


深明瞭なる世界の神と世界とに於ける宗教史

道徳と宗教の歴史及びその比較的研究

徳田龍溪

昭和十二年三月

JICA LIBRARY



J 1159211 (0)

東京神学大学図書
海峽南洋支那図書

01159211
01.03
010.001

ボリヴィア共和国オルコ・ウユニ地域

資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年次

平成 12 年 3 月

**国際協力事業団
金属鉱業事業団**



1159211 [0]

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、同国の首都ラ・パスの南西方に位置するオルロ・ウユニ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、既存データ解析、衛星画像解析、地質調査、地化学探査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は平成 11 年度を第 1 年次とする初年次にあたり、金属鉱業事業団は 6 名の調査団を編成して平成 12 年 2 月 1 日から平成 12 年 3 月 7 日まで現地に派遣した。現地調査は、ボリヴィア共和国政府関係機関、地質鉱山局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、第 1 年次の調査結果をまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたって御協力をいただいたボリヴィア共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在ボリヴィア共和国日本大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

平成 12 年 3 月

国際協力事業団

総 裁 藤 田 公 郎

金属鉱業事業団

理事長 田 代 直 弘

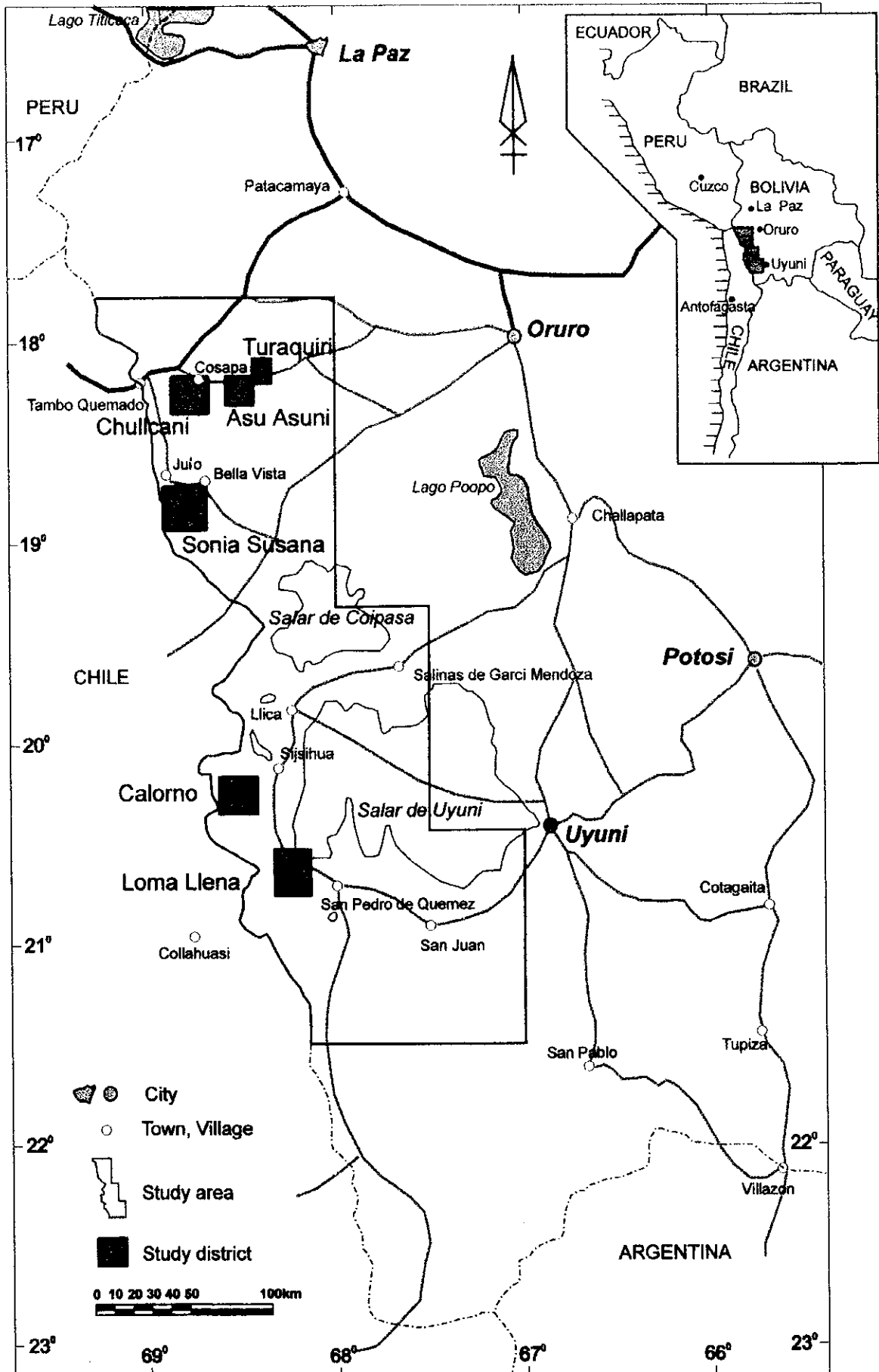


Fig. I-1 Location Map of the Survey Area

要 約

本報告書は、ボリヴィア共和国オルロ・ウユニ地域において実施した資源開発協力基礎調査の第1年次調査結果をとりまとめたものである。

調査結果、総合評価および次年度への探鉱指針をとりまとめると以下の通りである。

調査結果

①トラキリ〜アスアスニ〜チュルカニ地区

トラキリ地区：浅熱水性含鉛石英、重晶石脈が存在し、脈沿いに小規模に珪化・粘土化変質帯が分布する。母岩の年代測定結果は5.5Maで後期中新世末期を示す。

アスアスニ地区：珪化・粘土化変質帯が中規模に分布し、黄鉄鉱の鉱染を確認したが、顕著な地化学異常は認められない。

チュルカニ地区：珪化・粘土化変質帯が中規模に分布し、金の地化学異常が存在する。母岩の年代測定結果は6.1Maで後期中新世を示す。

②ソニア〜スサーナ地区

珪化・粘土化変質帯およびプロピライト化変質が広範囲に分布し、地化学異常が存在する。また、含金石英脈（金：3.0g/t、銀：24g/t）、含鉛・重晶石脈（鉛4.2%、亜鉛1.0%）および含亜鉛石英脈（亜鉛1.2%）の鉱化示徴を確認した。本地区の年代測定の結果、古い岩石は17.7Maで前期中新世を示し、北部と西部にはそれぞれ1.7Maと1.5Maの後期鮮新世〜更新世の新しい岩石が被覆している。

鉱山会社（COMINCO）が過去に試錐10本（2,000m）を実施している。

③カロールノ地区

珪化・粘土化変質帯が広範囲に分布し、その中に針鉄鉱帯が延長800mに亘って確認されている。顕著な地化学異常帯は存在しないが、小規模な異常部が中央部に点在している。母岩の年代測定結果は11.7Ma及び9.0Maで中期中新世〜後期中新世を示し、従来考えられていた第四紀火山岩より古いことが判明した。

④ロマ・ジェーナ地区

珪化・粘土化変質帯が広範囲に分布するが、北部で黄鉄鉱鉱染および黄鉄鉱細脈を確認しただけで顕著な地化学異常は認められない。本地区の年代測定結果は6.2Ma、4.1Ma、3.8Maで後期中新世〜前期鮮新世を示す。

総合評価

この結果、オルロ・ウユニ地域に広範囲に分布する熱水変質帯は、深部に浅熱水性鉱床を胚胎する期待が持たれることが判明した。

本年度の地質調査および地化学分析結果によって抽出された有望地区は、北からトラキリ地区、チュルカニ地区、カロールノ地区であり、ソニア〜スサーナ地区は既存の試錐データ結果によっては有望となる。

次年度への探鉱指針

第2年次は、第1年次に地質・地化学探査が実施された地区に対して、さらに詳細な情報を得るために地質準精査及び地化学探査を実施することが望ましい。

また、今年次に調査を実施できなかったが、変質帯の存在が推定される地区（ブランカ・ニエバス地区、セロ・ピカチョ地区、セロ・パニソ地区）やその他中〜小規模の変質帯が存在する地区に対して、地質・地化学探査（概査）を実施することが望ましい。

さらに、変質帯が小規模で画像解析では十分確認できていない有望地区については、川砂地化探を実施することによって抽出することが望ましい。

ボリヴィア共和国オルロ・ウユニ地域
資源開発協力基礎調査
(第1年次)

目 次

はしがき

調査地域位置図

要 約

第 I 部 総 論

第1章 序 論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第1年次調査の概要	1
1-2-1 調査地域	1
1-2-2 調査目的	1
1-2-3 調査方法	2
1-2-4 調査団の編成	3
1-2-5 調査期間	4
第2章 調査地域の地理	5
2-1 位置及び交通	5
2-2 地形及び水系	6
2-3 気候及び植生	6
第3章 調査地域の既存地質情報	8
3-1 既往調査概要	8
3-2 調査地域周辺の一般地質	8
3-3 調査地域における鉱化作用の特徴	15
3-4 調査地域の鉱業略史	19

第4章 調査結果の総合検討	21
4-1 地質及び地質構造と鉍化作用の関係	21
4-1-1 地質	21
4-1-2 地質構造	21
4-1-3 期待される鉍床タイプ	21
4-1-4 トラキリ〜アス・アスニ〜チュルカニ地区	22
4-1-5 ソニア〜スサーナ地区	29
4-1-6 カロールノ地区	29
4-1-7 ロマ・ジェーナ地区	39
4-2 鉍床賦存のポテンシャルについて	39
第5章 結論及び将来への提言	43
5-1 結論	43
5-2 第2年次調査への提言	45

第 II 部 各 論

第1章 既存資料の解析	47
1-1 調査地域の地質概要	47
1-1-1 堆積作用	48
1-1-2 火成活動	55
1-1-3 地質構造	57
1-2 調査地域の鉍化作用概要	59
1-3 地区別地質鉍床各論	65
1-3-1 トラキリ地区	65
1-3-2 アス・アスニ地区	66
1-3-3 チュルカニ地区	66

1-3-4	ソニア・スサーナ地区	66
1-3-5	カラングス地区	67
1-3-6	サリーナス・デ・ガルシー・メンドーサ地区	69
1-3-7	カロールノ地区	71
1-3-8	サン・クリストバル地区	71
1-3-9	エスカパ地区	73
1-3-10	チリ共和国の鉱床	73
1-4	まとめ及び考察	78
第2章	衛星画像解析	83
2-1	解析の目的	83
2-2	使用データ	83
2-3	画像処理	83
2-3-1	前作業	83
2-3-2	幾何補正	87
2-3-3	カラー合成画像作成	87
2-3-4	比演算画像作成	88
2-4	画像判読	89
2-5	画像解析結果	95
2-5-1	地質単元	95
2-5-2	地質構造	102
2-5-3	変質帯	103
2-6	まとめ及び考察	109
第3章	地質・地化学探査	115
3-1	調査方法	115
3-2	トラキリ地区	115
3-2-1	地質	115
3-2-2	変質作用	119
3-2-3	鉱化作用	119
3-2-4	地化学探査分析結果	123

3-3	アス・アスニ地区	127
3-3-1	地質	127
3-3-2	変質作用	133
3-3-3	鉱化作用	133
3-3-4	地化学探査分析結果	133
3-4	チュルカニ地区	137
3-4-1	地質	137
3-4-2	変質作用	137
3-4-3	鉱化作用	137
3-4-4	地化学探査分析結果	137
3-5	ソニア～スサーナ地区	145
3-5-1	地質	145
3-5-2	変質作用	149
3-5-3	鉱化作用	149
3-5-4	地化学探査分析結果	153
3-6	カロールノ地区	157
3-6-1	地質	157
3-6-2	変質作用	157
3-6-3	鉱化作用	161
3-6-4	地化学探査分析結果	161
3-7	ロマ・ジェーナ地区	167
3-7-1	地質	167
3-7-2	変質作用	167
3-7-3	鉱化作用	175
3-7-4	地化学探査分析結果	175

3-8 まとめ 181

3-9 考 察 184

第 III 部 結論及び将来への提言

第1章 結 論 187

第2章 第2年次への提言 189

文献・参考資料 191

Appendices A-1

LIST OF FIGURES

- Fig. I -1 Location Map of the Survey Area
- Fig. I -3-1 Geological Map of Bolivia
- Fig. I -3-2 Schematic Geologic Map of the Area
- Fig. I -3-3 Schematic Geologic Column of the Survey Area
- Fig. I -3-4 Ore Deposits and Showings in the Area
- Fig. I -4-1 (1) Integrated Interpretation Map of the Turaquiri District
- Fig. I -4-1 (2) Integrated Interpretation Map of the Asu Asuni District
- Fig. I -4-1 (3) Integrated Interpretation Map of the Chullcani District
- Fig. I -4-1 (4) Integrated Interpretation Map of the Sonia-Susana District
- Fig. I -4-1 (5) Integrated Interpretation Map of the Calorno District
- Fig. I -4-1 (6) Integrated Interpretation Map of the Loma Llana District (I)
- Fig. I -4-1 (7) Integrated Interpretation Map of the Loma Llana District (II)(III)
- Fig. I -4-2 Integrated Interpretation Map of the Area
-
- Fig. II -1-1 Structural Geology of the Central Andes
- Fig. II -1-2 Integrated Interpretation Map of Previous Information of the Area
- Fig. II -1-3 Schematic Tectonic Map of the Area
- Fig. II -1-4 Crustal Section of the Structure and Growth of the Central Andes
- Fig. II -1-5 Location Map of the Ore Deposits and Showings in the Adjacent Area
- Fig. II -1-6 Idealized Model of Bolivia Type Deposit
- Fig. II -1-7 Idealized Lithocap and Underlying Porphyry Cu/Au Deposit
- Fig. II -2-1 Area of Satellite Image
- Fig. II -2-2 LANDSAT TM Color Composite Image
- Fig. II -2-3 LANDSAT TM Ratio Anomaly Image
- Fig. II -2-4 Geologic Interpretation Map of LANDSAT TM Image
- Fig. II -2-5 Extracted Lineaments Map of LANDSAT TM Image
- Fig. II -2-6 Extracted Alteration Map of LANDSAT TM Image
- Fig. II -2-7 Integrated Map of Satellite Image Analysis
- Fig. II -3-1 (1) Geological Map of the Turaquiri District

- Fig. II -3-1 (2) Geological Map of the Asu Asuni District
- Fig. II -3-1 (3) Geological Map of the Chullcani District
- Fig. II -3-1 (4) Geological Map of the Sonia-Susana District
- Fig. II -3-1 (5) Geological Map of the Calorno District
- Fig. II -3-1 (6) Geological Map of the Loma Llana District
- Fig. II -3-2 (1) Alteration Map of the Turaquiri District
- Fig. II -3-2 (2) Alteration I Map of the Asu Asuni District
- Fig. II -3-2 (3) Alteration Map of the Chullcani District
- Fig. II -3-2 (4) Alteration Map of the Sonia-Susana District
- Fig. II -3-2 (5) Alteration Map of the Calorno District
- Fig. II -3-2 (6) Alteration Map of the Loma Llana District (I)
- Fig. II -3-2 (7) Alteration Map of the Loma Llana District(II)(III)
- Fig. II -3-3 (1) Geochemical Anomaly Map of the Turaquiri District
- Fig. II -3-3 (2) Geochemical Anomaly Map of the Asu Asuni District
- Fig. II -3-3 (3) Geochemical Anomaly Map of the Chullcani District
- Fig. II -3-3 (4) Geochemical Anomaly Map of the Sonia-Susana District
- Fig. II -3-3 (5) Geochemical Anomaly Map of the Calorno District
- Fig. II -3-3 (6) Geochemical Anomaly Map of the Loma Llana District (I)
- Fig. II -3-3 (7) Geochemical Anomaly Map of the Loma Llana District (II)(III)

LIST OF TABLES

Table I -1-1	List of Laboratory Test
Table I -1-2	Period of the Survey
Table I -2	Temperature & Humidity in Oruro City
Table II -2-1	List of LANDSAT TM Data
Table II -2-2	Threshold for Ratioing Analysis
Table II -2-3	Statistic Value for Ratioing Analysis
Table II -2-4	List of Geologic Units
Table II -2-5	Summary of Prospective District
Table II -3-1	Homogenization Temperature and Melting Temperature(Turaquiri District)
Table II -3-2	Homogenization Temperature and Melting Temperature(Sonia-Susana District)
Table II -3-3	Homogenization Temperature and Salinity of the Fluid Inclusions from Some Bolivian Ore Deposits

LIST OF APENDICES

Appendix 1	Sample List of Laboratory Works
Appendix 2	Microscopic Observations of Thin Sections
Appendix 3	Microscopic Observations of Polished Thin Sections
Appendix 4	X-ray Diffraction Analysis
Appendix 5	Fluid Inclusion Analysis
Appendix 6	Isotopic Dating
Appendix 7	Table of Ore Deposits and Ore Showings
Appendix 8	Location Map of Samples
Appendix 9	Assay Results of Rock Samples
Appendix 10	Assay Results of Ore Samples

LIST OF PLATE

- PL- 1 Geological Sketch and Sample Location Map (Turaquiri District)
- PL- 2 Geological Sketch and Sample Location Map (Calorno District)
- PL- 3 Geologic Interpretation Map of LANDSAT TM Image(1:250,000)
- PL- 4 Extracted Lineament Map of LANDSAT TM Image(1:250,000)
- PL- 5 Extracted Alteration Map of LANDSAT TM Image(1:250,000)

第I部 総論

第1章 序 論

1-1 調査の経緯及び目的

本調査は、ボリヴィア共和国政府の要請を受けて、1999年12月10日付で締結された Scope of Work に基づいて、日本国政府がボリヴィア共和国オルロ・ウユニ(Oruro-Uyuni)地域において、鉱物資源調査を実施するものである。

本調査の目的は、ボリヴィア共和国オルロ・ウユニ地域において地質状況及び鉱床賦存状況を解明することにより、新鉱床を発見することである。また、調査期間を通じて相手国機関に対し技術移転を図ることを目的としている。

1-2 第1年次調査の概要

1-2-1 調査地域

オルロ・ウユニ地域は、首都ラ・パス(La Paz)の南方約150kmから560km間に位置している(Fig. I-1)。本地区の西半分は海拔4,000~5,000mの山岳地帯、東半分は主として海拔4,000mまでの緩やかな高原及び塩湖からなる。

1-2-2 調査目的

第1年次調査は、調査対象地域43,000km²に対し衛星画像解析、既存の資源関連資料の収集・解析及び地域内に設定された地区2,000km²で地質調査、地化学探査を行った。

本調査の目的は、

- 1) 全調査地域について地質・鉱床に関する既存資料を収集、整理、解析することにより、調査地域内の鉱床と鉱徴地の概要及び鉱床の賦存状況を把握し、有望地区の抽出に資する。また、衛星画像解析、地質調査および地化学探査を総合的に解析するために必要な知見を得る。
- 2) 全調査地域について、衛星画像の写真地質学的判読作業を行い、調査地域の広域的な地質構造・岩相区分を把握すると共に、スペクトル解析画像から鉱化作用に伴う変質帯の判読を行い、有望地区の抽出に資する。
- 3) 地質・地化学探査(概査)を行い、本地区の地質及び地質構造と鉱化作用との関係を把握するとともに、変質帯の特性および地化学異常の分布状況を考慮し、有望地区の抽出を行う。

1-2-3 調査方法

1) 既存資料解析

地質・鉱床に関する既存資料は、ボリヴィア共和国地質鉱山局(Servicio Nacional de Geología y Minería : SERGEOMIN)で収集された。

2) 衛星画像解析

ランドサット TM データを用い、当該地域の地質判読に最適と判断されるバンド組み合わせを選定し、フォールスカラー画像(縮尺 25 万分の1)を作成した後に地質単元と地質構造を判読した。判読結果から、地質単元区分図及びリニアメント解析図(共に縮尺 25 万分の1)を作成した。さらに、比演算処理によるスペクトル解析を実施し、変質帯抽出に最適な画像(縮尺 25 万分の1)を作成した。このスペクトル解析画像から変質帯を抽出し、変質帯抽出結果図(縮尺 25 万分の1)を作成した。判読した結果は ARC-View 対応のデジタルデータに変換された。これらのデータ処理及び解析は、日本で実施された。

3) 地質・地化学探査

衛星画像解析と既存データ解析の結果抽出した有望地から選定された調査対象地区(トラキリ～アス・アスニ～チュルカニ地区、ソニア～スサーナ地区、カロールノ地区及びロマ・ジェーナ地区:対象面積 2,000km², 総ルート長 350km)の地質調査および地化学探査を行った。

移動キャンプは各地区の村落内に置いた。

地質・地化学探査の踏査は、縮尺 5 万分の1の地形図を拡大して使用してルートマップを作成した。位置の確認には GPS を活用し、特に重要な露頭については縮尺 100～200 分の1のスケッチ及びカラー写真撮影を行った。調査結果は、縮尺 10 万分の1の地質図にまとめた。

また地質調査と同時に、Table I-1-1 に示す数量の各種サンプリングを行い、室内試験を実施した。

Table I-1-1 List of Laboratory Test

調査内容	室内試験項目及び数量	
地質調査 地化学探査	①化学分析(岩石)	800 件
	②化学分析(鉱石)	30 件
	③岩石薄片作成	50 件
	④研磨片作成	30 件
	⑤粉末X線回折(不定方位)	50 件
	⑥流体包有物測定(均質化温度, 塩濃度)	10 件
	⑦年代測定(K-Ar)	10 件

化学成分は、11 成分 (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg, Mo, Ba, Sn)

1-2-4 調査団の編成

1) 調査計画及び折衝

日 本 側		ボリビア共和国	
氏 名	所 属	氏 名	所 属
辻本 崇史 (団長)	金属鉱業事業団	Rene Renjel Dominquez	金属鉱業次官
梅津 徭 (調査企画)	国際協力事業団	Marcelo Claude Zapata	地質鉱山局長
原田 武 (地質)	金属鉱業事業団	Carlos Riera Kilibarda	地質 鉱山局

2) 現地調査団

日 本 側		ボリビア共和国	
氏 名	所 属	氏 名	所 属
橋本 守男 (団 長) (地質・地化探) (既存資料解析)	三井金属 資源開発(株)	Fernando Murillo Salazar (調 整) (地質・地化探)	地質鉱山局
中村 廉 (地質・地化探) (既存資料解析)	〃	Ivar Alcocer Rodrigez (地質・地化探)	〃
木多 ベリー (地質・地化探) (既存資料解析)	〃	Oscar Almendras Alarcon (地質・地化探)	〃
勝野 豊 (地質・地化探) (既存資料解析)	〃	Manuel Menacho Leon (地質・地化探)	〃
井上 敏夫 (地質・地化探) (既存資料解析)	〃	Guido Quezada Cortez (地質・地化探)	〃
磯貝 浩一 (地質・地化探) (既存資料解析) (衛星画像解析)	〃	Yerco Santa Cruz Salvatierra (地質・地化探)	〃
阿達 一宏 (衛星画像解析)	〃		

3) 現地作業監理

香川 浩昭 金属鉱業事業団

1-2-5 調査期間

調査期間は、下記の通りである。

Table I-1-2 Period of the Survey

期 間 項 目	2000年			
	1月	2月	3月	4月
計画・準備	17 _____	31		
衛星画像解析	17 _____	31		
現地調査		1 _____	7	
試験・分析		15 _____	15	
報告書作成			8 _____ 24	

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査地域は、ボリヴィア共和国の南西部、ポーポ (Poo Pó) 湖の西方からウユニ (Uyuni) 塩湖の南方に位置し、チリ共和国との国境付近のラ・パス県最南端部 (2%)、オルロ (Oruro) 県西部 (34%) およびポトシ (Potosí) 県北西部 (64%) の3県にまたがっている (括弧内の数字は各県が占める調査地域の面積割合を示す) (Fig. I-1)。

調査地域はボリヴィアアンデスに属し、西アンデスとアルチプレーノの一部を包含している。

ラ・パス市から調査地へのアクセスは、車又は列車、場所によっては両者の組み合わせで2日を要するが、車が最も便利である。

現地に至るには以下の経路がある。

北部地区 (1日/片道)

(101km)

(205km)

(90km)

ラ・パス→パタカマヤ (Patacamaya)→コサパ (Cosapa)→ベジャ・ビスタ (Bella Vista)

中部～南部地区 (2日/片道)

(228km)

(319km)

(120km)

ラ・パス→オルロ→ウユニ→サン・ファン (San Juan)

(50km)

→サン・ペドロ・デ・ケメス (San Pedro de Quemez)

列車は現在オルロ市からウユニまでしか運行されておらず、ウユニから分岐してアルゼンティンのヴィジャソン (Villazón) とチリのオジャグエ (Ollague) に向かう。便数は少ない。

ラ・パス～オルロ道路はチャジャパタ (Challapata) に至るまでが舗装されているが、それ以降はすべて未舗装で雨期には通行が困難となる。

乾期の間はウユニ塩湖が通行可能で、平坦であるので容易に四方へ横断できる。

2-2 地形及び水系

調査地域はボリヴィア最西端の2つの地形学的地域に属している。

一つはアルチプレーノ（海拔約3,700mの平坦な高原）で広さは10万km²に及ぶ。世界で一番高く大きいチベット高原に次ぐ大きさである。

もう一つは火山山脈でペルーとチリの自然の国境をなしており、海拔6,000m以上の高度を有している（サハマ(Sajama)山6,542m, パリナコタ(Parinacota)山6,132m)。北はペルーから南はアルゼンチンまでの620kmに亘って北西—南東方向に走っている。

調査地の水系は中央盆地または湖沼に属し、アルチプレーノのほとんど全域をカバーしている。それらはチチカカ(Titicaca)湖、ポーボ湖、コイパサ(Coipasa)塩湖、ウユニ塩湖およびデサグアデロ(Desaguadero)川から形成されている。

ポーボ湖はオルロ県にあって、海拔は3,868mである。流入する主要な川は、パスニヤ(Pazña), チャジャパタ, コンデ(Conde), セバルーヨ(Sevaruyo), およびキンパラ(Kimpara)の各河川である。

ラカハウイラ(Lakajahuira)川はポーボ湖とコイパサ塩湖を結ぶ唯一の水系である。

ラウカ(Lauca)川とサバヤ(Sabaya)川はコイパサ塩湖へ流入する。

ウユニ塩湖に流入する主要河川は、南部のグランデ(Grande)川, ケテーナ(Quetena)川および東部のチカ・チカ(Chica Chica)川である。それらの殆ど全ての川が非常に小さく、雨期(12月～3月)にのみ水が存在し、橋がないために通行が困難となっている。

2-3 気候及び植生

ボリヴィア南部(南緯10°～23°)は、緯度からみれば熱帯～亜熱帯気候であるが、高度のために3,600m以上は乾燥、寒冷気候である。夜間は年間を通じて気温は零下を示す。

雨期は12月から3月の夏で、年間降雨量はおよそ400mmである。

地域の一部では寒さのために雨が雪や氷に変わる。この季節の最高気温は22°Cで、最低気温はおよそ-5°Cである。

乾期は冬に相当し、最高気温は18°Cに達し最低気温は-22°Cを示すが、野外調査にはベストの

シーズンである。冬季には西からの風が非常に強く、日較差は 30°Cとなり夜間は非常に寒く、湿度は0%から22%を示す。

参考のため調査地域近くのオルロ市の平均気象データを Table I-2 に示す

Table I-2 Temperature and Humidity in Oruro City

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
平均気温 °C	11.5	11.0	10.5	9.2	5.8	3.4	2.7	4.9	7.2	9.4	10.9	11.7	8.2
最高気温(平均)	18.3	18.5	17.8	17.9	16.3	14.3	14.1	16.5	17.6	18.7	19.6	19.5	17.40
最低気温(平均)	4.7	3.5	3.2	0.5	-4.7	-7.4	-8.7	-6.6	-3.2	0.2	2.3	3.9	-1.0
降雨量 mm.	87.1	48.8	64.3	25.4	8.2	3.7	5.8	5.6	22.7	26.5	27	39.5	364.6
相対湿度 %	61	53	59	54	52	44	43	41	42	41	43	45	48
風向,風力(ノット)	E-7	E-6	E-6	S-5	S-3	S-2	NW-4	S-4	S-5	S-6	S-7	E-5	S-5

Station : Oruro, Province : Llocodo, Departament : Oruro

Period : 1995 - 1999 Latitud Sur : 17°58' , Longitud Oeste : 67°04' , Altitud : 3,702 m

植生は中央アルチプレーノと南アルチプレーノで異なる。

中央アルチプレーノ (南緯 18°~20°30') :

寒冷, 乾燥気候で特徴づけられ, そのために広く砂漠が覆う。そこでは局部的に thola, yareta, イチュー (paja brava) が育つ。

場所によってはキヌア, ジャガイモ, 大麦, その他典型的な塊茎類が栽培されている。

火山火口丘斜面には小木や灌木 (keñua, kiswara, thola) が認められる。

南アルチプレーノ (南緯 20°30' ~22°51') :

砂漠的, 砂質ゾーンでフラミンゴが棲息している。

ウユニ塩湖の西部~北部 (ジーカ (Llica) - サリーナス・デ・ガルシー・メントーサ (Salinas de Garci Mendoza)) ではキヌアが広く栽培されている。

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査概要

現在までの西アンデスの広域地質データは多くない。それは、ボリヴィアが鉱山国にも拘わらず、錫含有量が高いことや、他の多金属鉱床が存在するために東アンデスが重視されたからである。

唯一最も詳細な調査は1990-1992年にアメリカ地質調査所(USGS)とボリヴィア政府によって実施された(U. S. Geological Survey Bulletin, No. 1975)。

ペルーとチリの国境にあたるボリヴィア最西端部の地形的2地区(アルチプレーノと西アンデス)に調査の焦点をあて、アメリカ地質調査所(USGS)、アメリカ鉱山公社(USBM)、ボリヴィア地質調査所(GEOBOL)が共同で、既刊および未刊の文献予備調査から開始し、その後選定された場所で地質調査が行われた。

上記調査の最終報告はbulletin No. 1975「Geology and Mineral Resources of Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia」に要約され公刊されている。

これによると、衛星画像解析による変質帯の抽出、地質調査が行われ、過去に石油探査を目的として実施された重力調査、空中磁気調査の結果などが報告書としてまとめられている。

重力調査と空中磁気調査は、石油資源部門(YFPB Yacimientos Petroliferos Fiscales Boliviano)が実施したもので、密度や磁力の違いによる岩相境界の推定や、主にアルチプレーノの厚い堆積岩で覆われた基盤岩類の深度予測を目的として行われたものである。

1997年にはアルゼンチン、ボリヴィア、チリ、ペルーの国境地域で地質プロジェクトが開始された。いわゆる多国間アンデス計画(Multinational Andean Program)と呼ばれ、5年間に国境地域の地質調査と地化学データの解析を行うことを主目的としている。

3-2 調査地域周辺の一般地質

ボリヴィア共和国の地質は大きく5つの地質構造区に分かれ、西から東へ、西アンデス(Cordillera Occidental)、アルチプレーノ(Altiplano)、東アンデス(Cordillera Oriental)、サブアンデス～ベニ・チャコ平原(Subandean y Beni Chaco Plano)、アマゾン楕状地(Escudo Brasileiro)と呼ばれる。

調査対象地域は西アンデスとアルチプレーノに属する (Fig. I-3-1, Fig. I-3-2)。

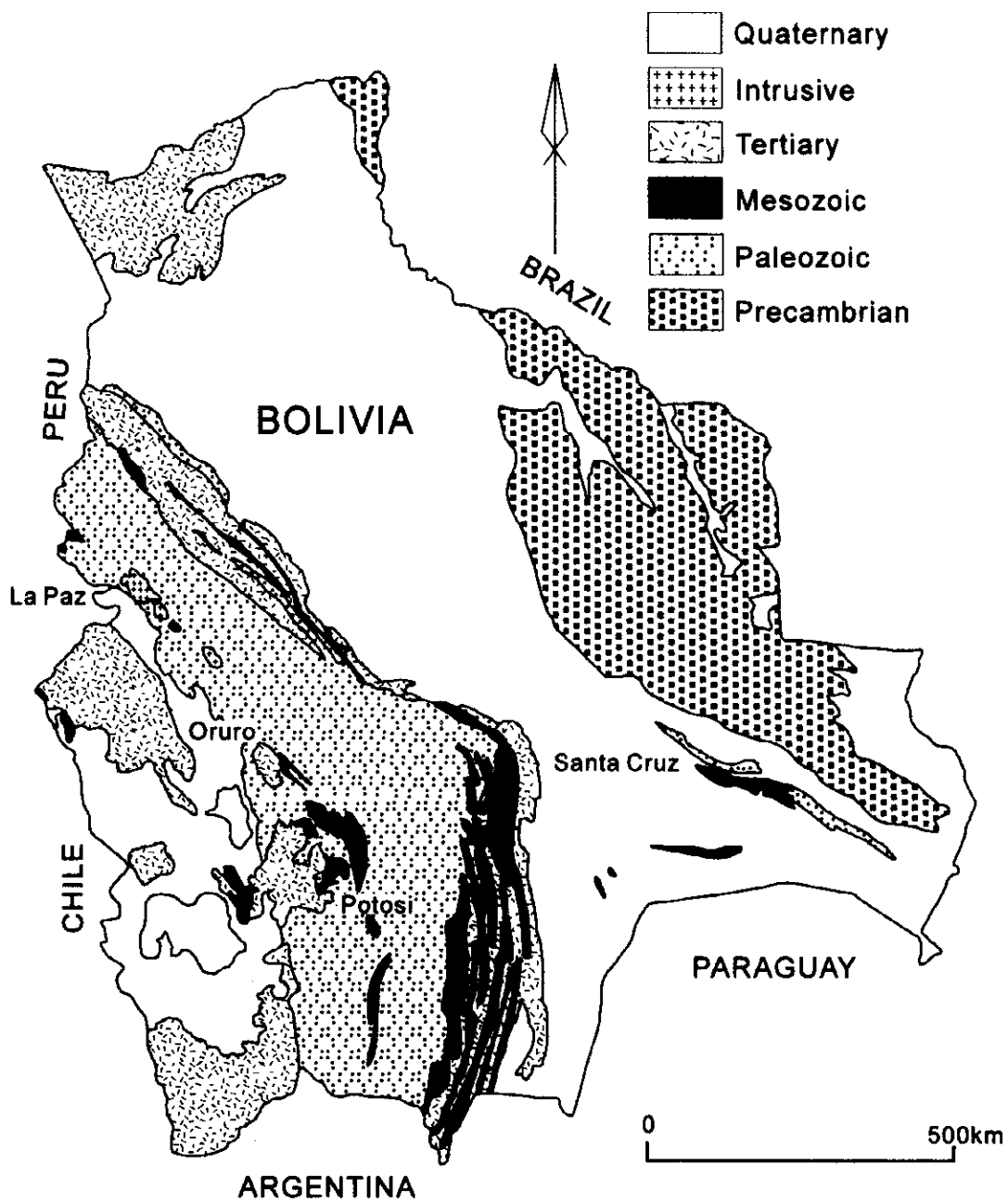


Fig. 1 -3-1 Geological Map of Bolivia

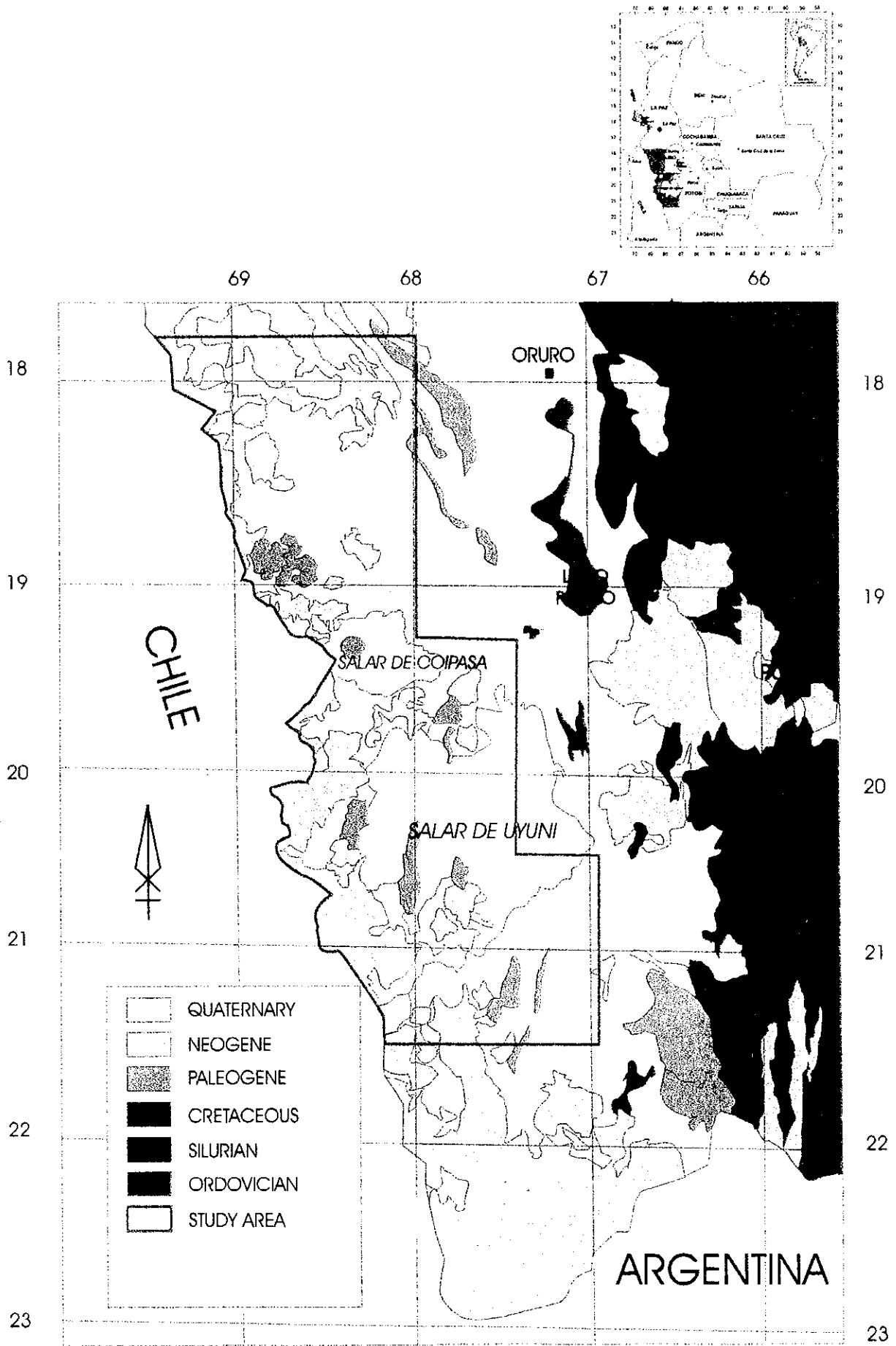
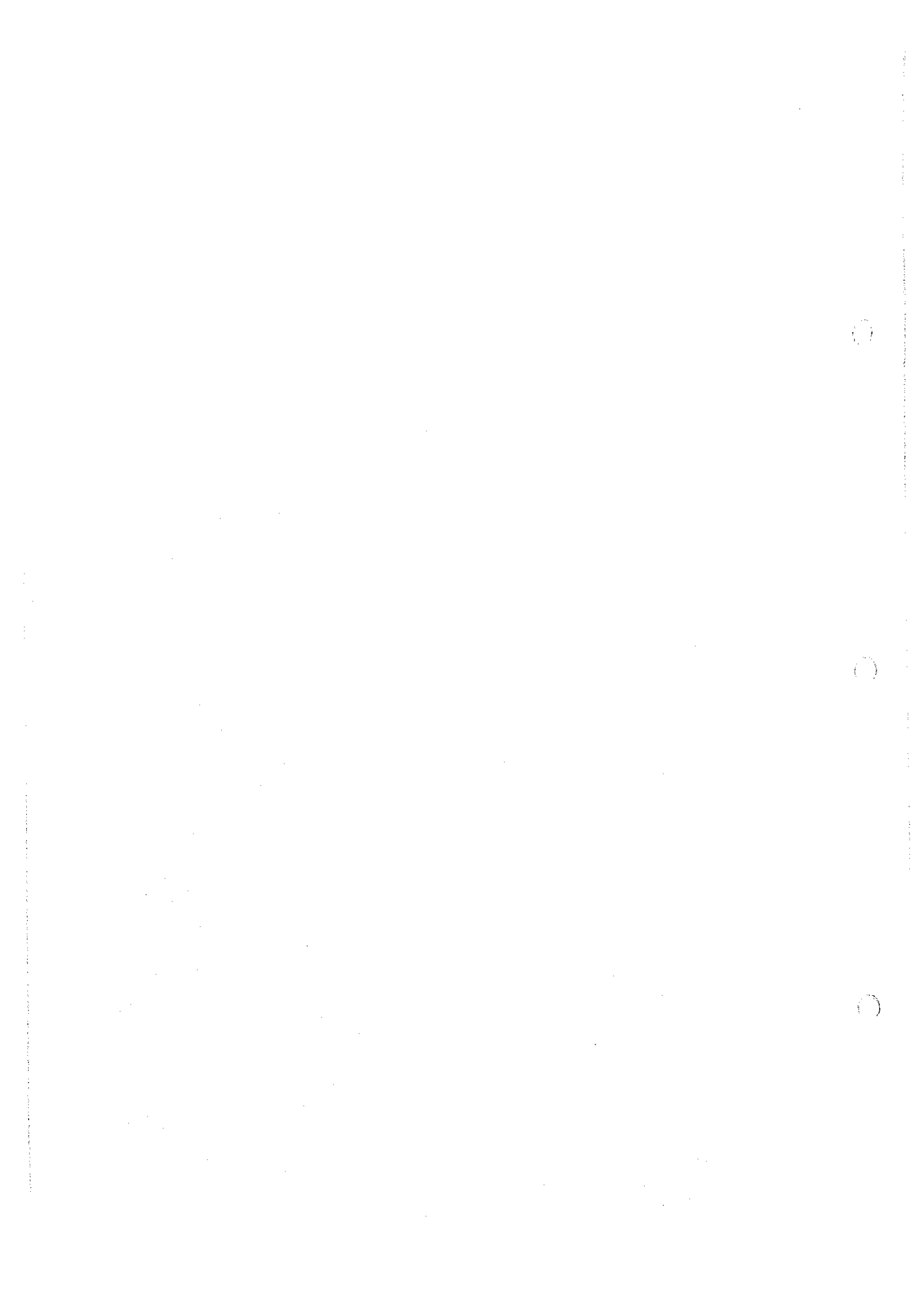


Fig. I -3-2

Schematic Geologic Map of the Area

66



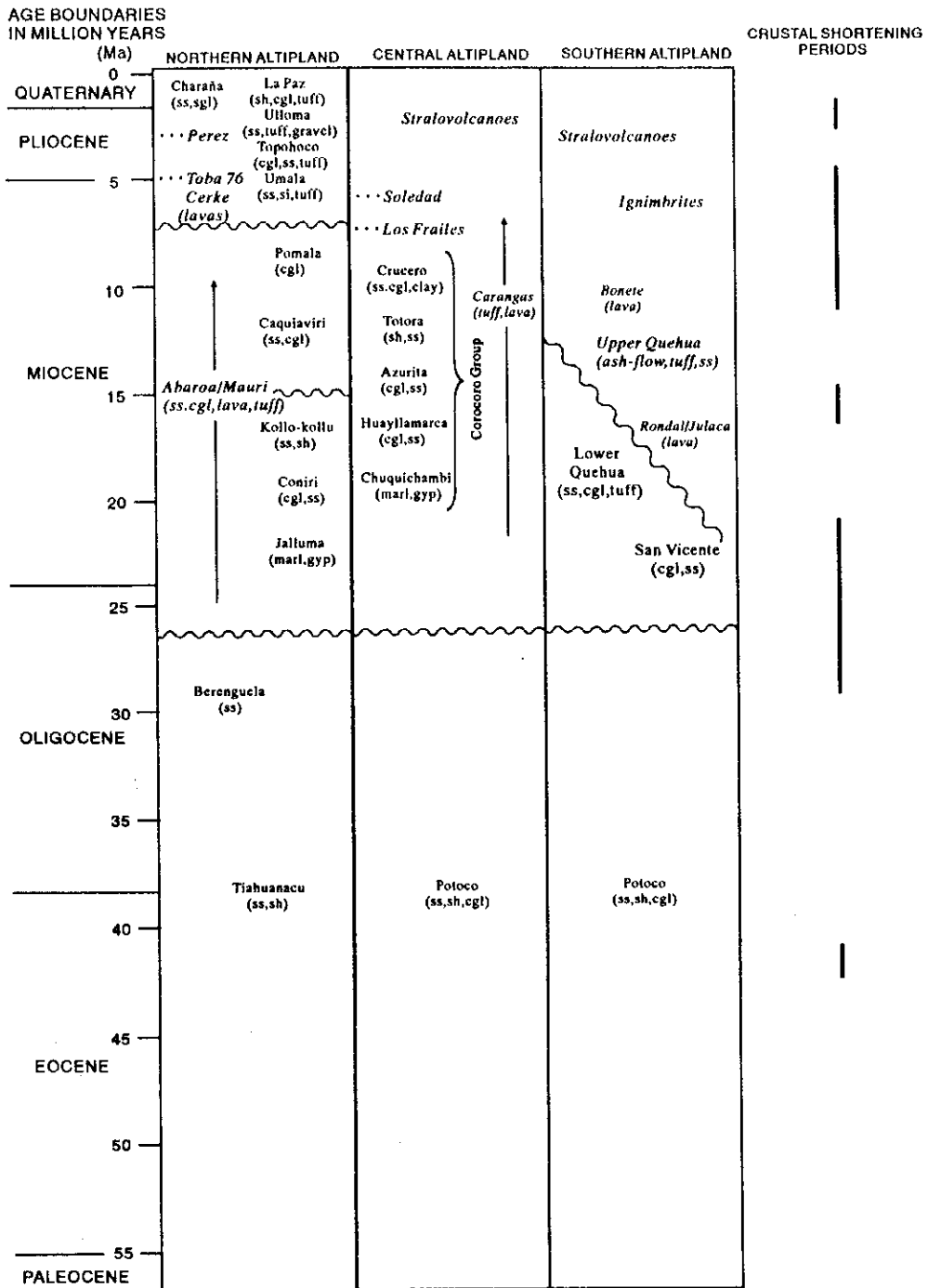


Fig I-3-3 Schematic Geologic Column of the Survey Area

西アンデス

西アンデスには、中～古生界基盤岩類の南北性隆起軸に沿って噴出した第三紀～現世の火山岩類が広範に分布し、火山体の間には陸成～浅海成の堆積物が存在している。

山稜を形成する火山岩類は中新世後期～鮮新世の安山岩、流紋岩溶岩を主とし、山頂付近には第四紀のデイサイト類も存在している。

西アンデスを特徴づける、これらの大規模・広範囲な火山活動は、漸新世後期に始まったナスカプレートの南米プレートへの沈み込みによって生じたものである。

この火山活動に伴って多数の成層火山が形成されている。

アルチプラーノ

アルチプラーノには、原生界ないし古生界を基盤とし、白亜紀～第四紀の膨大な火山噴出物と陸成堆積物の累層が広範囲に存在している。

陸成堆積物は、白亜紀後期の陸成モラッセ堆積物（赤色層）と始新世～漸新世の前地盆地堆積物（砂岩、砂岩・泥岩互層）で構成されている。

火成活動は中新世～鮮新世に生じ、南部では中新世に安山岩質の噴出活動が、北部では中新世～鮮新世に流紋岩質火砕岩類の噴出活動が継続し、膨大な量の陸成火山噴出物が堆積している。

調査地域の概略地質柱状図を Fig. 1-3-3 に示す。

東アンデス

東アンデスには、古生界の深海成～陸源堆積物と中生界の海成～陸棚炭酸塩岩が分布している。

これらは、先カンブリア紀を基盤として堆積した古生代～中生代の厚い堆積岩類（劣地向斜堆積物）で構成され、カレドニア期（オルドビス紀）、ヘルシニア期（デボン紀～三疊紀）、アンデス期（白亜紀～新生代）の造山運動により、南北系の軸をもつ衝上断層や複雑な褶曲構造が形成されている。

本地域は、ヘルシニア造山運動の終焉（二疊紀～三疊紀）とともに張力変動の場（環境）となり、過アルカリ質火山活動と花崗岩質深成岩の進入が生じている。

その後、プレートの沈み込みが始まり、ジュラ紀から新生代にかけて続くカルクアルカリ質火山活動が引き起こされた。

アンデス造山期（第三紀）に東アンデスは東西の圧縮変動により隆起し褶曲帯や衝上断層帯が形成され、西側では安山岩質火山活動とそれに引き続く半深成岩の貫入やアルプチラーノ側への押し被せなどが生じている。

サブアンデス～ベニチャコ平原

本地域は、東アンデスの東側に隣接する褶曲山脈と、その東側の広大な平原地帯（ベニチャコ平原）からなる。

褶曲山脈は古生界と新第三系で構成され、東側の平原地帯ではこれらの累層が第四紀の湖成堆積物や崖錐堆積物に広く覆われている。

ブラジル楯状地

ブラジル楯状地の延長部がボリビアの東側に延びて、面積 22,000 km² を占める熱帯雨林地帯を形成している。

本地域は原生代から白亜紀の岩石で構成されるが、大部分は片麻岩、黒雲母片岩、石英片岩からなる原生代の変成岩類である。

これらの変成岩類は第三紀以降のラテライト化作用を受け、第四紀の沖積層によって覆われている。

3-3 調査地域における鉱化作用の特徴

西アンデス、アルチプレーノ、東アンデスを含む地域は金属鉱床が集中する地帯であり、そこにはアルカリ玄武岩に伴う銅鉱化作用や古第三紀の赤色砂岩層に伴う堆積性銅鉱化作用、ボリビア型と称され錫・銀を主体とする多金属鉱化作用及び金・銀を主体とする浅熱水鉱化作用が知られている。

西アンデスには、中新世のデイサイト質火山岩中に胚胎する小規模な浅熱水性金・銀鉱脈が知られており、これらの一部は、銅、鉛、亜鉛、ビスマスなどの硫化鉱物を伴っている。

この地域はまた、デイサイト質火山中に広範囲にわたって粘土化を主とする熱水変質帯が存在している。変質帯の一部には、珪化変質や黄鉄鉱鉱染が認められており、これらの熱水変質帯の下部には、ポーフィリー型金・銅鉱床の存在も期待されている。

東アンデスからアルチプレーノにかけてボリヴィア型多金属鉱脈鉱床が認められ、アルチプレーノ中央部の北から南にかけてはアルカリ玄武岩や赤色砂岩に伴われる銅鉱床が存在する。

アルチプレーノのボリヴィア型多金属鉱脈鉱床は上部第三系～第四系に覆われて解明されてい

ない部分もあるが、相対的に錫、タングステンが少なく銅に富む銅・鉛・亜鉛鉱脈鉱床が多い。

ボリヴィア型多金属鉱脈鉱床には様々なタイプが知られているが、銀と錫に富む鉱床タイプと銀、金および銅に富む鉱床タイプの2つに大別される。

銀と錫に富む鉱床タイプは、東アンデスに見られるもので、銀—錫—鉛—亜鉛—タングステン—ビスマス—金などの鉱物学的に複雑な組み合わせを有している。

代表的な鉱床として、セロ・リコ・デ・ポトシ(Cerro Rico de Potosi)鉱山、プラカヨ(Pulacayo)鉱山、ワヌニ(Huanuni)鉱山などが挙げられ、銀の硫酸塩鉱物に富む鉱床と上部銀ゾーンの削剥(浸食)が進んで下部の錫ゾーンが現れている鉱床の2種類がある。

銀、金および銅に富む鉱床タイプはアルプチラーノに見られ、その代表として現在稼行中のコリ・コージョ(Kori Kollo)鉱山が挙げられる。

コリ・コージョ鉱山は、銀、金、少量の銅を伴う鉱床で、外観上は含金・銀硫化鉄鉱床に類似しているが、鉛、亜鉛、アンチモン、錫などの存在が認められていることから、多金属鉱床に分類されている。

高品位鉱床(一般に鉱脈)や低品位鉱床(一般にストックワークや多孔質シリカ)の鉱量・品位は、多くの鉱床が500トン～5,000トンの銀と60トン以下の金を含んでいることを示している。

ボリヴィア型多金属錫—銀鉱床のセロ・リコ・デ・ポトシは世界最大の銀鉱床で、平均銀品位500g/t以上の鉱石に30,000トンの(採掘量と計上分)銀を保有している。セロ・リコでは鉱脈、ストックワーク、母岩への鉱染および廃石中に銀品位150～250g/tを示す、かなりの量の銀が残されていると見積もられている。

銀に富むベースメタルの鉱石は一般に500g/t以上の銀を含むが、金は2g/t以下である。

一部の富鉱体では100g/t以上の金を含んでいるとみられる。

最近発見された最も高品位の金鉱石はチリのエル・インディオ(El Indio)鉱床の3500脈で、平均金品位250g/tの鉱石から約30トンの金を産出した。この脈のかなりの部分が1,000g/t以上の金を含有している。

低品位ストックワーク、多孔質シリカ、角礫状鉱床のうち、少なくとも12の鉱床が1980年代に発見され、4～5鉱床が最近操業に入った。平均品位は金1.5～2g/t、銀20～100g/tのオーダーで、このタイプの鉱床は金25～60トン、銀3,000トンまで幅がある。

調査地域内に存在する鉱山や鉱徴地はFig. 1-3-4及びAppendix 7に示す。

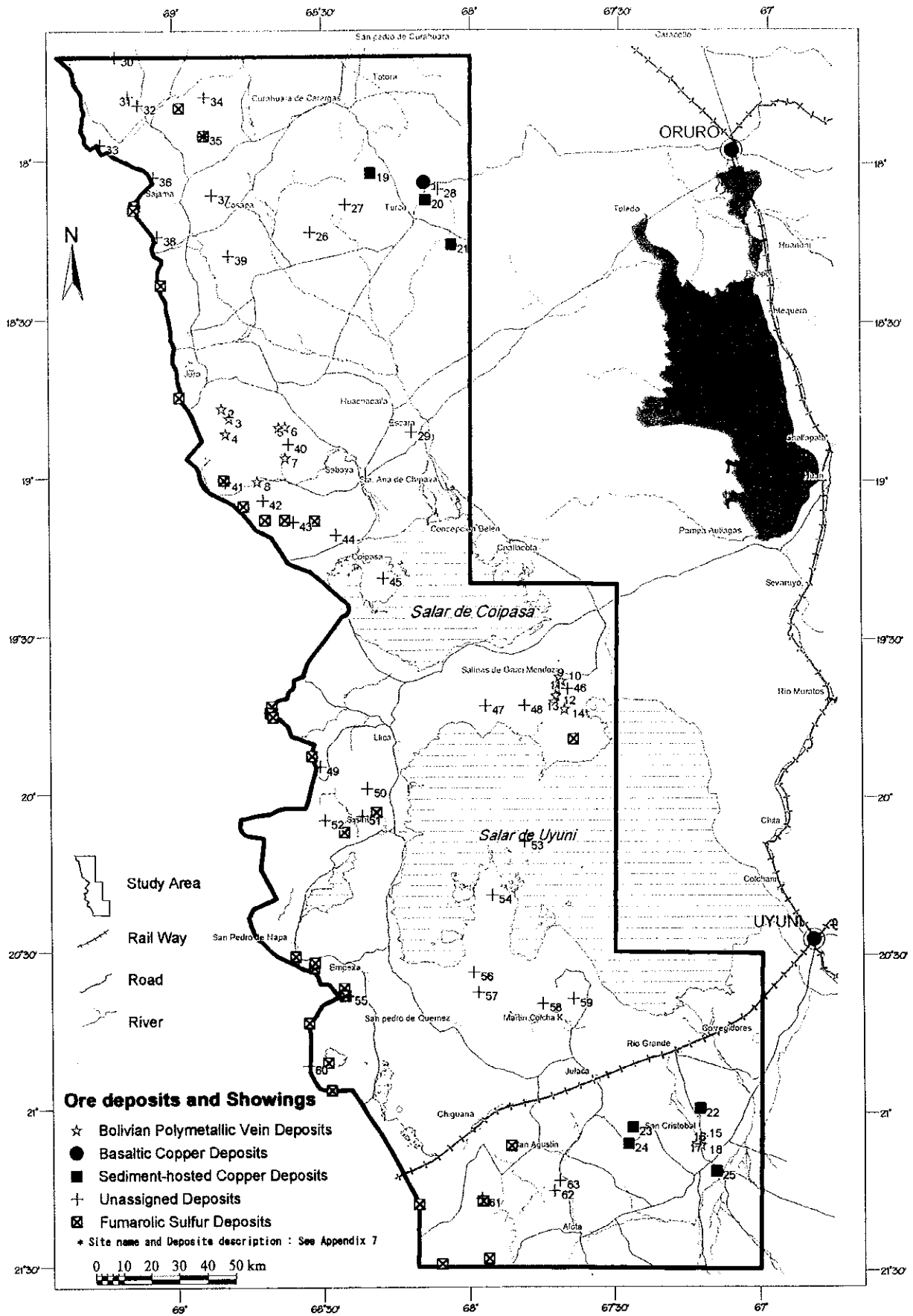


Fig. I-3-4 Ore deposits and showings in the area

3-4 調査地域の鉱業略史

ボリヴィアの鉱業は主に東アンデスのいわゆる“錫ベルト”で発達したが、西アンデスでは僅かに数鉱山が稼行されたにすぎない。それらは自然硫黄や非金属（硼素、石灰、ソーダ）が主体であった。

トラキリ (Turaquiri) 鉱山は銀・鉛の鉱床でスペイン統治時代に細々と稼行され、その頃の石組による坑道や、鉱石処理場の跡が残されている。

カラングス (Carangas) およびネグリージョス (Negrillos) 鉱山は銀・鉛の鉱床で、スペイン統治時代に採掘され、その後も 1950 年代頃まで稼行された。約 1.5 百万トンの鉱石が産出されたと推定されており、1980 年代には COMSUR が探鉱を実施している。

サリーナス・デ・ガルシー・メンドーサ地区には多数の銀やベースメタルを含む多金属鉱脈型鉱床が存在するが現在は稼行されていない。マリア・ルイサ (Maria Luisa) 鉱山、サン・ミゲル (San Miguel) 鉱山、マルガリータ (Margarita) 鉱山、ガダルッペ (Guadalupe) 鉱山、ラ・デセアード (La Deseada) 鉱山と呼ばれており、過去に生産活動が行われたが残された稼行跡やズリ量から大規模ではなかったものと推察される。

鉱山公社 (COMIBOL) が約 20 年前まで操業を行い、サン・ミゲル鉱山とマルガリータ鉱山は約数千トン、マリア・ルイサ鉱山は数十万トンの鉱石を出鉱したと推定される。

サン・クリストバル (San Cristóbal) 地区には 8 つの多金属鉱脈型鉱床が存在し、17 世紀初期に発見されてから断続的に稼行されてきた。最大のトルドス (Toldos) 鉱山は露天掘りと坑内掘りの組み合わせで採掘され、青化法によるヒーブリーチングで銀が回収されている。現在 Andean Silver 社が全ての鉱床を対象とした露天掘り採掘による大規模再開発を計画している。

エスカパ (Eskapa) 鉱山は鉱脈型銅鉱床で、スペイン時代に発見され稼行された鉱床で、1968 年-1971 年には付近の採掘共同組合によって細々と採掘された。

ソニア～スサーナ (Sonia～Susana) 地区では、COMINCO 社が地化学探査、電気探査、試錐 (10 本 2,000m) を実施している。

その他、小規模の探鉱跡が各所に残されている。

調査地周辺ではラ・ホヤ(La Joya)郡のコリ・コージョ鉱床が、塊状金鉱床(鉱量6,500万トン、Au2.3g/t, Ag15g/t)を採掘し、年間産金量は32万オンス(粗鉱品位2.4g/t程度)でボリヴィア唯一の金鉱山である。

ラウラニ(Laurani)鉱山は、石英-明礬石の浅熱水貴金属鉱床で、スペイン統治時代には銀・銅を対象として、その後金・銀を主体に銅が採掘されている。近年、BHPその他により探鉱され、小規模な鉱体(鉱量2百万トン、金2.5g/t, 銀220g/t, 銅1.0%)を捕捉していると言われている。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質及び地質構造と鉱化作用の関係

4-1-1 地質

調査地域には、先カンブリア紀の結晶片岩、片麻岩がチュルカニ(Chulcani)地区の南東方に地窓として露出し、東部のアルチプラノの一部に第三紀以降の陸成堆積物が認められる他は、西アンデスを中心に火山岩類が広く分布している。

この火山岩類は一般に成層火山を形成しており、この火山岩類中に粘土化を主体とする変質帯が広範囲に分布している。

この変質帯中に既存の鉱床が存在し、鉱床は熱水作用により形成されたと考えられる。

4-1-2 地質構造

南部のサン・クリストバル鉱床(NE-SW系)やエスカパ地区(N-S系)を除くと、トラキリ地区ではE-W系に、カラングス地区ではE-W系(N70W)に、またサリーナス・デ・ガルシー・メンドーサ地区ではE-W系(N80E~N75W)とNW-SE系の割れ目に鉱化作用が認められる。

東西系の割れ目が重要な役割を担っている可能性がある。

4-1-3 期待される鉱床タイプ

対象地域内に期待される鉱床タイプは、以下のように考えられる。

- ①アルカリ玄武岩に伴う銅鉱床
- ②古第三紀の赤色堆積岩中に胚胎する層状銅鉱床(コロコロ型鉱床)
- ③浅熱水性鉱床
- ④ポリヴィア型多金属鉱脈鉱床
- ⑤斑岩銅・金鉱床

この内、漸新世後期のアルカリ玄武岩に伴う細脈状、鉱染状銅鉱床およびコロコロ型鉱床は小規模で当面の探査対象とならない。

ポリヴィア型多金属鉱脈鉱床は、下部の硫化鉱物脈が上方に向かって重晶石-石英または重晶石-玉髓脈に変化する傾向が普遍的に見られている。これはポーフリー型の鉱化作用が浅熱水型鉱化作用へと移行するためと考えられる。

したがって、これらの脈の存在は、下部にポリヴィア型多金属鉱脈鉱床さらに深部にはポーフ

イリー型鉱床の胚胎を示唆する可能性がある。

ボリヴィア型多金属鉱脈鉱床を含む熱水型鉱床と浅熱水変質を伴う斑岩銅・金鉱床の模式的な鉱床モデルを Fig II-1-6 と Fig II-1-7 に示す。

プロピライト変質帯は、鉱化帯のやや深部の外側部に分布する。この変質帯が粘土化変質帯と共存する場合、浸食の程度や、鉱化作用の有無、強度、位置等を推定することができる。

既存の鉱床にはデイサイト質～流紋岩質ドームないし貫入岩が存在し、鉱化作用に関連している。さらにダイアトリームや角礫パイプ（熱水角礫）も鉱化作用に関係する場合がある。

4-1-4 トラキリ～アス・アスニ～チュルカニ地区

1) トラキリ地区 (Fig I-4-1 (1))

トラキリ鉱床はカルデラの発達に伴って形成された東西系の割れ目を充填するベースメタルや貴金属鉱化作用を伴う浅熱水性重晶石-石英脈鉱床と解釈される。

鉱脈から採取した石英中の流体包有物の均質化温度は、168℃～227℃と低いが、塩濃度は3.1wt%～17.9wt%を示し、ボリヴィア型鉱床の錫、タングステン脈の塩濃度に匹敵する高濃度を示す。

トラキリ鉱床が均質化温度に比べ塩濃度が高い理由は不明で、今後さらに検討する必要がある。

変質は脈際に珪化、粘土化変質が小規模認められる程度でプロピライトに変わっている。

過去の採掘が、脈の部分のみを対象にしていることを考慮すると、サン・クリストーバル鉱山トルドス鉱床のように低品位、大鉱量の網状あるいは鉱染型の鉱床が残されている可能性がある。特に、2本の鉱脈が深部で交差する周辺部に強い鉱化作用が期待される。

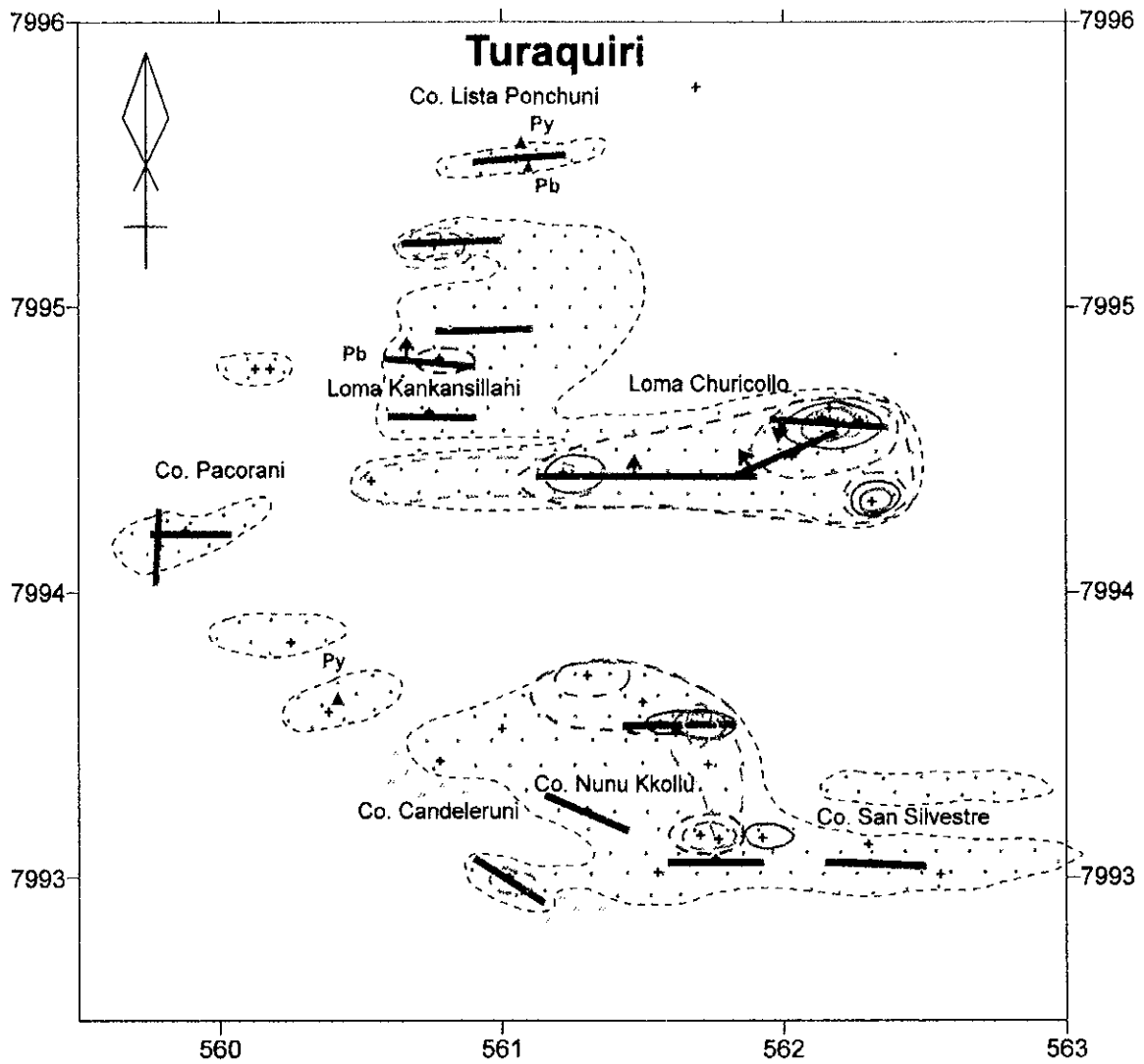
また、重晶石-石英脈の深部にボリヴィア型の鉱化作用が存在する可能性があるほか、変質帯や割れ目の分布等から南部の鉱徴地を含め、トラキリ鉱床に調和的な平行脈の存在が期待できる。

2) アス・アスニ(Asu Asuni)地区 (Fig I-4-1 (2))

アス・アスニ地区にも東西系の割れ目が発達するが、すでにプロピライト化した安山岩が分布しているにも拘わらず、地化探分析結果では優勢な鉱化示徴を捕捉していない。鉱化部が深いか鉱化作用が弱い可能性がある。

3) チュルカニ地区 (Fig I-4-1 (3))

チュルカニ地区は地化学探査の結果、金を伴う鉱化作用と金を伴わない鉱化作用の2種類が確



LEGEND

- + geochemical sampling point
- ⊙ hydrothermal alteration zone
- ⊖ propylitic alteration zone
- ore vein
- vein, fracture, fault, fissure
- ▲ Py pyrite impregnation
- ⊘ goethite gossan
- ⊙ diatreme, breccia pipe
- ⊙ rhyolite dome

Geochemical Anomaly

- Au > 70 ppb
- Ag > 30 ppm
- Cu > 90 ppm
- Pb > 400 ppm
- Zn > 230 ppm
- As > 140 ppm
- Sb > 10 ppm
- Hg > 200 ppm
- Mo > 40 ppm
- Be > 800ppm
- Sn > 10 ppm

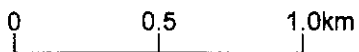


Fig. I -4-1 (1) Integrated Interpretation Map of the Turaquiri District

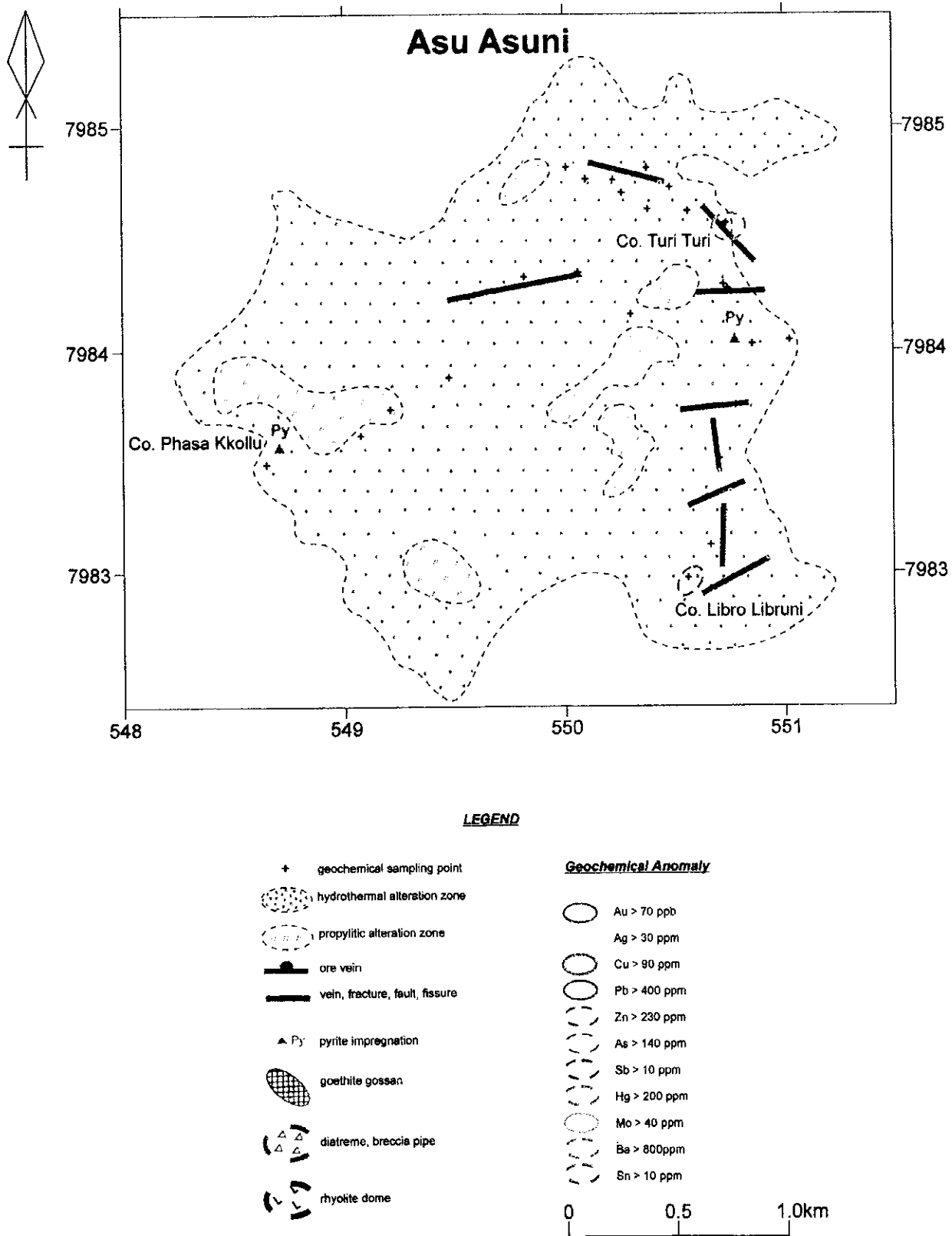
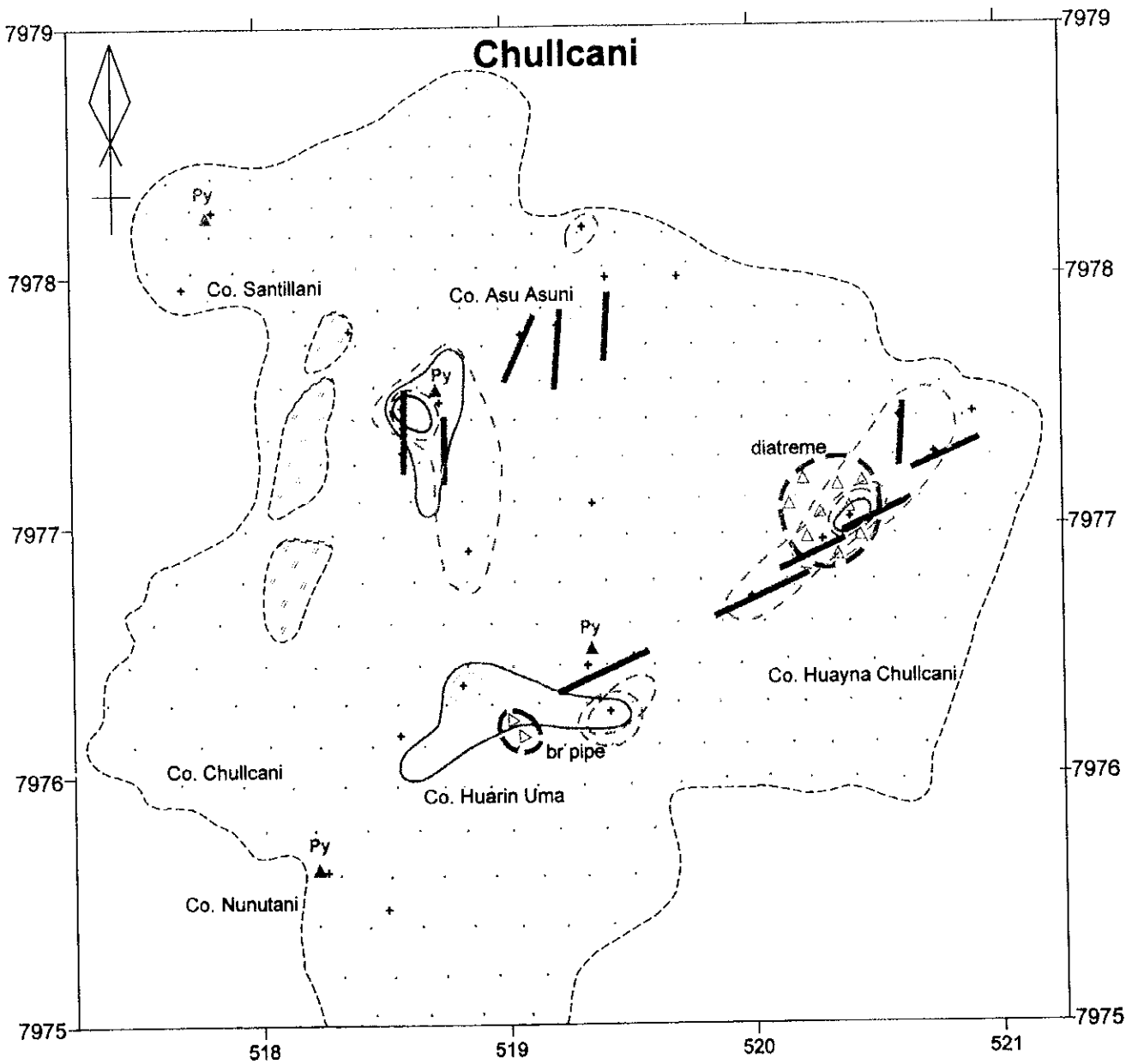


Fig. 1 -4-1 (2) Integrated Interpretation Map of the Asu Asuni District



LEGEND

- + geochemical sampling point
- ⋯ hydrothermal alteration zone
- - - propylitic alteration zone
- ore vein
- vein, fracture, fault, fissure
- ▲ Py pyrite impregnation
- ▨ goethite gossan
- ⊙ diatreme, breccia pipe
- ⊙ rhyolite dome

Geochemical Anomaly

- Au > 70 ppb
- Ag > 30 ppm
- Cu > 90 ppm
- Pb > 400 ppm
- Zn > 230 ppm
- As > 140 ppm
- Sb > 10 ppm
- Hg > 200 ppm
- Mo > 40 ppm
- Ba > 800ppm
- Sn > 10 ppm

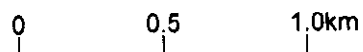


Fig. I -4-1 (3) Integrated Interpretation Map of the Chullcani District

0

0

0

認められた。金を伴う地化学異常部には、一部鉛、水銀、砒素の異常と亜鉛の弱い異常が重複する。また、金を伴わない地化学異常はダイアトリームに関連しているとみられ、銅、砒素、水銀の異常に、鉛、亜鉛の弱い異常が重複する。

これらの異常帯の深部には、浅熱水性貴金属鉱床または浅熱水性多金属鉱床の賦存が期待される。

4-1-5 ソニア～スサーナ(Sonia～Susana)地区 (Fig I-4-1(4))

サンタ・カタリーナ・ロマ(Santa Catalina Loma)に金、銅、鉛、亜鉛の地化学異常が重複し、東部のカラングス地区の鉱床と類似の浅熱水性多金属鉱床の存在が期待される。

エントレ・カンパニ山(Co. Entre Campanani)は流紋岩のドームと考えられ、南東部に金、錫、アンチモン、砒素の地化学異常が重複しており、流紋岩のドームに関連したボリヴィア型多金属鉱床の賦存が期待される。

ジーカ・カウア山(Co. Llica Khaua)には銅を伴う金鉱脈が捕捉され、周辺部に地化学異常は認められないが、下部に浅熱水性金・銀(銅)鉱床が期待される。

カウンターパートの情報では、本地区で鉱業権者が試錐(10本:2,000m)を実施したが、いずれもプロピライト化が連続し、一部に含鉛重晶石細脈を捕捉した以外には顕著な鉱徴を確認しなかったという。鉱化の中心部が別な箇所是否存在するか、さらに深部に鉱床が賦存している可能性がある。

4-1-6 カロールノ地区 (Fig I-4-1(5))

多くの山頂には非変質の岩石が残されており、また、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区に広く分布する熱水変質帯は変質帯の最上部(最外側)に位置するものと考えられる。

地化学異常としてまとまりはないが、Co. Huaylla Khaua～Co. Irun Laque 変質帯に水銀、バリウム、砒素、アンチモンの異常部が点在する。また、1箇所ではあるが、やや高温の酸性変質鉱物であるパイロフィライトが確認されている。熱水変質帯が強酸性溶液から生成したと考えられ、深部に高硫化系浅熱水性鉱床賦存の可能性はある。

Rio Agua Milagro に沿って分布する針鉄鉱を主体とするゴッサンは、上流の上端部で砒素とアンチモンの異常を示しており、その付近から熱水が噴出し、流下した可能性が考えられる。この付近は火山体の中心からやや離れているとみられ、低硫化系浅熱水性鉱床の賦存の可能性が考えられる。



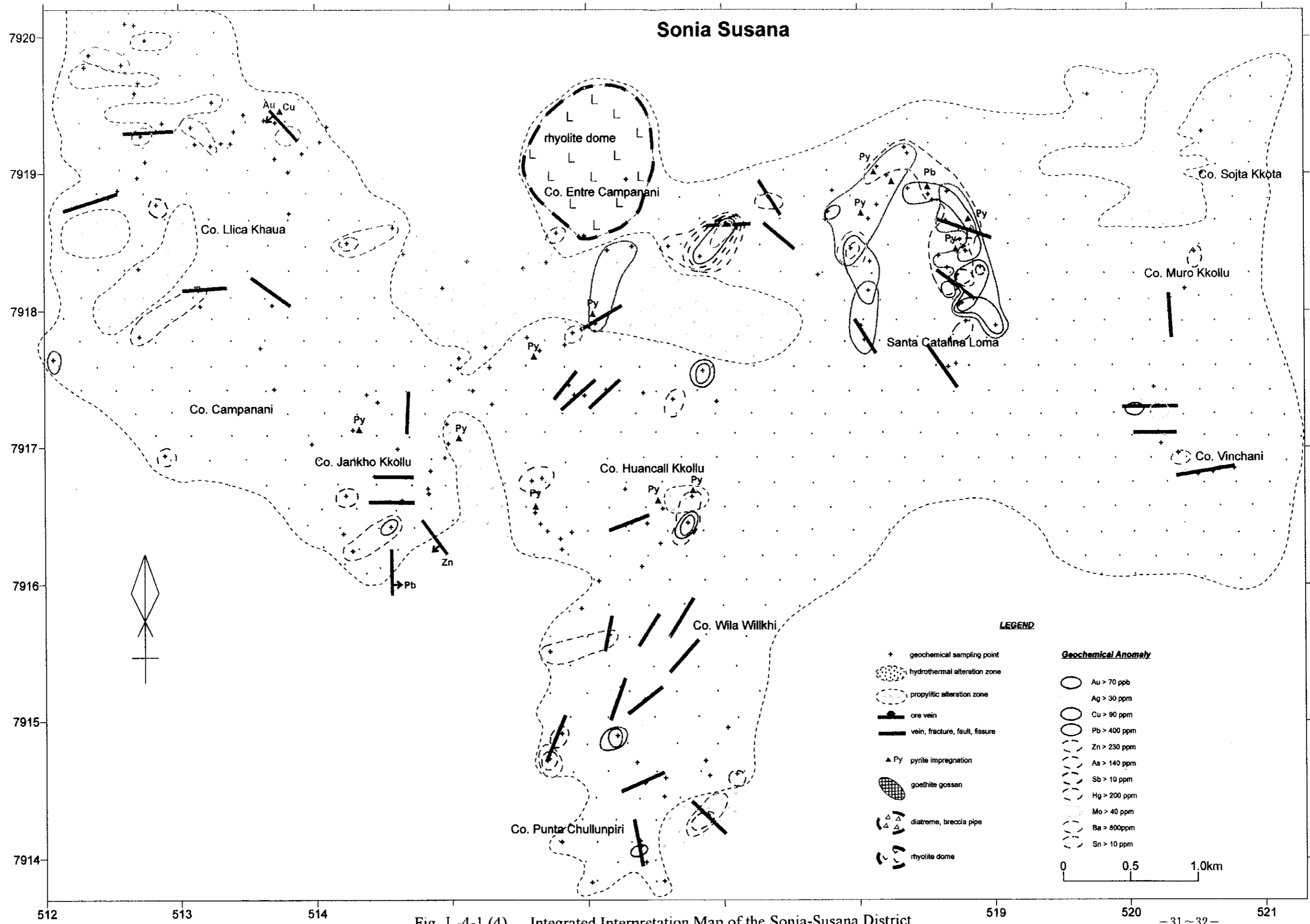


Fig. I -4-1 (4) Integrated Interpretation Map of the Sonia-Susana District

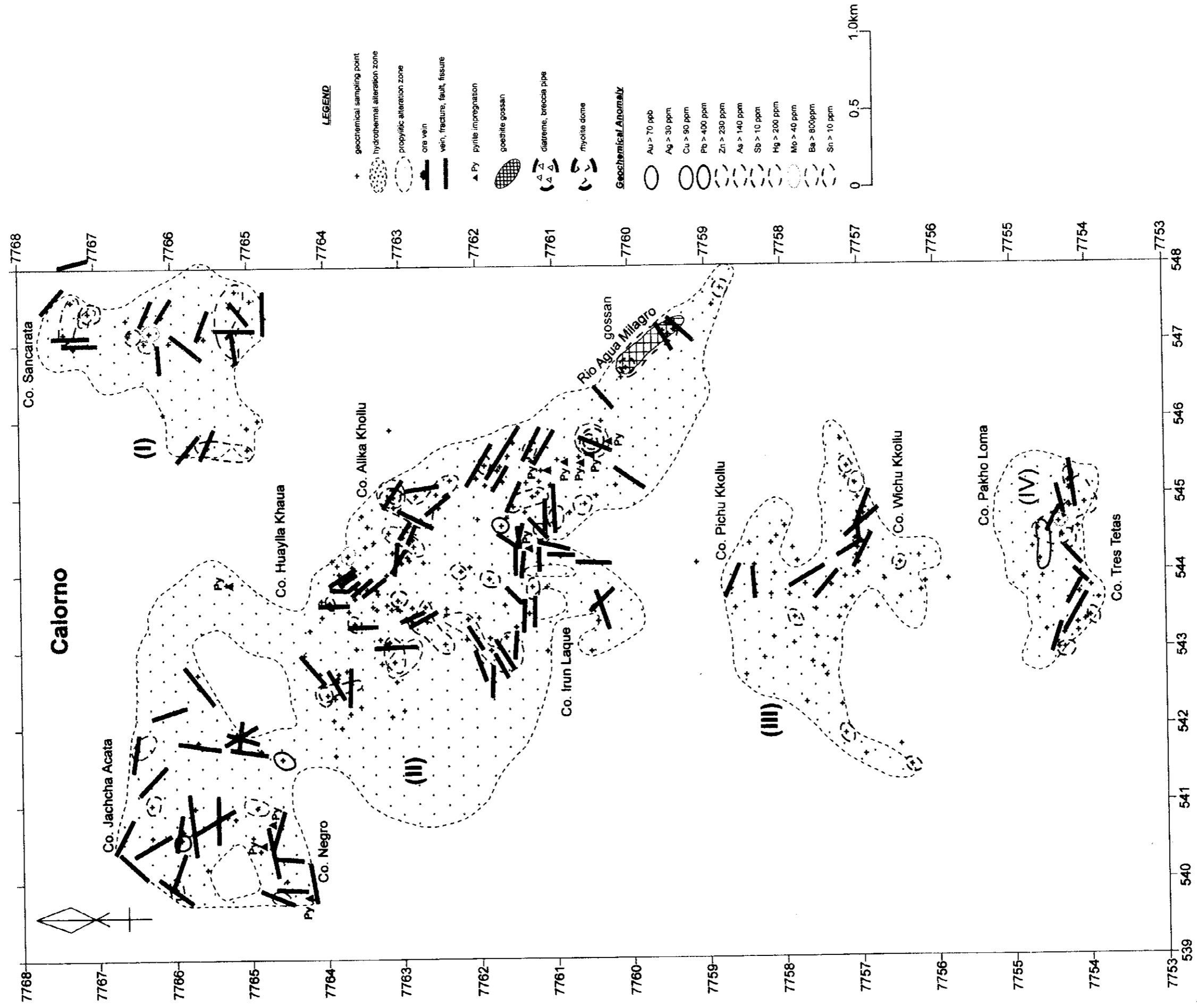


Fig. 1 -4-1 (5) Integrated Interpretation Map of the Calorno District

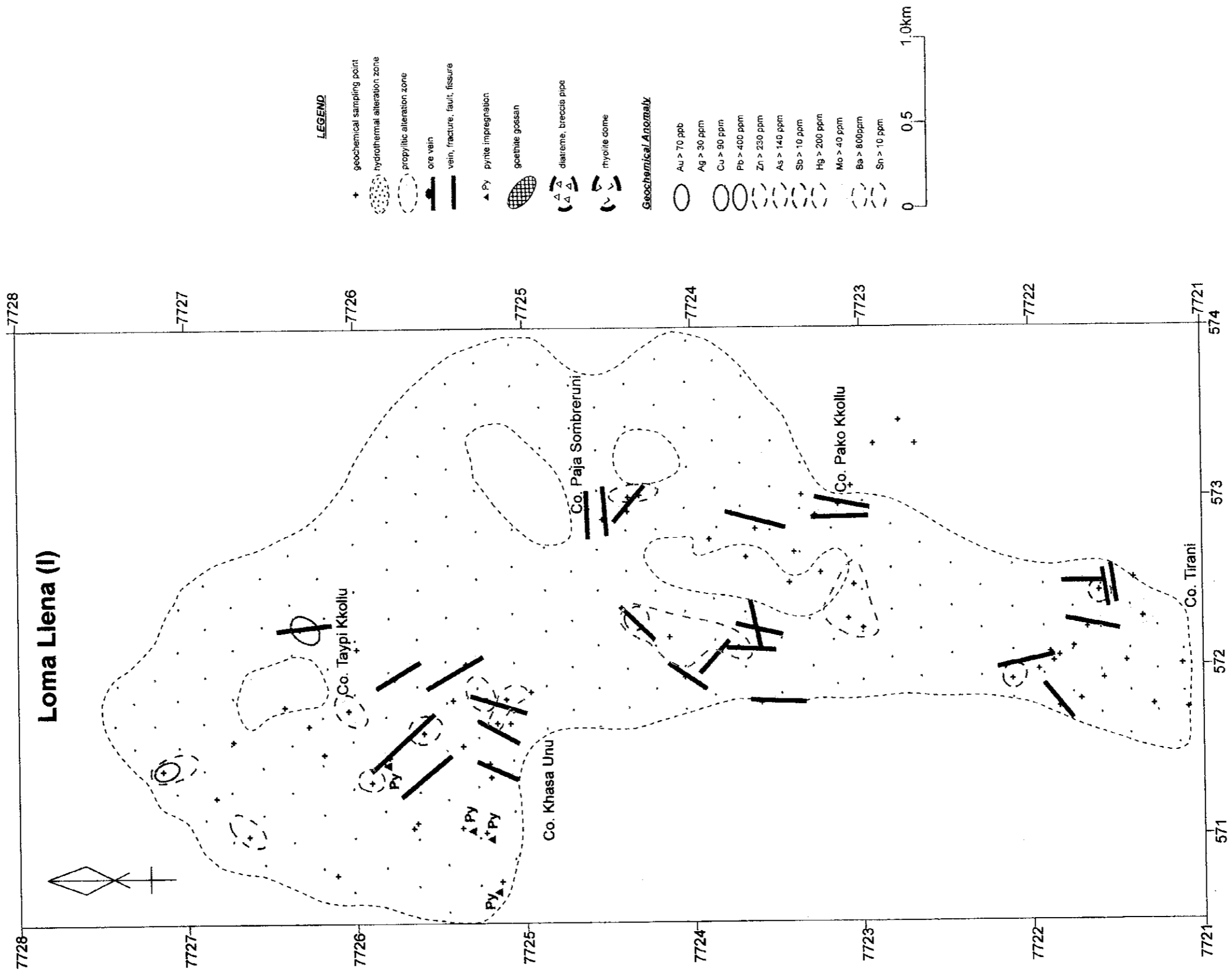


Fig. I -4-1 (6) Integrated Interpretation Map of the Loma Lena District (I)

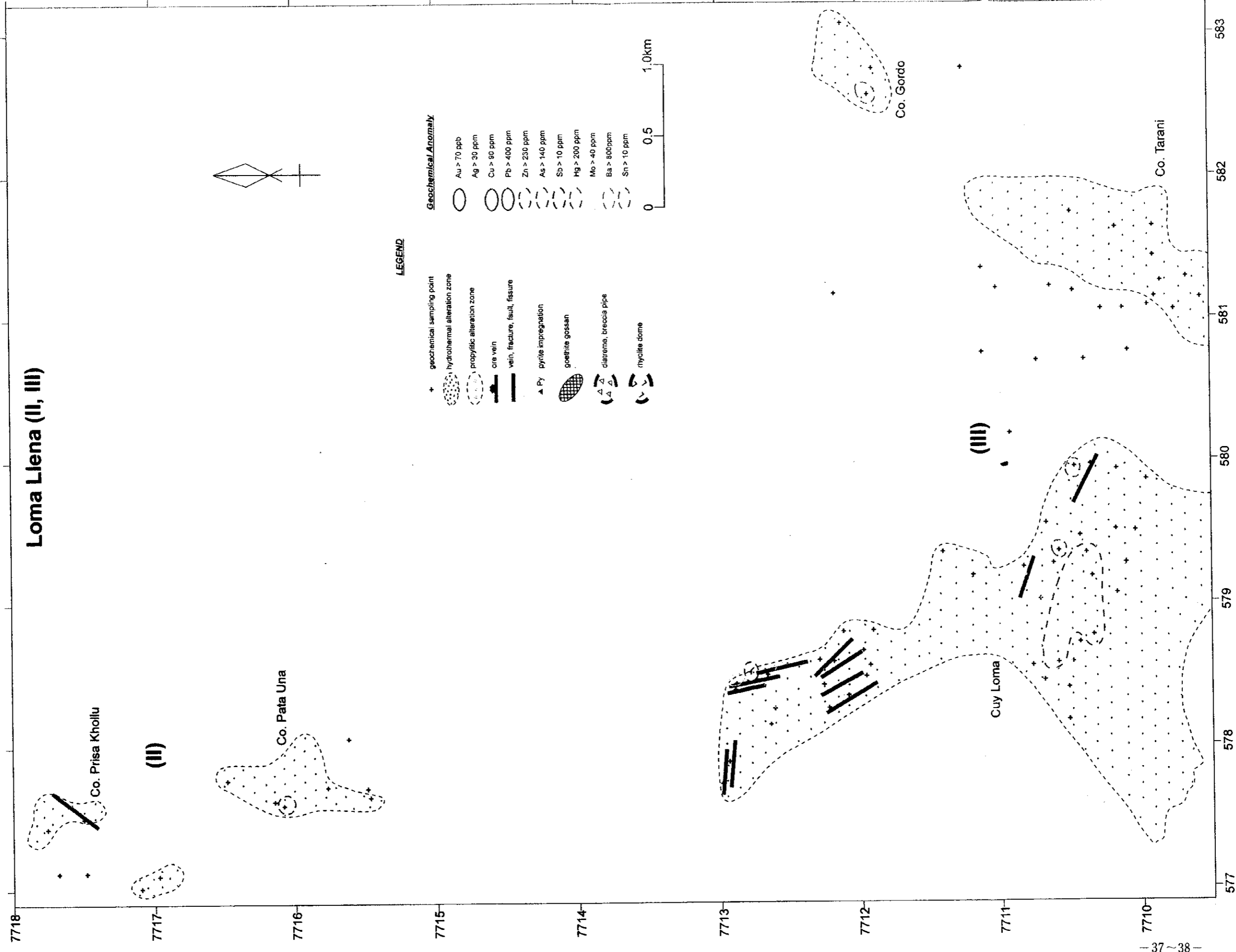


Fig. I -4-1 (7) Integrated Interpretation Map of the Loma Llena District (II)(III)

4-1-7 ロマ・ジェーナ(Loma Llena)地区 (Fig 1-4-1(6), (7))

山頂には非変質の岩石が残されており、また、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区の熱水変質帯は変質帯の最上部（最外側）に位置するものと見られる。

地化学異常も優勢でなく、鉱化作用が存在しても弱いか、賦存箇所が深い可能性が高い。

4-2 鉱床賦存のポテンシャルについて

標高 6,000m 前後の山頂付近に噴気孔を有し、昇華自然硫黄が現在でも沈積しているような硫黄の含有を多量に含有する火山が西アンデス山系には多数存在している。いくつかの火山体では、中心部において高硫化系熱水性鉱床やボリヴィア型多金属鉱脈型鉱床が形成されている可能性が推察される。しかしながら、若い（新しい）火山では、鉱床が生成段階にあるものや、生成していても浸食が進んでいないので鉱化作用が探鉱・開発が困難な深部に存在する可能性が高いものと考えられる。日本で若い（新しい）浅熱水鉱床の菱刈鉱床の生成年代が約 100 万年前後とされているので、本調査地域でも 100 万年より若い火山は対象からはずしても差し障りないとする。

したがって、100 万年以前の火山体で熱水変質帯が広範囲に分布し、地化学異常の他に、多数の割れ目が発達し（特に、東西系の割れ目が好都合）、熱水角礫岩（角礫パイプ、ダイアトリーム等）や安山岩質～デイサイト質～流紋岩質ドーム（特にデイサイト質）を伴うような地区がポテンシャルが高く有望と考えられる。

本年度調査対象地区以外で、衛星画像解析結果により比較的広範な変質帯の存在が推定された地区は、北からブランカ・ニエバス(Blanca Nieves) 地区、セロ・ピカチョ(Cerro Picacho) 地区、セロ・パニソ(Cerro Panizo)地区があり、他にも中～小規模の変質帯が存在する (Fig. 1-4-2)。

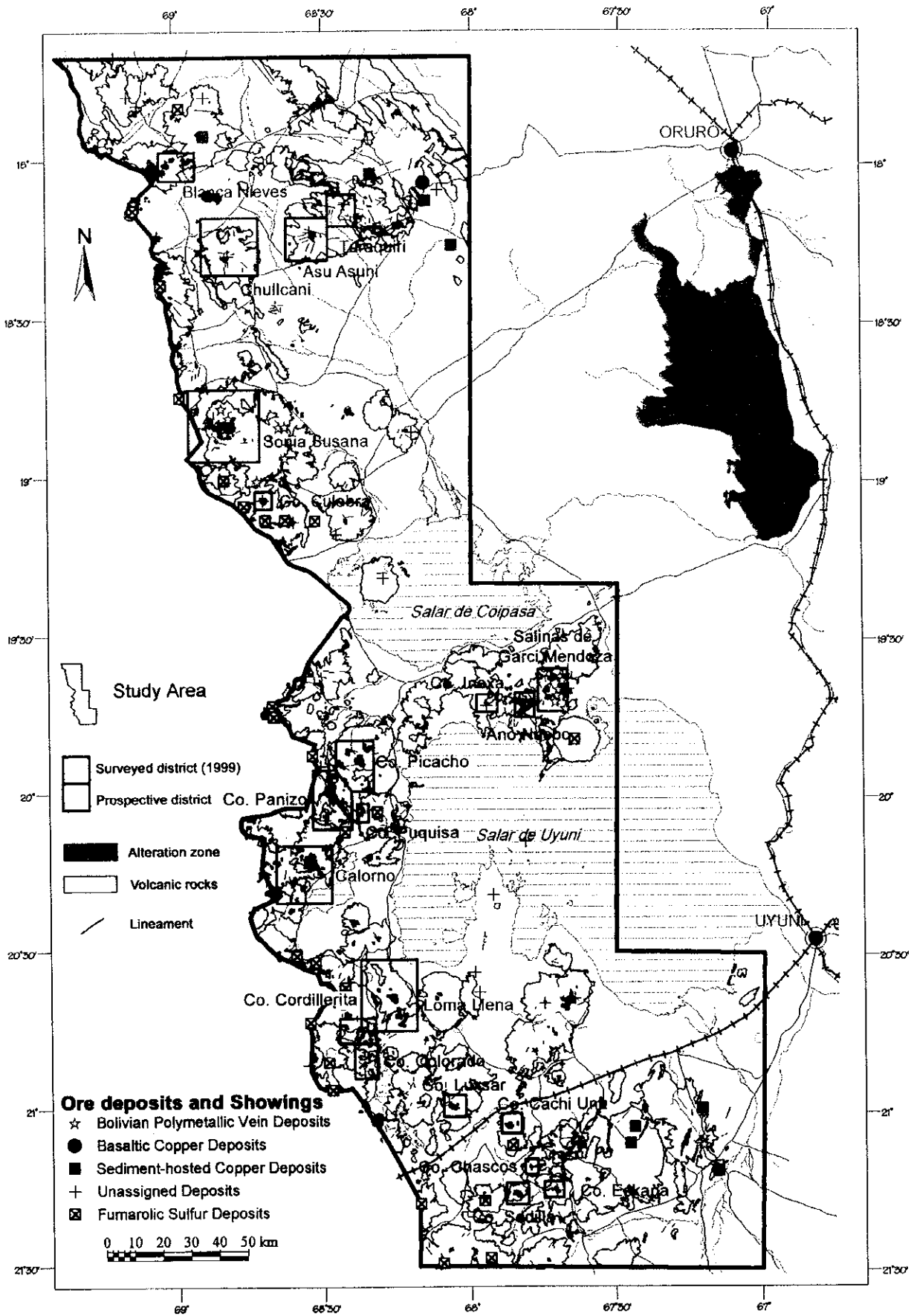
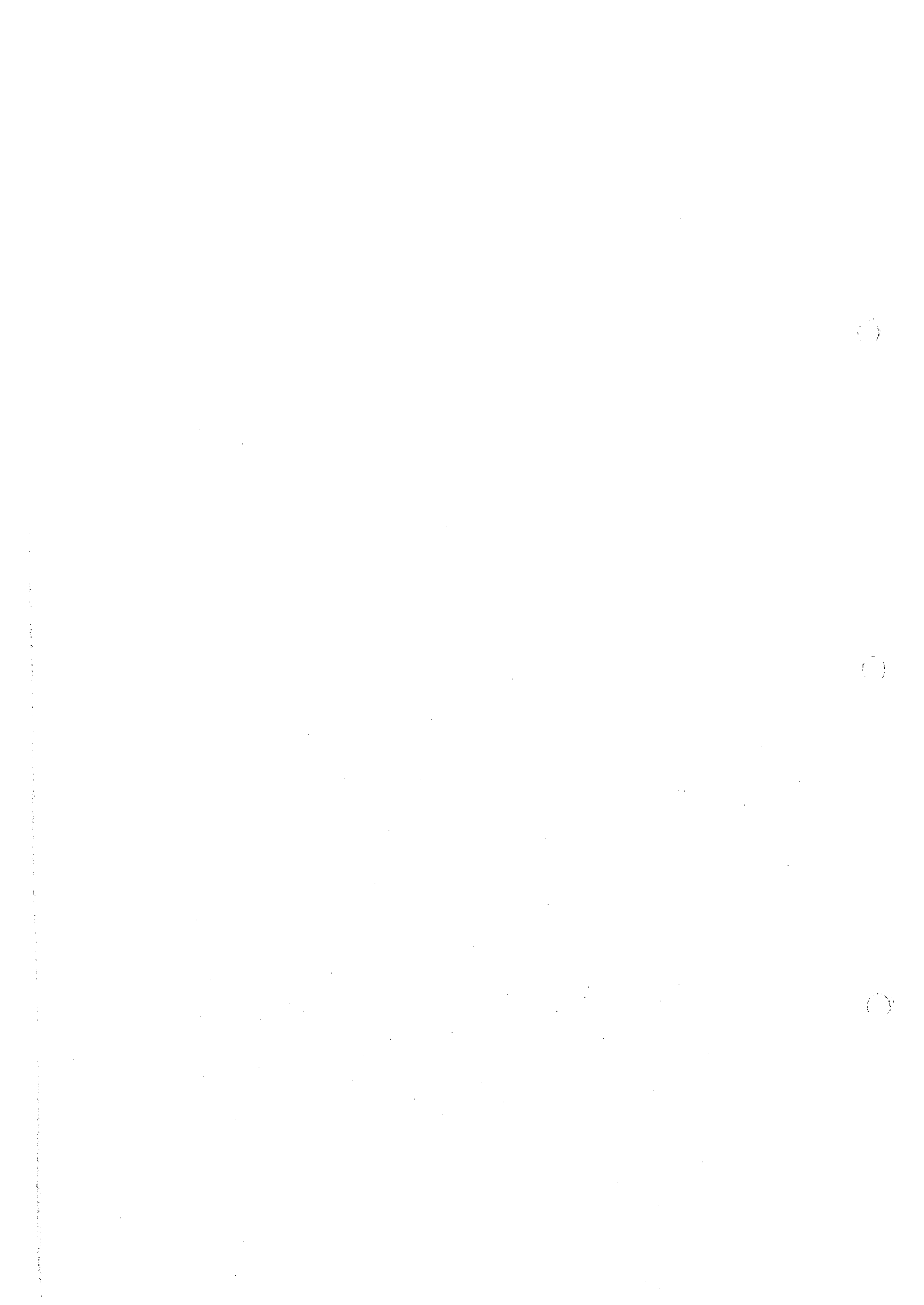


Fig. I-4-2 Integrated Interpretation Map of the area



第5章 結論及び提言

5-1 結 論

本年度の既存資料調査及び画像解析結果で抽出された地区のうち、トラキリ地区、アス・アスニ地区、チュルカニ地区、ソニア～スサーナ地区、カロールノ地区、ロマ・ジェーナ地区の6地区について地質、地化学探査（概査）を実施した。

その結果を下記に示す。

トラキリ～アス・アスニ～チュルカニ地区

トラキリ鉱床は、鮮新世の再生カルデラ活動に関連して形成された、ベースメタルや貴金属を伴う浅熱水性鉱脈鉱床と考えられる。

スペイン統治時代から採掘されたが、脈部分を対象にしており、低品位、大鉱量の網状あるいは鉱染型の鉱床が残されている可能性がある。特に南北両脈が交会する鉱脈深部には“落合直り”として富鉱体が形成されやすく、上記タイプが形成されている可能性がある。

また、変質帯や割れ目の分布等から、南部の鉱徴地を含め、トラキリ鉱床に調和的な平行脈の存在が期待できる。

アス・アスニ地区はすでにプロピライト化した安山岩が分布しているにも拘わらず、優勢な地化学異常を捕捉していない。鉱化作用が存在しても弱いのか、賦存箇所が深い可能性が高く、探鉱の優先順位は低い。

チュルカニ地区は、地化探結果、変質帯中に金を伴う鉱化作用と、金を伴わない鉱化作用の2種類が存在する。

さらに角礫パイプやダイアトリームの存在等から、変質帯の深部に浅熱水貴金属鉱床または浅熱水性多金属鉱床賦存の可能性が期待され、最優先地区と考える。

ソニア～スサーナ地区

サンタ・カタリーナ・ロマ(Santa Catalina Loma)に金、銅、鉛、亜鉛の地化学異常が重複し、東部のランガス地区の鉱床と類似の浅熱水性多金属鉱床の存在が期待される。

セロ・エントレ・カンパニ(Co. Entre Campanani)は流紋岩のドームと考えられ、さらに南東部に金、錫、アンチモン、砒素の地化学異常が重複しており、錫の存在からボリヴィア型多金

属鉱床が期待される。

セロ・ジーカ・カウア(Co. Llica Khaua)には銅を伴う金鉱脈が確認され、下部に浅熱水性金・銀・銅鉱床が期待される。

しかし、カウンターパートの情報では鉱山会社 (COMINCO Bolivia) がすでに試錐 10 本を含む探鉱を実施したが顕著な鉱徴を捕捉していないという。まず、情報を入手し検討する必要がある。

カロールノ地区

本地区の 2 箇所で採取した安山岩の年代測定結果は中期中新世～後期中新世を示し、従来言われていた鮮新世～更新世に比べて古いことが判明した。従って、この母岩中に広範囲に分布する変質帯もその時代に形成されたものと考えられる。

山頂には非変質の岩石が残されており、また、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区の熱水変質帯は変質帯の最上部（最外側）に位置すると見られる。

地化学異常としてまとまりはないが、水銀、バリウム、砒素、アンチモンの異常部が点在するセロ・ワイジャ・カウア(Co. Huaylla Khaua)～セロ・イルン・ラケ(Co. Irun Laque)の下部には、パイロフィライトの存在から高硫化系浅熱水鉱床賦存の可能性もある。

一方、南東部のゴッサンの下部には低硫化系熱水鉱床賦存の可能性も考えられる。

ロマ・ジェーナ地区

山頂には非変質の岩石が残されており、また、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区の熱水変質帯は変質帯の最上部（最外側）に位置するものと見られる。

地化学異常も優勢でなく、鉱化作用が存在しても弱いか賦存箇所が深い可能性が高い。

優先順位は低い。

以上、本年度の調査結果、有望地として、優先順に①チュルカニ地区②トラキリ地区③カロールノ地区④ソニア～スサーナ地区があげられる。

5-2 第2年次調査への提言

今年度の調査結果、オルロ・ウユニ地域には広範囲に熱水変質帯が分布し、深部に浅熱水鉱床賦存の期待が持たれることが判明した。

第2年次は、今年次調査された地区に対して、さらに詳細な情報を得るために地質準精査および地化学探査を実施することが望ましい。

チュルカニ地区：

本地区では金異常部の連続性と広がりの確認および変質鉱物の分帯を主目的とする地質準精査および地化学探査を実施することが望ましい。

トラキリ地区：

本地区では既知鉱脈の西方への連続性および平行脈の存在と規模を確認するために、地質準精査および地化学探査を実施することが望ましい。

ソニア～スサーナ地区：

本地区では地化学異常部が確認されたが、さらに詳細に鉱化作用の特徴と変質帯の分帯を把握するために地質準精査および地化学探査を実施することが望ましい。あわせて可能な限り既存情報（試錐および電探結果）を入手し検討する必要がある。

カロールノ地区：

本地区ではセロ・ワイジャ・カウア～セロ・イルン・ラケを中心とした地質準精査（特に熱水角礫岩の分布状況、火山ドームの存在の有無等の確認および変質帯の分帯）および地化学探査の実施が望ましい。

また、アス・アスニ地区やロマ・ジェーナ地区では、補足の地質調査および地化学探査が必要である。

さらに、今年次に画像解析で変質帯が抽出され、調査を実施できなかったその他の地区に対して、地質・地化学探査（概査）を実施することが望ましい。

ブランカ・ニエベス(Blanca Nieves)地区

チュルカニ地区の北西部チリとの国境に接しており、チリ共和国のチョコケリンピエ鉱山の北東部に位置する。衛星画像解析の結果、鉄酸化物変質帯が認められる。

セロ・ピカチヨ(Co. Picacho)地区

サリーナス・デ・ガルシ・メンドーサ地区の西方部に位置しており、衛星画像解析の結果、広範囲に粘土化変質主体の変質帯が認められる。南部のセロ・チンチルウーマ(Co. Chinchiluma)の斜面には錫を伴う金・銀・銅・鉛・亜鉛のボリヴィア型鉱脈鉱床の存在が報告されている。

セロ・パニゾ(Co. Panizo)地区

カロールノ地区の北部に位置しており、衛星画像解析の結果、広範囲に鉄酸化物と粘土化変質帯が認められる。

これらの他にセロ・クレブラ(Co. Culebra)地区、イニエクサ(Iñexa)地区、アニョ・ヌエボ(Año Nuevo)地区、セロ・プキッサ地区(Co. Puquiza)、セロ・コルディジェリータ(Co. Cordillerita)地区、セロ・コロラド(Co. Colorado)地区、セロ・サイリカ(Co. Sailica)地区、セロ・ルクサール(Co. Luxsar)地区、セロ・カチ・ウヌ(Co. Cachi Unu)地区、セロ・チャスコス(Co. Chascos)地区、セロ・セデージャ(Co. Sedilla)地区およびセロ・エスカパ(Co. Eskapa)地区にも変質帯が分布し、地質・地化学探査(概査)が必要である。

以上の他にも多数の小規模の変質帯が分布しており、有望地を抽出するためには、調査地全域を対象とした川砂地化学探を実施することが望ましい。

第Ⅱ部 各 論

第1章 既存資料の解析

1-1 調査地域の地質概要

ボリヴィアの地質はプレカンブリア紀、古生代、中生代、第三紀と第四紀層および中生代と第三紀火成岩の貫入岩から構成されている (Fig. I-3-1, Fig. II-1-1)。

地質構造区は細かく8つに分かれ、西から東へ、西アンデス、西アルチプラーノ、東アルチプラーノ、東アンデス、インターアンデス、サブアンデス、ベニ・チャコ平原、アマゾンクラトンと呼ばれる (Fig. II-1-2)。

調査対象地域は西アンデスとアルチプラーノに属する。

1) 西アンデス

西アンデスには、中～古生界基盤岩類の南北性隆起軸に沿って噴出した第三紀～現世の火山岩類が広範に分布し、火山体の間には陸成～浅海成の堆積物が存在している。

西アンデスは、西部の優地向斜—火山弧と東部の劣地向斜から構成され、ヘルシニア造山運動に引き続き漸新世後期に始まったナスカプレートの南米プレートへの沈み込み（アンデス造山運動）に呼応して発達した。この火山活動に伴って、多数の成層火山が形成されている。

劣地向斜の頁岩、砂岩はジュラ期後期から白亜紀初期を通して孤立した背弧海盆に堆積した。

白亜紀後期までの一時期に、優地向斜の外側に溶岩流や火山砕屑岩が堆積した。

その後西アンデスの大部分の地区は隆起し、陸成堆積物が劣地向斜に交差して堆積し、ペルーやチリの海岸バソリスを構成する大規模花崗岩系深成岩体（プルトン）が優地向斜で生じた。

山稜を形成する火山岩類は中新世後期～鮮新世の安山岩、流紋岩溶岩を主とし、山頂付近には第四紀のデイサイト類も存在している。

2) アルチプラーノ

アルチプラーノには、原生界ないし古生界を基盤とし、白亜紀～現世の膨大な火山噴出物と陸成堆積物の累層が広範囲に存在している。

アンデス造山運動が始まり、アルチプラーノを含む大陸縁に沿って造構運動が顕著になった。

陸成堆積作用は、白亜紀後期に始まり新生代、更新世の大半を通じて引き続いた。陸成堆積物は、白亜紀後期の陸成モラッセ堆積物（赤色層）と、始新世～漸新世の前地盆堆積物（砂岩、

砂岩・泥岩互層)で構成されている。

その後アルチプラーノの大部分は大きな氷河湖に覆われた。その名残が現在の塩湖である。

火成活動は中新世～鮮新世に生じ、南部では中新世に安山岩質の噴出活動が、北部では中新世～鮮新世に流紋岩質火砕岩類の噴出活動が継続し、膨大な量の陸成火山噴出物が堆積している。

3) 東アンデス

東アンデスでは、先カンブリア紀を基盤として堆積した古生代～中生代の厚い堆積岩類(劣地向斜堆積物)がカレドニア期(オルドビス紀)、ヘルシニア期(デボン紀～三畳紀)、アンデス期(白亜紀～新生代)の造山運動を被り、南北系の軸をもつ衝上断層や複雑な褶曲構造が形成されている。

ヘルシニア造山運動の終焉(二畳紀～三畳紀)とともに、本地域は張力変動の場(環境)となり、過アルカリ質火山活動と花崗岩質深成岩の進入が生じている。

花崗閃緑岩やアダメロ岩の深成岩は主に東アンデスの北部でバソリスやラコリスとして生じている。一方、中部や南部にみられる貫入岩は半深成岩や火山岩タイプでストックや火山ネックとして現れているが、例外としてポトシ近くのカリ・カリ(Kari Kari)深成岩(花崗閃緑岩)がある。

その後、プレートの沈み込みが始まり、ジュラ紀から新生代にかけて続く、カルクアルカリ質火山活動が引き起こされた。

アンデス造山期(第三紀)に東アンデスは東西の圧縮変動により隆起し、褶曲帯や衝上断層帯が形成され、西側では安山岩質火山活動とそれに引き続く半深成岩の貫入や、アルチプラーノ側への押し被せなどが生じている。

オルロ地域では北西—南東に走る背斜や向斜の褶曲軸が数多く存在する。さらに褶曲軸に平行な断層が顕著に発達している。

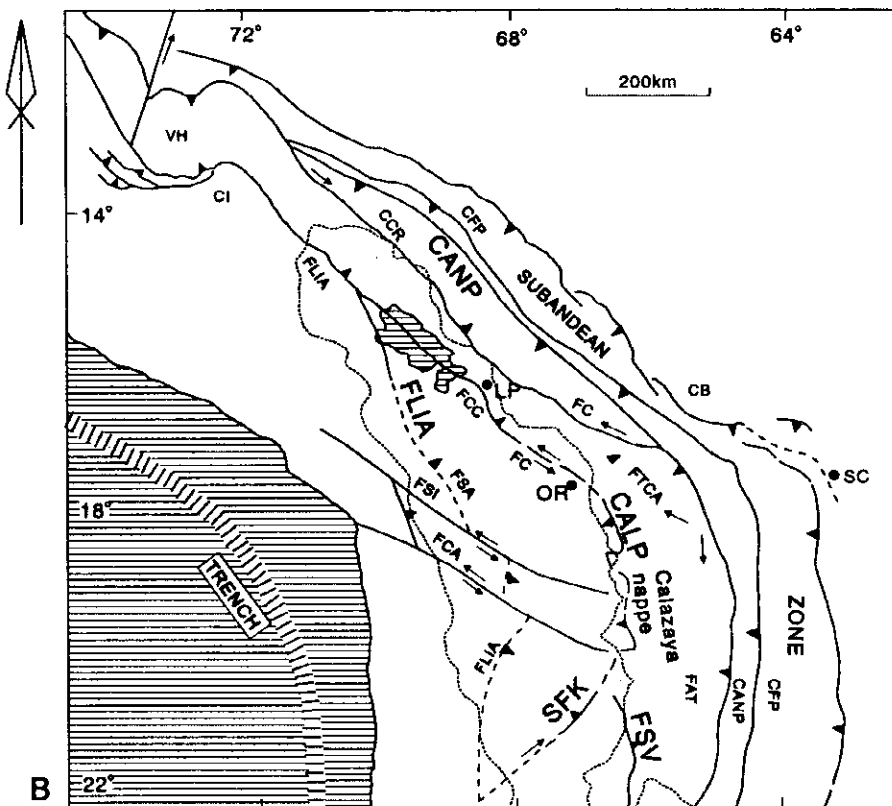
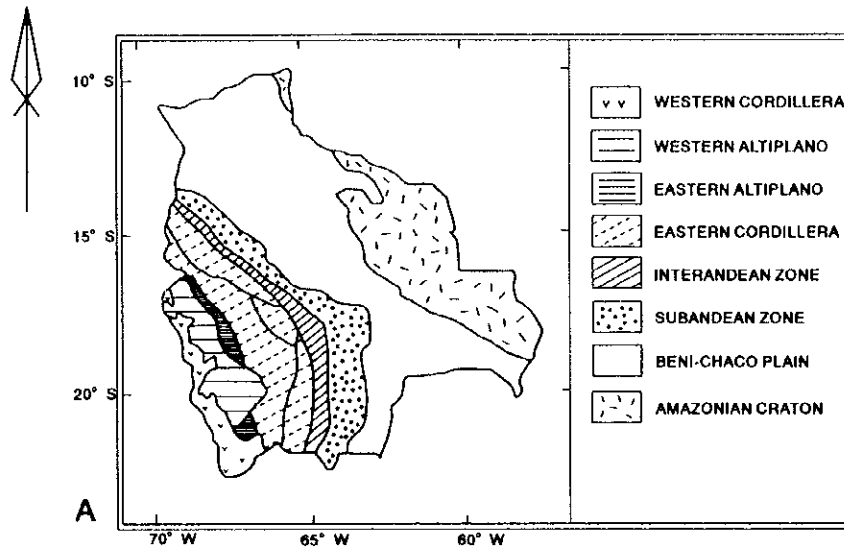
アルチプラーノと東アンデスは普通これらの断層で境されている。

地質構造と岩相は地形に反映されており、山脈は褶曲軸や断層に平行になっている。

1-1-1 堆積作用

堆積岩類はアルチプラーノに偏る。それは、アルチプラーノが褶曲帯や断層帯からの堆積物が集積する一連の山間部前地盆で特徴づけられているためである。

これらの堆積作用の進展に伴い、東向の逆押被せ断層作用(ボリヴィアオロクラインを形成



Position of the Calazaya nappe within the Bolivian orocline (from Sempere et al., 1991). Fine dotted line: boundary of the present-day endreic Altiplano basin. FLIA=Intra-Andean Boundary Fault. CANP=Main Andean Thrust. CALP=Main Altiplanic Thrust. SFK=Khenayani Fault System. FSV=San Vicente Fault. LP= La Paz. SC=Santa Cruz. OR=Oruno.

CB=Chapare buttress. CCR=Cordillera Real Thrust. CFP=Main Frontal Thrust. CI=Cuzco indenter. FAT=Fauzillo-Tupiza fault. FC=Cochabamba Fault. FCA=Chita-Africa Fault. FCC=Coniri Thrust Front. FE=Eucaliptus fault. ESA=San Andres Fault. ESI=Sevaruyo-Incapuquio fault. FTCA=Toracari Fault-Arque Thrust. VH=Vilcabamba hinge.

Fig. II -1-1 Structural Geology of the Central Andes

A: Modified from Baby et al., 1992b, with Western Cordellera volcanic arc added.
 B: From Baby et al., 1992a. Additional structure names from Sempere et al., 1988.

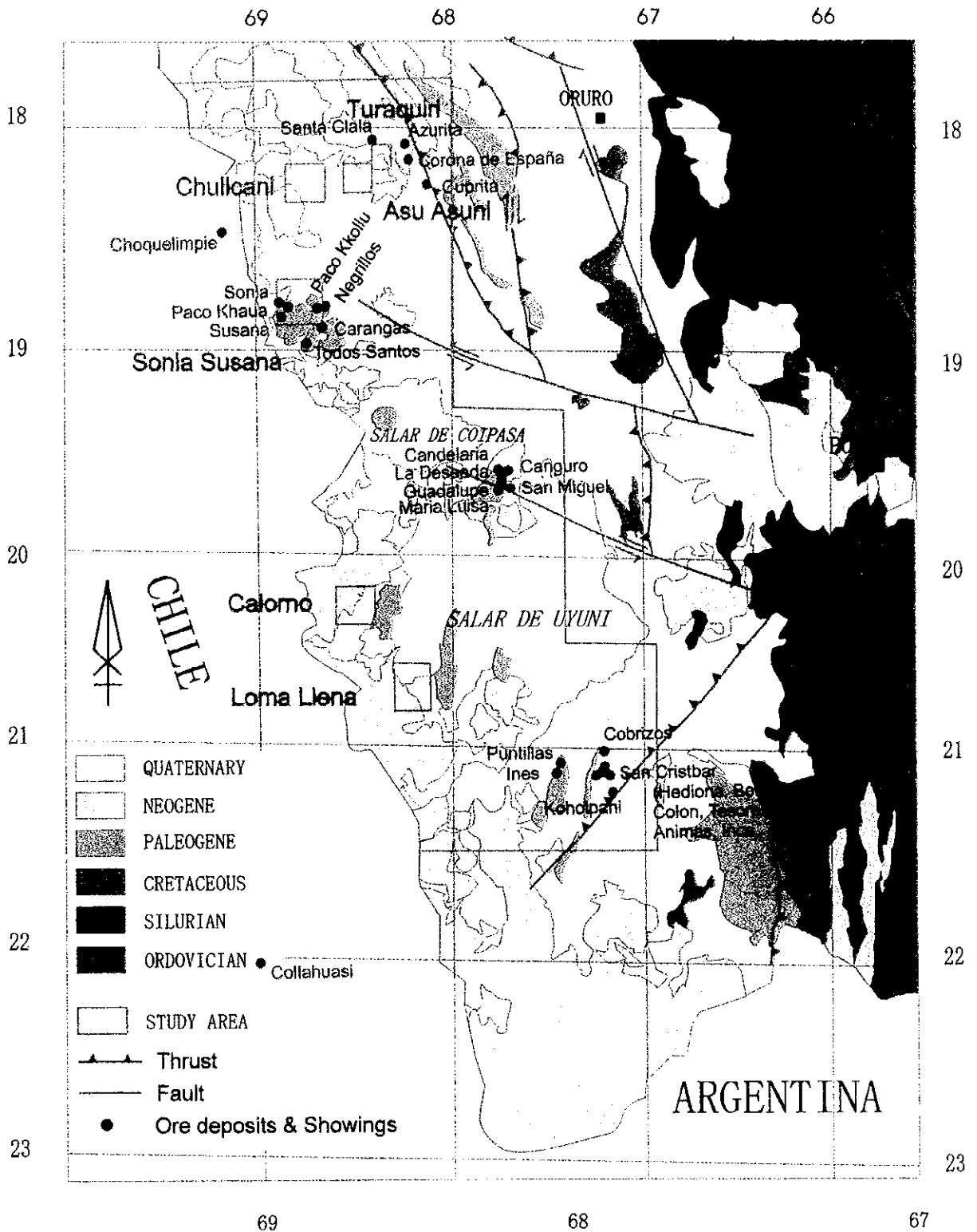


Fig. II-1-2 Integrated Interpretation Map of Previous Information of the Area



する西アンデスの楔状地域やその原生代の基盤)と、西向き衝上断層作用(東アンデスの古生代優地向斜岩石類)が生じている。

アルチプラーノはコイパサ ストリップ(Coipasa strip)(西～北西系の断層で境された長く伸びたブロック)によって構造分割される(Fig. II-1-2, Fig. II-1-3)。

コイパサストリップの北側のウジョマ ドメイン(Ulloma Domain)は北東-南西系のフェルゲンツ褶曲の縁に沿った盆地(北～北西方向系)である。

南側のウユニ ドメイン(Uyuni Domain)の南方は北～北東系褶曲を示し、上部オルドビス紀と若い岩石が分布している。

東方は、アルチプラーノの新生代岩石上に東アンデスのオルドビス紀堆積岩類が乗り上げた断層システムによって境されている。

リペス盆地(Lipez Basin)南部のオルドビス紀堆積岩類の2大飛地は東アンデスのそれらと類似している。

第三紀を通じて15,000mの厚さの陸成層がアルチプラーノの急速に沈降する盆地に堆積した。堆積作用は暁新世と始新世に始まり、漸新世と中新世の広域変形作用に同調している。

これらの岩石は、局部的に白亜紀の海成乃至陸成堆積岩類の薄層に覆われた、褶曲した古生代の堆積岩類の基盤を不整合に覆っている。

最も厚い第三紀の岩石類は北部および中部アルチプラーノに明瞭で、他にもオルロ市西方のセラニア・デ・ワジャマルカ(Serrania de Huallamarca)に存在する。コニリ(Coniri)累層の粗粒砂岩や礫岩は前地盆のティアワナク(Tiahuanacu)層の上に不整合に堆積した(Fig. I-3-3)。

砂岩、頁岩、礫岩(コリ・コージョ累層)の新しい堆積岩類およびマウリ(Mauri)累層の火山流や凝灰岩類が鮮新世まで引き続き沈降する盆地を埋めた。

河川や湖成の砂、シルト、粘土および局部的に礫層(チャラーニャ(Charaña)累層、ウジョマ累層およびウマラ(Umala)累層)が広域的に広がる凝灰岩(ペレス(Perez)累層)に挟在している。

アルチプラーノの中央部南部や南部の基盤は、白亜紀層を整合的に被覆する一連の暗赤色～赤紫色の砂岩、シルト岩、頁岩および礫岩(ポトコ(Potoco)累層)から構成されている。

堆積サイクルに引き続き、火山活動が漸新世後期から中新世初期に開始し、特にアルチプラ

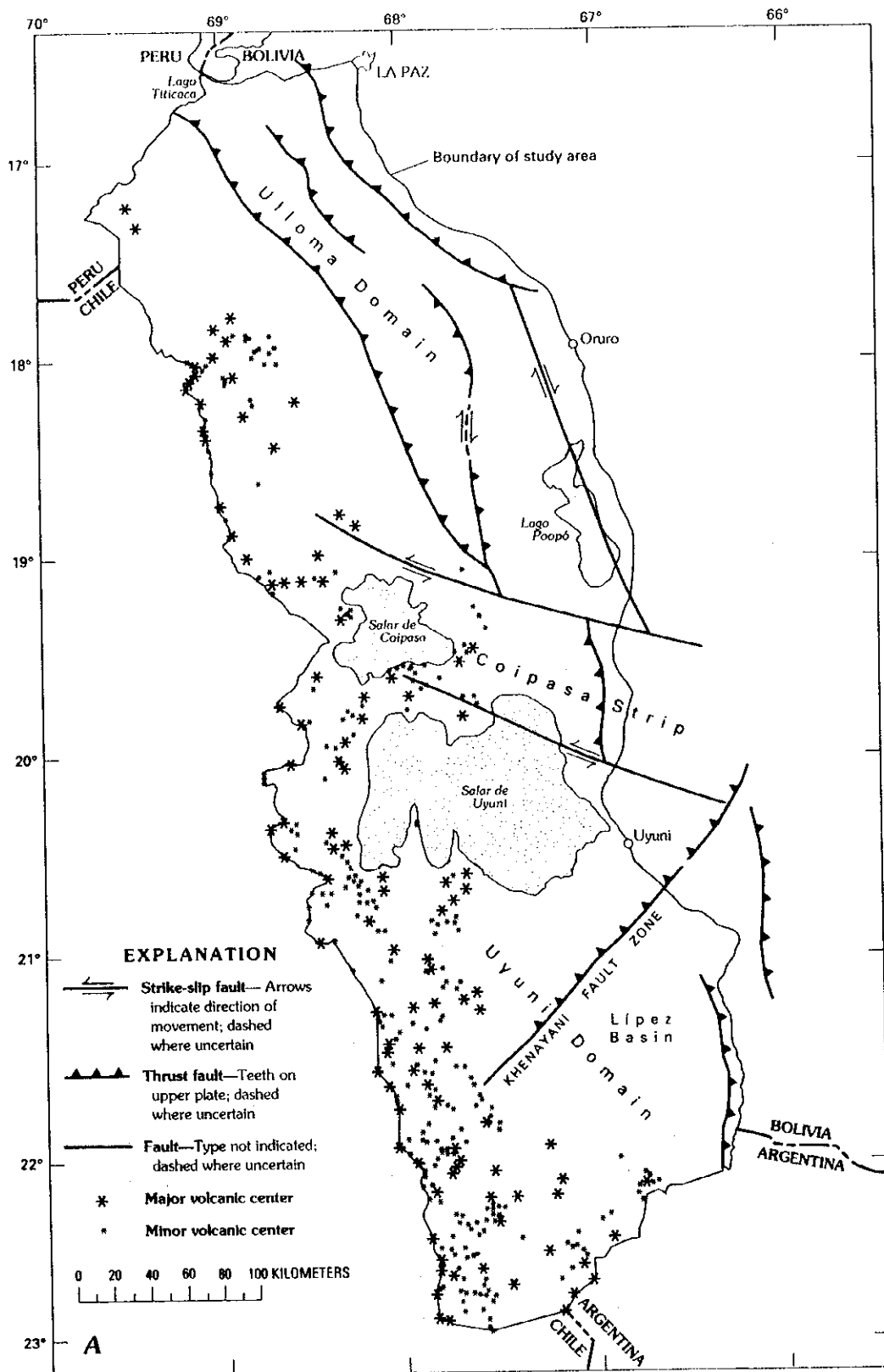


Fig. II -1-3 Schematic Tectonic Map of the Area

ーノ南部では大規模な噴火センターから火山岩や火山砕屑岩(ケウア(Quehua)累層)が堆積した。

鮮新世には大部分の噴火活動が西方に移動し、現在の西アンデスを形成している(Fig. II-1-1)。

第四紀は高度 4,300m 以上にある山岳氷冠によって特徴づけられ、さらに、鮮新世にまで遡る氷河作用や現世のアルチプレーノ全域の湖での、または一連の多雨湖での洪水作用を伴っている。

浸食および堆積による台地は湖の水面がやや高かったことを示し、河川堆積物がアルチプレーノの地形を埋めたため、今日の平坦な地形を形成した。

完新世はアンデスでは明瞭な乾燥気候を示し、その結果アルチプレーノ南部で塩湖、および塩分またはアルカリ分を含んだ湖を形成した。

そのような 200 以上の湖が蒸発塩(岩塩、石膏、シルバイト、炭酸ナトリウム、硫酸ナトリウム)や塩水(含 Li, B, K, Mg, NaCl, 炭酸ナトリウム, 硫酸ナトリウム)、硼素、ヘクトライト、珪藻土および粘土の資源を有している。

注目すべき資源はサラール・デ・ウユニで、世界最大の塩湖(10,582km²)であり、世界最大のリチウム資源(5.5 百万トン, 平均 423g/l; グランデ(Rio Grande)川の河口では 900g/l~4,000g/l)を有し、カリウム(1.10 億トン, 8.7g/l)と硼素(3.2 百万トン, 247g/l)を随伴している。

最近の塩湖での採掘は岩塩(年間約 1 万トン)と硼酸塩に制限されている。

1-1-2 火成活動

アルチプレーノやボリヴィア西アンデスにおける火成活動は、漸新世後期から中新世初期に開始し、大まかにはアンデス造山運動のインカ(Incaic)変動の最盛期に一致し、数回の中断期はあったが現在も続いている(Fig. II-1-1)。

初期の活動は漸新世~中新世の大規模な火山噴出複合岩体を形成し、アルチプレーノ南部やアルチプレーノの東西の境界に沿って貫入活動を引き起こした。

後期中新世の初期から鮮新世まで引き続いた大量のイグニブライトが、アルチプレーノ南部のカルデラ~楯状火山コンプレックスから噴出した。

西アンデスを形成しているアンデス弧の成層火山は、後期中新世の中期(約 7 Ma)に活動を開始し、イグニブライト活動の後期ステージと一致している。

歴史的な噴火活動は知られていないが、7つの成層火山が活動中の噴気孔を有し、12以上の火山は火道、溶岩流および溶岩円頂丘を残している。

アルカリ火山活動は、後期漸新世(28~21Ma)に西アンデスと西アルチプレーノで始まり、変形作用の最初の活発な時期に一致している。

同時に花崗岩系深成岩体がアンデスの南部(イリマニ(Illimani)、キムサ・チャタ(Quimsa Chata)、サンタ・ベラ・クルース(Santa Vera Cruz))に貫入しており、錫・タングステン・銀・鉛・亜鉛多金属鉱化作用(28~20Ma)と関連している。

ボトシのさらに南にある同様の鉱床、例えばコルキリ(Colquiri)およびチコテ・グランデ(Chicote Grande)鉱床は古生代の堆積岩中に胚胎しており、この時代の潜頭性プルトンに関係している。

マグマ活動の主要時期は中期中新世(17~12Ma)で、西アンデス、アルチプレーノおよび東アンデスを横切る異常に広がった島弧へのマグマ活動の東方“吐出”(breakout)を伴い、一般に、小規模の噴出(火山ドーム)と貫入岩体(ストック、シル)を形成している。

中新世後期(10~5Ma)は、地殻短縮の第二主要期であり、活発なマグマ活動はこの広い弧を横切って発生した。この活動は、東アンデスのロス・フライレス(Los Frailes)やモロコカラ(Morococala)のような成層火山、火山灰カルデラおよび主要なイグニブライト楕状平原によって特徴付けられる。

長期に及ぶフェルシクなマグマ活動は圧縮期に行われた。

ロス・フライレス地塊の極度に発達した珪質火山岩類は、多くの火山成ウラン鉱床や流紋岩に胚胎する錫鉱化作用を伴っている。

第四紀の火山活動は西アンデスとアルチプレーノ南部に分布している。

噴気性硫黄鉱床は、後期中新世から第四紀の成層火山の高所に生じており、高度粘土変質作用、珪化作用および明礬石を伴う。

広範囲の変質帯や硫黄鉱化作用は、通常氷河か火山コーン崩壊によって露出している。多くの硫黄鉱山が存在し、もっとも最大規模のものはスサーナ(Susana)鉱山で、4,000万トン(48~54%S)、または2.8億トン(18~35%S)の鉱量を保有している。

1-1-3 地質構造

ボリヴィアは中央大西洋海嶺から年間約 30mm の割合で西方に拡大している南米大陸プレートの一部を占め、東太平洋海嶺から年間 60mm の速度で東方に拡大しているナスカ海洋プレートに乗り上げている (Fig. II-1-4)。

東部ボリヴィアには南米クラトンの先カンブリア紀楯状地が露出し、西部ボリヴィアは古生代から現代までのアンデス山脈を形成している南米アンデスプレート (海洋性～大陸性) の縁に位置している。

ベニオフ帯は緩傾斜 ($5^{\circ} \sim 15^{\circ}$) とやや急傾斜 ($20^{\circ} \sim 30^{\circ}$) の部分に分けられる。

現在の火山活動は急傾斜部の上部にのみ発生しており、南米大陸の縁に沿って 3 火山帯を形成している。ボリヴィア西アンデスは中央火山帯 (CVZ ; $16^{\circ} \sim 28^{\circ}$ S) に属している。

ボリヴィアアンデスの下部の大陸地殻は異常に厚く、アルチプラーノの下では 70km に達する。

地震の研究によると、ナスカプレートはサブアンデス帯の下 600km の深さに達し、地震ギャップ (空白域) は 300km～550km 深に及ぶ。

ボリヴィアの地震活動は微弱で、大きな地震はほとんどない。

ボリヴィアのアンデスサイクルにおける最初の大規模変形作用は、後期漸新世～前期中新世 (27～19Ma) に起こり、それに呼応して造山フロントの堆積物がボリヴィアの西部から東アンデスに移動し、ボリヴィアアンデスが山脈として発達し始めた。

山脈の形成はアルチプラーノの先カンブリア紀の硬い基盤への圧縮の結果である。

衝上断層作用による主要な地殻短縮は東アンデスで発生し、サブアンデス帯の変形作用も開始した。

後期漸新世以降、アルチプラーノは厚い陸成層の堆積作用を伴う山間前地盆として機能し、東西アンデスでは小規模の盆地が形成された。

外部の前地盆は東部のサブアンデスのジャヌラ (ベニ・チャコ) 盆地へ移動した。

2 番目の規模の衝上断層作用は 11Ma～5 Ma に発生した。断層は主に東方の前地に向かっており、東アンデスの東側では西方へ向かう押し被せ衝上断層を伴う。

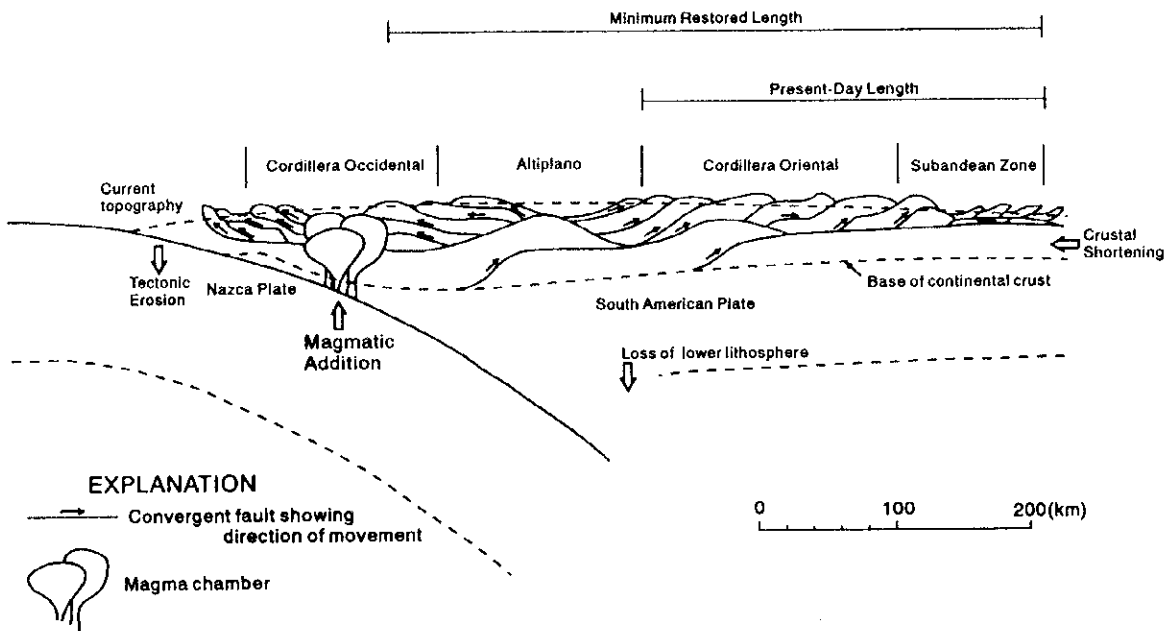


Fig II-1-4 Crustal section of the structure and growth of the Central Andes (Sheffels, 1990)

東アンデスでは、短縮と揚圧力（アップリフト）の各ステージの後に大規模な浸食面が発達し、中期中新世のチャヤンタ (Chayanta) 面や後期中新世～第四紀のサン・フアン・デル・オロ (San Juan del Oro) 面が存在する。

サブアンデス盆地の中央部や南部ではチャシケンセ (Chasiquense)（後期中新世）を通じて海進がおこった。

アンデス造山運動は、主にアップリフトによる地殻膨張を伴った衝上断層作用による地殻短縮の結果であると考えられる。

短縮は若い海洋地殻の低角度の沈み込みによるものとみられる（現在の角度は 30° ，中新世の予想角度は 20° ）。

漸新世後期の変形作用の開始は、ナスカプレートと南米プレートの収斂とほぼ一致している。

中央アンデス造山帯は、デコルマンの有る無しで規制された衝上断層の差別的進展の結果として、地殻短縮の主要な時期に発達した。オロクラインはサンタ・クルーズ (Santa Cruz) 地区で発達し、そこでは下部オールドビス系の黒色頁岩の盆地が広く分布した。

1-2 調査地域の鉱化作用概要

西アンデス、アルチプレーノ、東アンデスを含む地域は金属鉱床が集中する地帯であり、そこにはアルカリ玄武岩に伴う銅鉱化作用や古第三紀の赤色砂岩層に伴う堆積性銅鉱化作用、ボリビア型と称され錫・銀を主体とする多金属鉱化作用及び金・銀を主体とする浅熱水鉱化作用が知られている (Fig I-3-4, Fig II-1-5)。

東アンデスからアルチプレーノにかけてボリヴィア型多金属鉱脈鉱床が認められ、アルチプレーノ中央部の北から南にかけてはアルカリ玄武岩や赤色砂岩に伴われる銅鉱床が存在する。

西アンデスには、中新世のデイサイト質火山岩中に胚胎する小規模な浅熱水性金・銀鉱脈が知られており、これらの一部は、銅、鉛、亜鉛、ビスマスなどの硫化鉱物を伴っている。

アルカリ玄武岩および古第三紀の赤色砂岩層に伴う堆積性銅鉱化作用

アルチプレーノ中央の北から南にかけて分布が知られているが、比較的規模が小さくその大部分がすでに採掘済みである。

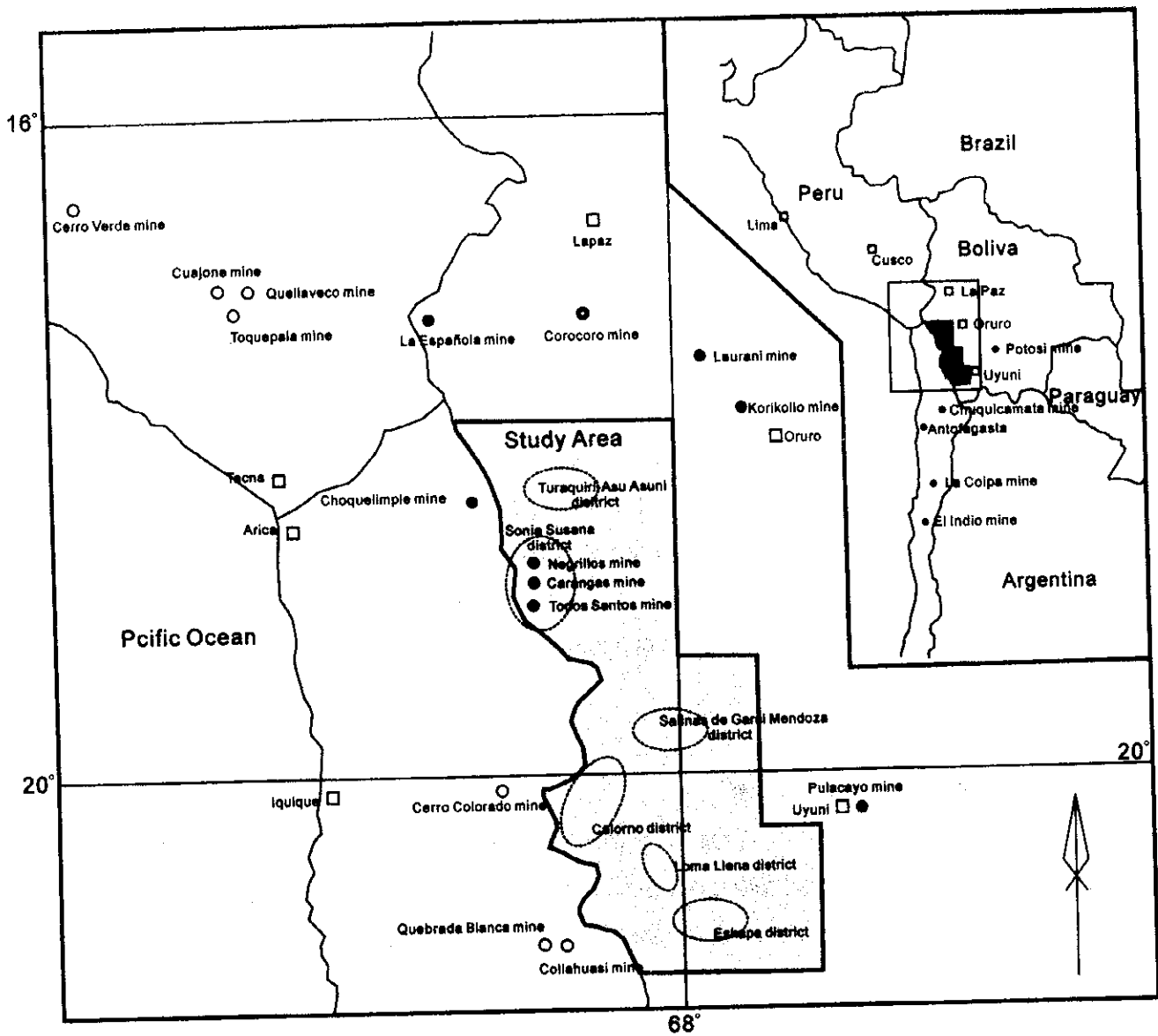


Fig. II -1-5 Location Map of the Ore Deposits and Showings in the Adjacent Area

漸新世後期のアルカリ玄武岩に自然銅や赤銅鉱などが細脈状もしくは鉱染状に認められる鉱床と、古第三紀の赤色岩層中に黄銅鉱、斑銅鉱、自然銅、二次銅鉱などが層状や鉱染状に認められる鉱床の2つのタイプがある。

後者のタイプの代表はコロコロ鉱山で、このためにコロコロ型銅鉱化作用と呼ばれている。鉱床は、幅15mで延長4kmにわたって分布しており、1952年以來の採掘量は粗銅7百万トン（含有銅金属量で約50万トン）に達し、鉱石には平均15g/tの銅が含まれていた。

コロコロ型鉱床は、還元環境で形成された陸成の赤色砂岩、礫岩中に胚胎する自然銅、赤銅鉱、輝銅鉱からなる鉱床で、層準規制を受けた層状の鉱化部とその下位の鉱染部で構成されている。

低温浅熱水鉱床の銅鉱化溶液が浸透性地層に染み込んで生成したという後成々因説と、堆積型ウラン鉱床に見られるように、低温銅鉱化溶液が地下水状になって浸透性地層に染み込んで鉱染沈殿して生成されたとする2つの解釈がある。

新第三紀火山活動に関するボリヴィア型多金属鉱脈鉱床

ボリビア型多金属鉱脈鉱床は、中～浅深度に貫入した火成岩に関する細脈や微脈群で形成される鉱床で、錫、銀、金、銅、鉛、亜鉛、タングステン、ビスマス、アンチモンなど多種類の金属の一部ないしは全部を含有している。

鉱床は安山岩質～デイサイト質な貫入岩（岩株、岩脈群）に関係しており、火山岩と関係あるものはまれで、主に古生代の堆積岩や変堆積岩（変成岩）が分布する東アンデスと、陸成堆積物や火山岩が堆積したアルチプラーノに存在している。

これらの鉱床の多くは垂直や水平方向への連続が良好である。（ポトシのセロ・リコ鉱山の場合、水平延長2km、稼行中の最下底部は鉱化体の最上部より900m深部にあり、鉱化部の下限については明らかとなっていない）

鉱石鉱物は、大部分の鉱床で、幅が10cm～2mの個々に独立した脈に含有されており、また、脈の集合部や微脈群などにもみとめられている。

鉱物組み合わせは極めて複雑であるが、鉱脈の90%（重量比）以上が黄鉄鉱、白鉄鉱、磁鉄鉱などの硫化鉱物で構成されており、非硫化物の脈石に乏しいのが本鉱化作用の特徴である。

熱水変質では、石英—絹雲母—黄鉄鉱の組み合わせが特徴的で、鉱床上部や外郭部には粘土化が進み明礬石を含む変質部が存在している。

鉱床生成の時期は三畳紀、漸新世、中新世の3時期とされているが、大部分の鉱床は中新世(中～後期)に形成されている。

流体包有物の均質化温度と塩濃度の測定結果や地質層序の復元などから、大部分のポリビア型多金属鉱床は地表下0.5 km～2 kmの深度で形成されたと推測されている(Fig. II-1-5)。

アルチプラーノのポリヴィア型多金属脈鉱床は、上部第三系～第四系に覆われ解明されていない部分もあるが、相対的に錫とタングステンが少なく銅に富む銅・鉛・亜鉛脈鉱床が多い。

鉱床生成の時代は中新世とされており、東アンデスの鉱化作用に見られる東から西への帯状配列の一部をなしていると解釈されている。

様々な鉱床タイプが知られているが、次の2つに大別される。

銀と錫に富む鉱床タイプ

本タイプの鉱化作用は東アンデスに見られるもので、銀—錫—鉛—亜鉛—タングステン—ビスマス—金などの鉱物学的に複雑な組み合わせを有している。

代表的な鉱床としてセロ・リコ・デ・ポトシ鉱山、プラカヨ鉱山、ワヌニ鉱山などが挙げられる。

銀の硫酸塩鉱物に富む鉱床と、上部銀ゾーンの削剥(浸食)が進んで下部の錫ゾーンが現れている鉱床の2種類がある。

銀、金および銅に富む鉱床タイプ

本タイプの鉱化作用はアルチプラーノに見られ、その代表として現在稼行中のコリ・コージョ鉱山が挙げられる。

コリ・コージョ鉱山は銀、金、少量の銅を伴う鉱床で、外観上は含金・銀硫化鉄鉱床に類似しているが、鉛、亜鉛、アンチモン、錫などの存在が認められていることから多金属鉱床に分類されている。

コリ・コージョ鉱山

本鉱山はオルロ県に位置し、オルロ市の北西4.5 km、ラ・ホヤ地域の丘陵(標高3,700m～3,900 m)に存在している。

EMPRESA UNIFICADA 社(EMUSA)が、1977年に鉱区を獲得して探鉱を実施(1980年～1988年)

した結果、低品位大鉱量の金鉱床が（酸化鉱 1,000 万トン、金 1.65g/t、銀 25g/t、硫化鉱 5,300 万トン、金 2.3g/t、銀 13.8g/t）が確認され、露天採掘による操業が開始（1993 年）された。

現在の操業は INTI RAYMI 社（米国 Battle Mountain Gold 社 88%、ボリビア EMUSAT 12%）が実施しており、年間産金量 32 万オンス（金粗鉱品位 2.4g/t 程度）の、ボリビアで唯一の金鉱山である。

鉱床は、シルル紀の頁岩（カタピ層）と N25° W 方向の構造線に規制されて貫入した中新世のデイサイトドーム中に存在し、南から北にコリ・コージョ、ジャジャグア、ラ・パルカの 3 鉱体が見つかっている。

主要な鉱化部は、走向 N10° ~20° E、傾斜 75° ~85° NW を有す含金黄鉄鉱細脈とその周囲の黄鉄鉱鉱染帯で構成され、個々の鉱脈の幅は数 mm ~ 1 m、鉱床の中心部には鉱脈密集帯（幅 200m）が認められている。

鉱脈中の鉱石鉱物は、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、白鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、四面銅鉱、輝安鉱、鶏冠石、エレクトラムなどで、脈中には石英がほとんど含まれていない。

金は、その 2/3 が黄鉄鉱脈中に含有され、残りの 1/3 が母岩中に鉱染する黄鉄鉱に伴われている。

新第三紀火山活動に関する浅熱水性金・銀鉱床

火山岩に胚胎する浅熱水貴金属鉱床は、空間的にも時間的にも成層火山の噴火センター、カルデラおよび火山コンプレックス内のドームに関係している。アデュラリアー絹雲母型（低硫化系）と硫酸酸性型（高硫化系）の両方の鉱床を含んでおり、それぞれサブタイプが知られている。

年代測定結果は、大部分の貴金属鉱床が中新世中期（17~9Ma）に、いくらかは鮮新世—更新世（5~1.2Ma）に形成されたことを示している。そして現在も、活熱水システムや噴気段階の成層火山に付随して形成中と考えられている。

調査対象地区の鉱床は高硫化系鉱床で、マグマ起源の低酸性熱水が天水と混合することなく上昇して形成されたと考えられており、強度の粘土化変質を伴っている。

鉱化作用は、黄鉄鉱、硫砒銅鉱脈の発達で特徴づけられ、周辺部にはベースメタルと銀を伴う脈が発達している。

このタイプの鉱床としてラウラニ(Laurani)鉱山が挙げられる。

ラウラニ鉱山

本鉱山はラパス県に位置し、ラパス市の南東 125 km、オルロ市の北西 90 kmの山中(海拔約 4,100 m)に存在している。スペイン統治時代には銀・銅を対象とした採掘が行われている。

鉱床は、古生界(シルル紀の珪岩、頁岩、砂岩)と白亜紀の赤色陸成層(頁岩、赤色砂岩、礫岩)に貫入した後期中新世(8.4Ma)のデイサイト質～安山岩質複合岩体(ドーム、溶岩、火砕岩)中に存在する鉱脈である。

デイサイト質貫入岩には、鉱化作用を規制する3方向の割れ目(N60°～70°E, N4°～20°E, N20°～40°W)が発達し、このうちN60°～70°E方向の割れ目に主脈(幅最大数m, 延長2km)が形成されている。

鉱石鉱物は、含金黄鉄鉱、硫砒銅鉱、四面砒銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、白鉄鉱、各種銀硫酸塩鉱物、黄錫鉱などで、脈石として重晶石、石英、明礬石などが認められている。

母岩には、中心部から周辺に向かって、石英・明礬石帯、強度の粘土化帯、プロピライト帯へと変化する熱水変質作用が認められている。

本鉱床は多金属鉱床と浅熱水性鉱脈の両方の性質を有しており、最初は銀・銅を対象に採掘され、その後は金・銀を主体に銅を対象として採掘された。

BHPその他の外資系企業により金を対象とした試錐探鉱が行われ、小規模な金・銀鉱化部(鉱量2百万トン、金2.5g/t, 銀220g/t, 銅1.0%)を捕捉していると言われている。

浅所の半深成貫入活動に関係する浅熱水性鉱床

ラ・エスピノーラ(La Española)鉱山の小規模に採掘された石英脈は、明礬石・カオリンを伴う高硫化系浅熱水鉱脈と言われており、その他の鉱化作用は、ボリビア型多金属鉱脈鉱床に比べベースメタルや錫の含有に乏しい。

これらの珪化変質を伴う鉱化作用は火山活動または浅い半深成岩活動に関係して形成された浅熱水性の貴金属鉱床と解釈され、金、銀、硫化鉱物鉱染状鉱化部の下部には斑岩型鉱化作用の存在(斑岩型金鉱化作用の縁辺部(上部)に相当すると考えられている)も期待されている。

ラ・エスピノーラ地域の珪化・絹雲母化変質帯を伴う黄鉄鉱鉱染帯は、斑岩型鉱化作用(銅・金)をターゲットとして、ASARCO社による試錐探鉱(7孔)が行われている。

ラ・エスピノーラ鉱山

本鉱山はラ・パス県に位置し、ラ・パス市の西 187 km、サンチャゴ・デ・マチャカ部落の西北西 40 km、チリとの国境から東へ5～6 km離れた海拔約 4,300mの西アンデス山中に存在して

いる。

鉱床は中新世前期～中期の火山岩や火山砕屑岩（アバロア層群）に胚胎され、これらの周囲には後期中新世の新しい火山岩類が分布している。

これらの火山岩類には幾つかのデイサイトが貫入し、火山岩ドームや溶岩流などが形成されている。主要なデイサイト質マグマの活動期は、年代測定の結果から約 11Ma（中期中新世）と考えられている。

鉱化作用は、強い粘土化作用と部分的に珪化作用を受けた二つのドーム状デイサイト貫入岩体（サン・ヘロニモ岩体、サンタ・ロサ岩体）に存在し、変質岩体の周辺にはプロピライト化変質が認められている。

粘土化した変質岩体中に珪化の著しい破碎帯が存在し、石英・閃亜鉛鉱・方鉛鉱・硫砒銅鉱・黄鉄鉱脈や低品位の含金黄鉄鉱・黄鉄鉱脈が認められている。

1-3 地区別地質鉱床各論

西アンデスやアルチプラーノには多数の鉱床・鉱徴地が知られている。主要なものとしては、次のようなものがある。

1-3-1 トラキリ地区

トラキリ地区はオルロ市の西 115 kmの西アンデスの北部に位置し、アルチプラーノとの境界部に近い。

基盤に一連の火山砕屑岩があり、その上にマウリ累層の流紋岩質火山灰凝灰岩が覆い、最上位に強く溶結したカルデラ内トラキリ凝灰岩、安山岩質～デイサイト質溶岩流および角礫が分布する。

火山砕屑岩の放射年代から、これらの火山岩類の噴出時期は、5.3Ma（中新世後期末）と考えられている。

スペイン統治時代に細々と稼行された小規模な銀、金、鉛、亜鉛鉱山と、いくつかの鉱徴地が存在している。

鉱床は浅熱水性の多金属鉱脈型と考えられ、ベースメタルと貴金属鉱物の組み合わせが見られる。鉱石は方鉛鉱、閃亜鉛鉱、硫砒鉄鉱、四面銅鉱および黄銅鉱で、脈石として石英、玉髄質石英、重晶石、方解石、黄鉄鉱、赤鉄鉱およびマンガン酸化物を伴う。

この鉱床はアデュラリアー絹雲母浅熱水型に酷似し、生成はトラキリカルデラの再生期に関

連していると思われる。

1-3-2 アス・アスニ地区

アス・アスニはオルロ郡サハマ(Sajama)にあり、トラキリの西方に隣接している。

アス・アスニ山は鮮新世(4.1Ma)の成層火山(海拔 5,088m)で、先カンブリア期の基盤の上に発達していると思われる。

安山岩質～玄武岩質および安山岩質の斑状溶岩流と火山砕屑岩類が薄く互層している

これら全ての岩石は局所的に氷河堆積物、崩積堆積物および漂砂堆積物で覆われている。

火山は中程度に浸食され、火口内に広い熱水変質を示す。

アス・アスニ変質帯は 7.5km²に及び、珪化帯を高度粘土変質帯、中間粘土帯および緑泥石化帯が取り巻く。変質岩中に、金 0.12 g/t が報告されている。

アス・アスニは高硫黄系浅熱水鉱床と考えられる。

1-3-3 チュルカニ地区

チュルカニはオルロ郡サハマに位置し、アス・アスニ地区の約 30km 西にあたり、高度は海拔 4,000m～5,032m である。

本地区の火山岩類は、上部中新世から更新世までに発達した流紋岩質凝灰岩や安山岩質溶岩流である。安山岩質溶岩流は顕著な火山円錐丘を構成し、様々な程度の浸食を受けている。

変質帯はチュルカニ火山の浸食した中央部に位置し、チュルカニ溶岩が 7 km² 以上に亘って変質している。

変質作用は珪化作用、高度粘土変質作用、中間粘土変質作用およびプロピライト化作用である。

鉱化作用は主に黄鉄鉱と黄銅鉱の硫化物で、これらの鉱物は岩石中に鉱染しているかまたは石英脈中に見いだされる。金は 2.16g/t が報告されている。

チュルカニは高硫化浅熱水鉱床と考えられる。

1-3-4 ソニア・スサーナ地区

ソニア～スサーナ地区はチリとの国境近く、オルロから約 279km に位置している。

本地区は浸食した層状火山コンプレックスで覆われている。

ネグリージョス部落とフラマニ集落間の北東側山腹に凝灰岩と溶岩流の厚い互層(カランガス層群)が存在し、ビルージョ集落の北東では走向は北西、北東へ傾斜(40～50度)している。

これらの互層は、断層（方向は不明）で南西側の成層火山堆積物（ネグリージョス層群）と接しており、この断層には温泉の湧出が認められている。

火山砕屑岩の放射年代から、これらの火山岩類の噴出時期は 5.3Ma（後期中新世末）と考えられている。

プロピライト化変質が広く分布し、粘土化作用や珪化作用は局所的に認められる。

粘土化作用は広域的プロピライト化変質作用にオーバープリントしたものと考えられる。

少量の石英—黄鉄鉱細脈が露頭で観察されている。これらの全ては浅熱水性の石英と思われるが、黄鉄鉱以外には肉眼で観察される硫化物は認められない。

黄鉄鉱が角礫化帯では一般に見られ、細脈状や割れ目を被覆している。

角礫帯と接触する安山岩は強く破碎されており、まばらに細粒の黄鉄鉱を含む。

金の最高値(16g/t)がセロ・パコ・カウア(Co. Paco Khaua)で報告されている。

変質を受けた岩石類には低水準の金、銀、鉛、亜鉛異常が捕捉されており、浅熱水性貴金属鉱床おそらく多金属鉱脈型鉱床が賦存する可能性が期待されている。

1-3-5 カランガス地区

本地区はチリとの国境の東、約 20km に位置し、オルロ市から西へ約 240km である

地域内には休止中の 3 鉱山地区、トードス・サントス(Todos Santos)、カランガス(Carangas)、ネグリージョス(Negrillos) があり、他にもいくつかの鉱徴地が存在する。

本地区の鉱化作用は、銀に富む多金属鉱脈や火山岩中の鉱染として特徴づけられる。

鉱床母岩は一連の層状安山岩溶岩、角礫岩、珪質火山砕屑岩、溶岩円頂丘及びカランガス累層に属する浅所貫入岩類である。

トードス・サントス鉱床：

トードス・サントス鉱床は、主に小さな鉱脈や流紋岩ドームの東端付近の凝灰岩や角礫岩を横切る鉱染した断層帯から構成されている。流紋岩はストックと解釈されていたが最近になってドームとされた。

流紋岩ドームが断層帯に貫入し、鉱化作用もまたこれに規制されている。

鉱床母岩は著しく粘土化した凝灰岩と角礫岩である。

鉱石鉱物は鉱染状黄鉄鉱、黄色閃亜鉛鉱および暗灰色鉱物（四面銅鉱？）からなる。

Compañía Minera del Sur (COMSUR) は試錐によって、鉱量 1 百万トン、金品位 0.7g/t、銀品位

70g/tを計上している。

カラングス鉱床：

カラングス村近くの鉱床は2つの低い丘に露出しており、幅12cmの銀に富んだ小規模多金属鉱脈と鉱染からなっている。両者とも、流紋岩質の小貫入岩と角礫岩近くのカラングス累層の火山砕屑岩中に生じている。

山頂付近の流紋岩岩脈の黒雲母によるK-Ar年代測定では、 $15.4 \pm 0.5\text{Ma}$ （中期中新世）が得られている。

カラングス鉱山は、銀・鉛の鉱床で、スペイン統治時代に採掘され、その後も1950年代頃まで稼行されている。

最も顕著な変質作用は、珪化作用、粘土化作用や黄鉄鉱化作用で、エスピリト・サント丘には走向北70西の2つの変質帯が認められている。

珪化した凝灰岩に含まれる酸化した脈から採取した試料に銀700g/t、鉛0.6%、亜鉛2%が、母岩の凝灰岩には銀50g/t、鉛0.5%の含有が報告されている。

鉱石鉱物は細粒で砒四面銅鉱、閃亜鉛鉱、淡紅銀鉱、濃紅銀鉱、自然銀、黄鉄鉱、方鉛鉱が含まれ、若干の黄銅鉱が伴われている。

脈石鉱物は玉随質や蛋白質な石英、重晶石、菱苦土石、菱鉄鉱などである。

カラングス鉱床地域の鉱床は、中央アンデス火山弧の新第三紀火山活動に伴われる浅熱水性貴金属鉱脈鉱床の典型的な例と考えられている。

ネグリージョス鉱床：

ネグリージョスの町近くの鉱徴は、安山岩質溶岩流や火山角礫岩中に生じた銀を含む鉱脈、細脈および角礫帯から構成されている。

これらの火山岩類はカラングス累層の一部かまたは若い成層火山と考えられる。

2坑道や無数の探鉱跡の多くは明らかにスペインの統治時代に遡る。

細脈類の母岩は著しく粘土化しており、まばらに黄鉄鉱が鉱染している。

USGS, 1075によれば、鉱床の品位は Au; 0.008~0.10ppm, Ag; 300~1,000ppm, Pb; 20,000ppm 以上, Zn; 5,000~10,000ppm, Cu; 7,000ppm を示す。

1-3-6 サリーナス・デ・ガルシ・メンドーサ地区

本地区は、ウユニ塩湖とコイパサ(Coipasa)塩湖の間の山脈中(標高 3,800m~4,300m)に位置し、オルロ市から南南西約 260km にある。

漸新世~中新世の安山岩溶岩流、角礫岩、凝灰岩および火砕流堆積物が、鮮新世~更新世の流紋岩や粗粒斑状デイサイトの多数の小~中規模岩体によって貫入されたり、被覆されたりしている。

これらの成層火山の溶岩流については、サリーナス・デ・ガルシー・メンドーサの北のコラコラ山で $4.5 \pm 0.3\text{Ma}$ 、トヌパ山(Cerro Tunupa)の北斜面で $1.8 \pm 0.2\text{Ma}$ といずれも鮮新世前期の年代が得られている。

一般に、地区内には珪化作用から始まって、種々の度合いの粘土化作用を経て著しくプロピライト化した岩石までの強い熱水変質作用が観察される。

広範囲な粘土化・珪質変質作用がモコ(Mokho)、チュフサ(Chufusa)およびチョルカ(Chorka)の貫入岩の中心部に認められる。

モコおよびチョルカの頂上にある厚い角礫化したシリカキャップは、赤鉄鉱を伴ってカオリン化帯を覆っており、熱水システムの上部を示す。

珪化した放射状岩脈群や小規模珪化貫入岩のような広域変質作用に関連した貫入岩類の多様性から、金を含有した多金属鉱化作用の鉱染状鉱床や鉱脈型鉱床のポテンシャルが高いことを示唆している。

マリア・ルイサ(Maria Luisa)、マルガリータ(Margarita)、グアダルツペ(Guadalupe)及びラ・デセアード(La Deseada)鉱山では放射状分布をした岩脈や鉱脈に伴われる。

地区の鉱物学や地質環境の一般的特徴はボリヴィア型多金属鉱脈鉱床に類似しており、浅熱水乃至中熱水鉱化作用である。

鉱山および探鉱地の概要は以下の通り。

カングーラ(Cangura) (カンチャ山(Cerro Kancha)) : 多孔質シリカ帯

ラ・デセアード : 休止鉱山。埋蔵鉱量 2.5 百万トン (Au;0.4g/t, Ag;280g/t) および積み置き鉱量 3 万トン (Au;0.4g/t, Ag;400g/t)。地下坑道約 30m。

グアダルツペ : 休止鉱山。埋蔵鉱量 2.5 百万トン (Au;0.4g/t, Ag;280g/t) および積み置き鉱量 2 万トン (Au;0.4g/t, Ag;400g/t)。立坑および水平坑道約 20m。

より高所で貫入の中心に近い場所にあるグアダルツペ鉱山では、硫砒銅鉱—石英—重晶石を

伴う垂直的・水平的帯状分布が認められる。

マリア・ルイサ：休止鉱山。COMIBOL 所有鉱区。試錐結果不良。坑道 500m～1,000m？。

鉱床はサリーナス・デ・ガルシー・メンドーサ部落の南西 10 km、海拔 3,900mの山中に存在している。

鉱床は中新世のデイサイト中の珪化された断層帯に存在する石英脈（サント・ドミンゴ脈）で構成され、平均脈幅は約 2m（1m以下～6m）でその延長は 2 kmにおよんでいる。

地表での脈の方向は N75° W、坑内では走向が E-W で垂直か高角度で北へ傾斜している。

平均約 2～3%の黄鉄鉱と、閃亜鉛鉱、少量の黄銅鉱、黒色～銀黒色鉱物（方鉛鉱、銀ゆう銅鉱、脆安銀鉱、銅鉱）などを含む 1%の金属鉱物が脈全体に含有されている。

金属鉱物は細粒（まれに 2 mm以上のももある）で、鉱染状または径 1～5 cmの塊状をなして存在している。

石英が最も多い脈石鉱物で、これらの石英は白色～暗灰色で塊状～等粒状組織を呈し、10重量%以上の空隙を有している。

規模の小さな副次脈（幅が 20～60 cm、走向北 40 西、北東へ 60 度で傾斜）が存在し、10～40%の金属鉱物を含有している。

坑内の脈から採取した試料には銀 82～1,400ppm、金 0.1～0.85ppm、鉛 1,100～59,000ppm、亜鉛 5,800～10,000ppm、銅 360～1,400ppm が検出されている。

本鉱床は、約 20 年前まで鉱山公社 (COMIBOL) が操業を行い、数十万トンの鉱石を出鉱したと推定される。

サン・ミゲル：休止鉱山。試錐結果不良。坑道 300m。

サン・ミゲル鉱山の坑口から 150mの間に、幅がそれぞれ 8mと 12m の 2つの珪化破碎帯が存在している。

これらの珪化破碎帯の走向は N50° ～60° W、傾斜は垂直で、その中に幅 25 cmの石英脈が認められる。石英脈間の火山碎屑岩はプロピライト化、粘土化、珪化、絹雲母化などの変質を受けている。

珪化帯中には鉄やマンガンなどの染み込みが普遍的に見られるが金属鉱物は認められず、銀、金、鉛、亜鉛などの異常も捕捉されていない。

マルガリータ：休止鉱山。試錐結果不良。坑道 700m～800m。

マルガリータ鉱山はサン・ミゲル鉱山と同じ鉱化帯に属しており、前者と後者（約 50m上方

に存在) の坑内は立坑により繋がっている。

鉱化部分は不連続で、最も連続性の良い鉱化部では破碎化が著しく約 50~70mの延長が確認されている。

その中に平均 20~30% (3~90%) の方鉛鉱や閃亜鉛鉱が存在しており、数パーセントの黄鉄鉱も普遍的に存在する。

脈石鉱物の大部分は石英で、最も普遍的なのは塊状~板状を示し、無色、白色あるいは赤色(赤鉄鉱を含有)を呈す。

サン・ミゲル鉱山やマルガリータ鉱山の母岩(タグア層群)は、大部分がプロピライト化変質を受け、脈の近傍には強い粘土化が見られるがその範囲は外側 1~2m程度に限られている。

珪化作用は破碎帯中に限られており平行な割れ目規制を受けた石英脈が存在し、方鉛鉱(約 3%)と閃亜鉛鉱(1%)伴う石英脈もある。

これらの石英脈には銀 14~20ppm、金 0.05~2.1ppm、鉛 5~9%、亜鉛 3,300~5,000ppm が検出されているが、脈の 1m以内の母岩には、銀、金、鉛、亜鉛の顕著な異常は捕捉されていない。

本鉱床は鉱山公社(COMIBOL)が約 20 年前まで操業を行い、鉱石を数千トン出鉱したと推定される。

1-3-7 カロールノ地区

本地区はオルロ市の南西約 300 km、エンペクサ(Empexa)塩湖の西に位置し、海拔約 4,500mの西アンデス山脈中に存在している。

かなり新しい鉱徴地でこれまで本格的な調査が行われたことはなく、変質を受けた火山岩類の年代なども明らかではないが、火山活動は上部中新世から更新世に進展し、イグニブライトの平坦地や火道物質を伴うデイサイト質/安山岩質成層火山として、先古代三紀の岩石を被覆しているとされる。

本地区内には著しい熱水変質作用が認められる。

この変質帯下部は、カラングス地域などと同じような漸新世~中新世の火山岩類や浅所成半深成岩類が存在するか、あるいは浸食などによってその一部が露出している可能性がある。

1-3-8 サン・クリストーバル地区

本地区は、アルチプラーノ南部の広大な平原の西端部でウユニ市の南西約 80kmの海拔約 4,000mに位置している(ラ・パス市から 408km)。

この地区には 8つの多金属鉱脈鉱床が知られており、17 世紀初期の銀の発見以来断続的に採

掘された。現在はトルドス鉱床だけが鉱山活動を行っている。

火山コンプレックスは火山角礫岩、火山灰および溶岩から構成され、安山岩質、デイサイト質岩株やドームにより貫入されている。また、第三紀の堆積岩類を被覆している。

鉱床は、中新世の直径約 20km の火山コンプレックス中に胚胎される浅熱水多金属鉱化作用で脈状の石英・重晶石・閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱（細脈群）と黄鉄鉱・銀鉱物（含銀方鉛鉱）の鉱染部で構成されている。

最も大きなトルドス鉱山は露天掘りと坑内掘りの組み合わせで稼行された低品位の鉱床で、青化法（シアン）によるヒープリーチングで銀が回収されている。

トルドス鉱床では、デイサイト質斑岩が安山岩質斑岩の大きな岩体に貫入し、変質したデイサイト質斑岩と新鮮（非変質）なデイサイト質斑岩の K-Ar 年代はそれぞれ、 $8.5 \pm 0.3\text{Ma}$ と $8.0 \pm 0.1\text{Ma}$ （いずれも後期中新世）を示している。

トルドス鉱床は北東方向を示す一連のほぼ垂直の脈で構成され、長さ 300m 間にわたり数カ所のレベルで採掘されている。

これらの脈は幅 1m のものもあるが平均的には 30cm 以下で、主に赤鉄鉱、重晶石、菱鉄鉱、所によっては少量の石英や磁鉄鉱が含まれている。

主な鉱石鉱物は自然銀や輝銀銅鉱で、少量の黄銅鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、濃紅銀鉱、輝安銅銀鉱なども認められている。

トルドス鉱山では、過去に採掘された脈間の粘土化したデイサイト質斑岩中に発達する網状の含金黄鉄鉱細脈や微脈群が、露天採掘の対象とされている。

Andean Silver 社（米国 Apex Silver Mines 社の子会社）はこれら脈状の含銀黄鉄鉱に加え、銀を少量含有する黄鉄鉱鉱染鉱化部や網状脈中に存在する方鉛鉱、閃亜鉛鉱、四面銅鉱などを対象とし、トルドス鉱山他 7 つの鉱山すべてを含めた露天採掘による大規模な再開発を計画している。

このため、これまで総延長 142 km におよぶ試錐探鉱が行われ、1998 年には総計（確・推鉱量）1 億 2 千万トンの鉱量（銀 1.78oz/t、鉛 0.5%、亜鉛 1.5%：219 百万オンスの銀、0.6 百万トンの鉛および 1.8 百万トンの亜鉛を計上しており、鉱化限界は不明。）を捕捉し、世界でも最大の銀鉱量を有する鉱山の 1 つであると発表している。

2001 年に操業開始が予定されている。

1-3-9 エスカパ地区

本地区はウユニ市南西 125km に位置しており、ウユニ塩湖の南端のエスカパ火山山腹部（海拔 4,200m）に存在している。

第三紀後期の成層火山のエスカパ山（5,145m）とカラ・カチン（Khala Katin）山が、パストス・グランデ（Pastos Grande）カルデラ北方に存在しており、これらの火山は中新世から更新世のイグニブライトと上部ケウア（Quechua）累層の火山砕屑岩から構成されている。

エスカパ鉱山は、エスカパ火山の北斜面の標高 4,300m～4,250m に存在する小規模な鉱脈型銅鉱床（南北系の 2 条の網状脈帯）である。スペイン統治時代に発見され稼行された鉱床で、その後 1968 年～1971 年に付近の採掘共同組合により細々と採掘された。

鉱床はデイサイト～流紋岩質斑岩の溶岩あるいはドーム中に存在し、走向 N10°W の不規則に砕けた角礫化帯（破碎化帯）が採掘されている。

鉱石鉱物は主に黒銅鉱や珪孔雀石で若干の孔雀石が存在している。

脈石鉱物として白色～淡緑色のもろい方解石が角礫や石塊の大きな隙間を埋めて部分的に存在している。

銅に富む鉱脈中には銀（30ppm）と少量の鉛（3,000ppm）が検出されている。

エスカパ火山体の斜面の浸食された中央部には広い範囲（12km² 以上）に白色～褐色の主に粘土化変質が存在している。

酸化鉄の斑点が著しく、部分的に角礫間の隙間を埋めて板状の重晶石結晶が見られる変質帯の北西方向の破碎帯を対象として、過去に調査が行われている。

昔、この変質帯を調査した技師が採取した試料（1917 年）に金 5.5oz/st、銀 30.5oz/st が含まれていたと言われるが、それがどこから採取されたかは不明である。

本地区の南部において、カナダの探鉱会社（Samex）が探鉱を実施した。

1-3-10 チリ共和国の鉱床

チリにおける数カ所の貴金属鉱床地や熱水変質帯を参考のために検討した。それらは、新第三紀の火山岩中に胚胎している。

新第三紀火山活動と貴金属鉱化作用の成因的關係が良く知られ、良く研究されている 3 箇所とポーファイリー銅型鉱床のコジャワシ鉱山を示す。

チヨケリンピエ(Choquelimpie) 鉱山(Au, Ag)

本鉱山はチリ共和国第1州に位置し、アリカの東 115 kmのボリビア共和国との国境から西へ約 10 km離れたアンデス山中(標高, 4,860m)に存在している。

17世紀のスペイン統治時代に銀が採掘されたとの記録があり, 1988年に Contratural Minera Vilacollo社(Shell Chile社, Westfield Minera社, Citibank社)により露天採掘(5,500トン/日)とヒーブリーチング操業が開始された金・銀鉱山である。

この地域の火山活動は中新世末期から現世までおよび, 主要なN60°E系の線構造とN35°E系の断層との交会部に存在している。

チヨケリンピエ鉱床は顕著な熱水変質作用を伴う貴金属鉱化作用で, 浸食したカルクアルカリ岩質成層火山(第三紀後期~第四紀?)の中心部に認められ, カルデラと思われる構造を有している。

鉱床を胚胎する成層火山はデイサイト, 安山岩溶岩, 角礫岩などで構成され, ドーム状のデイサイト(後期中新世, $6.60 \pm 0.20\text{Ma}$)が貫入している。

過去に稼行された鉱化部の大部分は銀に富む狭い脈であったが, 現在の操業は延長2kmにおよぶN60°E方向の熱水変質を受けた角礫帯(hydrothermal breccia bodies)に集中している。

熱水角礫岩中の鉱化作用は長石斑岩貫入後に形成され, 斑岩を切りこれに変質を与えており, 長石斑岩は鉱化作用賦存の場を規制する重要な役割を果たしたと考えられている。

熱水角礫岩帯には, 金・銀を含有する黄鉄鉱グループ(経済的に最も重要), 銀の含有はそれほど高くないが金の含有が顕著な砒素鉱物グループ, 散点的に金を含有する鉛, 亜鉛, 銅, 砒素, アンチモングループの明らかに異なる鉱物組み合わせが認められている。

これは, 熱水活動の場(位置)を規制した割れ目系に沿って, 鉱化作用の繰り返しがあったためと考えられている。

角礫およびその近隣の岩石中には自然金, 自然銀, エレクトラム, 輝銀鉱などが認められ, 鉱化作用後期(末期)の角礫帯を切る鉛・亜鉛, 金・銀を含む脈も存在している。

脈石鉱物としては絹雲母, 方解石, 緑泥石, 赤鉄鉱, 重晶石, 石英, 玉随, カオリナイト, デイッカイト, 明礬石などが認められている。

鉱化帯の周辺にはプロピライト質変質帯が存在し, 内側(中心)に向かって絹雲母—黄鉄鉱帯に移行している。

角礫帯に近い絹雲母—黄鉄鉱帯には, 鉛・亜鉛, 黄鉄鉱, カオリナイト重晶石を伴う珪化作用が重複(オーバープリント)している。

角礫帯周辺から得られた流体包有物による均質化温度は 213~305°Cの範囲を示し、塩濃度は NaCl にして 5 重量%以下の値が得られており、少なくとも古地下水面下 300mの深度で生じたと考えられている。

チョケリンピエ鉱山は火山岩中に胚胎される銀—金—鉛—亜鉛を伴う酸性の硫酸塩鉱物に富む浅熱水鉱床と解釈されているが、高硫黄系浅熱水性金銀鉱床と多金属型鉱床の両方の性質を有しており、チリ共和国中部の、金—銀—銅—砒素を伴うマリクング鉱山、エル・インディオ鉱山とはやや異なるものと考えられている。

ラ・コイパ(La Coipa)鉱山(Ag, Au)

ラ・コイパ地区はコピアポ(Copiapó)の北東 130km に位置し、標高は 4, 100m である。

火山砕屑岩とその下位のジュラ紀?のシルト岩中に、貴金属の鉱徴が存在しているのが近年発見された。

鉱化作用は、明礬石、パイロフィライト、少量の絹雲母と自然硫黄および微量のズニャイトを伴う高度粘土変質に関連している。

多数の珪化熱水角礫岩が高品位を示す。

岩石片サンプリングによる調査では鉱化構造帯に平均 Ag13. 3g/t, Au2. 1g/t(max Ag44g/t, Au8. 8g/t)を示す。

岩石地化探では明瞭な銀の異常(800ppm 以上を含む)を示し、As(max107, 000ppm), Sb(max650ppm), Cu(max2, 500ppm), Pb(13, 200ppm), Zn(max540ppm)の異常を伴う。

地化探値は垂直的な帯状分布を示す。

変質帯の頂部には多孔質、帯状、角礫状シリカセンターが認められ、自然硫黄と水銀鉱物(辰砂及び黒辰砂)を伴う。

エル・インディオ(El Indio)(Au, Ag, Cu)

本地区は、ほぼ南北方向を示し 200km に亘って伸びる変質ベルトの一部を占め、チリとアルゼンチンの国境近くに位置している。この変質ベルトには 20 以上の変質帯があり、あるものは貴金属の鉱化作用を伴うのが知られている。

エル・インディオ鉱床は広大な変質帯(145km²)の一部を占め、ジュラ紀後期~白亜紀の安山岩類や漸新世後期~中期中新世の流紋岩質、デイサイト質、安山岩質および玄武岩質岩に胚胎されている。

熱水変質作用は、中心部に強い珪化変質作用が存在し、それを粘土鉱物を取り囲み、さらに

外側のハローはプロピライト化となっている。またシリカシンターも確認されている。

エル・インディオ鉱床は5km²の範囲に90乃至100の鉱脈群からなる。

鉱山は400m×100mの範囲の南北断層で境され、鉱化した引張構造に特徴づけられた鉱脈を採掘しており、鉱石鉱物は主として硫砒銅鉱、黄鉄鉱で、深部で少量の黄銅鉱、四面銅鉱一砒四面銅鉱、閃亜鉛鉱および方鉛鉱を伴う。また、自然金は硫化物を切る石英細脈に伴われる。平均品位は金8~10g/t、銀140~160g/t、銅8~14%である。

公表された鉱量は3.29百万トンで品位は金12.3g/t、銀141g/t、銅3.98%でさらに7.2万トンの直接船積み鉱石(金277g/t、銀116g/t、銅2.2%)がある。

K-Ar年代測定の結果、エル・インディオ地区の変質—鉱化作用の時期は中期—後期中新世を示す。

隣国チリ共和国北部には、中生代—第三紀の堆積岩や火成岩(地向斜堆積物)に貫入した半深成岩に伴われるポーフイリー—銅型(モリブデン、金)鉱床が多数存在し、そのほとんどはボリビアとの国境から数十キロしか離れていない。

これらの鉱床は珪長質—中性の侵入岩に関して形成され、その生成時期は60Ma~5Ma(後期晩新世—前期鮮新世)と考えられ、プロピライト化、粘土化や溶脱型熱水変質などの広範囲におよぶ変質帯が伴われている。

調査対象地域の南東の国境から数十キロ離れたところに、1998年に操業が開始されたコジャワシ鉱山が存在している。

コジャワシ鉱山(Cu)

チリ共和国第1州に位置し、イキケ港の南東180km、ケブラダ・ブランカ鉱山の西10km、ボリビア共和国との国境の東15kmのアンデス山中(標高4,400m)に存在している。

本鉱山は、チリ北部を南北に走るポーフイリー—銅型鉱化帯の北端部に存在している。

この地域の基盤岩は二疊紀—三疊紀の安山岩—流紋岩質火山岩(コジャワシ層群)、火山砕屑堆積物、花崗岩質深成岩で構成されている。

この基盤岩は漸新世—中新世の断層活動により隆起した南北に長い隆起帯(幅30~40km、長さ200km)を形成しており、この隆起帯の南方にはエル・アブラ鉱床やチュキカマタ鉱床が存在している。

この隆起活動に伴って多くのNNW—SSE、NE—SW、N—S傾向の断層が形成され、これらの断層系に規制されてさまざまな熱水活動や火山活動が起こり、この地域の主な鉱床が形成されてい

る。

その後、この地域の大部分が中新世～完新世（第四紀）の厚い火山岩類によって覆われている。鉱床は、二疊～三疊系の安山岩～デイサイト質火山岩層中に貫入した後期始新世～前期漸新世の2つの斑岩岩株を中心に形成されており、ウジナ、ロサリオ、ウインキンティパの3つの鉱床が確認されている。

ウジナ鉱床、ロサリオ鉱床は2次富化帯とその下部に大規模な硫化鉱帯を有する典型的なボーフィリー銅型鉱床で、金・銀、銅を含有する脈型の鉱化作用が重複して認められている。

鉱石鉱物は黄鉄鉱、黄銅鉱、斑銅鉱を主とし、少量の輝水鉛鉱、四面砒銅鉱、硫砒銅鉱などが認められている。

中心部から外郭部に向かって、カリウム変質帯（カリ長石・正長石・黒雲母）、石英・絹雲母変質帯、プロピライト変質帯と変化する帯状変質帯が存在しており、これらの変質に後期の脈状鉱化作用に伴う溶脱変質や粘土化変質が重複している。

ウジナ鉱床は可採鉱量として、硫化鉱 124 百万トン（銅 1.76%、カットオフ 1%）、酸化鉱・混合鉱 26 百万トン（銅 1.2%、カットオフ混合鉱 0.4%、酸化鉱 0.3%）、総計 150 百万トンが計上されている。

1998年7月より露天掘りによる操業（硫化鉱 60,000 t/日）が開始されている。

ロサリオ鉱床はウジナ鉱床の5km西に位置する。可採鉱量として硫化鉱 423 百万トン（銅 1.12%、カットオフ 1%）、酸化鉱・混合鉱 16 百万トン（銅 1.33%、カットオフ混合鉱 0.4%、酸化鉱 0.3%）、総計 439 百万トンが計上されている。

ウインキンティパ鉱床は、ロサリオ鉱床の西4kmに位置する酸化銅鉱を主とする2次成の鉱床である。