紀以降の各地質時代の造山運動を繰り返し被り形成された。当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 $N30^{\circ}$ ⅴ 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。

1-3-1 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 本の断層が存在する。このうち最大規模のワヌニ川に沿う東西方向のワヌニ断層は、鉱山付近で $N60^{\circ}$ 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 の破砕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。

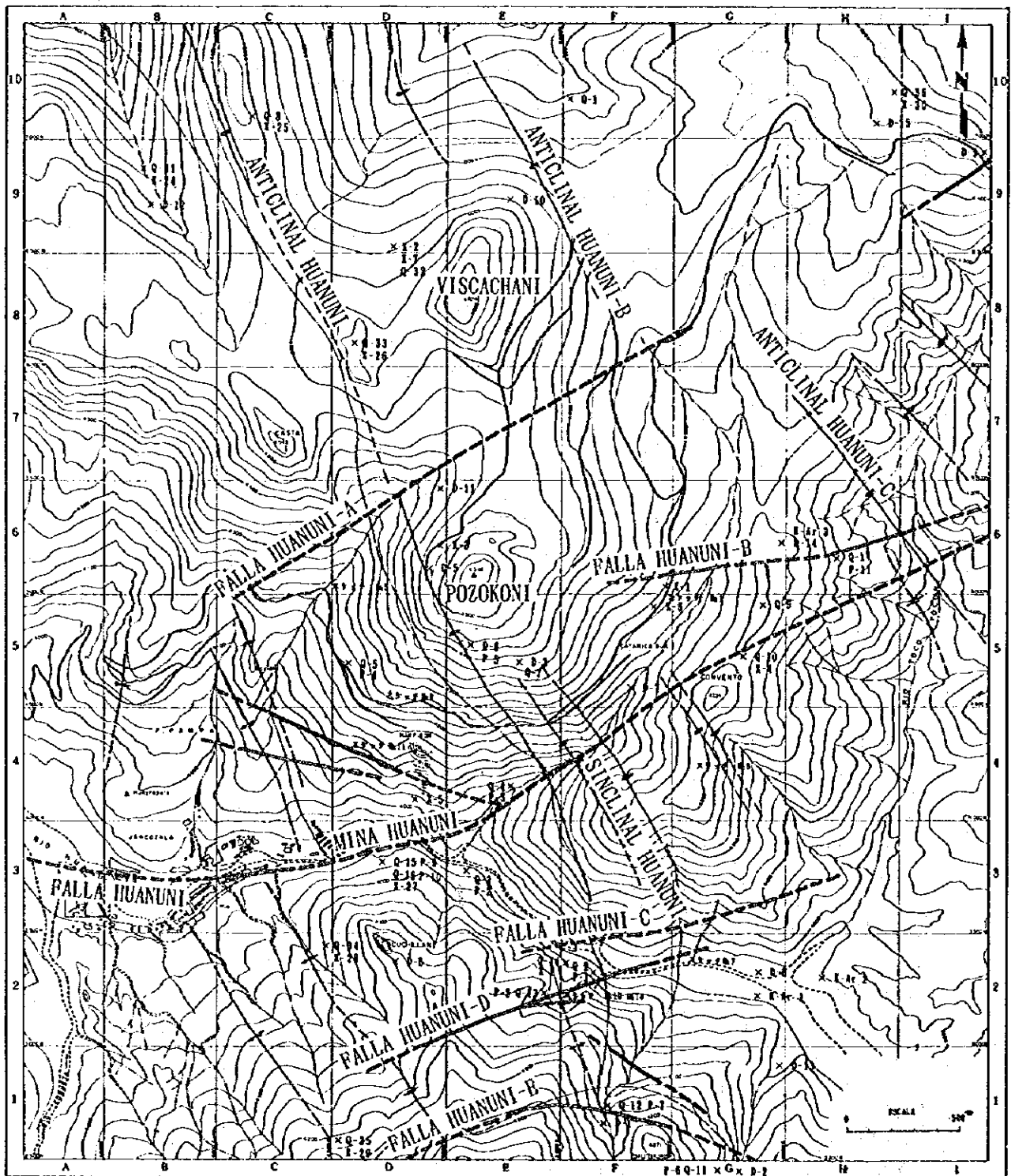
Falla Huanuni-A は約 70 度で南に傾斜する正断層であり、モロッコカラ層を切る現象が確認されており、その落差はほぼ 100m 程度と推定される。

Falla Huanuni-B は Anticlinal Huanuni-B の西翼で幅数 10cm の断層破砕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、破砕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、300m 程度の落差を伴う垂直断層であると推定される。これらのうち Falla Huanuni-E は北に傾斜する正断層であり、当地域南端に東西系に発達し、リャリャグア層、ワヌニ層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地質活動と判断される。また地表で確認されたこれらの断層には鉱化作用が伴っておらず、坑内ではこれらの一部が鉱脈を切っている。従って、これらの現象から一連の断層は鉱化作用後の活動であると推定される。

坑内調査では鉱脈は断層または開口裂力に胚胎しており、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鉱脈を胚胎する断層及び裂力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、これらの鉱脈を胚胎する裂力系の形成機構と鉱化作用時期の関係を解明することは、当地域及び周辺の同タイプの鉱床の探査に重要な指針を与え



- | | |
|---------|---|
| Leyenda | |
| X | Eje de anticlinal |
| X | Eje de sinclinal |
| --- | Falla |
| x0 | Ubicacion de muestras de seccion delgada |
| xp | Ubicacion de muestras de seccion de espulidas |
| x0 | Ubicacion de muestras de analisis quimico |
| xx | Ubicacion de muestras de rayos-X |

Fig. 2-1-2 地質構造概要図

るものと期待される。

以上の断層・裂力系の他に、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北方向の構造線の存在が予想される。

1-3-2 褶曲構造

当地域を含む広域的な褶曲構造は、ほぼ $N30^{\circ}$ 系の褶曲軸を有する比較的緩傾斜を示す等斜褶曲構造であり、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 60 度以上、東翼が 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。この 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解釈されている。しかし、今回の坑内・坑外地質調査では過褶曲構造に普遍的なほぼ垂直なスレート劈開及び Pressure shadow の発達認められず、さらに、過褶曲構造を決定する地層の逆転現象などの地質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正常な褶曲構造であることを支持している。以上の調査結果から、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 にわたり正常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 付近の地下深部に褶曲構造を乱す深成岩貫入岩体が存在する可能性を暗示しているものと推定される。

1-4 鉍床

1-4-1 鉍床概要

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鉍脈鉍床区に属し、付近には多数の鉍山、旧坑、鉍化変質帯などの鉍徴などが知られている（調査位置図参照）。

当地域の鉍床は主としてリャリャグア層下部層の砂岩中に賦存するが、微弱な鉍化作用はウンシア層中にも及ぶ。これらの鉍床は形態的には裂力帯中に胚胎される鉍脈型鉍床であり、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鉍床である。また、高温から低温生成の鉍物が共生する事実から、成因的にはゼノサーマル型鉍床といえる。また、後述のとおり脈石鉍物として電気石系鉍物、ウバイト、パージェライトなどのハロゲン鉍物を多量、かつ、普遍的に産する事実から、当鉍床は顕著な気成鉍化作用の特徴を有する。

ポソコニ坑内の L-200 から採取した典型的な 5 個の鉍石の顕微鏡観察では、主成分鉍石鉍物は黄鉄鉍、白鉄鉍、黄錫鉍が主体で、これに微量の閃亜鉛鉍、錫石及び黄銅鉍を伴う鉍石と結論し得る。ただし、これらの鉍石には後述のボーリング・コアとは異なり、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。

主な鉄化変質帯はボソコニ、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、パンテイパタ鉄化帯などであり、南北約 5km, 東西約 3 km の範囲内に分散する。Tabla 2-1-2 に示すように、主要鉄脈の走向は一般に N50° ~70° E 系, 50° ~80° で南に傾斜する。鉄脈の走向規模は一般に 100~300 m 程度ではあるが、このうち富鉄体の規模は走向及び傾斜方向とも 100~150m 程度である。これらの鉄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、当鉄床では脈幅が小規模でも、数 10% の錫品位を示す鉄脈も希ではなく、当鉄床に関しては単に鉄脈の規模のみではなく、富鉄部の特性を考慮した密度の高い探鉄を実施する必要がある。

Tabla 2-1-2 主要鉄脈一覧表

鉄脈名	延長	走向	傾斜	鉄脈名	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	Yencedora	210m	N70° E	85° S

鉄石鉄物は黄鉄鉱、閃亜鉛鉄、磁硫鉄を主体に錫石、黄錫鉄、硫砒鉄、方鉛鉄、毛鉄、黄銅鉄、四面銅鉄、輝安鉄、ブーランジェライト、エムプレクタイト、白鉄鉄、菱鉄鉄、鉄マンガン重石、銀鉄物などを随伴し、脈石鉄物は石英を主体に電気石系鉄物、ウバイト、バージェライト、藍鉄鉄、燐灰石、螢石、絹雲母、カオリン、その他の粘土鉄物から構成される。これらの多様な鉄石鉄物及び脈石鉄物は、後述する立体的な鉄物の累帯分布を示し、今後の有効な探鉄指針となり得るものと期待されている。

鉄石は母岩との境界面に平行な縞状構造を示す縞状鉄、特別な構造を示さない塊状鉄及び母岩中の鉄染状鉄、網状鉄に大別される。鉄脈の形態は安定した典型的な鉄脈を主体とするものの、一部には高品位な網状脈及び鉄染状鉄も認められる。また、これらの鉄化作用に伴う変質作用は、鉄脈に接してカオリン化作用が顕著であり、鉄化帯内では絹雲母が普遍的に認められる。さらに、電気石化作用が、より広範囲に普遍的に存在する。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、原岩の砂岩の構成鉄物であるものと判断される。従って、これらの産状は裂カ系の形成機構、構成鉄物の累帯分布、富鉄体の特性などと併せて、有効な探鉄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、ワヌニ断層以南の鈳化帯からは clinocllore の存在が普遍的に確認されている。

1-4-2 鈳化帯各論

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・チュコ及びフチユイ・ヨレトニなどの多数の鈳化帯が確認されている。但し、本項では従来ポソコニ、ポルベニール、パティニョなどの鈳化帯を一括してポソコニ鈳化帯として扱う。これらの鈳化帯の概要を Tabla 2-1-3 に、その分布を Fig. 2-1-3 に示す。

(1)ポソコニ鈳化帯：当鈳化帯は現在の稼行対象の中心を占めており、無数の鈳脈群の集合体であるが、開発の歴史も古く鈳化帯の詳細は不明である。セロ・ポソコニ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 程度であり、リャリャグア層下部層中に賦存する。当鈳化帯は地表下約 700m まで採掘の実績があり、その錫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)ビスカチャニ鈳化帯：当鈳化帯はポソコニ鈳化帯の北方約 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 程度であり、リャリャグア層下部層中に賦存する。付近に旧坑は存在するものの採掘の実績はない。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線回折による鈳物組合わせに関しては電気石系の鈳物を主体としており、ポソコニ鈳化帯との間には差異は認められない。当鈳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、当鈳化帯の地表下約 600m 下部ではボーリング MJBH-2 により優勢な鈳化変質帯が確認されている。

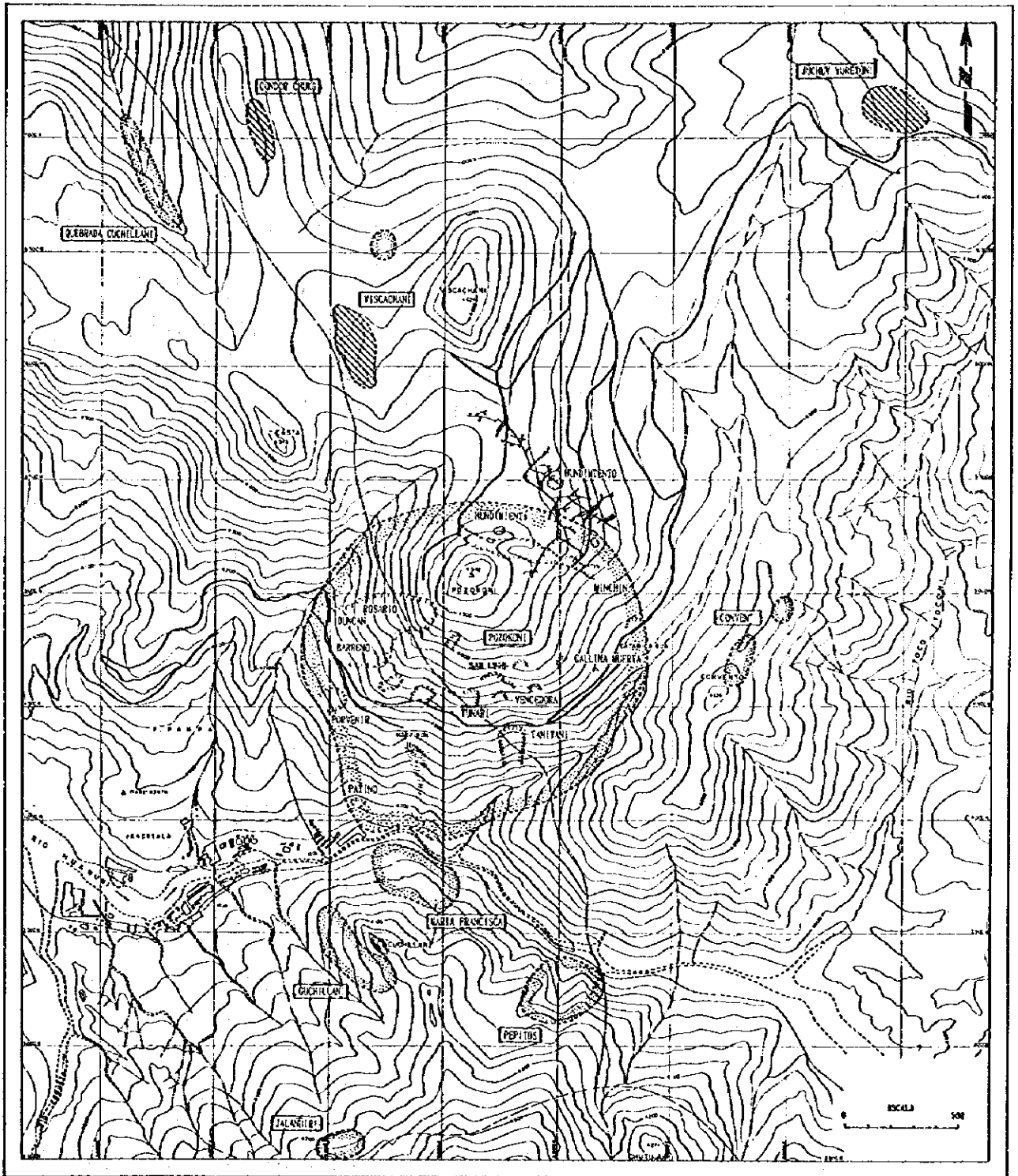
(3)ペピイトス鈳化帯：当鈳化帯はポソコニ鈳化帯の南方約 900m のワヌニ川の南岸に位置する。平面的分布規模は東西及び南北方向に 300×300m 程度であり、リャリャグア層下部層中に賦存する。現在は稼行されていないが、過去の採掘資料によると鈳脈は N50E, 70 S を示し、ほぼ 100m の走向規模を有する。鈳化作用は方鉛鈳、閃亜鉛鈳を主体とし、鈳量計算品位は Ag 300g/t, Pb 3.0%, Zn 4.0%, Sn 0.3% を示し、錫を主体とするポソコニ鈳化帯とはまったく異なった鈳石品位を示す。鏡下では閃亜鉛鈳、黄鉄鈳を主体に少量の黄銅鈳及び四面銅鈳が確認されている。しかし、X線回折による鈳物組合わせに関してはポソコニ鈳化帯との間には差異は認められない。

当鈳化帯は Ag, Pb 及び Zn の品位が高く、当鈳山の主要鈳化帯である Sn 品位の高いポソコニ鈳化帯とはかなり鈳石の質を異にするが、両者の相違は単にポソコニ鈳化帯を中心とした鈳化作用の水平的な累帯分布を反映した現象であるものと解釈される。

この鈳化作用の累帯分布の現象はボーリング・コア調査による連続的な観察により確認されている。

Tabla 2-1-3 鈦化・變質帶一覽表

Nombre	Escala	Mineralizacion y alteracion	notas
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
Jalanuiri	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 Chuchilloni	500 × 100m	argillizacion blanca albita, no tormalina	cateo
Condor 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 mineral lizada y alterada
-  Venilla de cuarzo
-  Socavo abandonada
-  Galeria de nivel.
-200m

Fig. 2-1-3 鉍微地位置図

(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 程度であり、リャリャグア層上部層中に賦存する。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, 80N、走向規模 150~300m、脈幅 20~100cm 程度である。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。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はほぼ同じであるが、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、ペピイトス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) クチリャニ鉱化帯：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 程度であり、リャリャグア層上部層中に賦存する。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であると判断される。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。平面的分布規模は東西方向に 200m、南北方向に 100m 程度の規模であり、リャリャグア層上部層中に賦存する。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% の分析値を示す。従って、これはペピイトス及びマリア・フランシスカと同質の鉱化作用に類似する。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、クチリャニ鉱化帯と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 程度であり、リャリャグア層上部層及びウンシア層中に賦存する。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% の分析値を示す。従って、これはペピイトス、マリア・フランシスカ鉱化帯などと同質の鉱化作用であろう。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間には差異が認められない。ポソコニ鉱化帯を中心とする当鉱化帯に向けての鉱化作用の水平的累帯分布は、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・コア調査によって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 程度であり、リャリャグア層上部層中に賦存する。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。

当鉍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線回折による鉍物組合せに関しては、電気石系の鉍物を全く含まず曹長石が確認されている。

(9) コンドリ・チュコ鉍化帯：当鉍化帯はポソコニ鉍化帯の北北西約 1,800m 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 程度であり、リャリャグア層下部層中に賦存する。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、clinochlore などか確認されている。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 程度であり、ウンシア層中に賦存する。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るのみである。X線回折による鉍物組合せに関しては電気石系鉍物及び緑泥石系の鉍物も全く確認されていない。従って、当鉍化作用はポソコニ鉍化帯とは異なりコンドル・チュコ鉍化帯と同質なものと判断される。

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. 2-1-6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 Keller 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、このうち錫品位に富む鉍脈 144資料を分割処理し、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 Keller 及び Sistema Bandy についても同様な処理した。これらの結果を Fig 2-1-5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。

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・傾斜の規則性は認められない。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と結論し得る。

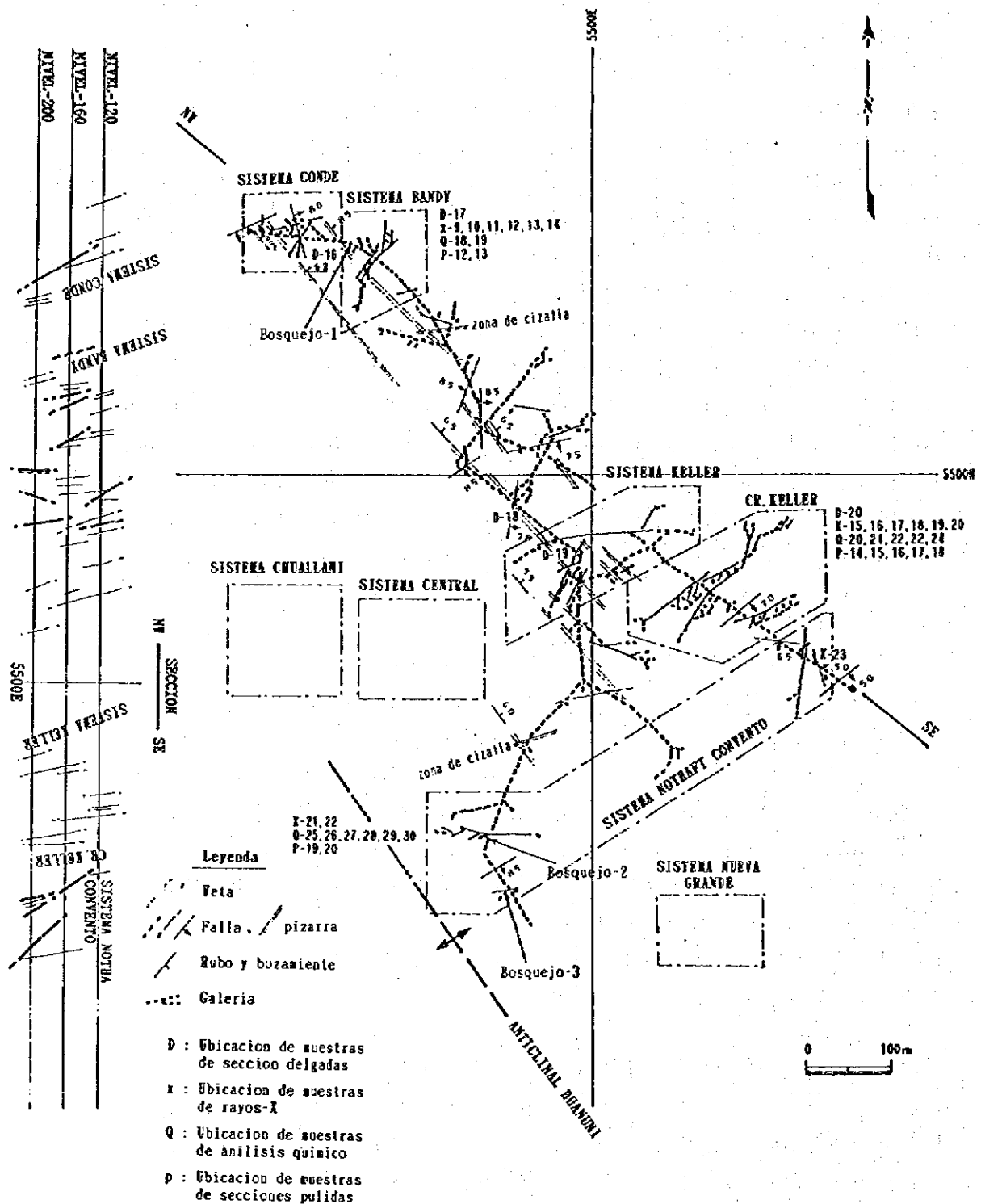


Fig. 2-1-4 坑内地質平面及び断面図

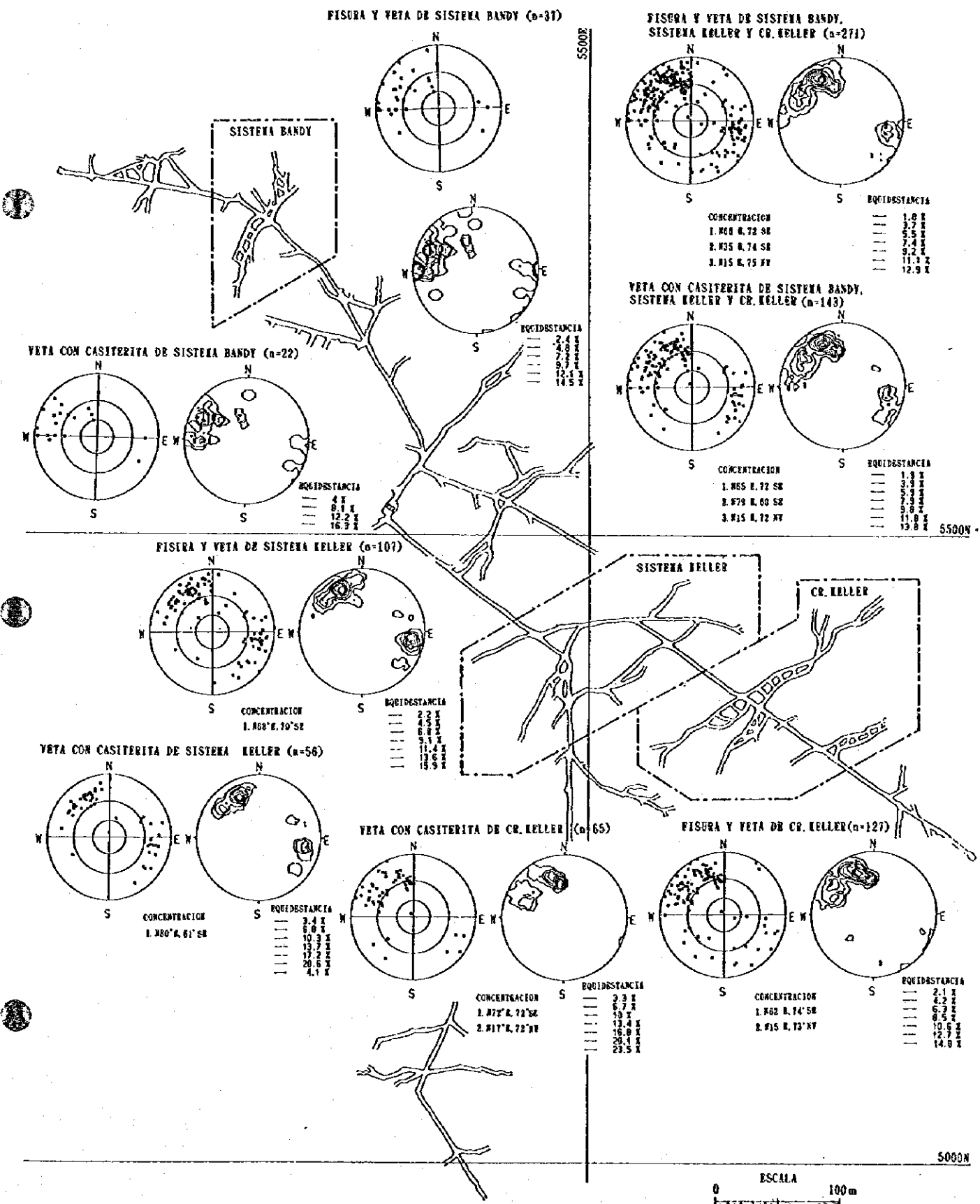
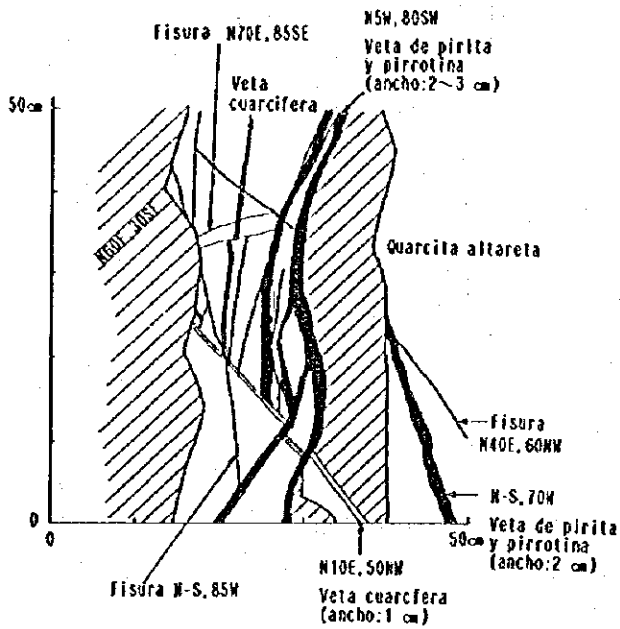


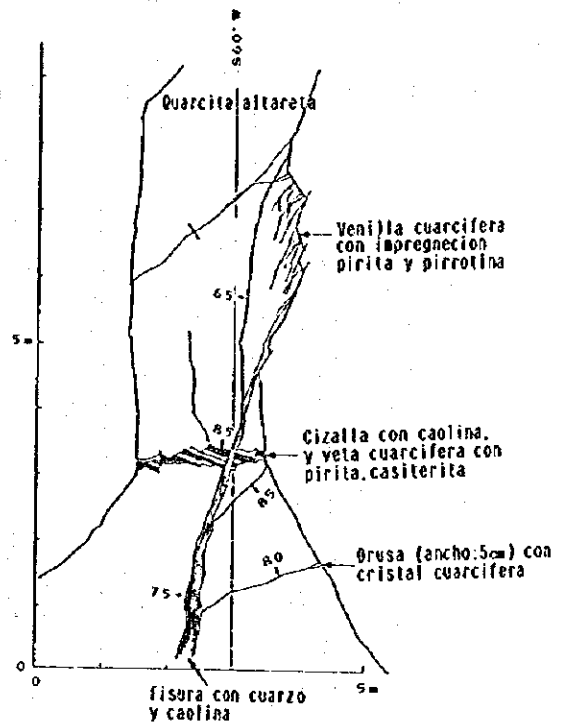
Fig. 2-1-5 坑内磁脉走向・傾斜解析図



Bosquejo 1



Bosquejo 2



Bosquejo 3

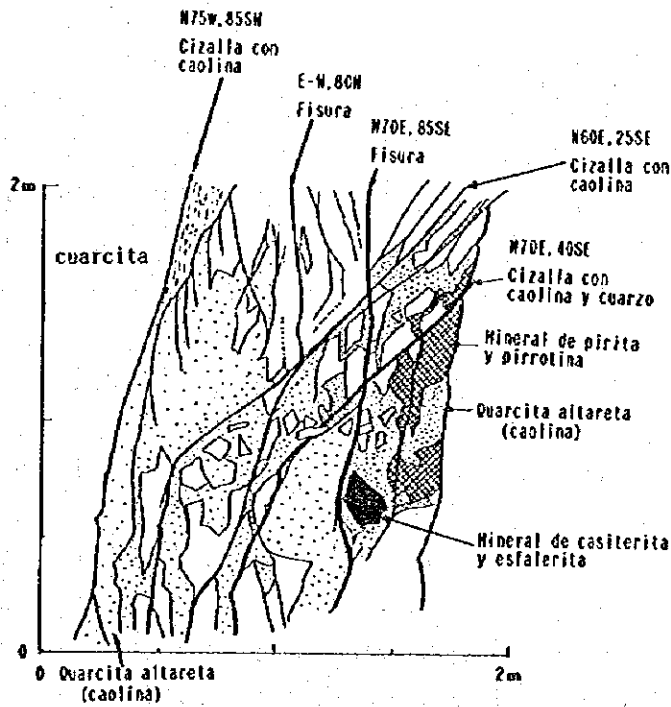


Fig. 2-1-6 坑内鉱脈スケッチ

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

錫鉍脈とこれを伴わない黄鉄鉍鉍脈との裂力系はほぼ一致するとはいえ Tabla 2-1-4に示すとおり、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力系の形成時期及び鉍化作用の性質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・コア調査によっても明らかにされている。

これらの鉍脈を胚胎する裂力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力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。この現象は裂力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力系は、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力系ではなく、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力系と解釈すべきであると判断する。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、多様な方向の裂力系を形成せしめ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性質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と判断される。

(2)鉍化作用の特性：鉍脈の主要鉍石鉍物は磁硫鉄鉍、黄鉄鉍、閃亜鉛鉍、錫石などであり、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、フランケライトなどが知られており、今回の調査では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、clinochlore、パ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、パ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、硫砒鉄鉍、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変化を示す離溶組織、黄鉄鉍及び磁硫鉄鉍からの白鉄鉍への転位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、当鉍床の鉍化作用は成因的にはゼノサーマル型鉍化作用と判断される。同時に、当鉍床には電気石系の鉍物及びウバイト、パーゼライトなどのハロゲン鉍物を多量、かつ、普遍的に産することから、典型的な気成鉍化作用の特徴を備えているものと判断される。

また、当鉍床はポソコニ鉍化帯を中心にして外側に向かって、前述の鉍物による鉍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鉍化帯を中心とする錫に富む鉍化作用が、その南部のペピイトス、マリア・フランシスカ鉍化帯などでは錫品位が低下する反面、銀、鉛、亜鉛品位が上昇し、脈石鉍物は電気石系鉍物が減少する反面、緑泥石が確認された。従って、鉍化作用はポソコニ鉍化帯を中心として外側に向かって、鉍石及び脈石鉍物とも高温生成から低温生成鉍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。この事実は後述の坑内及び坑外ボーリング・コア調査でも確認されている。

鉍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。鉍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、これ以外は塊状鉍である。この産状は一部に産する網状鉍にも共通しており、この現象は開口裂カを鉍液が充填した事を明瞭に示している。また、これらの他に鉍染状鉍もかなり普遍的に産し、鉍化溶液が開口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鉍床の鉍化作用は、ポソコニ鉍化帯を中心として高温生成と低温生成の鉍物が密接に共生しつつ、これらの鉍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鉍脈鉍床であり、中心部の鉍化作用は顕著な気成鉍化作用の特徴を備えていると結論し得る。

1-5-2 鉍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の結論から、以下の鉍床賦存のポテンシャルの高い地域を抽出し得る。

(1)ポソコニ北東部異常帯においてボーリングMJBH-1, MJBH-4, MJBH-5及びMJBH-7によって捕捉された錫品位の高い鉍脈の走向・傾斜延長部。

(2)ポソコニ北東部異常帯北東延長部：上述(1)のボーリングによって捕捉された鉍脈群の北東延長部深部にもIP異常が確認されている。また、これらの鉍脈群はポソコニ鉍化帯に比較して錫品位に乏しいものの、比較的亜鉛品位に富み、ポソコニ鉍化帯を中心とする

鉍化作用の累帯分布を反映している。従って、これらのボーリングによって捕捉された鉍脈群の北東走向延長部は銀-鉛-亜鉛に富む鉍脈に移行する可能性が高い。

(3) ポソコニ北部異常帯北東延長部：ボーリングWJBH-6によって捕捉された鉍脈群の北東延長深部にもIP異常が確認されている。また、これらの鉍脈群は前述(2)と同様な鉍化作用の特性を示している。従って、ボーリングWJBH-6によって捕捉された鉍脈群の北東走向延長部は、銀-鉛-亜鉛に富む鉍脈に移行する可能性が高い。

(4) コンベント鉍化帯：当鉍化帯内の地表には多数の旧坑が点在し、銀-鉛-亜鉛に富む鉍石が確認されている。さらに、物理探査測線 0 の南部にIP異常が確認されている。従って、当異常帯に銀-鉛-亜鉛に富む多金属鉍脈の賦存可能性が高い。

(5) マリア・フランシスカ及びペピイトス鉍化帯：これらの鉍化帯では銀-鉛-亜鉛に富む多金属鉍脈を小規模に採掘した実績はあるが、鉍脈の走向・傾斜方向に対する具体的な探査がなされていない。従って、これら鉍化帯の下部及び南西延長部に銀-鉛-亜鉛に富む多金属鉍脈の賦存可能性が高い。

(6) ビスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯(鉍化帯)：地質調査及び物理探査によって抽出されたビスカチャニ及びコンドル・チュコ異常帯(鉍化帯)の下部に鉍化作用の賦存可能性が高い。

第2章 物理探査

2-1 調査目的・内容及び使用主要機材

当地域における鈹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、当手法の鈹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・鈹石の室内物性試験であり、その内容及び使用機材を Tabla 1-1-1、Tabla 2-2-1 及び Tabla 2-2-2 に示す。また、測線位置は Fig. 2-2-4 の総合解析図に併記されている。

Tabla 2-2-1 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) ：時間領域(タイム・ドメン法)
電極配置：ダイポール・ダイポール配置
電極間隔：a = 100m
電極隔離係数：n = 1 ~ 5

Tabla 2-2-2 使用主要機材一覧表

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 μ v to 14v

2-2 測定方法

2-2-1 測線設定及び測量

測線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。測線は鈹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

1994年度に当地域で採取した 30 個の岩石、鈹石及び変質を被った岩石(以下単に変質岩)の比抵抗及び分極率を測定し、解析業務に供した。更に1995年度にボーリングコア 30 個の物性測定を実施し、異常帯の原因解明に供した。

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・ドメン法により 2方向から現地調査で使用した同一受信機で測定した。

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、電子伝導性を持つ物質に生ずる。硫化物鉱物はこの電子伝導性を有しており、IP法により伝導度を測定する。

*Natural effect or background: 通常の岩石は、通電の結果、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ずる。この分極現象は粘土鉱物の種類により値は異なるが、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、一対の電流電極 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、他の一対の電位電極 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(m-sec.) 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 に対応する。

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、変質岩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を巻末に示す。

Table 2-2-3 岩石・鉱石物性測定結果総括表

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
変質岩 (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, 変質岩 575.1, 粘板岩では359.8, 砂岩1,131.8, 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, 変質岩4.6, 粘板岩4.4, 砂岩3.55,

デイサイトは2.2mV/Vを示す。鉱石の物性値は硫化鉱物の含有量の程度によって変化し、比抵抗値は1.8～73.2Ω・m、分極率は25.1～131.6mV/Vを示す。変質岩の物性値は、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、比抵抗値がやや高い。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被った岩石では、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。

また、以上の結果とボーリング・コアの鉱化作用の程度を考慮して、異常帯の原因の解析の参考とした。

2-3-2 IP 解析結果

(1)見掛比抵抗及び分極率断面図

見掛比抵抗、分極率断面図及び比抵抗、分極率断面図をFig.2-2-4(1)～(8)に示す。

見掛比抵抗および分極率断面図についてその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、他の13測線では注目すべき異常が認められなかった。従って、これら8測線により抽出された5箇所の異常帯のうち代表的な4箇所の異常帯を反映するF, J, K, L, M, Y及びZ測線についてシュミレーションによる解析を実施した。この結果、見掛比抵抗及び分極率断面図とこれに基づくシュミレーション断面図の異常帯の形態、深度などの特性がほぼ整合的であるものと結論し得る。以下に、各測線の異常パターンの形態及びそれから予想される異常源の深度を推定する。

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

分極率は、最大25.2mV/Vを示す。測点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100m程度と推察される。

*J 測線：測線は、測点No.24以北ではウンシア層の粘板岩、測点No.16～24ではデイサイト、測点No.12～16ではリャリャグア層上部層の砂岩、測点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。

比抵抗は、測点No.13,14の表層部（深度約100m付近）に20Ω・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、測点No.11～14の深部（約200m以下）に50Ω・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。

*K 測線：測線は、測点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粘板岩の境界部に設定された。

比抵抗は、測点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。

*L 測線：測線は、測点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粘板岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、測点No. 2~6 の深部（約200 ~300m以深）に10 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が認められる。また、測点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、測点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。

*M 測線：測線は、測点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粘板岩が分布する地域に設定された。

比抵抗は、測点No. 2の地表付近から測点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、分極率を解析し得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、測点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、測点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粘板岩が分布する地域に設定された。

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

分極率は、測点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を解析し得る測定値は得られなかった。従って、坑内の稼働に伴う電気的影響を避けて休日に再測を実施したが、同様な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、少なくとも、深度200m以深に異常源の存在する可能性は期待し得る。

*Y 測線：測線は、測点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、測点No. 15 の深部（約300m以深）に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。

*Z 測線：測線は、測点No. 9以西ではデイサイトが、測点No. 9~19でリャリャグア層下部層の砂岩が、測点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、測点No. 8~No. 11 の深部（約250m）と、測点No. 12 ~No. 22 の地表付近から深部（約350m以深）にかけて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