

東京府立第一高等学校

昭和二十一年三月二十一日

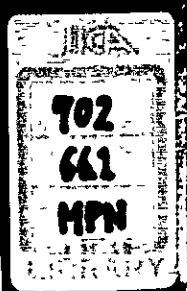
校長 鈴木 寛

教務主任 佐藤 謙

昭和二十一年三月二十一日

東京府立第一高等学校

校長 鈴木 寛



702
661
MPN

ボリヴィア共和国グランチョカヤ地区

資源開発協力基礎調査報告書

第 1 卷
(第 1 年次)

1980年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

JICA LIBRARY



1054303E17

国際協力事業団

受入 月日 84. 8. 29	7702
登録No. 14329	566.1 MPN

は し が き

日本政府はポリヴィア共和国の要請に応え、同国の南部に位置するグランチョカヤ地区の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査等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依頼することとした。本調査は1979年が第1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、1979年9月7日から1979年11月1日まで、現地に派遣して調査にあたらせた。

現地調査はポリヴィア共和国政府関係機関、特に鉱山冶金省、ポリヴィア鉱山公社の協力を得て予定通り完了した。

本報告は第1年次の調査結果をとりまとめたもので、第2年次、第3年次の調査結果とあわせて、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ポリヴィア共和国政府の関係機関ならびに外務省、通商産業省、在ポリヴィア日本大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

1980年2月

国際協力事業団

総裁 有田圭輔

金属鉱業事業団

理事長 西家正起

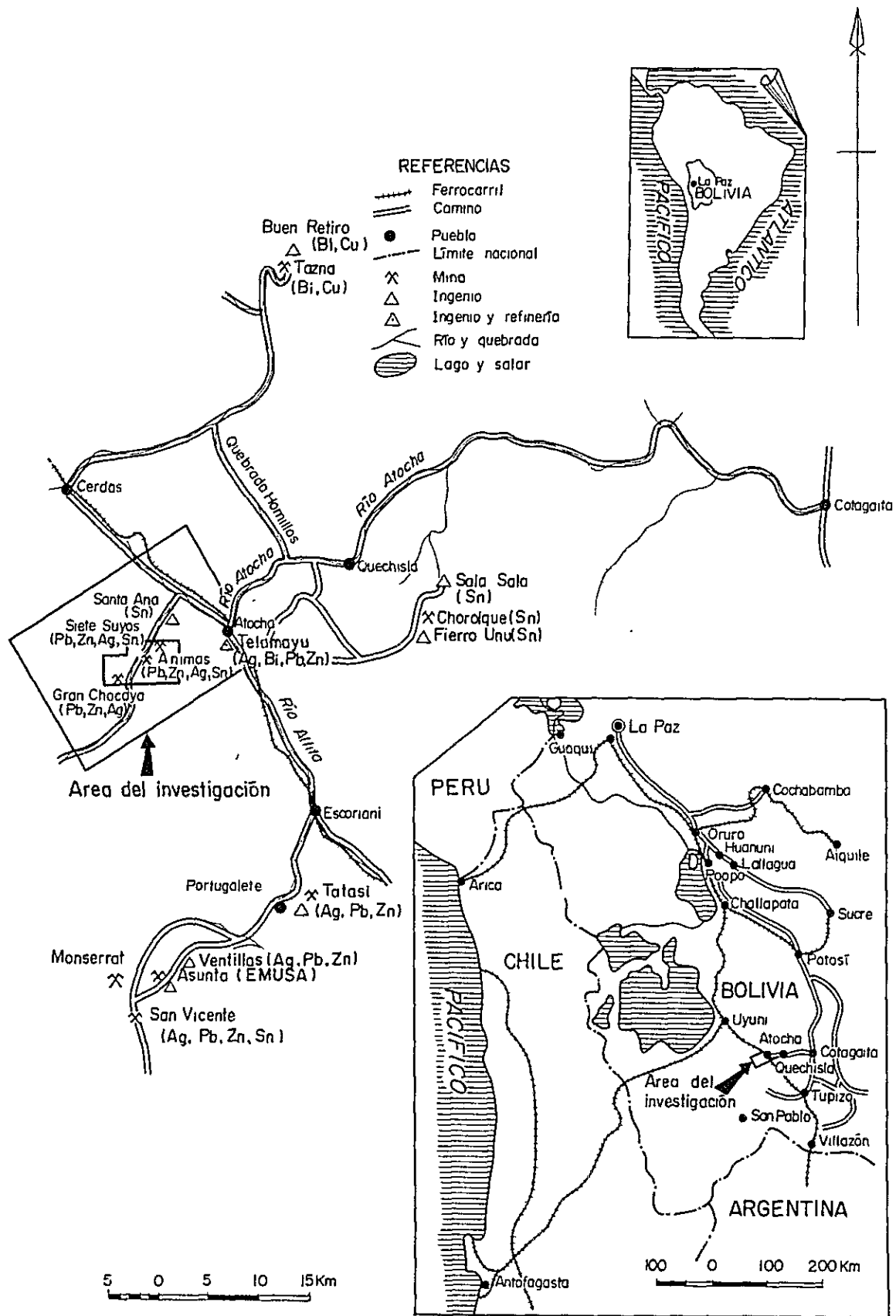


Fig. 1 Plano general del área de investigación

要 約

ボリビア共和国 Gran Chocaya (グラン チョカヤ) 地区資源開発協力基礎調査の第1年次の調査として、地質調査概査および精査を実施した。プロジェクト対象地区面積280 ㎢の概査によって、地質、地質構造、鉱床分布状況、鉱徴地および鉱床賦存を支配する地質的諸現象を明らかにし、精査地区として鉱床賦存の可能性の高い区域を抽出した。さらにこの区域内で精査を実施して、次段階の探査活動に有効な指針を得ることとした。

調査地区はボリビア南部のアルティプレーノ高原地帯の東辺部に位置し、平坦な高原状地形と火山岩の分布による急峻な地形を呈し、高度は海拔3,700 m～4,700 mに達する。年間降雨量が少なく、熱帯地域に属しながらも、標高が高いため昼夜の気温格差が大きく、特殊な気候となっており、半砂漠的の山地または、植生の乏しい高原となっている。調査地区およびその付近には鉱業以外に活発な産業活動は見られず、鉱業の発展は直接本地区の発展につながる。

調査地区の地質は、本地区の北部、東部、北西部を広く覆う第三系の凝灰岩、赤色砂岩の陸成層と地区西部の白亜系、オルドビス系、地区東部のオルドビス系、白亜系、および中央部に広く分布する火山岩、火砕岩より構成され、オルドビス系は調査地区の最下位層で基盤を形成している。

これらの地質構造については、オルドビス系および白亜系では北北西-南々東方向の褶曲軸を有し、第三系は西北西-東南東の走向を示すものが多い。断層はその数が少なく、主として地域の東部及び西部に若干存在し、白亜系とオルドビス系を分割するが、これら断層付近に鉱化帯はない。又鉱床地帯で、地表で比較的明瞭にみられる断層にも鉱化はおよんでいず、広域的な地質構造と裂隙生成については直接の関係はみられない。

調査地区の火山活動は中新世最後期に生起し、Aninas (アニマス)、Siete Suyos (シエテ スーヨス)、Gran Chocaya 周辺に広く火山岩、火砕岩が堆積した。この火山岩は、カルクアルカリ岩系の石英安山岩であり、鉱床はこの火山岩、もしくは火砕岩の分布範囲に限定して存在し、火山活動と鉱床生成とは極めて密接な関係にある。これらの火山岩は極く少数の岩脈を除いてはすべて熔岩としての産状を呈しているが、それらを噴出した火口、火道などの位置を示すような地質現象が観察されず、火山活動の中心は明らかでない。しかし、その分布形態などにより、Aninas, Siete Suyos, Gran Chocaya を環状にかこみ、数ヶ所の活動の中心があり又、環状地区内にも活動の中心があったものと想定され、その活動は環状地域の中心より逐次外側に移動したものと考えられる。

鉱床は、Aninas, Siete Suyos, Gran Chocaya の各地域に密集して賦存し、一連の鉱化帯、変質帯を形成しており、他の地域においては、鉱徴と称する程の露頭は見られなかつ

た。Animas, Siete Suyos, Gran Chocayaの鉱床は、N50°E, N58°Eの2系の剪断裂罅を充填した鉱脈型鉱床である。裂罅生成の要因は、火山活動に伴った熔岩の上昇、貫入、流出に伴う圧縮力で、これがほぼ垂直方向に作用して裂罅が生成されたものと考えられるが、地表調査では明瞭にし得ず、坑内調査も行ってその結果も併せて想定した。

鉱石鉱物は含銀方鉛鉱、閃亜鉛鉱、錫石、黄銅鉱、主とし、これに黄錫鉱、濃紅銀鉱、フランクアイト、輝蒼鉛鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、菱鉄鉱等を随伴し、さらに、少量の車骨鉱、カンファイルダイト、白鉄鉱、磁硫鉄鉱、ピクスピ鉱、磁鉄鉱、銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉱物を産する。これら鉱物の共生関係より本鉱床は浅熱水性高温鉱脈鉱床(ゼノサーマル)に属する。鉱脈中で最大規模を有するものは、走向延長2,000mに及ぶColorada(コロラダ)脈で露頭下680mに達する。これと平行して数100mの走向延長を有する数条の鉱脈が存在している。Gran Chocaya地域はこれら鉱化帯の西方延長上に位置しており、鋭意開発が進められている。

鉱床の母岩は上部から下部へAnimas石英安山岩、火砕岩、オールドビス系となっており、オールドビス系中で鉱脈は一般に優勢となる。

変質帯の分帯を行った結果、Animas, Siete Suyos, Gran Chocayaの変質帯を変質鉱物の組合せにより、5帯に分類したが、既知鉱床の周辺では最も変質強度の高いI帯(カオリナイト-緑泥石混合帯)が出現し、Gran Chocaya付近はIV帯(斜長石消失帯)に位置し、Animas付近よりは変質度は減じているが、鉱化作用による変質帯に属している。

以上のような調査結果から、本鉱化、変質帯について次のように考える。

- (1) 探鉱範囲は火山岩又は火砕岩の分布する区域に限定される。
- (2) 鉱床は2系の剪断裂罅を充填した鉱脈鉱床で、この主応力の方向は垂直に近い。したがって、上下動により裂罅が形成されたが、下部に分布するオールドビス系では岩質が均一なため裂罅形成の力が伝達され易く、オールドビス系中で安定した脈を形成する傾向がある。
- (3) オールドビス系は上位の石英安山岩、同質火砕岩より堅硬で安定した割れ目を形成しやすい。
- (4) 本地区の鉱床は、下部に鉱脈が賦存しているも、鉱石鉱物を有する露頭がみられず、変質帯のみが存在していることが多い。したがって地表では変質帯のみであっても、下部に鉱床賦存の可能性が大きい。特にオールドビス系に入ってその可能性が高い。
- (5) 変質帯の分布から未開発部で有望な区域として、IV帯のGran Chocaya区域周辺およびこの連続部分のBurton(ブルトン)脈、Colorada脈の南西延長部、Animas既知鉱床の北北西側でI帯(カオリナイト-緑泥石混合帯)の北北東端区域が有望視される。

以上の観点から今後探鉱すべき区域と、その方法については次のように考える。

- ① Gran Chocaya 区域一帯：本区域は広い変質帯を形成しているが、下部の情報が欠如しているため、試錐探鉱を実施する。
- ② Burton, Colorada 脈の南西延長部：Gran Chocaya の開坑部と Animas の既開発部の間については、直接試錐を実施して下部の鉱況を確認する。又 Burton 脈の南西延長部付近は未開発であるので、物理探査 I P 法によって或る程度の情報を得て試錐を実施する。
- ③ Animas 既知鉱床北西側区域：本区域は中央立坑北西 500 m の地点を中心とした直径 1 Km の範囲であるが、この地域は既知鉱床の開坑部に近く、坑内よりの傾斜試錐を実施し、変質帯の深部鉱況を確認する。
- ④ Animas, Siete Suyas 鉱山の既開発部の下部探鉱については今後坑内地質精査を実施し詳細な共生鉱物の累帯配列、裂隙系の解析、火山岩と鉱化作用などの関係を調査して鉱化の中心部を推定し、深部に対する具体的な探鉱方針を確立する。

Animas, Site Suyas 鉱山の稼働状況からみて上記の探鉱を早急に実施し、鉱量を獲得することは極めて重要と考えられる。

総 合 目 次

は し が き

位 置 図

要 約 i

総 論 1

各 論

第Ⅰ部 地質調査概査 Ⅰ-1

第Ⅱ部 地質調査精査 Ⅱ-1

付 録

目 次

は し が き	
位 置 図	
要 約	1
総 論	1
第 1 章 序 論	1
1 - 1 調査の経緯および目的	1
1 - 2 調査作業の概要	1
1 - 3 調査団の編成	3
第 2 章 調査地域の一般概要	5
2 - 1 位置, 交通	5
2 - 2 地形, 気候	5
2 - 3 鉍 業	5
2 - 4 Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 鉍山概要	10
第 3 章 調査の結論および将来への指針	13
3 - 1 結 論	13
3 - 2 今後の調査に対する意見	15
各 論	
第 I 部 地質調査概査	I - 1
第 1 章 地 質	I - 1
1 - 1 概 要	I - 1
1 - 2 写真地質解析	I - 2
1 - 3 オルドビス系	I - 4
1 - 4 白亜系	I - 5
1 - 5 第三系	I - 6
1 - 6 第四系	I - 8

第2章 地質構造	I-9
2-1 概要	I-9
2-2 褶曲	I-10
2-3 断層	I-12
第3章 火成岩	I-15
3-1 概要	I-15
3-2 熔岩類	I-18
3-3 岩脈類	I-20
3-4 火砕岩類	I-21
第4章 地史	I-24
第5章 鉍床および鉍化示徴	I-26
第Ⅱ部 地質調査精査	Ⅱ-1
第1章 精査地域の選定	Ⅱ-1
第2章 精査結果	Ⅱ-2
2-1 地質概要	Ⅱ-2
2-2 堆積岩類	Ⅱ-2
2-3 火山岩類および火砕岩類	Ⅱ-3
第3章 鉍床	Ⅱ-6
3-1 鉍床概要	Ⅱ-6
3-2 裂隙系	Ⅱ-14
3-3 鉍化作用	Ⅱ-16
3-4 変質作用	Ⅱ-19

文 献

付 録

諸資料，写真

別 卷

添 付 図 面

地質図，鉱床図類

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1 Plano general del área de investigación
- Fig. 2 Plano de alcance del área de investigación
- Fig. 3 Sistema de transporte de minerales en sección Animas y Siete Suyos
- Fig. 4 Columna geológica
- Fig. 5 Perfil idealizado
- Fig. 6 Diagrama triangular de rocas volcánicas (Tabla de los símbolos adaptados)
- Fig. 6-1 Diagrama triangular de $Al_2O_3 + Fe_2O_3 - Na_2O - K_2O$
 $FeO + MgO$ y CaO (Mol %)
- Fig. 6-2 Diagrama triangular de ΣFeO ($FeO + 0.9 \times Fe_2O_3$),
 MgO y $Na_2O + K_2O$ (Peso %)
- Fig. 6-3 Diagrama triangular de FeO , MgO y $Na_2O + K_2O$
(Peso %)
- Fig. 6-4 Clasificación de rocas volcánicas por contenido de SiO_2 y $Na_2O + K_2O$
- Fig. 6-5 Diagrama de variación de composiciones asociadas con incremento de $\Sigma FeO / MgO$ de series tholeiítica y alcalina cálcica
- Fig. 6-6 Diagrama de variación de composiciones químicas
- Fig. 6-7 Índice de álcali - calcio
- Fig. 7 Explicación del diagrama de rosa de los rumbos de las vetas en el área de Gran Chocaya
- Fig. 8 Modelo de vetas
- Fig. 9-1 Distribución de minerales detectados por rayos-X en la línea de medición que cruza rectangularmente el grupo de vetas de Animas - Siete Suyos
- Fig. 9-2 Distribución de plagioclasa y caolinita
- Fig. 9-3 Distribución de clorita, calcita y pirita
- Fig. 9-4 Clasificación de zonas alteradas
- Fig. 9-5 Distribución de plagioclasa y ortoclasa, interior de la mina Gran Chocaya

- Fig. 9-6 Distribución de caolinita y calcita, interior de la mina Gran Chocaya
- Fig. 9-7 Distribución de minerales alterados, interior de la mina Gran Chocaya

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1 Interpretación de fotogeología
- Tabla 2 Listas de vetas
- Tabla 2-1 Lista de vetas principales de la mina de Animas-Siete Suyos
- Tabla 2-2 Lista de las vetas de interior de la mina Gran Chocaya
- Tabla 3 Lista de los minerales metálicos principales; los de sulfosales estanníferos y argentíferos; los sulfuros de hierro
- Tabla 4 Listas de clasificación de minerales alterados
- Tabla 4-1 Lista de los números detectados de cada mineral por intensidad
- Tabla 4-2 Lista de los números detectados de interior y exterior de minas, y por cada mineral
- Tabla 4-3 Lista de intensidades medias geométricas de interior y exterior de mina, y por cada mineral

LISTA DE PLANOS

PL 1	Mapa geológico del área estudiada semi detallada	1 : 20,000
PL 2	Perfiles geológicos del área estudiada semi detallada	1 : 20,000
PL 3-1	Mapa geológico del área estudiada detallada	1 : 5,000
PL 3-2	Mapa geológico del área estudiada detallada	1 : 5,000
PL 4	Perfiles geológicos del área estudiada detallada	1 : 5,000
PL 5	Mapa ilustrado de distribución y clasificación de zonas alteradas	1 : 5,000
PL 6	Mapa ilustrado de distribución de yacimientos y zonas mineralizadas	1 : 20,000
PL 7	Mapa ilustrado de geología estructural y yacimientos	1 : 20,000
PL 8	Mapa de ubicación de muestreo (Exterior mina)	1 : 20,000
PL 9	Mapa de ubicación de muestreo (Interior mina)	1 : 10,000
PL 10	Mapa geológico del interior de mina Gran Chocaya	1 : 1,000

APENDICES

- A- 1 Lista de muestras
- A- 1-1 Lista de muestras de mina exterior
- A- 1-2 Lista de muestras de mina interior
- A- 1-3 Lista de muestras usadas a más de dos clases de prueba de una muestra
- A- 2 Resultado de observación microscópica de secciones delgadas
- A- 3 Resultado de observación microscópica de secciones pulidas
- A- 4 Lista de fotografías microscópicas de secciones delgadas y sus fotografías
- A- 5-1 Lista de fotografías microscópicas de secciones pulidas y sus fotografías
- A- 5-2 Lista de fotografías de EPMA y sus fotografías
- A- 6 Resultado del estudio de especies de fósiles y sus fotografías
- A- 7 Resultado del estudio de planta y polen y sus fotografías
- A- 8 Determinación de edades de las rocas volcánicas por método potasio-argón
- A- 9 Lista de análisis químico de los minerales
- A-10 Observaciones en campo de rocas volcánicas y piroclásticas
- A-11 Resultado de análisis químico de rocas volcánicas, cálculo de Norm
- A-12 Resultado de análisis químico de rocas volcánicas, diagramas triangulares de cálculo de Norm (Tabla de los símbolos adaptados)
- A-12-1 Diagrama triangular de cuarzo, albita y ortoclasa
- A-12-2 Diagrama triangular de cuarzo, albita + anortita y ortoclasa
- A-12-3 Diagrama triangular de ortoclasa, anortita y albita
- A-13 Análisis de Rayos-X y sus cartas
- A-14 Fotografías

総

論

第 I 章 序 論

1-1 調査の経緯および目的

ボリヴィア共和国は、錫の生産についてはマレーシア、インドネシアと並び世界の主要錫生産国となっており、錫生産に国家財政の大半を依存しているモノカルチャー構造の国である。しかし錫価格の変動が同国の財政に大きく影響し、このため財政的体質が弱く、常にこの改善が望まれていた。又一方最近とみに増加の傾向にある輸送費の逡減と付加価値の増大という観点より国内に製錬所を所有し、処理することが有利であるため、同国は国内に製錬所を建設することをもちて鉱業政策の基本路線として推進して来た。この結果錫製錬所が建設され、引き続きその他の主要鉱産物の国内製錬を計画して着々と実施に移している現況である。この施策の一環としてボリヴィア政府は亜鉛製錬所建設を計画し、又日本の高度の鉱山技術に着目して日本政府に亜鉛製錬所建設に関する技術協力を要請した。日本政府にこれに応じて1975年および1976年に亜鉛製錬所およびそれに伴うインフラストラクチャーに関する調査団を派遣し、調査検討を行わせた。

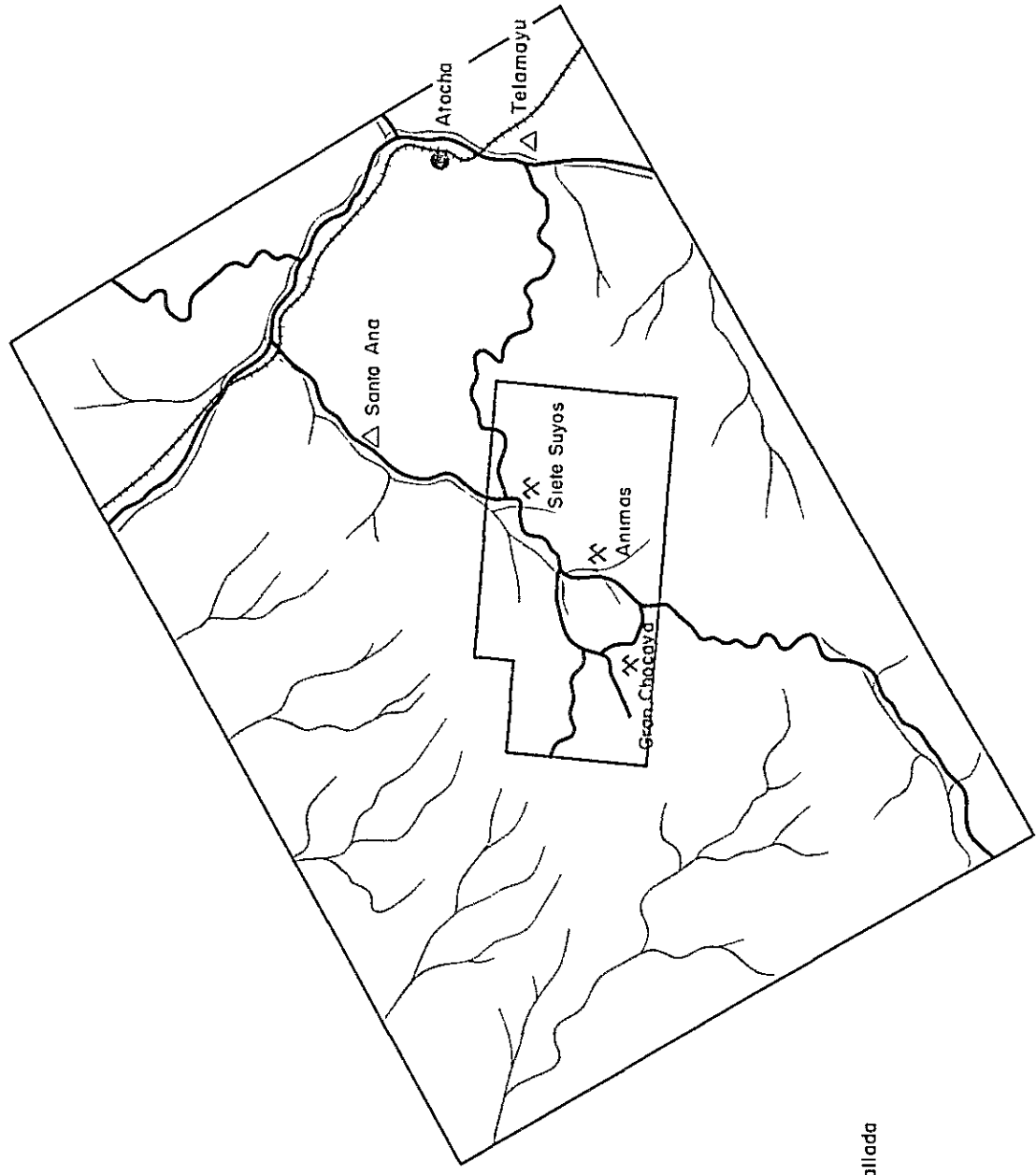
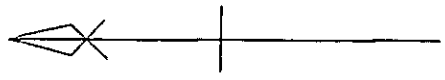
ボリヴィア政府は亜鉛原料の確保という観点より、引続いて亜鉛鉱床探査に対する技術協力の要請を日本政府に対して行い、日本政府は予備調査団を派遣して検討した結果、同国の南部に位置する San Vicente (サンビセンテ)、Tatasí (タタシ) 鉱山を中心とする地区で鉱床探査を実施することを決定した。この鉱床探査は1976年より1978年まで3箇年にわたって実施された。

この間にボリヴィア政府は更に上記地区の北方に位置する Gran Chocaya 地区の鉱床探査についての技術協力を要請したので日本政府はこれに応じて1979年6月に事前協定折衝団を派遣して、ボリヴィア政府およびボリヴィア鉱山公社 (Corporacion Minera de Bolivia, COMIBOL) と調査に関する事前の打合せを行い、鉱床賦存の可能性の高い Gran Chocaya, Siete Suyos, Animas 及びその周辺を含む地区に本調査を実施することとなり、この地区を Gran Chocaya 地区と呼称して調査を実施することとなった。

本調査の目的は、ボリヴィア共和国ポトシ (Potosí) 州アトチャ (Atocha) 西方の Animas および Siete Suyos 両鉱山を内包する面積約280 km²の地区に金属鉱床を対象とする地質調査を行うことにより、調査地区の地質および地質構造を把握するとともに金属鉱床の賦存が期待される地質環境や鉱徴地を明らかにし、鉱床賦存の可能性の高い地区の抽出など次段階の探査活動に有益な指針を得ることである。

1-2 調査作業の概要 (Fig1, 2 参照)

調査作業は地質調査概査と同精査とに分けられ、対象地区全域にわたる地質調査概査を実施した後、



REFERENCIAS









-  Ferrocarril
-  Río y quebrada
-  Camino
-  Pueblo
-  Mina
-  Ingento
-  Area de la investigación semi detallada
-  Area de la investigación detallada



Fig. 2 Plano de alcance del área de investigación

その結果により精査区域を抽出した。概査の対象地域は Fig. 1 および 2 に示すように北東より南西に伸びた長方形の形で、その面積は 280 ㎢ (20 Km × 14 Km) で、Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 一帯の鉱床賦存の可能性のある地域を網羅している。

精査は事前協定折衝に於けるポリヴィア鉱山公社の希望と、概査結果に基いて、Fig. 2 に示すように Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 鉱床地帯中、特に未開発部を有する Animas 南西部および Gran Chocaya 区域を調査するように計画され、かつその調査範囲が選定された。地質調査精査の範囲は 30 ㎢ で東西に伸びた長方形を呈する。

地質調査概査、同精査にあたっては後述する日本人調査団員とポリヴィア鉱山公社より派遣されたポリヴィア人調査団員とによって実施され、現地踏査期間は Animas 鉱山到着翌日より同鉱山出発前日までの 40 日間である。又調査中にポリヴィア鉱山公社より同社で所有する諸資料および同社が実施した以前の調査報告などの提供を受け十分に参照して調査を行った。特に本調査は地表調査のみで坑内調査が実施されなかったため、鉱化作用の考察などについては調査地区の鉱業生産活動を管理するポリヴィア鉱山公社 Quechisla 鉱業所 (Empresa Minera de Quechisla) の地質課、及び同所に従属する Animas 鉱山、Siete Suyos 鉱山の地質係で管理する諸資料を参照し、且又これらの部署に所属する地質技師より種々有力な意見を聴取して本報告の参考としたことを明記する。

1-2-1 地質調査概査

調査に先立ち調査地区全域にわたる概略の写真地質解析を行い地質調査の参考とした。

調査は縮尺 1/10,000 の地形図を使用してルートマップを作成し、縮尺 1/20,000 で地質図を作成した。

調査にあたっては調査路線が出来るだけ全域に平均して入るよう考慮した。調査地区の地質構造の方向は主として南北もしくは北西-南東方向であるため、調査路線は出来るだけこれを縦断する方向に発達した峡谷、河川および山地の尾根沿いにとり、調査結果が地質構造の解明に有効であるように配慮した。しかし、火山岩分布地域では地形が複雑であったため必ずしもこの通りには行われなかった。

調査は概査の精度で行われ、500 m × 500 m の範囲内に少なくとも 1 箇所の測定、観察箇所が入るよう努力した。しかし調査地区の北部を主とする平坦部では、現地性風化物が多く上記のような観察箇所を得ることは困難であった。

1-2-2 地質調査精査

精査は、Animas, Siete Suyos 及び Gran Chocaya 区域が有望地域であり、特に Gran Chocaya 地区は未だ開発が進んでいないため、Gran Chocaya 付近に調査の重点を

置き、これらの地域を包含する30 km²の面積について実施された。本調査は縮尺1/5,000地形図を使用し、鉍脈、鉍徴地、変質帯、坑口等はコンパス測量を行ってほぼ正確な位置を把握し、又立坑位置、主要鉍脈についてはトランシットによる測量を行ってより正確な位置を把握してこれを図化した。特に連続する鉍脈、変質帯は追跡して測量を行い、その連続性を確認している。このようにして少くとも300 m×300 mの区画内には1ヶの観察資料が入るようにし、調査密度の向上を計ったが、場所によっては露頭が少なく、特にCerro Khumullani（セロクムリヤニ）、Cerro Negro Pozo（セロネグロポソ）南麓付近は重要な区域であったが、露出不良で、観察資料が少なく種々の考察が困難であった。精査範囲内では特に裂隙系の解析、変質帯についての考察を行って本区域の鉍化作用を明らかにするため、地質諸元の測定、観察、鉍化の中心部と見られる区域よりの組織的なX線試料の採取を行った。

1-2-3 試料

上記の地質調査概査、および同精査の野外作業に伴って試料が採取され、野外調査終了後、種々の試験が実施されたがそれらは下記の通りである。

顕微鏡観察薄片	50枚
顕微鏡観察研磨片	40枚
X線マイクロアナライザー試験	3件
X線分析	100件
化石鑑定（植物化石を含む）	5件
花粉分析	1件
鉍石一般湿式分析（Ag, Pb, Zn, Sn）	50個（各4成分）
火成岩年代測定	2件
岩石完全分析	5個

これらの試験結果および野外調査結果を基に各種図表が作成され、最終的に調査報告書が作成された。

1-3 調査団の編成

現地調査はボリヴィア鉍山省、ボリヴィア鉍山公社の協力を得て実施され、ボリヴィア鉍山公社と共同という形で実施されたが、現地調査に参加した日本側人員は下記の通りである。

渉外・調整

黒子 孟 夫	金属鉍事業団
中村 研 治	"
千村 和 弘	国際協力事業団

現地調査団員

黒 沼 廣 治	団長	同和工管株式会社
伊 藤 俊 弥	団員	"
堀 昌 雄	"	"
蛇 目 秀 雄	"	"
北 島 光 雄	"	"
大 山 勉	"	"

ボリヴィア側より参加した人員は下記の通りで、このうちボリヴィア鉍山公社オルロー地質局より派遣された地質技師の3名は共同調査者として踏査期間の全期間を通じて日本人調査団と行動を共にし、他は資料の作成、提供、測量などに協力した。これらの協力により調査は極めて効果的かつ友好的に実施された。

ボリヴィア側調査団員

Ing. Hildebrando Martínez Mendieta	ボリヴィア鉍山公社,	オルロー地質局
Ing. Juan Carlos Seguro	"	"
Ing. Antonio Flores Zamora	"	"
Ing. Jorge Caballero	ボリヴィア鉍山公社	ケチスラ鉍業所
Ing. Victor Choque	ボリヴィア鉍山公社	ケチスラ鉍業所 アニマス鉍山
Sr. Teodoro Magne	ボリヴィア鉍山公社	オルロー地質局 (測 量)
Sr. German Wieler	"	"

第 2 章 調査地域の一般概要

2-1 位置, 交通 (Fig 1, 2 参照)

本年次の調査位置は, 首都 La Paz (ラパス) 市の南南東, 直距約 520 Km の付近に位置する。行政上は Potosí 州 Nor Chichas (ノル チィチャス) 郡に属し, その北東部を占める。

調査範囲は下記の 4 点の緯度, 経度によって示され, 長辺 20 Km 短辺 14 Km の長方形の地区である。

	北 端	東 端	南 端	西 端
南緯	20° 50' 50"	20° 57' 19"	21° 02' 56"	20° 56' 27"
西経	66° 15' 51"	66° 11' 40"	66° 21' 32"	66° 25' 42"

この範囲は Instituto Geográfico Militar (I.G.M 陸軍地理調査院) 発行の縮尺 1/50,000 地形図の Gran Chocaya 図幅 (図番 6331 III), Atocha 図幅 (図番 6331 II), Mina Yaretani 図幅 (図番 6330 IV) の 3 枚の図幅中に包含される。

首都 La Paz (ラパス) 市から調査地区への交通は鉄道と自動車による方法がある。鉄道の場合は, La Paz よりアルゼンチンとの国境の町 Villazón (ビリヤゾン) に達する La Paz - Villazón 線により調査地区に近い Atocha で下車し, 自動車で調査地区に達する。La Paz - Atocha 間は週 5 回定期鉄道便があり, 所要時間は約 15 時間である。

自動車による場合は, La Paz より Potosí を経由する道路を利用するのが最も便利である。途中の Cotagaita (コタガイタ) と Atocha の間の約 90 Km は Río Atocha (アトチャ川) の河床が道路となっており, 雨季の際には通行不能で, Cotagaita より Tupiza (トゥピサ) を経由して調査地区へ行く必要がある。La Paz より調査地区までのジープによる所要時間, および距離は次の通りである。

La Paz	$\frac{10 \text{ 時間}}{574 \text{ Km}}$	Potosí	$\frac{4 \text{ 時間}}{185 \text{ Km}}$	Cotagaita	$\frac{3 \text{ 時間}}{70 \text{ Km}}$
Quechisla	$\frac{30 \text{ 分}}{19 \text{ Km}}$	Atocha	$\frac{20 \text{ 分}}{15 \text{ Km}}$	Siete Suyes - Animas	$\frac{5 \text{ 分}}{3 \text{ Km}}$

調査地区付近の道路網は Atocha 駅を中心に発達しているが, 地域の開発が進んでいず各鉾山を結んでいるにすぎない。Atocha より Siete Suyos に至る間は, Río Chocaya の河

床の一部を通行し雨季には通行不能の場合もあるので、AtochaよりTelamayu（テラマユ）を経て山道によりSiete Suyosに達する自動車道路があり、その所要時間は約40分である。

2-2 地形, 気候

調査地区はボリビア南部のアルティプラーノ高原地帯にあり、標高は海拔3,600mより4,700mに達し、調査地区内の標高の最高点はCerro Khumullaniの頂上で海拔4,703mである。調査地区の中央をRío Choocayaが北東に流下しその下方侵蝕が進み峻峻な壮年期地形を呈している。その南東部及び北東部に海拔4,500mから4,700mに達する山頂が散点しており、又この北西部は火山岩分布地域の特徴ある地形を有して、この周辺の堆積岩の分布地域とは明らかな対照が見られる。この火山岩分布地域を取巻く地域は一般に樹枝状の谷が比較的密に発達した地形を呈し、地質と地形とが密接な関係を示す。調査地区の北部から北西部にかけては時代の新しい凝灰岩が分布しこの地域では比較的密に樹枝状の谷が分布したゆるやかな丘陵状の地形となっている。これに対し、古生界の分布する地域は急な河岸を形成している。標高が高い火山岩分布地域を除いては、一般に流量に比して広い川幅を有し側方侵食が進んでいるようであり、また河岸段丘の発達が少なく、その後急激な隆起上昇運動が起らなかったものと推定される。

調査地区は、南回歸線の北に位置しているため、熱帯性気候に属すべき地域であるが、標高が大であるため特異な気候となっている。すなわち年間平均気温は5～6℃と推定され、冬季の夜間最低気温は零下25℃まで下がり、夏季でも夜間は氷点下の温度である。

日中の最高温度は冬季の7月頃が最低で15℃前後、夏季のはじめの12月頃が最高で25℃前後であるが、夜間に気温が下がり一日の気温格差が20℃以上に達する。ボリビア全体の気候の特徴としては、乾季と雨季の区別が明瞭で、雨季は通常12月から3月まで、乾気は4月から11月までである。乾季には殆んど降雨を見ず乾燥が激しく、湿度は0～30%位で雨季でも50～60%と推定される。雨量は12月から3月にかけて集中するため、これらの月での月間平均雨量は70～120mm位であるが、他の月では殆んど降雨を見ず、年間雨量は400mm前後で極めて少ない。こうした本地区の厳しい気候条件は植生、住民の生活に大きな影響を与えており、地域の大半は不毛の地となっている。

2-3 鉱業

調査地区はボリビア有数の鉱山地帯の一つに属しており、Atochaを中心にして多数の稼行鉱山が分布している。

ボリビアの金属鉱床は比較的明瞭な鉱種による鉱床帯を形成し、これらの鉱床帯は東アンデス山系の火成活動に関連して、東アンデス山系の延長方向に沿って北北西-南南東方向に分布

している。

鉱床帯は鉱種による規則的な配列を行っており、タングステン帯を中心にし、これから外側に向って錫-含銀錫帯、鉛-亜鉛帯更に離れてアンチモン帯、銅帯が分布している。調査地区付近ではTazna(タナス) 鉱山がビスマス、タングステン等の鉱物を産出し、またChorolque(チョロルケ) 鉱山は錫を産出してタングステン帯、錫-含銀錫帯に属し、この周辺を取り巻いて広く鉛-亜鉛鉱床帯が分布している。調査地区内に分布する Animas, Siete Suyos 鉱山(COMIBOLの組織上両鉱山は合わせてChocaya 鉱山と呼ばれる)、および調査地区北方に分布する San Vicente 鉱山, Tatasí 鉱山, Asunta 鉱山(アスンタ)は鉛-亜鉛鉱床帯に属しているが錫鉱床帯とも重複し、これらの鉱山では錫、銀、鉛、亜鉛鉱物の共生した複雑鉱を産出し、特徴ある鉱床となっている。

これらの主要な鉱山は、古くはスペイン時代より本格的に採掘され、その後世界的に有名なボリビアの三大鉱山財閥であるHoschild(ホスチャイルド) Aramayo(アラマヨ)、Patiño(パティーニョ)家によって経営されて来た。調査地区にある Animas 鉱山はAramayo, Siete Suyos 鉱山はPatiño 家に属していた。

1952年の革命後、ボリビア政府は、三大財閥の所有する鉱山を国有化し、同年全額政府出資のボリビア鉱山公社(COMIBOL)を設立して国有化鉱山を同社の傘下に治め、これら鉱山の経営を同社に行わせた。この結果、調査地区およびその付近では中小私企業に属していたAsunta 鉱山を除き、上記諸鉱山はすべてCOMIBOLに所属することとなった。

Patino家が経営していた調査地区、およびその周辺の諸鉱山の中心地として管理機構を置いていたQuechisla(ケチスラ)に、現在COMIBOLは、鉱業所としての事務機構を置き、COMIBOLに属する上記諸鉱山の経営を行っており、Empresa Minera Quechisla[※](ケチスラ鉱業所)と呼称されている。

Quechisla 鉱業所の所属としてTelamayu に鉛-亜鉛選鉱場およびビスマス製錬所があり、更にこれらに中央工作場が付属しているが、現在はビスマス市況の関係からビスマス製錬所は操業を中止している。Quechisla管内の各鉱山は、それぞれ選鉱場を有しているが、

Animas, Siete Suyos 鉱山の鉛-亜鉛粗鉱はTelamayu 選鉱場に送られ処理されている。

当地区はボリビアでも重要な鉱産物の生産地であり、1978年の当地区よりの年間産出金属量はおよそ銀120トン、錫1,500トン、鉛6,700トン、亜鉛1,000トンであ

※ 以下技術的には調査地区内の各Secciónの Animas, Siete Suyos, Gran Chocaya を Animas 鉱山, Siete Suyos 鉱山, Gran Chocaya 鉱山と呼称する。

る。これらの生産量はボリヴィア国内でも相当な比重を占め、銀は全国生産量の57%、錫は5%、鉛は37%、亜鉛は18%を示し、当地域はOruro(オルロー)周辺鉱山地帯、Potosí周辺鉱山地帯と共にボリヴィアの財政に大きく貢献している。特にQuechisla管内では新たにSan Vicente 鉱山が開発され、Ventillas 選鉱場(ベンティリヤス)が操業に入って銀、鉛、亜鉛の生産が急増している。COMIBOLとしてもQuechisla傘下の各鉱山の設備改善および増強、各種の合理化で収益の増大を図ると共に新規鉱床の開発に力を入れ、鉱量増加による生産の増大と鉱山の延命を企画している。次にCOMIBOLのQuechisla 鉱業所の各鉱山および事業所の概況を述べる。

Quechisla事務所：Quechisla 鉱業所を統括する事務所で人員181名である。管理事務部門のみで生産活動は行っていない。

Chorolque 鉱山：標高5,600mのCerro Chorolqueを形成する石英安山岩岩株及びその周辺の火砕岩に胚胎した鉱脈型の錫鉱床であり、稼行場所の標高が高いことで、著名な鉱山である。本鉱山より産する主要鉱石鉱物は錫石であり、これに黄鉄鉱、鉄マンガ重鉱、ビスマス、および銀鉱物が随伴する。本鉱山はボリヴィアの錫鉱山としては最も古く、1870年に、既に開発されていた。採鉱法はシュリンクージ法を主とし、粗鉱はSala Sala(サラサラ)、Fierro Unu(フィエロ ウヌ)の両選鉱場に送られ、主として比重選鉱により錫精鉱を得ている。1979年の概略の月平均粗鉱量[※]は約18,000トンで、品位Sn約1.0%、同じく精鉱量は250トンで、その品位はSn 44%となっている。稼働人員は732人である。

Tazna 鉱山：本鉱山はビスマス鉱山としてボリヴィアでも著名な鉱山で、本鉱山よりのビスマス鉱石を対象にTelamayuに製錬所が建設されたが、ビスマスの市況の悪化により現在、生産を停止し、従ってTelamayuにおけるビスマス製錬所も操業を停止している。しかし、本鉱山よりはタングステン鉱石も産出し、本年より、同鉱石を稼行対象として操業している。本鉱山及びその付近の地質は、石英斑岩岩株、もしくは岩脈と、北西-南東方向の褶曲軸を有するオルドビス紀粘板岩層から構成され、鉱脈の多くは褶曲軸と交差し、典型的な張力裂隙となっている。又鉱床付近では本粘板岩は接触変成作用を受けてホルンフェルスとなっている。主要鉱石鉱物は輝砒鉛鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、鉄マンガ重石、鉄閃亜鉛鉱などで、これに石英、菱鉄鉱、電気石が随伴する。採鉱法はシュリンクージ法を採用し、粗鉱はBuen Retiro(ブエンレエティロ)選鉱場に送られ処理されている。従来、本鉱山では、月産粗鉱10,000t(Bi約0.5%)と、それからの精鉱300t(品位Bi 14%、Cu 12%)を産出していたが、

※ 1979年の平均とは同年1月～10月までの月平均をいう、以下同様。

タングステン鉱石の操業に切換えられ、本年度の10月までの概略の平均月間粗鉱量は6,000トン(品位 WO_3 0.5%)、精鉱量60トン(品位 WO_3 15.23%)である。稼働人員は723人である。

Tatasí 鉱山：本鉱山には後述する San Vicente 鉱山と共に1976年より3年間にわたって資源開発協力基礎調査が実施された。本鉱山はスペイン時代より稼行されている古い鉱山で、古い廃墟が残っている。

付近を構成する地質は石英安山岩、凝灰角礫岩、オールドビス系、および白亜系より構成され、鉱床は石英安山岩、凝灰角礫岩中に胚胎される鉱脈鉱床である。鉱石鉱物としては錫石、含銀方鉛鉱、閃亜鉛鉱を主とし、毛鉱、黄鉄鉱などがこれに随伴している。採鉱法は主としてジュリケージ方式を採用し、優先浮遊選鉱法によって、銀-鉛精鉱、および亜鉛精鉱を生産している。1979年の概略の平均月間粗鉱量は7,700トン(品位Ag 400g/t, Pb 3.8%, Zn 3.4%)で、銀-鉛精鉱380トン、(品位Ag 0.51%, Pb 62%)、亜鉛精鉱210トン(品位Zn 44.8%)で、稼働人員は485人である。

San Vicente 鉱山：本鉱山はスペイン時代より小規模に稼行されて来たが、1926年以降休山していた。1968年にCOMIBOLの探査隊によって調査され、その結果1969年より本格的に開発されることとなった。ボリビア政府はこの開発に関連して日本政府に当鉱山とTatasí 鉱山を含む地域一帯の資源開発協力基礎調査の依頼をし、その結果、本鉱山地域一帯には、1976年より1978年までの3ケ年にわたって日本政府による調査が実施された。この間にもCOMIBOLは鉛意開発を進めて1977年12月Ventillasに浮遊選鉱場の建設を完了し、現在正常な操業を行っている。

本鉱山、およびその周辺を構成する地質は赤色礫岩より構成される第三系のSan Vicente 累層および石英安山岩もしくは安山岩岩脈であり、鉱床は赤色礫岩中に胚胎される鉱脈鉱床である。鉱床はSan Vicente 鉱山事務所を中心にして発達する閃亜鉛鉱を主とする鉱脈と、Cerro Monserrat (セロ モンセラート) 付近に発達する錫石、閃亜鉛鉱及び含銀四面銅鉱、黄錫鉱などの複雑鉱より構成される鉱脈がある。現在は前者の閃亜鉛鉱を主とする鉱脈が開発されている。1979年の月平均粗鉱量は約8,600トン(品位Ag 400g/t, Zn 6.1%)で、本鉱石はVentillas 選鉱場で処理され、精鉱量1,100トン(品位Ag 0.29% Zn 4.2%)を生産している。本鉱山の稼働人員は485人である。

本鉱山が新たに操業されたことは、鉱業活動以外の生産活動がない当地域の地域経済の発展に大きく寄与すると共に、亜鉛製錬所建設のための原料確保という点より大きな意義を有している。

Telamayu 選鉱場・同ビスマス製錬所：本選鉱場はAtocha 南方1kmにあり、選鉱場

と共にビスマス製錬所、および中央工作所が併設されており、中央工作所はQuechisla 鉱業所管内の各鉱山、選鉱場の諸設備の補修を行っている。選鉱場は後述するAnimas,Siete Suyos 鉱山よりの鉱石を処理し、ビスマス製錬所はTazna 鉱山よりのビスマス精鉱を処理していたが、前述した通りTazna 鉱山のビスマス鉱の生産が中止されているので、1979年は操業を中止している。選鉱場、工作場その他の諸設備を含めTelamayu での稼働人員は621人である。

Animas,Siete SuyasおよびGran Chocaya 鉱山については後節に記載する。以上のCOMIBOL傘下の各鉱山を除いて、調査地区およびその周辺にはめぼしい私企業の鉱山がなく、わずかにSan Vicente 鉱山とTatasí 鉱山の間にEMUSA社の経営するAsunta 鉱山が存在するにすぎない。本鉱山は錫石、方鉛鉱、閃亜鉛鉱を主体とする鉱脈鉱床を開発し、140t/日の選鉱場を有して稼行している。

2-4 Animas,Siete Suyos ,およびGran Chocaya 鉱山概要

Animas,Siete Suyos,Gran Chocayaの各地域は通称Chocaya 地区と呼ばれる地区に位置している。特にGran Chocayaは古いスペイン時代の鉱山の廃墟を有し、これらの地域の代表的な鉱山地帯とされており、過去に於て著名であった。これらの各鉱床の稼行又は開発中の鉱床は同一の鉱床群に属すると言えるが、古い時代では十分な探査がなされておらず、Animas,Siete SuyosとGran Chocayaが同一の鉱床群に属することが明確でなかった。従って同一鉱床帯内の鉱脈について、その開発場所名を各々鉱山名とした。

現在はこれら三山はCOMIBOLのQuechisla 鉱業所Chocaya 鉱山に属している。更にChocaya 鉱山は組織上Animas坑(Seccion Animas),Siete Suyos坑,(Seccion Siete Suyos)に分けられ、各々その管理機構を有しており、Gran Chocayaに於ける開発作業はAnimas坑の管轄に属している。Chocaya 鉱山区域[※]ではスペイン時代に採掘されていたが一時中断し、本格的な錫、銀、鉛などの採掘は1800年代後半より私企業によって稼行されて来た。1941年にAramayo(アラマヨ)社(Cia Aramayo)はAnimasとGran Chocayaの鉱区を個人より買収し、1942年よりこれら鉱区の開発を始めた。

一方Siete Suyos 鉱区はGran Chocayaより古く1906年よりPatiño財閥の支配するポリヴィアOploca農鉱業会社(Compañía Minera Agrícola Oploca de Bolivia)が経営することとなり、錫鉱石を主体にして稼行して来たが、1951年に至り

※便宜上Animas坑,Siete Suyos坑,Gran Chocaya坑,Sunta Ana選鉱場を含めChocaya 鉱山区域と呼称する。

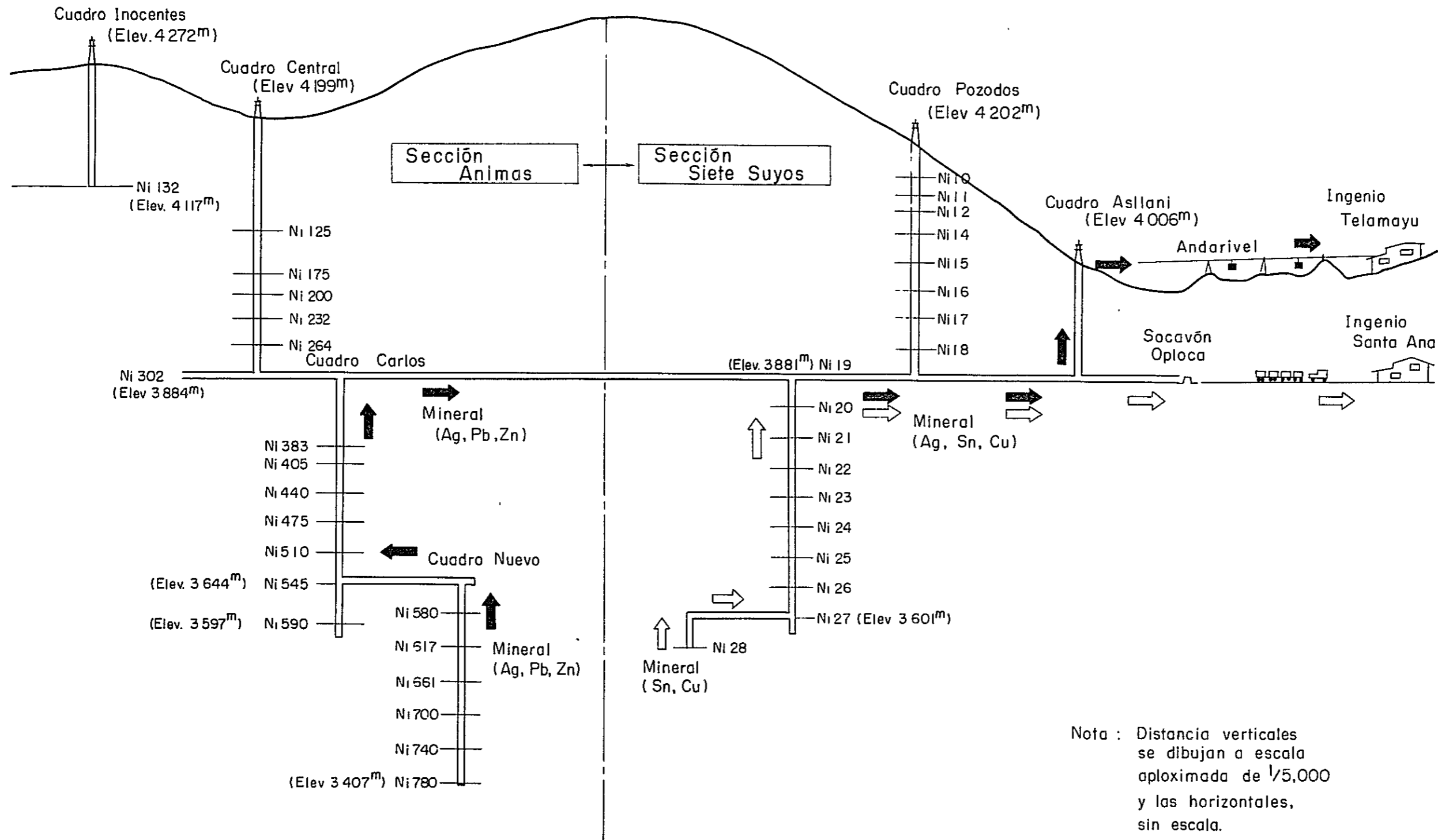


Fig. 3 Sistema de transporte de minerales en secciones Animas y Siete Suyos

鉱石が枯渇状態となった。この時点でAramayo社はポリヴィア農鉱業社より、Siete Suyosの鉱区を借り受け、鉛、銀、亜鉛鉱を対象として引続き稼行したが、1952年の革命により国有化され、Animas, Siete Suyos, Gran Chocayaの各鉱山は共にCOMIBOLの傘下に入り、現状のような組織で運営されることとなった。

なお、Gran Chocaya地区については1930年代まで幾多の鉱山主より、Inocentes立坑およびCarnaval立坑によりNi150m上部のSan Bartoloméなど立坑周辺の脈について稼行されていたが、その後、本格的な開発は行われないうちに休山状態が続き、最近になってCOMIBOLによりInocentes立坑の取明けが行われ、本格的な開発に着手するに至った。

Animas, Siete Suyos, Gran Chocaya地域の鉱床については後章で詳述されるのでその概略を述べれば、これらの地域は第三紀の石英安山岩もしくは凝灰角礫岩およびオルドビス系によって構成され、オルドビス系は本地域の基盤岩となっている。鉱床は鉱脈型鉱床で水平的にはSiete Suyos, Animasを経てGran Chocaya地域におよんでいる。鉱脈は垂直的にはオルドビス系を覆う石英安山岩、凝灰角礫岩を切って基盤のオルドビス系におよび、その垂直延長は露頭下900mに達しており、その規模は雄大である。

これら鉱山の採掘法はAnimas側においては充填採掘法とシュリンケージ法とが併用され、Siete Suyos側は主としてシュリンケージ法が採用されている。粗鉱の運搬系統は、往時に同一の鉱床が異なる二社によって採掘されていたため甚だ複雑である。Animas坑よりの採掘鉱石はNueva(ヌエバ)立坑を経て545地並に搬出され、更にCarlos(カルロス)立坑により302地並に搬出される。302地並からは同地並のSiete Suyos坑の19地並の運搬坑道を経てAsllani(アスラニ)立坑に至り、同立坑によって坑外に搬出され、索道によりTelamayu選鉱場に送られる。Siete Suyos坑における搬出経路は、まず最下部の地並である28地並より27地並に巻揚げられ、更に同地並より19地並にPacheco(パチェコ)立坑により搬出され、同地並の主要坑道を通じてOploca坑口を経てSanta Ana選鉱場に送られている。

Animas坑の302地並より地表まではCentral(セントラル)立坑があり、人員物資の搬出入に使用されている。又Siete Suyos坑の19地並以上の粗鉱はPozo dos(ポンドス)立坑を経て19地並に搬出され、19地並以下の鉱石と共にOploca坑口を経てSanta Ana選鉱場に送られる。Animas坑よりは主として銀、鉛、亜鉛鉱を産出し、Siete Suyos坑よりは錫、銀、銅鉱石を主に採掘している。なおGran Chocaya坑ではInocentes立坑により132地並に達し、この地並より坑道探鉱が行われている。

Animas, Siete Suyos 鉱山の操業成績は、1979年1月～7月間の月平均をとれば、主としてAnimas 鉱山側から産出され、Telamayu 選鉱場に送られる銀-鉛-亜鉛粗鉱は8,856トンで、その銀品位31.3%、鉛品位2.23%、亜鉛品位3.54%である。

Telamaya 選鉱場において、この粗鉱から銀-鉛精鉱を約550トン（銀品位0.34%、鉛品位31%）、および銀-亜鉛精鉱を440トン（銀品位0.12% 亜鉛品位45%）生産している。又Santa Ana 選鉱場においては低品位錫精鉱約200トン（銀品位0.30%、錫品位3.19%、銅品位3.80%）と高品位錫精鉱約20トン（錫品位32%）を得ている。

Chocaya 鉱山全体での稼働人員は1,100人である。現在本鉱山は鋭意Gran Chocaya 付近の探鉱に力を注ぎ、新たに可能性のある地域を開発する一方、既知鉱床の水平、垂直方向の探査を実施し鉱量獲得に努めている。又上記したような複雑な運搬系統の改善のため、新たに立坑を開削するなどの計画を有しているが未だ実施に至っていない。

第3章 調査の結論および将来への指針

3-1 結 論

本調査は、ボリビア共和国Gran Chocaya地区において鉱物資源確保のための調査の第一段階としてAnimas、Siete SuyosおよびGran Chocayaなどの鉱化帯、変質帯を含む面積280 km²に地質調査概査を実施し、その結果に基づき、鉱床賦存地帯の30 km²について精査を実施した。その後室内作業を行って鉱石、岩石の顕微鏡観察、X線回折、鉱石および岩石の化学分析、火山岩の年代測定、地質構造のステレオ投影解析などを実施し、これら調査、研究の内容を総合検討したが、その結果、次のような結論を得た。

(1) 調査地区の地質はオルドビス系、白亜系上部層のEl Molino (エル モリノ) 累層、古第三系の始新統のPotoco (ポトコ) 累層、中新統のSan Vicente 累層、中新統上部のQuehua (ケウア) 累層およびQuehua 累層中の火山活動によるAnimasとCerro Khumullani 石英安山岩熔岩と同質の火砕岩類より構成される。オルドビス系は岩相上、下位のPeña Blanca (ペニャ ブランカ) 砂岩・粘板岩部層と上位のPeña Azul (ペニャ アスル) 粘板岩部層に分類される。本系中の両部層は、ともに劣地向斜型の堆積物であり、まったく火成活動がみられず、岩相の変化は少なく単調である。白亜系上部のEl Molino 累層は、一般にオルドビス系を傾斜不整合で覆うが、本調査地区では断層で接する。本系は外洋から隔離された浅い内海での堆積物であることが、化石鑑定結果より知られ、石灰岩、石灰質砂岩、赤色砂岩の互層より構成されるが、本調査地域での分布は局部的である。第三系に属するPotoco 累層は層理の発達した赤褐色頁岩、同砂岩の互層により構成される陸成層であり、時代は始新世に属する。Potoco 累層を不整合で覆うSan Vicente 累層は層理の発達の乏しい赤色砂岩より構成され、標式地のSan Vicente 累層とはその岩相を異にする。しかし本San Vicente 累層は上位のQuehua 累層とは不整合関係にあることと、化石鑑定結果より中新世に属することよりSan Vicente 累層に対比した。本累層上位のQuehua 累層は火砕岩を主とし、赤色砂岩を狭在する。本Quehua 累層は調査地区では極めて広い分布を示し、地区の大半を覆うが、火砕岩を噴出した火山活動の位置は不明である。

本累層の時代は、Animas 付近の火山岩の年代決定の結果を参考にすると、中新世最後期より鮮新世と考えられる。上記した第三系についてはQuehua 累層を除いてその分布範囲が限定されているため調査地区外の第三系との対比には若干疑問の点を残している。

(2) 地質構造は、オルドビス系と白亜系まではアンデス山系の一般的な発達の方向に沿いほぼ南北系のNNW-SSE方向の褶曲軸を有するものが多い。しかし白亜系とオルドビス系では褶曲度を異にし、オルドビス系は白亜系よりも激しく褶曲しており、先白亜紀において、微

しい褶曲運動をうけている。この時期は恐らく晩期パリスカン造山運動、或いはアルプス造山運動のネバダ時相と想定される。

白亜系と第三系の Potoco 累層はほぼ同一の褶曲構造を示し、漸新世前期から中新世前期、および後期の褶曲運動の影響を受け、ほぼ現状の構造となったものと考えられる。この期間の褶曲運動に伴って調査地区の大部分の断層が形成されている。中新世後期の San Vicente 累層堆積後、現在にいたるまで当地区では大きな褶曲運動が存在せず San Vicente 累層と Quehua 累層は緩い傾斜を示し、大きい地質構造の変化はみられない。

(3) 本調査地区の火山活動は Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 付近を中心として活動を開始し、石英安山岩および同質火砕岩類を広く分布させた。

本火山活動の時期は火山岩の全岩 K-Ar 法年代決定によれば 12 m.y. から 11 m.y. にわたっており、中新世最後期に属している。本火山岩および火砕岩と Quehua 累層との関係は整合的であり、本岩類は Quehua 累層中の一部層と考えられる。

本火山岩の全岩分析値から判断すると本岩はカルクアルカリ岩系に属し、San Vicente, Tatasí 鉞山付近の火山岩と比較すると若干 $K_2O + Na_2O$ のアルカリ成分が少なく岩漿分化が進んでいないと判断される。

本地区の火山層序としては、

- ① Inocentes 凝灰角礫岩, Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩の噴出。
- ② Animas 石英安山岩熔岩の噴出。この噴出中、一時的に Gran Chocaya 凝灰角礫岩, Rancho Lupijara 凝灰岩, Cerro Negro Pozo 凝灰岩の噴出。
- ③ Belén Loma 火山角礫岩の噴出。
- ④ Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩の噴出, および Cerro Pabellón 火山角礫岩の噴出。

と考えられるが、この一連の火山活動の中心を明らかにし得なかった。しかし、Animas 石英安山岩熔岩は広い範囲で一様な岩相を有することにより、同一のマグマから数ヶ所の火道を通じて噴出し、次第にこの火山活動が外側におよび、アニマスを中心として馬蹄形状に分布する数ヶ所の火道より火山活動の最末期に Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩を噴出せしめたのではないかと推定される。

火山活動を生じた要因を検討するために、地質構造の解析を行ったが、特に本地区の地質構造との関係は見出せなかった。従って火山活動は地下深部の広域的な構造線に支配されたものと推定される。

(4) 鉞床は Animas, Siete Syos, および Gran Chocay 区域に分布し走向 $N50^\circ E$, $N58^\circ E$ の 2 系の剪断裂罅を充填した鉞脈鉞床である。裂罅生成の要因は熔岩の上昇、貫入、流出等の火山活動に伴うほぼ垂直方向の圧縮力と考えられる。しかし、地表調査では明瞭でなく、

坑内調査も行って、その結果を併せ想定した。鉍石鉍物としては含銀方鉛鉍，閃亜鉛鉍，錫石，黄銅鉍を主とし，これに黄錫鉍，濃紅銀鉍，フランクアイト，輝蒼鉛鉍，黄鉄鉍，硫砒鉄鉍，菱鉄鉍等を随伴し，更に少量の車骨鉍，カンフィルダイト，白鉄鉍，磁硫鉄鉍，ピクスビ鉍，磁鉄鉍，銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉍物を産出する。これら鉍物の共生関係よりみれば本鉍床は浅熱水性高温鉍脈型鉍床（ゼノサーマル）に属する。

鉍床の母岩は上部から下部へ Animas 石英安山岩熔岩，同質火砕岩，オールドビス系となり，鉍況はオールドビス系中で一般に優勢となる。

鉍脈の規模は，Colorado 脈は走向延長 2,000 m，Burton 脈は同じく 1,800 m で，さらに平行して数条の鉍脈が存在している。Burton 脈，Inca V 脈は 780 m 地並まで開発がおよんで，かなり深部に達している。

しかし，現在かなり採掘が進んでおり，鉍量確保のため鉍脈の延長方向および，下部探査が急務であり，従って本年次に地表調査と平行して変質帯の調査を行い変質鉍物の分帯によって，探査に何らかの指針を得ることを試みた。その結果，既開発鉍床上部の地表に最も強い変質帯の存在が判明し，これを中心にして 5 帯の変質帯が認められ，変質強度の大きい帯より小さい帯の順に次のように分類[※]された。

- I 帯 カオリナイト-緑泥石混合帯
- II 帯 緑泥石帯
- III 帯 カオリナイト帯
- IV 帯 斜長石消失帯
- V 帯 斜長石-方解石混合帯

3-2 今後の調査に対する意見

(1) 本調査地区の鉍床および鉍徴地はオールドビス系から Quehua 累層に至る堆積岩の分布する地域には存在せず，それらの平面的な分布範囲は第三紀の一連の石英安山岩と同質の火砕岩の分布する区域に限定される。

(2) 鉍床は 2 系の剪断裂罅を充填した鉍脈鉍床で，この主応力の方向は垂直に近い。従って上下の動きによって生成されたものであるが，下部の母岩であるオールドビス系の岩質は単調であり，物性的には他の岩石と比較し均一であるため，裂罅生成の力が伝達され易く深部でも裂罅が存在するのに有利であると考えられる。

(3) オールドビス系の岩石は，上部で鉍脈の母岩となっている石英安山岩，同質火砕岩より堅硬で，安定した割れ目を形成し易く，本地区の鉍床は一般にオールドビス系の中で安定した脈となっている。

※ 厳密には後述するように I ~ III 帯の相対的な変質強度を今後検討しなければならない。

(4) 本地区の鉱床は、下部に鉱脈が賦存していても、鉱石鉱物を有する露頭がみられず、変質帯のみが存在していることが多い。従って地表では変質帯のみであっても、下部に鉱床賦存の可能性が高く、特にオールドビス系中でその可能性が大きい。

(5) 変質帯の分布からみれば未開発部で有望な地域として、①Ⅳ帯（斜長石消失帯）に属するGran Chocaya地域周辺一帯の変質帯、この連続する部分で、Burton脈とColorada脈の南西部延長と見られる地域、②Animas既知鉱床の北北西側で、Ⅰ帯のうちの北西端が有望地とみられる。

(6) 以上の観点より今後の探鉱すべき地域を列挙すると次のようになる。

- ① Gran Chocaya 地域（集落付近一帯）
- ② Burton, Colorado 脈の南西延長部
- ③ Animas 既知鉱床の北西側（中央立坑の北西500 m の地点を中心にして直径1 Km位の範囲）
- ④ Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 坑内、既開発部の深部

(7) 以上の地域に対する探鉱方法としては、

- ① Gran Chocaya 地域一帯に発達する変質帯に対する探鉱としては、その下部の情報欠如しているので試錐探鉱を実施する必要がある。
- ② Burton, Colorado 脈の南西延長部のうち、Gran Chocayaの開坑部とAnimasの既開発部の間については、直接試錐を実施して下部での鉱況を確認する。
又Burton脈の南西延長部は全く未開発であるので、物理探査IP法によって或る程度の情報を得、その結果によって試錐を実施する。
- ③ Animas 既知鉱床北西側の地域についてはAnimas 鉱山の既開発立入坑道を利用し、傾斜試錐を行って下部鉱況を確認する。
- ④ Animas, Siete Suyos 鉱山の既開発部下部探鉱については、今回の調査結果を基にして、更に詳細に共生鉱物の累帯配列、裂隙系の解析、火山岩と鉱化作用の関係などを調査して、鉱化の中心部を推定し、深部に対する具体的な探鉱方針を確立する。

いずれにしても探鉱はオールドビス系分布の深部が対象となり、各種の探鉱法は深部の情報を出来るだけ抽出し得る方法を採用すべきである。

各論

第 I 部 地質調查概查

第 1 章 地 質

1-1 概要 (Fig. 4, 5, PL 1, 2, 3-1, 3-2, 4 参照)

ボリヴィアの地質は一般にアンデス山系の造構造運動の方向に平行した配列を示し、東部のブラジルとの国境地帯より、西部にむかいブラジル盾状地の先カンブリア系、東部アンデス山系の東麓地帯を占める第三系、東部アンデス山系一帯を占める古生界、アルティプラーノ高原を占める第三系および白亜系、西アンデス山系一帯を占める第三紀、第四紀の火山岩類の順序で規則的な配列を示している。

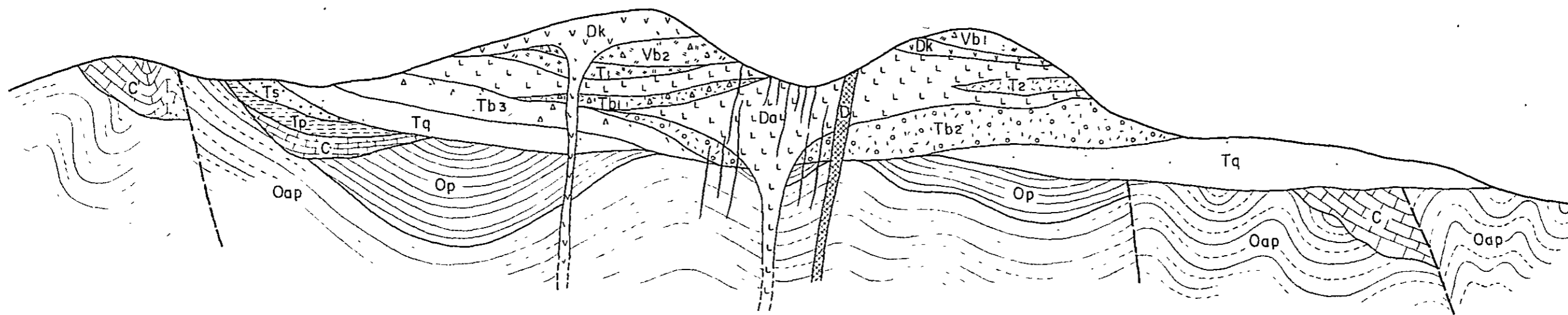
本調査地区は、東アンデス山系一帯を占める古生界とアルティプラーノに分布する第三系との境界付近にある。この境界付近には第三紀以降の活動と考えられる酸性火山岩類の貫入岩または噴出岩が点在する以外は、極めて単調な劣地向斜堆積物 (Miogeosynclinal deposits) が発達する。これらの酸性火山岩類がオルドビス系および第三紀後期の凝灰岩を主とする堆積物の分布に変化を与えている。これらの火山岩はカルクアルカリ岩系に属し、当調査地区およびその周辺の鉱山のみならず主要なボリヴィアの鉱床地帯に発達し、錫、銀、鉛、亜鉛、アンチモン、ビスマスなどの鉱床生成に寄与している。特に本地区の火山活動は Sur Lipez を経てチリー国境に達し、Sur Lipez 地域と共に幅の広い鉱床帯を形成している。

本調査地区の地質は、オルドビス系、白亜系、第三系より構成され、オルドビス系は本地区の基盤となっている。オルドビス系は粘板岩、砂岩およびそれらの互層より構成され、主として粘板岩は上部を占めている。オルドビス系は火成岩もしくは火砕岩、あるいは礫岩を含まず、単調なフレッシュ型堆積相を示す劣地向斜堆積物より構成される。本系は上位の白亜系と明瞭な傾斜不整合で接している。白亜系は内海性もしくは陸成堆積物であり、赤色砂岩、石灰岩、石灰質砂岩より構成され、産出化石から本岩類は外洋から閉鎖された狭少な地向斜の堆積物である。また堆積盆はしばしば陸化され、内海性堆積物と陸成堆積物が互層する。

調査地区の第三系については、調査地区の西部を占めて Potoco 累層、本累層を傾斜不整合で覆う San Vicente 累層、さらに San Vicente 累層を不整合で覆う Quehua 累層が分布している。Potoco 累層は層理の発達した赤褐色頁岩、砂岩より構成され、本調査地区内のみでは対比が不可能であるが、その岩相より従来の呼称を踏襲した。San Vicente 累層は層理の発達が乏しく、赤色砂岩より構成され、Potoco 累層には明らかに不整合の基底礫岩を有して接している。岩質の相違があるが、後述するように一応 San Vicente 鉱山付近に発達する San Vicente 累層に対比した。本層よりは植物化石が発見され、この化石鑑定の結果、中新世に属するものとされている。Quehua 累層は本地区の第三系では最上部に属し、凝灰岩、凝灰質砂岩、赤色砂岩、火山礫凝灰岩など、火砕岩類を主とする地層で調査地区の北部、北西

Edad		Parte Sur y Suroeste del área de estudio (Río Angosto ~ Est Vila Vila ~ Gran Chocaya)					Parte central del área de estudio (Animas ~ Siete Suyos)					
		Unidades	Columna	Actividad Ignea	Mineralización y alteración	Descripción	Unidades	Columna	Actividad Ignea	Mineralización y alteración	Descripción	
CENOZOICO	TERCIARIO	CUATERNARIO		Aluviones, terrazas, etc							Brecha volcánica de Cerro Pabellón	
		Mioceno Superior	Lavas y rocas piroclásticas	Dacita de Cerro Khumullani (Supymf) (+150m)		Mineralización del área de Gran Chocaya (Ag, Pb, Zn) Silicificación y alteración arcillosa Alteración fuerte (Blanqueamiento)	Rocas efusivas de dacita con color gris pardo, diaclasa bien desarrollada y con la parte autobrechada	Lavas y rocas piroclásticas	Brecha Volcánica		Mineralización del área de Siete Suyos ~ Animas Alteración arcillosa Alteración fuerte (Blanqueamiento)	Rocas efusivas de dacita con color gris pardo, diaclasa bien desarrollada y con la parte auto-brechada
				Toba de Cerro Negro Pozo (200m)			Toba esencialmente blanda y pumicea con color gris		Brecha volcánica de Belén Loma (200m)			Duro y compacto con estratificación ligera, color gris y gris verdoso y poros de gas
				Dacita de Animas			Rocas efusivas de dacita con color gris y gris verdoso		Toba Cerro Negro Pozo (200m)			Toba dura y compacto con brecha con parte porfírica
				Toba brecha de Gran Chocaya (200m)			Toba dura y compacto con brecha con parte porfírica		Dacita de Animas (250m)			Toba brecha con brechas accesorias de dacita y rocas sedimentarias ordovícicas
				Toba brecha de Inocentes (+30m)			Toba brecha con brechas accidentales, poca estratificación y color blanco a gris		Toba de Rancho Lupayara (200m)			Rocas efusivas de dacita con color gris y gris verdoso, la parte porfírica
		Eoceno ?	Formación	Quehua			Toba lapilli de Rancho Candelaria (400m)		Toba brecha con brechas accidentales masizas sin estratificación y de color blanco a gris			
				San Vicente								
				Potoco								
		MESOZOICO	CRETACICO	Formación	El Molino			Tobas y areniscas rosadas con clara estratificación y bien clasificadas, y toba lapilli y tobas brechas	Formación	Quehua		
PALEOZOICO	ORDOVICICO	Ordovícico no diferenciado	Miembro de pizarras de Peña Azul (+1000m)			Areniscas tobaceas y arcillas grís						
			Miembro de disposición alternante de areniscas y pizarras de Peña Blanca (+1500m)				Pizarra predominante con las partes filíticas					Disposición alternante de areniscas grís oscuras a grís duras y pizarras verdosas a oscuro

Fig. 4 Columna geológica



ROCAS SEDIMENTARIAS

ROCAS IGNEAS

TERCIARIO		Brecha volcánica de Cerro Pabellón		Dique de dacita
		Brecha volcánica de Belén Loma		Dacita de Cerro Khumullani (Lavas)
		Toba de Cerro Negro Pozo		Vetas
		Toba de Rancho Lupijara		
		Toba brecha de Gran Chocaya		
		Toba Lapilli de Rancho Candelaria		Falla
		Toba brecha de Inocentes		
		Formación Quechua		
CRETACIO		Formación San Vicente		
		Formación Potoco		
ORDOVICICO		Formación El Molino (Calizas y areniscas rojas)		
		Miembro de pizarras de Peña Azul		
		Miembro de disposición alternante de areniscas y pizarras de Peña Blanca		

Fig. 5 Perfil idealizado

部一帯に広く分布する。これらの第三系の時代は Potoco 累層は始新世, San Vicente 累層は中新世, 更に Quechua 累層は中新世の最後期付近と考えられる。これら第三系の堆積後, Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 付近には激しい火山活動があって, 火砕岩類, 火山岩類の噴出もしくは貫入が行われた。これらの岩石の系列としてはいずれもカルクアルカリ岩系に属し, 酸性のマグマに由来したものであり, 絶対年代測定の結果中新世最後期に属する。したがって鉱床生成の時期は中新世最後期から鮮新世にかけてと推定され, 鉱床生成の時代としては相当新しい時代に属する。同様に San Vicente 鉱床, Tatasi 鉱床などの鉱床生成時期は, Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya の鉱床と同じく中新世最後期であり, 本地区近傍の鉱床はいずれも地質時代としては新しい生成時期に属していると言える。

調査地区の地質構造は北北西-南南東より東西方向を示し, アルゼンチンとの国境付近より続く南北方向を示す地質構造がペルーとの国境に続く北西-南東方向に屈曲する地点にある。オールドビス系, 白亜系, 第三系の各々の褶曲の度合を見ると, オールドビス系は最も強く, 次いで白亜系, 第三系 Potoco 累層の順である。すなわち, 白亜系以前に非常に激しい褶曲があり, 更に白亜系堆積から Potoco 累層堆積後までも前者とは別はかなり激しい褶曲運動が存在したが, San Vicente 累層堆積後は褶曲も緩く, 大きな地殻変動は認められない。白亜系までは海成層となっているが, 本地区の白亜系は瀕海成で陸成層と互層し, 既に陸成層に移行する漸移層的岩相を示し, 第三紀層以降はすべて陸成層となっている。

1-2 写真地質解析 (Tabla 1 参照)

地質調査に先きだて, ボリヴィア共和国陸軍陸地測量部所有の縮尺 1 : 46,000 の空中写真を使用して, 調査範囲内の写真地質解析を実施し, 地表地質調査の参考にした。また地表地質調査中および調査終了後の図幅作成の段階で適宜利用して地質図の精度の向上に努めた。

写真地質の解析にはニコン反射立体鏡を使用し, 色調・地形・水系(その密度と模様)・岩石の侵蝕抵抗度・植生・変質等の諸要素を検討した。解析区分を A・B・C・D・E・F・G の7区分にして Tabla 1 に写真地質解析表としてまとめた。

A : 本単位の分布は調査地区内で中央部の火山岩類と火砕岩類をとり囲むように広範囲に分布する。色調は灰白で明かるく, 表面は比較的やわらかい感じを受ける。主な水系は北西-南東系で, 細部は樹枝状および一部平行状で, 谷はU字形に侵蝕されている。層状構造が一部に認められるが, 線構造はなく, 全体として, 平坦な台地またはケスタ地形を呈し, 急峻な山地はまったく認められない。

以上の諸要素から本単位を固結度が低く, あまり侵蝕作用の進行していない凝灰岩と凝灰質砂岩であると判定した。地表地質調査の結果, 本単位は水平にちかい傾斜で広範囲に分布する,

Tabla I Interpretación de fotogeología

Elementos de observación		Unidades						
Característica		A	B	C	D	E	F	G
Característica fonales	Rocas	Claro a poco oscuro	Poco oscuro a oscuro claro	Claro a medio oscuro	Oscuro a muy oscuro	Claro a medio oscuro	Claro a poco oscuro	Poco oscuro a muy oscuro
	Vegetación	—	—	—	—	—	—	—
Textura fotográfica	Rocas	Suave macizo	Suave y lineal	Duro y lineal	Muy duro y lineal	Suave parcialmente muy duro	Suave localmente duro	Duro, granulo
	Vegetación	—	—	—	—	—	—	—
Textura de drenaje	Diseño	Dendrítico fino, subparalelo	Paralelo	Angular	Angular y paralelo	Radial y dendrítico	Paralelo y dendrítico	Sub paralelo y dendrítico
	Perfil de Quebrada	┌┐	V	V V	┌┐	∪	∪	∪
Características litológicas	Resistividad	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
	Estratificación	Existe pobremente	Muy claro	Muy claro	Muy claro	Parcialmente claro	Parcialmente existe	Medio claro
Materiales cubiertas	Lineamiento	Pobre	Muy claro	Muy claro	Muy claro	Pobre	Pobre	Pobre
	Vegetación	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Existencia de zona alterada o mineralizada	Campo cultivado	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe
	Existencia de zona alterada o mineralizada	No existe	No existe	No existe	Existe	Localmente alterado fuerte	Localmente alterado fuerte	No existe
Conclusión	Rocas interpretadas	Tobas y areniscas tobáceas	Areniscas y lutitas	Areniscas y calizas	Areniscas y pizarras	Rocas efusivas	Rocas piroclásticas	Rocas efusivas
	Resultado de investigación geológica de superficie	Tobas y areniscas tobáceas del Terciario superior	Areniscas y limolitas del Terciario medio	Areniscas calcáreas y calizas del Cretácico	Areniscas y pizarras del Ordovícico	Lavas dacíticas de Animas	Toba lapilli de Rancho Candelario	Lavas andeíticas de Cerro Khumu-Illani

第三系上部の Quehua 累層の凝灰岩と凝灰質砂岩であることが判明した。

B：本単位は調査地区西端にせまく帯状に分布する。色調は単位Aより多少暗い灰色を呈し、表面は軟かく弱い帯状構造がみられる。水系は平行で谷はV字形で侵食抵抗は中程度で、層状および線構造とも明瞭である。変質・鉍化等の痕跡はない。前述の単位Aとの境界は非常に明瞭であり不整合関係にあるものと判断される。以上の結果、本単位は侵食作用のあまり進行していない第三系の成層した砂岩と頁岩であると判定された。地表調査の結果、本単位はNW-S E系で北に20°～30°で傾斜する成層した San Vicente 累層と、NE-SW系で北に急傾斜する Potoco 累層の砂岩および頁岩であることが判明した。

C：本単位は、調査地区内の西部で、後述の単位Dをとりかこむように、東部では単位Dと単位Aの境界部に南北方向に帯状に分布する。色調は灰白～灰色の互層状で、表面は硬く線構造がみられる。水系は不規則で谷はV字形、またはそれにちかいくらい侵食されているが、侵食抵抗は高い。層状・線構造は非常に明瞭であり、西部ではドーム状構造が判読出来、周囲の単位BおよびDとは断層関係がみられる。東部では単位Dと断層、単位Aとは明らかに不整合が判読出来る。以上の結果から本単位は砂岩と石灰岩から構成される地層と判定した。地表調査の結果、本単位は層理が発達し、激しく褶曲を受けた白亜紀の El Molino 累層の石灰質砂岩および赤色砂岩と石灰岩であることが判明した。

D：本単位は、調査地区で南部および西部に広範囲に分布する。特に調査地区中央部の Siete Suyos から下流にむかって Río Chocaya の河床に沿って分布することは、本単位が調査地区の基盤を形成していることを示している。

色調は灰～暗灰色で岩質は非常に硬質で、線構造の発達も良好である。

水系は不規則状と平行の二系があり谷はVとU字の中間ぐらいで、侵食に対する抵抗は高く層状と線状構造の発達が非常に良好である。南部では褶曲構造が明瞭で Ecia Peña Blanca から Peña Azul を通る NEE-SWW系の断層が判読される。東部ではNNW-SSE系の構造のみが顕著になっている。本単位と他の単位との境は大部分が不整合であるが、本単位の特徴的な線構造と地形から、他単位との境は非常に明瞭である。以上の諸要素から、本単位は当地区の基盤を形成するオールドビス系の砂岩と粘板岩と判定した。地表地質調査の結果、本単位は成層し、激しく褶曲したオールドビス系の砂岩と砂岩および粘板岩の互層であることが判明した。

E：本単位は調査地区中央南部に広範囲に分布し、鉍化変質帯を含む重要な地質単位である。色調は淡灰～灰色で表面は滑らかなであるが部分的には非常に角ばる。水系は放射状・樹枝状で、谷は滑らかな凹状を呈し、侵食抵抗は高く、一部に層状構造がみられるが、線構造は認められない。変質帯の部分は局部的に非常に明白色を呈し、顕著である。地形的に東方では他単位と急崖を形成して境されるが、西方では激しい変質作用で他単位との差異が認められなくなると

ころもある。

淡灰色のまる味を帯びた地形にアバタ状に突出した山頂が各所にみられる。以上の諸要素から本単位は第三紀の噴出岩と判断され、地表地質調査の結果、局部的に激しい脱色・珩化などの変質作用を受けた Animas 石英安山岩熔岩であることが判明した。

F：本単位は調査地区中央部東寄りの Cerro Silla Khasa (セロ シリャ カサ) を中心に小範囲に分布する。色調は淡灰～灰色で地形はなめらかであるが、局部的に突き出している。水系は平行と樹枝状で谷の断面はなめらかで、侵食抵抗は中程度、層状構造が一部にみられるが、線構造はみられない。他単位との境は大部分が崖を形成して明瞭である。一部に白色を呈した部分があり、変質作用が強く認められる。以上の諸点から本単位は火砕岩と判断され、地表地質調査の結果、Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩と判明した。

G：本単位は調査地区中央部に、一見環状に分布し、主要な山体の山腹以上の山体を形成する。色調は灰色～暗灰色で、表面は凹凸に富む。水系はほぼ平行と樹枝状、谷はなめらかで、侵食抵抗は高く、層状構造を示すが線構造は認められない。他単位との境はかなりの部分が崖を形成し明瞭である。以上の諸点から本単位を噴出岩と判定し、地表調査の結果で第三紀に属する Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩と判定された。

1-3 オルドビス系

ボリヴィア国内では非常に広い範囲にわたってオルドビス系が分布しており、当国の代表的な地層となっている。本系の層位についてはボリヴィア南部の Tarija (タハリ) 地区において *Kainella Meridionalis* (Kobayashi), *Dictyonema cf. Flabelliforme* (Eichwald), *Shumardia erquensis* (Kobayashi), *Hoekaspis sp.* などオルドビス系下部を示す化石の産出が報じられており、更に中部層よりは *Bucania Cyrtoglypha* (Harrington) 等が見出されている。又当国中央部の Cochabamba (コチャアバンバ) 区では本系の中・上部層が発達し、*Cruziana Furcifera* dorb., *Lingula münsteri*, *Bistramia elegans* (Hoek), *Homalonotus bistrami* (Hoek) 等が産出してその層位が明らかである。しかし本調査地区およびその周辺のオルドビス系からは化石が発見されず、本系の時代を明らかにすることは不可能で、岩相上よりオルドビス系に属するものと考えた。オルドビス系は本地区では最下位層となっており、調査地区の基盤を形成する。本地区で見られる層厚は 1,500 m 以上であるが岩相は一般に単調である。従来当地区のオルドビス系は時代未詳オルドビス系として一括して取扱われていたが、本調査の結果、本系の下部と上部では明らかに岩相を異にしているのて下位を Peña Blanca 砂岩粘板岩互層部層、上位を Peña Azul 粘板岩部層と呼称して区分した。

Peña Blanca 砂岩粘板岩互層部層：本部層は、調査地区においては最下位に位置し、地

区の南端の Peña Blanca 付近に標式的に発達し、また東部では Río Chocaya の河岸にも発達する。本部層の層厚は 1,500 m 以上である。岩相は暗黒又は暗紫灰色の粘板岩と淡灰もしくは灰色の細粒砂岩とが平均 10 cm 程度の厚さで互層し、美しい縞状構造を呈し、葉理構造が発達して顕著な剥離性を示す。単層の厚さは一般に南部で薄い東部では厚く 1 m 位に達する場所がある。統成作用が進んでおり砂岩、粘板岩共に堅硬である。Animas, Siete Suyos 鉱山付近では石英安山岩、凝灰角礫岩下に広く発達し、深部での鉱床の母岩となっている。

Peña Azul 粘板岩部層：本部層は調査地区の南端 Peña Azul 集落付近に標式的に発達する。下位の Peña Blanca 部層とは整合で接し、比較的明瞭な境界を有して Peña Blanca 部層より Peña Azul 部層に移行する。上位の白亜系もしくは第三系とは傾斜不整合で接しており、その層厚は 1,000 m 以上と推定される。本部層の岩相は極めて単調で、主として葉理構造の発達した暗灰色の粘板岩によって構成され、稀に緻密堅硬な細粒砂岩と互層することがある。本部層の発達する地域では鉱化作用もしくは変質作用など全然見られず、鉱化作用との関連性はない。

1-4 白亜系 (PL 8, A-6 参照)

ボリビアにおける中生界は、ジュラ系を欠き主として三畳系、白亜系が分布している。そのうちでも白亜系は、古生界の分布する地域に、細長い地向斜を形成して、東部アンデス山系とアルティプレーノに広く分布している。

アルティプレーノに分布する白亜系の多くは下位の古生界とは明瞭な傾斜不整合で接するが、上部は上位の完全な陸成層である第三紀の地層に漸移的に移行する。白亜紀には、ボリビアは既に外洋から隔離された状態となっており、白亜系は、内海成、瀬海成、湖成又は陸成層となっている。Potosí 市北方の Miraflores (ミラフロレス) 地域には白亜系上部の El Molino 累層が発達し、本累層は化石の保存が良好である。調査地区の白亜系は岩相と産出する化石から、この El Molino 累層に対比される。

El Molino 累層：本累層は調査地区の西部および東部の狭小な範囲に分布し、後述するような特徴的な構造を示している。標式地は Palca Chocaya (バルカ チョカヤ) 南南東 2 km の地点で、Río Chocaya の一支流が北流する付近であり、本累層は 500~600 m の幅で北北西-南南東の方向に発達する。本地区では、古生界と断層で接し、さらに第三系の Quehua 累層とは傾斜不整合の関係にある。調査地区の西部に分布する本累層は、ドーム構造を有するオルドビス系を中心にして発達し、同系とは明らかに傾斜不整合および断層で接する。

本累層の層厚は不明であるが、調査地区内では 650 m 以上となっている。本累層は一般に赤色砂岩相で代表されるが、下部から上部に向かって赤色の濃い基底礫岩、赤色粗粒砂岩、およびこの砂岩と互層する淡灰もしくは灰色の石灰岩より構成されている。

本累層から動物化石および植物化石を採取し鑑定を行った結果、調査地区西部の本累層の赤灰色砂質石灰岩よりは *Melanoides* sp. が発見され、また東部では同様な赤灰色砂質石灰岩より哺乳類の表皮および爪が発見された (A-6 参照)。この結果より本累層は白亜紀後期の堆積と考えられ、Potosí 周辺の El Molino 累層に対比される。この堆積環境は外洋から隔離された浅い内海で、乾期には陸化するような、あるいは海進によってわずかに海水の進入を許すような平坦な海底、もしくは湖底に堆積したものと考えられる。また当時の気候は温暖な亜熱帯気候であった。

本累層の層位関係は、調査地区の南西端に位置する Cerro Mora Kkollu (セロ モラ コリュ) の北麓でオールドビス系と傾斜不整合で接している部分が観察され、この部分では暗赤褐色の基底礫岩が存在している。またこの付近での本累層の構造は南北に伸びるドーム状構造を呈し、付近の一般の地質構造とは異った構造となっている。しかし、東部の本累層はほぼ南北に狭小な分布を示し、付近のオールドビス系と調和した方向を有しており、これら地質構造の特徴については章を改めて記載する。

1-5 第三系 (PL 8, A-7, 8 参照)

調査地区の第三系は下位より、Potoco 累層、San Vicente 累層、Quehua 累層に分けられ、各々が不整合の関係で接する。Quehua 累層を除いたこれらの第三系は調査地区西部の狭小な範囲に分布している。これに対し Quehua 累層は調査地区の大部分を覆って広く分布している。これらの累層名については Servicio Geológico de Bolivia (ボリヴィア地質調査所、GEOBOL) 発行の 1/100,000 地質図幅 'Quechisla' にならった。

同図幅では、Quehua 累層を上部層と下部層に区分し、調査地区内の本累層を上部層としている。

本地区では同下部層が分布していず、この関係が明瞭でなく、Quehua 累層と呼称することとした。

これら第三系はいずれも陸成層でモラッセ堆積物となっている。アルティプラーノの新第三系は東西両アンデスの上昇と、その間の沈降により堆積盆地が形成され、この上昇と沈降の連続した構造運動により、膨大な厚さの第三系を堆積しており、本調査地区の第三系はその一部に属する。

Potoco 累層：本累層は調査地区の東端にわずかに分布しているにすぎず、その詳細を述べることは困難である。調査地区に見られる本累層の層厚は 120 m 以上で、帯赤灰色中粒砂岩、同細粒砂岩およびシルト岩より構成される陸成層である。単層の厚さ 1 m ないし 2 m 程度で美麗な成層をなし、上位又は下位の単層より明瞭に区分される。下位の白亜系の El Molino 累層とは整合を以て接せることが文献により報じられているが、調査結果から平行不整合で接す

るのではないかと考えられる。しかし、当地区では境界付近に適当な露頭がなく、その関係は明らかでない。

本累層の時代は Sur Lipez 地区の層序では始新世～漸新世とされており、調査地区内でも本累層は一応上位の San Vicente 累層と明らかな不整合で接しており、時代は中新世よりかなり古いと考え始新世としたが、明確ではない。

San Vicente 累層：本累層は調査地区の北東端の狭小な部分に分布し、Potoco 累層とは明らかに不整合で接している。本累層の層厚は、本調査地区では 80 m 以上となっている。

本累層は凝灰質赤色砂岩、砂岩より構成され基底部にはオルドビス系の砂岩の円礫を有する基底礫岩が発達する。本累層よりは植物化石が発見され、広葉植物の Cassia に近いものと推定され、その時代はほぼ新第三紀中新世と判定された。従って、この近辺で中新世の地層を求めれば San Vicente 累層が地区外で広く発達している。

しかし、本累層の岩相は標式地における San Vicente 累層とは異なる。すなわち標式地の San Vicente 累層は無層理塊状の礫岩であるのに対し、本地区での岩相は砂質となっており、基底礫岩以外に礫岩は見られない。従って本累層を岩相上から標式地の San Vicente 累層に対比することは困難であるが、産出した化石の鑑定結果から San Vicente 累層に対比した。

Quehua 累層：本累層は調査地区では最も広い範囲に発達する地層であり、調査地区の西端、南東端のオルドビス系、第三系の分布する地域および Animas, Siete Suyos 地域の火山岩分布地域を除き調査地区の大半を覆っている。特に地区の北部は本累層以外に他の地層がみられない。標式地は Quebrada Santa Ana (ケブラーダ サンタ アナ) 付近で同谷に沿って広く露出している。本累層の岩相は極めて多様であり、下位の San Vicente 累層、Potoco 累層が陸成層の赤色砂岩を主体にし、火砕岩、熔岩を狭在しないのにたいし、多様な岩相を示す火砕岩類より構成されている。また本累層の分布する地域は地形的特徴を有し、一般に平坦な幼年期の地形を呈するが、谷の地形はしばしば垂直に近い侵食崖を形成しており空中写真地質によっても明らかにその分布範囲が判読される。本累層の岩相は極めて凝灰質、わずかにレンズ状に赤色砂岩を狭在し、局部的に径 20 cm 以下の十分に発泡した軽石片を含む軟質な軽石礫凝灰岩および軽石質凝灰岩、火山礫凝灰岩、火山豆石凝灰岩などから構成され、続成作用が進まず全般に極めて軟質である。

単層内は無層理であるが、各単層間の境界は明瞭であり、各単層は極めて短期間に堆積したことを示す。単層によっては垂直級化構造が見られ降下堆積物の典型的な岩相を示し、また一部にはクロスラミナも発達して、これらの単層の一部は水中で堆積したものであることを示している。

本累層の調査地区内での層厚は 300 m 以上であり、その走向は不規則であるが、東西方向

を示し北に傾斜するものが多い傾向を示す。

本累層の堆積は、広域の割れ目噴出と考えられているが、堆積物の層厚、岩相、水平級化構造などの水平的変化が野外では殆んど観察されず噴出場所については明らかでない。

本累層の屈位および時代については、本累層が下位の各地層とすべて不整合で接し、また中新世以前の褶曲運動を受けていない点より中新世最後期より鮮新世にかけての時代ではないかと考えられ、本累層を被覆する火山岩の絶対年代測定の結果もこの時代を示している。調査地区内では本累層中に鈇床が発見されていず、鈇床賦存とは直接関係がないと考えられる。

1-6 第四系

調査地区に分布する第四系はRío Angosto（リオ アンゴスト）付近に発達する草炭層を狭在する洪積世が発達し低位の河岸段丘を形成し、草炭層の厚さは10 cm～20 cmで連続性に乏しい。Río Chocaya流域においては河岸段丘面は明瞭に認められないが、調査地区の西端、Río Vila Vila（リオ ヴィリャ ヴィリャ）の両岸に3～5 mの高さを有する広い段丘面が存在し、赤色砂を主体にしたやや厚い段丘堆積物が存在する。沖積層は主要河川および平坦部に発達するが、その面積は狭小である。

第2章 地質構造

2-1 概要 (PL7 参照)

ボリヴィア国内における地質構造は地形区分、地質分布と密接な関係にある。アンデス山系の新生代アルプス造山運動に対比される造構造運動とブラジル楕状地の分布はオルドビス紀以降の堆積岩類の分布を大きく規制している。

当調査地区は上述の大きな構造的変化を与えている Arica-Elbow (アリカーエルボー) 構造線の南側に位置し、また高原地帯と東部山岳地帯との境界付近にアルゼンチン国境からペルー国境まで数100 Km以上の規模で連続する第三系と古生界を分かつ構造線^{※1} Coniri (コニリ) 断層の延長か?) があり、本地区はその東側に位置している。Arica Elbow 構造線^{※2} より南側で、かつ Coniri 断層(?) より東側では古生界が広く分布し、この古生界の褶曲軸や断層の方向はほぼ南北を示す。

調査地区の地質構造はアンデス山系の地質構造に規制され、オルドビス系、白亜系は NNW-SSE 方向の褶曲軸を有するが、地域的に変化する。第三系 Potoco 累層, San Vicente 累層の走向は NNW-SSE 方向が優勢である。褶曲の程度は各地層において差が認められる。

調査地区西部では、隆起運動の存在が推察され、かつ衝上断層を惹起せしめるような構造運動があり、当地区において褶曲軸や走向に乱れが認められる。

Quehua 累層は、その内部には明瞭な構造が認められず、傾斜も極めて緩く、San Vicente 累層についても同様なことが云える。従って調査地区における基本的な地質構造は San Vicente 累層堆積前に形成されたものと考えられる。

1976年~1978年のボリヴィア共和国南部 San Vicente 地区の鉱物資源調査の際に認められた古生界と第三系を画する San Vicente 断層は Coniri 断層と一連の関係を有するもの、または Coniri 断層そのものと考えられた。今回の調査範囲にも San Vicente 断層の北部延長が予想されたが、野外調査では当地区内にその潜在性を明確にし得なかった。当地区内に顕在した断層、あるいは推定された断層のうち、オルドビス系と白亜系を画している断層は、その方向が NNW-SSE 方向に近く、大局的に見たアンデス山系南部の地質構造に対しても調和的である。

上記以外のオルドビス系、第三系中に現在見られる断層は NE-SW系、もしくは E-W系の方向である。

※1. Coniri 断層はボリヴィア共和国ラ・パス県コニリに標式的に存在する古生界と第三系を分かつ断層

※2. Arica-Elbow 構造線はチリー国 Arica (アリカ) の北よりボリヴィア共和国 Beni (ベニ) 平原南端に達する構造線

調査地区における地質構造の発達過程は、オールドビス系と白亜系の間で構造的な相違がみられること、また白亜系と第三系にも、構造的相違があり、さらに、第三系でも Potoco 累層とその上位の San Vicente 累層および Quehua 累層との間にかなり褶曲の程度の相違がみられることにより、次のように考えられる。すなわち、ジュラ紀後期のネバダ造山運動と古生代末期～中生代初期におけるパリスカン造山運動によりオールドビス系が褶曲し、さらに白亜系堆積後、中新世までの間に褶曲運動があって、本地区内のオールドビス系中の断層、および白亜系とオールドビス系を分かつ断層が生じ、白亜系は地溝状に沈降し褶曲した（PL 7 の断層 A・B・E 参照）。その後 Potoco 累層堆積後の褶曲運動があって、本累層はほぼ現状の地質構造を形成した。

本地区内では San Vicente 累層堆積以降は大きな構造的な変化はないが、調査地区南部に隣接する San Vicente 地域では著名な San Vicente 断層が形成され、本地区の西部はこの影響を受けオールドビス系と白亜系が発達しているものと推定される。Quehua 累層堆積以降に大きな構造の変化はなく、ゆるやかな傾斜で波状に褶曲している。Quehua 累層の堆積後火山活動が Animas, Siete Suyos および Gran Chocaya 付近に生起しているが、上記の地質構造と火山活動との関連性を見出せなかった。従って本地区の火山活動と密接な関係を有する鉱脈生成と地質構造の間には直接関係はないと判断され、火山活動は地下深部の広域的な構造線に支配されたものと推定される。

2-2 褶曲（PL 1, 7 参照）

今回の調査結果に基づいて、褶曲構造が比較的顕著に認められる区域を抽出し、AブロックからIブロックまでに区分した。各ブロックは原則的に地質時代と岩相の異なる単位で区分したが、オールドビス系については必ずしも原則に従わないブロックもある。

PL-7に示すように、各ブロック毎にシュミット網下半球使用による走向・傾斜の極の等密度線図を作成し、この等密度線図の最も極が集中した付近に、極を有する大円を描き、2つの大円の交差線を求め、その交差線の方角、傾斜により、各ブロックにおける褶曲軸の集中する方角を求めた。

地質調査の結果、オールドビス系、白亜系には明瞭な褶曲が認められ第三系 Potoco 累層、San Vicente 累層中にも、やゝ不明瞭ながら単斜構造を示す褶曲が認められた。第三系 Quehua 累層中には明瞭な構造は認められなかった。

しかし、第三系 Potoco 累層と San Vicente 累層には、調査地区内で、その分布範囲が小さいため、褶曲軸が存在せず、ドーム状隆起の影響のみが及んだものとして、シュミット網の解析から除外した。

調査地区の褶曲運動は野外観察によれば3回もしくは4回生じたものと考えられるが、最

後の褶曲が San Vicente 累層にのみ生じたものか、あるいは同累層が下位の Potoco 累層をアバット状に覆い、その結果として、San Vicente 累層が見掛上の傾斜を呈したものは明確にし得なかった。従ってオールドビス系、第三系 Potoco 累層の各々に異った時代の褶曲運動が認められても、最後の褶曲については、限られた範囲内の調査ではその存在の有無を明確にし得なかった。一般にボリヴィアにおいては、オールドビス系の褶曲は、シルル紀初期におけるタコニック褶曲、パリスカン造山運動、アルプス造山運動の3回の造山運動を経て形成されたものと考えられるが、アンデス地帯の造山時相においては、古生代のタコニック褶曲は余り大きな影響を与えてはおらず、中生代の早期アルプス造山運動のネバダ褶曲により東部山岳地帯は激しく褶曲したものとされており、更に後に継続したアルプス造山時相にも再び褶曲運動を被むったと考えられている。本報告書では、この一般論に従ってオールドビス系はネバダ褶曲の時相に褶曲構造の骨格が形成され、その際の褶曲軸はN-SないしNNW-SSE方向を有したものと考えた。また、白亜系堆積後も同様な構造運動を生じ、さらに後期の隆起により調査地区西部のオールドビス系の褶曲軸がNW-SE, NE-SW方向へ変化したものと考察した。東部のオールドビス系は白亜系堆積後も引続き東西方向からの力が優勢でNNW-SSE系の褶曲軸を保ち、白亜系をも併せてほぼ同一方向の褶曲軸を形成せしめたものであろう。

PL7において、A, C, D, E, F, G, Iがオールドビス系の分布地域に相当し、このうちC, Dブロックでは、Peña Azul 部層と Peña Blanca 部層の区別がなされていない。各々の等密度線図やそれに伴う層理面、褶曲軸の方向は多様であるが、A, C, D, E, Fの西部地区を一括して概観すれば、褶曲軸の集中方向はNEからSEへ時計回りに変化し、軸の落としてもNE-SSEへとなり、調査地区西方に中心を持つ隆起構造が示される。Cブロックにおけるオールドビス系 Peña Azul 部層の欠如は、隆起運動の結果、本部層が侵食されたことによつて説明が可能である。また、東部のG, Iの両ブロックでは各々の褶曲軸とその落としたの集中した方向はS55°E・5°S, N30°W・水平である。これによるとIブロックにおいては当地区東方アンデス山脈一般の古生界の構造が比較的良好に保存されているものと考えられるが、Gブロックに於いては、隆起の影響がおよび、褶曲軸の集中方向が北からやや西に偏ったものと想定される。Gブロック西部の Siete Suyos 付近では、褶曲軸が次第に西に変化してきており地層の傾斜も緩くなる傾向が見られた。また、緩傾斜になるにつれて、波長数cm~数m単位の層間褶曲が特徴的に認められ、Peña Blanca 部層中で有能層を成す砂岩のブーデン構造も観察された。本地区のオールドビス系の一般的構造は、Quehua 累層堆積前に形成されたが、その正確な時期は本調査では明らかにし得なかった。

白亜系の褶曲構造は調査地区西部のBブロックと東部のHブロックに見られる。この両ブロックでは褶曲構造に大きな差異があり、その構造形成の時代の相違とも考えられる。しかし、時代の差を明確にすることは出来なかった。調査地区東部のHブロックに見られる白亜系の褶

曲は、同ブロックの東西両側を画する正断層による地溝状の陥没後に生じた。すなわち、同ブロックの褶曲構造は周囲のオルドビス系の構造が最終的にその形を整えた時期に形成されたものと考えられ、オルドビス系とは構造的に調和を保っている。一方、西部のBブロックの白亜系の褶曲軸や走向傾斜の観察からAブロックを中心にして隆起運動が白亜系の堆積後に起った。その後、Bブロック東端にPotoco累層をも切る衝上断層Fが形成され、これに伴い本断層の西側に断層とは平行に発達する向斜および背斜構造が形成されたものと推察される。

本調査地区の東西両地域の白亜系については、その構造発達の過程から推論すれば、①断層A、Bの形成 ②Hブロックの陥没 ③Hブロックの褶曲 ④Bブロックの隆起縁辺部の形成 ⑤隆起に伴うオルドビス系と白亜系の不整合面での、一種の層面断層の発生 ⑥断層Fによる衝上とこの断層にほぼ平行な背斜および向斜軸の形成、というように考えられる。最後の褶曲運動はPotoco累層堆積後である。

第三系における褶曲運動は、Potoco累層のみが激しい褶曲を受けている。

調査地区内のPotoco累層は一般に走向NW-SE系～NWW-SEE系で東傾斜を示すが、Bブロック周辺の本層の走向はNE-SW系またはE-W系に変化している。これはBブロック付近のオルドビス系の隆起や断層の影響により局所的に変化したものと考えられる。Potoco累層の褶曲まではアンデス山系におけるアルプス造山運動の一連のものと考えられる。当地域には、Potoco累層堆積後のSan VicenteとQuehua累層には明瞭な褶曲構造は認められず、現在に至っている。

2-3 断層(PL1, 2, 7 参照)

調査地区内には幾つかの顕在断層と、推定断層が認められ、それらをPL1, PL7に示した。

断層付近には適当地名がなかったため、便宜上断層A, B, C…Hと呼称した。本調査地区においては南北系の断層と北東-南西系ないし東西系の断層の発達がみられ、基本的には南北系の断層と考えられる。

この南北系の断層は調査地区外では、その両端に近接して推定されるSan Vicente断層に密接に関係している。そして本断層は当地区南方のSan Vicente地区ではアルテプレーノを縦断し、その骨格となるConiri断層と密接に関係することが地質構造的に明らかになっている。

断層Aおよび断層B：これらの断層は地質構造図上のHブロックを、両側のG, Iブロックと画している。断層A, 断層Bの両断層の間のみ白亜系が分布し、断層の延長部はQuehua累層により覆われる。両断層は、白亜系堆積後であるが、未だ白亜系が褶曲構造を有する以前に生じた正断層と推定した。断層Aの断層面は垂直の箇所が観察されたが、断層Bの付近では

白亜系、オールドビス系ともに地層の擾乱が著しく明瞭な断層面は不明である。おそらくその断層面も垂直ないしは垂直に近い急傾斜であろうと推察し、断層Aと同様に正断層と推察した。

断層A、断層Bの形成によって、白亜系は地溝状に落ち込んだものと考察した。そして、その沈降後にもオールドビス系が略々南北方向に軸を有するような褶曲運動を継続して受け、白亜系は断層で隣接するオールドビス系と同一の褶曲構造を形成するに至ったものであろう。

断層Cおよび断層D：両断層とも、調査地区の火砕岩、Animas石英安山岩熔岩の堆積後の断層であり、調査地区内で最も新期の断層である。

断層Dが野外観察の結果からは断層Cよりも新期の正断層で、断層の北側が相対的に南側より落ち込んだと推察した。断層面の傾斜は 60° N程度であり、破砕帯も観察されたが、断層による変位量は少ないと推察された。断層CはAnimas石英安山岩熔岩の分布と末端部の形状からその存在が推定されたものである。本断層については、断層の北側に分布するBelén Loma火山角礫岩に着目するか、下位のRancho Candelaria火山礫凝灰岩に着目するかによって、断層面を狭んで両側での地層の相対的な沈降、上昇運動について異った解釈が可能である。本調査では、断層Cの北側が上昇したと解釈し、その上昇後にBelén Loma火山角礫岩が局所的に堆積したものと考察したが、今後の検討対象事項のひとつである。

断層E：本断層は調査地区内で約5 kmにわたって追跡可能である。断層の形成の時期はオールドビス系の褶曲構造形成後、Quehua累層堆積後以前にあったものであるが、野外観察ではその時期を明らかにできなかった。しかし、本調査では白亜系堆積後の断層A、断層Bと同時期頃か若干新期のもので、調査地区の他の断層よりは古期のものと推察した。本断層はオールドビス系のみを観察され他の時代の地層との境界を有さないこと、その方向が、鉾床地帯の鉾脈群の走向と類似性が見られることなどから今後の検討課題のひとつである。断層の北西側のDブロックに分布するPeña Azul部層と南東側FブロックのPeña Azul部層に見られる向斜軸は、断層付近で若干の乱れが観察されるものの、ほぼ連続している。この事実より断層Eは、正断層であり断層の北西側が落ち込んだものと考察した。Peña Azul部層の現在の分布から本断層による垂直変位量は800 m以上と推察されるので、水平移動もあったかも知れないが、水平移動に関して野外観察では立証されなかった。この変位量については白亜紀以後のポリヴィア南部の断層の性格と、形成時代そのものを併せて再検討すべき課題であろう。本断層の北西側、Cブロック中にPeña Azul部層が発達しないことは断層Eの形成後の隆起運動の結果、侵食作用によりもたらされたものと考察した。

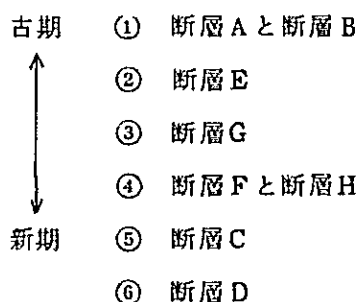
断層F：本断層は、NNE-SW系の方向を有し東側へ約 70° 傾斜する衝上断層である。断層形成の時期は、本断層の東側で白亜系や第三系Potoco累層の分布が認められないこと、西側ではこれら白亜系、Potoco累層と直接接していることなどによりPotoco累層堆積後のものと考えられる。また、断層Fの西側にはPotoco累層堆積後のSan Vicente累層と

Quehua 累層が分布しているが、Quehua 累層中に本断層の延長は観察されない。従って Quehua 累層の堆積時に本断層は既に形成されていたと考えられるが、San Vicente 層の堆積と本断層の形成終了時期との前後関係は明らかでない。しかし、断層Fは断層Hと同様な性格を有すると推定されること、およびSan Vicente 累層の分布形態と、同累層と断層Hとの関係から類推して断層FもSan Vicente 累層堆積前に形成されたものと推察した。なお本断層Fの西側に、断層の方向と平行な白亜系中の背斜軸が認められるが、この褶曲は衝上断層Fに関連して形成されたものと考えられる。

断層G：本断層は東側へ緩く傾斜する正断層で、地質構造図のAブロックとBブロックの境界に推定される不整合面上における一種の層面断層と推察される。推定断層付近での地層の乱れや第四系などによって変位の方向、変位量の詳細については不明である。本断層の形成時には、白亜系は現在見られる範囲よりも広く分布し、既に隆起運動に伴う構造を有していたと考えられる。その隆起後に断層FおよびHによって、白亜系は現在のような分布と構造を示すに至ったと推察される。

断層H：本断層は断層Fとほぼ同一の方向を有し、Potoco 累層中にまで影響を及ぼしたものと推察される。本断層は西側における白亜系の分布形態と、断層Fとがほぼ同一方向を示すことにより、衝上断層であろうと推察された。しかし、断層付近で白亜系赤色砂岩とPotoco 累層の赤色砂岩の岩相が極めて類似していることから、本推定断層の性質についても今後の検討課題である。

調査地区内での断層形成の順序を総括して下記の順序と考えたが、形成時期の上限、下限を限定できるものは少ない。従って、推定に基づく部分が多く、この断層の順序に一部問題があり、今後の検討の課題である。



また、鉞脈の裂隙系生成の時期や、その機構等と断層系との直接の関連が今回の調査によって明確に立証されなかった。

第3章 火 成 岩

3-1 概要(PL 1, 2. Fig. 6-1 ~ 7. A-8, 10~12. 参照)

調査地区を含むボリヴィア南西部における火山活動は新生代第三紀以降に集中した。文献によれば Sur Lipez 地方の火山活動は Potoco 累層上部の Potoco Lava の噴出に始まり、その後、活動が断続して Quehua 累層の堆積まで達したとされている。調査地区における火山活動は中新統の San Vicente 累層の堆積後から開始され、San Vicente 累層以前の第三紀・白亜紀およびオルドビス紀中には火山活動は認められない。

当地区の火山活動を広域的にみると、Tatasí 鉍山周辺、Choroique 鉍山周辺、Tazna 鉍山および Ubina 鉍山付近等に火山岩が点在し、当地区の南西部の Sur Lipez 付近からアルゼンチン国境付近にかけても広く分布し、それらの地形は特徴的な火山地形を呈する。

調査地区では Quehua 累層以降の火砕岩と火山岩が広範囲に分布し下位の第三系の San Vicente 累層、Potoco 累層、白亜系およびオルドビス系を不整合に覆う。調査地区を特徴づける、鉍化作用に密接に関係する一連の石英安山岩の火山活動は、中新世最末期に開始された。すなわち Quehua 累層の堆積に続いて、本累層と整合的に石英安山岩熔岩と同質の火砕岩が Animas を中心にして広く堆積した。その分布は調査地区の約 1/3 を占め、鉍化帯および変質帯は本岩類の分布範囲内に限定される。

当地区では火山活動の結果がかなり明瞭に地形に反映されており、Animas を中心にして急峻な地形を示し、特に Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩や、一部の火砕岩の分布の末端部は急崖を形成する。一連の火山活動も熔岩と火砕岩をもとにして検討すると、前後 2 回の連続した活動があったものと考えられる。その活動はいずれも火砕岩の噴出に始まり、熔岩の流出で終わっており、前期の活動が Animas 石英安山岩熔岩を、後期の活動が Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩を流出させた。各熔岩に伴う火砕岩はおおむね熔岩の周辺部に帯状に分布し、Animas 石英安山岩熔岩に伴う火砕岩の方が、Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩に伴う火砕岩の分布範囲より広い。

前期の火砕岩は Animas の東方、Cerro Torre Khasa を中心として分布する Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩、さらに Animas の東、Rancho Lupijara 北方に帯状に分布する Lupijara 凝灰岩、さらに Animas 北西部では、Animas 石英安山岩熔岩の北西縁に帯状に Inocentes 凝灰角礫岩、Gran Chocaya 凝灰角礫岩が分布する。

しかし、Cerro Negro Pozo の西方の Inocentes 凝灰角礫岩のみが、Animas 石英安山岩熔岩と離れて Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩の西縁に帯状に分布する。

後期の火砕岩は Animas 北西の Cerro Torre、Cerro Khumullani Chico および Cerro Negro Pozo の山頂部を形成する Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩の東縁

Símbolos en carta triangular	Núm. de muestras	Localidades y rocas	Símbolos en carta triangular	Núm. de muestras	Localidades y rocas
● 1	T-1	Cerro Khumullani Chico, dacita	■ 11	L11	Domo de lava de Khara Laguna, 4450m, 67°48'W 21°55'S riodacita
● 2	T-2	Animas, dacita	■ 12	L12	Lava entre Laguna Collpa y Laguna Busch, 4600m 67°18'W 22°35'S, dacita, formación Estratovolcán
● 3	T-3	Animas, dacita	■ 13	L13	Campamento Río Blanco, 4700m, 67°49'W, 22°40'S dacita, formación Estratovolcán
● 4	T-4	Animas, dique de dacita	■ 14	L14	Volcán Cañapa, 4900m, 68°05'W, 21°29'S cuarzo-latiandesita
● 5	T-5	Cerro Pabellón, dacita	■ 15	L15	Volcán Cañapa, 4400m, 68°05'W, 21°26'S cuarzo-latita
○ 1	62	San Vicente, dique de andesita con biotita	■ 16	L16	Cuesta norte de Volcán Licancabur, 4300m, 67°52'W, 22°48'S, dacita
○ 2	196	Tabla Cruz, andesita con biotita	■ 17	L17	Volcán Juriques, 4400m, 67°50'W, 22°51'S cuarzo-andesita, escoria
○ 3	75	Cerro Evangelista, dacita con biotita	■ 18	L18	Domo de lava cerca de Escala, 3950m, 66°53'W, 21°36'S cuarzo-latiandesita
○ 4	59	San Vicente, dique de dacita con biotita	□ 1	I1	Cuesta norte de Cerro Lipez, 4900m, 66°53'W, 21°54'S riodacita, formación Quehua superior
○ 5	171	Chicharrona Punta, (Interior Mina Tatasí) dacita con biotita	□ 2	I2	Por camino Potosí-Challapata, 110km de Challapata, 4100m riodacita formación Los Frailes (la muestra comparativa)
■ 1	L1	Por camino San Cristobal-Alota noroeste de Ecía. Culpina, 3800m 67°14'W, 21°15'S mugarita condivina, lavas Potoco.	□ 3	I3	Por camino Quetena-Laguna Colorada, 22km de Quetena 4700m, 67°32'W, 22°11'S. riodacita, formación Ignimbrita
■ 2	L2	Río San Antonio, norte de Quetena, 4150m, 67°13'W, 22°10'S cuarzo-latiandesita, lavas Bonete (?)	□ 4	I4	Laguna Curutu, 4500m, 67°06'W, 22°26'S dacita, formación Ignimbrita
■ 3	L3	Lava vitriosa, norte de San Antonio de Lipez, 4300m 66°51'W, 21°48'S riodacita, formación Quehua superior	□ 5	I5	Por camino Laguna Verde-Laguna Curutu, 80km de Laguna Verde 4650m, 67°23'W, 22°29'S. riodacita, formación Ignimbrita
■ 4	L4	Muro de caldera de Cerro Lipez, 5100m, 66°53'W, 21°54'S dacita, formación Estratovolcán	□ 6	I6	Laguna Khara, 4400m, 67°48'W, 21°55'S riodacita, formación Ignimbrita
■ 5	L5	Cerro Lipez, 5000m, 66°53'W, 21°54'S riodacita, formación Estratovolcán	□ 7	I7	Sur de Laguna Busch, 4650m, 67°15'W, 22°41'S riolita, formación Ignimbrita
■ 6	L6	Volcán Soniquera, 5100m, 67°15'W, 22°02'S riodacita	□ 8	I8	Cerro Corina, 4250m, 67°57'W, 21°34'S riodacita, formación Estratovolcán
■ 7	L7	Volcán Corina, 4250m, 67°57'W, 21°34'S riodacita			
■ 8	L8	Volcán Quetena, 4350m, 67°23'W, 22°17'S riodacita			
■ 9	L9	Volcán Galera por el camino Atocha-Tatasí, 3950m 65°58'W, 20°59'S, riodacita			
■ 10	L10	Laguna Curutu, 4500m, 67°06'W, 22°26'S riodacita, formación Estratovolcán			

Fig. 6 Diagrama Triangular de Rocas Volcánicas
(Tabla de los Símbolos Adaptados)

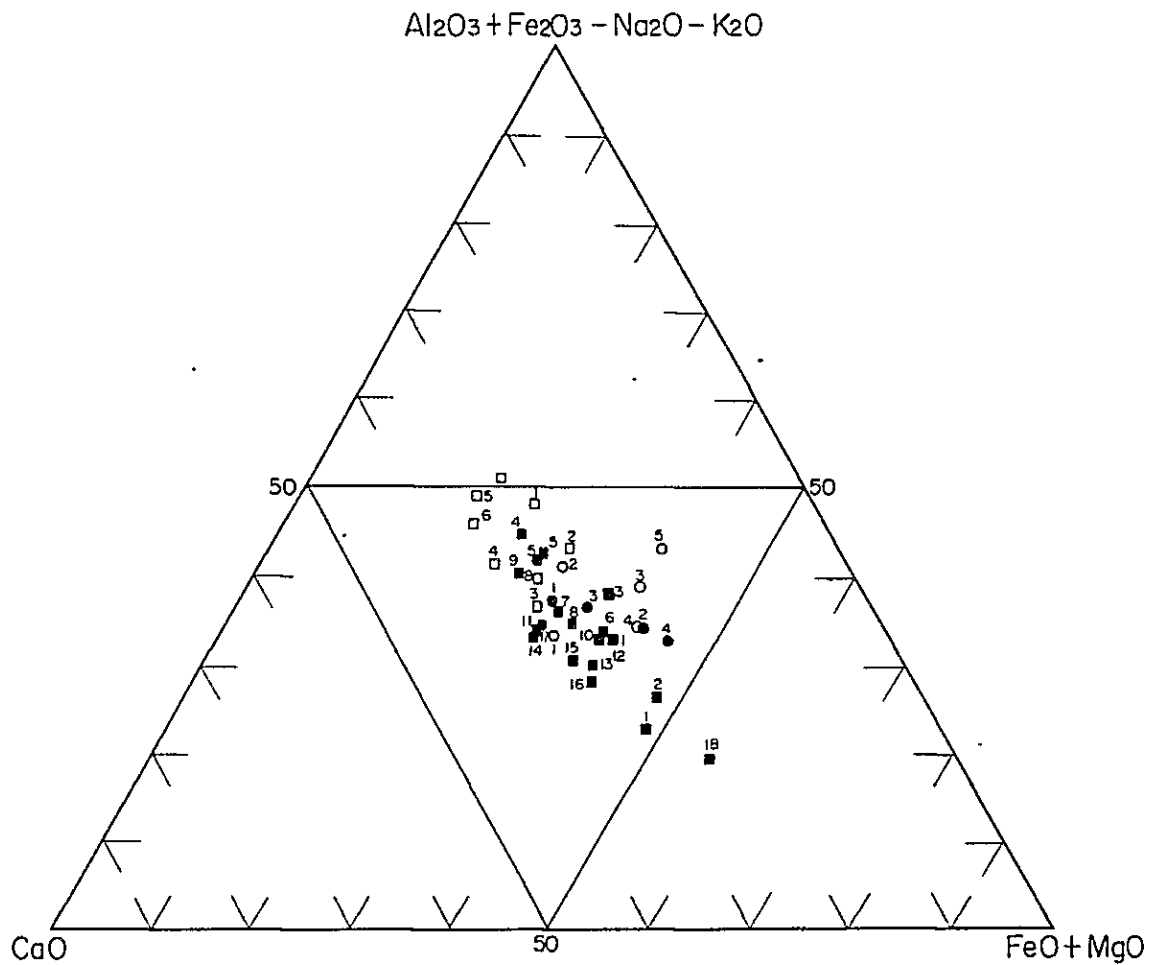


Fig. 6-1 Diagrama triangular de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$,
 $\text{FeO} + \text{MgO}$ y CaO
 (Mol. %)

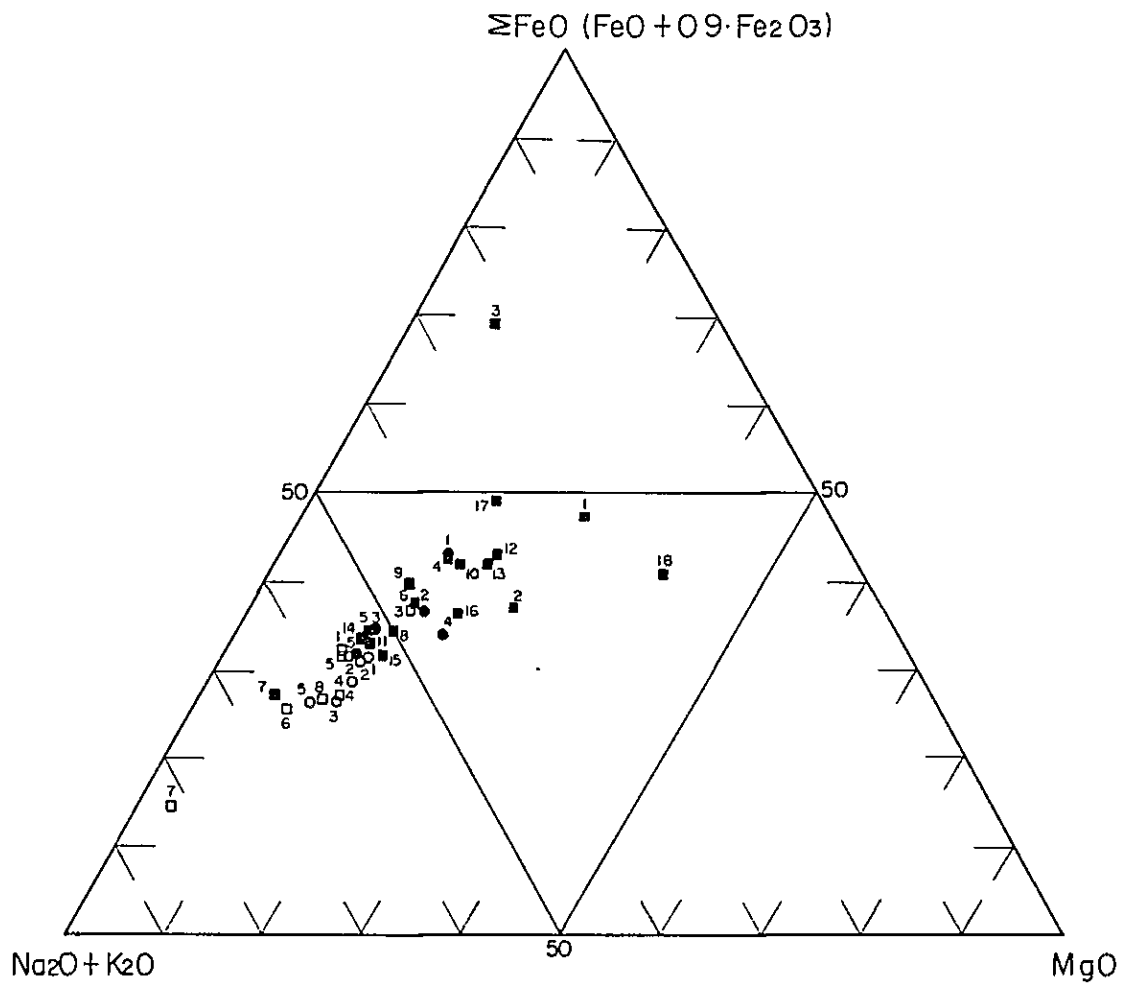


Fig. 6-2 Diagrama triangular de $\Sigma\text{FeO} (\text{FeO} + 0.9 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)$,
 MgO y Na₂O + K₂O
 (Peso %)

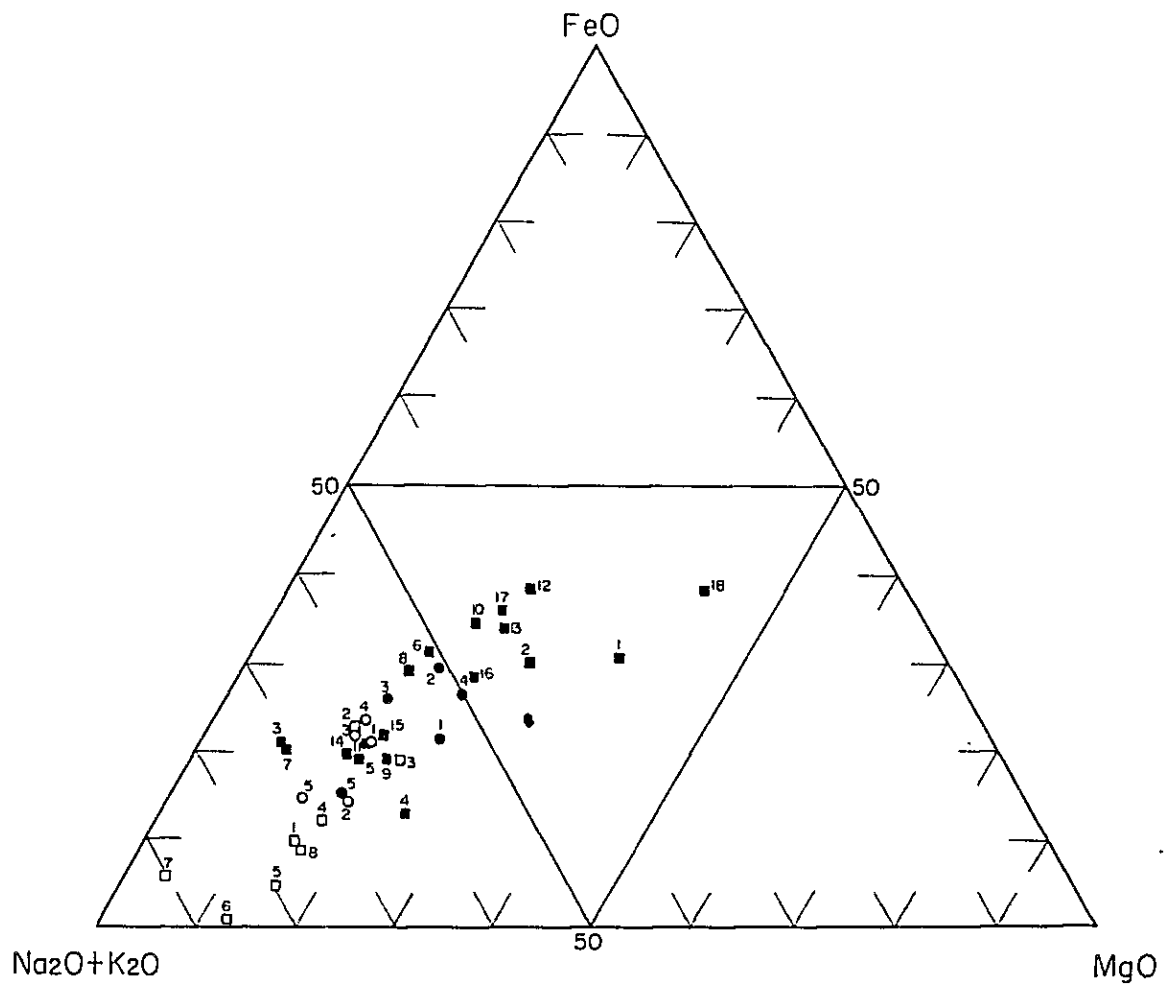


Fig. 6-3 Diagrama triangular de FeO, MgO y Na₂O + K₂O
(Peso %)

SiO₂ (%)

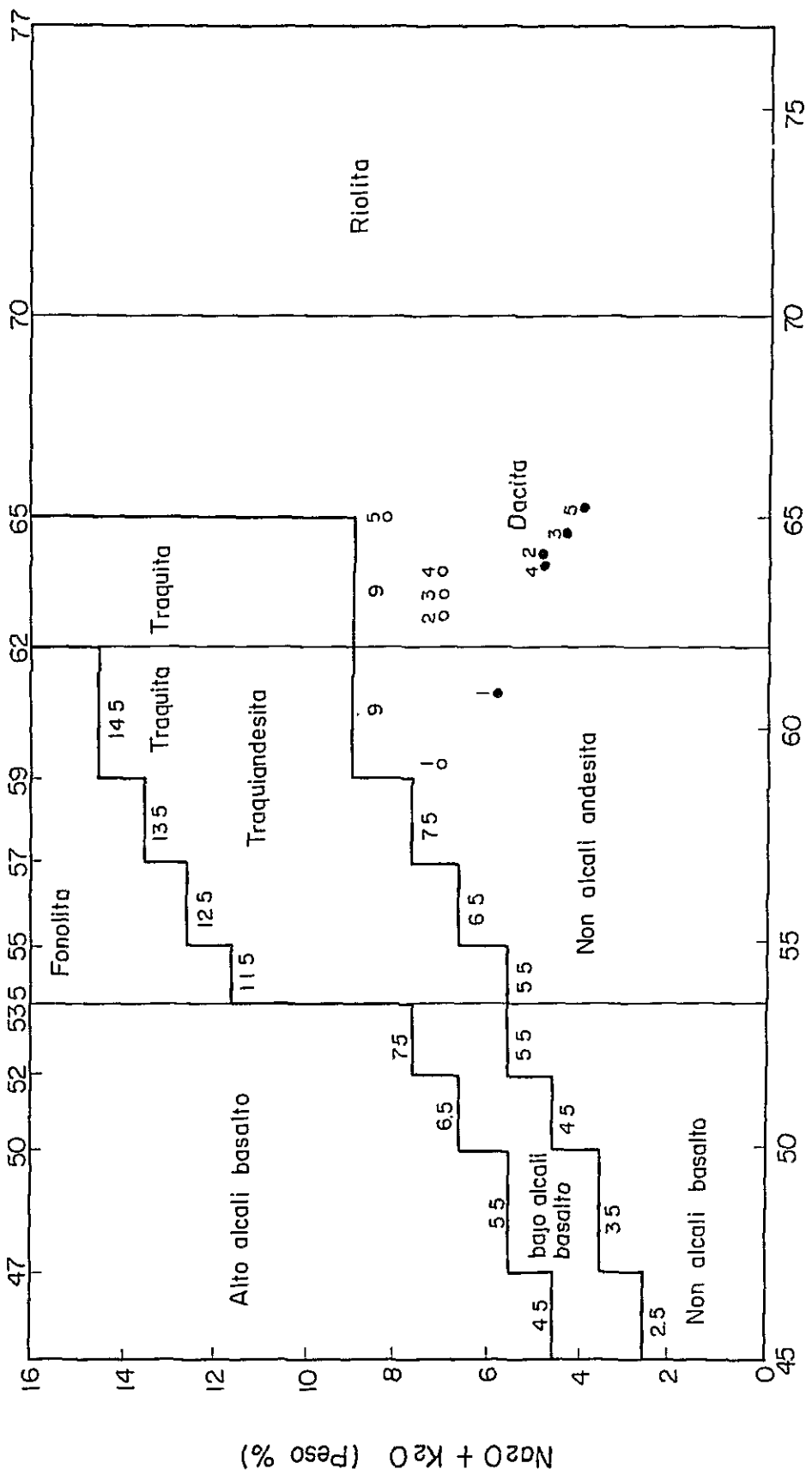


Fig. 6-4 Clasificación de rocas volcánicas por contenido de SiO₂ y Na₂O + K₂O

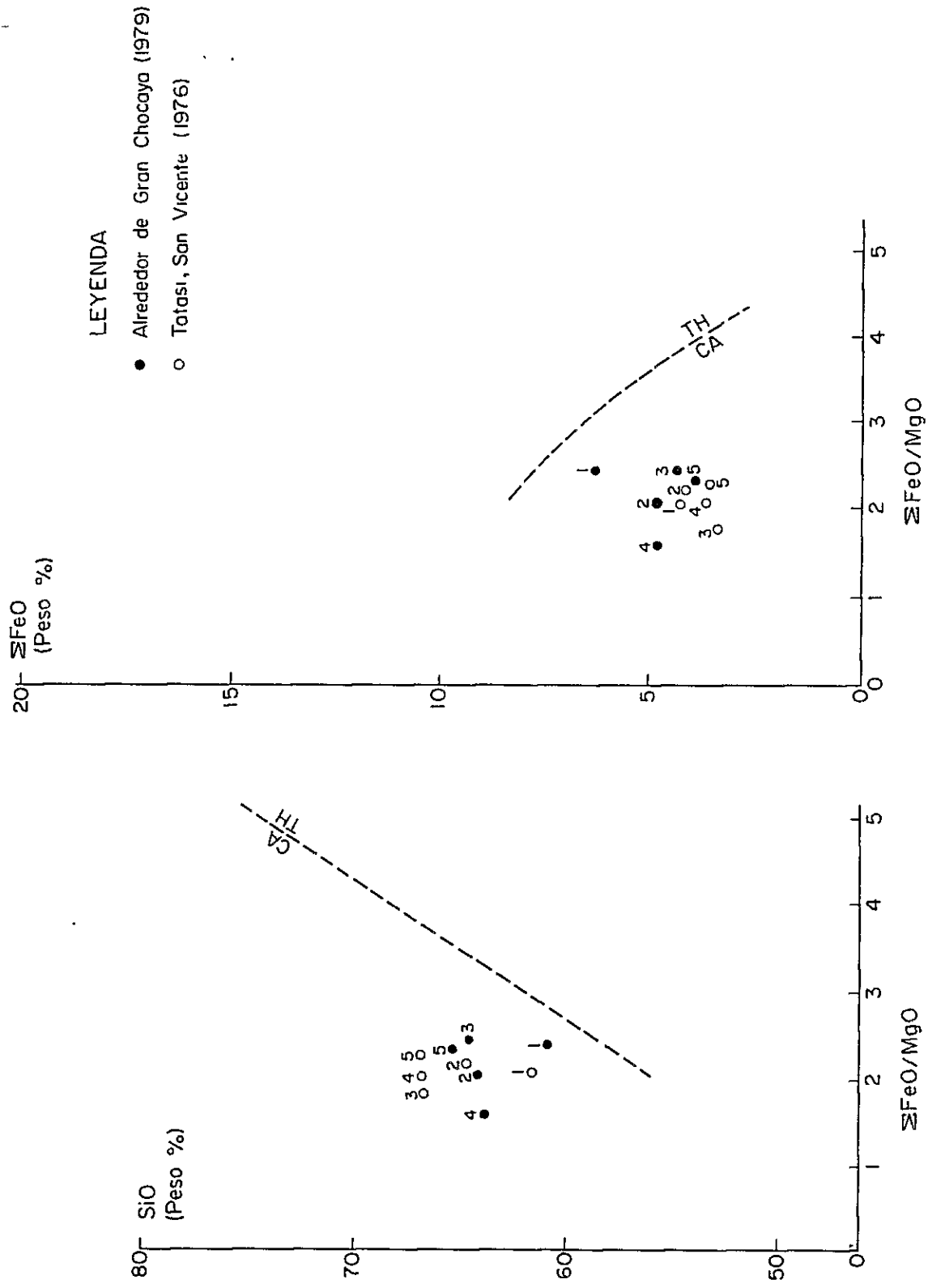


Fig 6-5 Diagrama de variación de composiciones químicas asociadas con incremento de ΣFeO/MgO en serie tholeiítica y serie alcalina cálcica

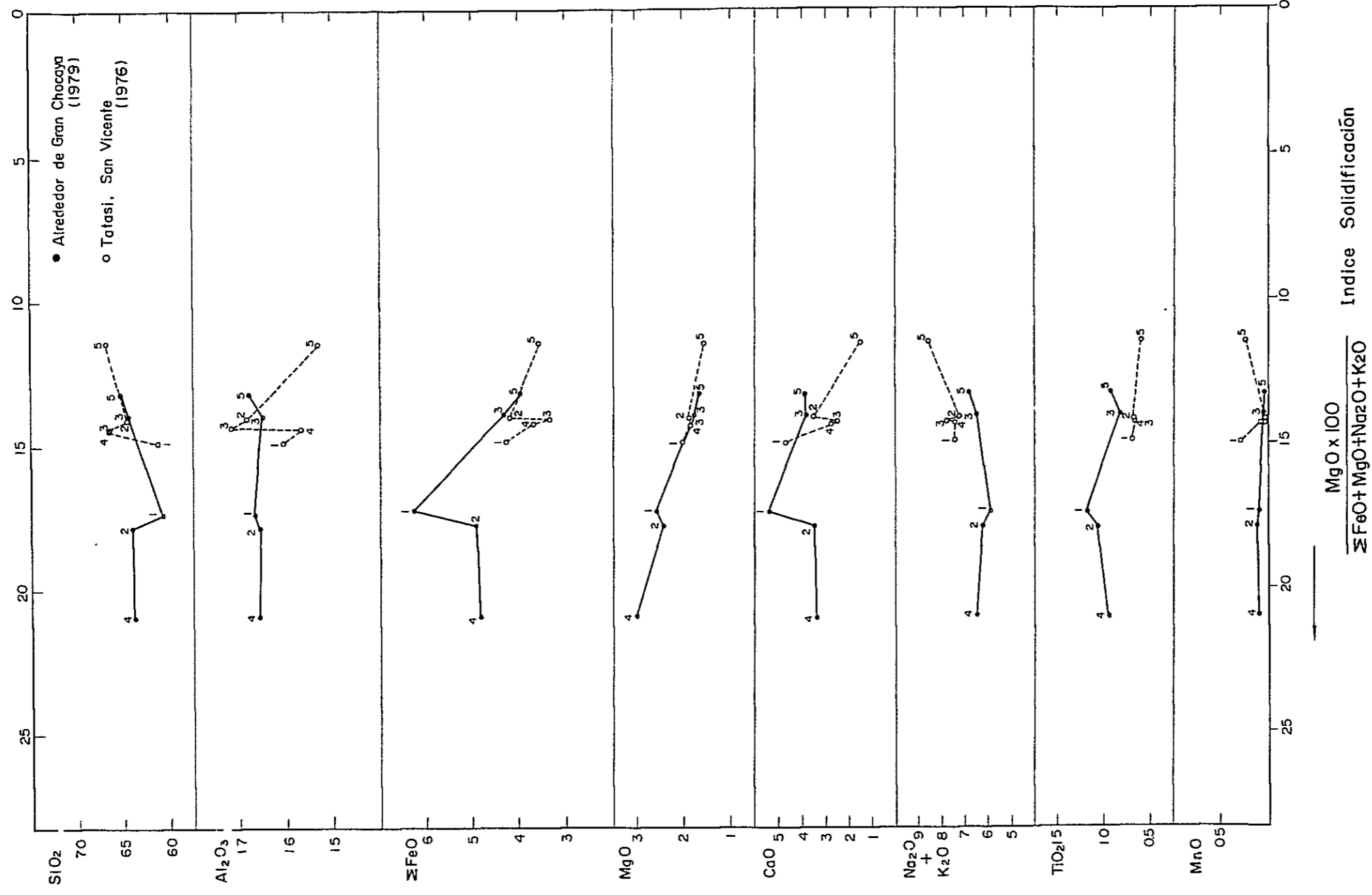


Fig.6-6 Diagrama de variación de composiciones químicas

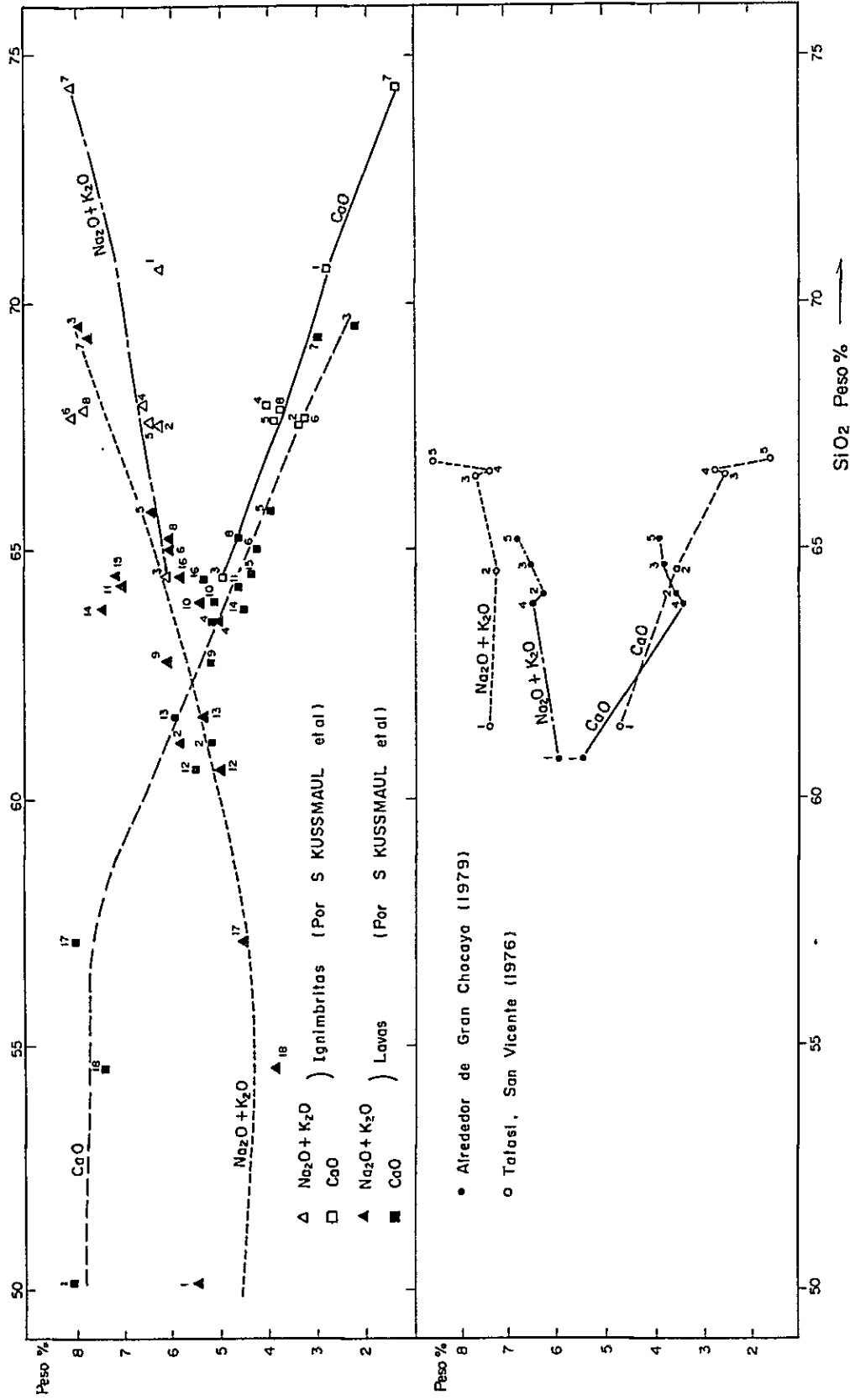


Fig.6-7 Índice de álcali - calcio

に分布する Cerro Negro Pozo 凝灰岩と Belén Loma 火山角礫岩である。これら火砕岩のうち Inocentes 凝灰角礫岩は坑内でオルドビス系に断層で接する。

また Animas 南東の Cerro Pabellón 山頂に分布する Cerro Pabellón 火山角礫岩は最末期の火山活動である以外に詳細は不明である。

これら一連の火山活動の時期を決定するために、Animas と Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩の年代測定を全岩 K-Ar 法で実施した。測定結果は Animas 石英安山岩熔岩が $1.17 \pm 0.6 \text{ m.y.}$ 、Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩が $1.21 \pm 0.6 \text{ m.y.}$ であり、地質年代としては中新世最末期に相当する。しかし Animas 石英安山岩熔岩の方が、Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩より多少小さな値を示したが、その差が測定誤差範囲に入っており、前述の地質調査の結果に重きを置き Animas 石英安山岩熔岩を前期の活動とした。この測定結果からは、火山活動の時期が中新世最末期であることが判明し、同時にその活動期間が極く短期間であることも明らかになった。

当地区の石英安山岩を岩石学的に検討するために 5 個の試料を全岩完全分析に供し、その結果からノルム計算 (A-11)、MFA ダイアグラム (Fig. 6-6)、化学成分変化図 (Fig. 6-6)、アルカリ石灰指数 (Fig. 6-7) および $\Sigma \text{FeO}/\text{MgO}$ の増加に伴う化学組成の変化図 (Fig. 6-5) 等を作成し、検討した結果、本地区の火山岩はカルクアルカリ岩系 (Fig. 6-4) に属する酸性岩である。

各図表に参考として、Tatasí - San Vicente 地区の火山岩の化学分析結果を併記し、同時に Fig. 6-7、Fig. 6-1、Fig. 6-2 および Fig. 6-3 には S. Kussmaul et al (1977) によるポリヴィア南西部の Sur Lipez 地方の火山岩の分析結果を示した。これらの結果の解析の概要は次の通りである。

MFA 図 (Fig. 6-1) あるいは MFA 図 (Fig. 6-2) ではいずれにしても FeO あるいは ΣFeO の減少に伴いプロットされている点は $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ の頂点へ向ってすすむ。Sur Lipez 地方の火山岩類の分析結果と比較しても本地区の岩石はカルクアルカリ岩系のものと見なせる。Sur Lipez 地方の火山岩類は $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ と鉍物組合せから、熔岩はカルクアルカリ岩系と高ポタシウム・カルクアルカリ岩系に区分されている。

本地区の岩石の分析値のうち、サンプル番号 T-1 の岩石は SiO_2 と $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ の含有量による火山岩の分類表 (Fig. 6-4) 中で安山岩の範ちゅうにプロットされるが、本報告書では一括して全て石英安山岩として取り扱うものとする。これらのノルム鉍物のうち石英・長石類の三角ダイアグラム (A-12 ~ A-12-3) の解析によれば、本地区の石英安山岩は San Vicente 地区のそれより分化作用が遅れているといえよう。San Vicente 地区の火山岩は $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ の含有量が多く、固結指数と MgO 含有量の図 (Fig. 6-6) では、Gran Chocaya 地区の分析結果の延長上に位置する。また長石類を各頂点とする Or:Ab:An の三

角ダイアグラム図 (A - 1 2 - 3) において、本地区の火山岩のノルム鉱物計算結果は Or と Ab を結ぶ線の間と An の頂点を結ぶ線上にほとんど集中している。一方、San Vicente 地区のものは An 成分が欠如するものもあり、比較的カリウム成分に富む。従って両地区の石英安山岩は本質的には同一マグマに由来したものであろうが、両地区のこの化学成分の差は火山活動の場所、火道周囲の岩石、マグマの上昇過程や混成作用の差によるものと推察される。しかし、両地区の火山岩の活動時期については、Tatasí - San Vicente 地区の火山岩の K - Ar 法による年代測定結果が 16 m . y . ~ 19 m . y . となっており、本地区の火山岩がより新しい活動であることを示している。

本地区の火山活動を解析するために、一連の火山活動の中心を示す火口や火道の位置を地表調査で具体的に確認しようと努力したが不可能であった。これは火山岩については、全体として火山地形を残存していても風化侵食による地形の解析が進んでいるため、通常火山の中心にみられる岩脈や貫入岩相を示す部分がほとんど認められなかったこと。また火砕岩は局部的にその含有礫の大きさが水平方向に変化する露頭もあるが、火山活動の中心を示す含有礫の水平方向の級化構造を有する連続露頭がほとんど認められず、具体的に噴火中心の確認は出来なかった。しかし、地形および熔岩と火砕岩の分布状況から本地区の火山活動の中心と様式は次のように推測される。すなわち、Animas を中心にしたアニマス石英安山岩熔岩は 500 m 以上の厚さを持ち、直径約 7 km の範囲に分布しており、その規模から複数の火口から流出した複数の熔岩流の集まりであろう。また、前述の如くこれに伴う前期の火砕岩の分布からしても噴火の中心は Animas 付近に集中していたものと推定される。

一方 Animas の北西には Cerro Torre から Cerro Atawani にかけて 5 つの高峰が NE - SW 方向にほぼ等間隔に並び、いずれも頂部付近は Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩からなり、それは頂部から NW 方向に流出して尾根を形成した地形を示す。また、この活動に伴う火砕岩が前述の峰の西麓に分布しており、この噴火の様式は NE - SW 方向の割れ目噴出、または同じ方向性をもって配列した火口からの活動と考えられる。また Animas 南東および南部の Cerro Pabellón と Lakoni Loma に分布する Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩は各々火砕岩を伴わず独立して Animas 石英安山岩熔岩より後に活動したことを示す。さらに Cerro Pabellón の頂上には本地区で最末期の活動を示す Cerro Pabellón 火山角礫岩が分布する。

本火山活動が鉱化作用と密接に関係しているので、Animas 石英安山岩熔岩の活動様式の検討は、探鉱上非常に重要である。従って今後、坑内の地質調査で熔岩の形態、火砕岩の水平、垂直方向への岩相変化の解析等で火山活動様式を明らかにしていきたい。

3-2 熔岩類 (A-1, 2, 4, 8 参照)

Animas 石英安山岩熔岩: Gran Chocaya, Animas 付近から東南方向に広く分布する。本熔岩は東方では急崖を形成し地形的にその分布が明らかである。岩質は緻密堅硬であるが、明瞭な節理は認められない。精査地域内における石英安山岩熔岩の流理構造、及び節理系の方向性を求めたがいずれもその方向は分散して一定しない。気孔は極めて稀に見られる。

色調は帯緑青灰色～帯紫灰色を示す。肉眼および鏡下の観察では斑状組織が明瞭に認められる。斑晶鉱物は石英 0.1～1.0 mm、アノソクレス 0.2～0.5 mm、斜長石 0.2～2 mm、普通角閃石 0.2 mm、黒雲母 0.1～0.3 mm である。

石基は鏡下の観察では細粒状～填間状組織を示す。副成分鉱物としては緑泥石、緑簾石や炭酸塩鉱物、燐灰石が見られる。本岩は含普通角閃石-黒雲母-石英安山岩である。

普通角閃石、黒雲母はオバサイト緑を有することがあり、特に緑簾石は角閃石の仮像を示し変質鉱物として生成していることが多い。また斜長石の一部は炭酸塩鉱物、もしくは絹雲母化している部分も観察された。填間状組織を示した薄片 (T-6) では填間は火山ガラスによって埋められている。

不透明鉱物としては自形～半自形の磁鉄鉱が認められた。当 Animas 石英安山岩熔岩は鉱化作用に伴う熱水変質作用を被わり脱色化した箇所が多い。この脱色化は、肉眼では石英が「ガエロ目風」に残存し、苦鉄鉱物の抜けたあとが「アバタ状」に観察される。検鏡によると角閃石、黒雲母の周囲にわずかなオバサイト緑を残しながらもカオリン化を被うむっており、苦鉄鉱物はほとんど消失していることが多く、二次石英の生成も見られる。この白色変質部には微量ながら褐鉄鉱および赤鉄鉱も観察されたが、これらは初生鉱物ではないと考えられる。白色変質は地表において、旧坑の点在する付近や鉱徴地 (鉛-亜鉛鉱の細脈の観察された Siete Suyos の発電所南側) で普遍的に見られる。

本岩の色調が帯緑灰色から白色部へ移行するのは比較的明瞭である。

Animas の球技場付近での、この石英安山岩熔岩は石基の結晶度が進み、石英斑岩様の組織を示す。また本岩の流理構造は少なく、貫入相の岩相を示す部分もあるが、急冷周縁相などは認められず、貫入部または火道の所在を立証出来なかった。従って本報告書では一括して Animas 石英安山岩熔岩として取り扱った。本石英安山岩の一部は自破碎構造を示し、その基質部が緑色粉末状を呈し、隙と基質部の境界部が不鮮明となる部分も見られ、本岩の一部が水冷破碎熔岩流の岩相を示す。従って本石英安山岩熔岩が噴成相でありながらも局所的には水の存在が推定されうる。

これらの破碎状熔岩中には少量のオルドビス系の黒色粘板岩を含み、その形状は扁平が多く長さは最大 10 cm 程度である。

本熔岩は Gran Chocaya 坑内では下位の Inocentes 凝灰角礫岩とは明瞭な境界を有する

が、地表ではこの Animas 石英安山岩と火砕岩との直接境界部を確認出来なかった。

従って本熔岩と Gran Chocaya 凝灰角礫岩、及び Cerro Negro Pozo 凝灰岩との関係は明瞭でなく、一部は指交状の漸移関係にあるのかも知れない。本熔岩の年代測定結果は、概要の項で述べたように 11.7 ± 0.6 m.y. を示した。しかし、野外観察の結果も併せて次に述べる Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩よりは若干早期の活動とした。Cerro Pabellón 付近では本岩は変質して灰白色～白色を示すのに対して、この上位の Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩は新鮮で暗赤灰黒色を示している。

Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩：本熔岩は、調査地域内での独立した高峰群を形成し、Animas 石英安山岩熔岩の分布範囲を取りまくように分布する。Cerro Khumullani Chico から Cerro Atawani へかけては比較的まとまった分布を呈するが、他は大体 $3 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ 以下の規模で当地域の地形的な高所を占めて点在する。本岩が Achaconita Loma (アチャコニタ ロマ) 及び Markhahui Loma (マルコハウイ ロマ) 西方付近にも点在することから見ても、その分布は Animas 石英安山岩よりやや広い分布域をしめし本熔岩の流出規模は Animas 石英安山岩より大きかったと推察される。地形的に上部を占めているということは、火山層序として最上位に位置し、火砕岩よりも風化侵食に対して高い抵抗を示したものと考えられる。この Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩を精査区域の地質図中では、上部熔岩と下部熔岩に二分した。両者は同質のものであるが、風化面において、自破砕作用と思われる角礫構造が顕著に認められ、角礫部と基質部で色調の差が見られるものを下部熔岩と定義づけた。角礫部の色は暗灰赤褐色を示し、新鮮な破断面では暗緑灰色を示す場合も認められる。基質部は角礫部よりも、やや明るい色調を呈する。この下部熔岩は、Cerro Khumullani Chico, Cerro Negro Pozo, Cerro Atawani の翼部を占め、谷、地形に沿い、Cerro Negro Pozo 凝灰岩と直接接して分布する。上部熔岩は自破砕状構造が認められず、緻密堅硬～中硬であり、色調は暗灰緑色が卓越するが、風化表面では暗赤色～暗灰赤褐色を示すことが多い。流理構造は局部的に認められるが、その方向は一定方向を示さず傾斜は緩い。板状節理は尾根部の突出した箇所に見られる事が多く、その方向は分散しており、節理面は急傾斜～垂直のものが卓越する。本岩の構成鉱物は斜長石 $0.05 \sim 5 \text{ mm}$ 、石英 $0.05 \sim 3 \text{ mm}$ 、黒雲母 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 、普通角閃石 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ が斑晶鉱物として認められ、その量比は斜長石が最も多く、次いで石英、黒雲母、普通角閃石の順で少くなる傾向を有する。

石英は半自形ないし自形を呈し石基との境界は鮮明であるのに対し斜長石斑晶は自形ないし他形をしめして石基との相互境界部は不鮮明である。斜長石の自形結晶が観察される場合でもその結晶内部は汚濁されていることもある。石基の角閃石、黒雲母はオパサイト縁を有し磁鉄鉱や赤鉄鉱による光彩が見られることもある。

この Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩を特徴づけているのは副成分鉱物として普通輝

石を含有することである。普通輝石の径は 0.1 ~ 0.2 mm で半自形ないし他形を示し、全体に円みを帯び、不鮮明な結晶縁を有する。その他の副成分鉱物として炭酸塩鉱物、燐灰石、磁鉄鉱、赤鉄鉱を含む。石基は微量の不透明鉱物を含有することがあるが、多くは火山ガラスと斜長石の短冊状微細結晶の集合である。石基の組織は等粒状ないし填間状組織が認められる。填間状組織のガラス質部分が多くなり、ガラス基流晶質組織を示すものも認められる。通常、普通輝石は玄武岩、安山岩等に晶出するが、石英安山岩中への晶出も稀ではなく、Fig. 6-4 において試料 (T-1) は非アルカリ安山岩の範ちゅうにプロットされたが、石英安山岩として扱った。本熔岩も Animas 石英安山岩熔岩と同様に末端部では急崖を形成することが多い。Cerro Khumullani Chico の東翼で採取した石英安山岩の全岩 K-Ar 法による年代測定では 12.1 ± 0.6 m.y. を示した。この値は Animas 石英安山岩熔岩より若干大きな値であるが、その変動幅と野外観察の結果を考慮して Cerro Kumullani 石英安山岩熔岩の方を新期の火山岩と判断した。

3-3 岩脈類 (Fig. 6-5~6, A-1, 2, 4 参照)

本年次の調査地区内においては、岩脈類の存在が極めて少く、1976~1978年に実施したボリビア共和国南部地区の調査結果で、火山活動末期に貫入したいくつかの岩脈類が見られたのに比べると大きな差異がある。本調査地区内の岩脈は Animas 中央立坑の南西約 1 km の Río Chocaya 上流と Siete Suyos の南東の小沢に見られる 2 岩脈のみである。前者 (薄片番号 T-4) は幅 5~6 m 程度で急傾斜しているのに対し、後者は幅 0.2~0.3 m で緩い傾斜を示す。

石英安山岩岩脈：本岩脈は、Animas 石英安山岩熔岩に貫入した角閃石-黒雲母-石英安山岩である。岩脈の走向は N40°W で、傾斜は 75°NE~90° を示し、幅は 5~6 m 程度である。

岩脈は谷に直交し、走向方向に突出した地形を示している。肉眼観察では全体に暗緑色~暗灰緑色を呈しているが、岩脈の両端では幅 30 cm 程度の暗灰緑色の急冷相を示す。この急冷相では、斜長石、石英の斑晶鉱物が微晶質となり、色調もより暗い暗灰緑色を呈する。顕鏡結果では、斑状組織を示し、石基は微細な石英・斜長石、緑泥石からなる。

普通角閃石は緑簾石、緑泥石に変質しており、緑色の卓越する色調はこれらの鉱物に依るものであろう。被貫入岩の Animas 石英安山岩熔岩が、この岩脈と接する境界では著しい熱の影響は見られないが、他の箇所よりもやや硬化している。本岩の化学成分は、化学成分変化図 Fig. 6-6 においても明らかなように、固結指数 (Solidification Index) は 21.02 を示し、他の石英安山岩類よりも高い値であり、マグマの分化過程で石英安山岩類よりも岩脈は早期のものであったことを示すものである。また Fig. 6-5 において FeO と

Mgo比が低いこと、Fig. 6-6 においてNo.4の試料だけが他の試料と異った挙動を示しているが、野外観察の結果と矛盾するものではない。岩脈の貫入の時期はBelén Loma火山角礫岩の堆積開始後と考えられる。

玻璃質小岩脈：本岩脈は、その幅が狭小のため1/20,000地質図、1/5,000地質図に表現されていない。この岩脈はSiete Suyosの南西の沢の上流部の2ヶ所で露頭が見られる。これらの露頭の岩脈はその走向・傾斜がほぼ一致し、岩質も同じであることから同一岩脈である。

走向はN25°~40°Wで傾斜15°~30°SWで岩質は黒色玻璃質で緻密堅硬である。

貝殻状断口を示し亜透明感を有する。Animas石英安山岩熔岩に貫入しているが、周囲の岩石への熱的影響はあまり認められない。

この小岩脈は狭小なことと緩傾斜であることから地形には、その存在が反映されていない。貫入の時期はAnimas石英安山岩熔岩の噴出以降であるが、上限、下限ともに不明である。

この他にもAnimas石英安山岩熔岩中にAnimas, Agua de Castilla付近で2~3の小角礫岩岩脈が散見された。いずれも砂岩、粘板岩等の異質角礫~亜角礫を含有し、基質部は灰白色粉末状物質である。

いずれも幅0.1~0.3m程度の小露頭であるため、走向傾斜方向への連続性は不明である。この角礫岩岩脈は、周囲の岩石に対してわずかながら脱色を生ぜしめる程度の熱の影響を及ぼしている。この岩脈に随伴した、鉍石鉍物は認められない。しかし、Animas坑内での角礫岩岩脈は鉍化されている。

3-4 火砕岩類 (A-1, 2, 4 参照)

今回の調査地区における火砕岩類はQuehua累層中およびGran Chocaya, Animas, Siete Suyos周辺に見られる。Quehua累層中の火砕岩については、第1章で詳述したので本章では鉍山地域周辺に分布するQuehua累層堆積以後の火砕岩類についてのみ記述する。

当地域の火山活動はGran Chocaya付近ではInocentes凝灰角礫岩の噴出でSiete Suyos付近ではRancho Candelaria火山凝灰岩の噴出で開始された。これらはいずれもオールドビス系の異質礫を含有することを特徴としている。火砕岩類は、Siete Suyosの発電所南方の狭小な区域に分布する凝灰角礫岩を除きAnimas石英安山岩熔岩、Cerro Khumullani石英安山岩熔岩の分布する周辺部にのみ分布する。このことは本調査地区における火山層序、火砕岩および熔岩類の分布範囲を含めて火山活動の様式を考察する上で興味深いものと考えられる。以下に地質柱状図に従い各火砕岩について記述する。

Inocentes凝灰角礫岩：Cerro Atawaniの南麓及びRío Vila Vilaの上流Avendaño (アベンダニョ)の東方に分布する。いずれも、下位のQuehua累層を直接覆って

いるものと思われるが、両者の直接の境界部は確認されていない。本岩の厚さは30 m程度と考えられる。Gran Chocaya 坑内では、本部層は直接オルドビス系に断層と不整合で接し、Quehua 累層を欠如している。

この Inocentes 凝灰角礫岩は、一部で火山礫凝灰岩に漸移するが凝灰角礫岩相が卓越し、基質部は淡灰色～帯紫暗灰色を示す。この凝灰角礫岩に含まれる礫種は石英安山岩および、オルドビス系、白亜系の粘板岩、砂岩類であり、その大きさは、3～30 cm程度大である。本層内の各ユニット毎の成層は極めて明瞭である。

Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩：Siete Suyos から Telamayu への索道沿いの Rancho Candelaria 及び Cerro Silla Khasa 付近を標式地として分布する。本部層は塊状無層理であり、層厚は約400 mである。この部層はオルドビス系の異質礫や類質の石英安山岩礫を含み、その形は角礫状または亜角礫状で、大きさは1 cm大のものが多い。

基質は、石英安山岩質で帯緑灰色を示し、検鏡では石英、斜長石、黒雲母が認められた。本部層下位の Quehua 累層との直接の境界は確認されなかった。

Gran Chocaya 凝灰角礫岩：Gran Chocaya 集落付近を標式地として Cerro Atawani 東翼から麓へかけて分布し、一部は Cerro Khumullani の南麓の道路沿いに狭少な露出を示す。本部層は塊状無層理で一部で火山礫凝灰岩の岩相を示す。

層厚は最大200 m程度である。石英安山岩の礫を主として、少量の黒色粘板岩の礫を含み、その大きさは、最大でも10 cmを越えることはない。基質の色は灰白色～淡灰褐色を示し、旧坑の散在する付近では変色して白色を呈する。このように白色化した Gran Chocaya 凝灰角礫岩は、Animas 石英安山岩の白色変質化部と類似の岩相を示し、礫と基質の境界が不明瞭となる。しかし、基質部がやや粗鬆質となっていることにより Gran Chocaya 集落付近でこの両者を区別した。この Gran Chocaya 凝灰角礫岩も変質を被っていること、地表では多くの旧坑が見られること等からして、本岩の分布地域も変質地域に入るといえる。

Rancho Lupijara 凝灰岩：本層は調査地区南端の Rancho Lupijara (ランチョ ルビハラ) のやや北部の Animas 石英安山岩熔岩の南東縁に帯状に分布する。

本岩は石英安山岩質凝灰岩で淡黄～淡灰色を示す。一部は火山角礫岩の岩相を示し、その角礫は類質の石英安山岩より成っている。全体としては、塊状無層理であるが、Cerro Pabelón の東方付近では、成層しその走向は N20°W、傾斜は15～20°Wの緩傾斜である。本部層は、岩相の側方変化が激しく、降下堆積物と考えられる。

Cerro Negro Pozo 凝灰岩：Cerro Negro Pozo 東側山麓付近を標式地とする石英安山岩質凝灰岩で、一部では火山礫凝灰岩に移化する。

本岩の層厚は、最大200 mと推察され、後述の Belén Loma 火山角礫岩と一部指交状関係を示すものと考えられる。

基質の色調は淡緑色ないし淡緑灰色を示し、軟かく、粗鬆である。本岩は一部に同質の石英安山岩の礫を含み、全体として塊状無層理である。

Belén Loma火山角礫岩：本岩は、Cerro TorreからBelén Loma付近にかけて最も広く分布し、一部はRancho Vinto(ランチョ ビント)の西南方のCerro Torre Puntaの頂部付近にも分布する石英安山岩質火山角礫岩を主体とする。本岩の層厚は50 m～200 mで側方への岩相変化が大きく、石英安山岩の角礫は1 mm大の石英・斜長石・黒雲母の斑晶を含み基質は緻密で黒雲母が特徴的に認められる。色調は赤紫色ないし緑灰色を呈する。Cerro TorreおよびCerro Khumullani山麓付近に見られる大量の石英安山岩の転石は、本岩が風化されて、その角礫部が残存したものであろう。

これらの転石も、表面は赤紫色を示すが、新鮮な断口では緑灰色ないし暗緑色を呈する。

本岩の上面は上位のKhumullani石英安山岩が形成する急崖で限られ、その分布範囲は地形にもかなり明瞭に反映されている。礫の径は最大数mにも及ぶ。

Cerro Pabellón火山角礫岩：本岩はCerro Pabellónの頂上付近にのみ分布し、岩質、岩相ともにBelén Loma火山角礫岩と同一のものであるが、両者の分布地域が大きく離れているので区分した。本岩はKhumullani石英安山岩熔岩の上位に分布し、本地域の一連の火山活動の最末期の産物であることを示している。

第 4 章 地 史

本調査は限定された地区で実施されたため地史を明らかにするまでに至っていないが、既刊の文献と調査結果を併せて、概略を述べることにする。

本地区は古生代においては、ブラジル盾状地と西部アンデス山系との間にあった東アンデス地向斜に属しており、ぼう大な古生代の堆積物を堆積している。特にオルドビス紀においては海進が進み、深海の場となり、その層厚は10,000 mに達すると言われ、本地区に分布するオルドビス系はその一部である。この地向斜には火成活動が存在せず、典型的な劣地向斜の性格を示している。オルドビス系とシルリア系との間はタコニック造山運動の影響により不整合関係を示す。本地区の北方Uyuni（ウニエ）付近にシルリア系の発達があり本地区にも伸びていたのではないかと考えられるが明らかでない。その後ポリヴィア中央部においてはデボン紀に海進、海退があり、再び二疊紀に小規模な海進があったが本地区までは及んでいない。恐らくデボン紀以降の堆積は行われず、堆積したとしても極く薄く、東に開いた海の西縁部となっていたものと推定される。その後、三疊紀末から白亜紀前期にかけてポリヴィア全土の殆んどが陸化している。この期間において、古生代に属する古期岩類は激しい褶曲をうけ、かつその後の削剥作用により準平原化している。この激しい褶曲運動は晩期パリスカン造山運動または早期アルプス造山運動のネバダ時相に相当するものと考えられている。白亜紀中期に入りペルーからポリヴィア南部にかけて狭小な地向斜が形成され、浅海または瀕海性堆積物を堆積した。本調査地区のEl Molino累層は白亜紀後期の堆積物である。白亜系は古第三系の陸成堆積物に漸移し、その境界は明らかではない。白亜紀には玄武岩の火成活動があるが、本調査地区ではみられない。白亜系はポリヴィアにおける最後の海成層となり、その後海成層の堆積はみられない。

古第三紀に至り、東西アンデス山系が上昇し、東西アンデス山系に挟まれたアルティプレーノ堆積盆地が形成され、この盆地は両側のアンデスの上昇と盆地の連続的な沈降に伴って10,000 mに達する第三系を堆積し、現在なお本盆地の埋積が続いている。調査地区およびその周辺では白亜系は古第三系のPotoco累層に漸移し、または平行不整合で海成層より陸成層に移化している。Potoco累層上部付近で、調査地区南西のSur Lipez地域には玄武岩または安山岩の噴出が行われているが調査地区にはおよんでいない。調査地区ではQuehua累層堆積時に至り激しい火山活動があって、広く調査地区を火砕岩が覆っている。本地区およびその周辺では漸新世より中新世にかけてカルクアルカリ岩系の石英安山岩、石英斑岩などの噴出、貫入が行われ、これらの火成活動に関係して、錫、金、銀、鉛、亜鉛、アンチモン、ビスマス、銅、タングステンなどの多様な鉱化作用があった。調査地区ではこれらの火山活動に関係して、中新世最後期にAnimas付近を中心とした火山活動があり、各種の火砕岩

および熔岩類を噴出している。この火山活動に伴ってAnimas, Siete Suyas, Gran Chocayaなどの鉱化作用があったものと考えられる。従って層位的にはAnimas付近の火山岩, 火砕岩とQuehua累層とは整合関係にある。Animas石英安山岩熔岩, およびCerro Khumullani石英安山岩熔岩の全岩K-Ar法による年代測定は11m.y. ~ 12m.y.を示し, 中新世最後期に属し, San Vicente, Tatasí付近の火山岩より若干新しい年代を示している。

第三紀に入っでのアルプス造山運動に伴う本地区の褶曲運動は, 漸新世前期と中新世前期, 中新世後期および, 鮮新世後期とにあったと言われており, Potoco累層は中新世前期までの褶曲運動によって激しく褶曲し, またこの間に当調査地区の主要な断層を形成している。

従ってPotoco累層は中新世後期に属するSan Vicente累層とは傾斜不整合の関係にある。San Vicente累層以降はわずかに褶曲し, 中新世後期以降の褶曲運動は本地区では大きなものが見られない。

第5章 鉍床および鉍化示徴

当地区の鉍床は第三紀の火山活動と成因的に密接に関係して生成した、多金属裂隙充填型鉍床である。地表での鉍徴・変質はすべて第三紀の石英安山岩および同質の火砕岩中に発達するが、鉍脈の母岩は、脈の下部から上部に向かってオルドビス系の砂岩・粘板岩互層、第三紀の火砕岩および石英安山岩で、富鉍体は、オルドビス系中に発達する傾向を示す。

地域内で稼行している鉍山は Animas, Siete Suyos の両鉍山で、Gran Chocaya 鉍山は坑道探鉍の段階である。これらの鉍山は大小多数の平行鉍脈より構成される。従って、これら多数の脈の走向を検討するためにローズダイヤグラムを作成した。作成に使用した鉍床図は Animas - Siete Suyos 関係が 302 地並、Gran Chocaya 関係が 132 地並である。

鉍脈の規模をローズダイヤグラムに反映させるために、200 m の脈長をもって1脈とし、例えば走向が変化せず脈長が400 m なら2脈、同様に600 m なら3脈として計上した。また同一脈でもある地点で脈の走向が変化して、数10 m 連続し、また走向を変える場合には、この走向の異なる部分を1脈としてあつかった。その結果、対象鉍脈数は82本となり、その度数分布表およびローズダイヤグラムを Fig. 7 に示す。

脈の走向傾向として、

- | | | | |
|--------------|-------|------|-------|
| ① N31°~40°E系 | 脈数20脈 | で全体の | 24.4% |
| ② N41°~50°E系 | " 27 | " | 32.9% |
| ③ N51°~60°E系 | " 19 | " | 23.2% |
| ④ N61°~70°E系 | " 11 | " | 13.4% |

の4系に大別される。しかし規模の大きいColorado脈、Burton脈、Rosario脈、San Juan脈、Arturo脈などは、同一脈でも場所により走向の変化があり、前述の①~④の組み合わせだった脈といえる。また比較的小規模なInca IV脈、Inca V脈なども2~3方向の脈の組み合わせからなる。従って本地域で最も優勢な方向はローズダイヤグラムで明らかのようにN40°~50°Eである。最大規模のColorado脈は走向方向に2,000 mにもおよぶ。脈の下部については、Burton脈、Inca VI脈が現在780地並まで開発され、なお優勢な鉍化が持続する。脈幅の変化は、鉍脈間でも、また同一鉍脈中でも変化に富むが、Colorado脈の一部の富鉍部では150 cmにもおよぶところが存在する。大小多数の鉍脈群はほぼ平行にNE-

(Fig. 7, 8. Tabla 2-1, 2-2. PL 5, 6, 7, 9. A-5-2. 参照)

Rumbo	Frecuencia	Frecuencia (%)
0° - 10°		
11 - 20	1	1.22
21 - 30	2	2.44
31 - 40	20	24.39
41 - 50	27	32.93
51 - 60	19	23.17
61 - 70	11	13.41
71 - 80	2	2.44
81 - 90		
91 - 100		
101 - 110		
111 - 120		
121 - 130		
131 - 140		
141 - 150		
151 - 160		
161 - 170		
171 - 180		
Total	82	100.0

Distribución de frecuencias por rumbos de vetas en el área de Gran Chocaya

Diagrama de rosa de los rumbos de Vetas en el área de Gran Chocaya

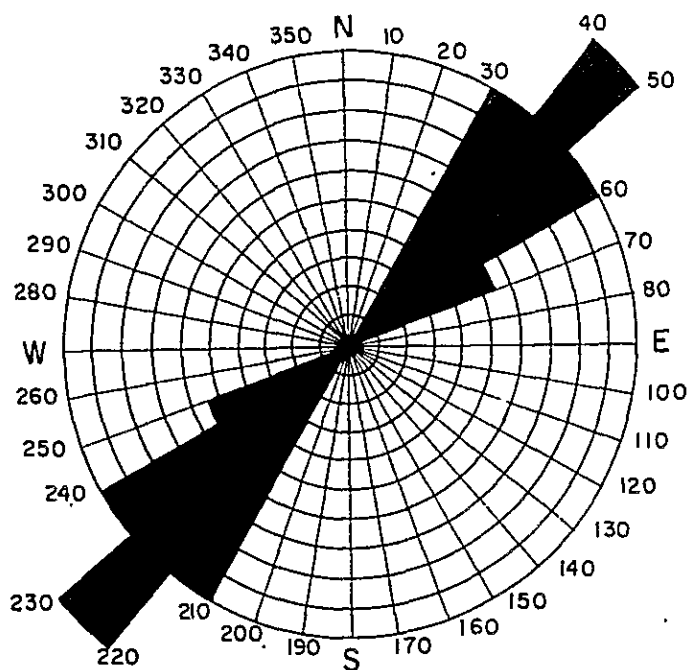


Fig. 7 Explicación del diagrama de rosa de los rumbos de las vetas en el área de Gran Chocaya

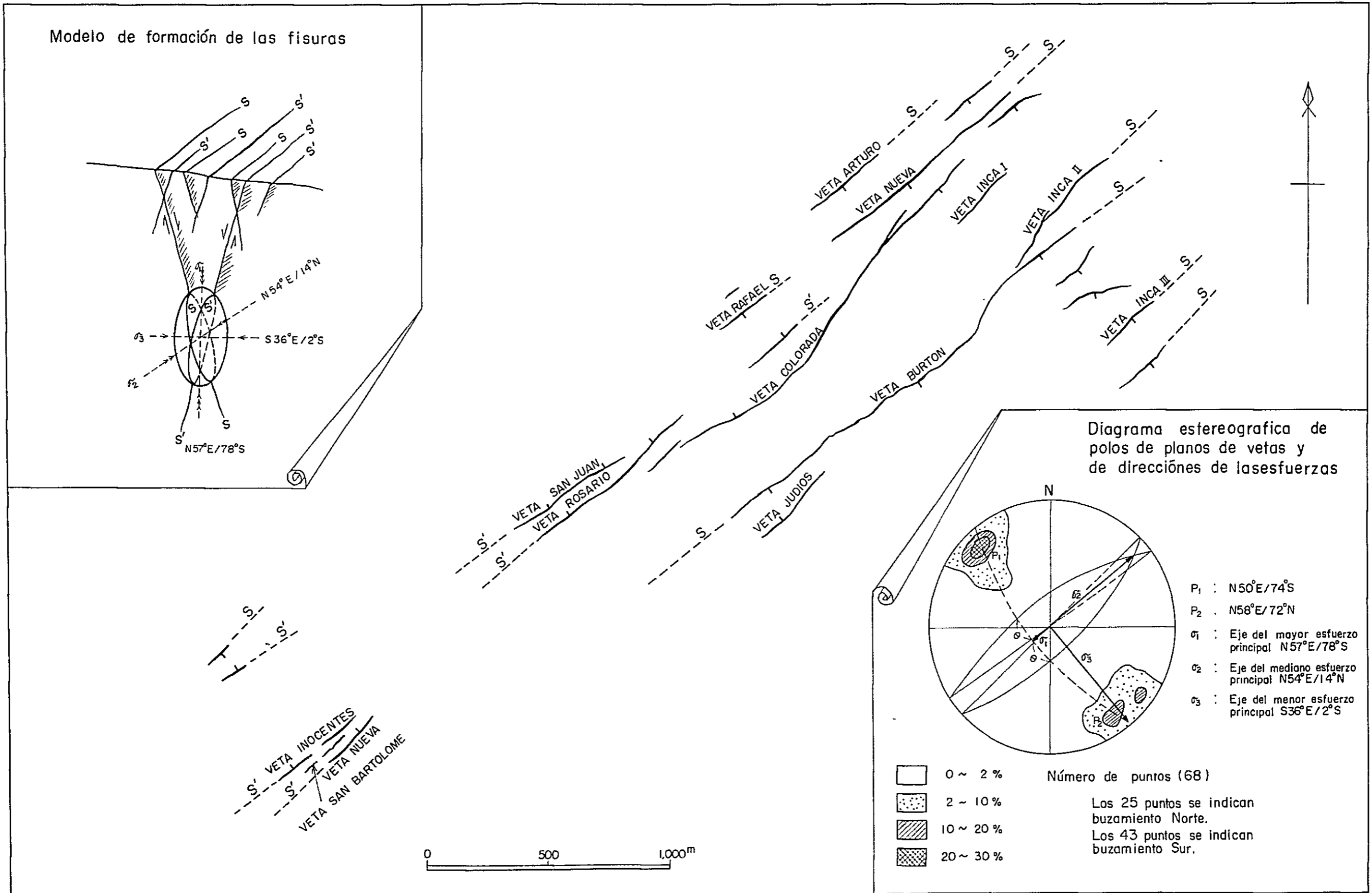


Fig. 8 Modelo de vetas

SW方向の走向を示すが、傾斜はFig. 8に示すようにNWまたはSE方向に各々65°~8°で急傾斜する。Animas-Siete Suyosの302地並とGran Chocayaの132地並における主要鉱脈の規模についてはTabla 2-1, Tabla 2-2に示すとおりである。

構成鉱物は多様であり、特に錫鉱物、銀鉱物を産出することが特徴的である。

現在まで知られている鉱物は黄銅鉱(Cu FeS_2)・四面銅鉱($(\text{Cu, Fe})_{12}(\text{SbS}_3)_4\text{S}_{0-1}$)・方鉛鉱(PbS)・毛鉱($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$)・閃亜鉛鉱(ZnS)・錫石(SnO_2)・黄錫鉱($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$)・濃紅銀鉱(Ag_3SbS_3)・フランクアイト($\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$)・輝蒼鉛鉱(Bi_2S_3)・黄鉄鉱(FeS_2)・硫ひ鉄鉱(FeAsS)・菱鉄鉱(FeCO_3)・硫酸塩鉱(PbSO_4)・車骨鉱(PbCuSbS_3)・カンフィルダイト(Ag_8SnS_8)・白鉄鉱(FeS_2)・磁硫鉄鉱(Fe_{1-x}S)・ピクスピ鉱(Mn_2O_3)・磁鉄鉱(Fe_3O_4)・銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉱物であり、脈石としては石英、岩酸塩鉱物と絹雲母である。

特に今回の調査では、Burton脈から銀を多量に含むカンフィルダイト(Ag_8SnS_8)と複数の銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉱物の発見があった。本硫塩鉱物はEPM Aで発見されたが、現段階では各構成成分の定量を行なっておらず、正式な鉱物名の同定は行なわれていない。しかしこれらの銀鉱物の発見により、本地域の鉱脈中における、銀の賦存状況がより明らかになってきた(A-5-2参照)。

多数の鉱脈のうちから、今回の調査で試料を採取し、それらの試料について顕微鏡観察と分析を実施した脈が、大小あわせて12脈ある(PL 9参照)。

これらの脈について肉眼的な主要鉱石鉱物である方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱と、主として顕微鏡観察による銀鉱物、錫鉱物、白鉄鉱や鉄、マンガンの酸化物鉱物の組合せで、鉱脈は次のように大別出来よう。

方鉛鉱と閃亜鉛鉱を主体にして銀鉱物と錫鉱物を伴うもの(Burton脈)

方鉛鉱と閃亜鉛鉱を主体にして錫鉱物を伴うもの(Inca V脈)

方鉛鉱と閃亜鉛鉱を主体に微量の錫鉱物と酸化鉄・酸化マンガン鉱物を伴うもの(San Bartolomé脈の分岐脈)

方鉛鉱と閃亜鉛鉱を主体にして錫鉱物を伴わないもの(Gran Chocayaの大部分の脈)

黄鉄鉱を主体にして錫鉱物を伴うもの(Rafael脈 Rosario脈 Coloreda脈)

黄鉄鉱を主体にして錫鉱物を伴わないもの(Gran ChocayaのVeta Naeva)

今回の試料採取の結果、Animas-Siete Suyos地域では一部の例外を除き銀鉱物と錫鉱物が普遍的に認められた。一方Gran Chocaya地域で、銀は普遍的に存在し、かなりの高品位部も分析結果で知られているが、そこでも銀鉱物を確認出来なかった。錫鉱物についてはGran Chocaya地域で、わずかに1個の試料に少量の錫石を認めたにすぎない。従って、構成鉱物の面から錫鉱物の存否でGran Chocaya地域とAnima-Siete Suyos地域に大別

される。

顕微鏡による研磨片の観察からは、多様な鉱物間の晶出時期に関して、時間的に大きな差は認められない。また比較的高温の条件下での生成を示す錫鉱物と、比較的低温での生成を示す初生白鉄鉱などが共生する。従って本地区の脈は浅所高温性の鉱脈と考えられる。同一鉱脈の垂直方向への規則的な試料採取による共生鉱物の垂直方向への変化に関する検討を実施していないが、Inca V脈とBurton脈の661地並、700地並、740地並、780地並から採取した試料の顕微鏡観察からは、同一鉱脈での上下間で、共生鉱物の組合せに変化は認められない。

地表における鉱化示徴は具体的な鉱脈の形態としてはほとんど認められず、一部に不毛の石英脈が認められるのみで、鉱化が現在の地表までおよんでいなかったことを暗示している。しかし、地表で見られる岩石の珪化作用や脱色作用は、鉱脈の発達する地域を中心にして広範囲に分布しており、その平面的形態も大体鉱脈の走向方向に延びる傾向を示す。そして脱色作用が強く、鉱脈の発達する地域の地表では、石英安山岩と一部同質の火砕岩中の斜長石が鉱化変質作用で消失しているか、または残存していてもその量が非常に少ない。

現在の鉱脈は鉱液の通路であり、同時に鉱石沈殿の場であった。後述するように鉱脈と母岩の境界部の産状、鉱脈内部の構造、断層粘土の存在、多数の平行脈の存在、走向延長が大きいなどの特性から、鉱脈胚胎の場は剪断系の裂隙であると判断される。

精査地域外でもQuehua累層より上位の石英安山岩と同質の火砕岩中には各所に脱色作用、珪化作用を伴う変質帯がみられ、旧坑の存在も確認されている。Animasを中心にして広範囲に分布するAnimas石英安山岩熔岩の略々南半分が精査地域外に分布しており、かなりの変質が認められるので、今後なんらかの手段で、これらの変質帯の可能性について検討しなければならない。精査地区南東端に近接して、概査地区内のRancho Lupijaraの北方に2個所の旧坑があり、石英脈や、褐鉄鉱脈がみられ、特に石英脈はその脈幅が1.0 mにも達する。石英の分析品位はSn 0.05%, Ag 0.001%, Pb 0.1%, Zn 0.49%を示しており、脈の走向はN70°EとN80°Eとなっている。精査地区内に入るがCerro Pabellonの北方約1.5 kmの鉱徴も大体E-Wであり、Animas - Siete Suyosの鉱脈群が前述の如くNE-SW系であるに対して、Siete Suyosより南東に散見されるこれらの脈がE-W系で、走向が異なり、異った裂隙系に存すると思われる。オールドビス系中に乳白色の石英脈が散見され、脈幅も20 cmぐらいに達するものもあるが、これらはまったくの不毛石英であり、本地区の多金属鉱化作用とは無縁のものと判断する。

第Ⅱ部 地質調査精査

第 1 章 精査地域の選定

地質調査概査は、鉍床賦存と密接な関係があると考えられている火山岩および火砕岩の分布区域を中心にして、この区域とその周辺に広い範囲の調査を行って鉍徴地と鉍床を発見し、さらに詳細な調査区域を抽出するため 280 km²の面積について実施され、調査結果、および事前協定折衝の際のポリヴィア側との打合せを基にして、Gran Chocaya, Animas, Siete Suyos の各区域を含む 30 ㎞²の精査を実施する運びとなった。その主な理由は

1. 概査地域内の調査結果は、鉍化作用、変質作用などはすべて石英安山岩、同質角礫凝灰岩が分布する地域にあり、これらを取巻いて分布している第三系、白亜系、オルドビス系には鉍化帯、変質帯の発達が発見されなかった。

2. 火山岩の分布する地域においても、有望な鉍徴を有する区域は、Animas, Siete Suyos, Gran Chocaya の区域であり、これら以外に Animas 石英安山岩の分布区域の東辺に 2, 3 の鉍徴が見られるが、いずれも極めて貧弱であり組織的な探鉍を行なうのに値しない。

3. 概査結果では N50°E・74°S, および N58°E・72°N の走向傾斜を有する剪断裂隙が優勢に発達し、鉍化・変質帯がこの裂隙系に支配されて分布しており、この地区は Siete Suyos 付近より Animas, Gran Chocaya へと連続している。

4. ポリヴィア鉍山公社としては Animas の既開発鉍床の延長部の Gran Chocaya 付近を鋭意探鉍し、新鉍床の開発を行うために、この付近の精査を希望していた。

5. また Gran Chocaya などの有望地域は既開発鉍床の延長にあり、同地域の鉍化作用、裂隙生成機構の解析には既開発部の調査が不可欠であり、既開発部を含め有望地域全体に精査を行うよう範囲を選定した。

6. Animas, Siete Suyos 鉍山としては現状では下部探鉍も必要とし、既開発部の調査は今後下部の探鉍の指針となり得る。

特に今回は既知鉍床の鉍化帯に直交して、地表から規則的な岩石試料を採取した。これら試料を X 線解析により、変質鉍物の検討、変質分帯を行ない、さらに高次の探鉍を実施すべき箇所と、そこに対する有効な探査方法の開発に努めた。

第2章 精査結果

2-1 地質概要 (PL 3-1, 3-2, 4. 参照)

Gran Chocaya 精査地域の地質は主として、第三系中新統の火砕岩、石英安山岩熔岩から構成され、精査地域の北部中央付近にのみ、古生界オルドビス系や第三紀 Quehua 累層等の堆積岩類が分布する。オルドビス系は Rio Chocaya 両岸の狭少な部分に、 NWW-SEE 系の褶曲軸をもって分布し、Quehua 累層はオルドビス系を直接覆って、精査区域内では狭い分布を示し、火砕岩、石英安山岩熔岩が分布する中心部では本累層を欠いている。精査地域に見られる火砕岩、石英安山岩のうち Animas 石英安山岩熔岩、Gran Chocaya 凝灰角礫岩、Cerro Negro Poso 凝灰岩の変質作用を被むった露頭が地域内で散見され、旧坑々口も散在する。オルドビス系や Quehua 累層中には精査地域での野外調査では鉍化作用、変質帯は認められない。

2-2 堆積岩類

精査地域の堆積岩類としては、上記のオルドビス系砂岩-粘板岩互層と、Quehua 累層の凝灰岩類のみが狭い範囲に露出するにすぎない。オルドビス系は砂岩、粘板岩がリズムカルに互層するフレッシュ型の堆積相を示す。本系は NEE-SWW 系～ NWW-SEE 系の走向を示しており、褶曲軸は、北および南に沈降するものがあり北に沈降する方が比較的急傾斜を示す。Quehua 累層は Agua de Castilla 北方と Siete Suyos 墓地付近にのみその分布が見られた。精査地域内の Quehua 累層は淡灰色ないし淡黄灰白色を呈する中粒～細粒凝灰岩により構成される。この凝灰岩は下位のオルドビス系の褶曲構造とはまったく無関係に不整合面上へ直接降下堆積したもので、ほぼ平坦な傾斜を示している。本累層はやや石英粒に富む凝灰岩質の薄層や火山礫凝灰岩層をも狭在するが、Quehua 累層を構成する各単層の大部分は中粒～細粒の凝灰岩である。また個々の単層中には葉理構造や級化構造はほとんど見られず、水中堆積ではないものと推察した。オルドビス系は Gran Chocaya, Animas 等の精査地域中心部の坑内においても広く分布が確認されているのに対し、Quehua 累層の坑内における分布は、明らかではない。しかし、このことは、当初から Quehua 累層が欠如したのではなく、後の火山活動により欠如し、第三紀火山岩、火砕岩が分布する精査地域の中心部付近で Quehua 累層が認められないものと考察した。この火山活動によってオルドビス系の一部も当然破壊され、それらの岩片は付近の凝灰角礫岩や火山礫凝灰岩中に異質礫として見出されるが、Quehua 累層の礫は野外観察では、火砕岩中に認められなかった。このことは Quehua 累層が堆積したのち、まだ未固結の間に破壊され、その後当地域の一連の火山活動があったことによるものであろう。本精査地域においては、オルドビス系、Quehua 累層ともに変質作用

を被っていない。なお、火山活動に伴う火砕岩は後述する火山岩の項で説明する。

2-3 火山岩類および火砕岩類

本報告書では精査地域に分布する火砕岩は Animas 石英安山岩熔岩, Cerro Khumullani 石英安山岩熔岩を伴った一連の火山活動によるものと考え、火山岩を含めて本章で述べる。本地域には Gran Chocaya 地区全域で観察されるすべての火山岩類, 火砕岩類, 岩脈類が集中して分布する。火山岩類は精査地域内において最も広い分布を示し, Animas 石英安山岩熔岩, Cerro Khumullani 下部石英安山岩熔岩, 同上部石英安山岩が認められ, Animas 石英安山岩熔岩の分布がその大部分を占める。

Animas 石英安山岩熔岩: 本熔岩の層厚は, 500 m 以上と考えられ, 火山岩中最大の層厚を有する。この層厚は数回の噴出の結果と考えられるが, 各々の噴出, 流出毎の差異は認められず一括して取扱った。岩質は緻密堅硬で気孔は極めて稀に観察され, 一般に色調は帯緑青灰色~帯紫灰色を呈することが多い。本熔岩は地形的に急崖を形成するが, 節理の発達は無明瞭でない。鏡下の観察で, 斑晶鉱物は主に石英, アノソクレス, 斜長石, 普通角閃石, 黒雲母から構成され, 石基は斜長石, 玻璃質を主とする塊状組織を示す。本熔岩の X線回折に基づく変質鉱物調査結果によれば, 斜長石の消失, カオリンの生成, 苔鉄鉱物の緑泥石化などの変質作用を受けている。Animas 石英安山岩熔岩は精査地域内の鉱床母岩としては, 層序的に最上位を占める。従って, 本熔岩の鉱化, 変質作用と熔岩中の各ユニットの区分は精査地域内での有力な探鉱指針となるものであろう。

Cerro Khumullani 下部石英安山岩熔岩: 本熔岩は精査地域の北西部, Cerro Khumullani Chico, Cerro Negro Poso, Cerro Atawani の翼部を占めて分布する。下部石英安山岩は Cerro Khumullani 上部石英安山岩熔岩と本質的には同一のものと考えられるが, 精査の結果, 自破砕状構造が認められるものを下部とした。岩質は緻密で, 色調は暗灰赤褐色ないし暗緑灰色を呈する。構成鉱物は斜長石, 石英, 黒雲母, 普通角閃石を主とするが, Cerro Khumullani 熔岩を特徴づけているのは副成分鉱物として含有されている普通輝石の存在である。本熔岩には変質作用は認められない。

Cerro Khumullani 上部石英安山岩熔岩: 本熔岩は精査地域内において Cerro Khumullani, Cerro Negro Pozo, Cerro Atawani, Cerro Pabellón 等の高峰群を形成して分布し, 本岩の厚さは 150 m 以上と考えられる。精査地域東南部の Cerro Pabellón 付近では, 下部熔岩の発達は見られず, Animas 石英安山岩熔岩を直接に覆って, Cerro Khumullani 上部石英安山岩熔岩が分布する。しかし, 概査範囲の地質と総合して考察すれば, 2 回連続して岩相の異なる熔岩が噴出したのではなく, Animas 石英安山岩熔岩の流出後に火砕岩類の噴出を伴う火山活動があったが, 当地域付近にそれら火砕岩類は堆

積せず、地質断面に見られるような分布を示すに至ったと考えられる。本熔岩中には副成分鉱物として特徴的に普通輝石を含有する。

主要な斑晶鉱物は斜長石、石英、普通角閃石、黒雲母等で、石基部は主に斜長石、火山ガラスより構成される。本熔岩中には板状節理の発達が見られ、下部熔岩と同様、鉍化、変質作用を被むった現象を野外観察では認められなかった。

Inocentes 凝灰角礫岩： 本岩は精査地域中央北部の狭少の部分にのみ分布するが、標式地の Inocentes 立坑西方付近と同じ岩相を示す。Inocentes 凝灰角礫岩は Gran Chocaya 坑内でオルドビス系に断層で接し鉍脈胚胎の母岩ともなっている。本地区に分布する Inocentes 凝灰角礫岩は、堅硬で石英安山岩質の角礫を多く含み、色調は帯赤灰青色を呈する。本層中にはややあらい成層も認められる。本岩は次に述べる Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩とともにオルドビス系の異質礫を含有し、一部には白亜系の礫も認められる。しかし、両岩とも直接に接しては分布しないので、相互の上下関係は不明である。また、両岩とも地表においてのみ、各々の下位に Quehua 累層を有するが、坑内で Quehua 累層は認められない。

Rancho Candelaria 火山礫凝灰岩： 精査地域の北東端に Siete Suyos ~ Telamayu 間の道路沿いに分布する本凝灰岩は塊状無層理であり、異質礫も含有する。精査地域の断面図に見られる如く、この火山礫凝灰岩も精査地域中央部付近にまで連続して Animas 石英安山岩熔岩の下位に分布し、鉍脈胚胎の母岩となったと考えられる。

Gran Chocaya 凝灰角礫岩： Gran Chocaya 西方に分布し灰白色～淡灰褐色を示す。一般に塊状無層理であり主として石英安山岩礫を含有し、少量の黒色粘板岩礫も含有する。本岩は地表の旧坑付近で、変質により脱色化されている。本岩は Gran Chocaya 地域において、Atahuallpa 脈を胚胎する母岩となっており、本岩の分布範囲も Inocentes 凝灰角礫岩、Belén Loma 火山礫凝灰岩の分布範囲と同様に今後の探鉍余地のある区域である。

Rancho Lupijara 凝灰岩： 本凝灰岩は精査地域南東端にのみ見られる石英安山岩質の凝灰岩で、淡黄～淡灰色を呈し、精査地域内の本岩には緩やかな傾斜をもつ層理が認められた。本凝灰岩と鉍化に伴う変質作用との関係は不明である。

Cerro Negro Pozo 凝灰岩： 精査地域内では Belén Loma 火山角礫岩、Gran Chocaya 凝灰角礫岩および石英安山岩熔岩類と接して NE - SW 方向に帯状の分布を示す。全体に塊状で淡緑色～淡緑灰色を呈し軟質である。若干の変質作用を被むっているものと推察される。

Belén Loma 火山角礫岩： Cerro Khumullani 周辺と Cerro Torre Punta 頂部付近とに分かれて分布する。石英安山岩質の類質角礫を主とし、その礫の大きさは数 m の巨礫にまで及ぶ。角礫を構成する石英安山岩の石基は緻密で、黒雲母が特徴的に認められ、斑晶鉱物としては石英、斜長石、黒雲母が見られる。

Cerro Pabellón 火山角礫岩： 精査地域の南東部の Cerro Pabellón 頂上付近の

み分布する。岩質岩相ともに上述の Belén Loma 火山角礫岩と同一のものと考えられ塊状無層理であるが、層序的に Cerro Khumullani 上部石英安山岩熔岩噴出後の火山活動によってもたらされたものと考え、当地域最後の火砕岩と考察した。本層の上限は不明である。

精査地域内においては上述の火山岩、火砕岩の他に岩脈或いは角礫岩脈が認められた。その数、規模ともに小さく、岩脈類と鉱床形成との間には何ら関係を見出せなかった。

第 3 章 鉍 床

3-1 鉍床概要

3-1-1 概 要 (LP3-1, 3-2, 4~7. Tabla 2. 参照)

精査地域内の鉍床については、地表で明瞭な鉍脈露頭がほとんど認められず、鉍脈露頭位置と推定される地点は変質帯となっており、坑内の鉍脈との対比が困難である。また地表の変質帯はほとんど鉍石鉍物を含まず、脈の性質を判断する資料は得られなかった。

従って簡単な坑内調査、採取試料の分析値、室内実験および現地地質資料に基づき鉍床に関する考察を行なった。

精査地域内の鉍床は典型的な裂隙充填式鉍脈型鉍床である。有価金属として、銅・鉛・亜鉛・銀・錫を含む多金属鉍脈で、その構成鉍物および鉍物組合せも非常に複雑である。母岩は新第三系の石英安山岩と同質の火砕岩およびオルドビス系の堆積岩(以下単にオルドビス系)である。主要鉍山としては Animas 鉍山と Siete Suyos 鉍山があつて操業しており、地域南西部の Gran Chocaya 鉍山では坑道探鉍を実施している。このうち Siete Suyos と Animas 鉍山は同一の鉍脈を採掘して坑道が貫通しているが、Animas 鉍山と Gran Chocaya 鉍山は坑道で連絡されていず、各脈の対比などについては未だ明瞭でない点が多い。現在 Animas 鉍山の 302 地並で Gran Chocaya 向けの探鉍坑道が計画実施されている。

本地域内に大小多数の平行脈が発達し、その開発規模は Animas-Siete Suyos 地域で、鉍脈群の走向方向に約 2,500 m、これと直交する方向に約 1,900 m、さらに垂直方向には 780 m 地並に達する。なお且つ下部でも鉍化作用が存在する。Gran Chocaya 鉍山は、スペイン時代から浅部が開発されたが詳細は不明である。現在 132 地並で立入坑道および錘押し探鉍が実施されているが、鉍脈の母岩は Inocentes 脈南錘押し坑道で断層で境されてオルドビス系に接している所以外は全て第三紀の石英安山岩と同質火砕岩である。

精査地域の鉍脈群の分布範囲を含み熱水変質作用を受けた範囲は Animas を中心に NE~SW 方向に約 6 km、これと直交する方向に約 5 km におよぶが、この大変質帯以外にも小規模な変質帯および旧坑が各所にみられる。これらの強い鉍化・変質帯はすべて Quehua 累層より上位の第三紀の Animas 石英安山岩と、同質の火砕岩の分布する地域に限られ、鉍化作用が第三紀の酸性火山活動と密接な関係をもつことを示している。

しかし、垂直的には鉍脈は第三紀の火山岩や火砕岩に限られず、むしろ、オルドビス系中で優勢である。このことは直接の鉍化作用は第三紀の火山活動に起因するが、鉍石鉍物の沈澱の場としてはオルドビス系中の方が物性的に有利であったためであろう。

坑内の地質は最下部にオルドビス系が発達し、その上位に第三紀の凝灰岩類と石英安山岩が

Tabla 2 Listas de Vetas

Tabla 2-1 Lista de Vetas Principales de la Mina de Animas-Siete Suyos

Nombre de veta	Nivel	Rumbo	Buzamiento	Longitud (m)	Ancho de veta (cm)	Minerales componentes
Veta Colorada	Ni302	N45°E	75°S	2,000	150	py, cas, gn, qz, stan, bo, asp.
Veta Inca I	"	N45°E	80°N	750	10	Py, sp, gn, cp, td, qz
Veta San Juan	"	N55°E	80°N	500	60	sp, gn, qz
Veta Rosario	"	N50°E	80°N	760	60	sp, gn, qz, py, arp, cas, stan, cp, cab, td
Veta Burton	"	N50°E	80°S	1,800	60	gn, sp, cas, asp, py, fc, can, ang, jm, qz, Aq-Sn-Pb-Sb
Veta Arturo	"	N50°E	65°S	400	20	py, sp, stan, jm, gn, qz, fc
Veta Judíos	"	N40°E	70°N	400	30	py, sp, gn, asp, td
Veta Inca II	"	N40°E	80°S	700	40	sp, gn, sid
Veta Nueva	"	N55°E	70°S	1,000	100	py, sp, gn, fc, jm, qz
Veta Salvadora	"	N50°E	70°S	250	50	
Veta Rafael	"	N50°E	80°S	150	30	stan, sp, cas, qz, py
Veta Animas	"	N40°E	80°S	250	60	
Veta Inca IV	"	N40°E	70°S	150	10	
Veta Inca V	"	N80°E	70°S	250		
Veta Inca VI	"	N50°E	75°S	200	80	gn, fc, sp, py, asp, stan, qz, cas
Veta Inca III	"	N50°E	65°S	150		py, sp, gn, fc, pr, sid

Pr : Pirargirita
sid : Siderita
may : Magnetita
gn : Galena
any : Anglesita
jm : Jamesonita
bo : Bournonita
cp : Calcopirita
td : Tetraedrita
sp : Esfalerita
stan: Estannina
cs : Casiterita
fc : Franckeita
can : Canfieldita
cab : Carbonato
py : Pirita
asp : Arsenopirita
mar : Marcasita
po : Pirrotina
bx : Bixbyita
ser : Sericita
qz : Cuarzo
Ag-Sn-Pb-Sb: Mineral de sulfosales de Ag-Sn-Pb-Sb

* Por la Fig. 8 Modelo de vetas, calculamos los promedios de rumbos y promedios de buzamientos, y prolongaciones de cada veta.

Se adopta el máximo ancho de veta de la Fig. 8 Modelo de vetas.

En cuanto a una parte de minerales componentes, véase Geological Report on Siete Suyos - Animas Properties of Corporación Minera de Bolivia.

Tabla 2-2 Lista de las Vetas de Interior de la Mina Gran Chocaya

Nombre de Veta	Nivel	Rumbo	Buza- miento	Longitud (m)	Ancho de veta (cm)	Resultados de análisis				Minerales componentes
						Sn %	Ag %	Pb %	Zn %	
Veta Nueva	Ni132	N40°E	80°N	230	100	0.07	0.013	3.09	12.31	py, sp, mar, gn, qz, po, asp, cp
Ramo de Veta San Bartolomé	"	N40°E	70°N	90	5	0.05	0.010	4.70	8.02	py, gn, arp, po, cas, sp, mag, bx
Veta San Bartolomé	"	N45°E	70°S	20	5	0.10	0.009	1.20	1.14	sp, gn, py, mar, bo, qz
Veta Inocentes	"	N35°E	80°N	70	5	0.10	0.263	36.64	5.74	gn, py, mar, sp, ang
Veta San Carlos	"	N50°E	60°N	90	5	0.10	0.013	2.30	38.16	sp, py, po, gn
Veta Talodoro	"	N50°E	80°N	20						
Veta San José	"	N60°E	70°N	20	3					
Veta Clarines	"	N45°E	85°S	20						
Ramo de Veta Nueva	"	N75°E	80°S 80°N	70	3					

cp : Calcopirita

td : Tetraedrita

sp : Esfalerita

stan : Estannina

cs : Casiterita

fc : Franckeita

can : Canfieldita

pr : Pirargirita

sid : Siderita

may : Magnetita

gn : Galena

ang : Anglesita

jm : Jamesonita

bo : Bournonita

cab : Carbonato

py : Pirita

asp : Arsenopirita

mar : Marcasita

po : Pirrotina

bx : Bixbyita

ser : Sericita

qz : Cuarzo

発達する。この石英安山岩と凝灰岩類は、地表から下部に向って、その水平分布範囲を減じ、逆にオルドビス系の分布範囲は増している。302地並で、坑道で確認された鉍化帯の範囲の50%をしめていたオルドビス系が、下部にいくにつれて広くなり、600地並ではオルドビス系のみになることによって明確である。オルドビス系の構造はかなり激しい褶曲を示すが、過褶曲はみられない。Siete Suyos から北東の Río Chocaya 河床での本系の走向・傾斜を解析すると、褶曲軸の方向はN55°W、その落しは5°SEとなっている。上位の第三系の地層とは傾斜不整合と一部断層で接し、その関係が坑内各所で観察される。

第三系の火砕岩類は、一部凝灰質砂岩を含む石英安山岩質凝灰岩、同質火山礫凝灰岩・同質凝灰角礫岩からなり、石英安山岩の礫の他に、異質礫として下位のオルドビス系の礫をかなり含むが、その量は場所により大きく変化する。302地並のBurton脈向立入坑道では本火砕岩中に異質礫がほとんどみられなくなり、石英安山岩との肉眼的判別が困難となっている。Gran Chocaya 坑内では、火砕岩中に異質礫として白亜系の赤色砂岩礫を含んでおり、本地域に近接して白亜系の砂岩の発達が予想される。しかし、現在まで鉍床地帯では坑道およびCOMIBOL側の試錐でも、野外調査で観察した白亜系は確認されていない。Animas-Siete Suyos坑内では、本火砕岩中の異質礫はすべてオルドビス系の砂岩と粘板岩であり、白亜紀の赤色砂岩の礫は、まったく認められていない。本火砕岩は一般に無層理、塊状であるが、Gran Chocaya 坑内では層理面が認められる。本岩は全体に激しい珪化・脱色化作用を受けているが、石英の結晶および結晶片は白濁した程度で残存している。本岩の層厚は0~100mと変化する。

本岩の上位に広範囲に厚い Animas 石英安山岩熔岩が地表まで発達し、白~淡緑色を呈して、強い珪化作用と比較的弱い粘土化作用を受けているが、直径3mm大の石英斑晶を明瞭に残している。黒雲母の斑晶はかなり変質し、変色しているが、肉眼鑑定で、その存在が明らかに認められる。鉍脈は以上のオルドビス系および第三紀の火砕岩と石英安山岩中に連続して胚胎される。文献によるとオルドビス系中の富鉍体について次のように結論づけている。

- (1) 富鉍体は、鉍脈が鉍床帯中央および北東部の向斜構造の底部と脚部を切る場所に位置する。
- (2) 富鉍体は、より効果的な運動で生じた裂罅の多い断層が存在する場所に位置する。
- (3) 富鉍体は一部の例外を除き、オルドビス系と第三系との不整合面から下部へ70mぐらいの場所に賦存する。
- (4) 富鉍体はすべて断層に規制されている。

しかし、この結論に関しては今後坑内精査で地質構造と脈の解析を実施して再検討する必要がある。上述の場所における富鉍体以外にも、小規模な富鉍体の存在が知られている。

主要鉍脈は石英安山岩や同質の火砕岩中よりも、オルドビス系中で波状にわん曲したり、うねった

りする。このうねりの変化が、岩石の硬度が大であるため、もろいオールドビス系中でより空隙を拡大させ、その空隙が鉍液の浸透を良好にし、その結果、そこに富鉍体が形成されると文献では推論している。Gran Chocaya 鉍山地域は前述のように Animas を中心とした大変質帯の南西部をしめ、多数の旧坑がみられる。また Animas-Siete Suyos 鉍脈群の直接の南西錫先き延長となり、現実に 132 地並で優勢な鉍脈を確認している。従って、本精査地区内では、現時点で最も有望な探鉍候補地であると判断される。現在、坑内探鉍は 132 地並の限られた小範囲について錫押しおよび立入坑道探鉍を実施しているにすぎない。また鉍脈の母岩も、一部を除きすべて第三系の岩石であり、オールドビス系が発達するのは現地並以下 30 m ぐらいからと予想され、富鉍部はこのオールドビス系中に Animas-Siete Suyos の鉍脈群と同じように期待出来る。

今後、Animas-Siete Suyos 坑内に精査を実施し、富鉍部の存在について解析することは、Gran Chocaya の探鉍指針を決定する意味でも非常に重要である。

3-1-2 鉍脈各論 (PL8~10. Tabla 2. A-3, 5-1, 5-2, A9. 参照)

精査地域内では多数の鉍脈が開発され、稼行されているが、その歴史が古く、地質、鉍床に関する資料は非常に乏しい。特に鉍脈の上部についての資料は皆無である。また鉍脈の資料もその一部に限定され全体は不明である。資料の存在する Colorada 脈, Rosario 脈, Inca I 脈, Inca II 脈, Inca III 脈, Inca VI 脈, San Juan 脈, Burton 脈, Rafael 脈, Arturo 脈, Nueva 脈と Gran Chocaya の脈について、その資料と今回の調査結果を利用して、脈の産状と構成鉍物について述べる。

(1) Colorada 脈: 本脈は、本地域で最大の脈で、走向方向に約 2000 m, 垂直方向に約 650 m の規模をもつ。走向は南西部の $N70^{\circ}E$ から、北東端の $N25^{\circ}E$ まで多様に変化する。傾斜も南西部の $88^{\circ}S$ から中央部および北東部の $62^{\circ}S$ まで変化する。文献によると脈幅は石英安山岩中で 10~100 cm, 火砕岩中で 20~100 cm で、オールドビス系中では 150 cm にも達し、脈幅の最大部と富鉍体が場所的に一致する。脈はレンズ状で鉍石鉍物の他に多量の粘土と母岩の角礫を伴っている。

今回の採取試料の検鏡結果では、主要鉍石鉍物は黄錫鉍, 黄鉄鉍, 硫砒鉄鉍で、これらの他に錫石と車骨鉍を少量伴う。これらの試料は黄鉄鉍と黄錫鉍を主体とした鉍石であり、分析品位も錫が非常に高く、代表的な高品位錫鉍脈といえる。銀鉍物や方鉛鉍が認められない割に、銀品位が高いが、その具体的産状は不明である。銀の産状としては錫鉍物中の固溶が考えられる。脈の分析品位から、本脈は錫-銀系統の鉍脈といえる。

(2) Inca I 脈: 本脈は 302 地並で走向方向に約 750 m 開発されているが、垂直方向の規模は明らかでない。走向はほぼ $N45^{\circ}E$ で、傾斜は $75^{\circ} \sim 87^{\circ}S$ である。文献によると本脈は次の通りである。北東部の富鉍体では銀品位が非常に高く、その規模は水平方向に約

30 m, 垂直的には475地並～424地並であるという。また他の富鉍体は, 銀の他に錫を含み, その平均脈幅は82cmで, 品位は100cmの採掘品位に換算して, Ag 1.002 g/t, Sn 1.7%であったという。一般にレンズ状脈で, 上下盤は, 脈沿いに上下, 水平方向にかなり動いた痕跡を示す。品位のばらつきも大きく, 高品位部も局所的に限定される。鉍石鉍物としては黄鉄鉍, 閃亜鉛鉍, 方鉛鉍, 黄銅鉍と銀に富む四面銅鉍(フライベルチャイト?)を産する。高含銀四面銅鉍の存在が, 銀品位のはらつきの原因と推定され, 475地並での1試料はAg 5.73%, Cu 12.76%, As 0.22%, Sb 2.20%, Zn 1.5%に達したという。本脈はその金属成分から錫-銀系統の鉍脈といえよう。

(3) San Juan 脈: 本脈は走向方向に約500m, 下部は302地並まで開発されているが, 302地並以下については不明である。走向はN70°EからN30°Eまで変化し, 傾斜も51°Nから87°Nまで変化するが, 南西端で84°Sと傾斜が逆転する場所もある。脈幅は302地並で最大60cmに達する。母岩は石英安山岩であるが, 最近302地並で, 本脈の一部がオルドビス系中に入った。オルドビス系と石英安山岩は断層で接しており, 鉍脈は破碎されたオルドビス系中で尖滅するが, 非破碎の部分では再び優勢になる。鉍石鉍物は黄鉄鉍, 四面銅鉍, 閃亜鉛鉍, 方鉛鉍, 硫砒鉄鉍であるが, 264地並のSan Juan立坑南方では錫および銀品位が高くなり, 試料3個の平均分析値はSn 7.93%, Ag 0.6%に達し, 本脈も錫-銀系統の鉍脈といえる。

(4) Rosario 脈: 本脈はSan Juanの南東に略々平行して賦存し, その規模は302地並で走向方向に760m, 垂直方向には302地並まで達しているが, 詳細は不明である。走向はN50°EからN60°Eと緩く変化し, 傾斜は50°～82°Nと変化する。母岩は石英安山岩が主体であるが, 302地並では激しい珪化・脱色化作用を受けた石英安山岩質火山礫凝灰岩である。脈幅は最大60cmに達する。302地並では, 鉍脈と母岩の境界は明瞭であり, 黄鉄鉍に富む鉍脈中に方鉛鉍濃集部が縞状に発達し, レンズ状の粘土がみられる。

採取試料の検鏡結果では, 主要鉍石鉍物は, 黄鉄鉍, 硫砒鉄鉍で, これらの他に錫石, 黄錫鉍, 閃亜鉛鉍, 方鉛鉍を少量伴う。これらの試料は肉眼的に黄鉄鉍を主体とする鉍石であり, その分析値は錫および銀品位とも高い。

検鏡の結果, 錫鉍物は錫石と黄錫鉍が認められて錫の分析品位を裏づけているが, 銀鉍物は認められず, その賦存状況は不明である。

従って本脈は検鏡と分析結果から錫-銀系統の鉍脈といえよう。

(5) Burton 脈: 本脈は本地域内で経済的に最も重要な鉍脈で, 走向方向に1800m, 垂直方向に, 現在780地並まで開発され, 鉍況も優勢である。走向はN50°EからN70°Eに変化し, 傾斜は南西部で垂直にちかく南に傾斜し, 北東の石英安山岩中では緩くなる。脈幅は, Colorado 脈よりもせまいが, 安定しており, 石英安山岩中では20～40cm, オルドビス系中では最大150cmに達するという。また脈幅の大きい部分と高品位部は場所的に一致するという。

本脈が断層脈であるという記載があるが詳細は不明である。

661地並や700地並では鉍脈と母岩の境界は明瞭で、鉍脈中に粗粒と細粒の方鉛鉍の縞状構造や、粗粒の方鉛鉍中にレンズ状の毛鉍の濃集部や晶洞がみられる。700地並で鉍脈は母岩の角礫を多量に含み、その角礫の表面、または礫間に1~2cm大の方鉛鉍結晶が晶出している。

採取試料の検鏡結果では、主成分鉍石鉍物としては方鉛鉍・閃亜鉛鉍、錫石、硫砒鉄鉍と黄鉄鉍で、これらの他に少量のフランケアイト、カンフィルダイト、硫酸塩鉍、毛鉍、黄錫鉍と銀-錫-鉛-アチモンの硫塩鉍物が認められる。これらの試料は肉眼的に方鉛鉍、閃亜鉛鉍を主体にし、分析値は銀が異常に高く、錫は一部で高品位を示す。銀鉍物としてはカンフィルダイトと複数の銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉍物が確認されており、銀品位の高いことを裏づけている。カンフィルダイトは錫石と閃亜鉛鉍の縞状構造中に産する。銀-錫-鉛-アンチモンの硫塩鉍物はEPM Aで確認されているが、鉍物名を決定するにいたっていない。錫鉍物については前述の未同定の硫塩鉍物の他に錫石・黄錫鉍とフランケアイトが認められており、鉍石の分析値を裏づけている。本脈の661地並、700地並、740地並、780地並からの試料間では、その構成鉍物と分析値に規則的な変化が認められず、鉍化作用の垂直方向の変化を推定することが出来ない。検鏡および分析値から本脈は銀-錫系統の脈または少量の錫を伴う銀-鉛系統の脈といえよう。

(6) Arturo脈：本脈は銀、錫の鉍源として重要であり、その規模は走向方向に400m、垂直方向に630mである。位置的には鉍床帯の北西端に賦存する。走向は南西部のN52°Eから北東に向って緩やかにわん曲し北東端ではN60°Eとなる。傾斜は52°Sから80°Sと変化する。脈幅は302地並で最大20cmであるが、下部のオールドビス系中では50cmとなる。本脈は多量の粘土と母岩の角礫を伴ない、レンズ状の形態を示す。文献では、本脈は石英安山岩中で急傾斜し、オールドビス系中では緩傾斜し、この傾斜の変化が鉍床胚胎の場を規制する空隙の形成に有効に作用したとしている。

採取試料の検鏡結果では、主要鉍石鉍物は黄鉄鉍、閃亜鉛鉍で、これらの他に少量の黄錫鉍、毛鉍、方鉛鉍を伴う。これらの試料は肉眼的に黄鉄鉍を主体とする鉍石であり、その分析値は錫品位が高く、銀品位も非常に高い。錫鉍物は検鏡結果で黄錫鉍が存在し、錫の分析値は、これによるものと判断される。銀鉍物は検鏡で確認されておらず、産状は不明である。方鉛鉍は極端に少ないので、銀は単独の鉍物として存在するのか、錫鉍物に固溶されているのか、今後検討する必要がある。本脈は検鏡と分析結果から錫-銀系統の鉍脈といえる。

(7) Inca脈：本脈はBurton脈の北東延長部に位置する。脈は走向方向に約600m、垂直方向に350m開露されている。脈の走向は南西部でN25°Eで次第に東にわん曲して北東端ではN50°Eとなり、傾斜は40°Sから85°Sまで変化する。本脈はレンズ状の鉍脈であり、

脈幅は370～321地並で20～60 cmに達し、構成鉱物として黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、フランクアイトおよび濃紅銀鉱を伴なうという。本脈は構成鉱物の組合せから錫—銀—鉛系の脈と推定されるが、文献では銀—鉛系統の脈としている。

(8) Judios脈：本脈はBurton脈南端の南東側にBurton脈と略々平行に発達する。脈の規模は走向方向に400 m、垂直方向に500 mである。走向は南西部のN60°Eから北東部のN40°Eまで変化し、傾斜は垂直から66°Nまで変る。母岩は一部でオルドビス系になっている以外は石英安山岩と同質の火砕岩であり、脈幅は302地並で30 cmに達する。文献では、本脈は337～320地並間で脈幅も45 cmに達するレンズ状の鉱脈となり、構成鉱物として黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱からなるという。しかし脈は南西部の510～525地並で主要鉱石鉱物として硫砒鉄鉱と四面銅鉱を含むようになり、この四面銅鉱の分析値はAg 6.70%、Pb 0.60%、Cu 10.00%、Sb 1.55%、As 11.10%であったとしている。本脈は銀—鉛系の鉱脈であるとされている。

(9) Inca II脈：本脈はInca III脈の北に位置し、その規模は走向方向に700 m、垂直方向に210 mである。脈の走向は南西のN25°Eから北東のN50°Eまで変化し、傾斜は垂直から75°Sまで変る。文献では脈幅は上部の石英安山岩中で数cmであるが、下部のオルドビス系中で最大40 cmぐらいに肥大するという。構成鉱物は閃亜鉛鉱、方鉛鉱および菱鉄鉱で、脈は断層粘土を伴う。本脈は銀鉱物と錫鉱物の欠如が特徴であるとしながらも、銀—鉛系統の脈であるとされている。

(10) Nueva脈：本脈はColorada脈の北西に近接して発達し、重要な脈の1つであるが、品位が低い。脈の規模は走向方向に約1,000 mであるが垂直方向の詳細は不明である。走向は略々N50°Eで一定しているが、傾斜は44°Sから79°Sと変化する。脈幅は302地並で100 cmに達し、文献によると構成鉱物は黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、フランクアイトおよび毛鉱からなり、銀—鉛系統の鉱脈であるとしている。なおGran Chocayaにおいて、同一名の鉱脈があるが、これは全く別の鉱脈である。

(11) Rafael脈：本脈はColorada脈の北西に発達しその規模は、302地並で走向方向に150 mであるが、垂直方向については不明である。走向はN55°Eで、傾斜は垂直から70°Sと変化する。脈幅は最大30 cmで302地並では、脈は自形や粉状の黄鉄鉱に富み、晶洞、粘土および母岩の角礫を含み、滑り面を伴う。

採取試料の検鏡結果では、主要鉱石鉱物は黄鉄鉱で、この他に黄錫鉱、閃亜鉛鉱、錫石を少量伴う。これらの試料は肉眼的に黄鉄鉱を主体とする鉱石であり、その分析値は各成分とも低い値を示すが、相対的に銀品位が多少高い。本脈は、構成鉱物と分析品位から取えて分類するならば、錫—銀系統の鉱脈と言えよう。

(12) Inca VI脈：本脈はBurton脈の南東に賦存し、その規模は走向方向に302地並で

200 mであるが、545地並では800 mに達し、垂直方向には780地並まで明らかになっている。その鉱化作用は780地並でなお優勢である。走向はN78°EからN30°Eまで変化し、傾斜も75°から50°Sに変わる。脈幅は、302地並で、最大80 cmであるが700地並で、120 cmに達する。鉱脈とオールドビス系との境界は明瞭である。700地並で、鉱脈は方鉛鉱、毛鉱、閃亜鉛鉱に富む部分があり、一部で縞状構造を示す。

採取試料の検鏡結果では、主要鉱石鉱物は方鉛鉱・フランケアイト・閃亜鉛鉱・黄鉄鉱で、これらの他に少量の硫砒鉄鉱・錫石・黄錫鉱を伴う。これらの試料は肉眼的に、方鉛鉱と閃亜鉛鉱に富む鉱石であり、その分析値は銀と錫に富み、錫品位の高いことはフランケアイト・錫石および黄錫鉱の存在により裏づけられている。銀鉱物は確認されなかったが、銀のかなりの部分は方鉛鉱や錫鉱物に固溶されているものと考えられる。本脈の661地並、700地並、740地並、780地並から採取された試料間では構成鉱物には差異が認められない。分析結果と構成鉱物から本脈は、錫—銀—鉛系統の脈といえる。

(13) Gran Chocaya 地域の鉱脈（坑内地質調査精査を完了）

San Carlos 脈： 本脈はNueva脈の北西にNueva脈と平行に発達し、現在の規模は走向方向に90 mで、上下は不明である。走向は南西のN45°Eから北東のN70°Eまで変化し、傾斜は60°Nである。脈幅は5 cm以下で、鉱脈と母岩の石英安山岩の境界は明瞭である。検鏡結果では、主要鉱石鉱物は閃亜鉛鉱で、この他に少量の黄鉄鉱・硫砒鉄鉱と方鉛鉱を伴う。試料は肉眼的にも閃亜鉛鉱を主体とするものであり、分析値は亜鉛が高く、銀は130 g/tで錫は問題外である。従って検鏡結果の構成鉱物と分析結果は一致しており、本脈は錫を伴わない亜鉛を主体とした鉱脈と言える。

San Bartolomé 脈の分岐脈： 本脈はSan Carlos脈の南西にSan Carlos脈と略々平行に発達し、その規模は走向方向に90 mで、上下方向は不明である。走向は南西のN70°Eから北東のN30°Eまで変化し、傾斜も北東端では40°Sであるが、中央部では70°Nと変化する。脈幅は5 cm以下で、脈と母岩の石英安山岩との境界は明瞭である。肉眼的には閃亜鉛鉱、方鉛鉱および黄鉄鉱が脈中に認められる。

検鏡結果では主要鉱石鉱物は閃亜鉛鉱・黄鉄鉱・磁鉄鉱で、これらの他に少量の方鉛鉱・硫砒鉄鉱・錫石・ピクスビ鉱を伴う。試料は肉眼的には閃亜鉛鉱を主体とした鉱石である。本脈から採取した試料の分析品位は亜鉛が高いが銀は120 g/tで、錫は非常に低い。

Inocentes 脈： 本脈はInocentes立坑に近接して発達し、その規模は走向方向に70 mであるが、上下方向には不明である。走向はN30°Eで、傾斜は70°Sである。脈の母岩は石英安山岩であるが、本脈の南西延長は後鉱化作用の断層により切られて、オールドビス系と接している。脈幅は5 cm以下で、方鉛鉱を主体とする脈であり、脈と母岩の石英安山岩との境界は明瞭である。

•

検鏡結果では、主要鉱石鉱物は方鉛鉱で、これに少量の黄鉄鉱・白鉄鉱・閃亜鉛鉱・硫酸塩鉱を伴う。試料は肉眼的にも方鉛鉱を主体にしたもので、その分析品位も鉛が37.64%と非常に高く、銀も2.630g/tと高いが、錫は非常に低い。鏡下では銀鉱物は認められておらず、その存在は不明であるが、銀のかなりの部分は方鉛鉱中に固溶されている可能性がある。本脈は検鏡結果と分析結果から銀-鉛系統の鉱脈と言えよう。

San Bartolomé 脈： 本脈の規模は走向方向に20mで上下方向は不明である。走向はN45°E、傾斜は70°Sで、母岩は石英安山岩質火山礫凝灰岩である。脈幅は5cm以下で、粘土化した破砕帯中に胚胎され、脈の北東は次第に尖滅する。

検鏡結果では、主要鉱石鉱物は閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱・白鉄鉱で、これらの他に車骨鉱の一部に認められる。試料は黄鉄鉱を主体にするものと、方鉛鉱と閃亜鉛鉱を主体にするものがある。分析品位について、前者は錫、銀品位ともに非常に低い、後者は銀が非常に高い。銀鉱物は鏡下で認められなかったが、銀に富む試料の鉛品位が4.445%と非常に高く、銀が方鉛鉱中に固溶されていることを暗示している。本脈は銀-鉛系と黄鉄鉱だけの系が存在するが、相互の関係については不明である。

Nueva 脈の分岐脈： 本脈はNueva 脈から南西方向に分岐した脈で、その規模は走向方向に70m連続するが上下方向には不明である。走向は脈の西端でN70°Eであるが東端ではE-WとなりNueva 脈と一体となる。傾斜は西方で80°Nであるが、東方では80°Sと変化する。鉱脈は石英安山岩中に発達し、脈幅は3cm以下で脈と母岩との境界は明瞭である。鉱脈は尖滅と膨縮をくり返して連続する。7個の試料の検鏡結果では、主要鉱石鉱物は、黄鉄鉱・閃亜鉛鉱・方鉛鉱で、これらの他に白鉄鉱、硫砒鉄鉱、毛鉱を少量伴う。試料は肉眼的に多様であるが、閃亜鉛鉱を主体に少量の方鉛鉱を伴うものと、黄鉄鉱を主体にするものがある。分析に供された試料は1個であるが、亜鉛が高いのみで銀および錫は低く、特に錫は低い値を示した。

Nueva 脈： 本脈はGran Chocaya 坑内で、最も優勢な脈であり、その規模は上下方向に不明であるが、走向方向に230mあり、その鍾先きを目下坑道探鉱中である。走向は南西部のN55°Eから北東端のN20°Eまで変化し、傾斜は80°Nである。本脈は数本の分岐脈を伴う。本脈は石英安山岩中に明瞭な境界をもって産し、脈幅は最大100cmに達する。鉱脈中に脈状やレンズ状の石英安山岩の中石を残すことが多い。また鉱脈中で閃亜鉛鉱や黄鉄鉱の多い部分と中石の縞状構造がみられたり、閃亜鉛脈中にレンズ状の方鉛鉱を産することもある。本脈は閃亜鉛鉱に富む脈であるが、全体として北部で黄鉄鉱に富み、南部で閃亜鉛鉱に富む傾向を示す。

検鏡結果では、主要鉱石鉱物は黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、白鉄鉱、方鉛鉱で、これらの他に少量の磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄銅鉱を伴う。7個の試料は肉眼的に閃亜鉛鉱を主体に少量の方鉛鉱を伴うものと、黄鉄鉱と石英を主体にするものに分けられる。この傾向は試料の分析値にも明瞭

