

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

総括報告書

平成 14 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

はしがき

日本国政府は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年度から平成14年度までの3年間にわたって実施され、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、3年間の調査結果をまとめたものである。

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、経済産業省、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14年3月

国際協力事業団

総 裁 川 上 隆 朗

金属鉱業事業団

理事長 田 代 直 弘

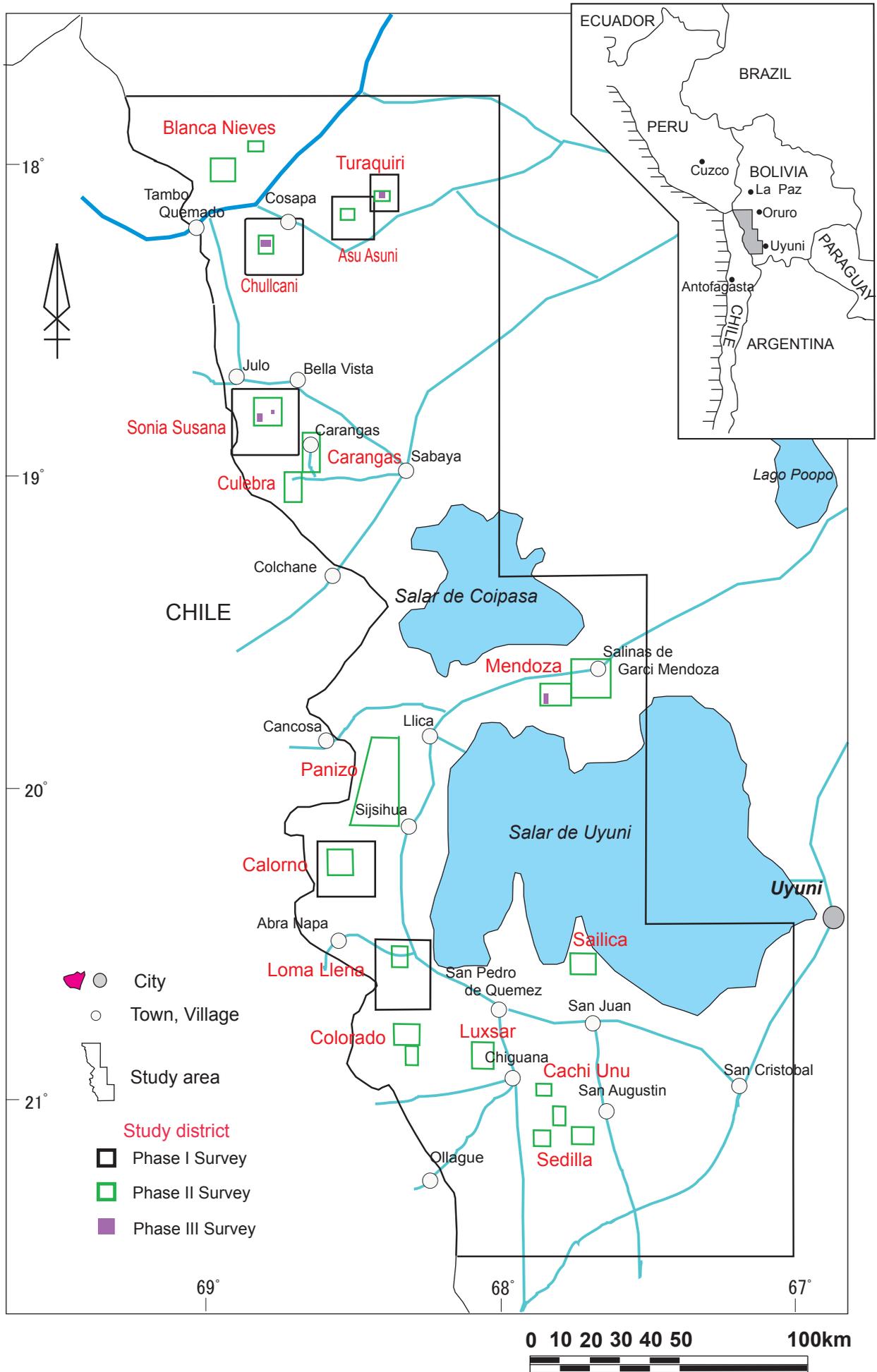


Fig. I-1 Location Map of the Survey Area

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、平成 11 年度から平成 13 年度にいたる 3 年間に実施した資源開発協力基礎調査の結果をとりまとめたものである。

調査結果、総合評価および将来への探鉱指針を要約すると以下の通りである。

調査結果

オルロ・ウユニ地域の大半を被覆している火山岩類中には熱水変質帯が広く分布し、一部に鉱化示徴が存在することから、熱水変質帯の深部に鉱床が期待された。

アルチプラーノや東アンデスの鉱化作用を考慮すると、西アンデスの鉱化作用もボリヴィア型鉱化作用のように、上部は浅熱水性鉱化示徴を示すが、下部は多金属鉱化作用へ移行するものと解釈された。さらに、チリの斑岩型鉱化作用の生成年代が東に向かって若くなる傾向が報告されていたことから斑岩型の鉱化作用の存在も期待され、3 年間に 16 地区が調査された。

調査の結果、オルロ・ウユニ地域の鉱化作用について依然不明な点が多く残されたが、以下のことが明らかとなった。

①熱水変質帯の抽出には衛星画像が利用され、解析・抽出された分布域は現地の変質帯と良い一致をみたことから、衛星画像解析が変質帯の抽出に有効であることが証明された。

②火山岩類は、前期中新世から更新世までの岩石が分布しているが、不規則に分布している事が明瞭となった。

③火山岩中の熱水変質帯は、外側から中心部に向け、クリストバル石帯、石英帯、石英—絹雲母帯が確認された。浸食の程度によって異なるが、一般に後期中新世以降の火山岩中の石英—絹雲母帯は欠如しているか、存在しても分布は狭い。逆に中期中新世以前の火山岩中の熱水変質帯は石英—絹雲母帯が広く分布している。

④脈質では鉱化帯の最外側から中心部へ向かい、粘土脈から粘土化—珪化脈、珪化脈、石英脈へと変化しているのが確認された。場所によっては粘土脈の内側にマンガン脈が存在する。いずれも深部の石英帯は金・銀・銅・鉛・亜鉛等の鉱石を含有している。

⑤鉍脈の上部から下部まで露出しているラ・デセアーダ鉍脈の化学分析の結果、上部（外側部）には金・（銅）、鉛、砒素およびアンチモンの異常が現れ、深部に向かい金・銀・銅・鉛・亜鉛の値が上昇する傾向があることが判明した。中期中新世以前の火山岩が分布する地区の鉍床探査には、脈質と併せて検討すれば鉍化帯に占める位置が推定でき、良い指針となる。

⑥流体包有物の均質化温度と塩濃度は鉍床により差が認められ、鉍液に差があることが推察された。ラ・デセアーダ鉍脈のように低温を示す鉍脈ではさらに深部に期待が持てる。

⑦今回の調査では、石英（玉髓）一重晶石脈が深部で（ポリヴィア型？）多金属鉍床に移行するかどうかは、試錐探鉍がチュルカニ地区以外では実施されなかったので十分には解明されていない。さらに、比較的古い火山岩類が分布する地区の鉍徴部では、硫化脈は確認されていないことから、西アンデスおよびアルチプラーノの一部の鉍化作用は東部のポリヴィア型多金属鉍化作用とは若干異なる可能性も考えられる。

⑧斑岩型鉍床については存在を確定する積極的な示徴を確認できなかった。

主要な地区の結論は以下の通り。

トラキリ地区

多数のマンガン主体の脈群を確認し、下部に銀・鉛・亜鉛・銅鉍化作用が期待されるが、大規模採掘可能な鉍床の可能性は薄い。

チュルカニ地区

チュルカニ火山は中央部が浸食により削剥され、閃緑岩の貫入岩が露出した単一の成層火山と解釈される。2本の試錐では、優勢な熱水変質帯を捕捉したが、顕著な鉍化作用は確認されていない。MJB0-2 孔の南東部に浅所の貫入岩の活動に関する浅熱水性金鉍床賦存の可能性が残されているが、金鉍化作用が全体に弱かった可能性が考えられる。

ソニア～スサーナ地区

ハンコ・コジュ区域の火山岩の形成時期は中期中新世より新しい可能性がある。中央部に変質貫入岩体とその南部に多数の含鉛・亜鉛・重晶石-石英脈が捕捉されたが、連続性が悪く規模的に小さく、大規模鉱床は期待できない。

サンタ・カタリーナ区域では斑岩型鉱化作用を示す積極的な示徴は確認されなかった。

カロールノ地区

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）に相当するものと考えられる。極めて膨大な熱水が循環しており熱水角礫岩の分布域も広く、高硫化系浅熱水性鉱化作用または浅所の火山岩の活動に関する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱化作用が期待されるが、地化学異常にまとまりがなく鉱化作用が弱い存在しても深い可能性も考えられる。

メンドーサ地区

Co. Mokho の地化学異常部の下部にはラ・デセアード鉱床と類似の鉱床の存在が期待でき、鉱化作用も連続している可能性がある。

グアダルッペ鉱山の硫砒銅鉛角礫岩は高硫化系浅熱水鉱床の存在を示唆し、2時期の熱水活動が推察できる。

チョルカ山～イラヌタ地区では、イラヌタで多数の鉛・亜鉛脈が捕捉され、北方の流紋岩質貫入岩に由来する鉱化作用と考えられるが、規模的に大規模鉱床は期待できない。

チョルカ山には貫入岩の存在が推定され、高硫化系金・銅鉱化作用と半深成岩貫入活動に関する浅熱水性金・銀鉱化作用が期待されるが、規模的に小さい可能性がある。

パニソ地区

パニソ区域には、多数の地化学異常部が存在する。鉱化作用は、浅熱水性の金-銀-鉛-亜鉛鉱化作用や高硫化系浅熱水性金・銀・銅鉱化作用が期待され、下部の余り深くない箇所に鉱床賦存の可能性はある。

サイリカ地区

プラスマル鉱山には火山岩の活動に関する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱化作用の他に、高硫化系金・銀（銅）鉱化作用が重複している可能性がある。

総合評価

今年度までの調査で、地質的データが蓄積され、地質的理解も深まったが、顕著な鉱化示徴は確認できなかった。したがって現時点では調査を継続する積極的な結果が得られていない。

将来への探鉱指針

将来、オルロ・ウユニ地域を含む西アンデスの金属鉱床を再評価する場合、以下の点に留意することを提言する。

(1) 浅熱水性金属鉱床探査における提言

広範囲なエリアからの探査対象の絞り込みには、熱水変質帯を抽出する必要がある、それには衛星画像解析が有効である。また、抽出された熱水変質帯中から鉱床賦存の可能性のある箇所を絞り込むには、地化学探査が有効である。

上記により絞り込まれた区域について以下の点に留意して調査を実施することを提言する。
地質調査にあたっては

- ① 運鉱岩(ore bringer) (ドームや貫入岩) の存在する箇所
- ② 熱水(鉱化流体)の通路(割れ目、熱水角礫岩や角礫パイプ)が存在する箇所
- ③ 熱水の供給が繰り返し行われた箇所(成層火山より複合火山、古い火山岩(変質作用)と新しい火山岩(変質作用)が重複する箇所)

を十分に把握すること

さらに室内研究にあたっては

① 削剥レベルの検討(年代測定、流体包有物の均質化温度、地化学異常および変質鉱物等)

- ② 鉱化帯中に占める位置の検討(変質鉱物、地化学異常、脈質)

を十分に行うことが望ましい。

上記調査で絞りこまれたポテンシャルの高い地区についてはさらに地下深部の地質構造や鉱化作用を推定するために物理探査やボーリング探鉱を実施することが望ましい。

(2) 斑岩型鉱床の探査における提言

チリの斑岩銅鉱床の生成年代は西から東へと若くなっていく傾向がみられる。したがってボリヴィア西アンデスの火山岩類分布域には斑岩銅鉱床存在の可能性がある。しかし若い火山では斑岩銅鉱床が存在してもかなり深部になると予想される。このため基礎データとして西アンデスの火山層序（特に絶対年代）の確立が望まれる。この火山層序の確立は、(1)で述べた浅熱水鉱床の探査においても重要である。

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
(総括報告書)

目 次

はしがき

調査地域位置図

要 約

第 I 部 総 論

第 1 章 調査概要	1
1-1 調査地域及び調査目的	1
1-2 調査方法及び調査量	1
1-3 調査期間及び調査員	5
第 2 章 従来 of 調査	7
第 3 章 地質概要	9
3-1 調査地域周辺の一般地質	9
3-2 調査地域周辺の鉱化作用	14
第 4 章 調査地域の状況	19
4-1 位置及び交通	19
4-2 地形及び水系	19
4-3 気候及び植生	20
第 5 章 結論及び将来への提言	23
5-1 結 論	23
5-2 将来への提言	26

第 II 部 各 論

第 1 章 既存資料解析	29
1-1 地質概要	29
1-2 調査地域の鉍化作用概要	31
第 2 章 衛星画像解析	37
2-1 目的	37
2-2 画像判読・解析	37
2-3 解析結果総括	49
第 3 章 地区別調査結果	55
3-1 トラキリ地区	55
3-2 チュルカニ地区	55
3-3 ソニア～スサーナ地区	67
3-4 カロールノ地区	81
3-5 カランガス地区	87
3-6 クレブラ地区	87
3-7 メンドーサ地区	97
3-8 パニソ地区	105
3-9 サイリカ地区	113
3-10 セディージャ地区	113
第 4 章 川砂地化学探査	123
4-1 解析方法	123
4-2 解析結果	123

第5章 調査結果の総合検討	129
5-1 衛星画像解析結果と現地調査結果	129
5-2 火山岩類の生成年代の特性	129
5-3 地質構造と鉍化作用の関係	129
5-4 変質帯の特性	129
5-5 脈質の特性	133
5-6 地化学異常と鉍化作用の特性	133
5-7 流体包有物均質化温度と塩濃度の特性	133
5-8 鉍化作用の特性	142

第 III 部 結論及び将来への提言

第1章 結 論	149
第2章 将来への提言	153

LIST OF FIGURES

Fig. I -1	Location Map of the Survey Area
Fig. I -1 -1	Flow Sheet of the Survey
Fig. I -1 -2	Flow Chart of Selection of the Promising 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. II -1-1	Structural Geology of the Central Andes
Fig. II -1-2	Location Map of the Ore Deposits and Showings in the Adjacent Area
Fig. II -2-1	LANDSAT TM Color Composite Image
Fig. II -2-2	Geologic Interpretation Map of LANDSAT TM Image
Fig. II -2-3	Extracted Lineament Map of LANDSAT TM Image
Fig. II -2-4	Extracted Alteration Map of LANDSAT TM Image
Fig. II -2-5	Integrated Map of Satellite Image Analysis
Fig. II -3-1(1)	Geological Map of the Turaquiri District
Fig. II -3-1 (2)	Integrated Interpretation Map of the Turaquiri District (PhaseIII)
Fig. II -3-2 (1)	Geological Map of the Chullcani District
Fig. II -3-2 (2)	Integrated Interpretation Map of the Chullcani District (PhaseIII)
Fig. II -3-2(3-1)	Geological Map of the Drill Hole MJBO-1 Site Area
Fig. II -3-2 (3-2)	Geologic Section of the Drill Hole MJBO-1
Fig. II -3-2 (4-1)	Geological Map of the Drill Hole MJBO-2 Site Area
Fig. II -3-2 (4-2)	Geologic Section of the Drill Hole MJBO-2
Fig. II -3-3(1)	Geological Map of the Sonia-Susana District
Fig. II -3-3(2)	Integrated Interpretation Map of the Sonia-Susana District (Phase II)
Fig. II -3-4 (1)	Geological Map of the Calorno District
Fig. II -3-4 (2)	Integrated Interpretation Map of the Calorno District (Phase II)
Fig. II -3-5 (1)	Geological Map of the Carangas District
Fig. II -3-5 (2)	Integrated Interpretation Map of the Carangas District (Phase II)
Fig. II -3-6(1)	Geological Map of the Culebra District

- Fig. II -3-6 (2) Integrated Interpretation Map of the Culebra District (Phase II)
- Fig. II -3-7 (1) Geological Map of the Mendoza District
- Fig. II -3-7 (2) Integrated Interpretation Map of the Mendoza District (La Deseada)
- Fig. II -3-7 (3) Integrated Interpretation Map of the Mendoza District (Co.Corka-Iranuta)
- Fig. II -3-8(1) Geological Map of the Panizo District
- Fig. II -3-8 (2) Integrated Interpretation Map of the Panizo District (Chinchilhuma)
- Fig. II -3-8 (3) Integrated Interpretation Map of the Panizo District (Panizo)
- Fig. II -3-9(1) Geological Map of the Sailica District
- Fig. II -3-9(2) Integrated Interpretation Map of the Sailica District (Plasmar,Solucion)
- Fig. II -3-10(1) Geological Map of the Sedilla District
- Fig. II -3-10(2) Integrated Interpretation Map of the Sedilla District(Eskapa)
- Fig. II -4-1 (1) Geochemical Anomaly Map of the Stream Sediments (Northern Part)
- Fig. II -4-1 (2) Geochemical Anomaly Map of the Stream Sediments (Southern Part)
- Fig. II -5-1 K-Ar Dating Age in the Survey Area
- Fig. II -5-2 Distribution Map of Alteration Minerals in the Chullcani District
- Fig. II -5-3 Schematic Section of Mineralization at the La Deseada Mine
- Fig. II -5-4 Temperature and Salinity of Fluid Inclusion in the Area
- Fig. II -5-5 Idealized Model of Bolivia Type Deposit
- Fig. II -5-6 Idealized Lithocap and Underlying Porphyry Deposit

LIST OF TABLES

Table I -1-1	Methods and Contents of the Survey
Table I -1-2	Period of the Survey
Table I -1-3(1)	Members of the Survey Team(1)
Table I -1-3(2)	Members of the Survey Team(2)
Table II -2-1	List of LANDSAT TM Data
Table II -2-2	List of Geologic Unit
Table II -2-3	Summary of Prospective District
Table II -3-1	Summary of Characteristics of Geology, Alteration and Mineralization at the Survey Areas
Table II -5-1	Homogenization Temperature and Salinity of the Fluid Inclusions

第 I 部 総 論

第1章 調査概要

1-1 調査地域及び調査目的

オルロ・ウユニ地域は、首都ラ・パス (La Paz) の南方約 150km から 560 km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。

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、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・ウユニ地域を対象として、地質状況および鉱床賦存状況を解明し、短期かつ効率的に広大なエリアから鉱床賦存有望地区を抽出することであり、重点課題は、衛星画像解析及び既存データ解析の結果から抽出した地区について、地質状況、変質及び鉱化特性の把握を目的として地質調査・地化学調査を行い、特に、第三紀火山岩類に伴う鉱化作用の特性を考察し、有望地区の選定を行うことである。

1-2 調査方法及び調査量

調査は、平成 11 年度を第 1 年次とする 3 年間にわたって実施した。各年次の調査方法を Fig. I-1-1 のフローシートに示す調査方法別の調査量を Table. I-1-1 に示す。鉱床有望地区の抽出は、Fig. I-1-2 のフローチャートにより実施した。

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 4 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）の 2,000km² で地質調査、地化学探査を行った。

第 2 年次調査は、第 1 年次調査地区及び新たに追加された 10 地区の合計 16 地区で精度の異なった地質調査、地化学探査を実施するとともに、相手国機関が採取した川砂試料について化学分析を行った。第 1 年次調査結果から変質帯が狭く、鉱徴地が確認されている地区（トラキリ地区、アス・アスニ地区及びチュルカニ地区）については、縮尺 1/1 万の地質調査・地化学探査（準精査：対象面積 60km²、総ルート長 66km）を行った。第 1 年次調査結果で変質帯が広く確認された地区（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）については 1/2.5 万の

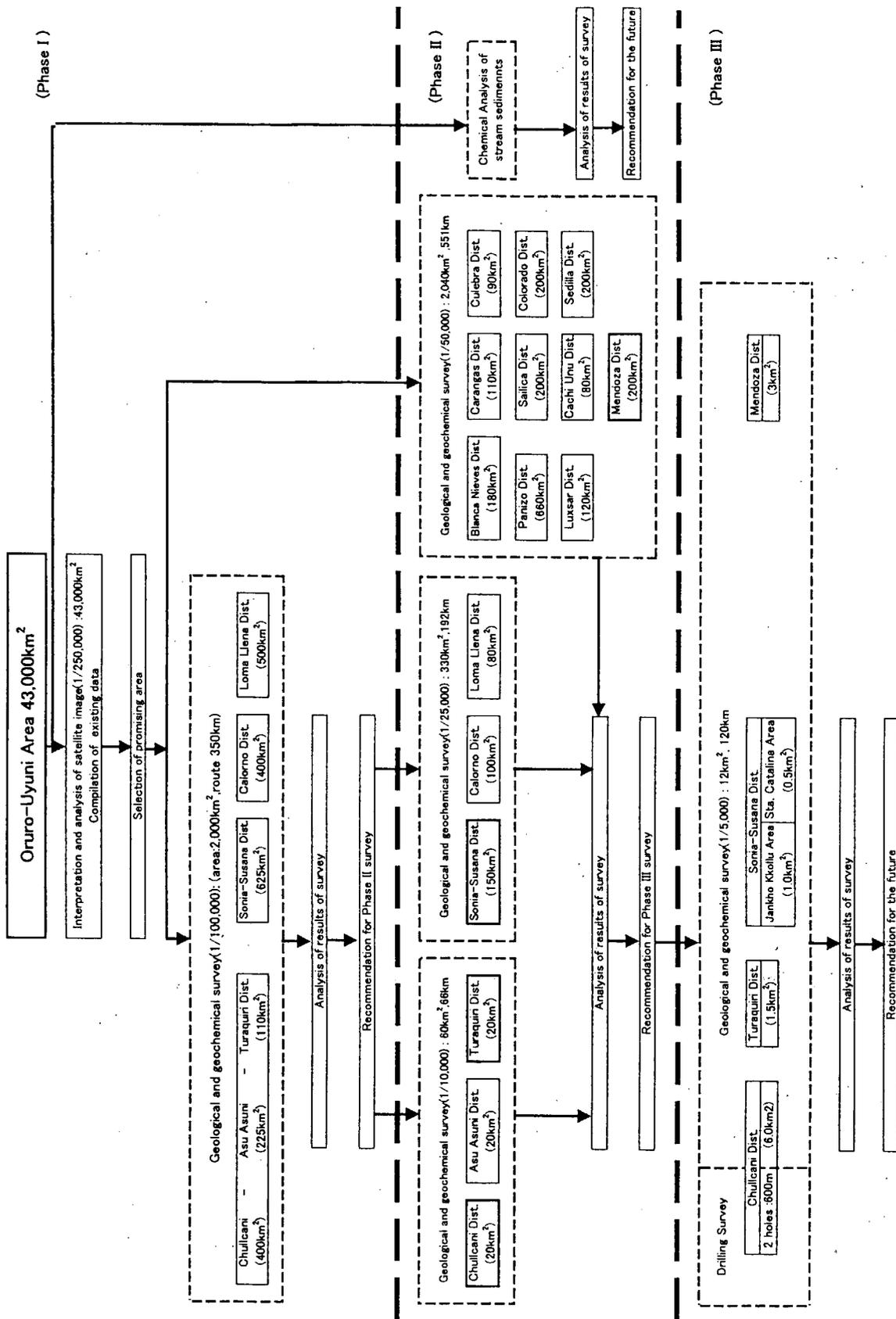


Fig.1-1-1 Flow Sheet of the Survey

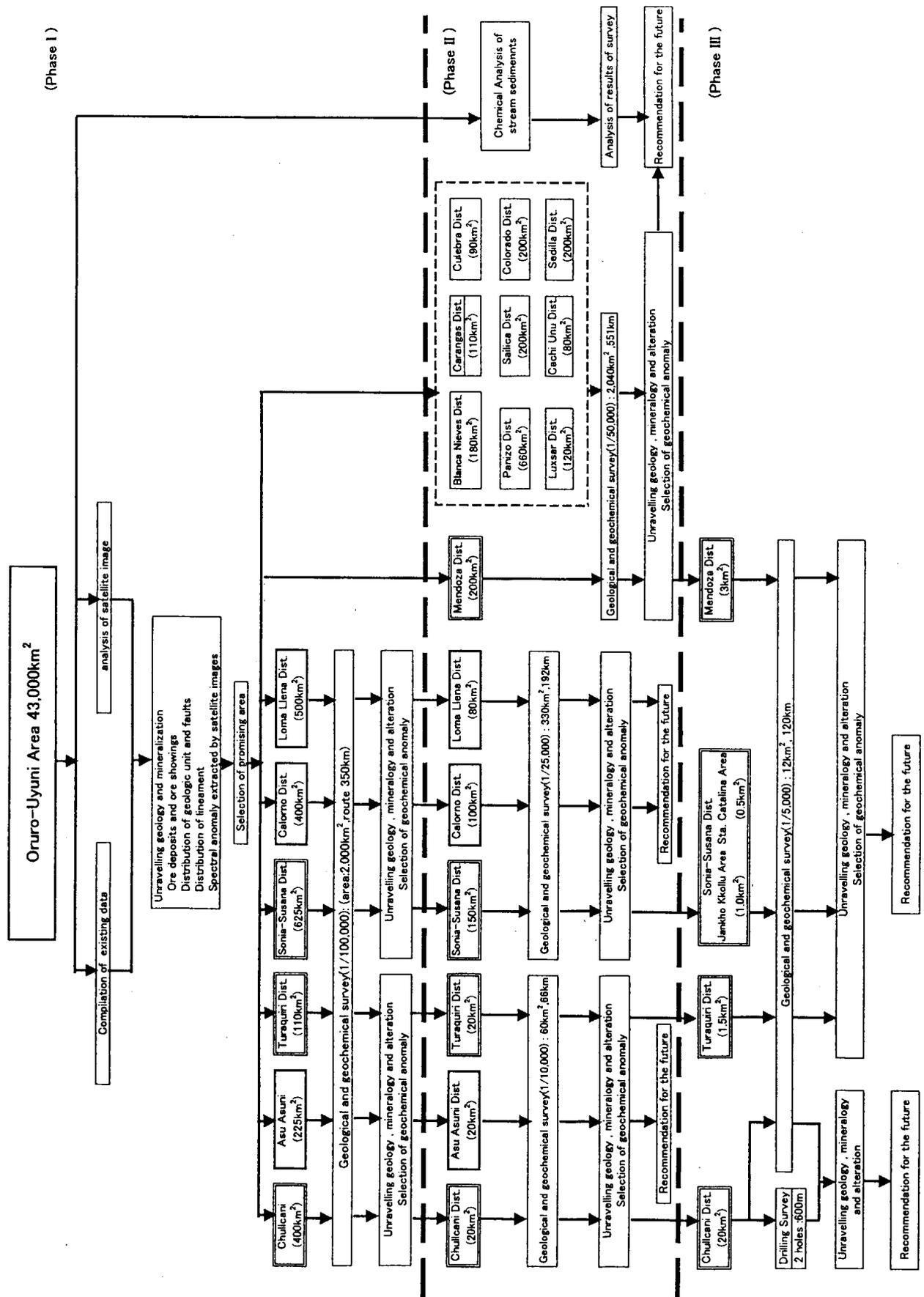


Fig.1-1-2 Flow Chart of Selection of the Promising Area

地質調査・地化学探査（概査：対象面積 330km²，総ルート長 192km）を行った。また，第1年次に提案されたその他の地区（ブランカ・ニエベス地区，カラングス地区，クレブラ地区，メンドーサ地区，パニソ地区，サイリカ地区，コロラド地区，ルクサール地区，カチ・ウヌ地区，セデージャ地区）については，新たに1/5万の地質調査・地化学探査（概査：対象面積 2,040km²，総ルート長 551km）を行った。

第3年次調査は，第1年次・第2年次調査結果から抽出された鉱床賦存の可能性の高い4地区（トラキリ地区，チュルカニ地区，ソニア～スサーナ地区，メンドーサ地区）について地質調査を，さらにチュルカニ地区については，ボーリング調査を実施した。

Table I-1-1 Methods and Contents of the Survey

	Phase I (1999)	Phase II (2000)	Phase III (2001)	Total (1999-2001)
Satellite Image Analysis	43,000km ²			
Geological Survey (1/100,000)	2,000km ² 350km			2,000km ² 350km
(1/50,000)		2,040km ² 551km		2,040km ² 551km
(1/25,000)		330km ² 192km		330km ² 192km
(1/10,000)		60km ² 66km		60km ² 66km
(1/5,000)			12km ² 120km	12km ² 120km
Drilling Survey			2 holes 600m	2 holes 600m
Laboratory Studies				
Chemical Analysis(rock)	800	2,600	710	4,110
" (ore)	30	150	10	190
" (stream sediments)	—	2,000	—	2,000
Thin Section	50	80	25	155
Polished Section	30	50	10	90
X-ray Diffract. Analysis	50	280	110	440
Fluid Inclusion	10	20	—	30
K-Ar Dating	10	28	—	38

1-3 調査期間及び調査員

3年間の現地調査と解析期間を Table I-1-2 に示し、本調査に係わった調査員を Table I-1-3 に示す。

Table I-1-2 Period of the Survey

	Period of Field Survey	Period of Analysis
Phase I	Feb. 1, 2000~Mar. 7, 2000	Jan. 17, 2000~Mar. 15, 2000
Phase II	Nov. 11, 2000~Feb. 9, 2001	Dec. 1, 2000~Mar. 10, 2001
Phase III	Jul. 31, 2001~Oct. 20, 2001	Aug. 15, 2001~Jan. 15, 2002

Table I-1-3(1) Members of the Survey Team (1)

日 本 側		ボリヴィア共和国	
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 径 (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

Table I-1-3(2) Members of the Survey Team (2)

<p>日 本 側 三井金属資源開発株</p>	<p>ボリヴィア共和国側 地質鉱山局</p>
<p>(第1年次) 橋本 守男 (団 長) (地質・地化探) 中村 廉 (地質・地化探) 木多 ベリー (地質・地化探) 勝野 豊 (地質・地化探) 井上 敏夫 (地質・地化探) 磯貝 浩一 (地質・地化探) (衛星画像解析) 阿達 一宏 (衛星画像解析)</p>	<p>(第1年次) Fernando Murillo Salazar (調 整) (地質・地化探) Ivar Alcocer Rodrigez (地質・地化探) Oscar Almendras Alarcon (地質・地化探) Manuel Menacho Leon (地質・地化探) Guido Quezada Cortez (地質・地化探) Yerco Santa Cruz Salvatierra (地質・地化探)</p>
<p>(第2年次) 橋本 守男 (団 長) (地質・地化探) 武部 晃充 (地質・地化探) 磯貝 浩一 (地質・地化探) 勝野 豊 (地質・地化探) 日比 福二 (地質・地化探)</p>	<p>(第2年次) Fernando Murillo Salazar (調 整) (地質・地化探) Ivar Alcocer Rodrigez (地質・地化探) Oscar Almendras Alarcon (地質・地化探) Manuel Menacho Leon (地質・地化探) Guido Quezada Cortez (地質・地化探) Yerco Santa Cruz Salvatierra (地質・地化探)</p>
<p>(第3年次) 橋本 守男 (団 長) (地質・ボーリング) 武部 晃充 (地質) 日比 福二 (地質)</p>	<p>(第3年次) Fernando Murillo Salazar (調 整) (地質) Yerco Santa Cruz Salvatierra (地質・ボーリング) Girberto Borja Navarro (地質・ボーリング) Manuel Menacho Leon (地質) Guido Quezada Cortez (地質)</p>

第2章 従来 of 調査

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」に要約され公開されている。

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。

各地区毎で判明しているのは、サイリカ(Sailica)地区で、1965年にGEOBOL(Servicio Geologico de Bolivia)公社が地質図を作成し、さらに1995年にはドイツの援助で同公社が地質・地化学探査およびIP調査を実施している。

パニソ(Panizo)地区チンチルーマ(Chinchiluma)区域では1995年にカナダの援助(CIDA: Canadian International Development Agency)で地質・地化学探査およびIP調査が実施されている。

これ以外の地区では、探鉱や採掘はほとんど個人または鉱山会社によるもので、活動が判明したものは第2年次調査で述べられているが、データは未公開である。

第3章 地質概要

3-1 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), アマゾン楯状地 (Escudo Brasilenio) 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)。

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。

アルチプレーノ

アルチプレーノには、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. I-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～三畳紀), アンデ

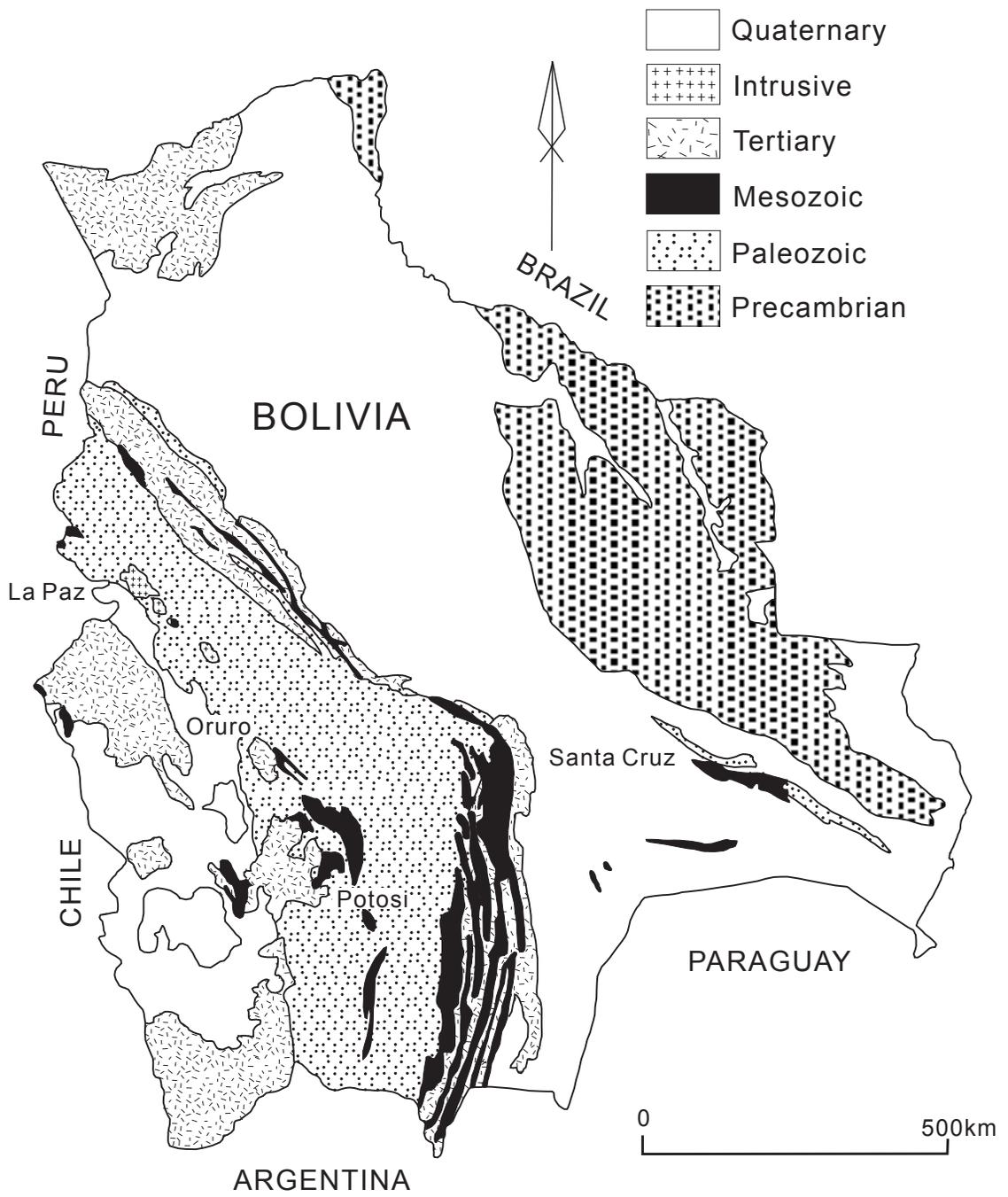


Fig.I-3-1 Geological Map of Bolivia

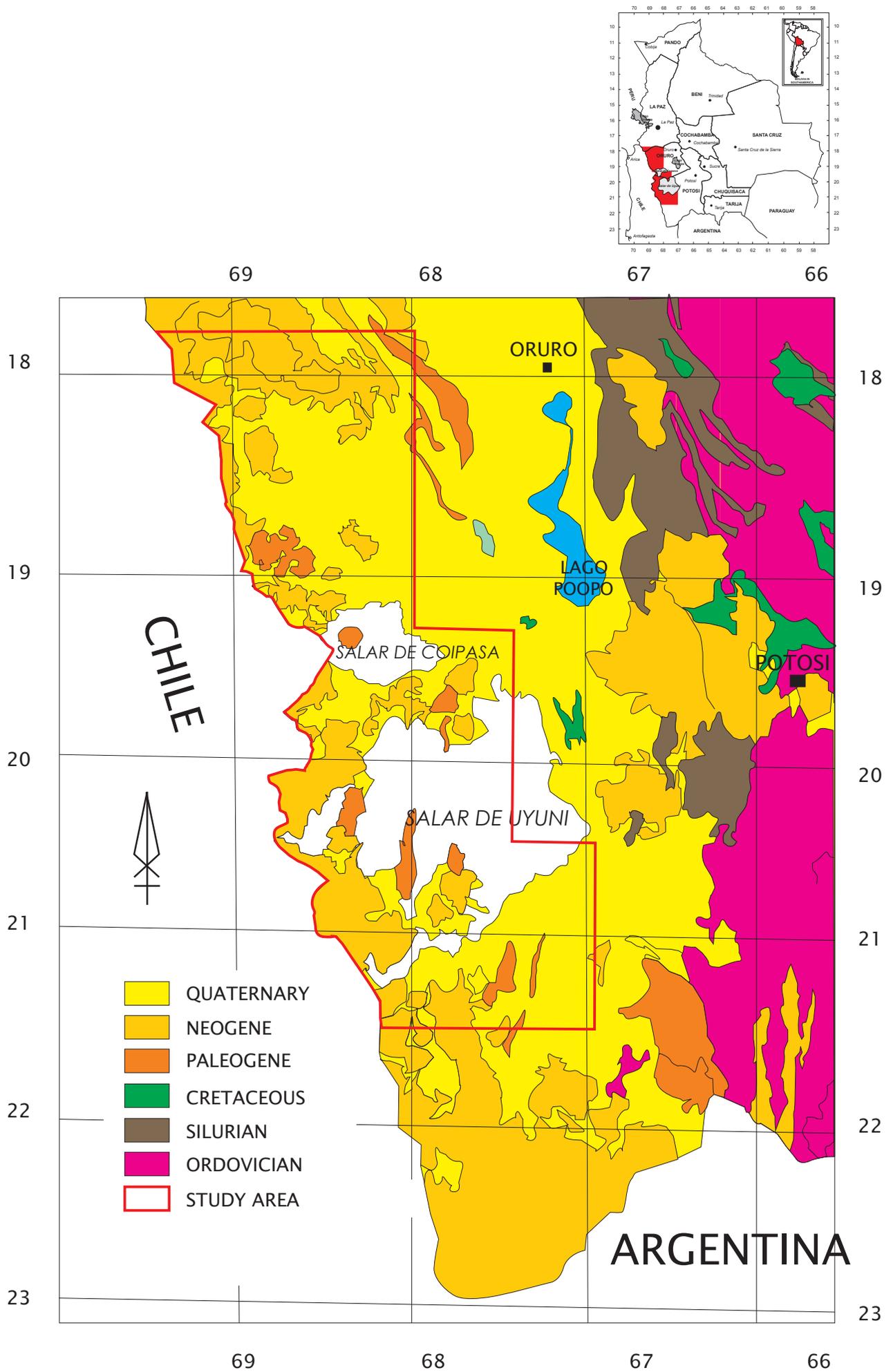


Fig. I-3-2 Schematic Geologic Map of the Area

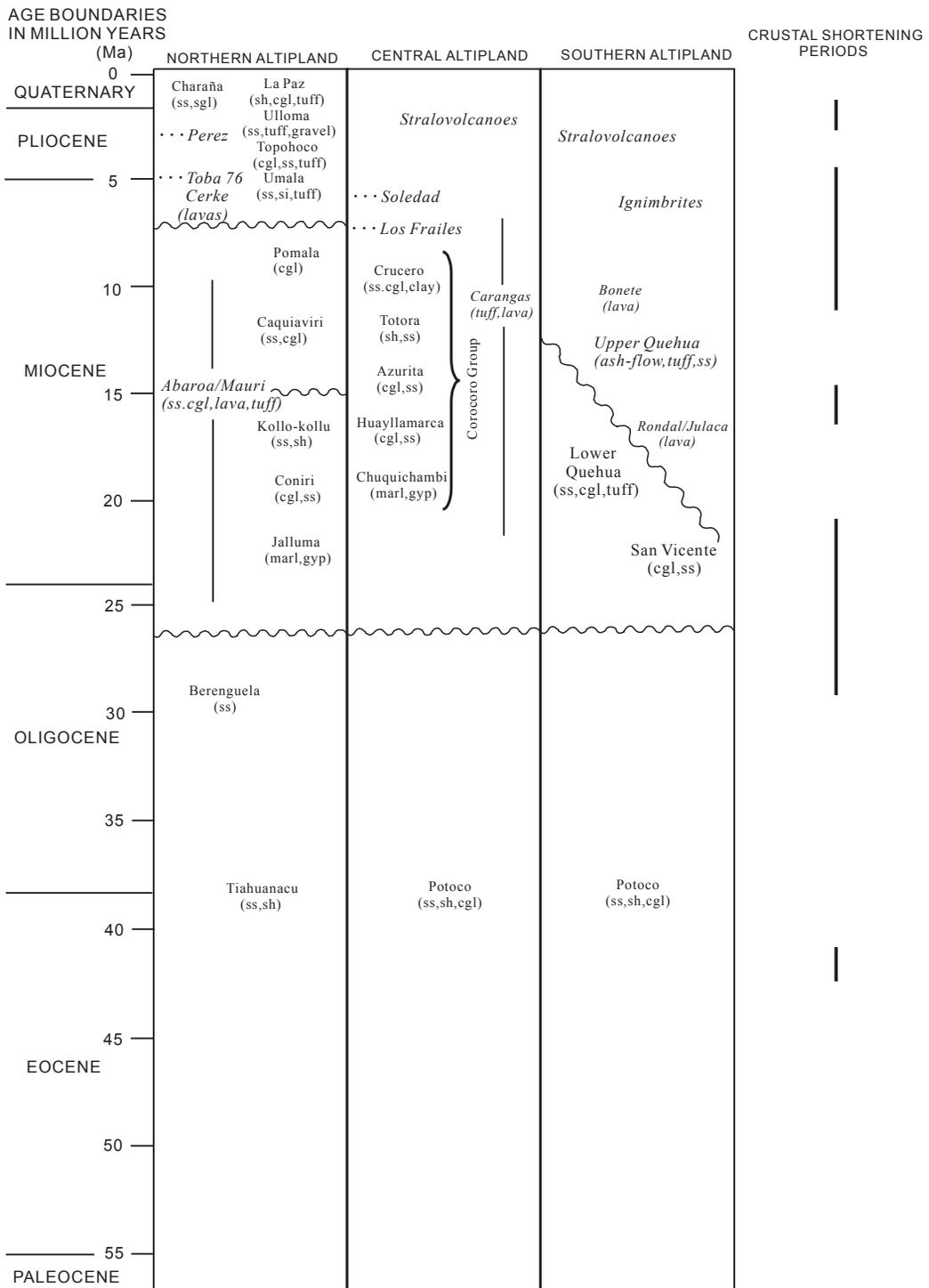


Fig.I-3-3 Schematic Geologic Column of the Survey Area

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（二畳紀～三畳紀）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。

ブラジル楕状地

ブラジル楕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。

3-2 調査地域周辺の鉱化作用

西アンデス、アルチプラーノ、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ポ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。

アルチプレーノのポ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。

ポ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 Potosí)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チプレーノに見られ、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。

調査地域内に存在する鉱山や鉱徴地はFig. I-3-4に示す。

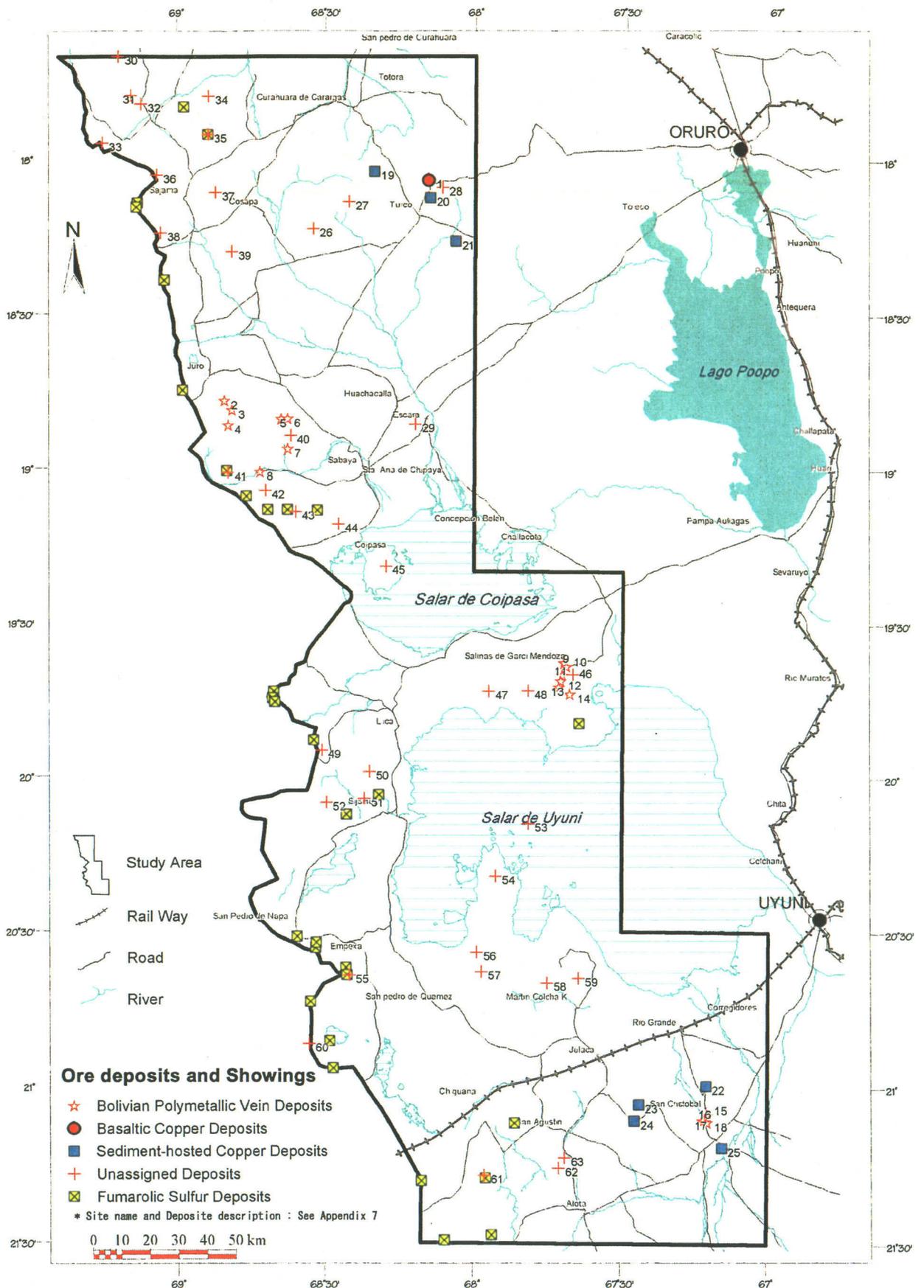


Fig. I-3-4 Ore Deposits and Showings in the Area

第4章 調査地域の状況

4-1 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、オルロ (Oruro) 県西部およびポトシ (Potosí) 県北西部の3県にまたがっている (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、それ以遠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。

4-2 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、アルチプラ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、ポーポ湖、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。

ポーポ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、パスニャ (Pazña), チャジャパタ, コンデ (Conde), セバルーヨ (Sevaruyo), およびキンパラ (Kimpapa) の各河川である。

ラカハウイラ (Lakajahuira) 川はポーポ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。

4-3 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。

植生は中央アルチプラーノと南アルチプラーノで異なる。

中央アルチプラーノ (南緯 18° ～ $20^{\circ}30'$) :

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) - サリナス・デ・ガルシ・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5章 結論及び将来への提言

5-1 結 論

オルロ・ウユニ地域の大半を被覆している火山岩類中には熱水変質帯が広く分布し、一部に鉍化示徴が存在することから、熱水変質帯の深部に鉍床が期待された。

アルチプラーノや東アンデスの鉍化作用を考慮すると、西アンデスの鉍化作用もボリヴィア型鉍化作用のように、上部は浅熱水性鉍化示徴を示すが、下部は多金属鉍化作用へ移行するものと解釈された。さらに、チリの斑岩型鉍化作用の生成年代が東に向かって若くなる傾向が報告されていたことから斑岩型の鉍化作用の存在も期待され、3年間に16地区が調査された。

調査の結果、オルロ・ウユニ地域の鉍化作用について依然不明な点が多く残されたが、以下のことが明らかとなった。

①熱水変質帯の抽出には衛星画像が利用され、解析・抽出された分布域は現地の変質帯と良い一致をみたことから、衛星画像解析が変質帯の抽出に有効であることが証明された。

②火山岩類は、前期中新世から更新世までの岩石が分布しているが、不規則に分布している事が明瞭となった。

③火山岩中の熱水変質帯は、外側から中心部に向け、クリストバル石帯、石英帯、石英—絹雲母帯が確認された。浸食の程度によって異なるが、一般に後期中新世以降の火山岩中の石英—絹雲母帯は欠如しているか、存在しても分布は狭い。逆に中期中新世以前の火山岩中の熱水変質帯は石英—絹雲母帯が広く分布している。

④脈質では鉍化帯の最外側から中心部へ向かい、粘土脈から粘土化—珪化脈、珪化脈、石英脈へと変化しているのが確認された。場所によっては粘土脈の内側にマンガン脈が存在する。いずれも深部の石英帯は金・銀・銅・鉛・亜鉛等の鉍石を含有している。

⑤鉍脈の上部から下部まで露出しているラ・デセアーダ鉍脈の化学分析の結果、上部（外側部）には金・（銅）、鉛、砒素およびアンチモンの異常が現れ、深部に向かい金・銀・銅・鉛・亜鉛の値が上昇する傾向があることが判明した。中期中新世以前の火山岩が分布する地区の鉍床探査に

は、脈質と併せて検討すれば鉍化帯に占める位置が推定でき、良い指針となる。

⑥流体包有物の均質化温度と塩濃度は鉍床により差が認められ、鉍液に差があることが推察された。ラ・デセアーダ鉍脈のように低温を示す鉍脈ではさらに深部に期待が持てる。

⑦今回の調査では、石英（玉髓）一重晶石脈が深部で（ポリヴィア型？）多金属鉍床に移行するかどうかは、試錐探鉍がチュルカニ地区以外では実施されなかったので十分には解明されていない。さらに、比較的古い火山岩類が分布する地区の鉍徴部では、硫化脈は確認されていないことから、西アンデスおよびアルチプラーノの一部の鉍化作用は東部のポリヴィア型多金属鉍化作用とは若干異なる可能性も考えられる。

⑧斑岩型鉍床については存在を確定する積極的な示徴を確認できなかった。

主要な地区の結論は以下の通り。

トラキリ地区

トラキリ鉍床の北西方に多数のマンガン主体の脈群を確認した。しかし大部分脈幅数十センチ以下の小規模で、網状脈や鉍染状の鉍化作用は確認されていない。

この二酸化マンガン脈の下部は銀・鉛・亜鉛・銅に移行すると推察されるが、大規模採掘可能な鉍床の期待は薄い。

チュルカニ地区

チュルカニ火山は中央部が浸食により削剥され、閃緑岩の貫入岩が露出した単一の成層火山と解釈される。貫入岩は変質鉍物分布から熱水作用の中心と考えられ、この貫入岩の露出地点と局部的な熱水活動の上昇口で実施された2本の試錐結果では、優勢な熱水変質帯を捕捉したが、顕著な鉍化作用は確認されていない。

依然 MJB0-2 孔の南東部に浅所の貫入岩の活動に関係する浅熱水性金鉍床賦存の可能性が残されているが、火山が単一の成層火山と解釈されることや地表の金地化学異常が深部で優勢でなかったことから金鉍化作用が全体に弱かった可能性が考えられる。

ソニア～スサーナ地区

ハンコ・コジュ区域の火山岩の形成時期は、後期漸新世～前期中新世ではなく、中期中新世より新しい可能性がある。中央部に貫入岩体が存在し、南部に多数の含鉛・亜鉛・重晶石-石英脈が、また、北部に褐鉄鉱脈が確認された。浅所の半深成岩貫入活動に関する浅熱水性銀・鉛・亜鉛・銅鉱床と考えられる。鉱脈はいずれも連続性が悪く規模的に小さく、大規模鉱床は期待できない。

サンタ・カタリーナ区域では、モリブデナイトが確認された以外には斑岩型鉱化作用の存在を示唆する積極的な示徴を確認できなかった。

カロールノ地区

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。

南東部の Rio Agua Milagro に沿って分布する針鉄鉱を主体とするゴッサン部の周辺では、低硫化系浅熱水性鉱床の賦存の可能性が考えられる。

また北部では、一部熱水変質帯が強酸性溶液から生成した可能性が考えられ、高硫化系浅熱水性鉱化作用または浅所の火山岩の活動に関する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱化作用が期待される。

極めて膨大な熱水が循環しており、熱水角礫岩の分布域も広いことから存在すれば大規模鉱床が期待されるが、地化学異常にまとまりがなく鉱化作用が弱いか存在しても深い可能性も考えられる。

メンドーサ地区

カンチャ山では浅所の火山岩の活動に関する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱化作用が考えられる。年代測定結果では、熱水変質時期が少なくとも2時期存在していることを示唆している。しかし、地化学異常が弱く分散し、鉱化作用が弱いか鉱床が存在しても深い可能性がある。

ラ・デセアード鉱床は浅所の火山岩の活動に関する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱床とされる。Co. Mokho の地化学異常部の下部にはラ・デセアードと類似の鉱床の存在が期待でき、さらにラ・デセアード鉱山から変質帯が連続していることから、鉱化作用も連続している可能性が高い。

グァダルッペ鉱山の坑口のズリから採取された硫砒銅鉱は高硫化系浅熱水鉱床の存在を示唆し、硫砒銅鉱-黄鉄鉱の鉱石が角礫化していることから、2時期の熱水活動が推定できる。

チョルカ山～イラスタ地区では、イラスタで多数の鉛・亜鉛鉱脈が確認され、この鉱化作用は

北部の流紋岩質貫入岩に由来する半深成岩貫入活動に関係する浅熱水性鉛・亜鉛鉱化作用に相当すると推察され、 Cholca 山の鉱化作用とは別と考えられる。これらの鉱脈は浅熱水鉱床としては比較的深部が露出しているものと解釈され、規模的にも大規模鉱床は期待できない。

Cholca 山北斜面に認められた酸性変質部には高硫化系金・銅鉱化作用が考えられる。

優勢な熱水活動を併せて考えると Cholca 山直下には貫入岩の存在が推定され、貫入岩頂部付近には浅所の半深成岩貫入活動に関係する浅熱水性金・銀鉱床賦存の可能性はある。しかし、Cholca 山が単一火山であることを考慮すると規模的に小さい可能性がある。

パニソ地区

パニソ区域には、多数の地化学異常部が存在する。鉱化作用は、浅熱水性の金-銀-鉛-亜鉛鉱化作用や高硫化系浅熱水性金・銀・銅鉱化作用が期待される。

変質年代が中期中新世後期を示したことから、比較的浸食を被っているものと思われ、地化学異常が比較的強いことから、存在するなら下部の余り深くない箇所に鉱床賦存の可能性はある。

サイリカ地区

プラスマル鉱山の鉱化作用は浅所の火山岩の活動に関係する浅熱水性金・銀・鉛・亜鉛鉱化作用に相当し、高硫化系金・銀（銅）鉱化作用が重複している可能性がある。地表で広く変質帯が分布し、地化学異常を顕著に示すことから、深部に鉱床賦存の可能性はある。

5-2 将来への提言

今年度までの調査で、地質的データが蓄積され、地質的理解も深まったが、顕著な鉱化示徴は確認できなかった。したがって現時点では調査を継続する積極的な結果が得られていない。しかしながら、将来、オルロ・ウユニ地域を含む西アンデスの金属鉱床を再評価する場合、以下の点に留意することを提言する。

(1) 浅熱水性金属鉱床探査における提言

広範囲なエリアからの探査対象の絞り込みには、熱水変質帯を抽出する必要がある、それには衛星画像解析が有効である。また、抽出された熱水変質帯中から鉱床賦存の可能性のある箇所を絞り込むには、地化学探査が有効である。

上記により絞り込まれた区域について以下の点に留意して調査を実施することを提言する。

地質調査にあたっては

- ① 運鉱岩(ore bringer) (ドームや貫入岩) の存在する箇所
- ② 熱水(鉱化流体) の通路(割れ目、熱水角礫岩や角礫パイプ) が存在する箇所
- ③ 熱水の供給が繰り返し行われた箇所(成層火山より複合火山、古い火山岩(変質作用)と新しい火山岩(変質作用)が重複する箇所)

を十分に把握すること

さらに室内研究にあたっては

- ① 削剥レベルの検討(年代測定、流体包有物の均質化温度、地化学異常および変質鉱物等)
- ② 鉱化帯中に占める位置の検討(変質鉱物、地化学異常、脈質)

を十分に行うことが望ましい。

上記調査で絞りこまれたポテンシャルの高い地区についてはさらに地下深部の地質構造や鉱化作用を推定するために物理探査やボーリング探鉱を実施することが望ましい。

(2) 斑岩型鉱床の探査における提言

チリの斑岩銅鉱床の生成年代は西から東へと若くなっていく傾向がみられる。したがってボリヴィア西アンデスの火山岩類分布域には斑岩銅鉱床存在の可能性がある。しかし若い火山では斑岩銅鉱床が存在してもかなり深部になると予想される。このため基礎データとして西アンデスの火山層序(特に絶対年代)の確立が望まれる。この火山層序の確立は、(1)で述べた浅熱水鉱床の探鉱においても重要である。