

国際協力事業団

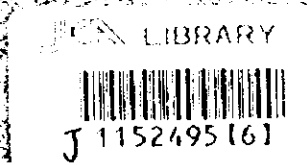
NO. 5

ボリヴィア共和国
持続開発計画省

ボリヴィア国
ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査

最終報告書
(本 編)

平成11年9月



三井金属資源開発株式会社
ユニコインターナショナル株式会社

| |
|--------|
| 鉱 調 査 |
| J R |
| 99/174 |

国際協力事業団

ボリヴィア共和国
持続開発計画省

ボリヴィア国
ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査

最終報告書

(本 編)

平成11年9月

三井金属資源開発株式会社
ユニコインターナショナル株式会社



1152495 (6)

序 文

日本国政府は、ボリヴィア共和国の要請に基づき、同国のポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成9年9月から平成11年8月までの間、6回にわたり三井金属資源開発株式会社の大木久光氏を団長とし、三井金属資源開発株式会社及びユニコインターナショナル株式会社の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団はボリヴィア共和国政府関係者と協議を行うとともに、現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、ポトシ県鉱山セクターの状況改善に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を頂いた関係者各位に対し、心から感謝申し上げます。


平成11年9月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

藤田公郎

1999年9月

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎 殿

ボリヴィア国
ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査団
団長 大木 久光 

伝 達 状

ここに、ボリヴィア国ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査報告書を御提出申し上げます。

本調査報告書には、ポトシ県の鉱山セクターにおける鉱害の防止・軽減に対する技術的・政策的対策の提言、環境管理計画に関する提言等を含めるとともに、日本国政府及び貴事業団の御意見等をも反映させていただきました。さらに、ラパスならびにポトシにおいて適宜開催されました本調査に関するカウンターパートとの協議をとおして、カウンターパートたるボリヴィア国政府の持続開発計画省（MDSP）とポトシ県持続開発環境部（DDSMAP）、さらには大蔵省公共投資局（DIPMF）、鉱業・冶金次官室（SMM）およびボリヴィア鉱山公社（COMIBOL）の各官の御意見も反映させております。

本報告書は、ポトシ鉱山およびピルコマヨ川上流のリベラ川・タラパヤ川水系の鉱害を改善するための12の対策案を提言しております。中でも、これらの対策案を有機的かつ効果的に実施する際に中核となる施策として、「環境・保安研究センター」の導入を具体的に提示しております。

ボリヴィア国の鉱山セクターにおける環境汚染改善の緊急性、重要性並びに、提言しました各施策の実施に伴い得られると予想される便益に鑑み、調査団としましては、これら施策を総合的かつ円滑に進めるために必要な「環境・保安研究センター」の導入が、ボリヴィア国の最優先事項のひとつとして早期に実施されるプロジェクトの実施を強く推奨するものであります。

この機会をお借りしまして、貴事業団、外務省及び通商産業省に対しまして心より御礼申し上げます。また、ボリヴィア国政府の持続開発計画省（MDSP）、ポトシ県持続開発環境部並びに政府および県関係各機関に対しましても、調査団に対する緊密な御協力と心温まる御支援を頂きましたことにつき、深く感謝申し上げます。

目次

- ・ 略語表、用語表
- ・ 図表一覧
- ・ 地名及び河川名の一覧表

第1章序

| | |
|-------------------------------|---|
| 1-1 背景 | 1 |
| 1-2 調査目的、調査方針及び調査概要 | 7 |
| 1-2-1 調査目的、調査対象範囲及び調査方針 | 7 |
| 1-2-2 調査概要 | 9 |

第2章ボリヴィア国及びポトシ県の一般事情及び鉱業事情

| | |
|-----------------------------|----|
| 2-1 ボリヴィア国及びポトシ県の一般事情 | 23 |
| 2-1-1 政治と社会 | 23 |
| 2-1-2 産業とエネルギー | 25 |
| 2-1-3 経済 | 28 |
| 2-1-4 自然環境 | 31 |
| 2-1-5 ポトシ特別事情 | 33 |
| 2-2 ボリヴィア国及びポトシ県の鉱業事情 | 35 |
| 2-2-1 ボリヴィア国の鉱業 | 35 |
| 2-2-2 ポトシ地域の鉱業 | 36 |

第3章ボリヴィア国の環境行政

| | |
|-------------------------------|----|
| 3-1 ボリヴィア国の環境管理行政 | 54 |
| 3-1-1 組織と実施体制 | 54 |
| 3-1-2 国家レベルでの環境行政 | 55 |
| 3-1-3 県レベル及び市レベルでの環境管理 | 56 |
| 3-1-4 鉱業部門の環境保全に関する管理組織 | 56 |
| 3-2 ボリヴィア国の環境に関する法と規則 | 65 |
| 3-2-1 環境法 | 65 |
| 3-2-2 環境法に関する規則 | 66 |
| 3-2-3 基準 | 66 |
| 3-2-4 罰則 | 67 |
| 3-2-5 報償 | 68 |
| 3-2-6 環境保護に関する鉱業部門の施策 | 68 |
| 3-2-7 鉱業法 | 69 |
| 3-2-8 鉱業行為に関する環境関連規則 | 70 |

第4章 汚染の現状

| | |
|------------------------|----|
| 4-1 水質調査対象範囲 | 74 |
| 4-1-1 水質モニタリング計画 | 74 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 4-1-2 河川の水文調査 | 76 |
| 4-2 水質汚濁の範囲と程度 | 78 |
| 4-2-1 調査地域の環境汚染 | 78 |
| 4-2-2 水質汚濁の範囲と程度 | 80 |
| 4-3 被害の範囲と程度 | 102 |
| 4-3-1 背景 | 102 |
| 4-3-2 被害調査報告 | 107 |
| 4-3-3 汚染の影響纏め | 117 |
| 4-3-4 原因の解明と被害の程度の予想 | 118 |
| 第5章 汚染源と鉍害発生メカニズム | 144 |
| 5-1 汚染源（汚染源マップ） | 144 |
| 5-1-1 坑内湧水、堆積場浸透水、廃石捨て場浸透水（酸性水） | 144 |
| 5-1-2 インヘニオ尾鉍（SS、アルカリ性水） | 149 |
| 5-2 河川水質汚濁のメカニズム | 163 |
| 5-2-1 河川水質汚濁 | 163 |
| 5-2-2 リベラ川－タラパヤ川－ピルコマヨ川の水質汚濁 | 163 |
| 第6章 対策のための検討 | 181 |
| 6-1 鉍害防止計画 | 181 |
| 6-1-1 選鉍尾鉍の廃滓堆積場での処理及び排水管理 | 183 |
| 6-1-2 インヘニオの工程改善検討 | 184 |
| 6-1-3 坑内湧水、廃石堆積場浸透水の廃水処理 | 187 |
| 6-1-4 インヘニオ尾鉍からの錫回収選鉍場の導入 | 188 |
| 6-1-5 モデル選鉍場の導入 | 189 |
| 6-1-6 廃石、スークからの有価金属の回収 | 190 |
| 6-1-7 インテグレイト選鉍場の建設（工業団地建設） | 191 |
| 6-1-8 廃石堆積場、旧尾鉍堆積場の緑化 | 192 |
| 6-2 環境管理計画 | 206 |
| 6-2-1 環境管理計画による環境改善 | 206 |
| 6-2-2 モニタリングシステム（将来予測モデル例） | 207 |
| 6-2-3 法、規制の整備 | 219 |
| 6-2-4 環境保護のための組織作り | 223 |
| 6-2-5 環境指標の制定 | 229 |
| 6-2-6 環境影響評価 | 232 |
| 6-3 啓蒙、教育、環境技術・人材育成計画 | 245 |
| 6-3-1 環境・保安に係るポトシ県の課題 | 245 |
| 6-3-2 「環境・保安研究センター」の技術取得項目 | 246 |
| 6-3-3 「環境・保安研究センター」の活動（アクションプラン） | 247 |
| 6-3-4 「環境・保安研究センター」の活動に伴う予想される成果 | 252 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 第7章 財務・経済分析 | 254 |
| 7-1 財務分析 | 254 |
| 7-1-1 はじめに | 254 |
| 7-1-2 分析方法 | 254 |
| 7-1-3 前提条件 | 256 |
| 7-1-4 分析結果 | 259 |
| 7-2 経済分析 | 271 |
| 7-2-1 分析方法 | 271 |
| 7-2-2 分析対象 | 271 |
| 7-2-3 前提条件 | 272 |
| 7-2-4 便益の算出 | 272 |
| 7-2-5 費用の算出 | 274 |
| 7-2-6 分析結果 | 275 |
| 第8章 施策の実施計画（提言総括表） | 280 |
| 8-1 緊急（短期）に実施すべき事項 | 280 |
| 8-2 中期的に実施すべき事項 | 281 |
| 8-3 長期的にに実施すべき事項 | 283 |
| 8-4 施策による改善効果のまとめ | 284 |

ANNEX(別冊)

略語表

(1) 組織

| | | |
|---------|---|-----------------|
| AAPOS | Administración de Agua Potable y Saneamiento | ポトシ市上水道公社 |
| ASIM | American Society for Testing and Materials | アメリカ材料試験協会 |
| CDR | Centro para el Desarrollo Regional | ポトシ県の環境NGO |
| COMIBOL | Corporación Minera de Bolivia | ボリヴィア鉱山公社 |
| ITC | International Tin Council | 国際錫理事会 |
| LME | London Metal Exchange | ロンドン金属取引所 |
| MDSP | Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación | 持続開発計画省 |
| MEDMIN | Programa: Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería | 小規模鉱業者環境対策支援団体 |
| NGO | Non governmental Organization | 非政府機関 |
| UATF | Universidad Autónoma Tomás Frías | トーマスフリアス自治大学 |
| VINTO | Empresa Metalúrgica Vinto | ビント社(錫精錬、アンチモン) |
| VMDSMA | Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente | 持続開発環境準省 |

(2) 一般用語

| | | |
|-----|---------------------------|------------|
| BOD | Biochemical Oxygen Demand | 生物化学的酸素要求量 |
|-----|---------------------------|------------|

| | | |
|----------|---|-----------------------------------|
| CCA | Environmental Quality Control | 環境品質管理 |
| COD | Chemical Oxygen Demand | 化学的酸素要求量 |
| CRF | Capital Recovery Factor | 資本回収要素 |
| DCSA | Tailing Dam to be constructed in San Antonio | サン・アントニオに建設予定の堆積場ダム |
| DDA | Declaration of the Environmentally Adequacy | 環境影響適合宣言 |
| DIA | Authorization Declaration Environment Impact | 環境影響宣言と承認 |
| DO | Dissolved Oxygen | 溶存酸素 |
| EEIA | Environmental Impact Assessment Study | 環境影響評価に関する研究書 |
| EIA | Environmental Impact Assessment | 環境影響評価 |
| EIRR | Economic Internal Rate of Return on Investment | 経済内部収益率 |
| FA | Environment Note | 環境予想書 |
| FIRR | Financial Internal Rate of Return on Investment | 財務内部収益率 |
| LIBOR | London Interbank Offered Rate | ロンドン銀行間金利 |
| Ig. Loss | Ignition Loss | 灼熱減量 |
| IPR | Impact Process Response | IPR モデル(環境アセスメント実施の一手法) のコンセプト |
| MA | Environment Manifesto | 環境状況報告書 |
| SS | Suspended Solid | 懸濁物質又は懸濁性固形物 |

用語表

| | | |
|-----------|----------------------------|---|
| 採鉱 | Mining, Exploitation | 地中にある有用鉱物を掘り出し、選鉱用原料とする活動 |
| 選鉱 | Mineral Processing | 採掘鉱石から有価金属を含む鉱石を選択的に分離抽出する作業 |
| 選鉱場 | (Mineral) Processing Plant | 選鉱のためのプロセスを持つ世界的に通用する規模のプラント |
| インヘニオ | Ingenio | 中小規模で不完全な鉱石処理 (比重選鉱を含む) を行っている選鉱所 (現地用語) |
| リーチング | Leaching | 採掘鉱石に何らかの前処理を加えた後、鉱石中の有価金属を抽出 (溶出) する工程 |
| ヒーブリーチング | Heap Leaching | 採掘した鉱石を野積みにしてリーチングを行う工程 |
| 原鉱(鉱石) | Ore | 採掘で発生した産物のうち、高品位・有価で選鉱対象となるもの |
| 廃石(デスマンテ) | Waste Rock | 採掘で発生した産物のうち、低品位・廃棄対象となるもの |
| スーク | Sucu | 山腹表層風化帯を圧力水を使ったモニタリング方式で採掘・比重選鉱したあとの廃滓 (現地用語) |
| 精鉱 | Concentrates | 原鉱から何らかの処理方法で濃集 (採取) された選鉱工程の製品 |
| 選鉱尾鉱(廃滓) | Tailing | 鉱石処理工程で有価鉱物を採取した後の残渣 |
| ポトシ鉱山 | Cerro Rico de Potosi Mines | セロ・リコ・デ・ポトシ山の鉱床を対象に採鉱活動を行っている鉱山 (複数) |

図表一覧

| 図 | | 表 | |
|---------|--|---------|---------------------------------------|
| 図番 | 名前 | 表番 | 名前 |
| 図 1-1-1 | ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査位置図 | | |
| 図 1-1-2 | 調査対象範囲：関連する図及び川 | | |
| 図 1-2-1 | リベラ川及びビルコマヨ川水系 | 表 1-2-1 | 作業工程表 |
| 図 1-2-2 | 調査概念図（ポリヴィア国ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査） | | |
| 図 1-2-3 | 調査地域水系模式図 | | |
| 図 2-2-1 | ポトシ鉱山の地質図 | 表 2-2-1 | 鉱物名 |
| 図 2-2-2 | ポトシ鉱山の地質断面図 | 表 2-2-2 | ポトシ鉱山に対する選鉱処理の流れ（歴史） |
| 図 2-2-3 | ビルコマヨ水系鉱種別鉱床・鉱山・製錬所位置図 | 表 2-2-3 | インヘニオ調査 |
| 図 2-2-4 | ポトシ市におけるインヘニオ（選鉱場）と河川及び河川水質サンプリングポイント（'98.10 現在） | 表 2-2-4 | インヘニオ選鉱成績 |
| 図 2-2-5 | インヘニオ選鉱フローチャート | 表 2-2-5 | インヘニオ選鉱剤 |
| 図 3-1-1 | 持続開発計画省組織図（MDSP） | 表 3-1-1 | 持続開発計画省（MDSP）予算 |
| 図 3-1-2 | ポトシ県庁組織図 | 表 3-1-2 | 持続開発部予算（ポトシ県） |
| 図 3-1-3 | 環境品質管理スキーム | | |
| 図 3-1-4 | 行政の仕組み | | |
| 図 3-1-5 | 鉱業行政に関する組織図 | | |
| 図 3-2-1 | 環境保護に関する法と規則の関係 | 表 3-2-1 | ポリヴィア国と日本国の水質基準に関する比較表 |
| | | 表 3-2-2 | 環境法における犯罪と懲罰 |
| | | 表 4-1-1 | サンプリングポイント一覧表 |
| 図 4-2-1 | タラバヤ川水系の季節毎の水量変化 | 表 4-2-1 | 第一回（1月中旬）の水質分析結果 |
| 図 4-2-2 | ビルコマヨ川上流とメンデス橋の季節毎の水量変化 | 表 4-2-2 | 第9回（4月中旬）水質・水中のSS・底質の分析結果 1/3、2/3、3/3 |
| 図 4-2-3 | タラバヤ川水系の運ばれるSSの季節的变化 | 表 4-2-3 | ポトシ市の雨量 |
| 図 4-2-4 | ビルコマヨ川上流で運ばれるSSの季節的变化 | 表 4-2-4 | リベラ川からタラバヤ川、ビルコマヨ川の水質測定 |

図表一覧

| 図 番 | 名 前 | 表 番 | 名 前 |
|---------|-------------------------|----------|---|
| 図 4-2-5 | ボトシ県南部を中心とした河川概念図 | 表 4-2-5 | 河川の SS 輸送量 |
| | | 表 4-2-6 | 河川における流量及び SS に係る汚濁負荷量 |
| | | 表 4-2-7 | ボトシ県南部地域の水質及び底質測定結果－1/2、2/2 |
| | | 表 4-2-8 | ボトシ県南部地域の水質測定結果（乾期） |
| 図 4-3-1 | ビルコマヨ川及び汚染情報と鉱山の位置 | 表 4-3-1 | 調査対象地域人口 |
| 図 4-3-2 | 調査対象市街地 | 表 4-3-2 | 調査対象地域住民移住状況（人口、移住％） |
| | | 表 4-3-3 | 調査対象市街地住民の職業 |
| | | 表 4-3-4 | 調査対象地域各集落の飲料水供給システム |
| | | 表 4-3-5 | 調査対象地域の住民の病気に関する調査 |
| | | 表 4-3-6 | 調査対象市街地区住民の病気の種類（調査時点での患者数の割合を％で表示） |
| | | 表 4-3-7 | 調査対象地域の農耕地の被害状況と其の面積 |
| | | 表 4-3-8 | 調査対象地域の牧畜面積 |
| | | 表 4-3-9 | 調査対象地域の牧畜の病気の種類と、死亡率 |
| | | 表 4-3-10 | 環境被害マトリックス |
| 図 5-1-1 | 試料採取地点 | 表 5-1-1 | 鉱山系汚染源試料採取地点の位置と特徴 |
| 図 5-1-2 | ボトシ地域における汚染源マップ（概念）[現在] | 表 5-1-2 | (1) 各サンプリングポイントの水質分析結果及び流量（雨季）、(2)同上（乾季） |
| | | 表 5-1-3 | 汚染源マップと汚染源系統分類 |
| | | 表 5-1-4 | インヘニオ選鉱尾鉱分析 |
| | | 表 5-1-5 | インヘニオ主要数値とポリヴィア国排水基準及び判定 |
| | | 表 5-1-6 | 河川水質サンプリングポイント各区間におけるインヘニオから河川に排出される選鉱尾鉱 1：固形部分 |
| | | 表 5-1-7 | 河川水質サンプリングポイント各区間におけるインヘニオから河川に排出される選鉱尾鉱 2：水部分 |
| 図 5-2-1 | 水質汚濁のメカニズム | 表 5-2-1 | 河川汚染のメカニズム |

図表一覧

| 図番 | 名前 | 表番 | 名前 |
|-----------|--------------------------------|---------|-------------------------|
| 図 5-2-2 | 季節とりべら川-アルハマユ川-タラバヤ川の SS の変化 | 表 5-2-2 | 溶解イオンと SS 中の金属成分の比較 (例) |
| 図 5-2-3 | タラバヤ川水系サンプリングポイントの SS 濃度の季節的变化 | | |
| 図 5-2-4 | ビルコマヨ川サンプリングポイントの SS 濃度の季節的变化 | | |
| 図 5-2-5 | りべら川-タラバヤ川-ビルコマヨ川の pH 変化 | | |
| 図 5-2-6 | PH vs. Concentration of As | | |
| 図 5-2-7 | PH vs. Concentration of Sb | | |
| 図 5-2-8 | PH vs. Concentration of Cd | | |
| 図 5-2-9 | PH vs. Concentration of Cu | | |
| 図 5-2-10 | PH vs. Concentration of Fe | | |
| 図 5-2-11 | PH vs. Concentration of Hg | | |
| 図 5-2-12 | PH vs. Concentration of Mn | | |
| 図 5-2-13 | PH vs. Concentration of Pb | | |
| 図 5-2-14 | PH vs. Concentration of Zn | | |
| 図 5-2-15a | As Content in SS | | |
| 図 5-2-15b | As Content in Sediment | | |
| 図 5-2-16a | Cd Content in SS | | |
| 図 5-2-16b | Cd Content in Sediment | | |
| 図 5-2-17a | Pb Content in SS | | |
| 図 5-2-17b | Pb Content in Sediment | | |
| 図 5-2-18a | Zn Content in SS | | |
| 図 5-2-18b | Zn Content in Sediment | | |
| 図 5-2-19a | Sn Content in SS | | |
| 図 5-2-19b | Sn Content in Sediment | | |

図表一覧

| 図番 | 名前 | 表番 | 名前 |
|---------|-------------------------|----------|--|
| 図 6-1-1 | ポトシ地域で適用実施すべき鉱害防止技術（概念） | 表 6-1-1 | 鉱害防止技術（全般）及び同技術のポトシ地域への適用 |
| 図 6-1-2 | 選鉱系鉱害防止の考え方 | 表 6-1-2 | 選鉱系鉱害防止基本計画 |
| 図 6-1-3 | インヘニオ選鉱工程改善対策（概念） | 表 6-1-3 | インヘニオ成績現在/将来(1)、(2) |
| 図 6-1-4 | 鉱山系酸性水中和処理（検討例） | | |
| 図 6-1-5 | Sn 浮選フローチャート | | |
| 図 6-1-6 | モデル選鉱場フローチャート | | |
| 図 6-1-7 | 廃石等よりの有価金属、鉱物の採取（概念） | | |
| 図 6-2-1 | モデル構築図 | 表 6-2-1 | 短期、中期、長期計画におけるモニタリング関連分析設備一覧 (1/4)、(2/4)、(3/4)、(4/4) |
| | | 表 6-2-2 | アンチモン |
| | | 表 6-2-3 | 砒素 |
| | | 表 6-2-4 | カドミウム |
| | | 表 6-2-5 | 銅 |
| | | 表 6-2-6 | 鉄 |
| | | 表 6-2-7 | マンガン |
| | | 表 6-2-8 | 水銀 |
| | | 表 6-2-9 | 鉛 |
| | | 表 6-2-10 | 亜鉛 |
| | | 表 6-2-11 | 環境影響評価調査の概要（建設工事全般に該当する事項についての事例） |
| | | 表 7-1-1 | プロジェクトケースの内訳 |
| | | 表 7-1-2 | 所要資金の内訳 |
| | | 表 7-1-3 | 精鉱鉱量の内訳 |
| | | 表 7-1-4 | 操業費の内訳 |
| | | 表 7-1-5 | LME における金属価格の推移 |
| | | 表 7-1-6 | 販売価格の内訳 |

図表一覧

| 図 番 | 名 前 | 表 番 | 名 前 |
|-------|----------------------------|----------|----------------------------|
| | | 表 7-1-7 | インヘニオ含銀鉛精鉱 FOB 価格の算出 |
| | | 表 7-1-8 | インヘニオ含銀亜鉛精鉱 FOB 価格の算出 |
| | | 表 7-1-9 | 経済性分析の概要 |
| | | 表 7-1-10 | プロジェクトの前提条件と財務的推定(Case A) |
| | | 表 7-1-11 | プロジェクトの前提条件と財務的推定(Case B) |
| | | 表 7-1-12 | プロジェクトの前提条件と財務的推定(Case C) |
| | | 表 7-1-13 | 財務内部収益率 (FIRR) の結果 |
| | | 表 7-2-1 | 農業・牧畜業部門の機会損失の計算 (1/2、2/2) |
| | | 表 7-2-2 | 経済的内部収益率 (EIRR) の内訳 |
| 図 8-1 | 水質汚濁対策による効果予測 (Cd 汚染負荷の変化) | 表 8-1 | 今後の施策に向けての提言 |
| | | 表 8-2 | ポトシ市における汚染の実態と対策 |
| | | 表 8-3 | 水質汚濁防止対策費用と効果 |

地名および河川名の一覧表

河川名

| 和文 | 英文 | 西文 |
|---------------|--------------------------|----------------------|
| アグア・ドウルセ川 | Agua Dulce River | Río Agua Dulce |
| アルハマユ川 | Aljamayu River | Río Aljamayu |
| カンブラヤ川 | Camblaya River | Río Camblaya |
| ケブラダ・ハジャホマユ川 | Quebrada Jayajmayu River | Quebrada Jayajmayu |
| コタガイタ川 | Cotagaita River | Río Cotagaita |
| コリマユ川 | Korimayu River | Río Korimayu |
| サマサ川 | Samaza River | Río Samaza |
| サン・ファン・デル・オロ川 | San Juan del Oro River | Río San Juan del Oro |
| タコバンバ川 | Tacobamba River | Río Tacobamba |
| タラバヤ川 | Tarapaya River | Río Tarapaya |
| チャクタカラ川 | Checktakala River | Río Checktakala |
| トゥピサ川 | Tupiza River | Río Tupiza |
| トゥムスラ川 | Tumusla River | Río Tumusla |
| トトラ川 | Totora River | Río Totora |
| ピチチ川 | Vitichi River | Río Vitichi |
| ピルコマヨ川 | Pilcomayo River | Río Pilcomayo |
| ヘスス・バレ川 | Jesus Valle River | Río Jesús Valle |
| マタカ川 | Mataca River | Río Mataca |
| モリノ川 | Molino River | Río Molino |
| リベラ川 | De la Ribera River | Río De la Ribera |
| ワイナマユ川 | Huaynamayu River | Río Huaynamayu |
| ワランバヤ川 | Hualampaya River | Río Hualampaya |
| ワリ・ワリ川 | Huari Huari River | Río Huari Huari |
| ワンカラニ川 | Huancarani River | Río Huancarani |

地名等

| 和文 | 英文 | 西文 |
|--------------|-------------------------------|--|
| アリ・バルカ地域 | Ari Palca Region | Ari Palca |
| カバヨ・ブランコ選鉱場 | Caballo Blanco Concentrator | Planta Concentradora de Caballo Blanco |
| コタガイタ地域 | Cotagaita Region | Cotagaita |
| コラビ鉱山 | Colavi Mine | Mina Colavi |
| サン・アントニオ地域 | San Antonio Region | San Antonio |
| セロ・リコ・デ・ポトシ山 | Cerro Rico de Potosi Mountain | Cerro Rico de Potosí |
| トゥピサ地域 | Tupiza Region | Tupiza |
| トゥムスラ地域 | Tumusla Region | Tumusla |
| ドン・ディエゴ地域 | Don Diego Region | Don Diego |
| ビジャ・アベシア地域 | Villa Abecia Region | Villa Abecia |
| ビジャ・モンテス地域 | Villa Montes Region | Villa Montes |
| ビチチ地域 | Vitichi Region | Vitichi |
| プイトコ地域 | Puito Kho Region | Puito Kho |
| ポトシ県 | Potosi Prefecture | Departamento de Potosí |
| ポトシ鉱山 | Cerro Rico de Potosi Mine | Mina Cerro Rico de Potosí |
| ポトシ市 | Potosi City | Ciudad de Potosí |
| マユ・タンボ橋 | Mayutambo Bridge | Puente Mayutambo |
| ミラフロレス地域 | Miraflores Region | Miraflores |
| ミリャレス地域 | Millares Region | Millares |
| メンデス橋 | Mendez Bridge | Puente Méndez |
| モリノ部落 | Molino Town | Molino |
| モンドラゴン部落 | Mondragon Town | Mondragón |
| ヨカージャ地域 | Yocalla Region | Yocalla |
| ラ・ラバ地域 | La Laba Region | La Laba |
| ワリ・ワリ鉱山 | Huari Huari Mine | Mina Huari Huari |

第1章 序

1-1 背景

ボリヴィア国は、長年鋳業資源が輸出産業の主力であった。鋳業の全盛期には、全国で大小合わせ千以上の鋳山が首都ラパス市からオルロ市、ポトシ市を経てトゥピサ市に至るアンデス山系に集中していた。しかし、1980年代半ばに起こった世界的な錫価格の大暴落と鋳山労働者のストライキによって大半の鋳山が閉山した。

一方、環境への配慮が不十分なため、鋳業活動による環境汚染は深刻である。特に、ポトシ市周辺の鋳山、インヘニオでは、廃石は野積みにされ、廃滓は垂れ流しされている。また、各所の休・廃止鋳山坑内から湧き出る酸性廃水も加わり、市内を流れるリベラ川、ワイナマユ川等が汚濁されている。さらに、下流のピルコマヨ川を経て隣国パラグアイ、アルゼンチンを通してラプラタ川に至るまでの河川汚濁の原因として、公害輸出・国際問題を引き起こしている。

その改善には世銀を始め国際機関も支援を開始した。一方、鋳業活動の主体者である企業のオーナーや民間レベルの環境配慮に関する関心は低く、僅かに NGO 及び世銀等の国際機関とが注意を喚起した程度である。また、環境行政も始まったばかりで、先駆者の方策を見習った試行錯誤の状態にある。

このような状況の中、1996年9月には操業中のボルコ鋳山の主廃滓堆積場が決壊し、ピルコマヨ川を汚染する事故が発生した。ピルコマヨ川下流域に位置する国のひとつ、アルゼンチンから国際河川を通じての環境汚染を指摘された。

ポトシ市周辺の水質汚濁・環境汚染の原因として考えられるものは以下のとおり。

- ① 操業中のインヘニオから排出される重金属を含む選鋳尾鋳（SS、アルカリ廃水）。
- ② 操業中及び休廃止鋳山の坑内から発生する酸性湧水。
- ③ 堆積され、放置された廃石の間を通過して出てくる酸性浸透水。
- ④ 堆積された廃滓の雨水浸食による表層崩壊(稼働鋳山、休廃止鋳山)

近隣国からの指摘もあり、ボリヴィア政府は1992年になり、漸く環境庁（当時）を設立し、同時に国家環境行動規準と環境基本法とを制定し、体制の整備に乗り出した。現在は、国家の環境関連方針作成及びその実施を持続開発計画省（MDSP）

が担当し、その下部機関である持続開発環境準省(VMDSMA)を通じて法整備を進めている。

MDSPでは、平行して、ポトシ市周辺地域の環境についても、VMDSMAを中心にして保全策を講じてきた。しかし、同国単独では十分且つ早急には対処できない状態になっている。

かかる現状を深刻に受け止め、ボリヴィア政府は MDSP を通してポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査を日本に要請した。

国際協力事業団は 1996 年 10 月に予備調査を実施し、1997 年 2 月に国際協力事業団事前調査団とボリヴィア国持続開発環境省（当時）との間でボリヴィア側要請を考慮した実施細則(S/W)を締結した。この S/W に基づき、VMDSMA をカウンターパート(以降「C/P」)として本調査が実施されることとなった（調査位置を図 1-1-1、1-1-2 に示す）。

なお、本報告書の作成に当たっては、記載内容が読者に理解されやすいように全体のストーリーの流れに重点を置いて表現するように努めたため、一部の項目（汚染の状況、水質汚濁のメカニズム、環境モニタリング等）では、専門技術の面から見ると、厳密な意味では正確さを欠く表現となっていることを御理解頂きたい。

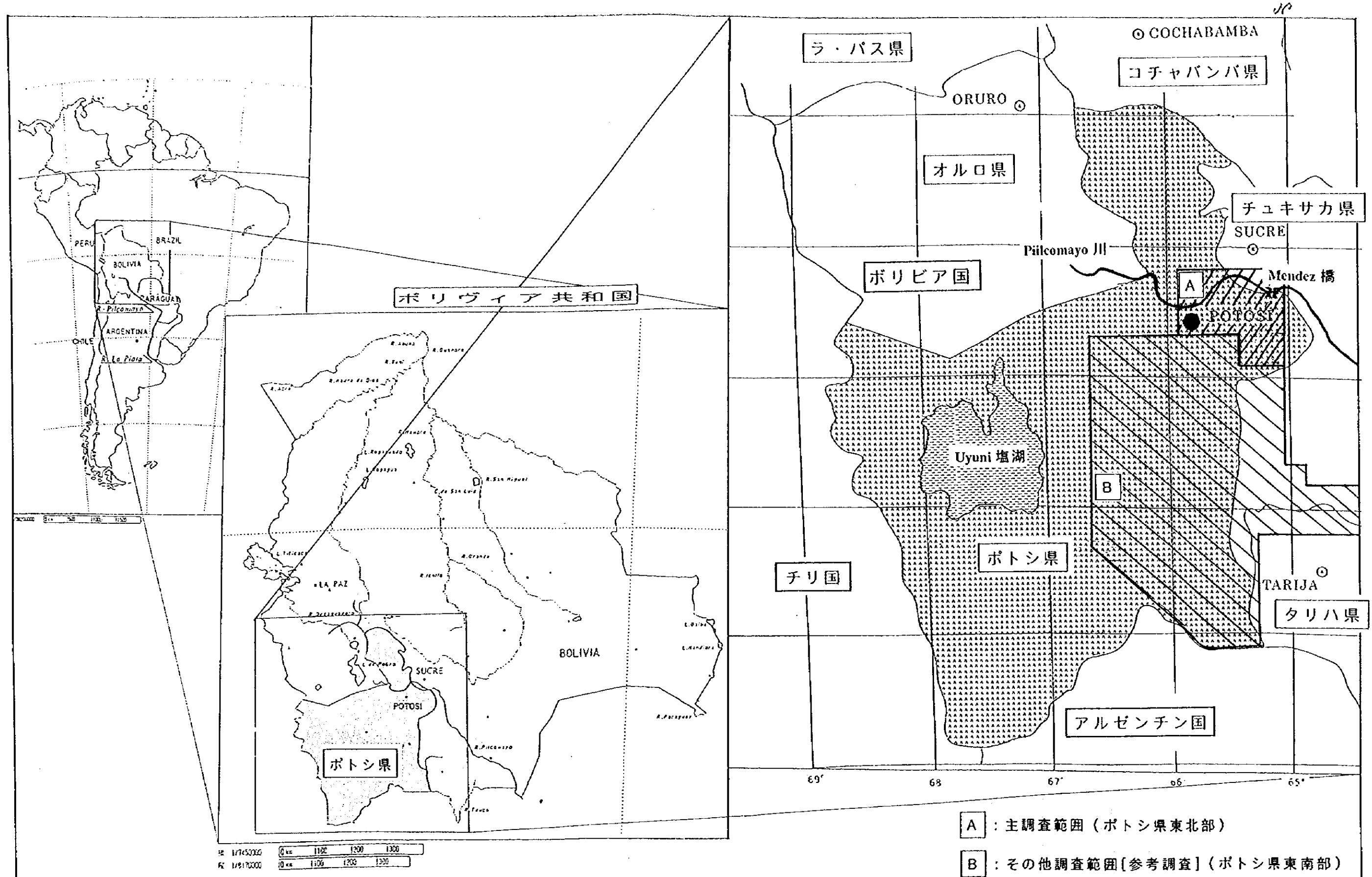


図 1-1-1 ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査位置図

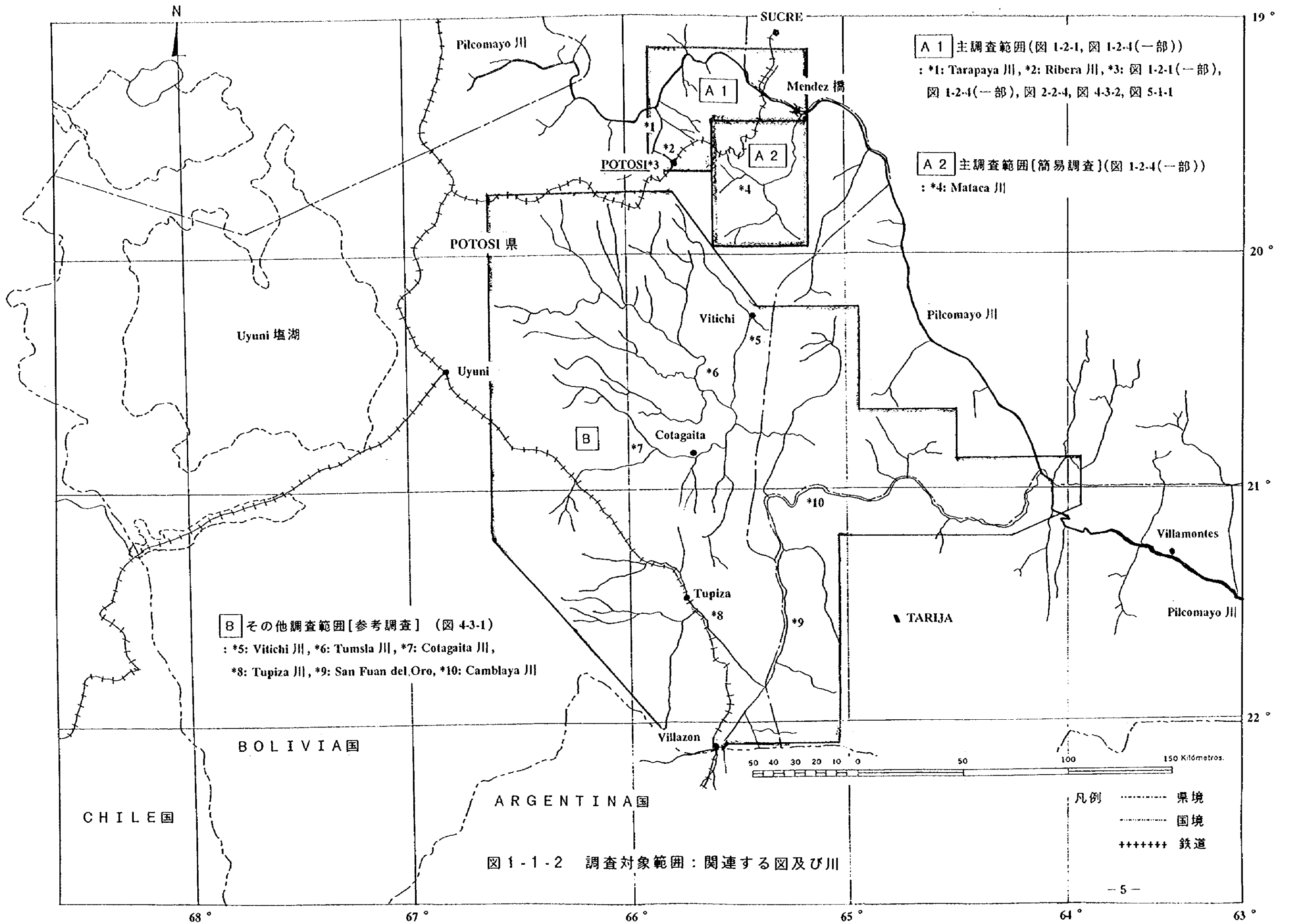


図 1-1-2 調査対象範囲：関連する図及び川

1-2 調査目的、調査方針及び調査概要

1-2-1 調査目的、調査対象範囲及び調査方針

(1) 調査目的

本調査の目的は、1997年2月に締結されたS/W及び会議議事録(M/M)に記載された下記内容に基づく。

- ① ポトシ県における鉱業による環境影響の調査を行う。
- ② 環境モニタリングと環境管理計画を策定する。
- ③ 当該地域の鉱害を管理し削減するための政策的、技術的提言を行う。

具体的には、リベラ川及びピルコマヨ川の主要ポイントにおける重金属等による汚染状況を明らかにし、汚染発生源の汚染防止策を作成する。

また、リベラ川の環境モニタリングシステムを構築し、本調査終了後もC/Pが独自に類似調査の実施、鉱害防止対策の作成、環境管理計画(環境基準)の改正等を行えるように技術移転を行う。

(2) 調査対象範囲

本調査の調査対象範囲は、ポトシ市近郊及びポトシ市に源を発するリベラ川が流下するに伴い、アルハマユ川、モリノ川、タラバヤ川となり、ピルコマヨ川に合流してメンデス橋に至るまでの約180kmの区間である(図1-1-2、図1-2-1、参照)。

調査対象範囲にある水系は非常に複雑であるが、調査方法及び調査結果の理解のためには重要なので、以下にやや詳しく述べる。

ポトシ地区には、リベラ川とその支流のチェクタカラ川、ワイナマユ川及びコリマユ川の3河川がある。リベラ川は、ポトシ市の市街地を西に流れた後にアルハマユ川となり北西に向かっている。また、セロ・リコ・デ・ポトシ山の西側山腹を源流にする谷川であるケブラダ・ハジャホマユ川とその支流のワカフチマユ川がアグア・ドゥルセ川に注ぎ、ついでポトシ市郊外でアルハマユ川に合流する。アグワ・ドゥルセ川と支流のヴィラコユマユ川はセロ・ワカチフ及びフクイ・ワカチフ鉱山の西側を北に向かって流れている。

リベラ川、アルハマユ川、モリノ川、タラパヤ川は同一水系の河川であり、支流が合流する毎に、流域の部落名などが付けられ呼び名が異なっているに過ぎない。タラパヤ川水系を上流部から見ると、リベラ川とはポトシ市内の名称で郊外でヘスス・バレ川と合流するまでの名前である。アルハマユ川とはリベラ川がヘスス・バレ川との合流後からラ・パルカ村でワンカラニ川との合流する迄の名である。モリノ川とはアルハマユ川とワンカラニ川の合流後モリノ部落付近迄の名前であり、タラパヤ川とはモリノ川を含めてピルコマヨ川に流入する迄の、この川の下流部一帯の名称である。

ここで、ワイナマユ川、コリマユ川、ケブラダ・ハジャホマユ川（ハジャホマユ渓谷）の3水系がポトシ山からの流れを含んでいる。最初の2水系がリベラ川へ、最後のケブラダ・ハジョホマユ川はアグア・ドウルセ川からアルハマユ川へと流れる。

本調査では、ポトシ県北部のポトシ市郊外から東へ流れるサマサ川およびその下流のマタカ川流域についても簡易調査を実施した。

(3) 調査方針

本調査は下記に示す技術的主要プロセスに基づいて実施した。

① 鉱害発生メカニズムの把握

汚染及び被害状況のマッピング及び汚染メカニズムの解明。

② 環境への影響の範囲と程度の把握

モニタリングシステムの確立と環境影響の範囲および程度の把握。

③ 鉱業による河川水質の将来予測モデル例の構築

④ 鉱害防止方法の検討及び提言（含モデル選鉱場の概念設計、財務分析）

⑤ 環境管理計画の策定及び提言（含モニタリング体制、環境基準・排出基準、環境指標、環境行政組織案の策定、経済分析）

⑥ 啓蒙・教育・人材育成計画

以上のプロセスを下記4段階に亘って実施した。

- ① 予備調査段階
- ② 詳細調査段階
- ③ 設計段階
- ④ 技術的・政策的提言段階

以上の4段階のプロセスを、表 1-2-1 作業工程表に示す6回の現地調査及び国内作業の実施を通じて遂行した。

1-2-2 調査概要

(1) 調査分野とその位置づけ

前述の調査方針及び調査目的を達成するために行われた調査の専門分野は、水質/水文、鉱山地質、選鉱、廃水処理（化学分析）、データ整理/統計、施設設計（機械）/積算、経済/財務、環境管理計画/組織・体制の8分野である。本調査スキームの概念をまとめて図 1-2-3 に示す。

調査分野と担当者は以下に示す。

| | |
|--------------|---------------|
| 団長 | 大木 久光 |
| 水質/水文 | 森 俊夫 |
| 鉱山地質 | 中村 廉 |
| 選鉱 | 伊東 賢治 |
| 廃水処理（化学分析） | 田中 良弘 |
| データ整理/統計 | Ricardo ORTIZ |
| 施設設計（機械）/積算 | 木村 聡一郎 |
| 経済/財務 | 小杉 芳雄 |
| 環境管理計画/組織・体制 | 山内 謙 |

各分野の本調査における位置づけは次のとおり。

1) 水質／水文

河川の水質汚濁の現状把握、汚染状況のマッピング、汚染メカニズムの解明及び将来予測モデル構築の基礎となるデータベース構築用資料提供、モニタリング技術移転。

2) 鉱山地質

ポトシ鉱山の鉱業活動の継続、財務・経済分析の基礎資料の提供につながるポトシ鉱山の寿命（埋蔵鉱量）の推定、廃石・旧堆積場の評価の実施。

3) 選鉱

「生産」と「環境」との両立を目指した鉱害防止及び工程成績向上のための選鉱試験の実施、環境コスト捻出につながる収益向上のためのインヘニオの工程改善案の検討、ポトシ鉱にたいする最適処理フローの検討、同結果を生かしたモデル選鉱場・インテグレイト選鉱場の設計・積算資料の検討・解析の実施、選鉱試験方法の技術移転、試験結果の解析方法の技術移転。

4) 廃水処理（化学分析）

汚染源の調査、汚染状況のマッピング、汚染メカニズムの解明に資する廃水処理試験の実施、汚染メカニズムの解明、廃水処理試験方法及び解析方法に関する技術移転、環境モニタリングに必要な分析手法のチェックと指導の実施。

5) データ整理／統計

汚染状況の統計的把握とマッピングに資するデータ整理、モニタリングシステム構築に必要なデータベース（ソフト）の構築、環境管理に資するシミュレーションモデル（ソフト）の構築、及びそれらのインプット、アウトプット及び用途に関する技術移転の実施。

6) 施設設計（機械）／積算

選鉱試験結果に基づく選鉱場設計指標、廃水処理試験結果に基づく廃水処理工程の設計指標を受けてのモデルプラント、尾鉱からの錫回収選鉱場、

インテグレート選鉱場、廃石からの有価金属回収プラント等の設計に必要な設備積算及び機械設計の実施、機械設計及び積算方法に関する技術移転。

7) 経済/財務

既存インヘニオにおける工程改善、尾鉱からの錫回収選鉱場及びインテグレート選鉱場の導入に伴う財務計算、改善対策実施に伴う経済評価の実施、経済・財務分析方法の技術移転。

8) 環境管理計画/組織・体制

ボトシ県のモニタリング体制、ボリヴィア国及びボトシ県に関する環境基準・排出基準、環境指標、環境行政組織案の提言、環境管理・モニタリングシステムに関する技術移転。

(2) 分野ごとの調査手法

1) 水質/水文

25 点のサンプリングポイントおよび 2 点の水質モニタリングポイントにおける一年間に亙る河川水質及び底質のサンプリングおよび主要成分の分析を実施した。平行して、水文調査を実施した。両調査結果を解析し、河川の汚染状況を把握し、環境改善対策立案・管理の基礎資料を提供した。

実施した分析項目を次に示す。

- ① 水質 14 項目、pH, SS, As, Sb, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn, CN, COD
- ② 底質 15 項目、Ag, As, Sb, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Sn, Pb, Zn, CN, S, 灼熱減量 (Ig. Loss)

同時に、調査範囲の河川で 5 箇所横断測量を実施し、この 5 横断測量地点を中心に主要地点における河川水量の調査をおこなった。

調査範囲概略図を図 1-2-4 に示す。

さらに、主調査範囲外のピルコマヨ川支流流域の影響を把握するため、ボトシ県東南部地方についても数カ所の水質調査（参考調査）を行い、各河川の水質汚濁の概要を調べた。

2) 鉱山地質

ポトシ鉱床の採鉱と地質の情報について、過去のポリヴィア鉱山公社の年次操業報告、パイラピリ鉱山の操業報告、本鉱山に関する文献などを調査した。また、質問集の回答を解析し、鉱山内外の野外地質調査結果、文献調査、既存試料調査結果と合わせて解析を行い、ポトシ鉱山の埋蔵鉱量を推定し、財務分析に資する資料を提供した。

3) 選鉱

質問表の回収及びヒヤリングの実施によるインヘニオの現状調査、理想の状態の推定、選鉱試験並びに理想と現状との乖離の分析・解析を実施し、選鉱尾鉱に係る鉱害防止案とインヘニオの改善案を策定のうえ提言を纏めた。また、選鉱試験の結果、ポトシ鉱の最適処理フローを推定し、最適フローにおけるアウトプットを試算して、施設設計・積算資料を提供した。

4) 廃水処理（化学分析）

汚染源に関する雨期と乾期における水質調査を行った。水質分析はASTMに基づき下記項目の分析を実施した。また、いくつかの試料採取地点では、排水路の断面と流速の測定結果から流量を算出した。一部の流量測定は、現場の状況から簡易法を用いた。

更に、代表的な数値を示す採取地点の試料を供試料として中和方式による廃水処理試験を実施した。試験方法は一段中和法と二段中和法である。

5) データ整理／統計

モニタリングデータを集積するためのデータベースを構築した。さらに、シミュレーションモデル例を試作し、将来予測モデル例の構築に資するソフトを作成した。

6) 施設設計（機械）／積算

下記項目の調査を行った。

- ① 工場規模、操業年数の調査
- ② 設備機器の調査
- ③ 計装設備の調査
- ④ ユーティリティの調査

- ⑤ 安全対策の調査
- ⑥ 作業環境の調査
- ⑦ その他

以上の調査の結果および選鉱試験結果得られる設計諸元を基に、モデルプラント及びインテグレイト選鉱場の機械設備・施設の概念設計を実施し、設備費用の積算を実施して財務分析の為の資料とした。

7) 経済/財務

前述した選鉱・設備積算および現段階で入手可能なデータに基づき、インヘニオにおける鉱石処理改善計画のうち、財務面から、下記、A、B、Cの3つの対策案（本分析ではプロジェクト・ケースと呼ぶ）について経済性を検討する。

プロジェクトケースの内訳

| ケース | プロジェクトケース | 計画時期 |
|-----|------------------|------|
| A | 既存インヘニオにおける工程改善 | 短期 |
| B | 尾鉱再選鉱プラントの建設 | 中期 |
| C | インテグレイト選鉱プラントの建設 | 長期 |

上記の経済性検討に際して、次のような諸前提を設定した。

- ① 廃滓堆積場ダム建設および運営
- ② 1998年の固定価格による検討
- ③ 主要項目（販売価格、投資コスト等）による大胆な予想

上記に加えて、経済分析ではビルコマヨ川流域へもたらされる水質改善効果を加味した定量的分析を試みる。

8) 環境管理計画/組織・体制

(ア) 文献による調査

今回の調査において基本的な調査文献に持続開発環境準省の準備による「環境影響評価及び環境品質管理に関する国家制度の実施に関する説明書」を使用した。

(イ) 情報とデータ収集のための面談による調査

上記文献による調査とボリヴィア側カウンターパートからの聴取に加え、関係責任者との面談による調査を実施した。

(ウ) 現地再委託による影響調査

環境汚染の影響の範囲及び影響の程度を調査・解析する為の補強資料を得るために、ベルギー国トランステック社の現地コンサルタント会社および CDR (NGO) に環境に関する影響の調査を再委託した。

表 1-2-1 作業工程表 (1/2)

様式-5

| 作業項目 | 期間 年度 | 1997 | | | | | | 1998 | | | | | | 1999 | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|------|----|----|----|---|---|------|---|---|---|---|---|------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. 国内準備作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (1) 資料調査 | | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (2) インセプションレポートの作成・送付 | | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (3) 技術移転計画の作成 | | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (4) 機械調達/国内調達分 | | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (5) 質問表作成・送付 | | ▲ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 第1次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (6) インセプションレポートの提出・説明 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (7) 資料調査 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (8) 現地踏査 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (9) 現地再委託の準備 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (10) 機材調達/国内調達分 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (11) 質問表回収 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 第1次国内作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (12) 第1次現地調査収集資料の分析・検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (13) 鉱害に係るIPRモデルによる検討: 雨季/乾季 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (14) 環境管理要素項目/技術検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (15) 環境管理要素項目/技術選定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (16) 鉱害防止要素項目/技術検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (17) 鉱害防止要素項目/技術選定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (18) 環境管理、鉱害防止トータルシステムプラン作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (19) フォクレスレポート原稿の作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 第2次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (20) 現地再委託調査(1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (21) 環境管理基礎調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (22) 鉱害防止技術基礎調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (23) フォクレスレポートの作成、提出、説明、協議 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. 第2次国内作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (24) 現地調査とりまとめ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

凡例: — 準備 ■ 現地調査 □ 国内調査 ▲ 報告書提出

表 1-2-1 作業工程表 (2/2)

様式-5

| 作業項目 | 期間 年度 | 1997 | | | | | | 1998 | | | | | | 1999 | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|------|----|----|----|---|---|------|---|---|---|---|---|------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 6. 第3次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (25) 現地再委託調査(2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (26) 環境管理基礎調査、検討1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (27) 鉱害防止調査、検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 第3次国内作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (28) 現地調査とりまとめ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (29) 対策案事業費の積算 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (30) 第1回技術移転セミナー開催準備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (31) インテリレポートの作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. 第4次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (32) インテリレポートの説明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (33) 環境管理基礎調査、検討2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (34) 鉱害防止説明・協議、問題点抽出 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (35) 河川水質モデルによる将来予測解析 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (36) 第1回技術移転セミナーの開催 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. 第4次国内作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (37) 現地調査とりまとめ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (38) 技術的、政策的提言案の説明、協議:提案作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. 第5次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (39) 技術的、政策的提言の説明、協議:提案作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. 第5次国内作業 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (40) ドラフトファイナルレポートの作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (41) 第2回技術移転セミナー開催準備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12. 第6次現地調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (42) ドラフトファイナルレポートの説明、協議 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (43) 第2回技術移転セミナーの開催 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (44) ファイナルレポートの作成 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (45) ファイナルレポートの提出 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

凡例: 〃 準備 ■ 現地調査 □ 国内調査 ▲ 報告書提出

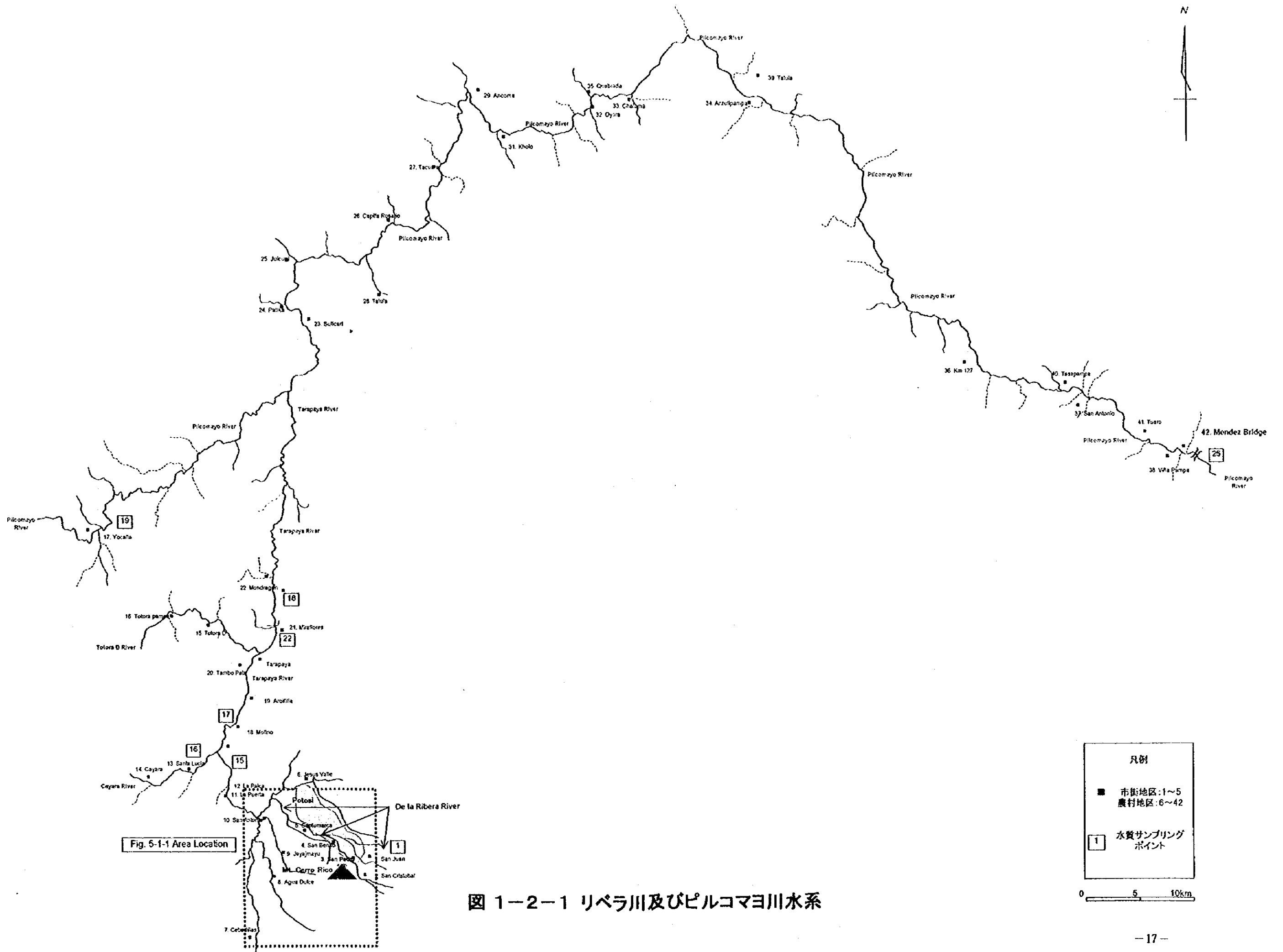


図 1-2-1 リベラ川及びピルコマヨ川水系

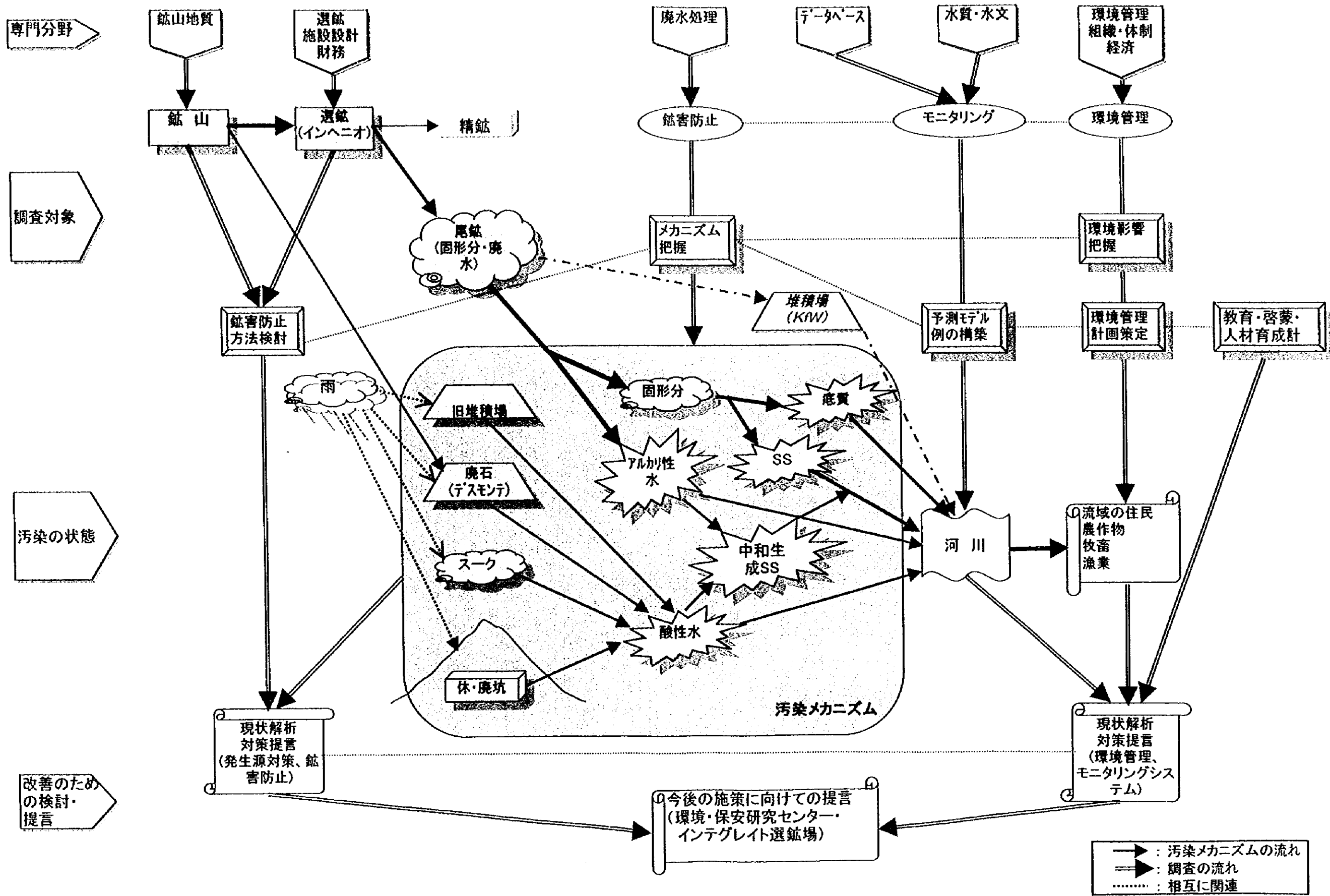


図 1-2-2 調査概念図
 (ボリヴィア国ポトシ県鉱山セクター環境汚染評価調査)

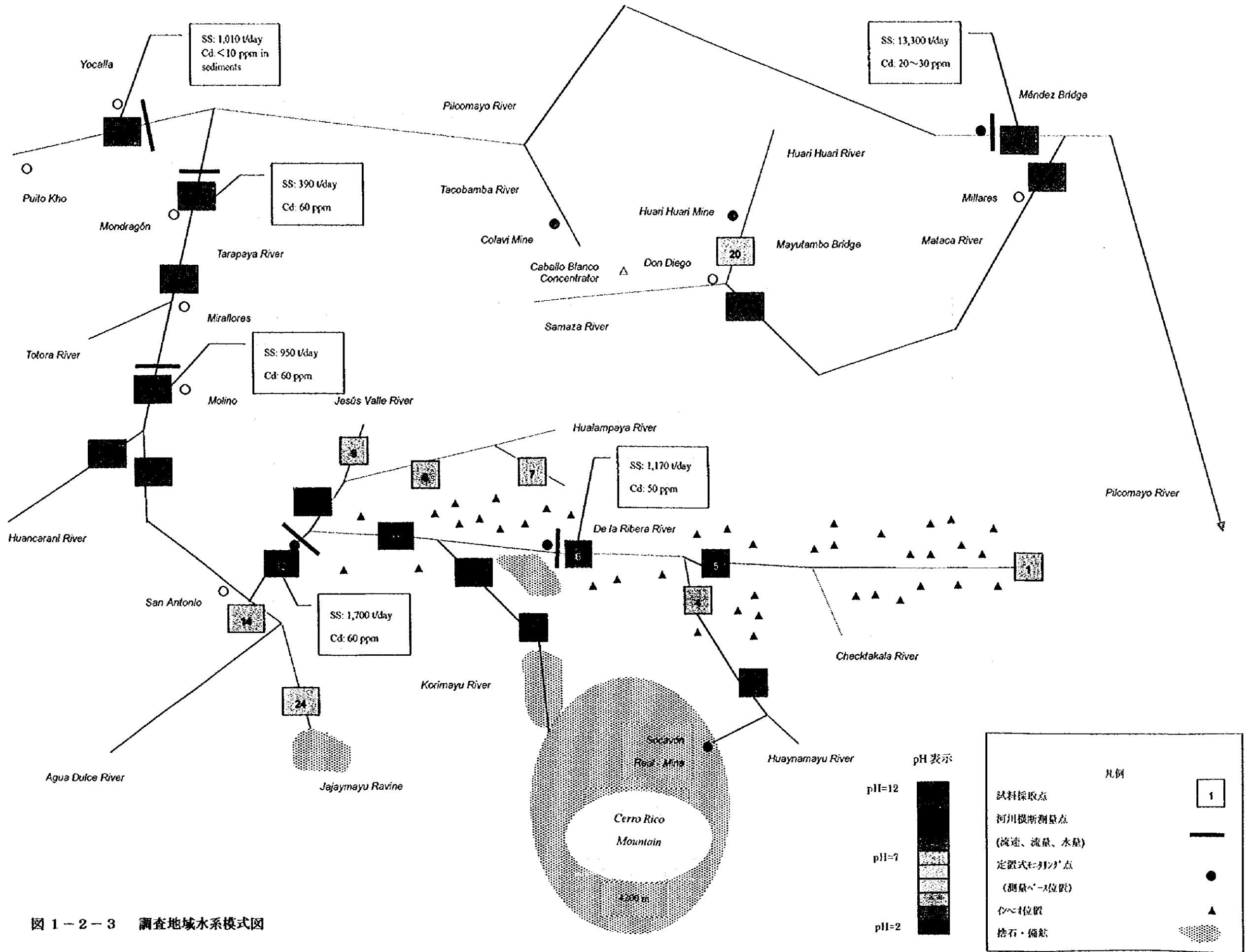


图 1-2-3 调查地域水系模式图

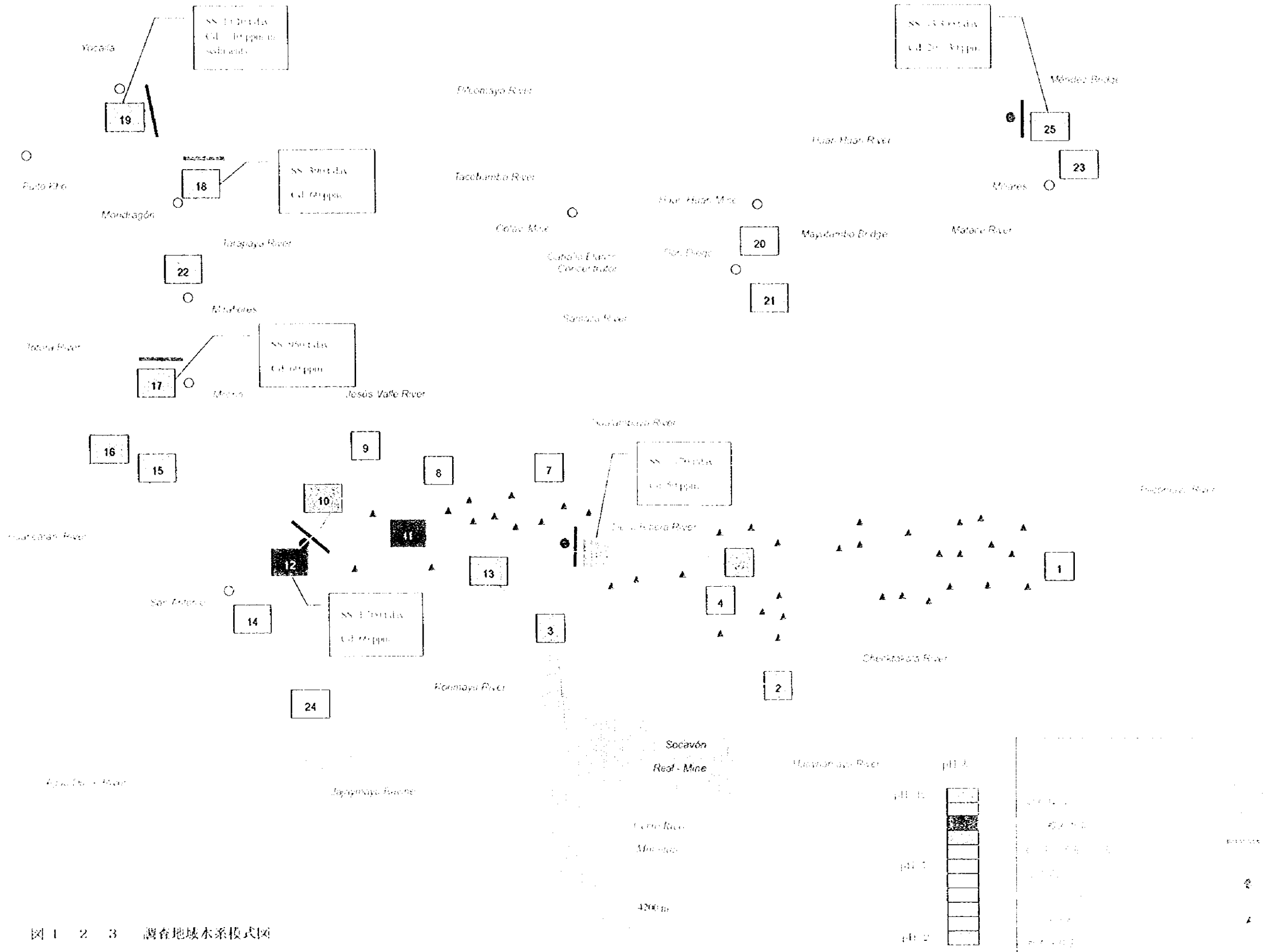


图 1 2 3 调查地域水系模式图

第2章 ボリヴィア国及びポトシ県の一般事情及び鉱業事情

2-1 ボリヴィア国及びポトシ県の一般事情

ボリヴィア国及びポトシ県における政治、社会、経済の動向及び自然環境の現状等の一般事情を概観する。

なお、本節に示した図表番号はANNEX(4)に記載されたものを参照する。

2-1-1 政治と社会

(1) 政治の動き

ボリヴィア国内での政治的動きを時系列的に示す。

- ① 紀元前 2,000 年頃アイマラ族がチチカカ湖周辺に村落を構える事となった。
- ② 紀元前 1,000 年頃インカ族（ケチュア）がそれ以前の居住地区であったクスコ周辺より、ボリヴィアに侵入を始めた。
- ③ 紀元 15 世紀迄にインカ族はアイマラ族を完全に支配する事となった。
- ④ 1532 年にスペインによりインカ族の王朝が終焉を迎えた。
- ⑤ 1532 年にスクレ市にスペインの植民の統治府が開かれた。
- ⑥ 1545 年にポトシに銀の鉱脈が発見された。
- ⑦ 1825 年にボリヴィアはスペインからの独立を独立戦争を通じ成し遂げた。
- ⑧ 1879 年から 1883 年の間チリとの太平洋戦争が続いた。
- ⑨ 1904 年チリとの戦争に負け、その結果ボリヴィアには海がなくなった。
- ⑩ 1964-1982 年ボリヴィア国は軍事政権国家となった。
- ⑪ 1997 年 8 月 6 日、民主国家の首相としてフーゴ・ボンザールが選出された。

(2) 社会

ボリヴィア国及びポトシ県の社会事情データ

| 項目 | 単位 | ボリヴィア国 | ポトシ県 |
|---------------------|-----------------|--------|------|
| 人口 1995 年 | 1000 人 | 7,414 | 728 |
| 人口 2000 年予想 | 1000 人 | 8,329 | 774 |
| 人口年間増加率 | %、1995～2000 平均 | 2.3 | 1.2 |
| 出生率 | %、1995～2000 平均 | 3.3 | 3.4 |
| 平均寿命 | 年、1995～2000 平均 | 61.4 | 56.3 |
| 住民 1000 人当たりの病院ベッド数 | 台、1995 年 | 1.5 | 1.4 |
| 文盲率 | %、15 才以上、1995 年 | 20 | 38 |
| 大学卒業人数 | 人、1995 年 | 4,132 | 132 |

上記ボリヴィア国及びポトシ県の社会事情データ及び表 1「国及び県レベルでの人口」に各県別の人口を示した。

表 2「年間人口増加、出生率、平均寿命、死亡率」に人口の増加率を示した。これらの表より、ポトシ県が近い将来高年齢者の県となり、かつ平均寿命がボリヴィアで最も悪い県となる事が判る。

人種構成は表 3「国と県毎の人種構成」を参考にされたい。

宗教については、カトリックが 85%、エヴァンゲリアンが 11%、その他が 1%、残る 3%は無宗教（1992 年の世論調査結果による）となっている。エヴァンゲリアンの普及は、地方で強く 13%を占めている。

表 4「病院の能力と病気」は、病院のベッド数と一般的な病気の種類を示している。

病院のベッド数（住民 1,000 人当たりとする）に関して、ボリヴィアは他南米諸国と比較して大変低く、1.5 台に対し、チリは 3.1 台、ペルーは 1.5 台となっている。ポトシ県では、近年改善が見られるが、依然として国内でも最低の県となっている。

病気に関しては、ポトシ県は高原地帯にあることから、コレラ及びマラリア等の発生率が国内最低となっている。

表 5「文盲率と大学卒業人数」に、文盲率と高等教育を受けた人の数を示した。ポトシ県は比較的文盲率が高く、大学卒業生が少ないことを示している。

2-1-2 産業とエネルギー

ボリヴィア国及びポトシ県の産業とエネルギー事情データ

| 項目 | 単位 | ボリヴィア国 | ポトシ県 |
|--------------------|----------------|-----------------|-------|
| 農耕作地面積 | 1000ha、1993年 | 1,362 | 116 |
| 単位面積当たりの農作物生産高 | Bs/ha、1993年 | 1,723 | 1,353 |
| 全国農業生産高とポトシ県の割合 | 1000Bs、%、1993年 | 2,347,200 | 6.7% |
| 全国国民総生産と全国農業生産高の割合 | %、1993年 | 12.4 | - |
| 全国牧畜生産高とポトシ県の割合 | 1000Bs、%、1993年 | 1,044,266 | 4.3% |
| 全国国民総生産と全国牧畜生産高の割合 | %、1993年 | 5.5 | - |
| 全国林産生産高とポトシの割合 | 1000Bs、%、1993年 | 259,013 | 0.5 |
| 全国国民総生産と全国林産生産高の割合 | %、1993年 | 1.4 | - |
| 錫の年間産出量 (世界比) | 1000Ton、1992年 | 16.5 (8.4%) | 3.6 |
| 亜鉛の年間産出量 (世界比) | 1000Ton、1992年 | 143.9 (2.0%) | 80.1 |

(1) 農業

ボリヴィアの国土は 1,098,581km² の広がりを持つが、耕作地は全体で 14,000km² に満たず、僅か 1.3%が農業に利用されているにすぎない。上記ボリヴィア国及びポトシ県の産業とエネルギーのデータおよび表 6「ボリヴィア国とポトシ県の耕作地面積と農業生産高」から、それぞれの生産高がわかる。

ポトシ県は高地にあることから、農業生産能力は制限されているといえる。低地の農夫の平均耕作地面積が 5ヘクタールから 10ヘクタールに対し、ポトシ県の耕作地面積は、1ヘクタールから 2ヘクタールである。耕作方法として、3作物（ジャガイモ、キヌア、大麦）そして休耕の輪作方式を採用しており、また、肥料として、化成肥料ではなく、羊の糞等を利用している状況である。

農業改革の動きは 1953年より開始されたが、この動きで多くの高原地帯の農夫が低地へ、特にサンタクルス県へ移住した。この結果、国家としての農業生産額は向上した。

(2) 牧畜業

牛、羊、豚そして駱駝族のリヤマが主として生産されている。それぞれの家畜の数を表7「家畜の生産数と生産額」に示す。

特記すべき事は、家畜は農業用として利用されており、商業利用は、家畜の年齢が7歳位経過した後からといわれている。

(3) 林業

ボリヴィアには、564,684km²の森林地帯が広がっている。生産額としては、年間300百万Bsといわれているが、表8「ボリヴィア国とポトシ県の林業の生産額」に詳細を示す。

約40種類の木材が商業化されているが、主たる品種はマラ(50%–57%)、ラウレル(16%–22%)そしてオチヨオ(8%–16%)の3種類の木材といわれている。

主たる用途は、鉱山用に135,000m³、鉄道の枕木として22,000m³、電信柱として14,800m³等である。

また、木材以外の生産品は、木の実、ゴム、木炭等である。

(4) 漁業

ボリヴィアには海がない事、更に冷凍および冷却方式による配送システム及び通信システムが発達していない事から、食料用としての魚の消費は大変少ない。1人当たりの魚の消費量は1.1kgで、全国の消費量は年間7.4千トンとなっている。またその内60%が国産で、残りは輸入されている。ただし魚の養殖可能地域は14,192km²といわれており、この面積は、年間35千トンの水揚げが得られるに十分な面積と考えられている。この養殖による水揚げ量を加味して、現在の年間生産量5千トンを40千トンに伸ばせば、1人当たりの消費量が年間約6kgに伸びても対応できる体制が作れる。

現時点での最大の漁獲高はピルコマヨ川下流域であり全体の48%を占め、アマゾン地区が38%、これにチチカカ湖地区の14%が続いている。

(5) 工業（製品製造業）

1993 年度における工業部門（鉱業、石油・ガス開発、電気及びガス・水供給を除く）の国内総生産に占める割合は 18.8%である一方、ポトシ県の総生産額に対する県の工業部門が占める割合は僅かに 6.7%である。

国家レベルの主要工業は、石油精製、タイヤ製造、食肉加工、宝飾、精糖、アルコール飲料、食用油等である。一方、ポトシ県レベルの主要工業は、食肉加工、製粉、アルコール飲料、食パン、プラスチック製品等である。

石油精製事業はポリヴィア石油会社（YPFB）が主体となり、当社はコチャバンバ（27 千バレル／日）、サンタクルス（15 千バレル／日）及びスクレ（3 千バレル／日）に 3 つの精製工場を持っている。

セメント 5 社及びその生産量は、SOBOCE（ウイアチャ：285 千トン／年）、COBOCE（コチャバンバ：204 千トン／年）、FANCESA（スクレ：246 千トン／年）、EL Puente（タリファ：43 千トン／年）そして CAMBA（サンタクルス：90 千トン／年）である（1995 年度）。

ポトシ県の工業部門の大手としては、アルコール飲料業でビール会社の「ポトシビール会社」、製粉会社の「ポトシ工業」、そして飲料会社の「センテナリオ会社」が挙げられる。

(6) エネルギー

ポリヴィアのエネルギー消費は、一人、一日当たり石油換算で 340kg である（1993 年）。これは他ラテンアメリカ国家の平均 1,000kg と比べて 1/3 と大変低い。特に地方では、住民の住居地が広く分散しており、エネルギー供給システムが不十分な事もあり、僅かに 262kg である。

1992 年のエネルギー生産量は、石油換算で 53,869 千ガロンとなっているが、この内 26.5% はアルゼンチンへ天然ガスとして輸出され、残りが国内の一次エネルギーとして利用されている。

エネルギーの用途としては、家庭用、商業用が 40.2%、輸送用が 34.4%、農

業用が1.3%、工業用が23.7%、その他が0.4%となっている。表9「電力生産能力、生産量及び販売量」に、電力製造会社名及び電力生産手段を示す。同表によれば、電力生産は、水力発電が56%、ガスによるものが37%、ディーゼル油が5%、その他が2%である。

電力の供給販売は多くの会社でおこなわれているが、国内最大の国営発電会社である ENDE の株の50%がアメリカの民間3社に1996年に売却された。

2-1-3 経済

ボリヴィア国及びポトシ県の経済事情データ

| 項目 | 単位 | ボリヴィア国 | ポトシ県 |
|----------------|--------------|--------|-------|
| 国民総生産 | 百万 Bs、1993 年 | 21,941 | 1,207 |
| 鉱業生産高の対国民総生産高比 | % | 3.5 | 20.9 |
| 一人当たりの年間所得 | US\$, 1993 年 | 737 | 400 |

| 南米各国の国民一人当たりの年間所得 (US\$) (1993 年) | アルゼンチン | 5,571 |
|-----------------------------------|--------|-------|
| | ブラジル | 3,405 |
| | チリ | 2,812 |
| | ペルー | 1,837 |

(1) 国民総生産

1993年のボリヴィアの国内総生産額は21,941百万Bs(対1990年比114.7%)、ポトシ県の総生産額は1,207百万Bs(対1990年価格比で112.3%)である。

1993年は1990年に比べて、ボリヴィア国として電気事業、ガス・水道事業及び建設事業の伸びが大きく、ポトシ県では建設業の伸びが大きい。逆に、国としては、レストラン、ホテル事業他が縮小し、県としては電気事業、ガス・水道事業、公共事業が縮小している。ポトシ県の総生産はボリヴィアの6.4%であるが(1993年度)、鉱業に限れば、国全体の36.1%を占める。(前表「ボリヴィア国及びポトシ県の経済のデータ」及び表10「ボリヴィア国とポトシ県の国内総生産額」参照)

1996年度の国民総生産額は31,840百万Bs(対1990年比較で125.5%)と報告されている。

(2) 経済開発政策

ポトシ県を含むボリヴィア国には将来の経済指標を目標に掲げた経済開発計画は特にない。しかし、国は、下記に示す経済目標を最近発表した。国際機関の協力を得て近代化を計るボリヴィアの鼓動は始まっているといえる。

- ① 銀行システムの近代化
- ② 貿易手続きの改革
- ③ 公営企業の民営化
- ④ 国民の参加促進
- ⑤ 地方分権化

(3) 雇用

国民の就業分野と比率、年齢と性別別の失業状況を表 11「ボリヴィア国職業概観」および表 12「ボリヴィア国における年齢と性別による就業状況」に示す。

(4) 価格と給与

ポトシ県の 1 人当たりの収入がボリヴィア国の中でも最低である(表 13「県別 1 人当たりの年間収入額比較」(US\$表示)参照)。また、購買力平価換算においても、ボリヴィア国が南米の中でも最低である(表 16「南米各国の購買力平価表」参照)。

しかし、インフレ率は過去 5 年間、毎年 10%程度を示しており、経済は安定しているといえる。表 15「最低賃金、平均賃金」に過去数年間の賃金レベルの変化を示す。

(5) 交換レートと対外債務

表 16「過去 5 年間の交換レート、対外債務そして年間の資金バランス」では、対米ドル交換レートは年率約 7%程度切り下がっており、毎年の外貨バラ

ンスは輸入超過だが、借り入れ等で国際収支を合わせていることが判る。

(6) 貿易

表 17「年間貿易バランス」、表 18「年間製品別輸出額」、表 19「年間製品別輸入額」及び表 20「年間主要貿易取引国」に関連情報を示した。過去 5 年間、毎年若干の負の貿易バランスとなっており、政府借入金の増加につながっている。

(7) 田習

1952 年の法律により、全ての農業用地は自ら使用する目的の者のみに所有権が与えられる事となり、農地の効率的使用を促す事となった。

農業用水は「農業用水責任者」の制度があり、部落の全員が平等に農業用水が利用できるシステムが出来ている。ただし、時には用水路の修復活動等について全員が平等に労力を提供することが義務づけられる制度ともなっている。

ボリヴィアの行政組織である県、市等の長は、大統領、および市民に選出される体制となっている。しかし、このほかに、地方の社会組織の中に住民がその指導者「クラカ」もしくは「リーダー」と呼ばれる人を選び、対外的なコーディネーション業務を委嘱する非公式の制度がある。

(8) 環境関連施設

ボリヴィア国では、自己完結型の上水道事業、下水道事業が市の管轄で行われている。ポトシ市では、下水道事業は市自らが行き、上水道事業は上水道公社 (AAPOS) が請け負っている。

現時点で AAPOS は 15,819 件の供給契約を結んでおり、市民の大半に水道を供給している。またポトシ県農村部への水道の供給は、県の UNASBA がこれを担当しており、現在 26%の普及率である。

また、都市計画はポトシ市で準備されているが、環境問題も視野にいた

計画を新規に作成中である。

2-1-4 自然環境

(1) 国家

ボリヴィア国の正式な名称はボリヴィア共和国、その首都をスクレに定め、ラパスを実効首都としている。

(2) 地理

ボリヴィア国は西経 69°8' と 58°25' の間と南緯 9°38' と 22°53' の間に位置し、その面積は前述の如く 1,098,581km² である。ポトシ県は西経 68°12'00" 及び南緯 16°30'30" に位置し、その面積は、118,218km² である。

図 1「国土高度図」から、国土は高地 16%、溪谷地 19%そして低地 65%に分類されている。表 21「各県の首都とポトシ県の郡名」及び図 2「ポトシ県行政図」に、これら 3 つの地域に位置する 9 つの県を示す。なお、鉱山県であるオルロ県、ポトシ県、チュキサカ県等は高地にある。

(3) 気候条件

ボリヴィア国の気候は 4 つの異なる性格をもっている。

① 高地気候

代表的な高地気候で、日中は暑く、日が陰り夜となると大変寒い。降雨量は少なく、植生も少ない。僅かにジャガイモ、そら豆及びびからす麦などが特産である。

② 溪谷気候

この地域は亜熱帯性気候であり、平均気温と降雨量はそれぞれ、15° ～ 20° C 及び、690mm ～ 790mm となっている。生活するのに比較的良好な気候といえる。

③ 北西平原気候

高温、高降雨量の典型的な熱帯性気候と言える。

④ 南西平原気候

この地域は乾燥しており、穏やかな気候の地域はサバンナ気候地域といわれている。

図 3「国内気候図」、図 4「国内降雨量図」および図 5「国内気温図」はボリビア国内の気候、降雨量及び気温を示している。

表 22「ポトシ県気温および降雨量」には地域の 15 年に亘る平均気温と降雨量を示している。

(4) 森林

ボリビア国は世界で 8 番目に大きな森林地を抱えている。その総面積 564,684km² は、国土面積の 51.4%に当たる（表 23「県別森林地面積」参照）。

ボリビア国の森林は、農業、牧畜及び地方開発省が持続開発計画省の協力を得て、森林一般法の下に管理している。

(5) 水文

川と湖がボリビアの主要な水資源となっているが、川の場合は溪谷を形成している（表 24「水文的溪谷の表」参照）。表 25「ボリビア国内主要川とその長さ」に、今回の調査対象河川ビルコマヨ川の長さを示す。

ボリビア国には、チチカカ湖（8,300km²）、ポオボ湖（1,337km²）、ウルウル湖（214km²）及び、ウユニ塩湖（10,582km²）、コイバサ塩湖（2,218km²）等の主要な湖がある。（図 6「国家水文図」参照）。

川と湖の管理は持続開発計画省で行われている。

(6) 野生動物

環境法の第 52 章及び第 57 章では、野生動物および植物の保護、保全そして再生を明確に述べている。ボリビアには 2,342 種の脊椎動物がおり、これには 1,274 種の鳥、282 種の哺乳類、250 種の爬虫類、110 種の両性類、500 種の魚が生息していると言われており、そのうち 50 種は世界の他の国には存

在しない種類である。

中でも、「リヤマ」、「アルパカ」、「ヴィクーニャ」、「グアナコン」等の駱駝族は生活者にとり経済的に重要な動物となっている（表 26「南アメリカの駱駝族の数」参照）。

植物も多数の種類が存在している。

これらの特別な種を管理するため、環境法に基づき、「保護地域」と「保護動物」が指定されている（図 7「保護地域」、表 27 参照）。

ボリビアの野生動物、植物、保護地域は持続開発計画省の管理下にある。

ポトシ県内に 4 保護地域があり、最大の「エドワルド・アヴァロア」は総面積 714,475 ヘクタールあり、南緯 22°00、25°53' と 22°00、22°66' の間、西経 66°56'、68°02' と 67°58'、68°40' の間にある。

(7) 土壌

環境法において農業と林業の用地の保護が明確に定められている。特にポトシ県では乾燥した気候と強い風により、土地の風化が進み砂漠化する傾向がある。このために、行政側で推進している事業に砂漠化と干ばつ対策の国家プログラム（PRONARDE）がある。

ボリビアの土壌は森林一般法の下、農業、家畜、地方開発省が持続開発計画省の協力を得て進めている。

2-1-5 ポトシ特別事情

地理学的見地並びに歴史的見地から、セロ・リコ・デ・ポトシ山とポトシ市が、ユネスコにより、1987 年 12 月 8 日に自然と文化の両面での世界遺産に指定された。

ボリビア鉱山公社がポトシ鉱山開発から撤退したあと、栄華を極めた歴史を有する市民は、新たな会社がセロ・リコ・デ・ポトシ山の形に影響を与えるような鉱山開発を進めることに対して大変敏感になっている。

現在ボリビア鉱山公社は、セロ・リコ・デ・ポトシ山の高度 4,400m 以上の

鉱区開発権を坑内掘を条件に国際入札で売り出す事を検討している。

2.2 ボリヴィア国及びポトシ県の鉱業事情

2.2.1 ボリヴィア国の鉱業

ボリヴィア国の GNP は 770 ドル(1994 年)、主力産業のひとつに鉱業があり、輸出の 1/2 以上を亜鉛、鉛、錫、石油、天然ガス等の鉱業製品が占める等世界有数の鉱山国である。

鉱業部門は、歴史的にも経済的にもボリヴィアで最も重要な部門である。

ボリヴィア国の鉱業部門は、スペイン統治時代の銀を中心とした活動以降、錫生産が近代化を支え経済成長の原動力となってきた。特に 1545 年にポトシに銀が発見されて大規模な生産が始まってから、ボリヴィアの非鉄金属の時代が到来したといえる。しかし、18 世紀にはポトシの銀資源の枯渇、独立戦争の混乱のために、19 世紀に錫の好景気が到来するまではポトシ及びボリヴィアの鉱業は一時停滞した。1952 年に国営企業であるボリヴィア鉱山公社 (COMIBOL) が操業を開始した。しかし 1985 年 10 月の国際的錫価格の暴落は、同国錫鉱業を中心とする産業全体に致命的な影響を与えた。特に、同国最大の鉱山会社に成長していたボリヴィア鉱山公社が受けた打撃は大きく、往時 30 千人近く居た従業員も 1996 年末には 1/20 に激減した。

錫建値の暴落以後、各鉱山会社は鉱種の多様化、外資導入、公社の民営化等により近代化を進めてきた。ボリヴィア鉱山公社も錫暴落の打撃を受けて以来、鉱量枯渇、大幅赤字のため、解体、民営化された。このような情勢の下、近年、金分野の伸びが著しい。

鉱業を取り巻く環境は依然として厳しいものがある。鉱山銀行、探鉱基金等の機関も円滑に機能しなくなり廃止、精算中である。このような状況下、弱小鉱山保護の制度が無くなったため中小零細鉱山の経営がますます苦しくなっている。

一方、活発でしかも長い歴史をもつ鉱業活動、生産第一主義の投資の結果、近年、蓄積鉱害を含む鉱山公害・環境汚染が問題としてクローズアップし、鉱害輸出の問題発生も懸念されている。

同国では、環境法を 1992 年に成立させ、持続開発計画省 (MDSP) の中に

持続開発環境準省 (VMDSMA) を強化し、環境面での対応にも注力している。しかし、MDSP では、経済発展と環境保全という相反する施策をいかにバランスさせて取り組むかに苦慮している。

2-2-2 ポトシ地域の鋳業

本調査範囲にあるポトシ地域の鋳業の主体は、次のとおりである。

① 鋳山：ポリヴィア鋳山公社の系統である中規模のパイラビリ (Pailavili) 社並びに 30 の小規模会社の集合体である鋳業協同組合 (Cooperativa Minera)

② インヘニオ：合計 42 に及ぶ中規模の選鋳場及び小規模の選鋳所
以上に関する地質、鋳床、採鋳、選鋳について以下に述べる。

(1) 地質

ポトシ鋳床はポリビア東コルディレラの錫鋳床帯の中央部に位置している。本鋳床の地質は、オルドビス紀の地層、中新世の地層およびポトシ・デイサイト岩株からなっている。(図 2-2-1、図 2-2-2 参照)

ポトシ鋳床は、オルドビス紀の粘板岩、中新世のデイサイト質凝灰岩、凝灰角礫岩、およびデイサイト (斑岩) 貫入岩ドームの中に発達した無数の裂隙によって埋められた熱水鋳脈から形成されている。

錫鋳脈は、しばしば 5cm 程度の幅しかなく、デイサイト斑岩中に産する。銀・亜鉛鋳脈は 0.5 から 1.5m の幅を示し、ドームを取り巻くカラコレス礫岩と凝灰岩中に産し、斑岩中には非常にまれにしか産しない。銀・亜鉛鋳脈の平均品位は 500~600g/tAg, 約 10%Zn を示す。

しかし、低温での鋳床形成のため、銀は母岩中全体にわたって細粒に鋳染している。主要鋳脈間の母岩中の平均品位は 100g/tAg を示す。

セロ・リコ・デ・ポトシ山は頂部へ近づくほど、強く珪化している。特に山頂部では非常に珪化が強く、陶器質の珪化部が認められる。山の低い所では、初生の石英はよく認められるが、細粒石英、絹雲母、粘土鋳物がデイサ

イトの原岩を置換して主要鉱物となっている。深部では電気石が認められる。

貫入岩体の中心部に向かって、錫石、黄鉄鉱、鉄マンガン重石、および硫砒鉄鉱のような高温鉱物が認められる。また外側部に向かっては、低温の銀鉱物や Pb-Ag-Zn 硫塩鉱物が認められる。産出鉱物は、濃紅銀鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、四面銅鉱、錫石その他と非常に複雑である。鉱石鉱物は、石英、電気石、明礬石、カオリナイト、絹雲母などの脈石鉱物と密接に産する。

これら、ポトシ鉱山に係る鉱石鉱物を主体とした鉱物名を表 2-2-1 に示す。

(2) 鉱床

1) 鉱脈型銀・亜鉛鉱床（現在、採掘対象）

ボリヴィア鉱山公社は、1993 年末の銀・亜鉛鉱脈の埋蔵鉱量について、期待鉱量を含めて 1,017,721 トン、644g/tAg、11.58%Zn と算出しているが、この後の探鉱がなされていない。また、この鉱量計算（鉱計）対象はパイラピリ社に関するもののみである。この鉱量は、原鉱品位およびパイラピリ社の現在の採掘量 60~90 千 t/y 継続が続くとした場合、1994 年から 11~17 年の寿命となる。しかし、これだけでは長期的に出鉱量を確保できないので、現行品位の低減（カットオフ品位の引き下げ）およびこれに伴う採掘鉱体の拡大を実現すると共に、新たな周辺探鉱を行い埋蔵鉱量の大幅増加を計る。これらの実施によって、2015~2020 年までの鉱量を確保する。

一方、鉱業共同組合は、現在、300~360 千 t/y 継続の採掘を行っているが、採掘範囲のデータはほとんどない。パイラピリ社と同様の対策を実施することによって同程度の鉱量を確保する。

2) 銀鉱染型鉱床（現在、採掘対象外）

Bernstein (1989) は、ポテンシャル鉱量 441 百万トン、105.6g/tAg、0.1~0.17%Sn と見積もっている。そのうちの高品位鉱は、143 百万トン、174.0g/tAg、0.1~0.25%Sn と見積もられ、銀のヒーブリーチングの対象となる。露天堀採掘が必要となるが、セロ・リコ・デ・ポトシ山を含むポトシ市が世界遺産に

指定されている現状では、露天掘りの適用は困難である。

3) 崩落/漂砂鉱床（現在、採掘対象外）

Bernstein (1989) は以下のように見積もった。

① 廃石 (デスモンテ) : 5,600 千トン、213.1g/tAg、0.1~0.25%Sn

② スーク : 1 億トン、75.7g/tAg、0.12%Sn

これらの内高品位部分は銀、錫の採取対象となりうる。銀回収のモデルプラントによる試験結果、採取可能品位の下限と鉱量が明確になる。

4) 鉱脈型錫鉱床（現在、採掘対象外）

錫鉱脈に対する最後の 1986 年の鉱量計算では、坑内に 1,310 千トン、1.01%Sn の鉱量を計上している。

しかし、経済情勢の変化のため 1986 年に放棄されている。今後大幅な経済情勢の変化や、低コストでの錫選鉱法が取り入れられれば、改めて採掘見直しが必要である。

(3) 採鉱

1) 採鉱

近年、鉱山採掘会社およびグループは、ボーリングや坑道による採鉱を実施していない。数名の地質技師が、パイラピリ社が操業しているパイラピリ鉱山で品位図作成のため、切り羽で分析試料採取を行っている程度である。

鉱山協同組合が操業している坑内では、地質技師は常駐していないし、正確な坑道図も作成されていない。

従って、鉱量計算も将来を展望できる長期的なものは作られていない。

2) 採鉱

ポトシ県ビルコマヨ川水系の鉱種別鉱床、鉱山、製錬所の位置を図 2-

2-3 に示す。ポトシ県の産業の過半は鋳業である。しかも、その中心となるのがセロ・リコ・デ・ポトシ鋳山（以下「ポトシ鋳山」）である。

ボリヴィア鋳山公社は、1952 年の国有化からポトシ鋳山の採掘を行い、1985 年まで錫粗鋳を採掘した。錫価格暴落のため、1986 年からは対象を銀・亜鉛鋳石に切り換え、生産した。ボリヴィア鋳山公社は、1994 年にはポトシ鋳山の採鋳・選鋳から撤退した。一方、ボリヴィア鋳山公社の撤退の前から、鋳業協同組合が採掘を開始しており、1993 年には鋳業協同組合の 28 組は、労働者約 10,000 人により 1,000~1,500t/d の鋳石を採掘した。

ポトシ鋳床には、約 50 の採掘鋳区がある。この山の大部分を覆っている最も大きな鋳区約 6 km²の ラ・ボリビアーナ (La Boliviana) は、ボリヴィア鋳山公社の所有である。ボリヴィア鋳山公社は多くの漂砂鋳床を所有しているが、大きな部分がその他のものに所属している。

現在ポトシ鋳床は、パイラピリ社と、30 の鋳業協同組合の二つのグループによって銀・亜鉛鋳石が採掘されている。パイラピリ社と鋳業協同組合の採掘範囲は、原則として分離されている。合計の生産量は、1,300~1,600t/d で、そのうちパイラピリ社は約 300t/d、その他のグループが残りの鋳量を生産していると推定される。年間操業日数は、実績で 200 日程度と推定されるので、年産 300 千トン程度の粗鋳生産であると見込まれる。

産出鋳量の過去の実績（一部）は、次のとおりである。

ポトシ鉱床の産出鉱量

| 年 | 鉱量(t) | | 品位(ポリヴィア鉱山公社分のみ) | | |
|------|-----------------|-------------|------------------|--------|----------|
| | ポリヴィア鉱山公社(その他*) | | Sn (%) | Zn (%) | Ag (g/t) |
| 1972 | 268,571 | -- | -- | -- | -- |
| 1976 | 279,835 | -- | 0.97 | -- | -- |
| 1980 | 422,578 | -- | 0.46 | -- | -- |
| 1985 | 194,886 | -- | 0.63 | -- | -- |
| 1988 | 75,232 | (*250,000?) | -- | 3.20 | 271 |
| 1993 | 47,436 | (*250,000?) | -- | 6.82 | 328 |

(ポリヴィア鉱山公社, Annual report)

* Estimated production by cooperatives

一方、地表に積み上げられた鉱山廃石は、低品位の錫と、100~200g/t 程度の銀を含有しているが、現在ポトシ鉱山の南方 5 km に位置するコムスール (COMSUR) 社子会社のコムコ (COMCO) 社の銀ヒーブリーチング工場へ送られている。現在コムコ社の工場は、1,000t/d の処理能力で、1997 年には約 300 千トン、約 150g/tAg の鉱石が処理されている。稼働開始以来、1997 年までの 10 年間で 2,700 千トンの鉱石が処理された。

標高 4,205m のピラピリ準を nivel 0 (0m レベル坑：基幹坑道)として、坑準間約 30m で主要坑道が入っている。最下レベルは、3,750m の第 15 坑準であるが、3,900m の第 10 坑準付近まで水没している。

1993 年現在、坑口の数は 437 個確認されている。

ピラピリ社の稼行範囲では、カットアンドフィルとシュリンケージ法による採掘が行われている。電動巻き上げ機、トロリー電車、圧気式削岩機などを使用しているが、大型重機は持っていない。

一方、粗鉱の大半を生産している鉱山協同組合は、近代的採鉱法は用いず、大部分はハンマーとタガネによるなど、もっぱら人力に頼ったいわゆ

るタヌキ堀的な方法で採鉱している。保安対策も全く不十分である。

4,400m以上の錫酸化鉱は、ほとんど掘り尽くされている。4,200m～4,400m間は選鉱の難しい錫硫化鉱が優勢であるが、相当部分採掘されてしまっている。

同様に4,400m以上の銀鉱石も、19世紀までにほぼ掘り尽くされている。現在4,200m～4,400m間は、銀・亜鉛鉱脈が対象に盛んに採掘されている。

現在稼働されているのは、いずれも南東部に位置する古くから知られている鉱脈を対象としており、大量の残存鉱量は期待できない。ただし最近発見され、積極的に採掘され始めたプロモ (Plomo) 脈は、高品位で優勢な鉱脈とされている。

3) 選鉱

採掘された鉱石はポトシ市内及び近郊に散在するインヘニオで処理される。

インヘニオの数は、調査開始時には計34と言われていたが、調査中に39に増加し、その後新しいインヘニオが建設されて、第4次現地調査が終了する時点では計42('98.10現在)となった。個々のインヘニオの栄枯盛衰は激しいが、全体に増加傾向にある。

設備能力は、過半のインヘニオが50t/d以下の小規模零細であり、最大のインヘニオでも370t/dの中規模に留まる。何れも規模が小さい上に経験による操業が多いことより、生産性は低い。

インヘニオの設備能力の分類

| 設備能力 t/d | ～50 | 51～100 | 101～ | 計 |
|----------|-----|--------|------|----|
| インヘニオ数 | 27 | 11 | 4 | 42 |

注) Min.5t/d, Max.250→370t/d(増産後)

休止中の8個所のインヘニオを除く操業インヘニオの設備能力は計2,365t/dであるが、実処理量は1,277～1,568t/dと想定され、全インヘニオが操業しても処理量は計1,300～1,600t/d程度と推定される。

大部分のインヘニオはポトシ鉱山*1の鉱石を処理しているが、一部インヘニオは他鉱山*1の鉱石も処理している。

*1：ボリヴィア鉱山公社系統のEmpresa Minera Pailaviri R.C.社と、約30社よりなる鉱業協同組合

*2：Propias, Comparas Part, Animas, Porco, Oruro, Prov. San Lucas, Adya各社

何れのインヘニオも、含銀方鉛鉱(PbS)と含銀閃亜鉛鉱(ZnS)のみを採取対象鉱物*1とし、破砕-摩鉱-浮遊選鉱(以下浮選)*1の選鉱処理を行い、含銀鉛精鉱と含銀亜鉛精鉱との2精鉱を得ている。成績は、不十分で改善の余地がある。

一部のインヘニオは、選鉱用水リサイクルのために、沈殿地程度の簡単な設備を備えているが、鉱害防止の観点からすれば全てのインヘニオが廃滓処理設備を持たず、アルカリ性の尾鉱(廃滓)を直接川へ垂れ流している。

*3：1箇所のみが、鉛/亜鉛浮選尾鉱より比重選鉱にて錫石(SnO₂)を不十分ながらも少量採取している。

*4：鉛/亜鉛直接優先浮選方式

選鉱の歴史を表2-2-2に、インヘニオの調査結果('98.10現在)を表2-2-3に、インヘニオの選鉱成績('98.1~3他調査)を表2-2-4に、インヘニオ使用の選鉱剤('98.2調査)を表2-2-5に、インヘニオと河川及び河川水質サンプリングポイント('98.10現在)を図2-2-4に、インヘニオの選鉱フローを図2-2-5に、又インヘニオ関係の写真をANNEX(2)のPhotograph "Ingenios" 1~7に示す。

表 2.2-1 鉍物名

| 鉍物名 | 化学式 | 西語名 | 英語名 |
|--------|--|-------------------------|------------------------|
| 自然金 | Au | oro nativa | native gold |
| 自然銀 | Ag | plata nativa | native silver |
| 輝銀鉍 | Ag ₂ S | argentita | argentite |
| 濃紅銀鉍 | Ag ₃ SbS ₃ | pirargirita | pyrargyrite |
| 淡紅銀鉍 | Ag ₃ AsS ₃ | proustita | proustite |
| マ手ル夕鉍 | AgBiS ₃ | matildita | matildite |
| 脆銀鉍 | Ag ₃ SbS ₄ | estefanita | stephanite |
| 自然銅 | Cu | cobre nativo | native copper |
| 黃銅鉍 | CuFeS ₂ | calcopirita | chalcopyrite |
| 硫砒銅鉍 | Cu ₃ AsS ₄ | cnargita | enargite |
| 斑銅鉍 | Cu ₅ FeS ₄ | bornita | bornite |
| 銅藍 | CuS | covelita, covelina | covellite, covellin |
| 輝銅鉍 | Cu ₂ S | calcocina, calcocita | chalcocite |
| 赤銅鉍 | Cu ₂ O | cuprita | cuprite |
| 黑銅鉍 | CuO | tenorita | tenorite |
| 孔雀石 | Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂ | malaquita | malachite |
| 珪孔雀石 | CuSiO ₃ ·2H ₂ O | crisocola | chrysocolla |
| 藍銅鉍 | Cu ₂ (CO ₃) ₂ ·(OH) ₂ | azurita | azurite |
| 四面安銅鉍 | (Cu,Fe) ₁₁ Sb ₃ S ₁₃ | tetrahedrita | tetrahedrite |
| 四面砒銅鉍 | (Cu,Fe) ₁₁ As ₃ S ₁₃ | tennantita | tennantite |
| 含銀四面銅鉍 | (Ag,Cu,Fe) ₁₁ (Sb,As) ₃ S ₁₃ | | freibergite |
| 胆ばん | CuSO ₄ ·5H ₂ O | calcantita | chalcantite |
| 方鉛鉍 | PbS | galena | galena |
| 硫酸鉛鉍 | PbSO ₄ | anglesita | anglesite |
| 白鉛鉍 | PbCO ₃ | cerusita | cerussite |
| 閃亞鉛鉍 | ZnS | esfalerita, zinc-blenda | sphalerite, zincblende |
| 鐵閃亞鉛鉍 | (Zn,Fe)S | marmatita | marmatite |
| 菱亞鉛鉍 | ZnS | wurtzita | wurtzite |
| 異極鉍 | ZnCO ₃ | smithsonita | smithsonite |
| 珪酸亞鉛鉍 | Zn ₃ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ ·H ₂ O | hemimorfita | hemimorphite |
| 紅亞鉛鉍 | Zn ₂ SiO ₄ | willemita | willemitite |
| 紅亞鉛鉍 | ZnO | cincita | zincite |
| 錫石 | SnO ₂ | casiterita | cassiterite |
| 黃錫鉍 | Cu ₂ FeSnS ₄ | estannita, estannina | stannite |
| 磁鐵鉍 | FeO·Fe ₂ O ₃ | magnetita | magnetite |
| 針鐵鉍 | α-FeO(OH) | goetita | goethite |
| :(褐鐵鉍) | | :(limonita) | :(limonite) |
| 菱鐵鉍 | FeCO ₃ | siderita | siderite |
| 赤鐵鉍 | α-Fe ₂ O ₃ | hematita | hematite |
| 黃鐵鉍 | FeS ₂ | pirita | pyrite |
| 白鐵鉍 | FeS ₂ | marcasita | marcasite |
| 磁硫鐵鉍 | Fe _{1-x} S | pirotina | pyrrhotite |
| 輝安鉍 | Sb ₂ S ₃ | estibina | stibnite |
| 毛鉍 | Pb ₂ FeSb ₂ S ₁₄ | jamesonita | jamesonite |
| 自然砒 | As | arsenico nativo | native arsenic |
| 冠石 | AsS | rejalgar | realgar |
| 石黃: 雄黃 | As ₂ S ₃ | oropimente | orpiment |
| 硫砒鐵鉍 | FeAsS | arsenopirita | arsenopyrite |
| 自然蒼鉛 | Bi | bismuto nativo | native bismuth |
| 輝蒼鉛鉍 | Bi ₂ O ₃ | bismutinita | bismuthinite |
| 蒼鉛鉍 | Bi ₂ O ₃ | bismita | bismite |
| 石英 | SiO ₂ | cuarzo | quartz |
| 方解石 | CaCO ₃ | calcita | calcite |
| 石灰岩 | CaCO ₃ | pedra caliza | limestone |
| 明礬石 | K-Al-SO ₄ | alunita | alunite |
| 螢石 | CaF ₂ | fluorita | fluorite |
| | CaAl ₂ (F,OH) ₄ | | prosoquite |
| 自然硫黃 | S | asufre nativo | native sulphur |

表 2-2-2 ポトシ鉱に対する選鉱処理の流れ（歴史）

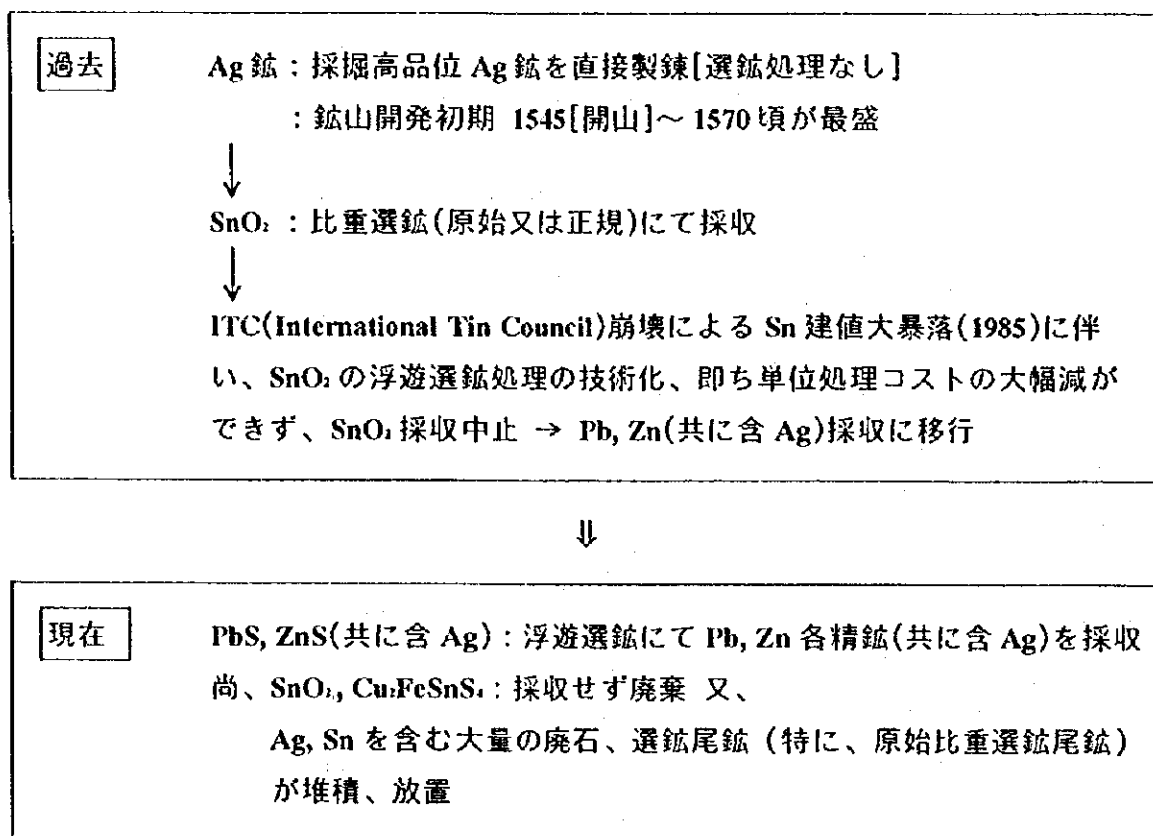


表 2-2-3 インヘニオ調査 : '98.10.20

| No. | 現インヘニオ名 | 前インヘニオ名 | 設備能力 t/d :今次(県) | 備考 |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|------|
| 1 | Nanay | | 30 (60) | |
| 2 | San Jose | Petra Minerales | 40 (60) | |
| 3 | OTTO:Vera Cruz OTTO | Star Yuntin Mineral Process | 250 (100) | |
| 4 | San Miguel | | 45 (80) | |
| 5 | Bolivar | | 45 (75) | |
| 6 | San Juan | | 40 (40) | |
| 7,8 | E.M.C.A. | Vera Cruz I, II | 130 (80) | |
| 9 | Denver | | 50 (45) | |
| 10 | Molino | | 40? (40) | 摩鉢のみ |
| 11 | Santa Catalina I: Copacabana? | Santa Catalina | 80 (80) | |
| 12 | San Silvestre? | Ingenio Mecanizado | 20 (40) | |
| 13 | Candelaria | Don Quijote | 15 (15) | |
| 14 | San Francisco | | 5 (5) | 休止中 |
| 15 | Zabaleta | | 40 (40) | |
| 16 | Ingenio Sagarnaga:EMPO | | 10 (10) | |
| 17 | Copacabana | Cortez | 100 (50) | |
| 18 | Daniela | San Luis | 50 (50) | |
| 19 | Palliris | | 20 (20) | 休止中 |
| 20 | Dolores | | 30 (10) | |
| 21 | (Nova) Cruz del Sur | | 30 (15) | |
| 22 | Asuncion | Choque-Inclan(y Hnos) | 60 (30) | |
| 23 | Velarde | | 250 (120) | |
| 24 | Andina | Alave | 5 (10) | 休止中 |
| 25 | Thuru | | 50 (100) | |
| 26 | Gonzalez-Martinez | | 20 (10) | 休止中 |
| 27 | SOMIL(- La Chaca) | Tuntuco | 250 (370) | |
| 28 | COMICEL | San Jorge | 40 (30) | 休止中 |
| 29 | (Nova) Fortaleza | Tihuanacu | 70 (50) | 休止中 |
| 30 | Compania Metalurgica Potosi | | 40 (80) | 休止中 |
| 31 | Mendoza | San Jose de Berque | 60 (65) | |
| 32 | LAMBOL | | 200 (200) | |
| 33 | Santa Lucia | | 80 (60) | |
| 34 | Occidental | | 50 (40) | |
| 35 | IMSUR | Ingenio del sur | 100 (60) | |
| 36 | Guadalupe | | 20 (20) | 破碎のみ |
| 37 | Ingenio San Pedro Potosi | | 30 (35) | |
| 38 | Copacabana | | 25 (25) | |
| 39 | Santa Catalina II: San Cristobal? | | 40 (40) | 建設中 |
| 40 | San Jorge | | 100 (120) | |
| 41 | SOMINKOR | INTI | 100 (80) | |
| 42 | La Aliada | | 50 (60) | |
| 計 42 インヘニオ | | | 2,710(2,520) | |
| (参考 : 県調査) 休止中(No. 1,10,14,16,19,24,26,39)を除く 設備能力(A) 2,365t/d 処理規模(B) 1,702 ~ 1,742t/d 処理率(B/A) 72 ~ 74% 年間稼働率 75 ~ 90%(想定) 処理量 1,277 ~ 1,568t/d(想定) | | | | |

注) (1)インヘニオの位置は、図 5-1-2 を参照願う。
(2)'98.10.20 伊東、Ing. LLanos : ()内 県調査[参考]

表2-2-4 インヘニオ選鉱成績：(98.1~3)他

| インヘニオ名 | 原鉱 | | | | Pb精鉱 | | | | | | Zn精鉱 | | | | | | 尾鉱 | | | | | |
|-----------------------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|------|------|-----|
| | 鉱量 t/年 | 品位 | | | 鉱量 t/年 | 品位 | | | 採取率 | | | 鉱量 t/年 | 品位 | | | 採取率 | | | 鉱量 t/年 | 品位 | | |
| | | Pb % | Zn % | Ag g/t | | Pb % | Zn % | Ag g/t | Pb % | Zn % | Ag % | | Pb % | Zn % | Ag % | Pb % | Zn % | Ag g/t | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.Nanay *5 | 9,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2.San Jose *5 | 12,000 | --- | 9.0 | 200 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 52.3 | 932 | --- | --- | --- | --- | 9,600 | --- | 0.89 | --- |
| 3.OTTO *5 | 75,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 1,550 | --- | --- | --- | --- | 26,700 | --- | --- | --- |
| 4.San Miguel *1 | 27,261 | 1.67 | 12.3 | 352 | 790 | 31.2 | 15.0 | 4,485 | 54.1 | 3.5 | 36.9 | 5,454 | 1.7 | 52.4 | 851 | 20.0 | 85.5 | 48.4 | 21,017 | 0.56 | 1.74 | 73 |
| 5.Bolivar *5 | 13,500 | --- | 17.0 | 500 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 800 | --- | --- | --- | --- | 9,600 | --- | 1.2 | 50 |
| 6.San Juan *5 | 12,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 7.E.M.C.A. *5 | 39,000 | --- | 13.0 | 200 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 53.5 | 4,400 | --- | --- | --- | --- | 30,000 | --- | --- | --- |
| 9.Denver *5 | 15,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 12,300 | --- | --- | --- |
| 10.Molino *5 | 12,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 11.Santa Catalina 1*2 | 24,000 | --- | 15.0 | 400 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 6,840 | --- | 52.0 | 400 | --- | --- | --- | 20,400 | --- | 1.9 | --- |
| 12.San Silvestre *5 | 6,000 | --- | 15.0 | 620 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 1,200 | --- | --- | --- | --- | 3,000 | --- | 1.2 | 90 |
| 13.Candelaria *5 | 4,500 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 14.San Francisco *5 | 1,500 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 15.Zabaleta *5 | 12,000 | --- | 12.0 | 250 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 800 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.8 | 50 |
| 16.Inhenio Sagarnaga | 3,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.Copacabana *5 | 30,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.Daniera *5 | 15,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.Palliris *5 | 6,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20.Dolores *5 | 9,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 72 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 6,900 | --- | --- | --- |
| 21.Cruz del Sur *5 | 9,000 | --- | 15.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 420 | --- | 50.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 3.0 | --- |
| 22.Asuncion *5 | 18,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 23.Velarde *5 | 75,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 24.Andina *5 | 1,500 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 25.Thuru *5 | 15,000 | --- | 9.0 | 700 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.5 | --- |
| 26.Gonzalez-Martinez | 6,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.SOMIL *3 | 111,000 | 1.30 | 8.0 | 125 | 975 | 52.0 | 9.0 | 2,000 | 65.0 | 1.8 | 26.0 | 8,448 | 1.2 | 50.0 | 301 | 13.0 | 88.0 | 33.9 | 50,577 | 0.34 | 0.97 | 59 |
| 28.COMICEL *5 | 12,000 | --- | 12.0 | 600 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 1,500 | --- | --- | --- | --- | 9,900 | --- | --- | --- |
| 29.Fortaleza *5 | 21,000 | --- | 8.5 | 200 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 2,760 | --- | 49.0 | 1,000 | --- | --- | --- | 12,600 | --- | 1.2 | 100 |
| 30.Comp.Meta.Potosi | 12,000 | --- | 10.0 | 300 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 700 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.9 | --- |
| 31.Mendoza *5 | 18,000 | --- | 14.0 | 500 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 3,000 | --- | 52.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.2 | 50 |
| 32.LAMBOL *5 | 60,000 | --- | 11.0 | 250 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 50.0 | 850 | --- | --- | --- | --- | 48,000 | --- | --- | --- |
| 33.Santa Lucia *5 | 24,000 | --- | 15.0 | 300 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 51.0 | 1,000 | --- | --- | --- | --- | 14,700 | --- | 0.8 | 50 |
| 34.Occidental *4 | 9,321 | 2.46 | 11.2 | 271 | 220 | 48.3 | 12.8 | 3,270 | 46.5 | 2.7 | 28.4 | 1,699 | 3.1 | 52.6 | 646 | 23.1 | 85.9 | 43.4 | 7,401 | 0.94 | 1.60 | 96 |
| 35.IMSUR *3 | 23,640 | 0.85 | 9.0 | 300 | 263 | 30.0 | 20.0 | 6,000 | 40.2 | 2.5 | 22.8 | 3,583 | 2.0 | 49.0 | 950 | 35.7 | 82.6 | 48.0 | 19,793 | 0.25 | 1.65 | 105 |
| 36.Guadalupe *5 | 6,000 | --- | 16.0 | 350 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1,320 | --- | 52.0 | 700 | --- | --- | --- | --- | --- | 1.0 | 50 |
| 37.Ing.San Pedro Pot. | 9,000 | --- | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1,116 | --- | 50.0 | 800 | --- | --- | --- | 6,300 | --- | 0.8 | --- |
| 38.Copacabana *5 | 7,500 | --- | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1,248 | --- | 51.0 | 700 | --- | --- | --- | 6,300 | --- | 2.2 | --- |
| 39.Santa Catalina 2*5 | 12,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 40.San Jorge *5 | 30,000 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 41.SOMINKOR *5 | 30,000 | --- | 10.0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 3,120 | --- | 50.0 | --- | --- | --- | --- | 17,100 | --- | 0.8 | --- |
| 42.La Aliada *5 | 15,000 | --- | 13.0 | 300 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 6,360 | --- | 50.0 | 800 | --- | --- | --- | 18,900 | --- | 1.1 | 50 |

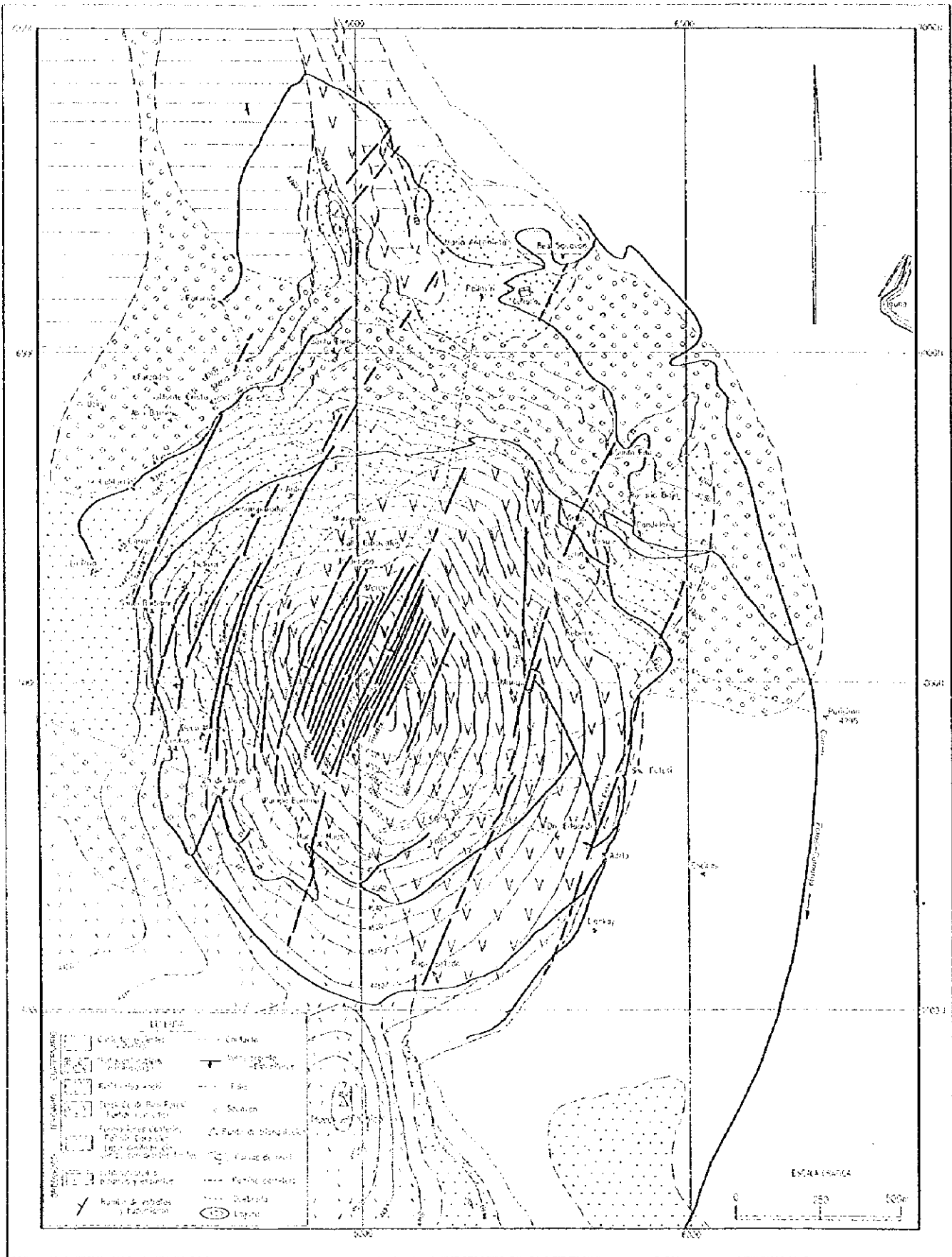
注) *1: 概算('97.11分で1年分を試算：伊東調査)、*2: 概算('97は、上記の他 Sn 原鉱(Sn1%)、Sn 精鉱(Sn35%) 7.2t/年あり：伊東調査)、*3: 概算(300日操業)、*4: 実績(1996.11.01~1997.10.31：伊東調査：No.27 SOMIL 原鉱量は増産後の値)、*5: 概算(300日操業想定：原鉱量は'98.10伊東、Llanos 調査)
 ○ No.4,27,34,35:伊東調査('98.1~3)、その他:果調査('97.1)

表 2-2-5 インヘニオ選鉱剤 : '98.02.09

| 摘 要 | 1. SOMIL : ex- LA CHACA | 2. LAMBOL | 3. DEL SUR (SUD) : IMSUR | 4. SANTA CATARINA | 5. SAN MIGUEL | 6. OCCIDENTAL |
|--|--|---|---|---|---|---|
| 1. 設備能力 | 250t/d | 200t/d | 100t/d | 80t/d | 45t/d | 30(/50)t/d |
| 2. 浮選方式 | Pb-Zn 直接優先 | Pb-Zn 直接優先 | Pb-Zn 直接優先 | Pb-Zn 直接優先 | Pb-Zn 直接優先 | Pb-Zn 直接優先 |
| 3. 浮選給鉱粒度(Pb 浮選) | -48mesh 100% : +65mesh 約 10% | -150mesh 75% : +65mesh 13% | ①-65mesh 85% ②-100mesh 75% | -60mesh 80% | -65mesh 85% | -100mesh 80% |
| 4. pH | | | | | | |
| (1)Pb 浮選 | 6~7: ナチュラル | 8: ナチュラル | 7.5~8.5 | 8~10 | 7.5~9 | 7.5 |
| (2)Zn 浮選 | 10~11 | 10.5~11 | 10~11.5 | 13~14 | 11~12 | 10~11 |
| 5. 浮選剤 | g/t | g/t | g/t | g/t | g/t | g/t |
| (1)Pb 浮選 | | | | | | |
| ① pH 調整剤 | なし*1 | なし*1 | CaO*4(計 2,500) | CaO*4(計 5,500) | CaO*4(計 3,772) | CaO*4(計 6,790) |
| ②抑制剤 (対活性 ZnS), (対 FeS ₂)*2 (対 SiO ₂ 等) | NaCN 52 ZnSO ₄ 15 NaSiO ₃ 23 | NaCN 50 ZnSO ₄ 100 | NaCN 25 | NaCN 40 | NaCN 34 | NaCN*6 40 [+ZnSO ₄] |
| ③捕収剤 (対 PbS) (対 Ag 鉱物) | Z-14*3 約 3 Aeroflot 242 17 | Z-14*3 約 30 Aeroflot 242 2.5 | SF-113*5 約 30 | SF-113*5 約 40 | SF-113*5 約 36 | Z-11*5 約 9 Aeroflot 208 17 |
| ④起泡剤 | DowFroth 1012, 250 約 39 MIBC 37 | DowFroth 1012, 250 約 15 | DowFroth 1012 約 50 | DowFroth 1012 約 35 | DowFroth 1012 約 40 | DowFroth 1012 約 35 |
| (2)Zn 浮選 | | | | | | |
| ① pH 調整剤 | CaO 1,915 | CaO 10,000 | CaO*2 --- | CaO*2 --- | CaO*2 --- | CaO*2 --- |
| ②抑制剤 (対 FeS ₂)*2 | (同上) | (同上) | (同上) | (同上) | (同上) | (同上) |
| ③活性剤 (対 ZnS) | CuSO ₄ ·5H ₂ O 566 | CuSO ₄ ·5H ₂ O 386 | CuSO ₄ ·5H ₂ O 600 | CuSO ₄ ·5H ₂ O 500 | CuSO ₄ ·5H ₂ O 380 | CuSO ₄ ·5H ₂ O 370 |
| ④捕収剤 (対 ZnS) | Z-14*3 約 73 | Z-14*3 約 83 | SF-114*3 約 120 | SF-114*3 約 60 | SF-114*3 約 66 | Z-14*3 約 51 |
| ⑤起泡剤 | DowFroth 1012, 250 約 9 | DowFroth 1012, 250 約 3 | DowFroth 1012 約 10 | DowFroth 1012 約 5 | DowFroth 1012 約 7 | DowFroth 1012 約 5 |
| 6. 特記事項 | | | | Zn 浮選尾鉱より、SnO ₂ を揺動テーブルにて採取 | | |

注) 伊東調査。EMCA :EX-VERA CRUZ | は、聴取できなかった。

*1: 用水中に石灰分が入っている可能性有り, *2: 抑制剤 CaO, *3: Z-14 = SF-114 = Isopropyl Xanthate, *4: 5.(1)①欄に 5.(1)①と 5.(1)②との計を表示, *5: Z-11 = SF-113 = Isobuthyl Xanthate, *6: PbS 多の場合 NaCN 単独, PbS 少の場合 NaCN[1]+ZnSO₄[3]



(after GEOROL 1968)

図 2-2-1 ポトシ鉱山の地質図

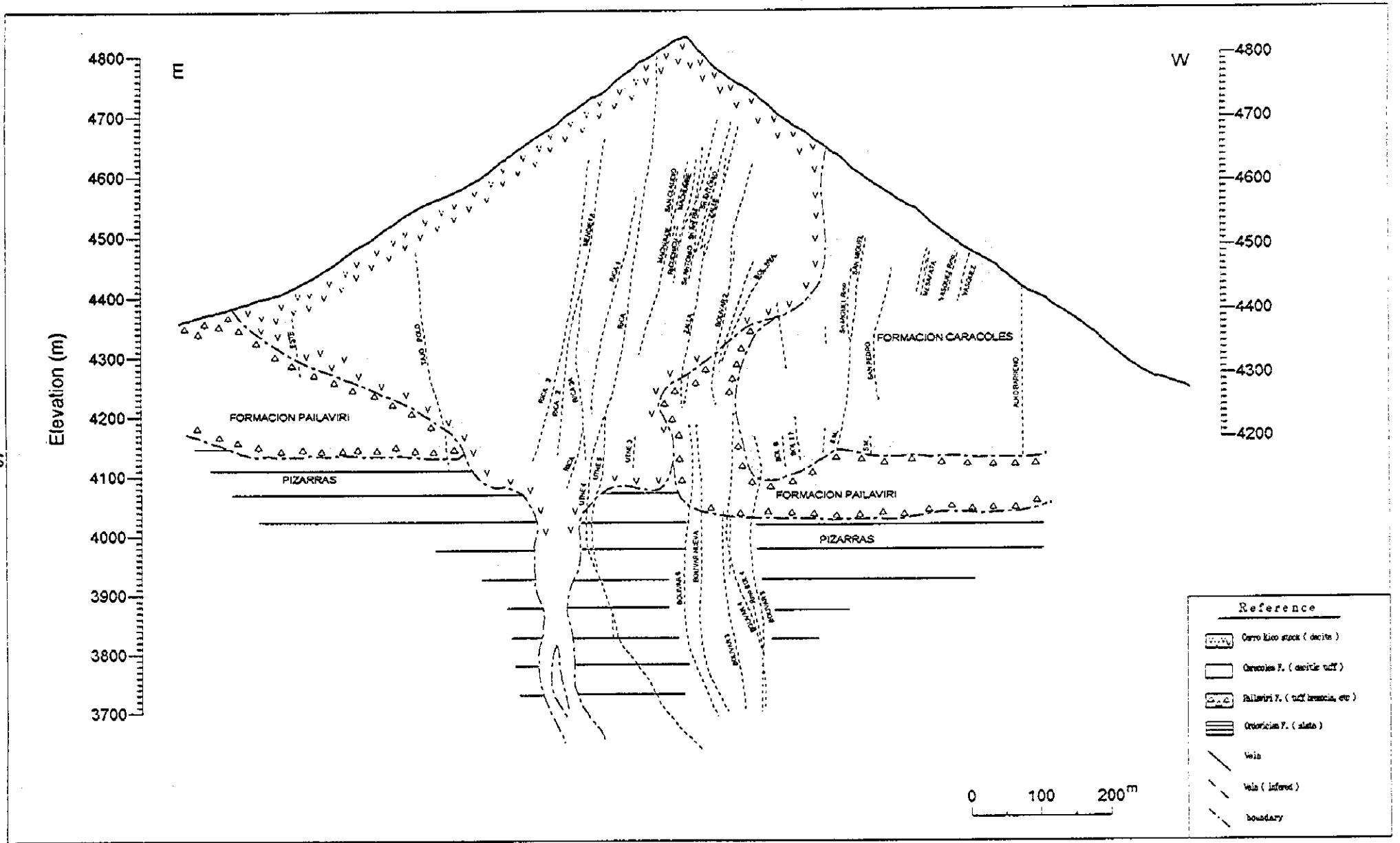


図 2-2-2 ポトシ鉱山の地質断面図

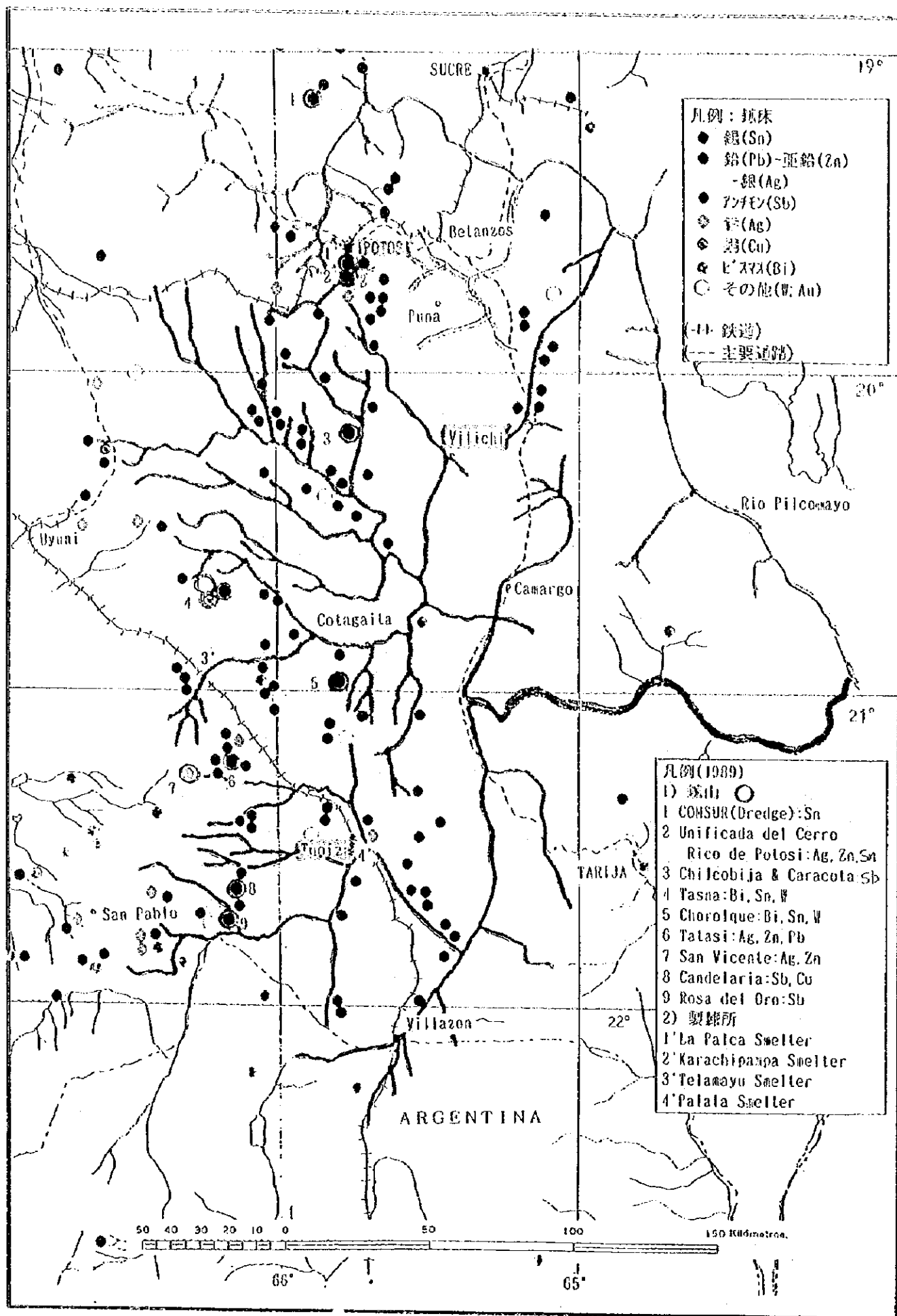
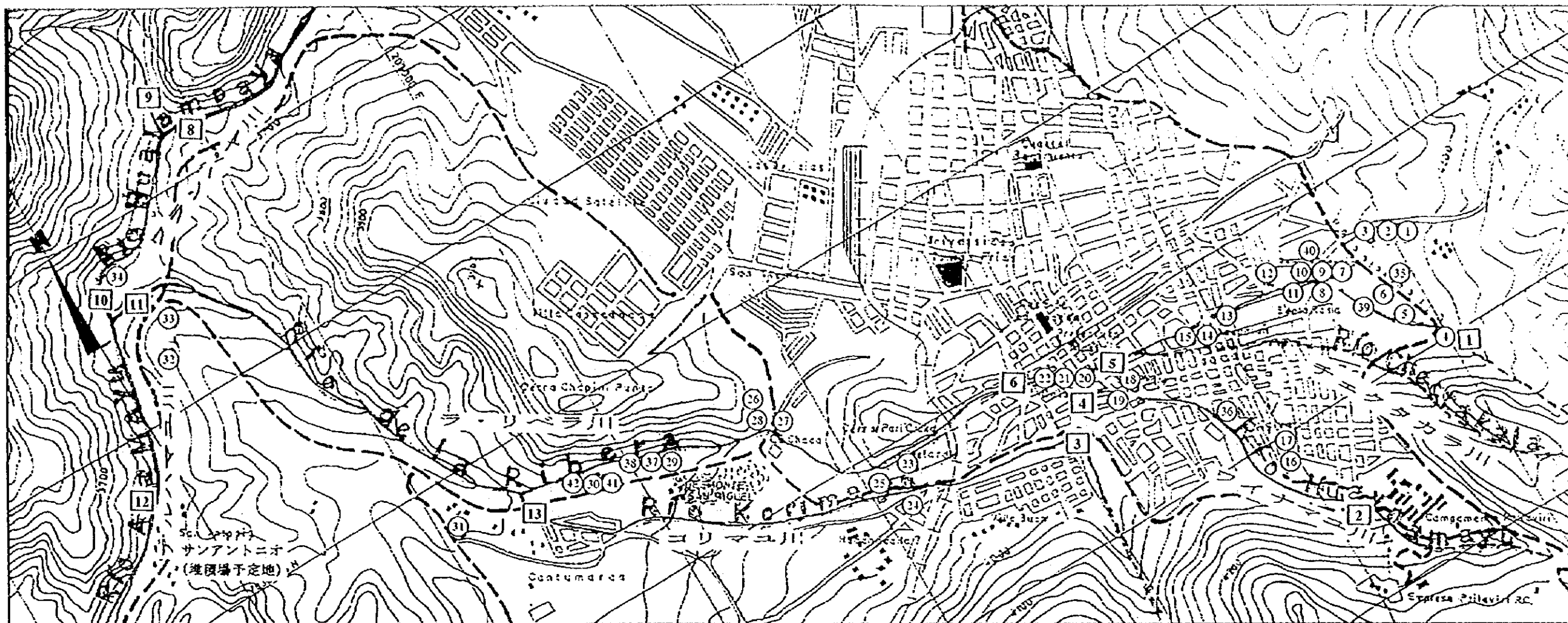


図 2-2-3 ピルコマヨ水系鉱種別鉱床・鉱山・製錬所位置図



| No. | インヘニオ名 | No. | インヘニオ名 | No. | インヘニオ名 | No. | インヘニオ名 |
|-----|----------------------|-----|-------------------------|-----|-----------------------------|-----|--------------------------|
| 1 | Nañay | 12 | San Silvestre | 23 | Yelarde | 34 | Occidental |
| 2 | San José | 13 | Candelaria | 24 | Andina | 35 | IMSUR |
| 3 | OTTO: Vera Cruz OTTO | 14 | San Francisco | 25 | Thuru | 36 | Guadalupe |
| 4 | San Miguel | 15 | Zabaleta | 26 | González-Martínez | 37 | Ingenio San Pedro Potosí |
| 5 | Bolívar | 16 | Ingenio Sagárnaga: EMPO | 27 | SOMIL (- La Chaca) | 38 | Copacabana |
| 6 | San Juan | 17 | Copacabana | 28 | COMICEL | 39 | Santa Catalina 2 |
| 7 | E.M.C.A. | 18 | Daniela | 29 | (Nova) Fortaleza | 40 | San Jorge |
| 8 | | 19 | Palliris | 30 | Compañía Metalúrgica Potosí | 41 | SOMINKOR |
| 9 | Denver | 20 | Dolores | 31 | Mendoza | 42 | La Aliada |
| 10 | Molino | 21 | (Nova) Cruz del Sur | 32 | LAMBOL | | |
| 11 | Santa Catalina 1 | 22 | Asunción | 33 | Santa Lucía | | |

| 凡例 | |
|-------|---------------|
| ⑩ | インヘニオ |
| ~~~~~ | 河川 |
| +++++ | 鉄道 |
| - - - | 道路 |
| □12 | 河川水質のフリングポイント |

図 2-2-4 ポトシ市におけるインヘニオ(選鉱場)と河川及び河川水質サンプリングポイント('98,10 現在)

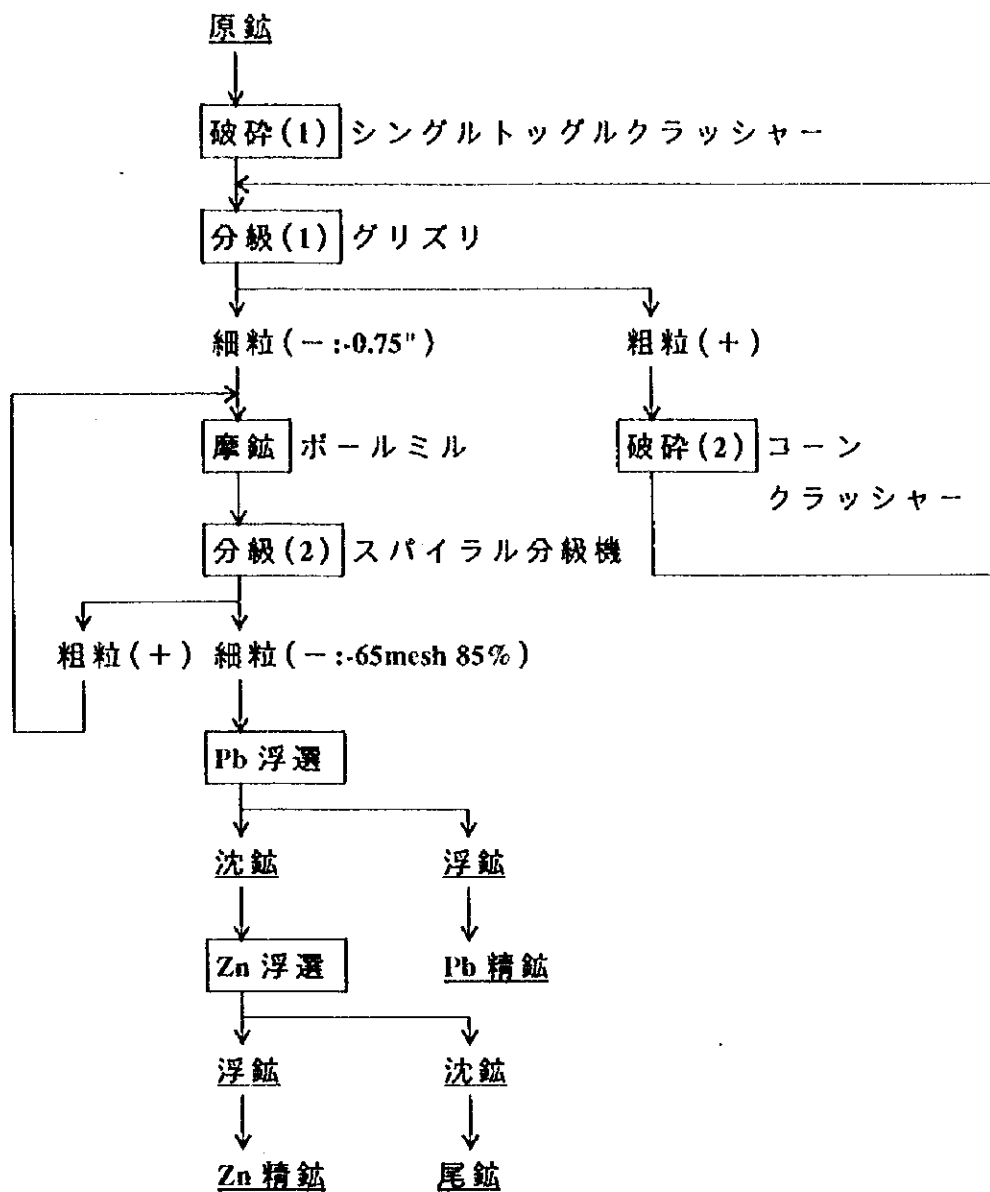


図 2-2-5 インヘニオ選鉱フローチャート
: 典型例 SAN MIGUEL