

# 第 I 部 総 論

## 第1章 序 論

### 1-1 調査の経緯

ボリビア共和国にとって鉱業は最も重要な基幹産業の一つではあるが、1985年の錫価格の暴落後その経済的位置付けは凋落の一途を辿り、GDPに占める鉱産物の割合は1980年の17.5%から2000年には4.9%にまで低下している。鉱産物の輸出額も4億US\$程度であり、輸出総額の38.7%を占めるに過ぎない。

ボリビア共和国は1,098,581 km<sup>2</sup>の広さを有し、西をペルーおよびチリ共和国、南をアルゼンチンおよびパラグアイ共和国、東および北をブラジル連邦共和国に囲まれた海岸線を持たない内陸国である。地形、地質区分及び金属鉱床生成区はいわゆるアンデストレンドに調和的な概ね北西-南東に平行な帯状の分布を示す。地形区分はチリ共和国との国境をなす西部アンデス山脈を西縁とし、アルティプラノ、東部アンデス山脈および東縁のブラジル盾状地に連なるチャコーベニアナ平原の5単元に大別される。金属鉱床生成区は、西部アンデス山脈およびアルティプラノの多金属鉱床生成区、東部アンデス山脈西側の錫鉱床生成区、東部アンデス山脈東側の多金属鉱床生成区およびブラジル盾状地の含金マンガン鉱床生成区に大きく区分される。

調査対象地域は、ペルーと国境を接するボリビア北西部の南緯14°37'~16°24'、西経67°35'~69°22'間に位置し(第1図)、地勢上は、東部アンデス山脈に属する。上述の鉱床生成区と対応させれば、東部アンデス錫鉱床生成区および多金属鉱床生成区に属し、錫、金、タングステン、鉛・亜鉛等の鉱脈鉱床の賦存が知られているが、未だ組織的、系統的な調査・解析は実施されていない地域である。

ボリビア政府は、同地域における鉱業投資の促進に資するため、鉱床ポテンシャルの把握を目的とした協力調査の実施を日本政府に要請した。これを受け日本政府は、2002年10月に調査計画協議のための調査団を派遣し、同年10月16日にScope of Workに調印した。

Scope of Workに基づき、本調査は対象地域の衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査を実施し、得られた結果を総合的に解析することにより、短期かつ効率的に鉱床賦存有望地区を抽出することを目的とする。同時に、相手国機関であるボリビア共和国地質鉱山局(以下、SERGEOMIN; Servicio Nacional de Geología y Minería)に対して調査・解析手法の技術移転を図ることを目的とする。

### 1-2 第1年次調査の結論と提言

#### 1-2-1 第1年次調査の結論

衛星画像解析において、ASTER画像からの抽出鉱物の分布パターンは次の3グループに集約される。

- ① 石英指数-絹雲母-モンモリロナイト-緑泥石-(緑簾石)
- ② カオリナイト-明礬石-(褐鉄鉱)
- ③ 酸化鉄指数

鉱化変質作用の示徴としては、グループ③の酸化鉄指標および褐鉄鉱を含むグループ②が注目されるが、酸化鉄指標とグループ②とは殆ど重複しない。従って、グループ②と褐鉄鉱との重複部を画像解析から抽出される有望区域とされる。

既存データ解析において、従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来するとされていた砂金の

源は、ヤニ地区の層準規制を受けて胚胎母岩の層理にほぼ整合的に挟在される鉍層型（以下文献で一般に記載されているマント型と呼称）金鉍化帯が砂金鉍床の源の一つであろうと指摘された。また、ヤニ地区の金鉍化作用に最も関与したとされるバリスカン（ヘルシニアン）変動期に貫入した花崗岩類はヤニ南方にのみ記載されているが、鉍床胚胎母岩とされるオルドビス系は広範に分布しており、潜在する同種岩体の存否が今後の北方域における広域的探査には重要となる。南方域については、花崗岩体本体が連続し、かつオルドビス系の低変成域も記載されていることから、調査対象地域全域が要調査範囲として抽出し得る。

既存資料解析から得られる‘調査が必要’と判断される区域を抽出するための要件は、次の2項目に要約することができる。

- ① 低変成度オルドビス系の分布域抽出
- ② 低変成度黒色頁岩分布域中の褐鉄鉍ヤケ賦存域抽出

地化学探査において得られた火成活動時期データおよび地化学探査による金属成分の挙動・組合せに既知鉍床・鉍徴分布を総合すれば、

- ① 錫-タングステン鉍化作用;イリヤンブ花崗閃緑岩の貫入に伴う鉍化作用
- ② 多金属鉍化作用;ウワト（アマレット）花崗閃緑岩およびチャラサニ複合岩体の貫入に伴う鉍化作用
- ③ 金鉍化作用;ソンゴ-ヤニ花崗岩の若返りを惹起した熱水変質作用に伴う鉍化作用との鉍化作用の変遷が考察される。

多金属鉍化作用により形成される鉍床は裂罅充填型の鉍脈鉍床であり、本地域において大規模鉍床に発展する可能性は低く、本プロジェクトにおける直接的な探査ターゲットには成り得ない。更に、錫-タングステン鉍化作用により形成される鉍床もまた裂罅充填型の鉍脈鉍床を主体とするものと考えられ、これらの現況の金属市場を考慮すれば、直接的な探査ターゲットにはなり得ないものと判断されるが、大規模鉍床に成り得る層状鉍床の可能性についての検討は、今後行う必要がある。

金鉍化作用は低温系の鉍化作用の特徴を示し、多金属鉍床を構成する他の金属成分とは別の挙動をなし、単独の鉍化作用に由来することを示すことから、マント型金鉍化作用が、本調査地域の主たる金鉍化作用であると見なすことが出来る。マント型金鉍床は、ソンゴ-ヤニ花崗岩の貫入に伴う熱変成作用による低変成帯に選択的に分布するとされる。調査地域北縁のヤナ・オルコ(Mina Yana Orkho)鉍山の採掘現場で得た千枚岩中の黒色珪質層の試料で126g/t Auと非常に高品位を得た。即ち、このことはマント型金鉍床が現在知られているソンゴ-ヤニ花崗岩体周辺に存在するばかりではなく、更に広範囲に分布し得ることを示しているものと考えられる。

地化学探査から得られる探査ターゲットはマント型金鉍床であり、有望区域抽出の条件は、次の3項目に要約される。

- ① 黒色頁岩分布域
- ② 褐鉄鉍化変色帯分布域
- ③ 沢砂地化学異常分布域後背地

衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査解析結果を総括し、重複する項目を除外すれば、本調査地域における今後の探査のための有望地域抽出条件を、次の通り取り纏めることが出来る。

- ① 衛星画像データから抽出される褐鉄鉱に重複するカオリナイトおよび明礬石重複域
- ② 低変成度黒色頁岩分布域と褐鉄鉱ヤケ帯重複域
- ③ 沢砂地化学異常地点分布域の後背地

これらの条件の内、③の地化学異常の存在を必須条件とすれば、次の4箇所が有望地区として抽出された。

- 1) ケジュワコタ川流域地区
- 2) アウカパタ地区
- 3) タカコマ地区
- 4) ヤニ南方(チュチュ・ハウイラ)地区

### 1-2-2 第1年次調査の提言

有望地区別にみた提言は以下のとおり。

#### 1) ケジュワコタ地区

本地区は上流に、マント型金鉱床の胚胎域を大幅に拡大した根拠となったヤナ・オルコ鉱山が存在しており、金鉱床を再編した熱源の潜在が期待される地区である。更に、画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られる地区であり、さらに詳細な沢砂地化学探査と熱源の存否および金鉱化作用の関係が解明できるような岩石地化学探査を併用した地質調査の実施が必要である。

#### 2) アウカパタ地区

本地区は画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られ、小規模な地化学異常が点在する区域であり、地表調査で大規模な褐鉄鉱ヤケが認められる。したがって、さらに詳細な沢砂地化学探査と岩石地化学探査を併用した地質調査の実施が必要である。併せて地質層序および断裂系の詳細な調査を、褐鉄鉱化変質と金鉱化作用、あるいは断裂系と金鉱化作用の関係を把握することが必要である。

#### 3) タカコマ地区

本地区は画像解析で連続する酸化鉄指標が認められる地区であり、高地化学異常地点が連続して捕捉された区域であり、さらに詳細な沢砂地化学探査と岩石地化学探査を併用した地質調査の実施が必要である。

#### 4) ヤニ南部(チュチュ・ハウイラ)地区

画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られる地区であり、さらに詳細な沢砂地化学探査と画像データの検証を兼ねた岩石地化学探査の実施が必要である。

### 1-3 第2年次調査の概要

#### 1-3-1 調査地区

第1年次調査地域および第1年次調査で抽出されたケジュワコタ(Quellhuacota)、チャラサニ西(Charazani W)、アウカパタ(Aucapata)、タカコマ(Tacacoma)、チュチュ・ハウイラ

(Chuchu Jahuirá)の4地区と一部に金の異常の認められたチャラサニ西地区の計5地区で第一次地質・地化学探査(沢砂)が、さらにその結果を受けてチャラサニ西地区で第二次地化学探査(土壌)が実施された(第2図)。

### 1-3-2 調査目的

調査地域内の地質・地質構造と多金属鉱脈鉱床および熱水性金鉱床の鉱化作用との関係を把握する。また、変質帯の特性および地化学異常分布状況を考慮し、鉱床賦存が期待される地域の絞り込みを行うことを目的とする。

### 1-3-3 調査方法

第1年次調査で抽出された有望地区5地区を主体に詳細な沢砂地化学探査を実施するとともに、調査地域全体で熱変遷履歴を推察するために石墨化度測定用岩石試料を採取した。

代表的な地質单元および鉱石試料に付いては、試料採取を行い6×4×2cmに整形し、保管した。これらの中から薄片作製試料、鉱石研磨片試料、X線回折分析試料、流体包有物温度測定試料等の室内試験用試料を調整した。

沢砂試料採取地点では、GPSでUTM座標および標高を測定記録し、河床状況、転石の種類、川幅、流速、試料採取位置、河川水のpH等各種データを記録しつつ、分析試料として最低100gを目安としてASTM80メッシュの篩下試料を採取した。更に、20地点にほぼ1個の割合で、同一地点の沢砂複製試料を採取した。

パンニング地化学探査試料は、沢砂試料のほぼ10地点に1個の割合で採取し、更に10個に1個を目安にパンニング複製試料を採取した。

第二次調査の土壌試料採取は、河川、宅地および耕作地を除いた地点で実施し、地表から30～40cm深のB層を対象とした。各採取地点ではGPSでUTM座標および標高を測定記録し、地質、採取深度、土壌の色等各種データを記録した。

採取した試料はカナダのChemex分析所へ送付され分析された。

### 1-3-4 調査団の編成

調査団は日本人4名、ボリビア側カウンター・パート5名の総勢9名であった。

また、第一次のケジュワコタ地区には車道が無く、馬・ロバによるキャラバン調査を行った。

現地調査団の編成は、第1-1表、第1-2表のとおりである。

第1-1表 現地調査団(第一次)

日本側			ボリビア共和国側		
(氏名)	(役割)	(所属)	(氏名)	(役割)	(所属)
橋本 守男	調査責任者	MINDECO	Fernando Murillo	調査責任者	SERGEOMIN
勝野 豊	地化学探査	MINDECO	Roberto Trigo	地化学探査	SERGEOMIN
高見 明	地化学探査	MINDECO	Jose Luis Argandoña	地化学探査	SERGEOMIN
武部 晃充	地化学探査	MINDECO	Hector Vargas	地化学探査	SERGEOMIN
			Bernardino Coronado	地化学探査	SERGEOMIN

(略称) MINDECO : 三井金属資源開発株式会社

SERGEOMIN : Servicio Nacional de Geología y Minería



第1-2表 現地調査団（第二次）

日本側			ボリビア共和国側		
(氏名)	(役割)	(所属)	(氏名)	(役割)	(所属)
橋本 守男	調査責任者	MINDECO	Fernando Murillo	調査責任者	SERGEOMIN
山田 毅	地化学探査	MINDECO	Roberto Trigo	地化学探査	SERGEOMIN
武部 晃充	地化学探査	MINDECO	Ivar Alcocer	地化学探査	SERGEOMIN
古川 昇	地化学探査	MINDECO	Hector Vargas	地化学探査	SERGEOMIN
			Bernardino Coronado	地化学探査	SERGEOMIN

(略称) MINDECO : 三井金属資源開発株式会社

SERGEOMIN : Servicio Nacional de Geología y Minería

1-3-5 調査期間及び調査量

調査期間は第2-1表、第2-2表のとおりである。

第2-1表 調査期間（第一次）

	2003年			
	6月	7月	8月	9月
計画・準備	5 ————— 22			
動員・撤収		23 —	6 —	
現地調査		—————		
解析・報告書作成			—————	30

第2-2表 調査期間（第二次）

	2003年	2004年		
	1 2月	1月	2月	3月
計画・準備	18 ————— 9			
動員・撤収		10 —	20 —	
現地調査		—————		
解析・報告書作成			—————	19

調査数量は第3-1表、第3-2表のとおりである。

第3-1表 調査数量 (第一次)

調査内容	調査量	
地化学探査	調査面積	200km <sup>2</sup>
{ <ul style="list-style-type: none"> <li>ケジュワコタ地区</li> <li>チャラサニ西地区</li> <li>アウカパタ地区</li> <li>タカコマ地区</li> <li>チュチュ・ハウイラ地区</li> </ul> }		(16km <sup>2</sup> )
		(30km <sup>2</sup> )
		(80km <sup>2</sup> )
		(50km <sup>2</sup> )
		(24km <sup>2</sup> )
沢砂試料	218	試料
沢砂複製試料	10	試料
パンニング試料	15	試料
パンニング複製試料	2	試料
石墨化度測定試料	261	試料
鉍石分析試料	64	試料
岩石薄片試料	12	試料
鉍石研磨片試料	12	試料
粉末 X 線回折試料	10	試料
流体包有物均質化温度測定試料	18	試料
放射年代測定分析試料	3	試料
補足調査 (SERGEOMIN による)		
沢砂試料	140	試料
沢砂複製試料	8	試料
パンニング試料	3	試料
鉍石分析試料	12	試料

(他に X 線回折、研磨薄片各 1 試料追加)

第3-2表 調査数量 (第二次)

調査内容	調査量	
地化学探査	調査面積	
チャラサニ西地区		50km <sup>2</sup>
土壌試料	502	試料
鉍石分析試料	5	試料
岩石薄片試料	11	試料
鉍石研磨片試料	5	試料
粉末 X 線回折試料	5	試料
補足調査 (SERGEOMIN による)		
沢砂試料	48	試料
沢砂複製試料	4	試料
石墨化度測定試料	54	試料