

第5章 汚染源と鉱害発生メカニズム

5-1 汚染源（汚染源マップ）

5-1-1 坑内湧水、堆積場浸透水、廃石捨て場浸透水（酸性水）

(1) 水質の汚染源

ポトシ地区のポトシ山に源流のある3河川（ワイナマユ川、コリマユ川およびケブラダ・ハジャホマユ川とその支流が流入したアグワ・ドゥルセ川）の鉱山系汚染発生源は以下に分類することができる。

① 鉱山坑内湧水

坑口から流出する坑内水

② 廃石（“ずり”または捨石）堆積場の浸透水

岡出し（採掘後搬出）された低品位の採掘鉱の堆積場から流出する浸透水

③ 選鉱尾鉱（廃滓）の浸透水

廃滓堆積場から流出する浸透水、以下に分類

③-1：スークから流出する浸透水

③-2：比重選鉱（錫）尾鉱の堆積場から流出する浸透水

③-3：鉛、亜鉛の浮遊選鉱尾鉱の堆積場から流出する浸透水

③-4：銀のヒーブリーチング場（休止中）のヒーブからの浸透水

(2) 試料採取地点の特徴

ポトシ地区の鉱山系汚染水による水質汚染のメカニズムを把握するために、30の試料採取地点を選定した。ポトシ鉱山の斜面には廃石堆積場や廃滓堆積場の多くが密集しており、降雨時に、雨水が広範囲にまたがるこれらの汚染源の表面や内部を浸透し、酸性の汚染水へと変化しながら河川に注いでいる。このため、汚染源ごとに試料採取地点を定めることは困難であった。したがって、汚染源が明確な廃水ならびに汚染源周辺の流水、湧き水、溜まり水、井水等の試料採取地点と定め、地域の汚染状況を把握することにした。なお、試料採取地点の選定にあたっては既存資料*1を参考とした。

また、ポトシ地区の主要 3 河川の汚染源には、酸性の鉱山系汚染水以外に生活排水と選鉱場から排出される選鉱尾鉱廃水がある。したがって、これらの汚染源による水質汚濁の状況も把握できるよう配慮して、試料採取地点選定した。

* 1 : Department of Cooperation and Development of Political University of CATALUNA (Spain) and Tomas Frias University of Potosi (Mine Faculty) (1997) ,Determination of Piezometric Level and Possible Pollution of this Water Associated with Mining Activities in the city of Potosi

試料採取地点を図 5-1-1 に示す。また、試料採取地点の特徴を表 5-1-1 に示す。

(3) 水質調査結果

1) 水質調査の方法

水質調査は雨期と乾期とに亙って行った。試料の採取は、雨期は 1998 年 1 月 31 日から 2 月の間に、乾期は 6 月に行った。

乾期には、降雨量が少ないために、分析に必要な量の試料の採取が困難な採取地点もあった。

水質分析は ASTM に従って行った。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。排水路が狭く、また浅いところは簡便法を採用した。

2) 水質分析結果及び考察

水質分析の結果を表 5-1-2 に示す。

汚染源ごとの廃水の水質は以下のとおりである。なお、現地において、②の廃石（またはずりまたは捨石）堆積場と、③-1 のスークは、それらが複合した堆積場もあることから、その区別はきわめて困難である。そのため、廃水の特徴の考察は、代表的な試料採取地点を抽出して行った。

雨期、乾期の水質に大差は見られない。また、生活用水として利用され

ている井水は、やや汚染がみられる。河川では SS 濃度が高く、選鉱場からの廃水と生活排水による汚染があるものと推測される。

① 鉱山坑内水

代表的な廃水は Na12 である。雨期と乾期の水質を比べると、pH は 2.28、2.22 と低く、Cu 182mg/L、198mg/L、Zn 1,050mg/L、1,110mg/L、Cd 16.4mg/L、24.0mg/L と、重金属濃度は他の採取地点と比べて高い。また、SO₄ 濃度も 31,000mg/L と最も高く、T-Fe に占める Fe³⁺ の割合も高いことから、廃水が坑内で酸化されていることが推測される。なお、乾期に高濃度の砒素が検出された。この水はワイナマユ川へ入る。

② 低品位の採掘鉱の堆積場から流出する浸透水

代表的な廃水は Na13 である。鉱山坑内水と同様の傾向の水質を示し、pH は 1.86 と最も低く、Cu 112mg/L、Zn 710mg/L、Cd 4.6mg/L と重金属濃度も高い。

SO₄ 濃度は 19,600mg/L と次に高く、廃水の酸化が同様に認められる。降雨時、この水はワイナマユ川へ流れ込む。

③-1 選鉱尾鉱（スーク）から流出する浸透水

代表的な廃水は Na1 及び Na18 である。汚染の程度は Na12 及び Na13 までは至らないが、pH は順に 2.58、3.09、他の項目は順に Cu 60.0mg/L、4.40mg/L、Zn 144mg/L、916mg/L、Cd 14.0mg/L、45.0mg/L と、同様の傾向が見られる。また、Sn が順に 43.3mg/L、21.9mg/L 検出されている。これらの水はケブラダ・ハジャホマユ川へ入る。

③-2 比重選鉱（錫）尾鉱の堆積場から流出する浸透水

サン・ミゲル堆積場が体系的な発生源である。代表的な廃水は Na26 で、湧き水の流出が常に観測される。この水は直接リベラ川へ入る。

雨期と乾期の水質を比べると、pHは3.14、2.99、重金属はCu 5.20mg/L、6.20mg/L、Zn 60.0mg/L、75.0mg/Lである。雨期のSO₄濃度は1,290mg/Lである。

③-3 鉛、亜鉛の浮遊選鉱尾鉱の堆積場から流出する浸透水

サン・ミゲル堆積場が代表的な発生源である。代表的な廃水はNo16で、乾期は廃水の流出がない。

pHは2.38、重金属はCu 96.0mg/L、Zn 529mg/L、Cd 1.50mg/Lである。またSO₄濃度は9,690mg/Lである。

③-4 銀のヒーリーチング場からの浸透水

ポトシ地区に立地する銀のリーチング・プラントはブラヒボである。試料採取地点はNo27であるが、調査期間中は操業が停止され、また、試料採取も不可能であった。なお、ポトシ地区の南側にコムコが位置しているが、調査地域であるポトシ地区と水系が異なるため調査の対象外とした。

(4) 発生源のメカニズム

ポトシ地区にある河川は通常、鉱山坑内水、生活排水及び選鉱場からの廃水によって汚染されている。降雨時には、廃石堆積場や廃滓堆積場からの流水、浸透水が河川を汚染する。

金属鉱山では主として硫化鉱物を採掘するため、閉山後においても採掘跡には黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱などの鉱物が残り、これらが地下水や空気中の酸素と反応して酸性で重金属を含んだ坑廃水を発生する。鉱業活動によって発生する採掘廃石の堆積場についても、雨水などにより金属が溶出するため、鉱害の発生源となる。また、廃石自体の流出や風による飛散なども問題となる¹¹。これらが酸性の鉱山系汚染水である。

ポトシ山には、東側、北東側及び南西側のそれぞれの山腹にスークがある。

その規模は順に 32,000m²、400,000m²、90,000m²である。鉱山の斜面には廃石捨場や廃滓堆積場が多く密集しており、ポトシ山の 4,400m以上の斜面には酸化鉱が、以下の斜面には硫黄鉱が主に堆積されている^{*2}。ソカボン・レアルの外側の地点では、典型的な鉱山坑内水が常時流出している。ポトシ山東側の麓には休止中のプラヒボの銀リーチング・プラントがある。市街地を西に下った地点にサン・ミゲル廃滓堆積場があり、そのすぐ北側には、酸性水が湧れることなく湧出し、リベラ川に注いでいる。降雨時になると、雨水はそれらの堆積場の表面を流れ、一部は浸透して伏流し、湧水や浸透水となって河川に注いでいる。

鉱山系汚染水が常に流出あるいは流水している場所は、サンプリングポイント Na12（以下同）の鉱山坑内水、Na26 のサン・ミゲル堆積場近くの湧き水、及びNa24 のケブラダ・ハジャホマユ川である。降雨時に鉱山系汚染水を発生する主な汚染源は、山腹に位置する多くの廃石堆積場、旧廃滓堆積場（サン・ミゲル堆積場が代表的）等である。これらの鉱山系汚染水は硫酸酸性を呈し、重金属や砒素などの有害物質を含んでいる。鉱山系汚染水が河川に流入すると、高いアルカリ度を持つ選鉱尾鉱廃水や通常の河川水と反応して難溶性の水酸化物を形成し、中和反応や共沈作用によって液中の溶解性重金属の濃度は低下するがSS汚濁を発生する。

* 1 : Metal Mining Agency of Japan Technical Development Department,
Technical Development of Mine Pollution Control in Japan

* 2 : Bo Lundberg (1996) CORPORACION MINERA DE BOLIVIA Environmental
audit of the Cerro Rico Project, Potosi

(5) 汚染源マップ

セロ・リコ・デ・ポトシ山を中心にした汚染源を整理すると、図 5-1-1 の着色部となる。その汚染系統は表 5-1-3 のように説明できる。大きく分けて、ポトシ山に源を発するワイナマユ川、コリマユ川、ケブラダ・ハジャホマユ川沿いが汚染されている。このほか、付近に廃石のあるヴィラコマユ川の上流など

にも潜在的汚染の可能性はある。

また、リベラ川はインヘニオ排水で汚染されている。

5-1-2 インヘニオ尾鉱 (SS、アルカリ性の水)

すべてのインヘニオ (計 42) が、リベラ川を始めとするポトシ市に係る 4 系統全河川に選鉱尾鉱を全量投棄し、当該河川の深刻な汚濁を生じさせている。同尾鉱は、SS (固形部分) とアルカリ性の水 (水部分) とからなり、これら両者共が、インヘニオによる河川の水質汚濁の原因となっている。これらの選鉱系汚濁は、鉱山系汚濁と共に河川の水質汚濁の主要原因となっている。

近年、インヘニオ尾鉱による河川の水質汚濁が進んでいるが、これは以下の理由による。

1985 年の ITC 崩壊による錫 (Sn) 建値大暴落が発生し、ポトシ市のインヘニオは、それまで実施してきた比重選鉱法にて酸化錫鉱 (錫石 Cassiterite : SnO_2) を採取する方式から浮遊選鉱法により硫化鉛鉱物 (方鉛鉱 Galena : PbS) 及び硫化亜鉛鉱物 (閃亜鉛鉱 Sphalerite : ZnS) を採取する方式に切り替えたことに伴い、次の①～④に示す変化が生じたことによる。

- ① 細粒化 : 鉱石粒度が、比重選鉱用の数～0.5 mm 程度の粗～中粒から、浮遊選鉱用の約 0.3～0.05 mm の中～細粒に細くなるに伴い尾鉱粒度も細粒化した。
- ② 薬剤の使用開始 : 浮遊選鉱法の採用により、浮選剤が使用され、過剰に添加された気泡剤、捕集剤 (有機)、抑制剤 (シアン系等) 等が、尾鉱に残留薬品として含まれたまま放流されるようになった。
- ③ 高 pH 化 : 硫化鉛鉱、硫化亜鉛鉱の採取に適した浮選条件とするために、pH を高くするようになり、これに伴って尾鉱の pH も高くなった。
- ④ 技術不十分 : 各インヘニオは、経験に基づいた操業を行っているところが多く、現在のポトシ鉱山の鉱石に最適なフローと条件とを適用しているとは言えない。その結果、未採取の重金属を多量に含んだ尾鉱を排出するようになった。

インヘニオと河川及び河川水質サンプリングポイントとの位置関係（'98.10現在）を先の図 2-2-4 に示す。

インヘニオの尾鉱に関する調査は難航したが、最終的には、合計 6 個所のインヘニオでショットサンプリングを実施することが出来た。その分析結果を表 5-1-4 に示す。同表において高アルカリで溶存している As、Sb、Cd、Cr、Pb、Zn、Sn 等は両性のために化合物が再溶解したものと考える。また、インヘニオ A、C、F は pH あるいは鉛、亜鉛の分析値からサンプリング時の操業が正常でなかったと判断されることより、これらのデータを異常値として除き、残りの B、D、E のデータをもってアルカリ性の水とし、これに、原鉱、精鉱、尾鉱（固形部分）の分析値を加えたインヘニオ操業主要数値を表 5-1-5 に示す。同表には、ポリヴィア国排水基準と基準に対する判定を併記する。

そのまとめを以下に示す。

（1）排水基準による判定

尾鉱（固形部分と水部分）において、総合的に排水基準をオーバーすると判定されるもの（一部分でもオーバーするものを含む）は、SS（尾鉱の固形部分が該当）、pH 及び溶存性 Fe、Pb、Zn、Sn、As、Cd、CN である。

尚、所定の分析値がないため、Hg、Cr は判定できなかった。

（2）全インヘニオによる河川水質汚濁負荷量合計（[]内は日間の排水基準）

① SS

- SS 31,800~97,300mg/L [$<60.0\text{mg/L}$]
- 全尾鉱量：1,040~1,280 t/d（想定） → 343~ 422 千 t/y
- 内金属量：Pb 70~214mg/L [$<0.6\text{mg/L}$]
0.22%（想定） 2.3~2.8 t/d → 759~ 942 t/y
- Zn 700~2,141mg/L [$<3.0\text{mg/L}$]
2.2%（想定） 22.8~28.1 t/d → 7,524~9,273 t/y
- Sn 146~448mg/L [$<2.0\text{mg/L}$]
0.46%（想定） 4.8~5.9 t/d → 1,584~1,947 t/y

As 25~78mg/L. [<1.0mg/L]

0.08% (想定) 0.8~1.0t/d → 264~ 330t/y

Cd 2.2~6.8mg/L [<0.3mg/L]

0.007% (想定) 0.07~0.09t/d → 23~ 30t/y

② アルカリ性の水

• pH: 11.4~12.4 [6.9]

• 溶存重金属等

溶存性 Fe :

32~135 mg/L [<1.0 mg/L] 328~2,222 kg/d → 108~733 t/y

Pb :

0.5~2.2 mg/L [<0.6 mg/L] 5.4~40.1 kg/d → 1.8~13.2 t/y

Sn :

22.6~87.7mg/L [<2.0 mg/L] 232~1,443 kg/d → 77~476 t/y

As : 分析値なし

Cd :

0.04~0.09mg/L [<0.3 mg/L] 0.40~1.49 kg/d → 0.1~0.5 t/y

CN :

0.04~0.22 mg/L [CN⁻<0.2 mg/L] 0.40~3.63 kg/d → 0.1~1.2 t/y

(3) 河川各区間のインヘニオ尾鉍による河川水質汚濁負荷量

表 5-1-6、表 5-1-7 に示す。

以上に述べて来たポトシ地域における鉍山系と選鉍系の鉍害物質による河川他の汚染(汚濁)の概念を図 5-1-2 に示す。

表 5-1-1 鉾山系汚染源試料採取地点の位置と特徴

| 番号 | 採取地点の位置 | 特徴 |
|-------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| ・No1 | ハジャホマユ・ケブラダ川が鉄道線路と交差する地点である。 | 周辺にはスークがあり、乾期の水量は少ない。 |
| ・No2 | ワカフチマユ川が鉄道線路と交差する地点である。 | 乾期には水はほとんどない。 |
| ・No3 | アグワ・ドゥルセ川が鉄道線路と交差する地点。 | 湧き水 |
| ・No4 | ヴィラコユマユ川の支流が本流と合流する直前の地点。 | 近くに坑口がある。乾期には水がない。 |
| ・No5 | ヴィラコユマユ川とNo4地点がある支流とが合流する直前の地点。 | |
| ・No6 | フクイ・ワカフチの西側山腹のカンタ・カンタ溪谷に位置し、ヴィラコユマユの上流地点。 | 乾期でも水があり、その上流には廃滓がある。 |
| ・No7 | ヴィラコユマユ川のNo4とNo5が混合した直後の地点。 | |
| ・No8 | ヴィラコユマユ川に設置されたダム地点。 | |
| ・No9 | ワイナマユ川の源流に当たる地点。 | 選鉱尾鉱の浸透水があり、乾期でも少量の水がある。 |
| ・No10 | ワイナマユ川の横にある湧き水である。 | 湧き水 |
| ・No11 | コンバメント・バイラピリ（社宅）から生活排水が排出される直前のワイナマユ川の地点。 | 川水 |
| ・No12 | ポトシ山の麓、リアル・ソカボンの外側の地点。 | 典型的な鉾山坑内水で、年中、流出水がある。 |
| ・No13 | ポトシ山の麓、北西に位置し、低品位廃石堆積場の浸透水の水たまり。 | 廃石浸透水 |
| ・No14 | ポトシ山の北側の最大のスークからの浸透水が得られる地点。 | 乾期には水がない。降雨直後は大量の水が流れ、コリマユ川へ流入 |
| ・No15 | コリマユ川の中央の地点。 | 乾期には浮遊選鉱排水の流入が多くなる。 |
| ・No16 | サン・ミゲル堆積場から浸透水が湧出する地点。③-3からの浸透水。 | 乾期は水が少ない。サンミゲル堆積場には③-2と③-3の堆積場がある。 |
| ・No17 | モホン・フンタ山西側の麓の、鉄道線路から数メートル離れた地点。 | 周辺に坑口。 |
| ・No18 | 送電線がケブラダ・ハジャホマユ川を跨ぐ山側の地点。 | 乾期には、近くのスークから浸透水は少量が流れる。 |
| ・No19 | No18の上流数百メートルに位置する湧き水で、ケブラダ・ハジャホマユ川に注いでいる。 | 湧き水 |
| ・No20 | ワカフチマユ川の水源に当たる湧き水である。 | |
| ・No21 | No20の高地点近くの湿原に位置する湧き水である。 | |
| ・No22 | カントウ・マルカ村にある井戸水。 | 生活排水による汚染の恐れ。 |
| ・No23 | チャピニ・フンタ山の麓に位置する湧き水で、川向こうにサン・ミゲル堆積場がある。 | 乾期に湧き水の流出はない。 |
| ・No24 | ケブラダ・ハジャホマユ川がボルコに向かう道路と交差する地点の橋の脇。 | 年間、水の流れがある。（河川サンプリングポイントNo.24） |
| ・No25 | インヘニオ・タイトンの堆積場からの浸透水が採取される地点。 | ほとんど水は見られない。 |
| ・No26 | サン・ミゲル堆積場の北側に位置する湧き水。 | 年間、水の流れがある。 |
| ・No27 | ブラヒボの銀リーチング・プラント近くに位置する地下水監視設備が設置された地点。 | |
| ・No28 | ポトシ山麓南東に位置する新規採掘坑口からの排水。 | 灰色、採掘機から発生する水と思われる。 |
| ・No29 | リベラ川に生活排水が混入する直前の地点。 | |
| ・No30 | リベラ川がアルハマユ川となる直前地点。 | （河川水サンプリングポイントNo.11） |

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)

| No | pH | COD | BOD | SS | Cu | Pb | Zn | Cd | Mn | Hg | Sn | T-Cr | As | CN | SO ₄ | T-Fe | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Volume m ³ /s |
|----|------|-----|-----|---------|--------|-------|--------|--------|-------|------|------|--------|------|--------|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------------------------|
| 1 | 2.58 | 99 | — | 3,130 | 60.0 | 0.15 | 144 | 14.0 | 21.48 | 3.54 | 43.3 | 0.36 | 62.3 | — | 8,810 | 455 | 202 | 253 | 130 |
| 2 | 7.59 | 18 | <1 | 0.5 | <0.003 | <0.03 | 0.42 | <0.002 | 0.13 | 0.61 | 39.6 | <0.005 | 39.1 | — | 27 | 6.98 | 5.23 | 1.75 | 13.0 |
| 3 | 7.94 | 14 | <1 | <0.2 | <0.003 | 0.09 | 0.07 | <0.002 | 0.18 | 3.89 | — | <0.005 | 13.3 | — | 52 | 377 | 157 | 220 | 21.6 |
| 4 | 7.17 | 9 | <1 | 482 | 0.04 | 0.01 | 0.13 | <0.002 | 0.16 | 4.05 | — | <0.005 | 39.8 | — | 215 | 15.9 | 14.8 | 1.05 | 64.8 |
| 5 | 8.50 | 9 | <1 | 498 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | <0.002 | 0.14 | 6.76 | — | <0.005 | 41.7 | — | 170 | 10.5 | 4.22 | 6.32 | 0.5 |
| 6 | 7.70 | 5 | <1 | 66.5 | <0.003 | <0.03 | 1.05 | <0.002 | 8.93 | 2.68 | — | <0.005 | 78.7 | — | 262 | 3.49 | — | — | 39.0 |
| 7 | 7.92 | 4 | <1 | 547 | 0.01 | 0.04 | 0.07 | 0.01 | 0.10 | 5.77 | — | <0.005 | 3.94 | — | 170 | 15.7 | 9.49 | 6.32 | 86.4 |
| 8 | 6.75 | 9 | <1 | 45.5 | <0.003 | <0.03 | 3.77 | <0.002 | 0.78 | 2.88 | — | <0.005 | 10.4 | — | 291 | 5.23 | — | — | 0 |
| 9 | 3.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.76 |
| 10 | 8.44 | 9 | <1 | 21.5 | <0.003 | <0.03 | 0.15 | <0.002 | 0.05 | 4.40 | — | <0.005 | 63.5 | — | 144 | 0.03 | — | — | 0 |
| 11 | 3.17 | 5 | <1 | 2.5 | 1.80 | 0.08 | 111 | 0.41 | 6.02 | 5.17 | — | <0.005 | 31.9 | — | 1,230 | 17.5 | 10.5 | 6.98 | 188 |
| 12 | 2.28 | 257 | <1 | 41.5 | 182 | <0.03 | 1,050 | 16.4 | 0.78 | 3.59 | — | <0.005 | 19.5 | — | 31,000 | 1,640 | 69.8 | 1,570 | 86.4 |
| 13 | 1.86 | 414 | — | 48.5 | 112 | 0.34 | 710 | 4.60 | 2.26 | 3.59 | — | 0.49 | 19.7 | — | 19,600 | 2,800 | 227 | 2,570 | 0 |
| 14 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | 2.38 | 368 | — | 42.5 | 96.0 | 0.24 | 529 | 1.50 | 13.1 | 1.67 | — | 0.03 | 24.1 | — | 9,690 | 1,140 | 52.3 | 1,090 | 2.76 |
| 17 | 7.19 | 30 | <1 | 556 | 0.10 | 0.05 | 0.36 | <0.002 | 0.16 | 4.43 | — | <0.005 | 20.6 | — | 37 | 26.3 | 8.47 | 17.9 | 0 |
| 18 | 3.09 | 9 | <1 | 75.0 | 4.40 | 0.10 | 916 | 45.0 | 22.8 | 3.08 | 21.9 | <0.005 | 7.81 | — | 4,900 | 12.2 | 5.23 | 6.98 | 147 |
| 19 | 6.91 | 5 | <1 | <0.2 | 0.02 | <0.03 | 0.54 | <0.002 | 1.23 | 5.06 | 21.2 | <0.005 | 31.1 | — | 164 | 5.23 | 3.49 | 1.73 | 8.64 |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.04 |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 22 | 7.01 | 5 | <1 | 17.0 | 0.03 | <0.03 | <0.002 | <0.002 | 0.34 | 4.30 | 29.1 | <0.005 | 8.68 | — | 951 | 6.98 | 5.23 | 1.75 | 0 |
| 23 | 6.92 | 5 | <1 | 38.5 | <0.003 | 0.20 | 0.31 | <0.002 | 0.93 | 3.59 | — | <0.005 | 34.4 | <0.001 | 103 | 0.70 | — | — | 0 |
| 24 | 4.00 | 4 | <1 | 16.5 | 1.00 | <0.03 | 245 | 0.99 | 0.46 | 2.07 | 38.4 | <0.005 | 16.9 | — | 1,580 | 6.98 | 3.49 | 3.49 | 17.3 |
| 25 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 26 | 3.14 | 5 | <1 | 45.5 | 5.20 | 0.22 | 60.0 | 0.43 | 3.56 | 7.33 | — | <0.005 | 28.4 | — | 1,290 | 14.0 | — | — | 147 |
| 27 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 28 | 3.54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.00 |
| 29 | 11.9 | 103 | <1 | 413,000 | 0.06 | 0.80 | 0.36 | <0.002 | 0.09 | 10.6 | 20.0 | <0.005 | 26.3 | <0.001 | 1,040 | 50.0 | 4.20 | 45.8 | 1,890 |
| 30 | 7.78 | 77 | — | 42,600 | 0.03 | 0.09 | 8.00 | 0.45 | 0.23 | 8.85 | 24.3 | 0.18 | 32.8 | 0.104 | 1,380 | 26.3 | 5.27 | 21.1 | 3,460 |

(Note) 1) The units for As and Hg are in $\mu\text{g/L}$. The rest of parameters are in mg/L except pH.

2) There were no water at point No. 14, 15, 25 and 27.

表 5-1-2(2) 各サンプリングポイントの水質分析結果及び流量 (乾季)

| No. | pH | COD | BOD | SS | Cu | Pb | Zn | Cd | Mn | Hg | Sn | T-Cr | As | CN | SO ₄ | T-Fe | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Volume m ³ /s | |
|-----|-------|-----|------|---------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------------------------|--|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 7.72 | — | 0.12 | 176 | 0.033 | 0.19 | 0.40 | 0.01 | 0.06 | 3.81 | <0.10 | 0.01 | 1.79 | — | — | 0.09 | 0.01 | 0.08 | — | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 8.11 | 39 | 0.23 | 140 | 0.03 | 0.15 | 0.08 | 0.01 | 0.41 | 0.1 | 7.27 | 0.06 | 4.02 | 109 | — | 0.12 | <0.01 | 0.12 | — | |
| 11 | 3.11 | 34 | | 160 | 2.70 | 0.22 | 96.0 | 0.43 | 22.0 | 0.1 | 2.97 | <0.01 | 8.95 | 1,150 | — | 25.2 | 5.21 | 20.0 | — | |
| 12 | 2.22 | 250 | 2.32 | 160 | 198 | 0.69 | 1,110 | 24.0 | 21.0 | <0.1 | 3.25 | 0.01 | 5,090 | 9,130 | — | 4,770 | 1,280 | 3,490 | — | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 7.01 | 2 | — | 180 | 0.003 | 0.25 | 0.22 | 0.01 | 0.06 | <0.1 | 1.28 | <0.01 | 1.32 | 968 | — | 0.03 | 0.01 | 0.02 | — | |
| 23 | 7.00 | — | 0.18 | 178 | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.002 | 0.56 | <0.1 | <0.1 | 0.01 | 3.87 | 63 | — | 0.05 | 0.01 | 0.04 | — | |
| 24 | 4.38 | 2 | — | 170 | 0.49 | 0.31 | 12.6 | 1.20 | 10.0 | <0.1 | <0.1 | <0.01 | 1.66 | 1,710 | — | <0.01 | <0.01 | <0.01 | — | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 2.98 | — | 0.01 | 180 | 6.20 | 0.31 | 75.0 | 0.54 | 17.0 | <0.1 | <0.1 | 0.01 | 10.74 | — | — | 7.7 | 0.6 | 7.1 | — | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 12.29 | 158 | — | 320,000 | 0.57 | 0.16 | 0.27 | 0.04 | 0.01 | 5.53 | 5.35 | 0.02 | 237 | 1,100 | — | 0.01 | <0.01 | 0.01 | — | |
| 30 | 10.32 | 180 | 0.54 | 345,000 | 0.43 | 0.16 | 0.17 | 0.06 | 0.02 | <0.1 | 9.05 | 0.01 | 15.7 | 1,300 | — | 0.07 | <0.01 | 0.07 | — | |

(Note) 1) The units for As and Hg are in μ g/L. The rest of parameters are in mg/L except pH.

2) There were no water at point No. 14, 15, 25 and 27.

表 5-1-3 汚染源マップと汚染系統分類

| No. | 汚染の系統 | 試料採取地点 | | コメント |
|-----|----------------------|---------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| | | 汚染大 | 汚染少、不明 | |
| 1 | ライナマユ川沿い | No.28、No.9、 No.11、No.12、 No.13 酸性水、重金属溶解 | No.10、 No.27 | 山の上部斜面に廃石が大量堆積。新規採掘鉱坑坑内水 (No.28) |
| 2 | コリマユ川沿い | No.14、No.15、 No.16、No.26 酸性水、重金属溶解 | No.22 | 上部に最大のスークが存在。スーク浸透水 (No.14、No.15) 尾鉱堆積場浸透水 (No.16、26) 但し No.26はリベラ川へ流れる。 |
| 3 | ケブラダ・ハジャホマユ川沿い | No.1、No.18、No.24 酸性水、重金属溶解 | No.19 | 上部に鉱山坑口、廃石 (スーク) スークに溶解した水が流れるライン |
| 4 | ヴィラコマユ川沿い (潜在的汚染) | No.6、No.8、No.5、 No.7 (重金属) | No.4 | 最上部のNo.6の上部に廃石あり、今回水の分析値では汚染されていないが、潜在的に汚染懸念。 |
| 5 | リベラ川沿い | No.29、No.30 アルカリ性水、重金属含有SS | - | インヘニオ排水の影響、高アルカリ高SS |

表5-1-4 インヘニオ選鉱尾鉱分析: '98.2.9,10

| | | | インヘニオ | インヘニオ | インヘニオ | インヘニオ | インヘニオ | インヘニオ |
|------|-------------------------------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | A | B | C | D | E | F |
| 固形部分 | Pb | % | 1.10 | 0.10 | 4.57 | 0.15 | 0.19 | 0.11 |
| | Zn | % | 3.90 | 0.62 | 6.34 | 0.48 | 0.92 | 0.60 |
| | Ag | g/t | 171.90 | 14.00 | 666.70 | 152.90 | 130.90 | 56.90 |
| | Sn | % | 0.17 | 0.68 | 0.55 | 0.24 | 0.66 | 0.27 |
| | Ca | % | 0.18 | 0.02 | 0.006 | 0.19 | 0.04 | 0.01 |
| | Fe | % | 15.90 | 7.84 | 21.08 | 17.75 | 7.61 | 4.74 |
| 水部分 | SS | mg/l | 152,000.00 | 97,300.00 | 31,800.00 | 75,200.00 | 79,500.00 | 95,800.00 |
| | P.D. *1 | % | 13.9 | 9.1 | 3.1 | 7.2 | 7.6 | 9.1 |
| | pH *2 | | 12.09 | 11.39 | 6.01? | 12.40 | 11.66 | 7.24? |
| | As | μg/l | | | | | | |
| | Sb | μg/l | <0.10 | <0.10 | <0.10 | <0.10 | <0.10 | <0.10 |
| | Cd | mg/l | 0.03 | 0.04 | 32.00 | 0.09 | 0.09 | 0.57 |
| | Cu | mg/l | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.19 |
| | Cr | mg/l | <0.005 | 0.041 | 0.207 | 0.467 | 0.429 | <0.005 |
| | Fe | mg/l | | | | | | |
| | Fe(II) | mg/l | 85.40 | 17.92 | 69.95 | 79.08 | 59.05 | 42.20 |
| | Fe(III) | mg/l | 9.49 | 13.71 | 70.14 | 43.42 | 55.93 | 34.43 |
| | Hg | μg/l | 4.55 | 2.21 | 1.47 | 0.61 | 1.59 | 6.14 |
| | Mn | mg/l | 0.43 | 0.54 | 14.66 | 0.44 | 0.34 | 3.55 |
| | Pb | mg/l | 1.45 | 0.52 | 2.70 | 2.44 | 0.68 | 0.67 |
| | Zn | mg/l | 0.78 | 0.10 | 1.45 | 0.73 | 0.27 | 15.50 |
| | Sn | mg/l | 99.22 | 87.73 | 31.59 | 23.32 | 22.59 | 15.54 |
| | CN | mg/l | 0.146 | 0.22 | 0.059 | 0.186 | 0.043 | 0.018 |
| | SO ₄ ²⁻ | mg/l | | | | | | |
| COD | mg/l | 159.00 | 60.00 | 26.00 | 120.00 | 47.00 | 34.00 | |
| BOD | mg/l | Non | 0.06 | 0.76 | | 0.67 | 1.14 | |

注) *1: Pulp Density: 鉱液濃度、*2: 14.5~17.0 °C

伊東他ショットサンプリングに係る分析

表 5-1-5 インペニオ環境主要数値と、ボリヴィア国排水基準及び判定

| 1. 原鉱/精鉱/尾鉱：固形部分 | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------|-------------|---------------|----------------|----------|-----|
| | 品位 % | | 鉱量又は金属量 t/d | | | ボリヴィア国排水基準(*1) | | |
| | 想定 | 想定 : Min. | 想定 : Max. | 想定 : 範囲 | 判定(*2) | 日間値 mg/l | 月間値 mg/l | |
| 原 鉱 | | 1,300 | 1,600 | 1,300-1,600 | | | | |
| 精 鉱 | | 262.6 | 323.2 | 260-320 | | | | |
| Pb 精鉱 | | 22.1 | 27.2 | 22-27 | | | | |
| Zn 精鉱 | | 240.5 | 296.0 | 240-300 | | | | |
| 尾 鉱(*3) | | 1,037 | 1,277 | 1,040-1,280 | | | | |
| 含有 金属 品位、 量 及び 排水 中 SS の 金属 濃度 | Pb | 0.22 | 2.3 | 2.8 | 2-3 | | | |
| | | | | | 70-214mg/l | × | 0.6 | 0.3 |
| | Zn | 2.2 | 22.8 | 28.1 | 23-28 | | | |
| | | | | | 700-2,141mg/l | × | 3.0 | 1.5 |
| | Sn | 0.46 | 4.8 | 5.9 | 5-6 | | | |
| | | | | | 146-448mg/l | × | 2.0 | 1.0 |
| As | 0.08 | 0.8 | 1.0 | 0.8-1 | | | | |
| | | | | 25-78mg/l | × | 1.0 | 0.5 | |
| Cd | 0.007 | 0.07 | 0.09 | 0.07-0.09 | | | | |
| | | | | 2.2-6.8mg/l | × | 0.3 | 0.15 | |

| 2. 尾鉱 (溶存イオン他)：水部分 | | | | | |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|--|
| | ショットサンプリング測定値 ： 除く異常値(*4) | | | ボリヴィア国排水基準(*1) | |
| | 判定(*2) | 日間値 | 月間値 | | |
| SS | × | 60mg/l | | | |
| PD | | | | | |
| pH | × | 6.9 | 6.9 | | |
| As | --- | 1.0mg/l | 0.5mg/l | | |
| Sb | ○ | 1.0mg/l | | | |
| Cd | ○ | 0.3mg/l | 0.15mg/l | | |
| Cu | ○ | 1.0mg/l | 0.5mg/l | | |
| Cr | △ | Cr(III)1.0mg/l Cr(VI)0.1mg/l | Cr(III)0.5mg/l Cr(VI)0.05mg/l | | |
| Fe Total | × | 1.0mg/l | 0.5mg/l | | |
| Fe(II) | | | | | |
| Fe(III) | | | | | |
| Hg | --- | 0.002mg/l | 0.001mg/l | | |
| Mn | | | | | |
| Pb | × | 0.6mg/l | 0.3mg/l | | |
| Zn | ○ | 3.0mg/l | 1.5mg/l | | |
| Sn | × | 2.0mg/l | 1.0mg/l | | |
| CN | × | CN ⁻ 0.2mg/l | CN ⁻ 0.1mg/l | | |
| COD | ○ | 250mg/l | | | |
| BOD | ○ | 80mg/l | | | |

注) *1 : Límites Permisibles para Descargas Líquidas[Propuesta]

(Reglamentos a la Ley de Medio Ambiente: Bolivia)、斜線部は基準なし。

*2 : ○ 基準クリアー、△ 判定できず、× 基準オーバー、--- 分析値なし

*3 : 当尾鉱は、本表 2. 尾鉱：水部分の SS に該当する。

*4 : 表 5-1-4 を参照願う。

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

| 区 間 *1 | インヘニオ *2 | 鉱量 t/d*3 | Pb | | Zn | | Sn | | As | | Cd | |
|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------|-----------------|-----|-------------------|------|-----------------|------|-------------------|-------|-------------------|
| | | | %*3 | t/d | %*3 | t/d | %*3 | t/d | %*3 | t/d | %*3 | t/d |
| 1.八引川最上流 ~ サンプリングポイント1 | なし | | | | | | | | | | | |
| 2.サンプリングポイント1 ~ サンプリングポイント5 | No.1~15, 35, 39, 40 計 18 | 411 ~ 507 | 0.22 | 0.9 ~ 1.1 | 2.2 | 9.1 ~ 11.2 | 0.46 | 1.9 ~ 2.3 | 0.08 | 0.33 ~ 0.41 | 0.007 | 0.03 ~ 0.04 |
| 3.ワヅ川最上流 ~ サンプリングポイント2 | なし | | | | | | | | | | | |
| 4.サンプリングポイント2 ~ サンプリングポイント4 | No.16~19, 36 計 5 | 76 ~ 93 | 0.22 | 0.2 | 2.2 | 1.7 ~ 2.1 | 0.46 | 0.4 | 0.08 | 0.06 ~ 0.07 | 0.007 | 0.01 |
| 5.コヲ川最上流 ~ サンプリングポイント3 | なし | | | | | | | | | | | |
| 6.サンプリングポイント4,5 ~ サンプリングポイント6 | No.20~22 計 3 | 46 ~ 56 | 0.22 | 0.1 | 2.2 | 1.0 ~ 1.2 | 0.46 | 0.2 ~ 0.3 | 0.08 | 0.04 ~ 0.05 | 0.007 | 0.00 |
| 7.サンプリングポイント3 ~ サンプリングポイント13 | No.23~25 計 3 | 116 ~ 143 | | 0.3 | | 2.6 ~ 3.1 | | 0.5 ~ 0.7 | | 0.09 ~ 0.11 | | 0.01 |
| 8.サンプリングポイント6 ~ サンプリングポイント11 | No.26~31, 37, 38, 41, 42 計 10 | 261 ~ 322 | | 0.6 ~ 0.7 | | 5.7 ~ 7.1 | | 1.2 ~ 1.5 | | 0.21 ~ 0.26 | | 0.02 |
| 9.サンプリングポイント8,9 ~ サンプリングポイント10 | No.34 計 1 | 19 ~ 23 | | 0.0 ~ 0.1 | | 0.4 ~ 0.5 | | 0.1 | | 0.02 ~ 0.02 | | 0.00 |
| 10.サンプリングポイント10, 11~ サンプリングポイント12 | No.32, 33 計 2 | 108 ~ 133 | | 0.2 ~ 0.3 | | 2.4 ~ 2.9 | | 0.5 ~ 0.6 | | 0.09 ~ 0.11 | | 0.01 |
| 合 計 | No.1~42 計 42 | 1,037 ~ 1,277 | ↓ | 2.3 ~ 2.8 | ↓ | 22.9 ~ 28.1 | ↓ | 4.8 ~ 5.9 | ↓ | 0.83 ~ 1.02 | ↓ | 0.07 ~ 0.09 |

注) *1: 河川水質サンプリングポイントは、図1-2-4、図2-2-4を参照願う。

*2: インヘニオ No. は、表2-2-3、図2-2-4を参照願う。

*3: 想定。表5-1-5を参照願う。

表5-1-7 河川水質サンプリングポイント各区分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(溶存イオン他)

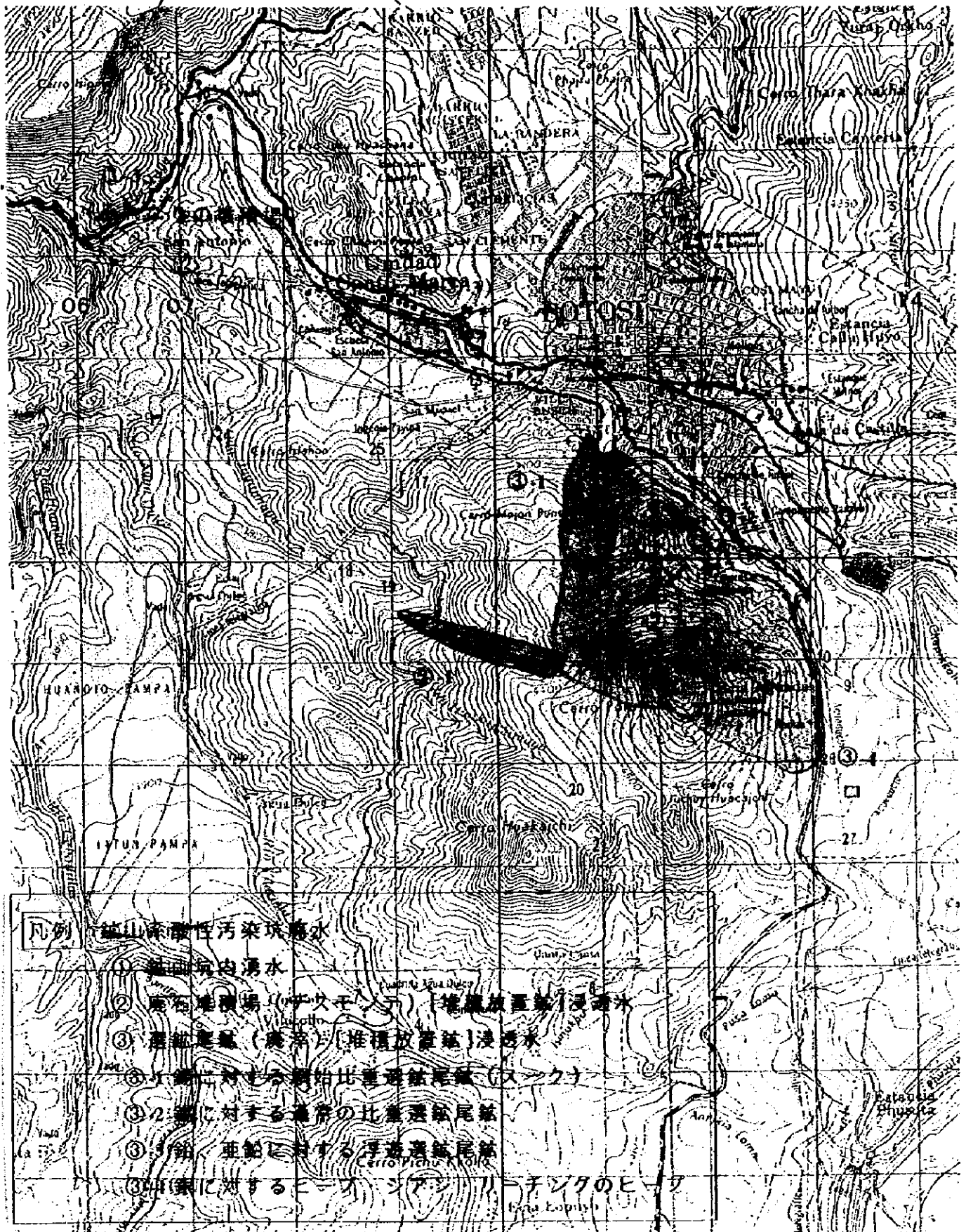
| 区 間 | SS g/l | PD % | 水量 m ³ /d | pH | As | | Sb | | Cd | | Cu | | Cr | | Fe-Total | | Fe(II) | | Fe(III) | | Hg | | Mn | | Pb | | Zn | | Sn | | CN | | COD | | BOD | | | | |
|-----------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|---------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|--|--|--|
| | | | | | 濃度 μg/l | 流量 kg/d | 濃度 μg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 μg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | 濃度 mg/l | 流量 kg/d | | | |
| 1. 利根川最上流 サンプリングポイント1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. サンプリングポイント1 サンプリングポイント5 | 32 ~ 97 | 7.2 ~ 9.1 | 4105 ~ 6535 | 11.4 ~ 12.4 | 分析 値 なし | --- | < 0.10 | --- | 0.04 ~ 0.09 | 0.16 ~ 0.59 | 0.04 ~ 0.05 | 0.16 ~ 0.33 | 0.04 ~ 0.47 | 0.16 ~ 3.07 | 31.6 ~ 135 | 130 ~ 882 | 17.9 ~ 79.1 | 73 ~ 517 | 13.7 ~ 55.9 | 56 ~ 365 | 分析 値 なし | --- | 0.34 ~ 0.54 | 1.40 ~ 3.53 | 0.52 ~ 2.44 | 2.1 ~ 15.9 | 0.10 ~ 0.73 | 0.41 ~ 4.77 | 22.6 ~ 87.7 | 92 ~ 573 | 0.04 ~ 0.22 | 0.16 ~ 1.44 | 47 ~ 120 | 193 ~ 784 | 0.06 ~ 0.67 | 0.25 ~ 4.28 | | | |
| 3. 利根川最上流 サンプリングポイント2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. サンプリングポイント2 サンプリングポイント4 | 32 ~ 97 | 7.2 ~ 9.1 | 759 ~ 1199 | 11.4 ~ 12.4 | 分析 値 なし | --- | < 0.10 | --- | 0.04 ~ 0.09 | 0.03 ~ 0.11 | 0.04 ~ 0.05 | 0.03 ~ 0.06 | 0.04 ~ 0.47 | 0.03 ~ 0.56 | 31.6 ~ 135 | 24 ~ 162 | 17.9 ~ 79.1 | 14 ~ 95 | 13.7 ~ 55.9 | 10 ~ 67 | 分析 値 なし | --- | 0.34 ~ 0.54 | 0.26 ~ 0.65 | 0.52 ~ 2.44 | 0.4 ~ 2.9 | 0.10 ~ 0.73 | 0.08 ~ 0.88 | 22.6 ~ 87.7 | 17 ~ 105 | 0.04 ~ 0.22 | 0.03 ~ 0.26 | 47 ~ 120 | 36 ~ 144 | 0.06 ~ 0.67 | 0.05 ~ 0.80 | | | |
| 5. 利根川最上流 サンプリングポイント3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. サンプリングポイント4,5 サンプリングポイント6 | 32 ~ 97 | 7.2 ~ 9.1 | 459 ~ 722 | 11.4 ~ 12.4 | 分析 値 なし | --- | < 0.10 | --- | 0.04 ~ 0.09 | 0.02 ~ 0.06 | 0.04 ~ 0.05 | 0.02 ~ 0.04 | 0.02 ~ 0.47 | 0.02 ~ 0.34 | 31.6 ~ 135 | 15 ~ 97 | 17.9 ~ 79.1 | 8 ~ 57 | 13.7 ~ 55.9 | 6 ~ 40 | 分析 値 なし | --- | 0.34 ~ 0.54 | 0.16 ~ 0.39 | 0.52 ~ 2.44 | 0.2 ~ 1.8 | 0.10 ~ 0.73 | 0.05 ~ 0.53 | 22.6 ~ 87.7 | 10 ~ 63 | 0.04 ~ 0.22 | 0.02 ~ 0.16 | 47 ~ 120 | 22 ~ 87 | 0.06 ~ 0.67 | 0.03 ~ 0.48 | | | |
| 7. サンプリングポイント3 サンプリングポイント13 | | | 1159 ~ 1843 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. サンプリングポイント6 サンプリングポイント11 | | | 2607 ~ 4150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. サンプリングポイント8,9 サンプリングポイント10 | | | 190 ~ 296 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. サンプリングポイント10, 11 サンプリングポイント12 | | | 1079 ~ 1714 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [参考値] 合 計 | | | 10358 ~ 16459 | | | | | | | 0.41 ~ 1.48 | 0.41 ~ 0.84 | 0.41 ~ 7.74 | 328 ~ 2222 | 185 ~ 1302 | 142 ~ 920 | | | | | | | | | 3.53 ~ 8.90 | 5.4 ~ 40.1 | 11 ~ 120 | 232 ~ 1443 | | 0.40 ~ 3.63 | 488 ~ 1976 | | 0.6 ~ 11.0 | | | | | | | |

注) 区分における河川水質サンプリングポイントは、図1-2-4、図5-1-2を参照願う。尚、区分1,3,5は、インヘニオなし。

各数値：SS, pH, 濃度はショットサンプリングによる測定値。水量は鉱量(想定)とPDよりの計算値。

合計：多くのインヘニオでは、インヘニオ内における選鉱尾鉱中の水の大部分と、上流側インヘニオの選鉱尾鉱中の水の一部とをリサイクル使用しており、合計欄数値、特に水量は河川に排出されているものの総量とは異なる。

図2-2-4の範囲



凡例

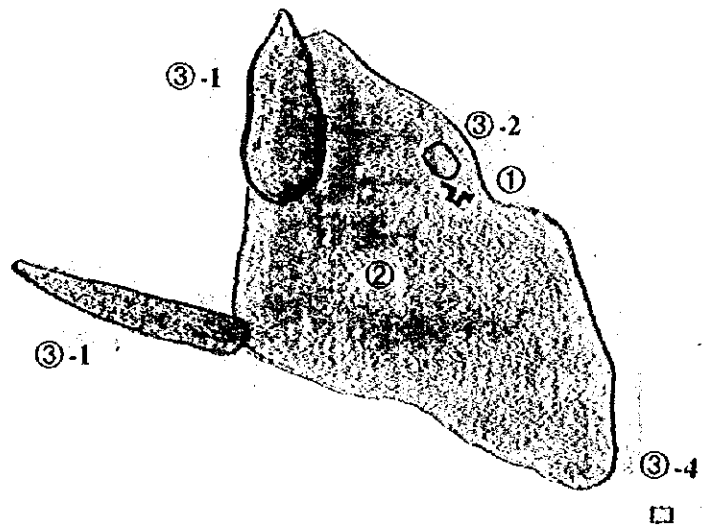
- ① 鉱山酸性汚染坑湧水
- ② 産廃埋置場(チリキヤ) [堆積放置鉱] 浸透水
- ③ 産鉱尾鉱(産廃) [堆積放置鉱] 浸透水
- ④ ① 湧に対する開始比重選鉱尾鉱(スラック)
- ⑤ ② 場に対する選存の比重選鉱尾鉱
- ⑥ ③ 場 産鉱に対する浮遊選鉱尾鉱
- ⑦ ④ 場に対するヒュー ジアシール トチツクのヒューク

図5-1-1 試料採取地点

③-3
 (それなりの堆積場)

(△)

③-2
 (一部③-3)



凡例

鉱山系酸性汚染坑廃水

- ① 鉱山坑内湧水
- ② 廃石堆積場(デスモンテ) [堆積放置鉱]浸透水
- ③ 選鉱尾鉱(廃滓) [堆積放置鉱]浸透水
- ③-1 錫に対する原始比重選鉱尾鉱(スーク)
- ③-2 錫に対する通常の比重選鉱尾鉱
- ③-3 鉛、亜鉛に対する浮遊選鉱尾鉱
- ③-4 銀に対するヒーブ・シアン・リーチングのヒーブ

図2-2-4 の範囲

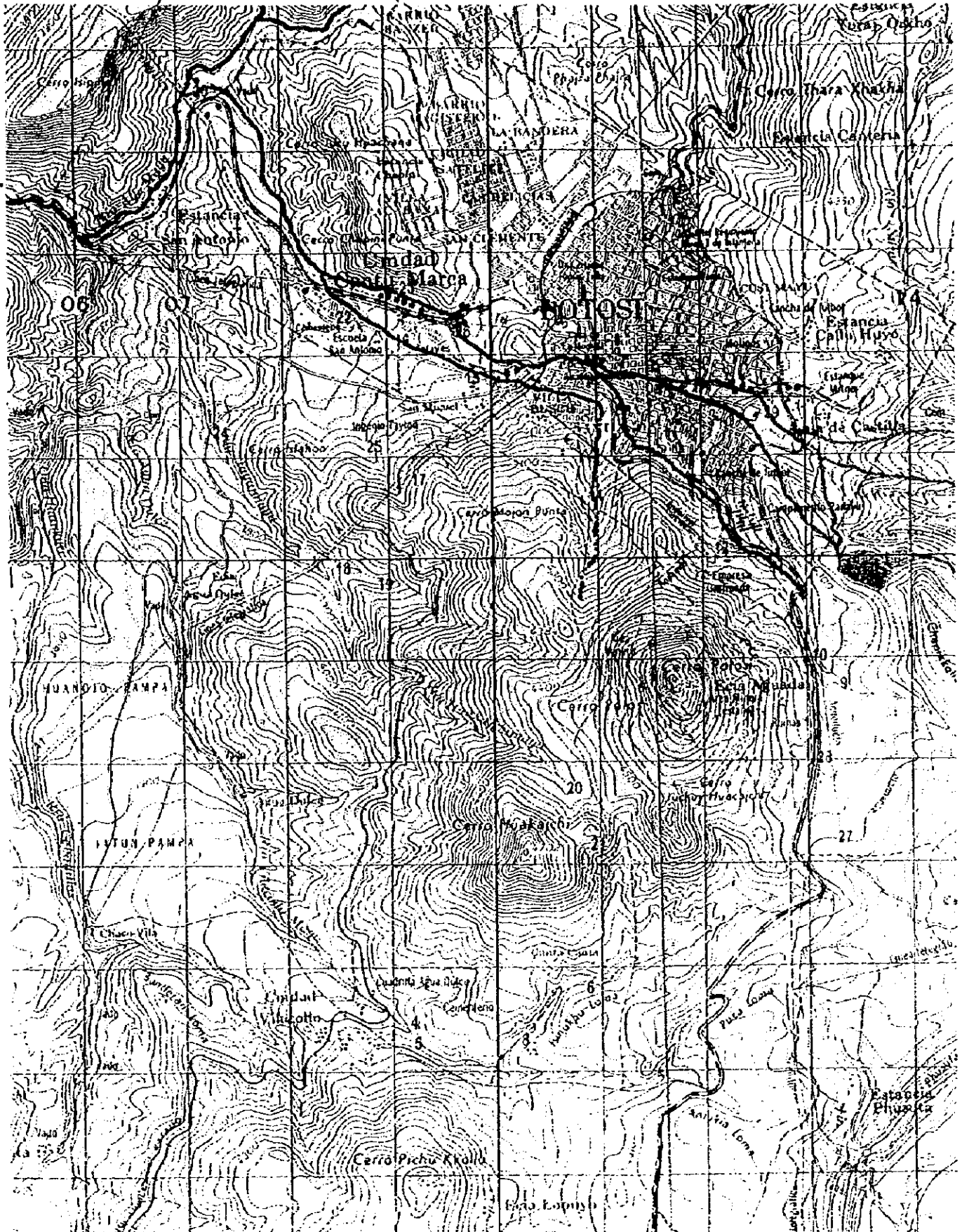


図5-1-1 試料採取地点

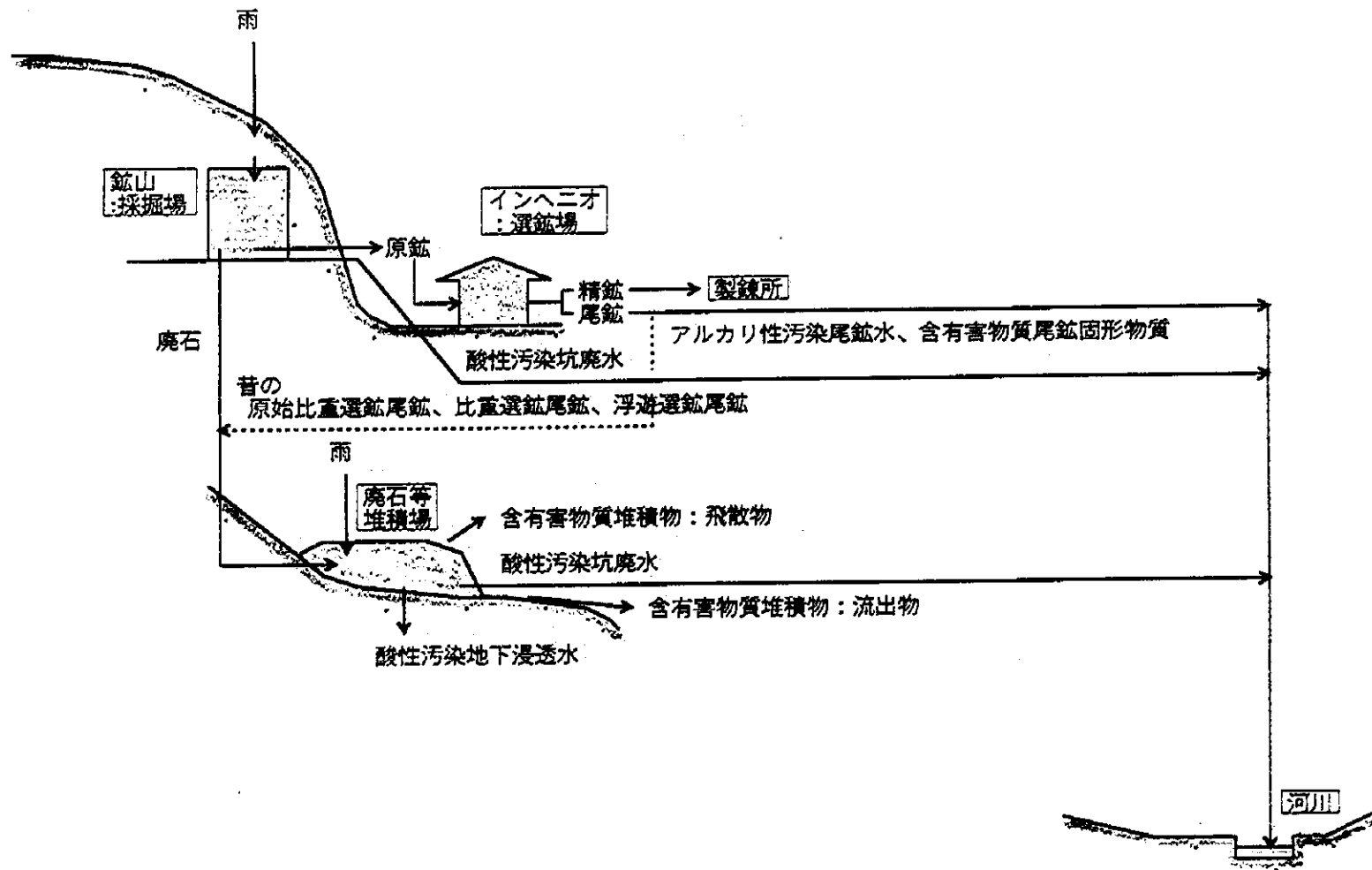


図5-1-2 ポトシ地域における汚染源マップ(概念)[現在]
：鉍山系及び選鉍系に係る有害物質による河川他汚染概念

5-2 河川水質汚濁のメカニズム

5-2-1 河川水質汚濁

河川の水質汚濁に最も影響しているのは、坑内から湧水する重金属を含む酸性水、廃石堆積物及びスーク等を浸透して重金属を溶解して出て来る酸性の浸透水及びインヘニオからリベラ川などに未処理のまま排出される選鉱尾鉱である。選鉱尾鉱は、未回収の重金属を含む 0.3~0.05mm 程度の粒度の脈石鉱物と鉱物処理のために使用された薬剤の残留分を含む pH9.5~12 のアルカリ性の水とから成る。固形分の重量割合は 10% 弱程度である。河川の水質分析結果を基にリベラ川、アルハマユ川、タラパヤ川さらにはピルコマヨ川への水質汚濁のメカニズムを検討し、その概況を明らかにした。整理すると表 5-2-1 にまとめられ、前掲の図 1-2-4 及び図 5-2-1 のように考えることができる。

5-2-2 リベラ川ータラパヤ川ーピルコマヨ川の水質汚濁

(1) SS と pH の挙動

タラパヤ川水系では、リベラ川からアリハマユ川、タラパヤ川と川を流れ下るに従い、河水中の SS 成分は低下しているように見える。この様子を図 5-2-2 に示す。上流部から、ワイナマユ川、ヘスス・バレ川（主力はワランパヤ川）、ワンカラニ川とそれぞれの時点で比較的水量の多い河川を合流していることに加え、川が流れるに従い水中の SS 分が川底へ沈殿していくことも大きな要因と考えられる。また、河水中の SS 量はサンプリング毎のバラツキが大きい。

各サンプリングポイント別に季節変化を図 5-2-3、5-2-4 に示す。タラパヤ川水系に比べピルコマヨ川の SS 濃度は約 1 桁少ない。そしてタラパヤ川水系のサンプリングポイント毎の SS 濃度は 5 月頃までは一定であったが、それ以後乾季が深まるにつれ濃度上昇の傾向が見られた。一方、ピルコマヨ川ではメンデス橋での濃度は上流部のヨカージャより高く、両地点共 3 月以後少しずつ濃度が低下しつつある。通常の河川では流量が低くなるほ

ど河川中の SS 濃度が低下するが、常に大量の SS 分が投入されているタラバヤ川水量の SS 濃度の季節変動は特異であるといえよう。

タラバヤ川水系では、リベラ川はワイナマユ川との合流直後の pH 変化が非常に大きい、流れ下るに従い pH もタラバヤ川で 8 程度に収斂している。この様子を図 5-2-5 に示す。タラバヤ水系が石灰岩地域を流れていることも影響している。

(2) 河水中の溶解イオンと SS 中の成分の関係

タラバヤ川水系で、河水 pH が酸性からアルカリ性側になると、水中に溶解している金属イオンは少なくなり、水中に懸濁している SS 中の金属成分の方が多傾向を示す。一例を表 5-2-2 に示す。また、この計算例の基となった 4 月中旬（第 9 回サンプリング）の水質、底質等のデータは表 4-2-2 に示したものである。

ワイナマユ川のサンプリングポイント No.4 は酸性水で、水中溶解金属イオンの比率が多い。リベラ川からアルハマユ川にかけての No.11、12、15 は pH 変動が多いが、どちらかというアルカリ性で、水中の SS 中の成分として運ばれている重金属が多い。特に鉄と亜鉛が多い。

河川水質分析の際に SS 成分をろ過し、ろ液だけを分析試料として重金属等を分析する UATF などで習慣的に実施されている分析方法では、ワイナマユ川の汚染はつかめても、リベラ川等の汚染はつかみにくく、ポトシ周辺の河川汚染の実態を表わすことができない。水質分析では分析試料を単にろ過してろ液の分析をするのではなく、ろ液と固形分を別々に分析し、その後合算できるようにする方法が必要であった。

あるいは、分析のための試料前処理としてアメリカの標準分析法である ASTM の D 1971 等で示されているように、試料を加温加圧下で酸処理し、溶解分も固形分も共に溶解状態にして、分析する等の方法が必要である。

(3) 河水中の各成分の挙動

水溶液の pH と溶解している重金属成分には本来一定の関係が認められる。リベラ川-タラバヤ川についての傾向を図 5-2-6~5-2-14 に示す。

pH 上昇に伴いカドミウム、鉄、マンガン、亜鉛では溶解度が大きく低下している。pH 増加に対応して重金属の溶解度が低下し、半対数方眼紙上でほぼ直線性が示される。前掲の図 1-2-4 に示したようにアルカリ性で生成した金属水酸化物が低溶解度を示すことが現実には川の中で起きているためである。

砒素、銅、鉛は pH 上昇に伴い溶解度が低下するが、その後再上昇の傾向が見られる。pH8 から 9 程度で再溶解が始まったようにも見える。この三者は錯イオンを形成して再溶解を始めた可能性があると考えている。パラツキは大きいですが、鉛では理論値より pH で 1 ないし 2 低いところで再溶解し始めているようでもある。

ここで、図 5-2-8、図 5-2-14 で見られるように、本来アルカリ性で再溶解し易いカドミウムと亜鉛がアルカリ性で溶解性の再上昇が見え難いことが注目される。

その一方、水銀、アンチモンでは pH 変化と溶解度変化の傾向が認められなかった。アンチモンも水中の溶解量は極めて少ないが、水中の SS や底質には存在する。しかし、その挙動は砒素と違いはっきりしない。水銀の挙動もよく掴めない。

水源で酸性水であるワイナマユ川、コリマユ川、ハジャホマユ渓谷の水は重金属だけでなく砒素を溶解している。一方、アルカリ性の河川の水に溶解している砒素の量は極めて少ない。各河川とも水中の SS や底質には多量の砒素が存在する。量の多少の差はあるが、砒素も重金属に準じた挙動を示している。

上記表 4-2-1、4-2-2 のそれぞれのサンプリングポイントの分析で、クロムと遊離のシアンイオンがほとんど検出されていない。

クロムはボトシ周辺で産出される鉍石に含まれないため、検出されなか

ったと考えている。この水域はクロムによる汚染はないようである。

インヘニオの浮遊選鉱工程ではシアン化合物を多量使用しているのに、シアンは検出されるべきであるが、水質分析値ではほとんどゼロで、遊離シアンは検出されていない。また、このシアンと結合している金属がなにかもまだ確認していない。このシアンの挙動は不明である。

シアンはカドミウム、銅、鉛、鉄、亜鉛と錯イオンを作り易い。そのため、水質サンプルから結合シアンあるいは、シアンとこれら金属との錯化合物のいずれかが検出されなければならない。しかし、現在実施している分析法では結合シアンの分析はできないので、シアンと錯イオンを形成している金属を検出する必要がある。とはいえ、アルカリ性では水質サンプルには溶解金属イオンが極めて少なく、シアンとの錯イオンは少ないかあるいは存在しない可能性も考えられる。

有機性物質による汚染の指標である COD は都市排水の入るリベラ川、ワランバヤ川で高い。特にリベラ川で高い。選鉱工程で使用する各種薬剤の影響も否定できない。上流部に都市のない河川では COD は低い。

(4) SS に含まれる成分と底質の関係

乾期のように、降雨に伴う河川の急激な水量変化や土砂流出が考えにくく、水中の SS 成分のほとんどがインヘニオから排出される場合を考えると、リベラ川やアルハマユ川では水中の SS 分が沈殿し、底質の主成分となる可能性がある。そこで、タラバヤ川水系のリベラ川からタラバヤ川流域で、水中の SS の中の重金属成分組成と底質中の重金属の成分組成との関係を調査した。その事例の内、主要な汚染物質である砒素、カドミウム、鉛、亜鉛とボトシの資源として重要な錫の図を 5-2-15~5-2-19 に示す。

図に示したようにそれぞれの成分が SS 中にも、底質の中にも存在する。その濃度も大きい。タラバヤ川、さらにはビルコマヨ川メンデス橋の底質は大いに砒素と重金属で汚染されている。タラバヤ川水系の各地点では砒素で数百、カドミウムで数十、鉛で数千、亜鉛で数万 ppm の汚染である。

錫も数千 ppm 認められる。数値はやや下がるが、乾季にはピルコマヨ川メ
ンデス橋下でも大きな底質汚染が認められる。

ここで SS 中の成分と底質中の成分の数値はオーダー的には合うが、両者
の数値は必ずしも一致していない。SS 中の重金属の含有割合に比べ、底質
中の重金属含有の割合の方が広い範囲にばらついている様子が見られる。
この原因は今のところ不明である。今後ともモニタリングを継続し、挙動
を明確に把握することが重要である。

なお、第 4 章で汚濁の計算に使用した数値は、タラパヤ川の SS 中の含有量
として As 220ppm、Cd 50-60ppm、Pb 1,500ppm、Zn 15,000-20,000ppm、Sn
2,000ppm である。

表5-2-1 河川汚染のメカニズム

| 区分 | 汚染の原因及びメカニズム | | 汚染物質 |
|--------|--------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 発生源 | 鉱山系排水 | 坑内水 採掘廃石浸透水 尾鉱堆積場浸透水 | 酸性水、水中に重金属溶解 酸性水、水中に重金属溶解 酸性水、水中に重金属溶解 |
| | 選鉱系排水 | 浮選排水 選鉱尾鉱 | アルカリ性水、水中に懸濁物(SS) 砒素、重金属含有固形物 |
| 河川での現象 | 化学的現象 | 中和反応 (酸性低下、中性的ないし微アルカリ性) | 重金属類の溶解度低下、析出 水中に重金属類に富むSS |
| | 物理的現象 | 固形分の沈降 下流部への底質移動 (出水時の底質巻き込み、再沈殿) | 砒素、重金属に富む底質形成 砒素、重金属に富む底質の移動 |

表5-2-2 溶解イオンとSS中の金属成分の比較 (例)

| | | pH | As mg/L | Sb μg/L | Cd mg/L | Cu mg/L | Fe mg/L | Hg μg/L | Mn mg/L | Pb mg/L | Zn mg/L |
|-----------------------------------|---------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| No.4 (Potosi市内) (アヤマツ川) | 溶解(イオン) | 2.8 | 0.001 | 0.001 | 2.7 | 25 | 568 | 0.39 | 18.2 | 3.39 | 408 |
| | SSとして | | 0.186 | 0.337 | 0.048 | 0.517 | 64.9 | 0.67 | 0.02 | 2.23 | 9.1 |
| No.5 (Potosi市内) (ウベラ川) | 溶解(イオン) | 11.6 | 0.088 | 0.001 | 0.002 | 0.43 | 0.08 | 0.23 | 0.01 | 0.1 | 0.38 |
| | SSとして | | 12.8 | 34.0 | 8.23 | 36.5 | 3675 | 49 | 7.7 | 272 | 1010 |
| No.6 (Potosi市内) (ウベラ川) | 溶解(イオン) | 5.0 | 0.019 | 0.001 | 1.2 | 0.05 | 11.8 | 1.07 | 8.9 | 0.23 | 159 |
| | SSとして | | 7.8 | 18.4 | 2.94 | 29.0 | 2650 | 27.9 | 1.84 | 128 | 496 |
| No.11 (Potosi郊外) (ウベラ川) | 溶解(イオン) | 8.4 | 0.022 | 0.001 | 0.05 | 0.16 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.03 | 0.16 |
| | SSとして | | 11.6 | 15.0 | 2.42 | 33.7 | 3520 | 31.0 | 20.6 | 120 | 626 |
| No.12 (S. Antonio) (アルカマツ川) | 溶解(イオン) | 8.7 | 0.02 | 0.001 | 0.05 | 0.15 | 0.06 | <0.10 | 0.33 | 0.03 | 0.21 |
| | SSとして | | 6.94 | 26.5 | 2.48 | 30.3 | 4260 | 26.1 | 20.3 | 141 | 625 |
| No.15 (La Puente) (アルカマツ川) | 溶解(イオン) | 8.1 | 0.01 | 0 | 0.1 | 0.02 | 5.12 | 0.55 | 5.7 | 0.03 | 36 |
| | SSとして | | 11.6 | 40.9 | 2.31 | 19.7 | 4410 | 33.0 | 23 | 313 | 881 |

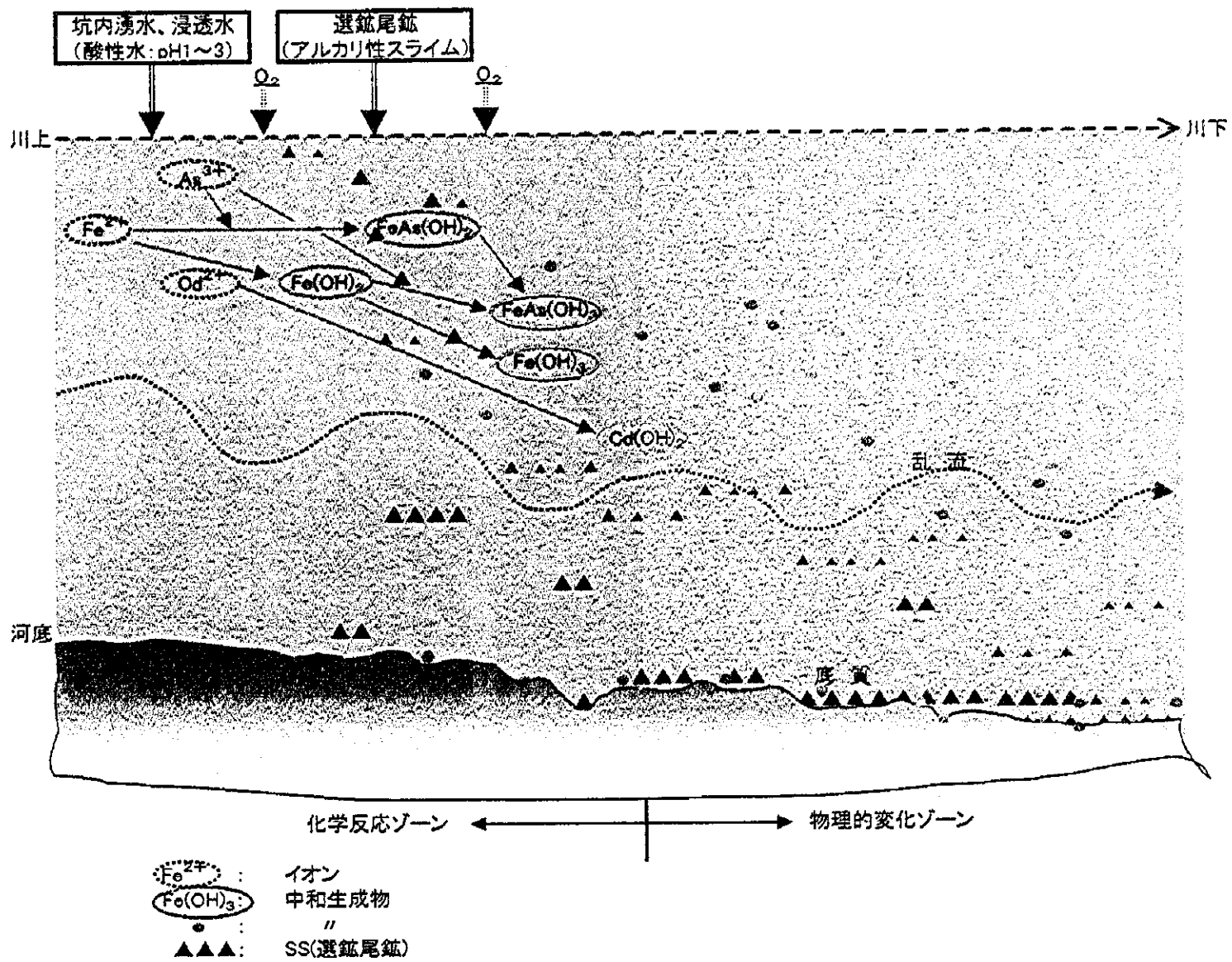


図 5-2-1 水質汚濁のメカニズム

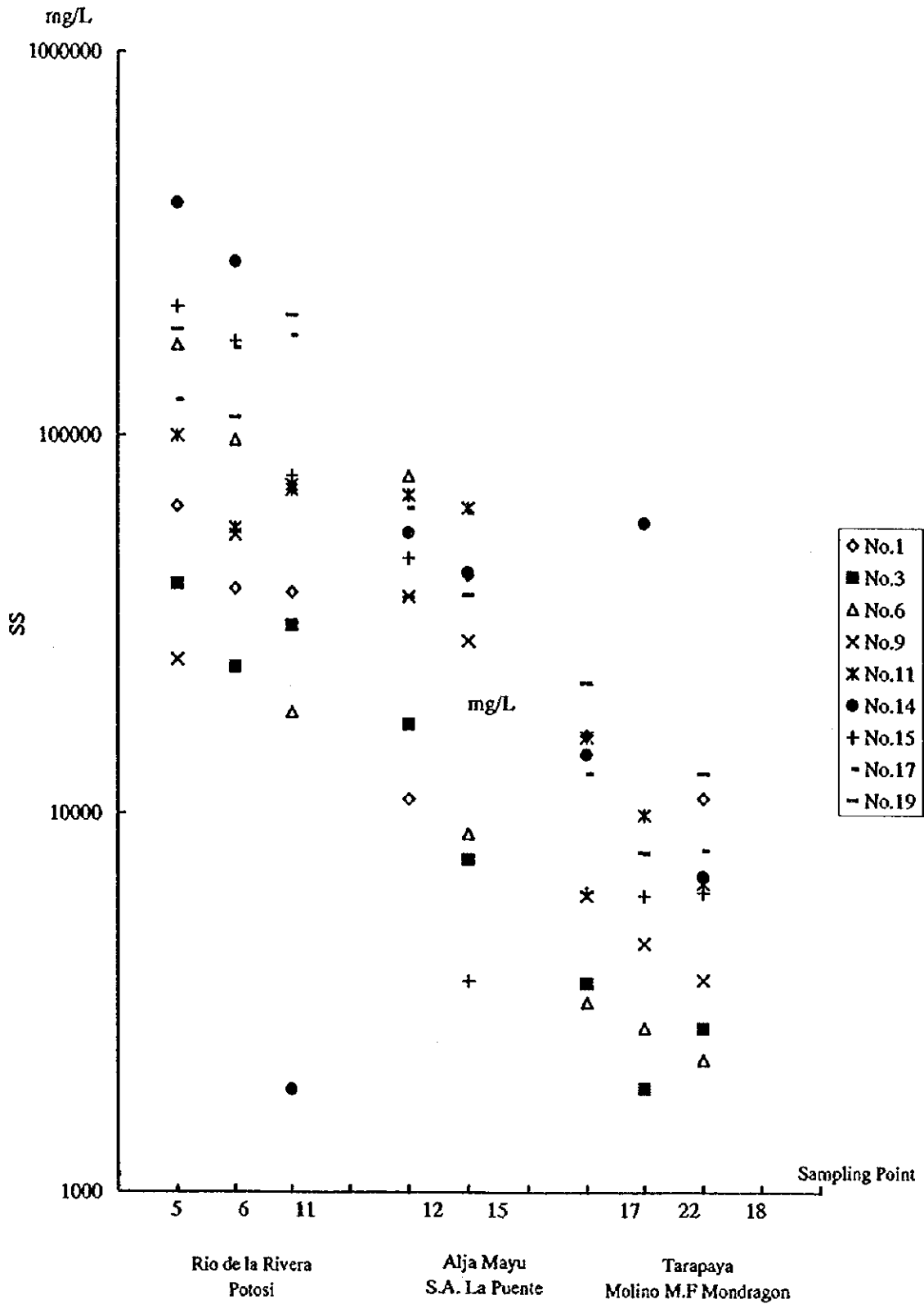


図5-2-2 季節とリベラ川-アルハ・マユ川-タラパヤ川のSS変化

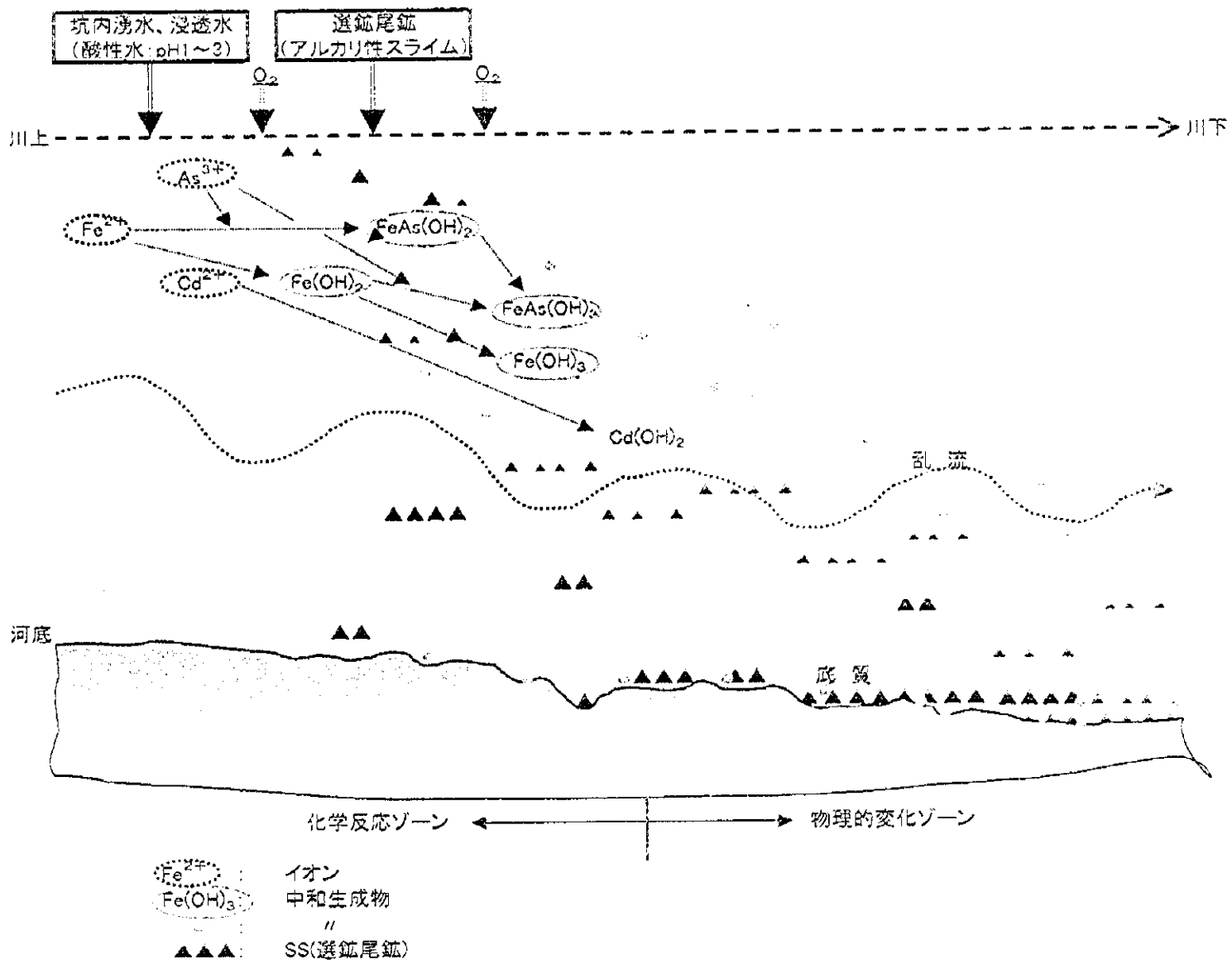


図 5-2-1 水質汚濁のメカニズム

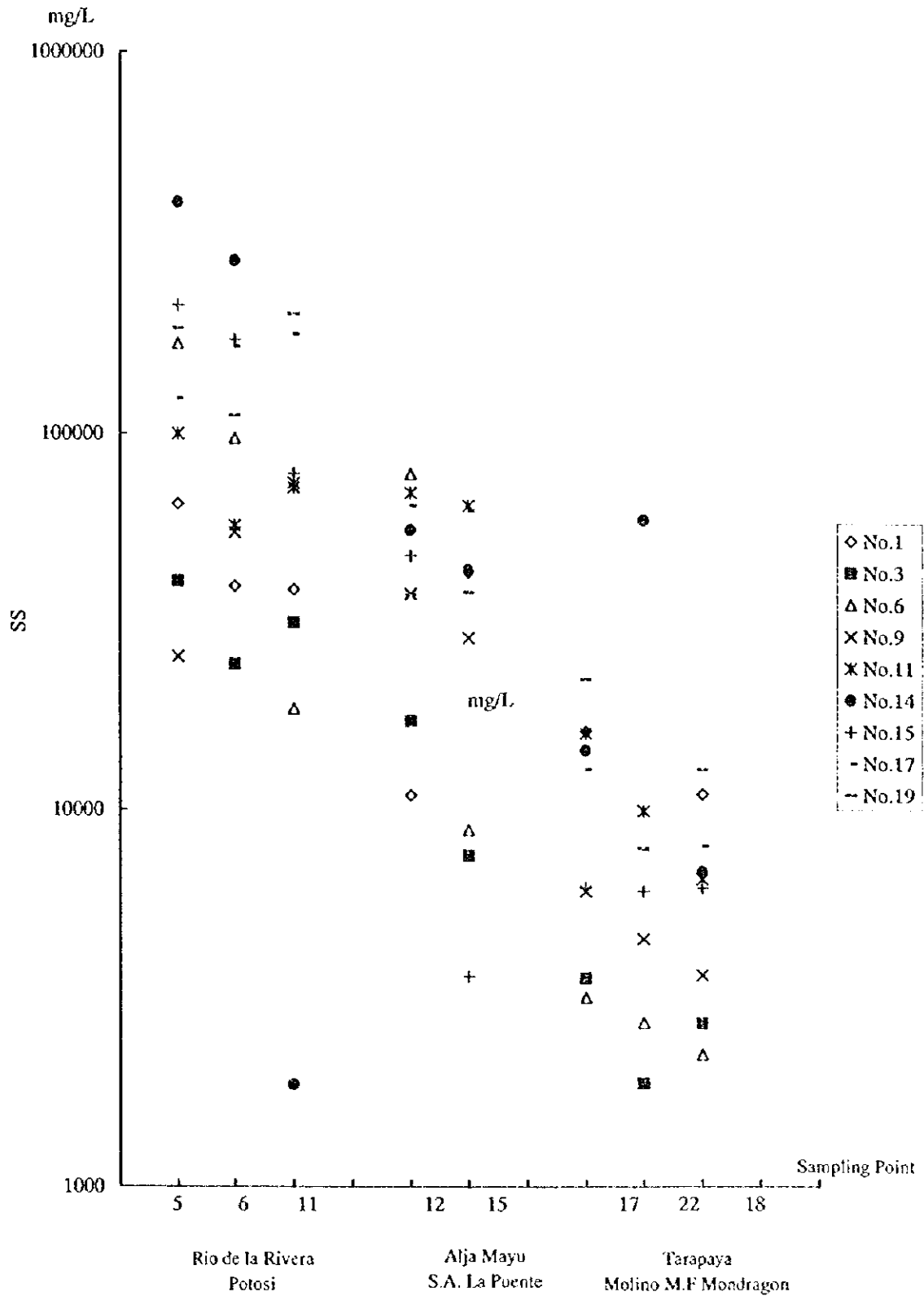


図5-2-2 季節とリベラ川-アルハ・マユ川-タラパヤ川のSS変化

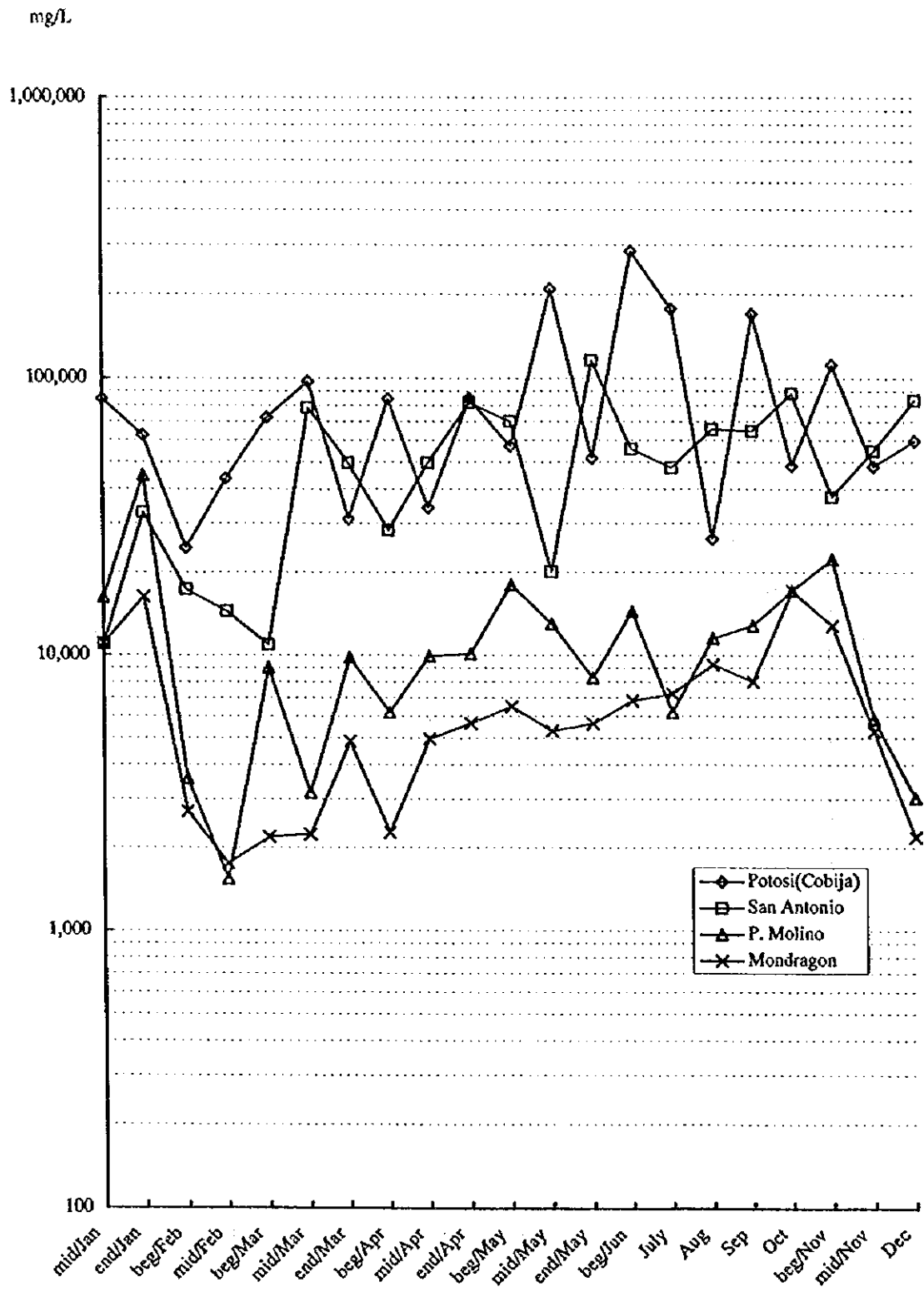


図5-2-3 タラバヤ川水系サンプリングポイントのSS濃度の季節的变化

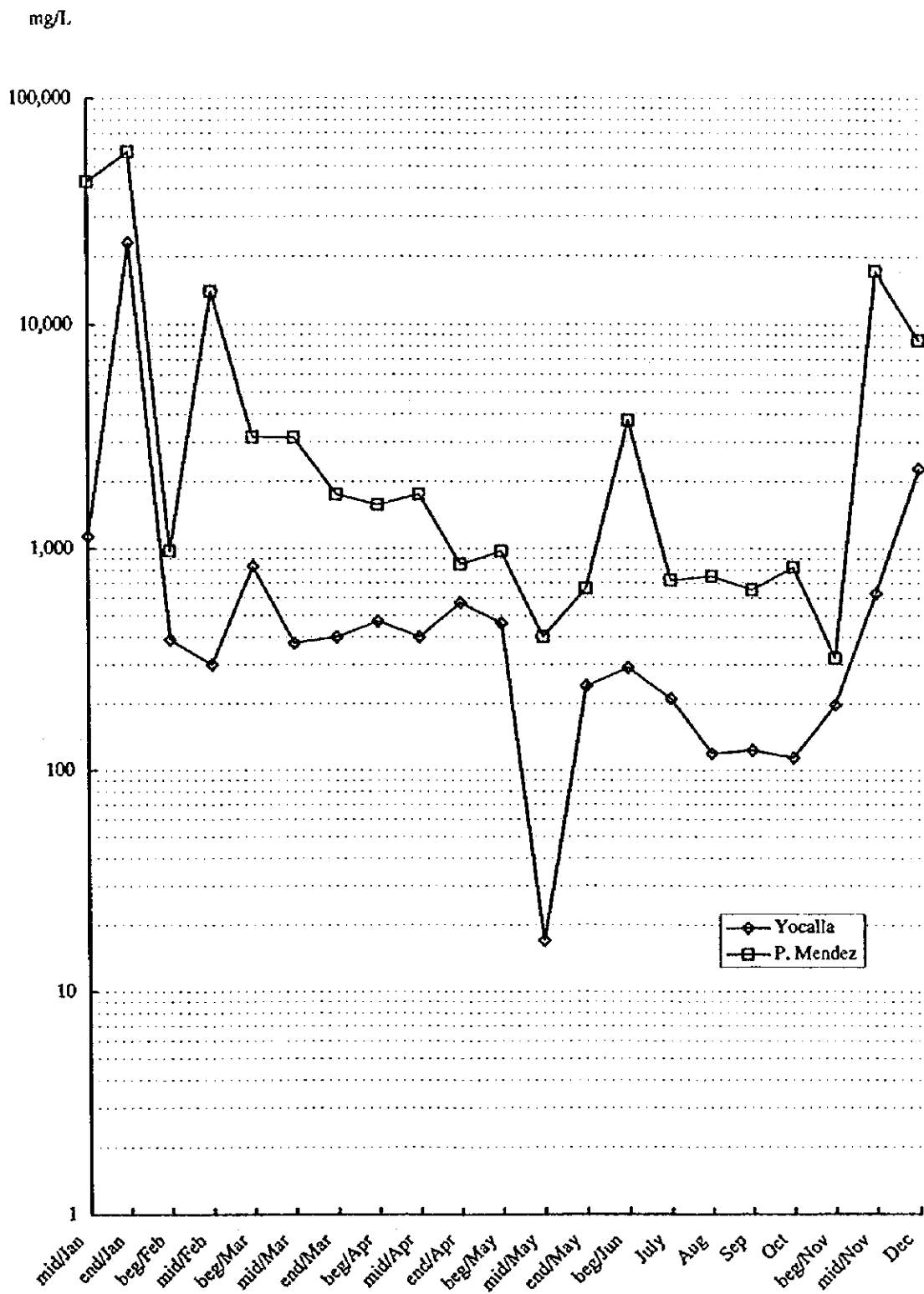


図5-2-4 ビルコマヨ川サンプリングポイントのSS濃度の季節的変化

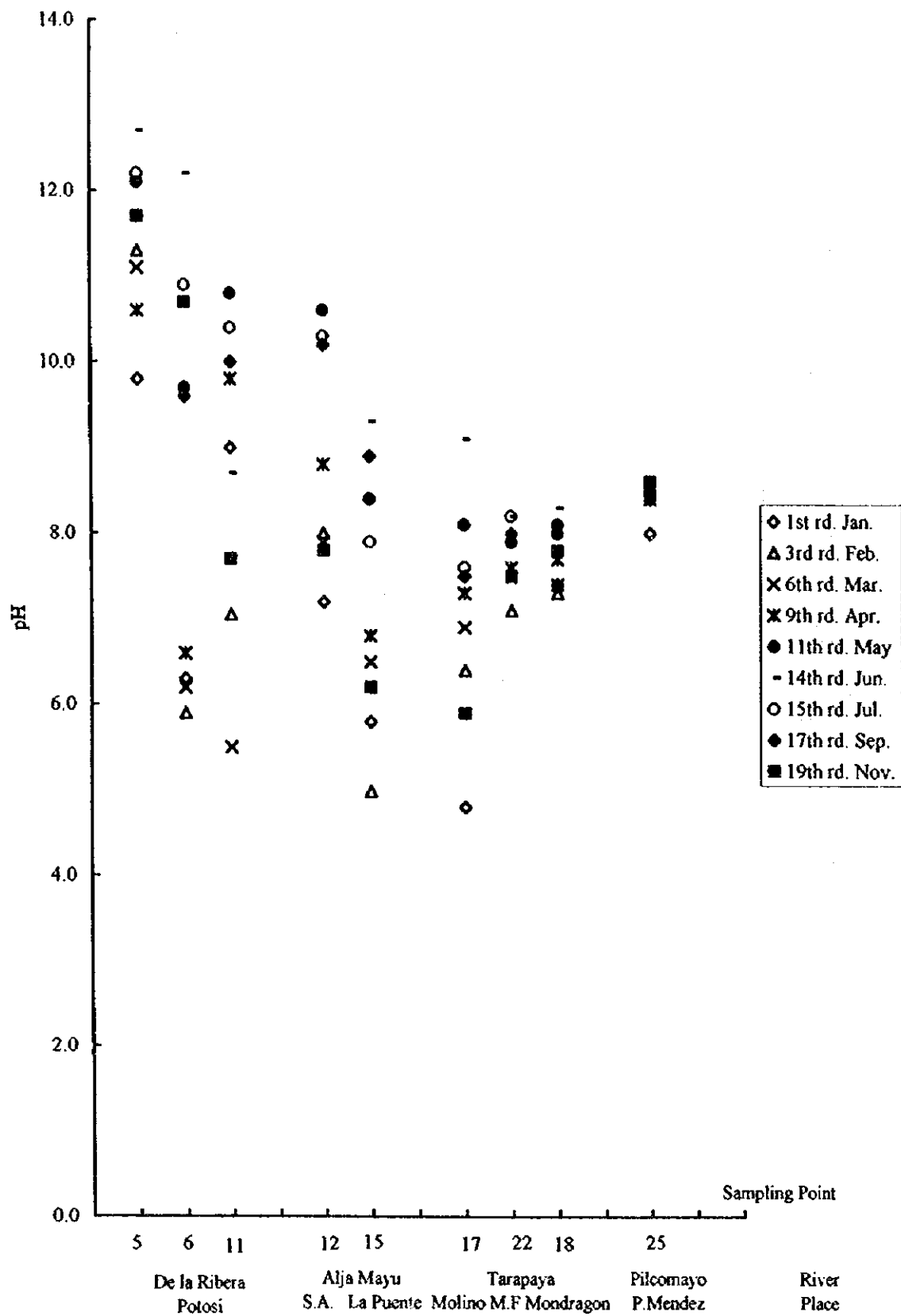


図5-2-5 リベラ川—タラパヤ川—ピルコマヨ川のpH変化

pH vs. Concentration of As

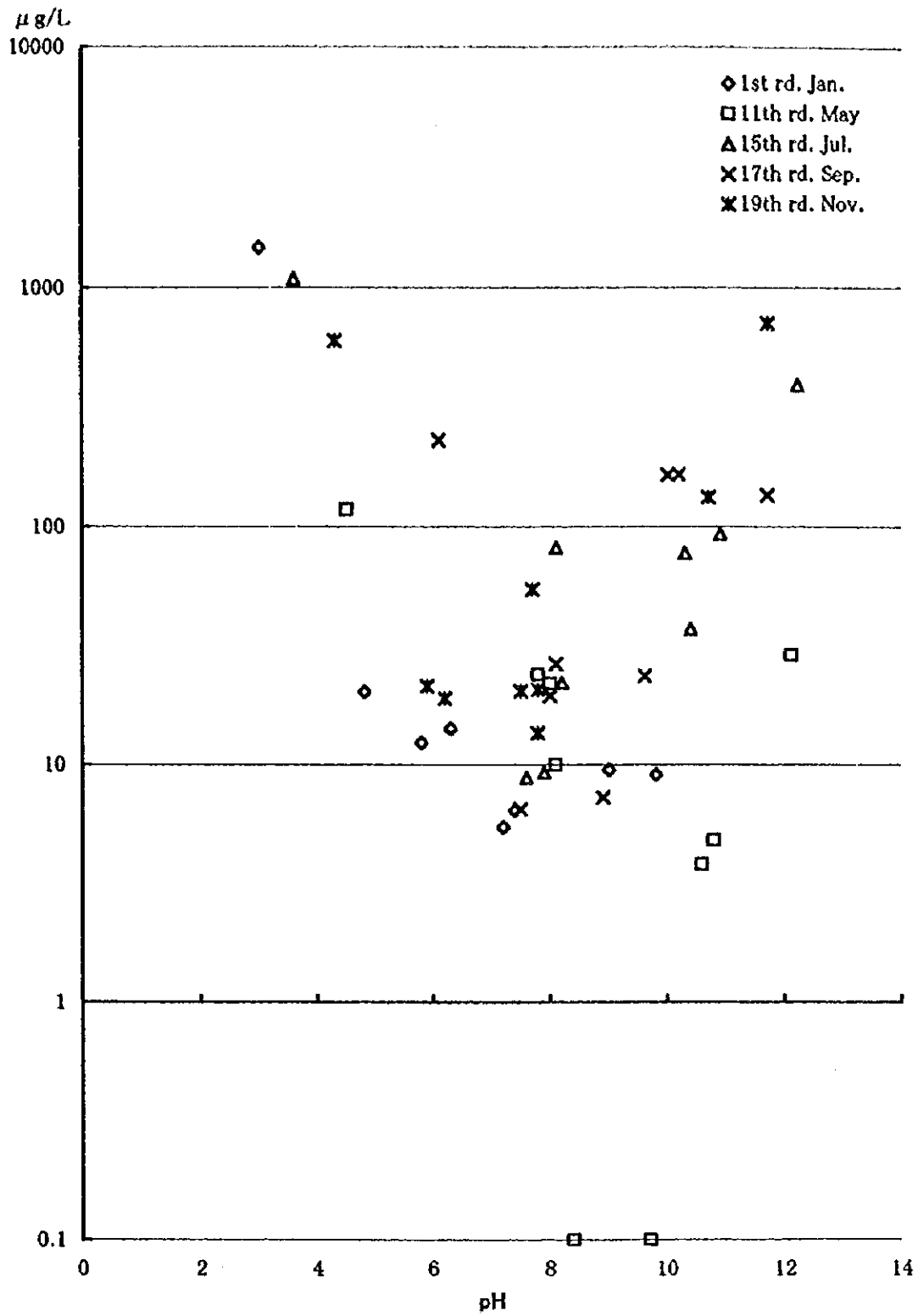


图5-2-6 pH vs. concentration of As

pH vs. Concentration of Sb

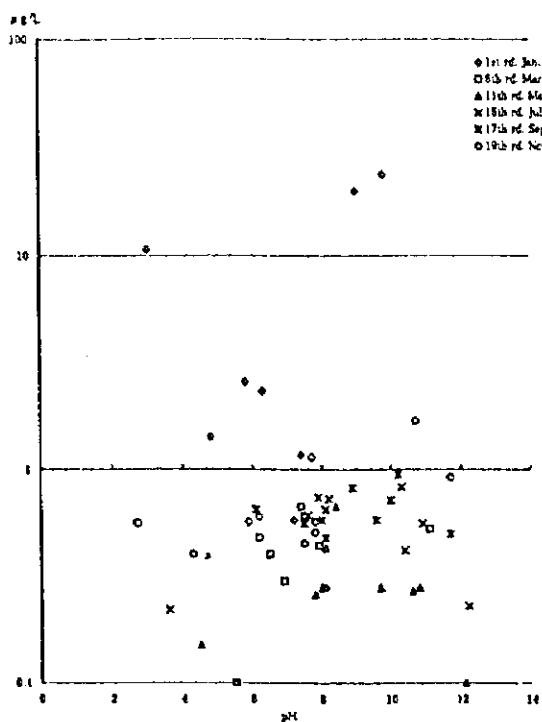


图5-2-7 pH vs. Concentration of Sb

pH vs. Concentration of Cd

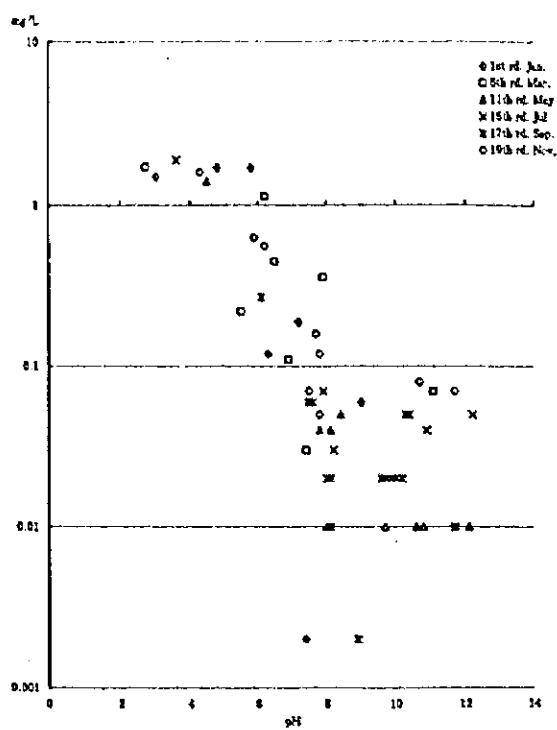


图5-2-8 pH vs. Concentration of Cd

pH vs. Concentration of Cu

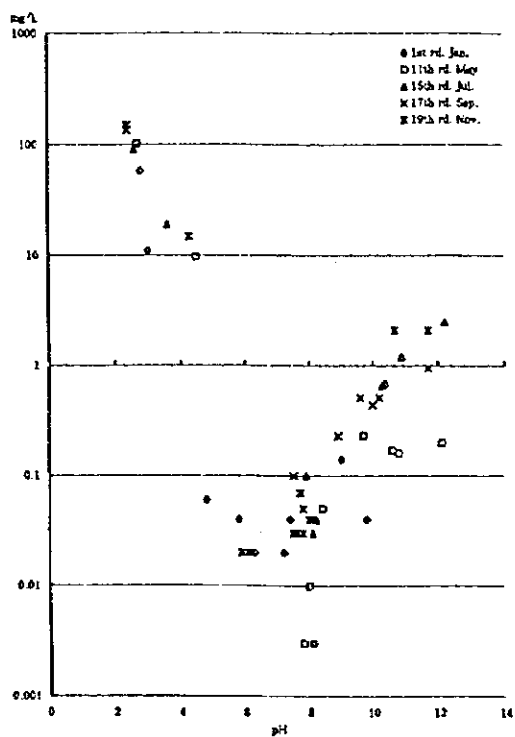


图5-2-9 pH vs. Concentration of Cu

pH vs. Concentration of Fe

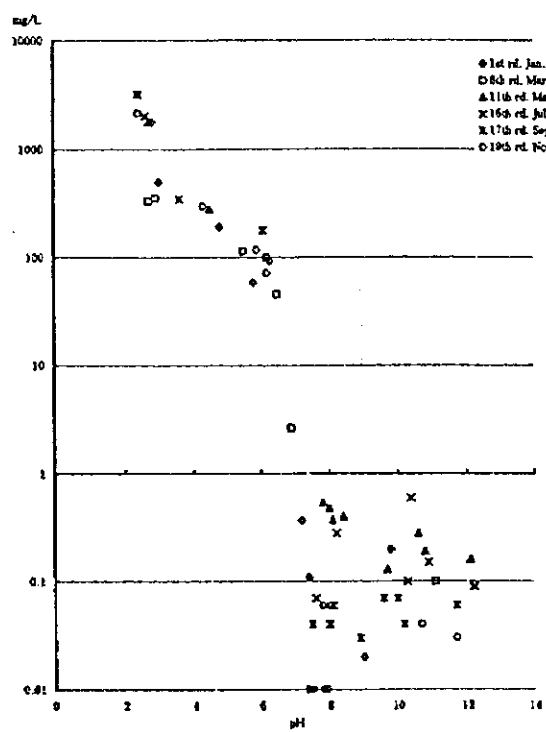


图5-2-10 pH vs. Concentration of Fe

pH vs. Concentration of Hg

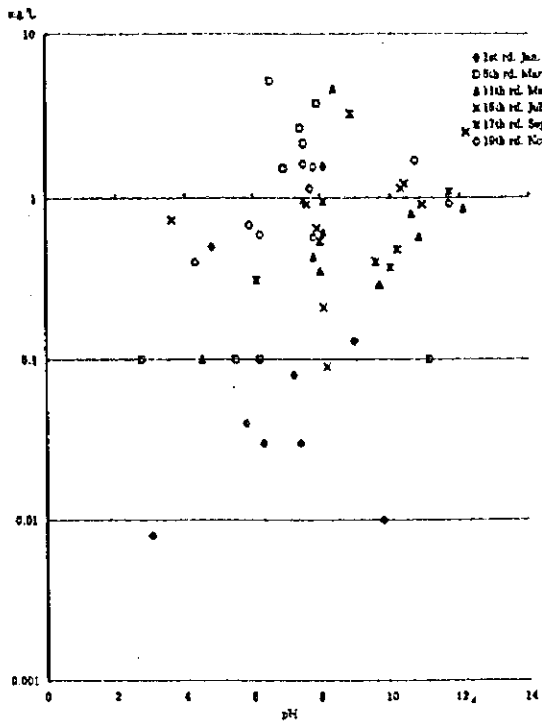


图5-2-11 pH vs. Concentration of Hg

pH vs. Concentration of Mn

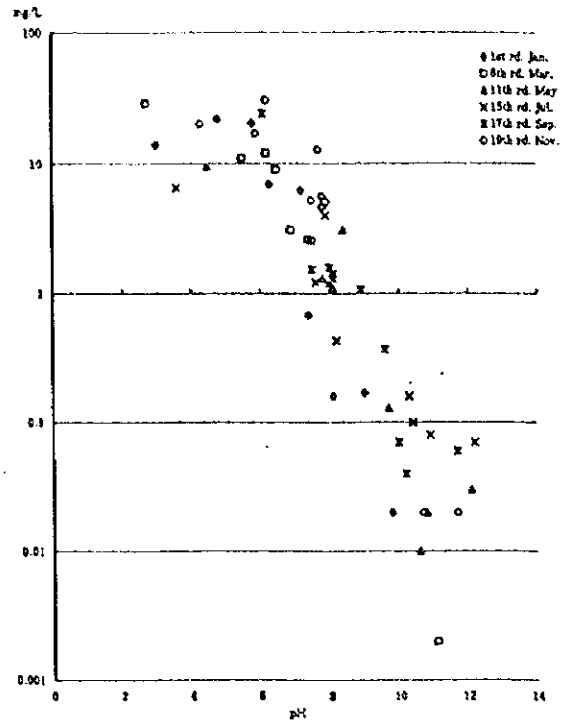


图5-2-12 pH vs. Concentration of Mn

pH vs. Concentration of Pb

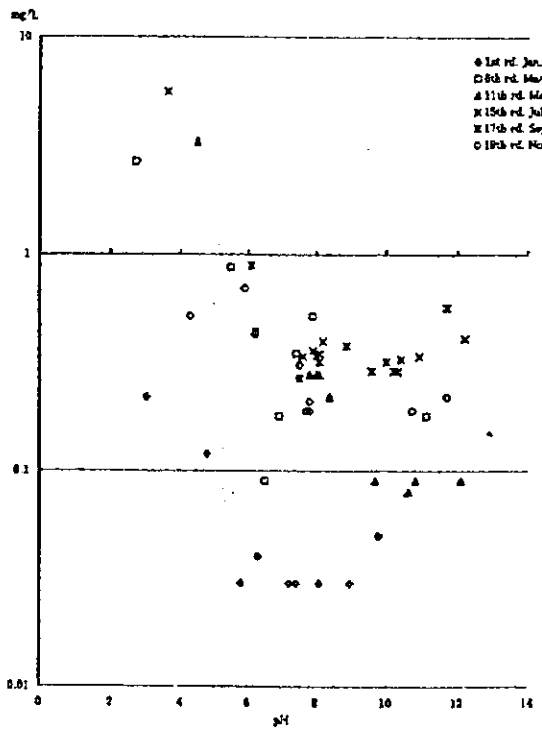


图5-2-13 pH vs. Concentration of Pb

pH vs. Concentration of Zn

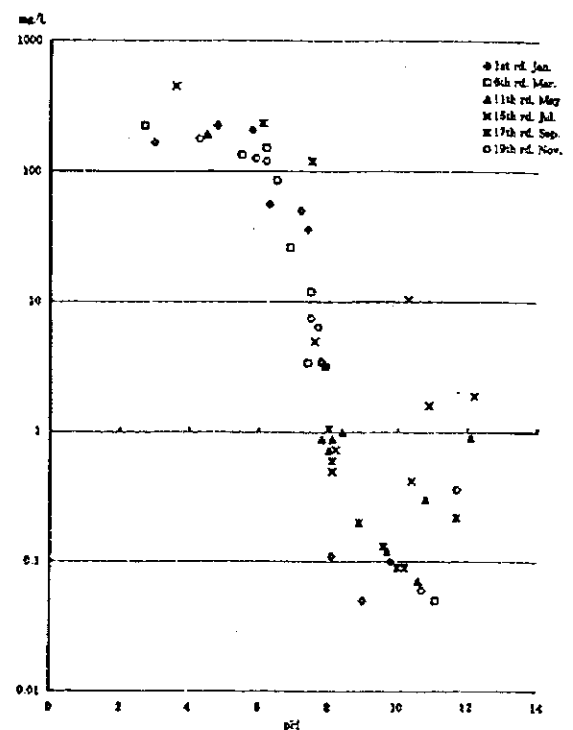


图5-2-14 pH vs. Concentration of Zn

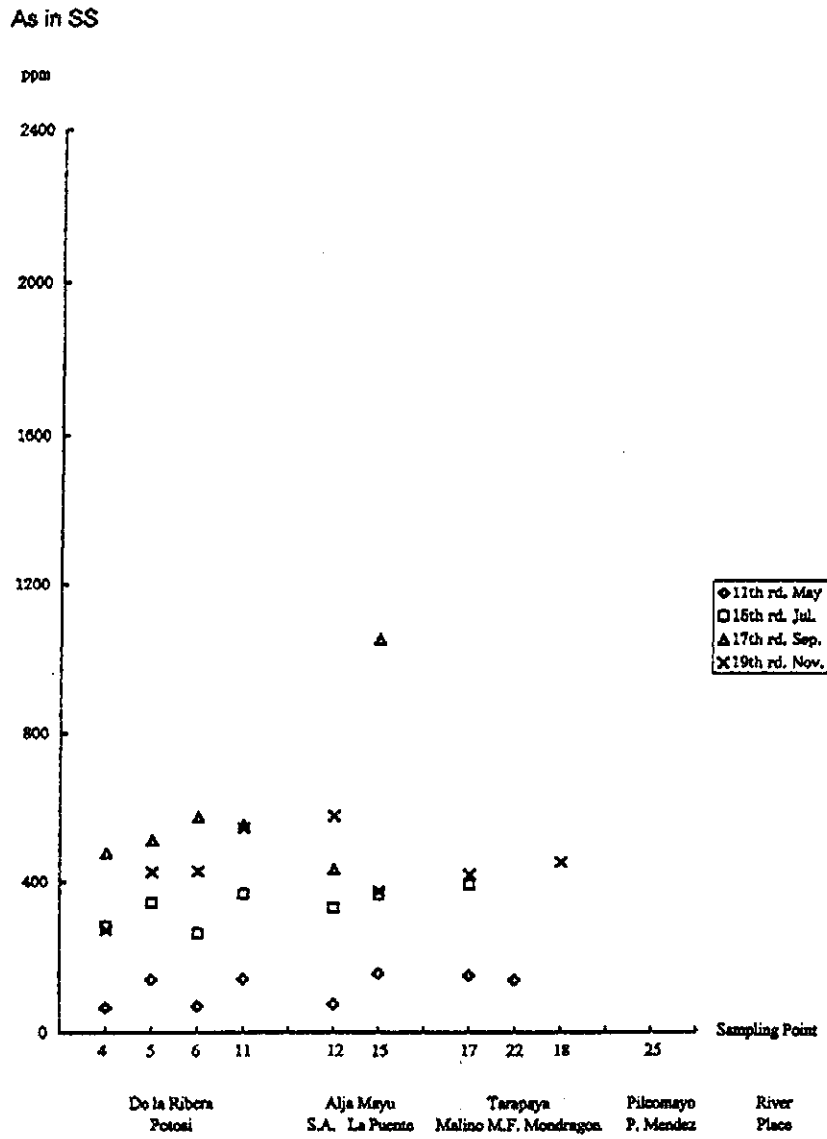


图5-2-15a As Content in SS

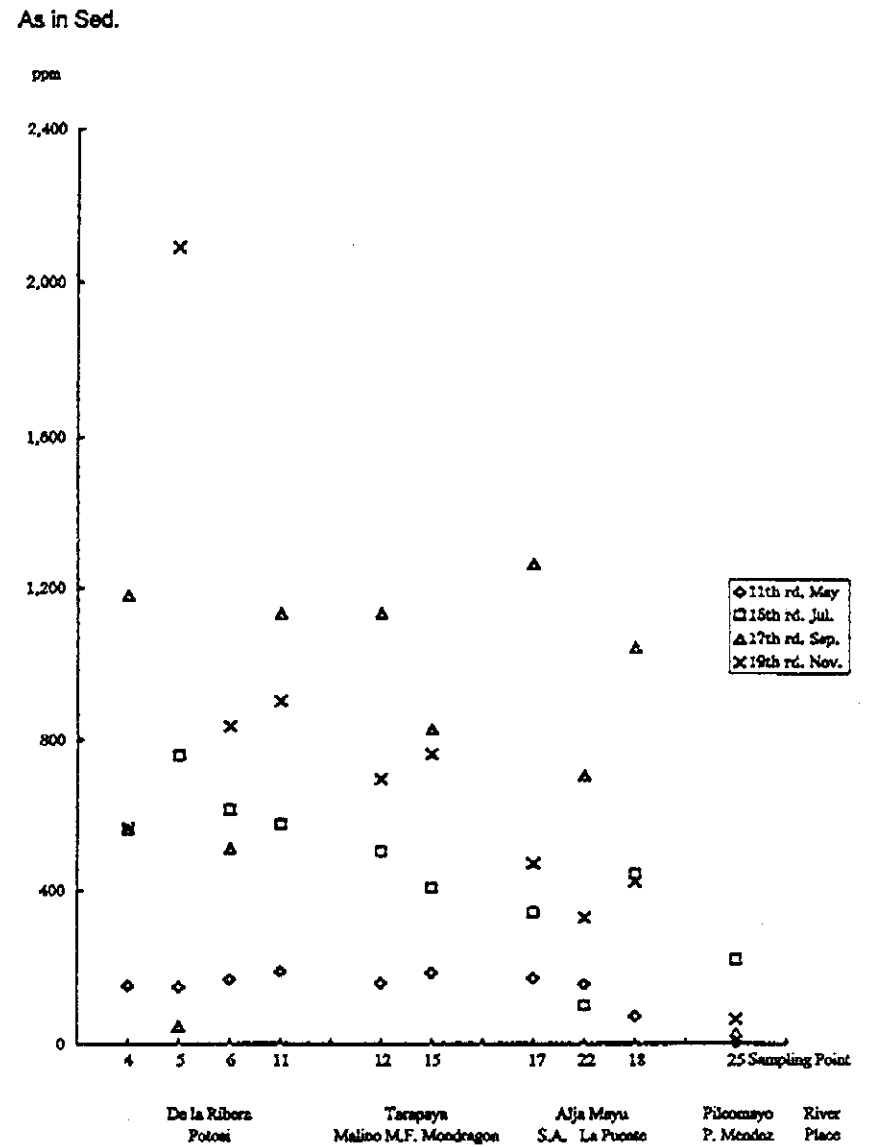
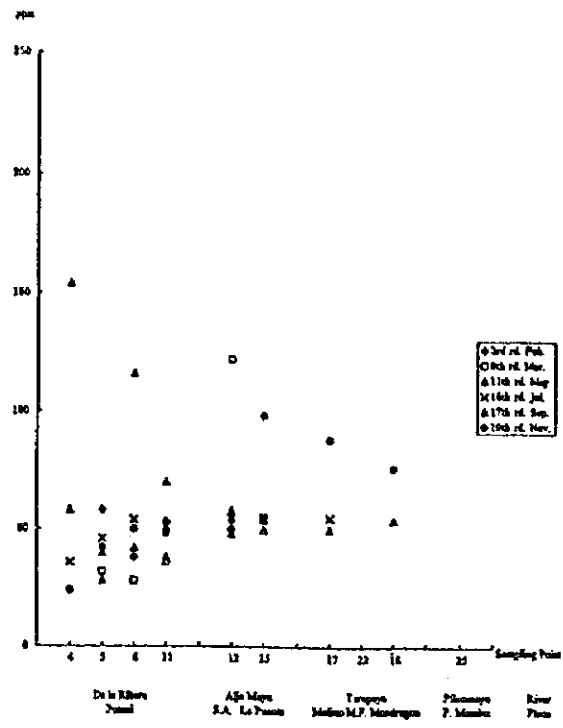


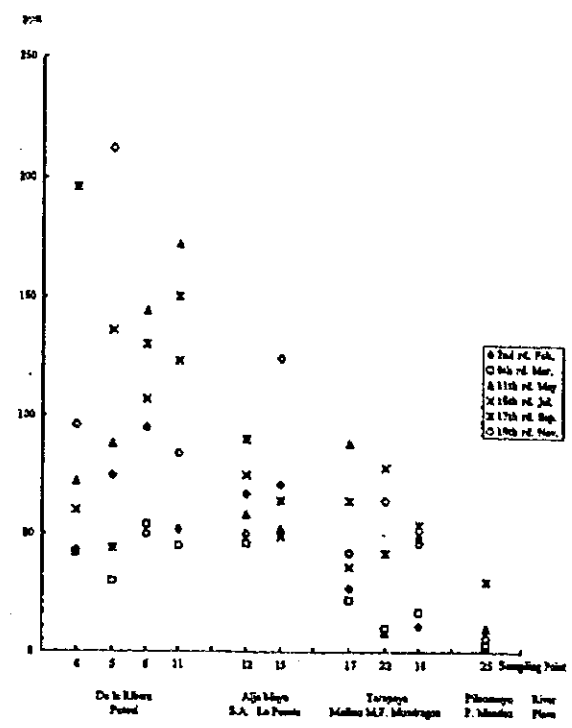
图5-2-15b As Content in Sediment

Cd in SS



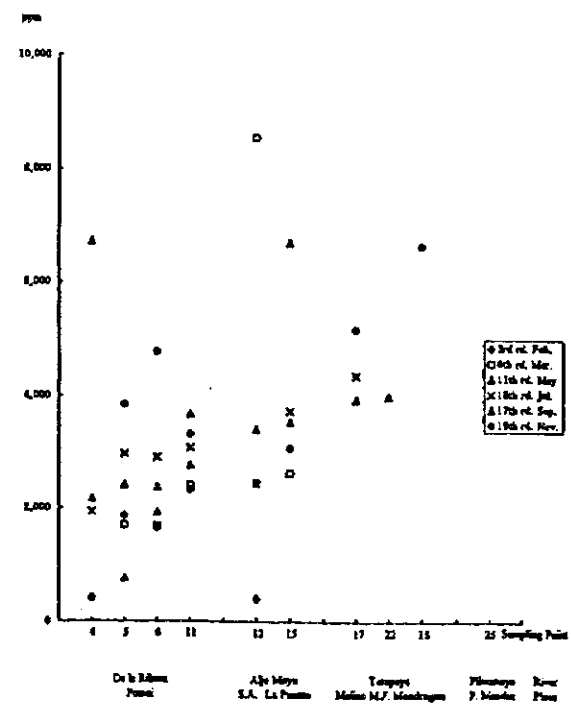
ES-2-16a Cd Content in SS

Cd in Sed.



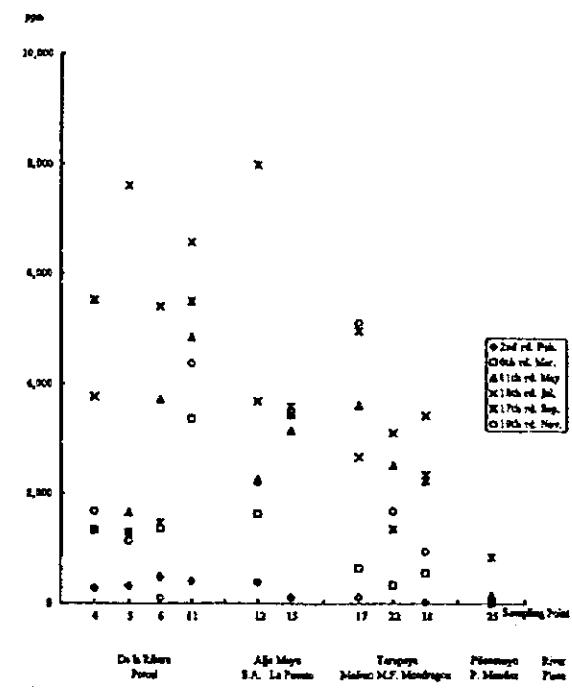
ES-2-16b Cd Content in Sediment

Pb in SS



ES-2-17a Pb Content in SS

Pb in Sed.



ES-2-17b Pb Content in Sediment

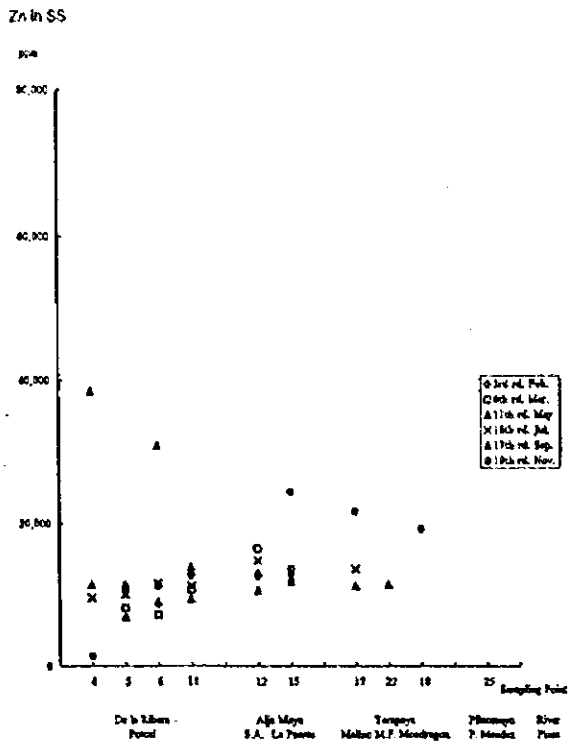


FIG 5-2-18a Zn Content in SS

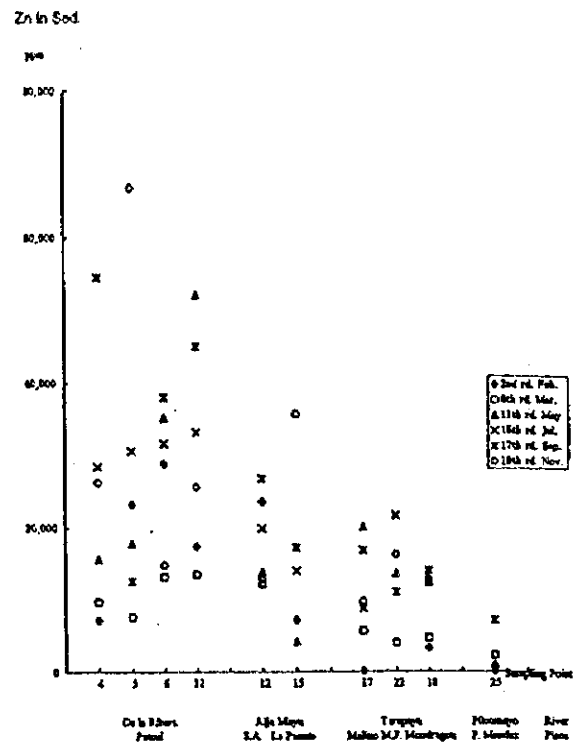


FIG 5-2-18b Zn Content in Sediment

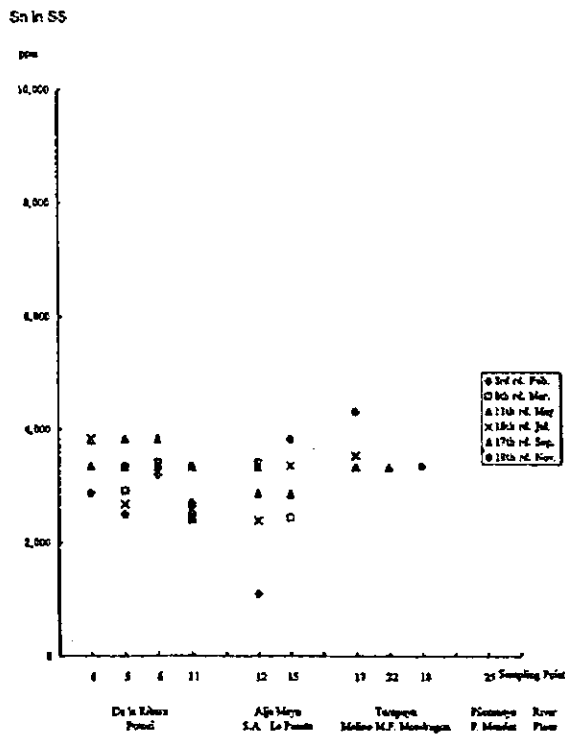


FIG 5-2-18c Sn Content in SS

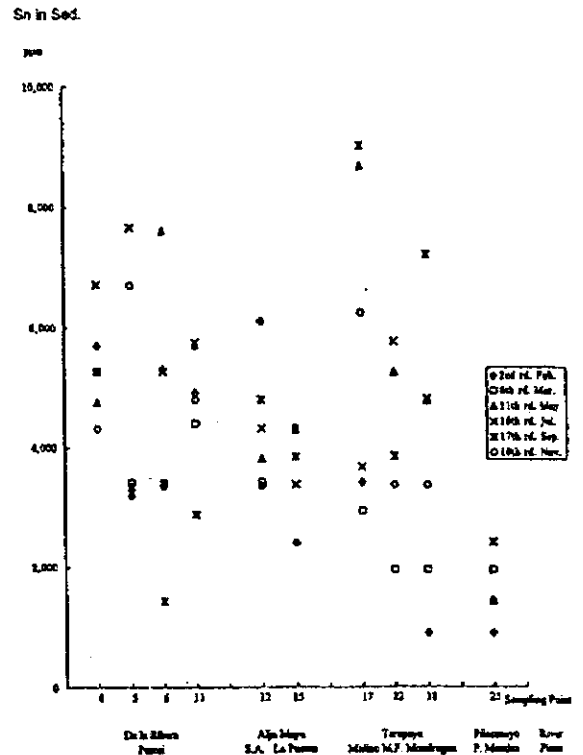


FIG 5-2-18d Sn Content in Sediment

第6章 対策のための検討

鉱害防止計画、環境管理計画及び啓蒙・教育・人材育成の3面から、改善対策の検討を行った。鉱害防止計画は、鉱害防止を直接行う対策と、環境コストの原資を確保し間接的に鉱害防止を行う対策とを計画する。又、環境管理計画は、環境管理の立場から環境改善のための対策を計画する。

6-1 鉱害防止計画

鉱害防止計画の立場から環境改善のための施策の提言を以下に示す。

鉱害防止は、ボリヴィア国環境法排水基準を満たすことを目標とする。

鉱害防止の直接対策に係る鉱害防止技術(全般)を表6-1-1に示す。各技術を、ポトシ市の鉱害関係箇所へ適用可能で実施すべき技術と、適用不可で実施不能な技術とに分け、同表中に示す。鉱害発生箇所を鉱山系(鉱山坑廃水[坑内湧水等]、廃石等[廃石(デスモンテ)、原始比重選鉱尾鉱(スーク)、比重選鉱尾鉱、浮遊選鉱尾鉱、ヒーブリーチングのヒーブ]堆積場浸透水・堆積物関係)と選鉱系(インヘニオ選鉱尾鉱関係)とに分け、適用可能で実施すべき鉱害防止技術を以下にまとめる。この概念を図6-1-1に示す。

鉛防止直接対策

① 鉛山系

①-1 鉛山：汚染坑廃水（酸性）→ A.坑廃水処理（中和処理、中和燬物*¹処理）

①-2 廃石等堆積場

：汚染浸透水（酸性）→ A.坑廃水処理（中和処理、中和燬物処理）、
B.堆積場緑化

含有害物質堆積物 → B.かん止堤・擁壁築造、
B.堆積場緑化

② 選鉛系

②-1 インヘニオ（選鉛場）

：選鉛尾鉛1（含有害物質鉛石細粒子(SS)）【固形分】

→ A.最終処分場処理（廃滓堆積場に堆積）

選鉛尾鉛2（汚染排水（アルカリ性））【水部分】

→ A.坑廃水処理（中和処理、中和燬物*¹処理）

* 1：中和処理での反応生成物

これら技術の内、上記A,Bは以下のように区分する。

A：現在発生している鉛書の防止対策となるもので、その効果は顕著で目に見え、緊急に実施すべきもの。

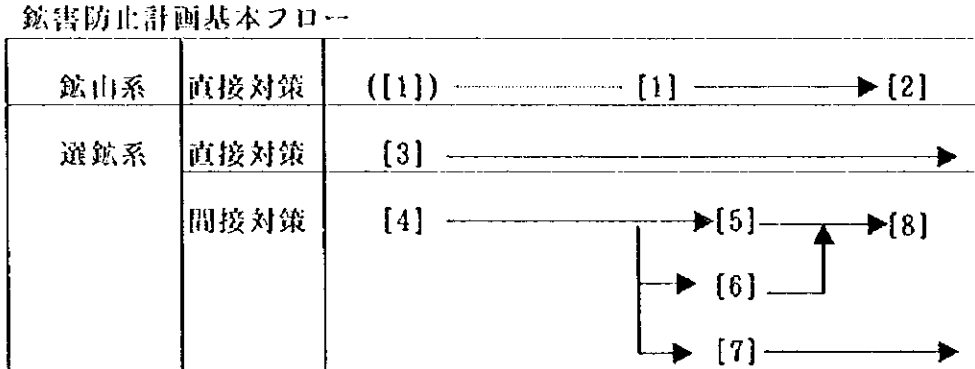
B：新たな鉛書の発生防止対策となるもので、時間を掛けてでも実施すべきもの。

鉛防止対策は、以上に述べてきた鉛防止処置を実際に行う直接対策と、それを助ける、即ち、経営状態が不十分のためインヘニオが現在負担できないでいる環境コストの原資を確保し、環境コストを負担し、結果的に鉛防止につながる間接対策とに分かれる。

間接対策には、まず「インヘニオの工程改善」を行い、現インヘニオの経営状況を改善する。しかし、これだけでは、環境コストを賄うには不十分である。鉛防止及び鉛防止等環境コストの十分な原資を得るための鉛山、選鉛に係る技術力を確保する。次には、これらで得られる研究結果を解析、検討し、インヘニオの更なる経営改善として、「インヘニオ尾鉛からの錫回収選鉛場の導入」、「モデル選鉛場の導入」、「廃石、スークからの有価金属の回収」を考える。最終的には、分散・中小零細規模の既存インヘニオを統合し、集約処理を行う「インテグレート

選鉱場の建設」を考える。これにより、インヘニオにおいて環境コストの原資が十分確保され、「環境」と「生産」とが両立できるようになる。

鉱害防止計画の基本的進め方の考えを、上述の鉱害発生個所（鉱山系と選鉱系）別に適用鉱害防止技術及び同優先順位を以て、以下の鉱害防止計画基本フローに示す。



注) 上記の時系列的項目を以下に詳述した

- 6-1-1 選鉱尾鉱の廃滓堆積場での処理及び排水管理： [3]
- 6-1-2 インヘニオの工程改善検討： [4]
- 6-1-3 坑内湧水、廃石堆積場浸透水の坑廃水処理： [1]
- 6-1-4 インヘニオ尾鉱からの錫回収選鉱場の導入： [5]
- 6-1-5 モデル選鉱場の導入： [6]
- 6-1-6 廃石、スークからの有価金属の回収： [7]
- 6-1-7 インテグレイト選鉱場の建設（工業団地建設）： [8]
- 6-1-8 廃石堆積場、旧尾鉱堆積場の緑化： [2]

又、これら対策について、第7章財務・経済分析で経済性の検討を行った。

尚、選鉱系鉱害防止の考え方を図 6-1-2 に、選鉱系鉱害防止基本計画を表 6-1-2 に示す。

6-1-1 選鉱尾鉱の廃滓堆積場での処理及び排水管理：上述の[3]

ドイツの経済協力(KfW)を得て、現在ポトシ市は市内のインヘニオ（選鉱場）から排出される尾鉱の処理のための廃滓堆積場(DCSA)建設を計画しており、この運営を上水道公社(AAPOS)を中心に、ポトシ市の全てのインヘニオが参加して実施するよう指導している。尾鉱処理には廃滓堆積場の利用が最適であり、

本調査団も当建設プロジェクトの責任者と意見を交換しており、計画されている廃滓堆積場の有効利用に向けて早期の操業を提言する。

対策：

- ① 全インヘニオ選鉱尾鉱 → 廃滓堆積場に流送*²
- ② 選鉱尾鉱1 (SS：固形部分) → 廃滓堆積場にて堆積処理、
- ③ 選鉱尾鉱2 (アルカリ性水：水部分) → 廃滓堆積場にて中和処理*³、
中和段物堆積処理、
上澄水pH調整・リサイクル放流

*²：pHが中性～弱アルカリ性に保持される時、有害重金属の溶出濃度は、排水基準以下。

*³：pH4～6程度の酸性において、 Fe^{+3} 等の水酸化物生成時のAs等有害重金属の共沈を利用する。又、浮選剤の内、シアンは濃度が低いことより CN^- と考えられ、サンセート類等と共に、廃滓堆積場への流送、堆積場ポンドでの滞留時に酸化又は光により分解される。

これら全対策を実施することにより、選鉱系鉱害発生源であるインヘニオの選鉱尾鉱に対する鉱害防止は、完全となる。

必要となる技術育成：

- ① 尾鉱を堆積場まで流送するためのスラリー流送技術
- ② スラリー流送のための運営管理技術
- ③ 堆積場の運営管理技術
- ④ 固液分離技術
- ⑤ アルカリ性の水処理技術

6-1-2 インヘニオの工程改善検討：上述の[4]

本調査団は、調査、選鉱試験、解析により、選鉱の最適条件を把握した上で、各インヘニオ主との会談を通して環境に優しくかつ生産性が上がる技術指導を

薦めており、各インヘニオ主に対し積極的に環境対応型技術を導入することを提言する。

現在の選鉱尾鉱（想定）は、以下の通りである。参考までに金属建値を示す。

- ・ 摩鉱産物粒度（浮選粒度）：+65mesh(+0.208mm) 20~30%
- ・ 浮選pH：11.4~12.4
- ・ 浮選濃度：PD(Pulp Density: 鉱泥濃度)：7.2~9.1%
- ・ 鉛：品位 0.22%、金属量 2.3~2.8t/d、
建値('97LME Settlement) 624\$/Mt
- ・ 亜鉛：品位 2.2%、金属量 22.8~28.1t/d、
建値('97LME SHG) 1,317\$/Mt
- ・ 銀：品位 111g/t、金属量 115~142kg/d、
建値('97H & H N.Y.) 489¢/TR.OZ
- ・ 錫：品位 0.46%、金属量 4.8~5.9t/d、
建値('97LME HG) 5,647\$/Mt

尚硫化錫鉱(黄錫鉱 Stannite: Cu_2FeSnS_4)は、製錬売鉱時ペナルティとなる恐れのある金属で、鉛精鉱又は亜鉛精鉱に含まれる。

酸化錫鉱(錫石 Cassiterite: SnO_2)は、鉛/亜鉛浮選尾鉱に含まれる。

これらから選鉱尾鉱は、多量の有価金属(Pb、Zn、Ag、Sn)が未回収のままインヘニオより廃棄されていることが判る。これに鑑み、本調査団は、有価金属をできるだけ採取するように技術的指導を行って来た。

調査及び選鉱試験結果より以下の対策を策定する。尚、選鉱試験の仕様、結果、解析をANNEX(6)の選鉱に示す。

対策：

・鉛、亜鉛：銀関係：特に鉛、亜鉛、銀各採取率を改善する

① 摩鋳効率向上：浮選粒度適正細粒化

ポトシ鋳山産閃亜鉛鋳（ZnS）の単体分離粒度は約 0.10mm程度であるが、現在の浮選粒度は粗く、閃亜鉛鋳は十分に単体分離されていない。これは、生産量を上げるために摩鋳処理量を慢性的に無理に増やして操業し、結果的には浮選で浮ききれず、採取率を低下させている恐れがある。浮選粒度を適正に細粒化することにより、採取率の改善を図る。

② 浮選時間延長：浮選濃度増加

現在の浮選濃度は7~9%と非常に薄く、従って浮選時間も短い。浮選濃度を20~25%程度迄上げることにより、浮選時間を現行の3倍強程度迄延ばし、採取率の改善を図る。

③ 浮選剤見直し

特に各捕収剤の見直しにより採取率の改善を図る。

これら対策により、現状の設備のままでも採取率を改善(Pb 4%程度、Zn 2.5%程度、Ag 3%程度各向上)できる可能性がある。

・錫関係：新たに錫を採取する

① 鉛精鋳、亜鉛精鋳からの黄錫鋳の分離、採取を図る。

② 鉛/亜鉛浮選尾鋳から、当該粒度で単体分離されている粗粒の錫石の分離、採取を図る。

これらは、共に比重選鋳（揺動テーブル）の新たな導入のみで、採取率を大幅に改善(硫化錫 70%程度、酸化錫 30%程度新たに採取)できる可能性がある。

当該選鋳成績（想定）を、先の表 6-1-3(1) に示す。

当対策の概念を図 6-1-3 に示す。

必要となる技術育成：

① 鋳物鑑定技術（鋳物組成、鋳物粒度[単体分離粒度の判定]等）

② 鋳物処理の最新技術

③ 選鋳設備設計技術

6-1-3 坑内湧水、廃石堆積場浸透水の廃水処理：上述の〔1〕

休廃止鉱山、新旧捨石場からの流出水は酸性水となっており、有害重金属などを含んでいる。この流出水はそのまま河川に入り、重金属をイオン、SS の形で下流に押し流し、広い範囲での環境破壊を進める。従いかかる流出水を中和処理及び中和殿物処理を施し、無鉛害化がなされた後下流に流すなどその坑廃水管理には細心の注意が必要である。

現在建設が予定されている尾鉱ダム（廃滓堆積場）に休廃止鉱山、旧新捨石場からの流出水を入れ、選鉱場からのアルカリ廃水との中和反応を尾鉱ダム内で実施する事も検討されているが、ダムの短命化と堤体の弱体化が懸念される。かかる流出水を経済原則に即した最適化された形で処理することを提言する。

ただし大型の中和設備を持つ事は経済的にも事業性が低いと考えられる。従い、より小型の中和設備を、地理的事情、流量変化の状況、水質等、環境の優位点を考慮にいれて検討する事を推薦したい。

新中和設備の建設による環境への影響も考慮する必要があると同時に、川へ注ぐ排水の水質の変化にも注意を払う必要があり、これらも加味した上での提言が必要となる。

対策：坑内湧水あるいは堆積物浸透水等の酸性水の処理を図る。

案① 鉱山系酸性水と選鉱系アルカリ水混合中和処理

案② 鉱山系酸性水単独中和処理：1,2 段処理

尚、案①、②共に、中和処理では pH4~6 程度の酸性において鉄（3 価： Fe^{3+} ）の水酸化物生成時の As 等有害重金属の共沈現象を利用する。

これら処理フローを検討し、図 6-1-4 に示す。また、中和殿物の処理方法は、表 6-1-1 に示す。

必要となる技術育成：

- ① 酸性水の中和処理技術
- ② 中和殿物の処理技術
- ③ 中和処理設備設計技術

④ 中和化学反応と重金属イオンに関する知識

⑤ 鉱体及び鉱石の酸化プロセスに関する知識

6-1-4 インヘニオ尾鉱からの錫回収選鉱場の導入：上述の〔5〕

現在の選鉱場の操業では尾鉱に多量の鉛、亜鉛、錫が含まれたまま廃棄されている。有価金属を十分に回収する前に尾鉱として河川に放流している事に鑑み、本調査団は有価金属を出来るだけ回収する事が出来る技術的指導を行って来た。

しかしながら、各選鉱場が個別に尾鉱の再処理を実施するだけでなく、規模のメリットを狙う意味でも現在の40社を越える選鉱場の幾つかは共同で尾鉱の再処理プラントを持つことを提言したい。

なお尾鉱再処理プラントの建設場所としては6-1-1項に述べる選鉱場団地の候補地サン・アントニオ新堆積場の上の台地を第一候補として検討する事を提言する。

鉛、亜鉛、硫化錫と一部酸化錫は、現インヘニオの工程改善で或程度対処できるが、残りの酸化錫は、対処かなわず、当選鉱場で対処することを考える。

即ち、鉛/亜鉛浮選尾鉱に含まれる酸化錫鉱(錫石 Cassiterite: SnO_2)は、ポトシ鉱の場合その単体分離粒度が非常に細かく数 $10\mu\text{m}$ であり、6-1-2 インヘニオの工程改善検討の対策・錫関係②で記した比重選鉱(揺動テーブル)での粗粒錫石の採取は全錫石の $1/3$ 程度と想定される。その他 $2/3$ は、細粒/微細粒錫石である。

対策： 細粒/微細粒の錫石は、上記比重選鉱(揺動テーブル)の後再摩砕し、浮選にて回収を図る。選鉱試験より得られた当処理フローを図6-1-5に示す。

これにより採取率を大幅に改善(酸化錫40%程度)できる可能性がある。6-1-2項で述べた工程改善を行ったインヘニオにこの錫回収工程を加えた選鉱成績(想定)を表6-1-3(2)に示す。

選鉱試験で得られた当対策の処理フローを図6-1-5に示す。

必要となる技術育成：

- ① 錫鋳処理技術
- ② 錫鋳物処理選鋳場の設計技術

6-1-5 モデル選鋳場の導入：上述の [6]

本調査団は既存選鋳場に対して適切なアドバイスを実施してきたが、最新の技術を具現化したモデル選鋳場の建設を提言する。本選鋳場は 6-1-3 項に述べた連続選鋳試験設備による試験結果を似て建設する必要がある。

モデル選鋳場は最新の技術を利用することにより経済性が高く、環境に優しい設備を目標としている。モデル選鋳場自体で競争力がある選鋳場ともなるが、将来その選鋳場を利用して現地事情を考慮し、更に競争力がある選鋳場を現地事業者が自らの資金で建設するに際してより正確なモデルケースと成り得る設備を目標としている。

連続選鋳試験設備は飽くまでもモデル選鋳場を実機とするならば、実機建設前の試験設備であり、現地鋳石特性なども十分に研究し、最適なモデル選鋳場を建設することを目的とした設備となる。

「環境」と「生産」を両立させるためには、最新の設備を持ったインテグレイト選鋳場（1,500t/d 程度を想定）で生産を集約し行うことが必要であるが、その前段階としてインテグレイト選鋳場の機能を持ったモデル選鋳場（200t/d）の建設を行うことを考える。尚、当選鋳場は新規廃滓堆積場の上の台地に建設し、インテグレイト選鋳場建設の折りにはその中に含めることを考える。選鋳試験より得られた当処理フローを図 6-1-6 に示す。

選鋳試験結果から決定されたフローに基づき、設備設計及び積算を行った。

積算に関しては、ポリビア国内での設備機器供給会社 9 社、並びにポトシ市におけるローカル・サブコンストラクター 7 社の調査結果を利用した。

200t/d モデルプラントの建設コストは、1 4 億 3 千万円（11.92 百万ドル）である（下表参照）。

200t/d モデルプラントの建設コストの内訳

| | 設 備 費 |
|---------|---------|
| 機械設備工事費 | 8.2 億円 |
| 電気設備工事費 | 3.5 億円 |
| 土木建築工事費 | 2.4 億円 |
| 試運転調整費 | 0.2 億円 |
| 合 計 | 14.3 億円 |

見積工事範囲は、ANNEX(8)に添付したフローシート、P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)、機器リストに記載されている範囲で、ターンキーベースである。敷地整備関係費用（整地、土質改良、杭打ち等）は含まれていない。また、電力、水道は、プラント近傍にて供給されるものとし、また、建設用道路も十分に整備されているものとしている。

為替レートは¥120/\$として計算した。また、コストエスカレーション、為替変動は考慮していない。

6-1-6 廃石、スークからの有価金属の回収：上述の [7]

ポトシ山の山腹には銀、錫鉱だけを採掘していた当時の廃石(デスモンテ)や原始比重選鉱尾鉱であるスークが放置されているが、その量は一億トンとも言われており、既に一部民間企業が事業化を進めているが、その中でも最も経済性がある廃石、スークに関しては、今後適所(*6)を選んで有価金属回収の事業を推進することを提言する。

それらは山腹の緑化のためにも過去の放置された廃石等の除去とその有効活用となる。

*6：例) デスモンテ“セロ・リコ” 5,608千トン(Ag 213.1g/t, Sn 0.27%)

対策：廃石等より銀、錫等有価金属の採取を図る。

案① 破碎の後、青化（シアン）によるヒーブリーチングにて銀採取。

案② 破碎、摩鉱、比重選鉱（揺動テーブル）で粗粒錫石を採取し、その後再摩鉱にてオールスライム（全泥）とし、浮選にて細粒/微細粒の錫石を採取する。引き続き、その浮選尾鉱に対し青化（シアン）

によるタンクリーチングにて銀採取。

当対策の概念を図 6-1-7 に示す。

必要となる技術育成：

- ① シアンリーチングの技術
- ② ヒーブリーチングの技術
- ③ Zn Precipitation、CIP 等の有価金属回収技術

6-1-7 インテグレイト選鉱場の建設（工業団地建設）：上述の [8]

ポトシ市周辺にある既存選鉱場の問題点は本文他項でも述べたように、各々の規模が小さく、経営基盤が脆弱なために環境コストが負担できず、国際的競争力を持たない。

これらを解消するために、現在のインヘニオを統合して集約処理を行う 1,500t/d 程度の処理能力を持つインテグレイト選鉱場の建設を提案する。

モデル選鉱場を参考にした最新の設備により環境コストを合理的に削減した形で事業を進めるためには、堆積場の近くに全ての設備が集結する事が最も合理的と考え、将来的には前記の尾鉱再処理プラントも含め、選鉱場団地の建設を提言したい。その場所としては現時点ではドイツの協力で建設が進められているサン・アントニオ新尾鉱処理ダム（廃滓堆積場）の上部の台地を第一候補として検討する事を提言する。

当選鉱場の処理フローは、6-1-5 項に述べたモデル選鉱場と同じであり、図 6-1-6 に示す。

投資額は、200t/d モデルプラントの積算価格をベースに 0.65 乗則を適用して試算した。

当該選鉱成績（想定）を先の表 6-1-3(2) に示す。現インヘニオと比べると、原鉱品位の低下が予想されるので、処理鉱量を増やし原鉱における金属量を同量に維持確保するものとした。当処理増は、マスプロセス効果で選鉱単位コスト(\$/t)を下げることにより、選鉱コストを上げずに可能である。ポトシ鉱に対する最適なフロー、条件を適用すると共に、錫浮選に最新技術（例：マイクロ

バブル型カラム浮選機)の導入を図り細粒/微細粒の錫石の採取を可能とすることにより、選鉱成績の向上を確実にする。これにより、採取率は、鉛が60.0→72.0%に、亜鉛が81.9→89.3%に、銀が74.8→83.8%に、錫が0→70%に、各々大幅向上することが見込める。

必要となる技術育成：

- ① 大規模鉱物処理プラント設計技術
- ② 大規模鉱物処理プラント操業技術

6-1-8 廃石堆積場、旧尾鉱堆積場の緑化：上述の [2]

有価金属の回収が現代の技術では不採算となる旧捨石場、選鉱場廃滓堆積場は従来放置されてきたが、今後は放置させたままでは酸性水を生み出し、重金属を溶出させ近隣の環境を破壊し続けることになる。

技術的に可能であっても膨大な資金がいる、旧捨石場、選鉱場廃滓堆積場の覆土・緑化計画の推進には住民の積極的参加が不可欠である。また覆土・緑化計画はゆっくりでも良いから前進させる努力が必要でありそのまま放置しない体制を提言する。

当該個所より新たに鉱害が発生しないように対策を講じる必要がある。

対策： 汚染浸透水の流出防止又は削減と、有害物質を含む堆積物の飛散、流出防止を図る。

- ① かん止堤、擁壁の築造
- ② 緑化：場内外排水設備整備、覆土、植栽

当対策等（概念）を図 6-1-1 に示す。

尚、本対策を実施するに当たっては、堆積している鉱石において酸性水の発生の原因となる硫化鉱物、特に黄鉄鉱 (FeS_2) の存在とその賦存量とを、又これら鉱物により発生する酸性水により溶出し水質汚濁を生ずる有害重金属の存在とその賦存量とを事前に調査し、対策実施の要/不要の区別と、実施の優先度を定める。

必要となる技術育成：

- ① 覆土植栽に関する知見
- ② 環境配慮
- ③ 土木施工管理

表6-1-1 鉛防止技術（全般）及び同技術のポトシ地域への適用：適用判定 ○ 適、△ 最適方法要検討、× 不適

| 対策区分、目的 | 対象区域 | 汚染（汚濁）対象 | 鉛防止技術 | ポトシ地域への適用 | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. 発生源対策： 汚染坑廃水、排水と、有害物質を含む石、滓等を、鉱山、廃石・鉱滓堆積場、選鉱場より公共水域（河川、湖沼：地下水等）へ排出しない | 1.1 鉱山： 汚染坑廃水の流出防止、又は削減 | 1.1.1 汚染坑廃水（酸性系） | 1) 坑内水（坑口排水）、鉱山湧水 | 1) 鉱体シール ① 清水/汚染水分離 ② 鉱壁坑水隔離法 ③ 鉱体被覆法 ④ 鉱化帯シール法 2) 坑道閉塞 ① セロデスチャージ型（耐圧密閉） ② オーバーフロー型（耐圧密閉） ③ 空気遮断[エアール]型（非耐圧密閉） ④ 混合型（耐圧密閉） | ○ × × × × × × × |
| | | 2) 浸透水（露天掘り、又は同跡、露頭等） | 1) 露天掘り、又は同跡等整備、緑化（排水設備整備；覆土、植栽） | × | |
| | 1.2 廃石、鉱滓堆積場： 汚染浸透水の流出防止、又は削減；有害物質を含む堆積物の飛散、流出防止 | 1.2.1 汚染坑廃水（酸性系） | 1) 浸透水 | 1) 鉱体シール 2) 堆積場緑化（場内外排水設備整備；覆土、植栽） | × ○ |
| | | 1.2.2 有害物質を含む石、滓等 | 1) 堆積物 | 1) かん止堤、擁壁の築造、堆積場緑化 2) 堆積場安定化 | ○ × |
| | 1.3 選鉱場： 選鉱尾鉱（廃滓）の排出防止 | 1.3.1 汚染排水（酸/アルカリ性系） | 1) 選鉱尾鉱：水部分 | 1) 最終処分場（廃滓堆積場）処理 2) 坑内採掘跡充填 | ○ × |
| | | 1.3.2 有害物質を含む石、滓 | 1) 選鉱尾鉱：固形部分 | 1) 最終処分場（廃滓堆積場）処理 2) 坑内採掘跡充填 | ○ × |
| | 2. 坑廃水処理： 発生源対策を実施しても、どうしても発生する坑廃水を、公共水域に流出する前に無鉛害化する | 2.1 鉱山、廃石・鉱滓堆積場、選鉱場： 流出する汚染坑廃水、汚染排水の無害化処理 | 2.1.1 汚染坑廃水（酸性系）及び汚染排水（酸/アルカリ性系） | 1) 中和処理 | ○ |
| | | | | 2) 中和産物（*）処理 *：中和処理時反応生成物 | ○ |
| | | | | ① 産物[非脱水] | △ |
| | | | | ② 産物[脱水] | △ |
| 3) その他 | | | | × | |
| 3. 土壌汚染対策： 既汚染農用地等は客土等の土壌改良 | 4. その他：清水導水 | ① 金属回収：フェライト法、フェマタイト法 | × | | |
| | | ② 生物処理：金属吸着型微生物、硫酸還元菌 | × | | |
| | | ③ 地下深部還元 | × | | |
| | | ④ 接触酸化処理：キレート樹脂法 | × | | |
| | | | | × | |
| | | | | △ | |

表6-1-2 選鉱系鉛害防止基本計画

| 概要 | 環境 選鉱尾鉱 ：廃滓 | 生産：インヘニオの環境コスト確保に係る検討策 | | |
|------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| | | ポトシ鉱山坑内採掘鉛 | | 鉱山坑外堆積放置鉛 |
| | | Pb,Zn:Ag | Sn | Ag,Sn |
| 現在 | ・河川に全量投棄 ・鉛害発生 | ・選鉱操業:現インヘニオ (42ヶ所:5~370t/d[50t/d以下27ヶ所]) ・処理鉛量:計1,300~1,600t/d程度 ・選鉱処理:分散 ・選鉱成績:不十分 | ・選鉱操業:採取せず :ただ、インヘニオ1ヶ所で少量採取あり | ・選鉱操業:現シアンリーチング・プラント (1ヶ所のみ) ・採取対象:Agのみ |
| 短期将来 | ・独KfWによる新規建設のサン・アントニオ廃滓堆積場(DCSA*1)に流送して、全量処理 ・鉛害防止 | ・選鉱操業:現インヘニオ:工程改善 ・処理鉛量:同上 ・選鉱処理:同上 ・選鉱成績:若干向上 改善項目:特に各採収率改善 ① 摩鉛効率向上:浮選粒度適正細粒化 ② 浮選時間延長:浮選濃度増加 ③ 浮選剤見直し ・経済効果:全効果×1/3 | ・選鉱操業:現インヘニオ:工程改善 ・選鉱成績:Sn採取計上 改善項目:特にSn採取 ① Zn精鉛、Pb精鉛からの硫化Sn(Cu ₂ FeSnS ₄)の分離除去、採取 ② Pb,Zn浮選尾鉛からの酸化Sn(SnO ₂)の分離、採取 → ①,②各揺動テーブル導入 ・経済効果:全効果×1/3 | / |
| 中期将来 | ・同上 | ・環境・保安研究センター: 連続試験設備建設、研究(数t/d) | ・同左 | ・同左 |
| | ・同上 | ・選鉱操業:モデル選鉱場建設(200t/d) ・設置場所:DCSA上 ・現インヘニオ状況:スクラップ & ビルド | ・選鉱操業:同左(*2) ・処理対象:左記Pb,Zn浮選尾鉛 ・設置場所:同左 | ・選鉱操業:モデル選鉱場建設(10t/d) |
| | ・同上 | ・短期将来の同項に同じ | ・選鉱操業:尾鉛再処理選鉱場建設(*2) ・処理対象:現インヘニオよりの尾鉛を集約 ・採取対象:(残留Pb,Zn、及び)Sn ・設置場所:DCSA上 ・経済効果:全効果 | / |
| 長期将来 | ・同上 | ・選鉱操業:インテグレイト選鉱場建設 ・処理鉛量:1,500t/d程度 ・選鉱処理:集約 ・選鉱成績:最善 ・設置場所:DCSA上 ・経済効果:全効果 ・現インヘニオ状況:廃止、統合 | ・選鉱操業:同左:中期将来の尾鉛再処理選鉱場建設の項に同じ(*3) ・処理対象:左記Pb,Zn浮選尾鉛 ・選鉱処理:同左 ・選鉱成績:同左 ・設置場所:同左 ・経済効果:同左 | ・選鉱操業:廃石等選鉱場建設 ・処理対象:一部廃石(デスマンテ)他 ・採取対象:Sn,Ag、又はAg |

注) *1: ディケ・デ・コラス(サン・アントニオ)、*2: Sn処理設備:再摩鉛、Sn浮選、*3: Sn処理設備:揺動テーブル、再摩鉛、Sn浮選

表6-1-3(1) インヘニオ成績現在/将来(1)

(1/2)

| | 現在 | 将来 |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.坑内採掘鉱 | 現インヘニオ(42):分散処理 | インテグレイト選鉱場:集約処理 |
| 1 原鉱 | | |
| 1) 鉱量 | 県調査(1998) 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% 年間操業日 330d/y[想定] 稼働率 75~90%[想定] 処理量 1,277~1,568t/d :1,327t/d[想定] 421~517千t/y :438千t/y[想定] | → 処理増 → ×約1.13 = 1,500t/d[想定] → ×約1.13 = 495千t/y[想定] |
| 2) 品位 | Pb 0.85~2.50% (→ 1.1%[想定]) Zn 8.0~17.0% (→ 11.6%[想定]) Ag 125~700g/t (→ 350g/t[想定]) Sn ? (→ 0.6%[想定]) 埋蔵鉱量:品位 ・Ag-Zn鉱:1994 COMIBOL Ag 644g/t (→ 350g/t) Zn 11.58% ・Sn鉱:1986 COMIBOL Sn 1.01% (→ 0.6%[想定]) | Pb 1%[想定] Zn 10%[想定] Ag 310g/t[想定] Sn 0.5%[想定] → 品位減 → ×約87% → ×// → ×// |
| 3) 金属量 | Pb 1,327t/d × 1.1% = 15.0t/d Zn 1,327t/d × 11.6% = 150.0t/d Ag 1,327t/d × 350g/t = 464.5kg/t Sn 1,327t/d × 0.6% = 7.5t/d | Pb 1,500t/d × 1.0% = 15.0t/d Zn 1,500t/d × 10.0% = 150.0t/d Ag 1,500t/d × 310g/t = 464.5kg/t Sn 1,500t/d × 0.5% = 7.5t/d |
| 2 単位コスト | 1 | 0.7 |
| 3 Pb 精鉱 :Pb 浮選 | 採取率、精鉱品位不良 :評価 Pb,Ag | 採取率、精鉱品位 up :評価 Pb,Ag |
| 1) 鉱量 | 鉱量分布 1.1~2.9% → 1.7%[想定] 1,327t/d × 1.7% = 22.6t/d | → 1.6%[想定] 1,500t/d × 1.6% = 24.0t/d |
| 2) 品位 | Pb (30)~52% (→ 40%[想定]) (Zn 9~(20)% (→ 15%[想定])) Ag (2,000)~6,000g/t (→ 4,500g/t [想定]) | Pb 45%[想定]:目標 60%up (Zn 10%[想定]) Ag 5,060g/t[想定] |
| 3) 金属量 | Pb 22.6t/d × 40% = 9.0t/d (Zn 22.6t/d × 15% = 3.4t/d) Ag 22.6t/d × 4,500g/t = 101.7kg/d | Pb 24.0t/d × 45% = 10.8t/d (Zn 24.0t/d × 10% = 2.4t/d) Ag 24.0t/d × 5,060g/t = 121.4kg/d |
| 4) 採取率 | Pb (40)~65%[試験:54~76%] → 60.0% Ag (23)~37%[試験:18.5~72%] → 21.9% | Pb 72.0%:目標 85%up Ag 26.1%:目標 90%up (Pb,Zn 両精鉱合計) |
| 4 Zn 精鉱 :Zn 浮選 | 採取率、精鉱品位不良 :評価 Zn,Ag | 採取率、精鉱品位 up :評価 Zn,Ag |
| 1) 鉱量 | 鉱量分布 14.0~28.6% → 18.5%[想定] 1,327t/d × 18.5% = 245.5t/d | → 17.5%[想定] 1,500t/d × 17.5% = 262.5t/d |
| 2) 品位 | (Pb 1.2~(3.1)% (→ 1.5%[想定]) Zn (49.0)~53.5% (→ 50.0%[想定]) Ag (300)~4,400g/t (→ 1,000g/t[想定]) | (Pb 1.0%[想定]) Zn 51.0%[想定]:目標 55%up Ag 1,020g/t[想定] |
| 3) 金属量 | (Pb 245.5t/d × 1.5% = 3.7t/d) Zn 245.5t/d × 50.0% = 122.8t/d Ag 245.5t/d × 1,000g/t = 245.5kg/d | (Pb 262.5t/d × 1.0% = 2.6t/d) Zn 262.5t/d × 51.0% = 133.9t/d Ag 262.5t/d × 1,020g/t = 267.8kg/d |
| 4) 採取率 | Zn (83)~88%[試験:58~83%] → 81.9% Ag (30)~48%[試験:13.2~58.8%] → 52.9% | Zn 89.3%:目標 90%up Ag 57.7%:目標 90%up (Pb,Zn 両精鉱合計) |

注) 上記 Pb,Zn 浮選に係る現インヘニオでの工程改善効果は、上表効果の 1/3 を見込む

| | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 Sn 精鉱 ○ 原鉱 | 採取していない: 評価 Sn Sn 品位 0.6% の内、酸化 Sn 鉱 (Cassiterite : SnO ₂) / 硫化 Sn 鉱 (Stannite: Cu ₂ FeSnS ₃) = 1/1 [想定] | 新たに採取する: 評価 Sn 硫化 Sn 0.25% + 酸化 Sn 0.25% = 計 Sn 0.5% |
| 5-1 硫化 Sn テーフ M 分離 | 現在、硫化 Sn の含まれる鉱石はでき るだけ採掘しないようにされていると のことだが、採掘される場合その大部 分は、Pb, Zn 精鉱に含まれる ・ 鉱量 268.1t/d ・ 品位 Sn 1% [想定] ・ 金属量 Sn 2.6t/d ・ 分布率 硫化 Sn 70% [想定] | Pb, Zn 精鉱からの硫化 Sn のテーフ M に よる分離 ・ 鉱量 17.3t/d ・ 品位 Sn 15% [想定] ・ 金属量 Sn 2.6t/d ・ 採取率 硫化 Sn 70% [想定] |
| 5-2 酸化 Sn テーフ M 精鉱 | 現在、サンタカタリーナにて不十分な がら、若干量の採取あり | Pb, Zn 浮選尾鉱からの単体分離され ている粗粒酸化 Sn のテーフ M による採 収 ・ 鉱量 5.5t/d ・ 品位 Sn 20% [想定] ・ 金属量 Sn 1.1t/d ・ 採取率 酸化 Sn 30% [想定] |
| 5-3 酸化 Sn 浮選 精鉱 | | 5-2 の後、酸化 Sn の再摩鉱、浮選に よる採取 ・ 鉱量 10.0t/d ・ 品位 Sn 15% [想定] ・ 金属量 Sn 1.5t/d ・ 採取率 酸化 Sn 40% [想定] |
| 6 尾鉱 | | |
| 1) 鉱量 | 計算 1,327-22.6-245.5 = 1,058.9t/d : 349 千 t/y | 計算 1,500-24.0-262.5-17.3-5.5-10.0 = 1,181t/d: 390 千 t/y |
| 2) 品位 | Pb 0.25~0.94% [サンフリンク* : 0.11~4.57%] (計算 0.22%) Zn 0.5~3.0% [サンフリンク*: 0.48~6.34%] (計算 2.2%) Ag 50~100g/t [サンフリンク*: 14~670g/t] (計算 111g/t) Sn (計算 0.46%) | Pb 計算 0.14% Zn 計算 1.2% Ag 計算 64g/t Sn 計算 0.19% |
| 3) 金属量 | Pb 15.0-9.0-3.7 = 2.3t/d Zn 150.0-3.4-122.8 = 23.8t/d Ag 464.5-101.7-245.5 = 117.3kg/d Sn 7.5-2.6 = 4.9t/d | Pb 15.0-10.8-2.6 = 1.6t/d Zn 150.0-2.4-133.9 = 13.7t/d Ag 464.5-121.4-267.8 = 75.3kg/d Sn 7.5-2.6-1.1-1.5 = 2.3t/d |
| 4) 分布率 | Pb 計算 15.3% Zn 計算 15.9% Ag 計算 25.3% Sn 計算 65.3% | Pb 計算 10.7% Zn 計算 9.1% Ag 計算 16.2% Sn 計算 30.0% |
| 2 廃石 (デスモ ンテ) 等* | 現在、コンコにて Ag をヒーブリーチ ング (シアン浸出) にて採取 | 案 1. 破碎し、ヒーブリーチング (シ アン浸出) にて Ag を採取 1) 鉱量 1,000t/d: 330 千 t/y 2) 品位 Ag 213g/t 3) 浸出率 Ag 60% 4) 採取金属量 Ag: 1,000t/d × 213g/t × 60% = 127.8kg/d 案 2. 破碎、テーブルの後、摩鉱し、 浮選にて酸化 Sn を、その後タン クリーチング (シアン浸出) にて Ag を採取 1) 鉱量 1,000t/d: 330 千 t/y 2) 品位 Ag 213g/t Sn 0.27% 3) 浸出率 Ag 90% 採取率 Sn 70% 4) 採取金属量 Ag: 1,000t/d × 213g/t × 90% = 191.7kg/d Sn: 1,000t/d × 0.27% × 70% = 1.9t/d |

注) *: 対象デスモンテ Cerro Rico 5,608 千 t (Ag 213.1g/t, Sn 0.27%) 等

表6-1-3(2) インヘニオ成績現在/将来(2) 注)インテグレイト選鉱場*:原鉱品位減→原鉱量増→原鉱金属量同量維持

| | | 現インヘニオ :計42選鉱場で分散処理 | 現インヘニオ[工程改善] | 現インヘニオ[工程改善] +尾鉱よりの錫回収選鉱場 | インテグレイト選鉱場(*) :計1選鉱場で集約処理 | | |
|----------|----------|----------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|----------|
| 原鉱 | 鉱量 | t/d 1,300-1,600 → 1,327:想定 | 1,300-1,600 → 1,327:想定 | 1,300-1,600 → 1,327:想定 | 1,500:想定 | | |
| | 品位 | Pb % | 1.1:想定 | 1.1:想定 | 1.1:想定 | 1.0:想定 | |
| | | Zn % | 11.6:想定 | 11.6:想定 | 11.6:想定 | 10.0:想定 | |
| | | Ag g/t | 350:想定 | 350:想定 | 350:想定 | 310:想定 | |
| | | Sn % | 0.6:想定 | 0.6:想定 | 0.6:想定 | 0.5:想定 | |
| | 金属分布率 | Pb % | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | Zn % | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| Ag % | | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| Sn % | | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| 精鉱 | Pb 精鉱 | 鉱量 | t/d 22.6:想定 | 24.1:想定 | 24.1:想定 | 24.0:想定 | |
| | | 品位 | Pb % | 40:想定 | 40:想定 | 40:想定 | 45:想定 |
| | | | Zn % | 15:想定 | 15:想定 | 15:想定 | 10:想定 |
| | | | Ag g/t | 4,500:想定 | 4,500:想定 | 4,500:想定 | 5,060:想定 |
| | 採取率:金属分布 | Pb % | 60.0:計算 | 64.0:計算 | 64.0:計算 | 72.0:計算 | |
| | | Zn % | | | | | |
| | | Ag % | 21.9:計算 | 23.3:計算 | 23.3:計算 | 26.1:計算 | |
| Zn 精鉱 | 鉱量 | t/d 245.5:想定 | 252.9:想定 | 252.9:想定 | 262.5:想定 | | |
| | 品位 | Pb % | 1.5:想定 | 1.5:想定 | 1.5:想定 | 1.0:想定 | |
| | | Zn % | 50.0:想定 | 50.0:想定 | 50.0:想定 | 51.0:想定 | |
| | | Ag g/t | 1,000:想定 | 1,000:想定 | 1,000:想定 | 1,020:想定 | |
| 採取率:金属分布 | Pb % | 81.9:計算 | 84.3:計算 | 84.3:計算 | 89.3:計算 | | |
| | Zn % | 52.9:計算 | 54.4:計算 | 54.4:計算 | 57.7:計算 | | |
| | Ag % | | | | | | |
| Sn 精鉱 | 鉱量 | t/d | | 32.8:想定 | 32.8:想定 | | |
| | 品位 | Pb % | | | | | |
| | | Zn % | | | | | |
| | | Ag g/t | | | 15.8:想定 | 15.8:想定 | |
| 採取率:金属分布 | Pb % | | | | | | |
| | Zn % | | | | | | |
| | Ag % | | | 70.0:計算 | 70.0:計算 | | |
| 尾鉱 | 鉱量 | t/d 1,058.9:計算 | 1,050.0:計算 | 1,017.2:計算 | 1,180.7:計算 | | |
| | 品位 | Pb % | 0.22:計算 | 0.15:計算 | 0.16:計算 | 0.14:計算 | |
| | | Zn % | 2.2:計算 | 1.9:計算 | 2.0:計算 | 1.2:計算 | |
| | | Ag g/t | 111:計算 | 98:計算 | 102:計算 | 64:計算 | |
| | | Sn % | 0.46:計算 | 0.46:計算 | 0.26:計算 | 0.19:計算 | |
| | 金属分布率 | Pb % | 15.3:計算 | 10.7:計算 | 10.7:計算 | 10.7:計算 | |
| | | Zn % | 15.9:計算 | 13.3:計算 | 13.3:計算 | 9.1:計算 | |
| Ag % | | 25.3:計算 | 22.3:計算 | 22.3:計算 | 16.2:計算 | | |
| Sn % | 65.3:計算 | 65.3:計算 | 30.0:計算 | 30.0:計算 | | | |

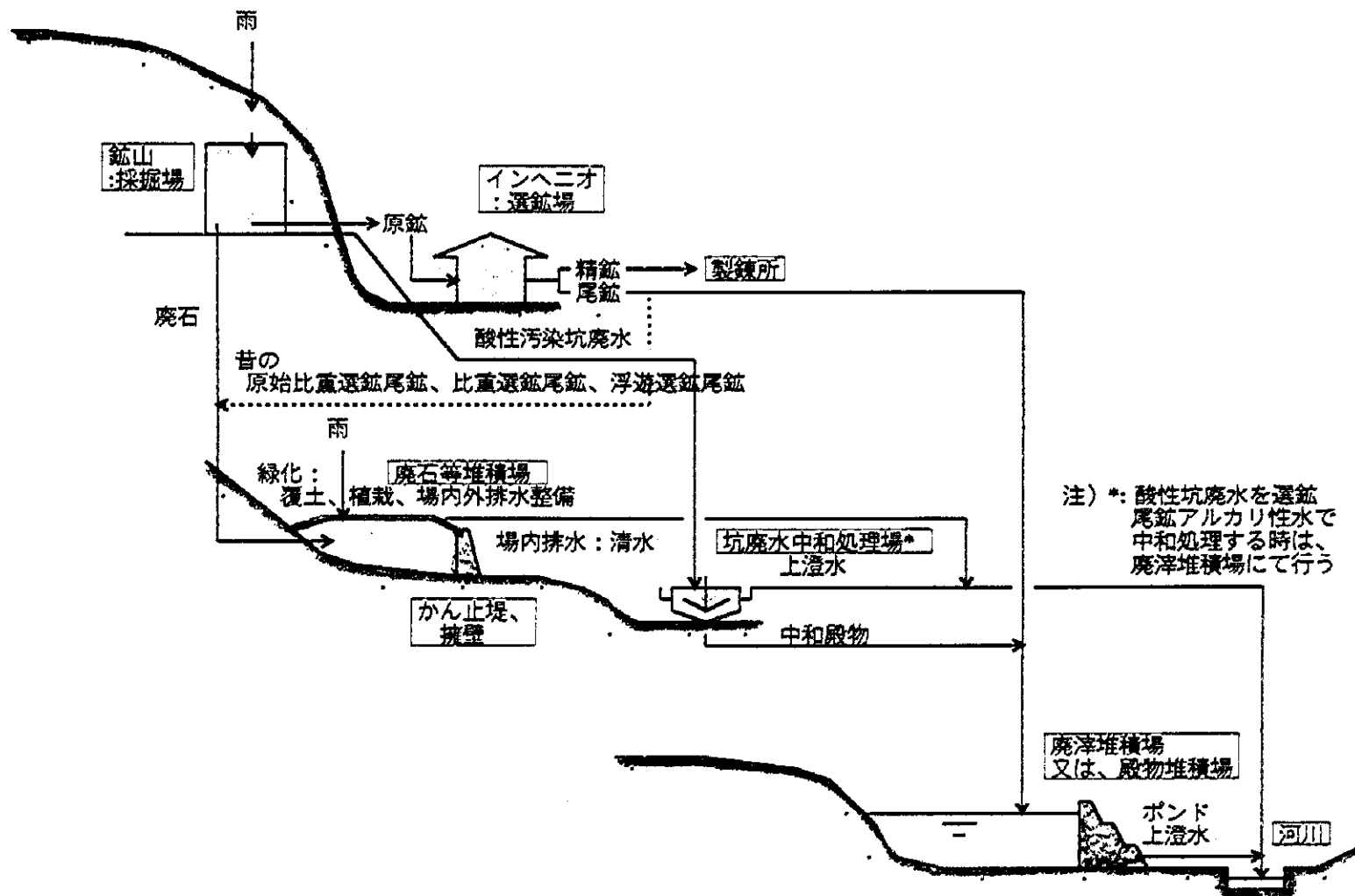


図 6-1-1 ポトシ地域で適用実施すべき鉛害防止技術 (概念)

注) 廃石等堆積場は、緑化 (覆土、植栽：場内排水路整備) が完成する迄は、酸性汚染坑廃水が発生し、中和処理が必要である。

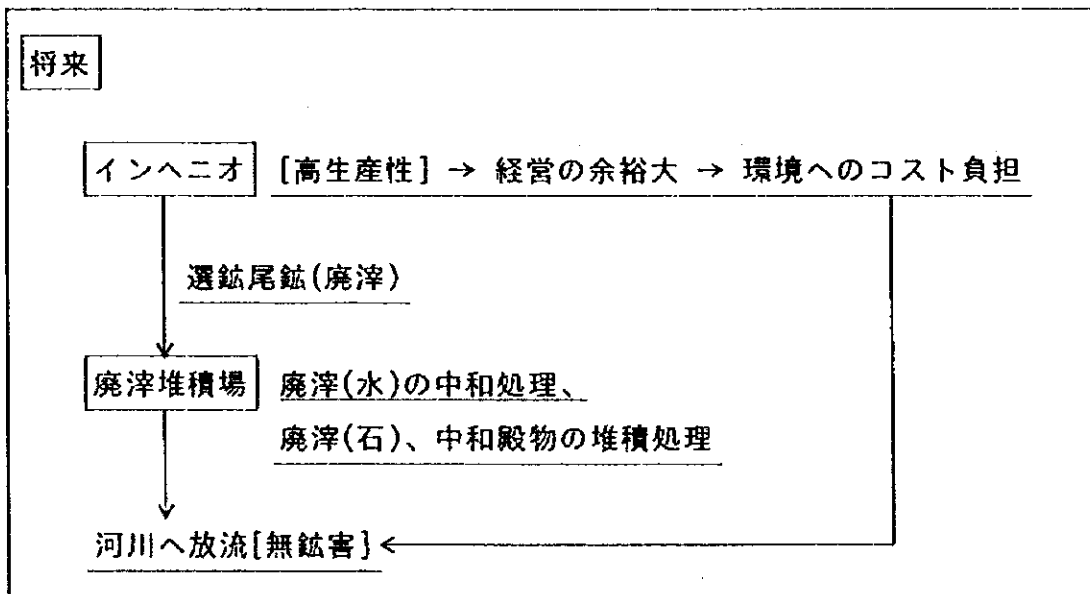
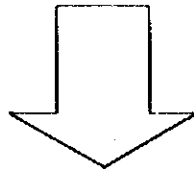
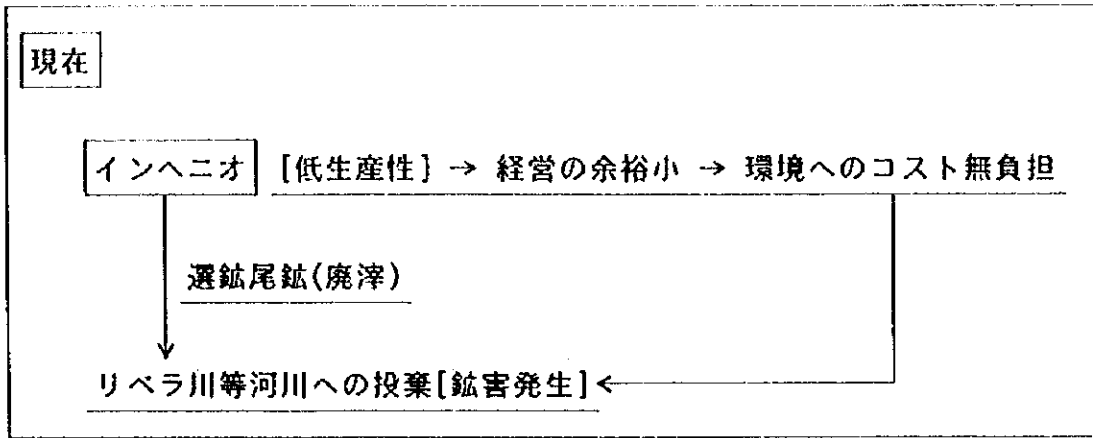


図 6-1-2 選鉱系鉱害防止の考え方

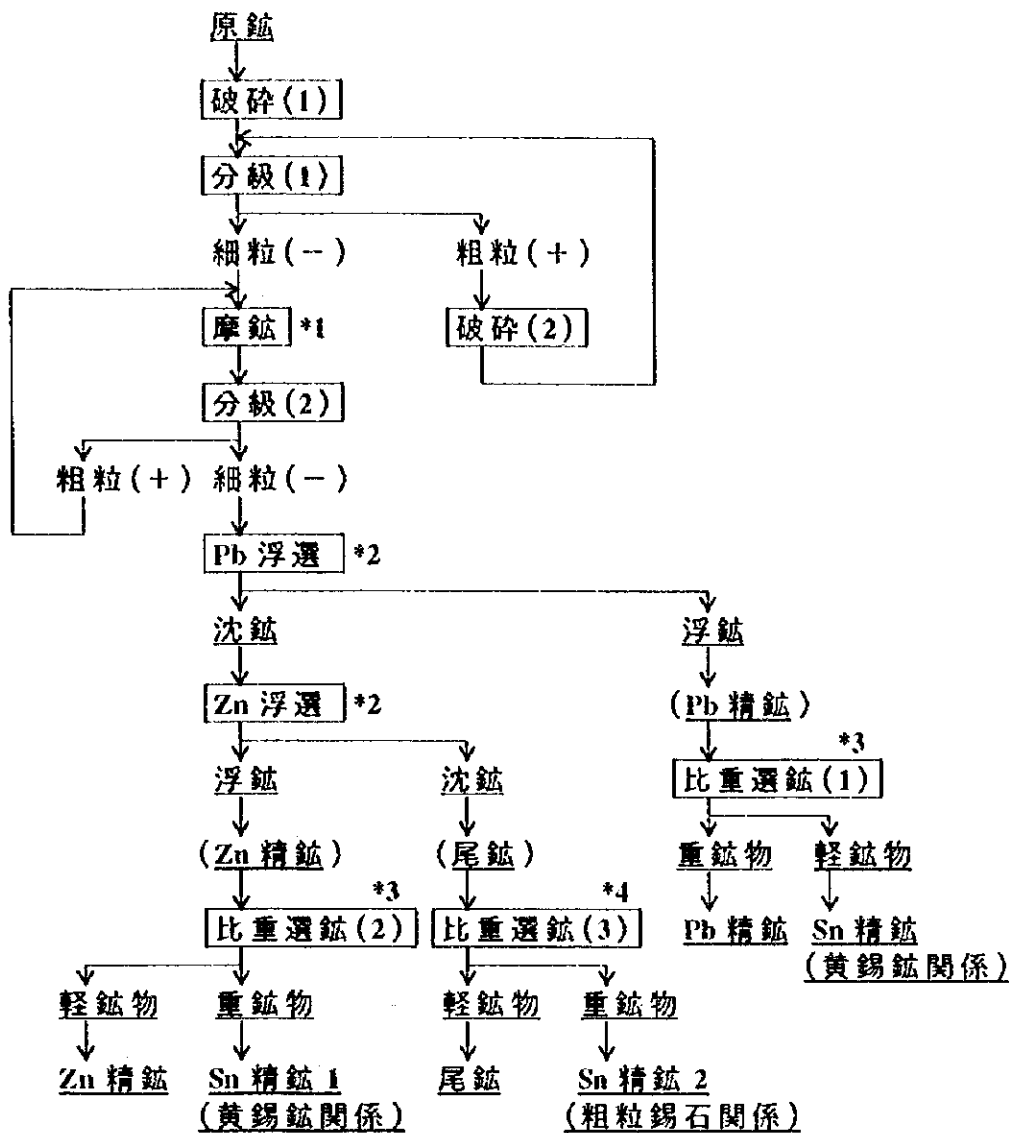


図 6-1-3 インヘニオ選鉍工程改善対策 (概念)

○ Pb, Zn 採取関係

*1 摩鉍効率向上：浮選粒度適正細粒化

*2 浮選時間延長：浮選濃度増加、
浮選剤見直し

○ Sn 採取関係

*3 Pb 精鉍, Zn 精鉍からの黄錫鉍の分離、採取

*4 Pb/Zn 浮選尾鉍からの当該粒度で単体分離
されている粗粒の錫石の分離、採取

鉍山系酸性水と
選鉍系アルカリ水との
混合1段中和処理

又は

鉍山系酸性水
単独1段中和処理

鉍山系酸性水
単独2段中和処理

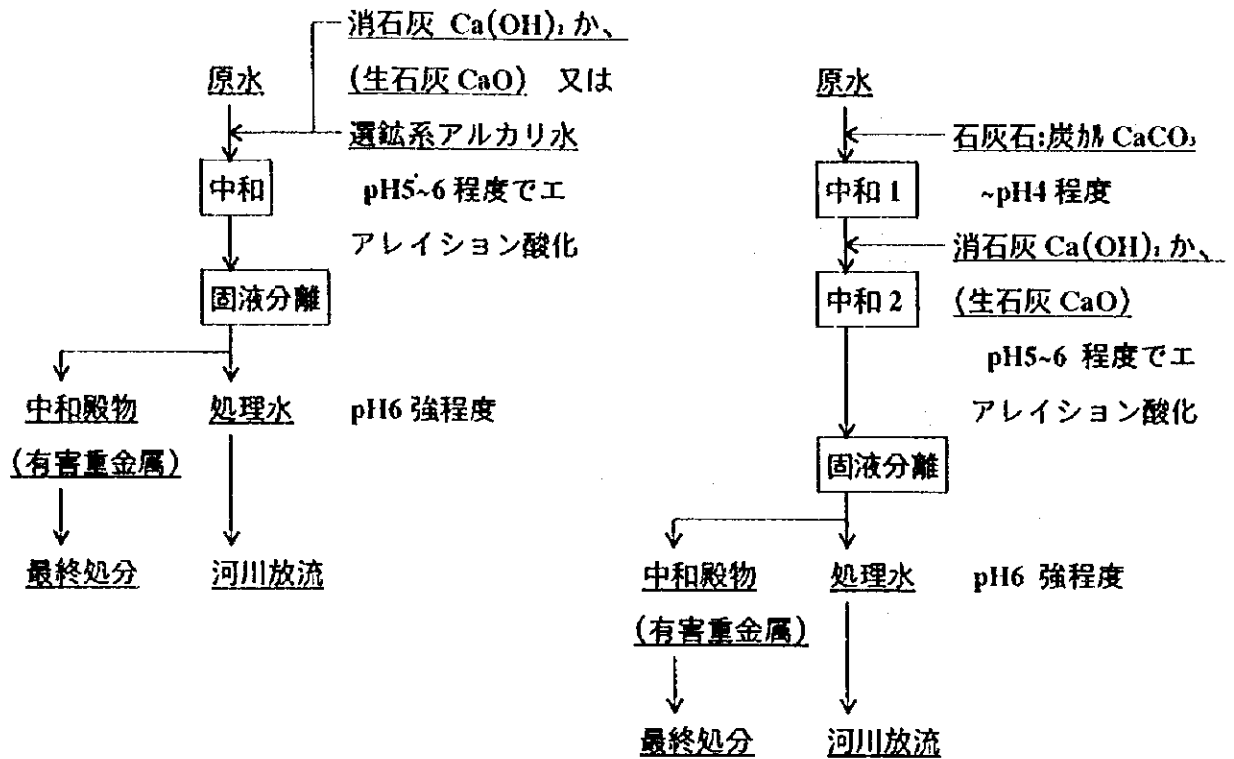


図6-1-4 鉍山系酸性水中和処理（検討例）

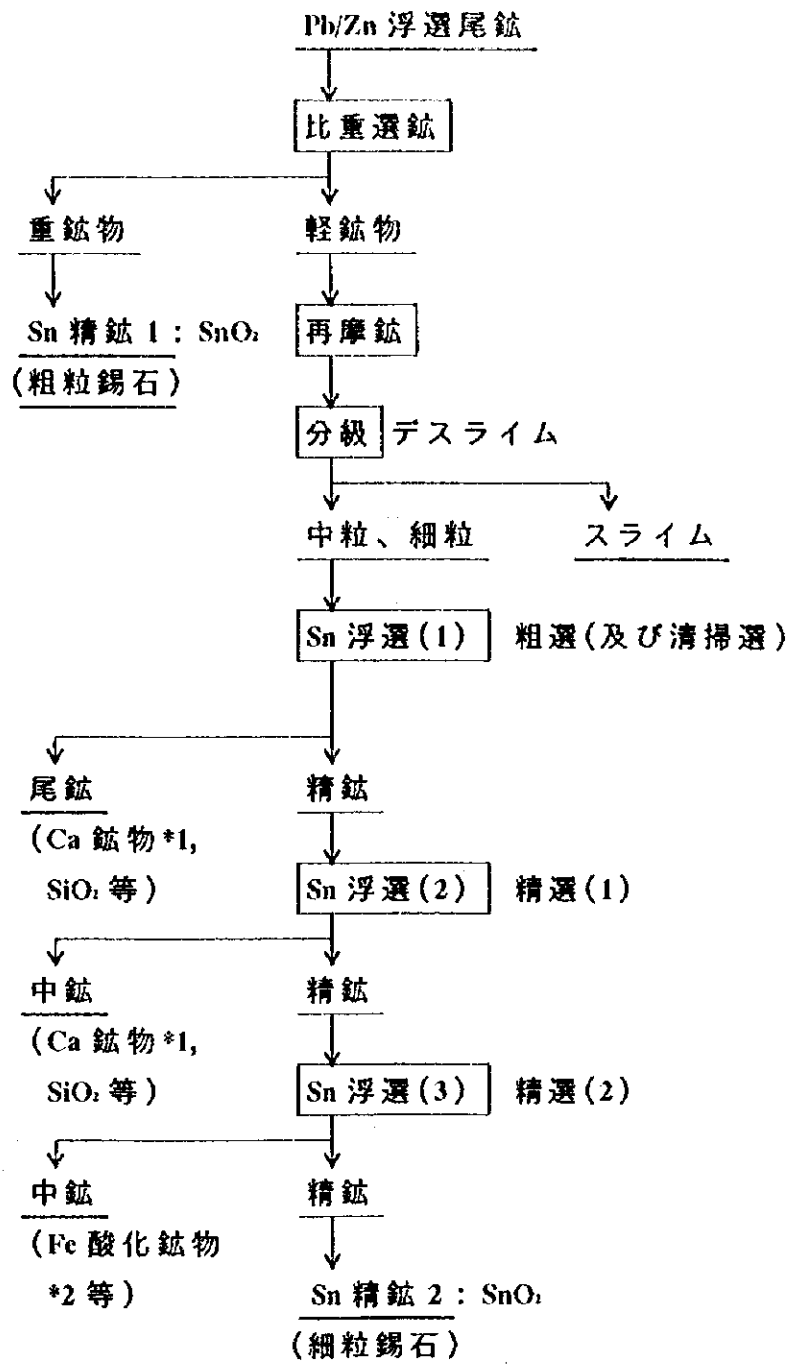


図 6-1-5 Sn 浮選フローチャート

*1: CaF 他, *2: FeCO₃ 他

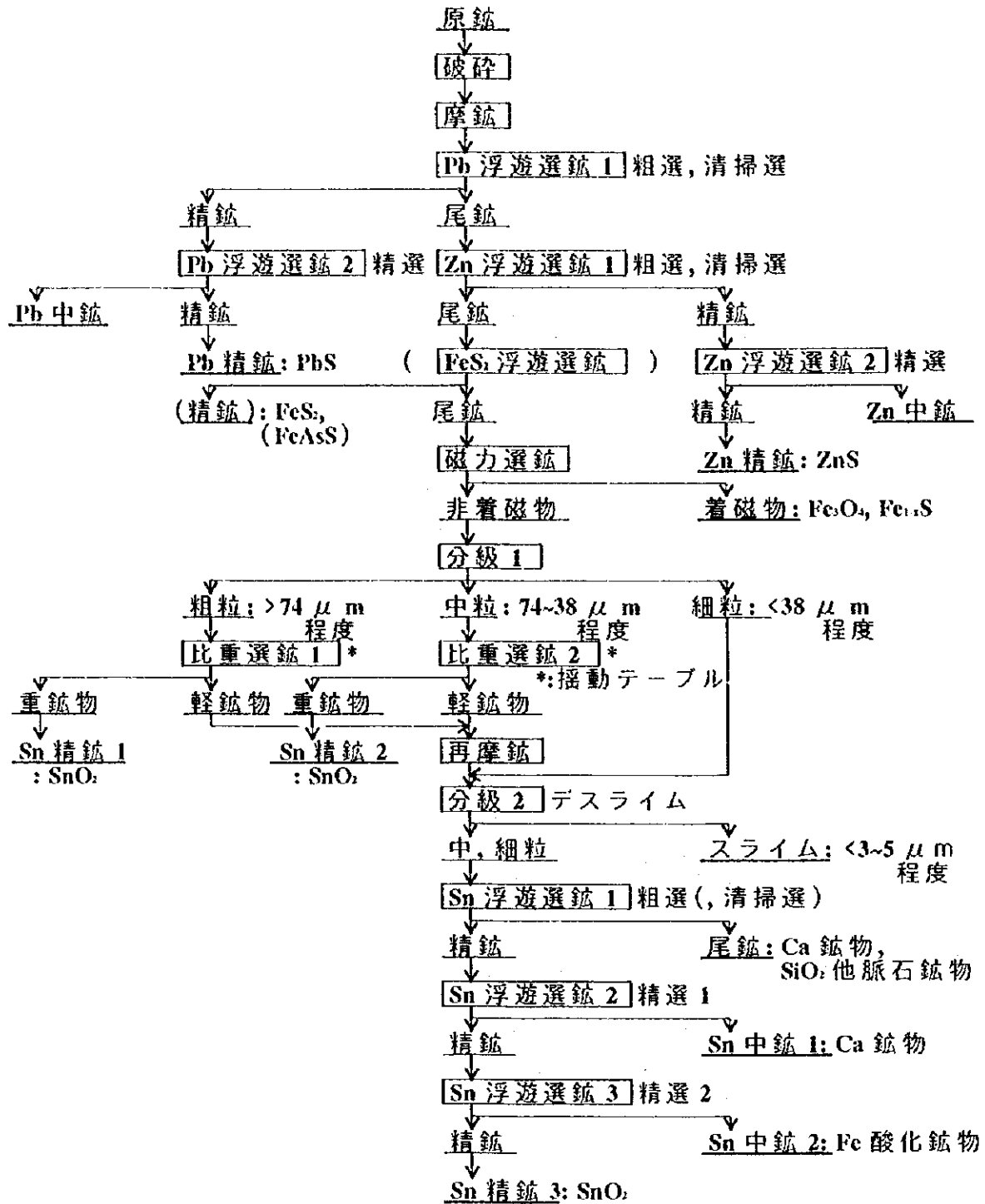
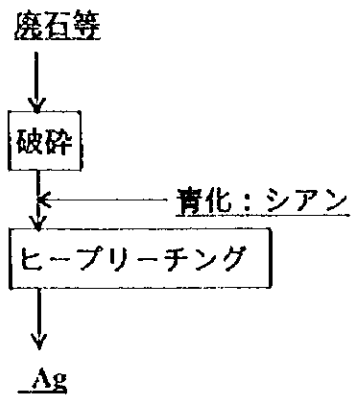


図 6-1-6 モデル選鉱場フローチャート
: PbS, ZnS(共に含 Ag), SnO₂ 採収

案1



案2

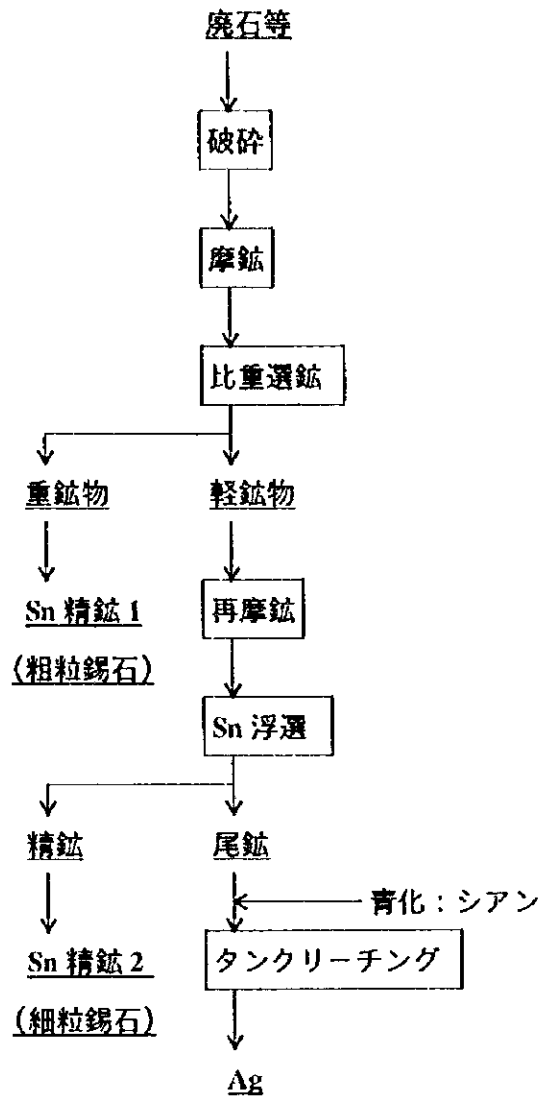


図6-1-7 廃石等よりの有価金属、鉱物の採取（概念）

6-2 環境管理計画

6-2-1 環境管理計画による環境改善

環境管理の立場から、以下に環境管理計画の基本項目を示す。また環境改善の施策実施期間を短期、中期および長期に分けて考える。

環境管理計画の基本項目は；

- (1) 汚染状況の把握を継続的に行う為のモニタリングシステムの構築。(以降[11]で表示する。)
- (2) 汚染対策を強力に推し進めるための汚染物排出を管理するための合理的な行政上の法、規則の整備。(以降[12]で表示する。)
- (3) 行政、産業及び住民の個別及び全員による環境保護のための組織作り。(以降[13]で表示する。)
- (4) 住民全員が汚染対策管理に参加できる分かり易い環境指標の制定。(以降[14]で表示する。)
- (5) 啓蒙・教育・人材の育成。(以降[15]で表示する。詳細 6-3 節「環境・保安研究センター」参照)

環境管理計画の基本となる個別の項目で短期、中期及び長期の区分は緊急性と自らの実施容易さを短期の目標とし、当事者間での調整を必要とし、持続的に実施すべきものを中・長期の目標として分類する。そして出来ることから早期に実施に移すことを提言する。

環境改善の施策の概要

| 基本項目 | 短期 | 中期 | 長期 |
|------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| モニタリングシステム[11] | 最小項目をフォローする。 人員の確保 | 限定項目をフォローする 人員の確保 | 全必要項目 人員 |
| 法、規制の整備[12] | 公報の徹底 | 鞭と鉛の整備 | 定期見直し実施 |
| 環境保護のための組織作り[13] | 国と県、市の行政組織 | 住民の組織化 | |
| 環境指標の制定[14] | 行政による準備 | 住民参加による指標つくりと運用 | |
| 啓蒙・教育・人材[15] | 指導者の育成 | 関係者全員の教育 | |

必要となる技術育成：

- ① 環境管理計画
- ② 環境管理組織

6.2.2 モニタリングシステム（将来予測モデル例）

(1) モニタリングの目的

モニタリングとは科学的技術を利用して、現在発生している現象を数値的にとらえることである。モニタリングにより得られるデータはそれを利用する事により同じ現象を再現できる普遍的なものでなければならない。

従い測定技術はそのプロセス、機器、試薬等全て規格に基づいて行われる必要がある。

ポトシ県環境局では農作物被害の訴えに対し鉱山業者、農家との合同対策会議においても、必要な測定設備を保持しておらず、県内外の研究機関に試料を送って分析依頼せざるを得ない状況にある。

もちろん試料の採取保存、輸送方法も経験不足から十分な体制がとれていない状況である。

更にピルコマヨ河流域の各地で起こっている汚染状況も定常的に科学的に測定する手段もなく、現在保有しているデータは国際援助機関などの不定期な調査結果の断片的なものとなっている。

かかる状況では汚染対策の長期的管理はその方針決定の時点から困難であり、まずは科学的モニタリングデータの蓄積のためにモニタリング活動を行うことが可能となる体制を作ることが提言したい。

(2) モニタリング制度

県は環境基準、排出基準に従って必要項目の継続的なモニタリングを事業者に実施させるか、その他行政組織と協力して自ら実施する事を決める必要がある。

(3) モニタリング組織

事業者を実施させる場合は、事業組織毎の責任者を定め、必要項目を予算の許容する範囲の頻度（最低年1回できれば乾期、雨期各1回）による継続的なモニタリングを行わせ、報告させる義務を課し、自らが実施するモニタリングをも含めその記録と判定を実施し、問題発生の場合には対策を直ちに指示出来る組織を構築する必要がある。

(4) モニタリング予算

モニタリングの予算として、モニタリングを管理する人材の費用／県の行政官の person 費、モニタリングに必要な試料の収集に必要な人材および収集費用等、モニタリング機器ならびに同機器を使用して分析するために必要な人材及び分析に必要な化学品を始めとする消耗費等を確保する必要がある。

上記のモニタリングのための人材および設備等に加えて調査項目も参考にして、予想される費用を次のように試算した。

① 管理する人材の費用／県の行政官1人の person 費及び其の他費用

年間：約 US\$10,000

② モニタリングに必要な試料の収集に必要な人材 1 人の person 費および収集費用等

年間：約 US\$10,000

③ モニタリング機器ならびに分析機器を使用してのモニタリング化学分析に必要な人材及び分析に必要な化学品を始めとする消耗費等

モニタリング予算の内訳

| | | |
|------|----------|------------------------|
| 短期目標 | 初年度 | US\$1,000 |
| | 次年度以降毎年度 | US\$500 |
| 中期目標 | 初年度 | US\$35,000～US\$322,000 |
| | 次年度以降毎年度 | US\$3,500～US\$22,000 |
| 長期目標 | 初年度 | US\$111,000 |
| | 次年度以降毎年度 | US\$15,000 |

(5) モニタリング人材

事業者からの報告の記録さらには督促監料及び自らが実施するモニタリング記録の保持と判定を実施し、問題発生の場合は対策を直ちに指示出来る人材を教育し、環境局に配員する必要がある。

現実には、県の環境局にはモニタリングの機器を理解でき、かつ対策案を提案出来る行政官最低1名を天然資源環境課に増員することが不可欠である。

(6) モニタリング項目と設備

1) 短期の目標として、次の対象に対する化学分析を継続して行う。なお、短期とは直ちに開始する事を意味する。

① 提案の趣旨：すでに今回の調査で県の環境局職員に技術移転は完了しており、必要機材の供与も完了している事にある。調査内容の有効性は限られるが、必要最低限の項目に限定する事で必要経費も限られたものとなる。

② 調査対象：各選鉱所排水及び、目的にふさわしい位置での河川水

③ 調査項目：pH、電気伝導率を中心にした継続的なモニタリング

④ サンプルング方法：手動

2) 中期の目標として、次の対象に対する化学分析を継続して行う。なお、中期とは3年以内の開始を意味する。

① 提案の趣旨：今回の調査での経験に基づいたものとなっている。現地の協力大学であるトーマス・フリアス大学において化学分析が実施された事により、同大学の C/P には技術があり、同大学には最低限の必要機材がある事が確認されている。従って今後最新型機種を導入すれば、更に効率的な化学分析が期待できる。調査内容の有効性はすべての内容を網羅している訳ではないため、完全とは言い難いが、コストも相対的に低く押さえることが出来るものとなる。

② 調査対象その 1.：各選鉱場排水、DCSA (サン・アントニオに建設予定

のダム) 排水、鉱山坑口排水、尾鉱再処理設備排水、酸性湧水処理施設排水及び目的にふさわしい位置での河川水

- ③ 調査対象その 2: 目的にふさわしい位置での河川底質
- ④ 対象その 1 の調査項目: 鉛、銅、砒素、カドニウム等汚染影響が大きい代表的金属の水中溶解イオン及び、SS 内の含有量、及び COD
- ⑤ 対象その 2 の調査項目: 県の設備により鉛、銅、砒素、カドニウムの含有量
- ⑥ サンプルング方法: DCSA 排水に関しては、自動モニタリングを pH、電気伝導度、DO について実施。それ以外は手動。

なお、上記中期目標で必要機器の整備が遅れる場合には、多目的迅速水質分析計等の導入で簡易分析の体制を整える事が考慮されても良い。(例えば、中期第一ステージとして扱う)

3) 長期の目標として、次の対象に対する化学分析を継続して行う。なお、長期とは 6~7 年以内の開始を意味する。

- ① 提案の趣旨: 今回の調査では、トーマス・フリアス大学において化学分析が実施された。同大学の C/P には技術があり、かつ同大学には最低限の必要機材がある。今後最新型機種を導入するか、若しくは La Paz などの国内関連機関に要請する事により、更に効率的な化学分析が期待できる。調査内容の有効性はすべての内容を網羅している事もあり完全と言える。ただし調査回数等に工夫を凝らし、コスト削減の努力は不可欠となっている。
- ② 調査対象その 1: 中期で決められた位置での排水管理、インテグレート選鉱場排水、覆土・緑化後排水、廃石・金属回収施設排水、及び其の他きめられた河川水質
- ③ 調査対象その 2: 目的にふさわしい位置での河川底質
- ④ 調査対象その 3: 目的にふさわしい位置 (農業地) での土質、候補場

所としては Mondragon の川下に向かって左岸の汚染されている農耕地、Vina Pamap の汚染されている農耕可能性地区、汚染のない水で灌漑されている Miraflores の農耕地の 3 箇所

- ⑤ 対象その 1 の調査項目：中期調査対象項目に加えて、亜鉛、クロム、鉄、マンガン、水銀、硫黄、シアン、銀の水中溶融イオン及び SS 内の含有量、及び BOD を含むその他の国の環境基準項目の内別に定める項目の継続的的化学分析モニタリング
- ⑥ 対象その 2 の調査項目：中期調査対象項目に加えて、亜鉛、クロム、鉄、マンガン、水銀、砒素、硫黄、錫、ビスマス、アンチモン、カーボン、銀及び強熱減量の継続的的化学分析モニタリング
- ⑦ 対象その 3 の調査項目：農業地土質の継続的的化学分析モニタリング、内容的には、銅、鉛、亜鉛、カドニウム、クロム、鉄、マンガン、砒素、水銀、硫黄、錫、ビスマス、アンチモン、カーボン、銀及び強熱減量の継続的的化学分析モニタリング
- ⑧ サンプルング方法：DCSA 排水以外に各主要支流河川の他河川との合流前点で、自動モニタリングを pH、電気伝導度、BOD について実施。それ以外は手動。

(7) モニタリング機器リスト他

モニタリング実施のために各目標毎の機器リストと必要試験化学品リストを表 6-2-1 に準備した。なお同リストにはサンプルング場所及びサンプルング頻度の例を示した。

(8) データベースシミュレーション

モニタリングの基本は現象を数値的に定常的に記録することから始まり、それを利用して予測可能ならしめ、将来予測できる被害を事前に防ぐことにある。従って環境のデータベースを蓄積する事、さらにそれを利用したシミュレーションの重要性を理解する事がもとめられている。

1) データベース

(ア) 構成

本データベースの構築は、河川防止に関する概念の把握から始めた。
次に、各専門家の調査目的並びに入手資料、調査結果を認識し、それぞれが利用しやすいデータベースファイリングシステムを検討した。

データベースの構成は次のとおりである。

- ① 下記に示す要素の河川水質汚濁に係る資料の登録
 - ・水文データ（水量、水量変動）
 - ・水質（pH、SS、COD、含有重金属イオン）
 - ・底質分析データ（重金属）
- ② 気象データの登録（風力／風向、雨量、気温・湿度、揮発水分割合等）
- ③ 河川データの登録
- ④ 関連するその他のデータの登録（例：試料採取期日、試料採取間隔、試料数等）
- ⑤ 上述資料の整理
- ⑥ 関連資料の統計計算の実行
- ⑦ 登録データのファイリングシステムの構成

(イ) 概要

ポトシ県における鉱業分野の環境影響評価調査を行うとともに、ポリヴィア側のカウンターパートの助力を得て、ポトシ県の一部を包括するビルコマヨ川流域の異なる 25 地点で水質サンプルの採取を並行して実施した。25 のサンプリング地点（図 1-2-4 参照）のうち、8 地点はリベラ川にあり、4 地点はヘスス・ヴァレ川に、他の 4 地点はアルハマユ川に、1 地点はワンカラニ川に、3 地点はタラパヤ川に、他の 3 地点はマタカ川に、2 地点はビルコマヨ川に所在する。

水質データの取得は、1998年1月14日から同年12月1日までをカバーした。調査範囲が広範なことから、その全期間に渡って記録できたのは、21のサンプリング地点に過ぎなかった。前述の調査範囲の巡回には3日を要するので、それらのサンプリングは同日のものではない。アルハマユ川との合流地点前のヘスス・ヴァレ川のサンプリングポイントのように9つのサンプリングを記録したに過ぎないサンプリング地点も含まれている。

これらのデータは、統計及び情報処理を目的とするデータベース上のコンピュータファイルに登録する。登録されたそれらのデータを基に一定の方式で処理しシミュレーションで使用する。

表4-1-1に、シミュレーションで使用するコンピュータファイルに対応する記録番号を示す。

情報入手の過程で、溶解している固形物中の各元素の濃度分析(ppm)に加え、浮遊固形物濃度(SS)のサンプリングも実施した。しかしながらこのデータは、No. 25、No. 4及びNo. 5のサンプリング地点では少数の値しか取れなかったため、シミュレーションに利用できなかった。

2) 汚染シミュレーション

(ア) 考え方

当初、既存データが少なかったボトシ県のビルコマヨ川の重金属汚染の複合プロセスに関して、調査結果を基に構築した制御及び予測できる数値シミュレーションについて述べる。

上記の汚染を引き起こす諸条件を再現するために適切なモデルを決定することからシミュレーションプロセスを開始した。通常このモデルの決定が、このタイプの解析において研究すべき最初の問題であり、既存データ、調

査範囲及びシミュレーション目的の全体像の中にその回答が存在する。

モデルは、その性質上、①確定的、②確率的、③概念的モデルに分けられる。

① 確定的モデルは、物理的・化学的法則を通して表現され、いろいろな方程式により定式化される。通常、このタイプのモデルは、当初のデータとして選択されたいろいろな変数と得られた結果の間にある原因-結果の関係を意味しているから、方程式及び必要とされる調整変数の集合体を内容とする。

② 確率的モデルは、定義上、確定的モデルと正反対である。確率的モデルは、確率の法則によって定式化され、場合により統計や乱数（任意数）に分けられる。ここでデータベース記録を必要とするのが統計であり、ランダム構成、言い換えれば偶然データを内容とするのが乱数である。

③ 概念的モデルは、定式化、実験及び調整を必要とするモデルである。

本件の研究における最も適切な形のモデルは、次のような観点を包括しなければならない：

- 懸案の地域の降水量と河川流量の関係を見定める水文解析
- 河川水理解析を通しての流量解析
- 流量と汚染元素の運搬量の解析。

しかしながら、ポトシの鉍物汚染の調査のために実際に利用できるデータは 21 個であったが、この種の性格のモデルの構築にはより多くのデータ及び時間そして情報が必要である。その意味で、汚染プロセスの解析が同

じように可能であるもっとも単純なモデルを選択することとし、次に説明するような統計モデルを採用した。

(イ) モデルの構造

開発したモデルの構築図式を図 6-2-1 に示す。

上述の如く、既存データ 1 年分に依拠して、次のような理論的観点を考慮しながら統計学的タイプのモデルすなわち、重回帰モデルを選択した。

ア) モデル出口としてメンデス橋のサンプリング地点を考えたのは、メンデス橋が調査区域における河川の最下流のためである。

イ) 同じ水流ライン上にない水源を持つ全ての支流をモデル入り口の独立変数として考えた。

これにより、流域の水源からモデルの定式化を開始して、例えばサンプリングポイント No. 4 におけるある金属の濃度がサンプリングポイント No. 2 のその元素の濃度に依存していることが判った。(なお C は重金属の濃度とし、 $C_1=f(C_2)$ と表示される)。この論理で、下流に向けて引き続き定式化プロセスを継続した結果他のサンプリング地点の影響を受けていないのは以下と判明した。

: No.1, No.2, No.3, No.7, No.8, No.9, No.13, No.16, No.17, No.24

しかしサンプリング地点 No.1、2、3 および 7 は、それぞれ該当のデータがないか、あるいは、サンプリング地点 NO.1 の汚染が最小であるからであったためその下流のサンプリング地点 No.4、No.5 及び No.8 を他のサンプリング地点の影響を受けない地点として採用した。

以上から、残ったモデルは $C_{25} = f(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_{13}, C_{17}, C_{19}, C_{21})$ で、次式のような重回帰式として表される。ここで、 C_i は i 地点の重金属成分濃度、 α_j は i 地点における流量等による係数、そして K は定数（実測値から得られた補正係数）である。

$$C_{25} = \alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3 + \alpha_4 C_4 + \alpha_5 C_5 + \alpha_6 C_{13} + \alpha_7 C_{17} + \alpha_8 C_{19} + \alpha_9 C_{21} + K$$

右辺の α_j と C_i にある時点の実測データを入れると、左辺にその時点のメンデス橋での濃度が出力される。

(ウ) モデル実験

次の重金属についてモデル実験を実施した：アンチモニー (Sb)、砒素 (As)、カドミウム (Cd)、銅 (Cu)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、水銀 (Hg)、鉛 (Pb) 及び亜鉛 (Zn)。

この目的に本調査団が入手した統計パッケージ SPSS ベース 9.0 を使用した。

収集したデータが同日のものでないが、シミュレーションのためにただ 1 日のものであるかのようにして処理された。この実務上の単純化は、流速のデータ記録によれば、河川の水源からメンデス橋まで水が到達するのに要する時間がほぼ 3 日（平均流速 0.65m/秒とし、ポトシ州の水源からメンデス橋までののビルコマヨ川の区間に相当する 180km をベースとして実施された計算）となるので問題にはならない。

各元素につき 2 つの異なる実験を行った。

- ① 全ての選択サンプリング地点を含む場合
- ② 全ての選択サンプリング地点より、9 つの値しか得ることのできなかったサンプリングポイント No.9 を削除した場合

但し①については、モデル式での算出においては同時期のデータが不足したケースは除外した。また②の場合は、モデル式の相関関係が悪くなっていることが判った。

当初、各元素につき、モデルにおいて選択された様々な変数の間に存在すると予測される直線をグラフで確認したのは、その関係を見定め、結果を歪めるおそれのある数値を明確にするためである。また、各変数と全体との相互関係を分析したのは、どの変数が結果に対して最も影響するか、という仮説を否認できるのかを見定めるためであった。

また、各変数の標準偏差と比較して、推定標準誤差を解析した。というのは、推定標準誤差が標準偏差よりも大きいときは、ある特定の回帰モデルに関して言うと、平均値は、最良の予測値だからである。同様に、独立変数の変化が従属変数の解析を助けることを説明する統計学的チェックを実施した。

最後に、既存のデータを考慮し利用しながら、各重金属毎に得られたモデルの結果をベースにして、メンデス橋で予測される濃度の平均値及び最大値を推定した。

その結果は表 6-2-2 から表 6-2-10 までの通りである。

3) 結論と提言

(ア) シミュレーションの結果は、メンデス橋で予測された重金属の多くが次の河川及び渓谷から流下してきていることを示している。

- ① アンチモニー(Sb)の多くはワイナマユ川及びピルコマヨ川上流のヨカージャに起因する。
- ② 砒素(As)の多くはワランバヤ川に起因する。

- ③ カドミウム(Cd)の多くはビルコマヨ川上流のヨカージャに起因する。
- ④ 銅(Cu)の多くはリベラ川とワンカラニ川に起因する。
- ⑤ 鉄(Fe)の多くはビルコマヨ川上流のヨカジャ及びリベラ川に起因する。
- ⑥ マンガン(Mn)の多くはリベラ川とビルコマヨ川上流のヨカージャに起因する。
- ⑦ 水銀(Hg)の多くはワイナマユ川、リベラ川、及びハヤホマユ川溪谷に起因する。
- ⑧ 鉛(Pb)の多くはワイナマユ川に起因する。
- ⑨ 亜鉛(Zn)の多くはリベラ川、ヘススパレ川、コリマユ川及びヨカジャのビルコマヨ川に起因する。

(イ) 使用された統計モデルは、データをより多く採取することで改善できる。解析の信頼性を上げるために情報の記録を継続し強化することを薦める。

(ウ) 将来、情報を収集、処理及び解析するセンターを創設し、このテーマに関してより複合的な解析を行い、より信頼できる解決策を設計するために、より良い方法を習得することを薦める。そのために次のことを提起する：

- ① 継続して記録することを優先して水文気象学ステーションを作り、将来、水文学的観点から数理解析と数理シミュレーションができる専門家を養成する。
- ② 河川の水理状況の解析及び水と堆積物の運搬方法を見極める目的で、汚染された河川及び支流において、500m 間隔の横断測量を優先して頻繁に地形測量を実施する。
- ③ 運搬堆積物と流域の水量の関係を解析するために、低水位期、高水位期に定期的に堆積物の採取を行い、その粒度および成分の分析を実施する。

必要となる技術育成：

- ① モニタリング計画策定技術
- ② サンプルング技術
- ③ 分析技術
- ④ サンプルング分析結果の解析技術
- ⑤ データベース構築及び展開技術ならびにシミュレーション技術

6-2-3 法、規制の整備

法と規制の整備は、環境行政の基本であるが、その整備も実効性ある体制の下で始めて生かされる。以下提言は 6-2-1 項で述べられている通り短期、中期、及び長期の観点から順次実施可能な内容から着手すべきである。

(1) 環境基準・排出基準に対する検討と提言

1) 鉱業法との整合性確立

鉱業法は 1997 年に法律番号 1777 で制定されたが、同法の中に下記の記載があることは既に本報告書 3-2 節にて説明済みであるが、環境行政上で環境法と鉱業法の不整合の問題が出ている。

鉱業法が定めるところによれば、保護地域以外で小規模の鉱山業者等が行う探鉱と開発及び比重選鉱事業において、一般的かつ個別の環境保護を推進するための規則を制定し、環境認可取得の経費削減と行政的手続きの簡略化を行う。

鉱山探掘活動は本法律では、簡略化された行政手続き（県レベルでの許可）で事業を開始できる事となっている。このため、県レベルで管理体制が確立されていないと、少ない汚染水を大事に利用している下流域の農業活動者に大きな影響を与える可能性もあり、本項目の運用には国と県の一体化された管理体制が確立される事を提言したい。

現実問題として、従来汚染を受けていない河川として多くの町村が敢えて水路を作り灌漑用水としても利用しているトトラ D 川 (Rio Totoro D) においても上流での鉱山探掘活動が始まっており、その影響が心配されているとの

報告を受けている。

このケースでは農業者と鉱業者のどちらがどの程度我慢するかであるが、鉱業者が規定の排出基準を守ること、及びその廃水が既存農牧業者に甚大なる影響を与える事が想定される場合は、鉱業法の枠を越えて環境法との共生点を速やかに計る事の出来る組織即ち、鉱業局と環境局間の常設調整組織を準備し、問題を可及的速やかに解決できる仕組みを作る事を提言する。

2) 環境基準・排出基準の定期的見直しと地域的特性を反映した地方行政規則の制定

環境基準・排出基準は国家が制定時点での国家の特性と世界的流れを考慮し制定したものであるが、基準対象項目などに関しては、先進国と発展途上国で問題となる項目が異なる。しかし発展途上国といえども国家の発展と交易の活発化により国内における汚染物質項目の変化を想定する必要がある、環境基準・排出基準は時代を反映した内容に常々変更する事を念頭に利用し管理する必要がある。従い環境基準・排出基準の定期的見直しと、それを国家レベルで議論できる組織を構築する事を提言する。

勿論国家レベルでの基準以外に各県、各市においてはそれぞれが置かれている環境を反映した国家の基準を更に上回る厳しい基準を地方行政規則として制定する事を提言したい。

特にリベラ川、ワイナムユ川等の水量の少ない河川への未処理尾鉱の選鉱場からの直接的放流は、排出基準で管理するだけでなく、より合理的な基準（例えば下流域では農牧業がいとまれている事を考慮すれば、農業基準を満たす事はさることながら、放牧されている家畜への被害をくい止める事が出来る、国家環境基準の B クラス程度の汚染度まで引き下げ、それから放流する等排出基準の適用だけでなく、より実情にあった基準値）で管理する事を提言する。

現在ポトシ県はドイツの経済協力の資金を利用して堆積場ダムの建設、運営を検討しており、そのダムからの放流水の基準は国家環境基準の B クラス程

度まで汚染度を引き下げる事を計画しているとの説明を受けているが、この厳守が求められる。

(2) 環境基準・排出基準の遵守と実施方法の提言

1) 期限の厳守と合理的救済方法の確立

既に本報告書で述べているが、1992年に設立された環境法、1997年に制定された同規則にはその法の中で環境基準・排出基準の管理のための手段としてFA、MAの導入を決めている。この法に則りポトシ県天然資源環境課はその実施期限を2001年末迄に完了する事と決定し、関係事業者によるその実行を促している。

今回の調査で判明した鉱山セクターの環境のカテゴリーには2つのグループがあり、一つはインヘニオ業者であり、もう一つは鉱山採掘業者である。

インヘニオ業者は既に本調査においても紹介されているとおり、世界的レベルより設備能力が一桁も二桁も小さい零細企業が42社操業しており、それぞれが鉱害防止設備、廃水処理設備を持たずに操業している。このままでは、2001年末までに全てのインヘニオに業務停止を命令せざるを得ない状況となっている。

ポトシ県天然資源環境課では、このような事業者たちがポトシ県ポトシ市の経済の重要な部分の一部を支えているとし、何とかして救済したいと努力している。解決策の一つがドイツの経済協力を受けて建設操業を予定しているサンアントニオ堆積ダム(DCSA)であり、同ダムの建設操業を早急に開始し、全てのインヘニオの尾鉱を特に各社で水処理をさせずに直接DCSAに流し込み、DCSAで総合的に水処理をして川に放流する事を検討している。このDCSAへの参加には各インヘニオにとってコストが掛かる事でもあり、今後とも紆余曲折が予想されるが、期限内に参加出来ないインヘニオには業務停止の命令をする事も念頭においた行政指導を提言する。

鉱山採掘業者に対しても活動中の鉱山からの酸性水排出に関する処理施設の

早期立案を行い、その実現に向けて努力するとともに、同設備に対する必要資金の蓄えを事前に計画し、鉱山採掘業者からの徴収も開始する事を提言する。

2) 工場実査の徹底化と警察力の導入

鉱業セクターのインヘニオ業者のみならず、少ないとはいえポトシ市には環境汚染物質を排出している事業者がいるが、これら事業者に対して一律に環境法及び環境規則の遵守を指導するとともに、FA、MA で報告されている内容を定期的に確認する作業を実施し、不正を働く事を許さない体制を示し、不正を誘発する事のないシステムを構築する事を提言する。

3) インヘニオ売買時の許認可制度の導入

本調査団は調査開始時（1997 年始め）と 1998 年 10 月時点での再調査時点で、全 42 インヘニオの内 16 のインヘニオで所有者が変更されている事を確認した。

インヘニオの売買がこれ程まで頻繁に行われているのは、一つには買取する側にそれなりの利益を期待できる背景が有ること、もう一つには売却する側には技術改善および環境対策費も含め出来るだけ設備投資は避けて現金化する傾向を予測出来ることが考えられる。

民間の商行為におけるインヘニオの売買ではあるが、かかる設備は環境汚染の原因となることが予想されるため、この売買自体を環境設備の設置なくしては売却及び買取の登録を認めない等の行政指導を提言する。

特に今後 DCSA への参加を確約しているインヘニオがその所有者変更のために約束が反故にされないよう細心の注意が必要である。

4) 事業者不在の過去の負の遺産への対応

鉱山採掘業において発生する水質汚染対策は、既に鉱山採掘業者が不在となっている地域ではそのコスト負担者が存在しないが、それこそ国家、県及び

市、そして過去にこの地域で鉱山採掘業を営んでいたコミボール等の関係者が必要資金を拠出する組織を構築する事を提言する。

6-2-4 環境保護のための組織作り

環境保護のための組織作りは 6-2-1 項で述べられている通り、短期的には国、県と市の組織作りを先行させ、中・長期的には住民も参加した国民全員の組織作りを目指す必要がある。

(1) 国家的な環境行政組織

1) 現状：

環境に関する国家組織として持続開発計画省があり、その傘下の持続開発環境準省がある。持続開発環境準省（VMDSMA）は、環境政策および規制部、多種生物部および特別プログラム部より構成され、①国家環境保全長期計画の策定、②自然資源の保全及び③環境保全を主業務として 1993 年 10 月に活動を開始した。

環境行政の実務は VMDSMA の環境政策及び規制部内の 3 課（政策立案及び規制課、環境影響評価課及び環境品質管理課）で実施されている。

環境影響宣言と承認（DIA）、環境影響適合宣言（DAA）の許可書発行及び関連申請書の評価業務および認可業務は、当該県で行われる。ただし、複数の県に跨る様な、国家レベルの事業における評価、認可また許可書の発行は VMDSMA で実施される。

2) 提言：

(ア) 住民の意識高揚のための教育の実施

今回の調査は鉱山セクター環境汚染評価であり、敢えて環境行政を国家行政の中心と位置づけすれば、問題点の所在が明確と成って来る。即ち国家管理の中で環境行政と他の行政を並列的に管理している限り、環境自体が常に産業開発の陰に隠れ大きな被害を受ける事と成る。

生活者である住民がかかる環境の破壊を結果として甘んじているのは、その生活の糧のためであり、同時に無知のなせる技と言える。今行政が実行しな

ければ成らない事は、生活者である住民が自らの健康と地域住民の健康、広くは他国の住民の健康を阻害してまでその生活の糧を得るために自然を破壊して良いかと言うことを住民自ら認識させ行動に移らせる事と言える。即ち行政は鉱業活動、産業活動、一般生活行動の中で自然破壊が起こっておりその結果何が未来に待ちかまえているかを、現在の活動と行動の不合理性を徹底して宣伝、教育そして訴えて続ける必要がある。

(イ) 関係行政官庁との連携の強化

生活者である住民は自らの糧を得る行動が環境破壊につながる事が判れば、それを回避すべき行動にできるか、このような行動に消極的に成ると予想出来る。ただし事業者の立場は簡単ではない、産業関連省庁がその傘下の産業に対し、環境に優しい事業に転換を進めるとしても、従来事業から未知の事業に転換する事は容易ではなく、また環境対策技術の導入を進めさせるとしても、規制強化だけでなく、減税、償却制度および低利融資などを利用した行政側からの「船」の準備なくしては円滑なる事業者側からの対応は期待できない。

環境担当行政部門は事業者の行動の背景を理解し、産業関連省庁と常に情報を交換し、海外も含めて世界レベルの環境対策技術の紹介と、そのために指導者の紹介及び資金支援などの国際協力資金も利用して、産業関連省庁との連携作業を推進する体制の構築を提言する。

(ウ) 行政の環境対策事業に対する審議会活動

環境対策事業に関しては県の環境局だけがこれに携わるのでは、これを成就させることは困難である。即ち環境対策事業に金を掛ける事、法整備による強制力を発揮する事のみではこれも成果とかみ合わない事が考えられる。

環境対策事業に対する各種団体の意見を広く組み込むため、地方公共団体関係者、各種研究・教育機関関係者、事業者、知識人等を集めた審議会を設立し、同審議会を定期的で開催し、特に下記環境白書の準備段階からの参加、

及び対策案策定への参加を通し一段と国民全員の運動となる様な審議活動を実施する。

(2) 県レベル及び市レベルの環境行政組織

1) 現状：

ポトシ県の環境部門には、持続開発部に天然資源環境課があり、環境管理係および地域管理係の2つの係で構成される。各係にそれぞれ1名の職員を抱えており課長を含め3名で運営されている。

県レベルの環境管理に関し、地域の特性に準拠した環境管理の政策は、県が持続開発環境準省と相談の上決定する事となる。

ポトシ市の環境部門には、環境課があり課長以下4名の職員で天然資源担当、環境影響評価担当及び環境品質管理担当を置いており市内の各事業者からのFA及びMAの申請に対応している。

2) 提言：

(ア) 法の精神の早期習熟と情報の共有化による均一な行政判断の確立

行政の地方分権化政策はボリヴィア国の行政方針の中心的目標となっているが、環境行政はかかる目的に最適なテーマといえる。

1992年に環境法の制定、1995年には同規則の制定があり、法制度の整備が完了し、現在、本調査団のカウンターパートである県環境課の環境行政省が、同法及び規則の精神に基づき、その実施のための教育を市及び地方行政主体の環境行政担当者に対し実施している。

これは環境行政の中心となるFA、MAの運用において、住民および事業者と直接的関係を持つ環境行政担当官が共通の認識と手段を入手するためのものであるが、かかる情報は行政の均一性を保つために非常に大切なものである。定期的な情報交換研究会を開催し担当省の知識と能力の均一化を計る事を提言する。

(イ) モニタリング制度の確立・強化のための担当者の配置

県レベル及び市レベルの主たる環境行政の業務となる FA、MA 業務の一環として、各事業体の事業活動による環境影響及び自然環境の継続的な状況把握のために、モニタリング機器を含む体制の整備が必要であり、それについては本文 6-2-2 項で提言されている。

同モニタリング体制の整備には、規制対象項目の報告を単に事業者任せとせず、自然環境の化学分析作業自体を外部委託者を利用し報告させるだけでなく、行政側自らも内容を理解し、指導する責任がある。そのために行政内部にモニタリング体制を支える担当者を準備し養成する事を提言する。

(ウ) 環境白書の作成

行政が行う環境政策は常に住民及び事業者の理解と支持を得たものでないと、その取締りに労力、時間及び金が大きく必要となるだけで、強制力による指導だけでは実質的成果を上げることは難しい。そのため、行政は環境に関する住民と事業者の環境に対する理解と協力を得ることが必要であり、その手段としても環境白書を定期的に準備し発表する事が必要と考えられている。環境白書には少なくとも次の項目を含んでおり、定期的（一年毎、若しくは二年毎）に発表する事が前回の環境白書発表時の状況から如何に改善されているかが明確となり、次なる改善の方針を策定でき、その実施が確実なものとなる。

- ① 環境目標
- ② 環境対策
- ③ 環境対策成果
- ④ 環境財政
- ⑤ 環境人材

(I) 行政の行う環境制度

- ・ 環境基準

国は環境基準を定め、その運用と管理を地方行政団体に委譲しているが、県の環境局はこの改訂への意見具申のみならず、その運用においては現地の事情にあった方法を採用し政策を立案することが必要である。

- 環境影響評価

個別事業の開始前に環境影響評価を実施する事が、新たなる経済活動による環境破壊を防止出来る重要な方法である。ここで行政関係機関の事業のみならず、民間での事業では小型事業であっても、かならず一定の基準に従って強制的かつ合理的な方法で評価調査を実施する事が必要である。

- 環境質管理

既に経済活動を行っている事業者、公共事業にあっても、環境基準に許容されている環境質の管理を継続的に行う事、及び排出物の管理を強化する事で環境質の改善を継続的に行う様に、環境質管理の運用基準を強化する。

(3) 住民参加による環境改善体制

1) 現状：

ポトシ市及びポトシ県には環境問題を解決する事を目的とした民間団体（NGO）があるが、その活動は人材および資金的背景もあり環境改善のための民間活動の主導的立場をとれる状態ではない。ただし本調査報告書で既に提言されている通り、環境問題の解決には住民自らの環境改善のための活動、住民の環境改善のための行政への協力と同時に住民の環境改善のための行政への要求も不可欠である。

2) 提言：

(7) 環境指標の導入

本書第 6-2-5 項で掲げた環境指標は、環境法及び同規則が定める環境基準、排出基準を補完出来るものであり、その利便性は行政とともに、住民が自ら管理指標として利用出来るものである。

行政は住民の組織化を学校、教会他団体を通じて行い環境指標による管理で具体的な達成度等を報告させ、その成果を行政に反映させる事で、住民の環境保護への関心を高めさせる事を提言したい。

環境指標そのものも定期的に見直しを行い、最も住民に受入れ易い指標の設定を心掛ける事も同時に提言したい。

(イ) 住民の環境に対する意見を取り纏める組織の構築

行政からの指導による環境保護運動だけでなく、住民側からの環境保護活動に係わる提案を積極的に受け入れるため、住民に対し提案を促すための仕組みを構築する事を提言する。

具体的には、提案に対し何らかの形でインセンティブを与え、(例えば採用されてアイデアに対しては賞品、賞金を支給する) 住民の環境保護活動を活発化させる。

(ウ) 新しい町作りの起爆材として環境改善行政を積極的に利用

ポトシ市は歴史的銀鉱山ポトシの裾野に発展した町であるが、インヘニオを町中に多数配置しその尾鉱を未処理で市内を流れる川(リベラ川、ワイナマユ川等)に放流し、かつ旧捨石、廃滓が町の郊外に剥き出しで山の様に高く積み上げられており、史跡を利用した観光都市として発展するには限度がある。

すでにスペインの経済協力で市内のリベラ川沿いを再開発するプランがあると聞いているが、まずは町中のインヘニオを環境に優しい形に変更する事が求められ、長期的にはインヘニオ工場団地(インテグレート選鉱所の建設)の計画を実行するなど、環境改善行政とポトシ市再活性化計画を総合的に検討する組織を構築し、特にこれには住民からの積極的意見聴取をするため、有償でアイデアを出させるとか、国際協力機関に総合的開発を依頼するとか、行政の積極

的行動を提言したい。

6.2.5 環境指標の制定

環境指標の準備は短期的には行政が準備すべきだが、その成果は住民の参加をもって始めて得られることを考慮すれば、中・長期的には住民参加による指標作りが必要になる。

環境基準は汚染要因別の許容数量基準を示しているが、これは科学的根拠に基づく基準として大きな意味がある。

ただしこれらの数値はその測定のコストと手間がネックとなり、環境問題に直接さらされている市民が日常的に目にし、直接感じ、結果として環境汚染を削減するために日常的努力をする目標管理のための指標としては、便利な指標ではない。

環境汚染はすべからずその原因は人類の経済活動に結びついており、その被害を直接的に被るのも人類であることを考えると、全ての住民が環境問題により親しみをもち、自らも環境改善の目標に向かって努力し、参加して行く事が肝要である。

従い、ここで当地の実情に即して次の環境指標を提言するが、環境指標による環境改善目標とその改善の成否は全て当地住民の意欲と努力に掛かっており、ここに提案されている環境指標も現地関係者との共同作業で準備された。

(1) リベラ川、ワイナマユ川縁でごみの無い場所の拡張

市民の憩いの場所となるべき市内を流れるリベラ川とワイナマユ川の川縁が、生活廃棄物、インヘニオの廃滓等により汚されており、その川の水は用途も限られるだけでなく、川縁に近づく人の健康障害も引き起こしており、川縁のごみをなくす事を先ずは住民自らが心掛ける事が必要である。

これは、日を決めて定期的に地域住人が川縁の清掃を実施し、きれいになった川縁の面積の測定には学童も動員して実施し、ごみの無い場所の拡張面積を指標として管理する。

インヘニオの廃滓の減少を直接的に測定する訳ではないが、この活動を通じてインヘニオの廃滓削減の動きにつながる。

(2) ごみ分別収集協力家庭数の拡大

ポトシ市には市内で排出される生活ごみ、産業ごみ及び病院等の危険ごみのほぼすべてを収集する仕組みが出来ているが、既に肥料等の用途としてそのごみのリサイクルの実験が開始されている。各家庭からの生活ごみの量の削減と同時に、リサイクル用途に利用できるごみと埋め立て処理以外に方法のないごみの分別収集に協力する家庭数を増加させることが、結果としてごみ処理費用の削減にもつながり、各家庭の環境保護への認識も高める事が出来る。

従い、市のごみ収集システムに参加しごみ分別収集に協力している家庭の数を指標として管理する。

未だごみの収集埋め立てシステムが準備されていない地域においてもポトシ市における成果を利用する事で環境保護の認識を高める運動を開始できる。

(3) 植林地区面積の拡大

調査地区は高地で乾燥地でもあり、森林資源が不足しており、雨期には土砂の流失も起き、農耕地の削減が大きな問題となっている。

特にポトシ山腹を始めとする旧鉱山廃石場、旧インヘニオ廃滓堆積場等の地区で植林事業を進める事は、これらがいたずらに雨水に晒され酸性水として流失する事を阻止する事となる。

緑化された地域は市民の憩いの場所として再生も可能であり、かつ観光市としてポトシ市の価値も向上できる。

この植林計画は一朝一夕で出来るものではないため、根気のいる仕事となる事でもあり、県と市の財政も睨みながら着実な長期計画を立案し、住民の参加も得て、植林地区の面積を指標として管理をする。

ポトシ市でのかかる活動は、市外地域においても地域の鉱害の元となる旧鉱山廃石場、旧インヘニオ廃滓堆積場等を持つ地区での、同様の活動を実施する際の模範とする事ができる。

(4) 環境事業への参加住民数の増大

県と市が開催する環境セミナー、環境の日のイベント等へ児童を含む住民の参加の向上は、住民が環境事業に自ら携わって行く第一歩であり、この増大を計る事により、住民が環境保護へ意識強化を進める事が出来る。

また、上記3項の旧鉱山廃石場、旧インヘニオ廃滓堆積場等の地区で植林事業へのボランティア参加等をとおして住民自らがポトシ市をきれいにする努力をすることで環境保護の認識が高まる。

従い行政が定める環境保護のためのイベントへの住民の参加人数を指標として管理する。

(5) 生活排水を含む下水処理率の向上

ポトシ市には下水処理施設が存在していないばかりか、下水道システム自体も配管、ポンプ等の施設保守も十分でなく、十分な対応が出来ていない。

従い、全ての生活排水、工場排水は一次処理もされずにリベラ川、ワイナマユ川およびワランバヤ川に流れ込んでいる。

市当局は自体の改善のために外国からの借款を利用して下水道整備と下水処理施設を整備する計画をすすめているが、今後各家庭での個別浄化槽システムも加味した長期の下水処理率の向上計画を立案し、生活排水を含む下水処理が如何に環境保護に重要であるかの認識を高めさせる意味からも、行政、住民一緒になった計画管理を進める必要がある。

従い下水処理率を指標として管理する。

(6) インヘニオ向け工業用水のリサイクル率の向上

ポトシ市近辺にある41工場を越すインヘニオは、自らの操業のために上水道会社から供給される上水および地下水、リベラ川等の水を利用しているが、それぞれのインヘニオは自らが利用した水はそのまま選鉱尾鉱とともにリベラ川を中心とする水系に放出している。

かかる流水を利用した操業では2つの意味で環境を破壊している。即ちそれぞれのイ

ンヘニオが一度取り入れた水を一回限りのものとして利用すれば、必要な工業用水は選鉱生産量と比例し、市民が利用出来る上水も制限される事となる。同時に排出される選鉱尾鉱を含む汚染水も大量に河川へ放出され、環境汚染を巻き起こしている。

これに対しインヘニオが利用する工業用水を何度も利用するシステムを自ら作り上げる事ができれば、新たに追加される工業用水は劇的に削減され（約 8~9 割程度の削減）、市民が利用できる水にも余裕が出る事となる。勿論これにともないインヘニオから放出される選鉱尾鉱を含む汚染水も大幅に削減されることになり環境改善に寄与する。

各選鉱所の工業用水リサイクル率を指標としての目標管理を事業者、行政そして住民一体となって進める仕組みを作る必要がある。

(7) 事業者による環境予想書(FA)および環境状況報告書(MA)提出率の向上
環境法及び環境規則に定められている環境予想書(FA)および環境状況報告書(MA)はポリヴィア国の環境行政の基本規則であり、全ての事業者はこの制度から逃れる事は出来ないばかりか、行政も如何なる例外も作ることなくこれを実施していく事が必要である。

現実には環境法及び環境規則が制定されて間もない事もあり、未だ厳密には実施されていない。今後期限を限った目標管理を行い、期限内に FA 若しくは MA による許可を取得出来ない事業者は事業から撤退させる事が肝要である。

行政には目標管理を先ず公にし、それに従った実行状況を公にする努力が求められる。

6-2-6 環境影響評価

今回の一連の提言の中で、実施に際して環境にインパクトが予想される下記施設の建設には環境影響評価調査がポリヴィア国環境法及び同規則に従って実施されることが必要である。

- ① 環境・保安研究センター（連続式試験設備を含む）
- ② 選鉱尾鉱再処理プラント
- ③ インテグレート選鉱場(工場用地)

④ 廃石（デスマンテ）、スークからの銀回収プラント

本報告書では環境影響評価がプロジェクト実施前に必要なこと、それが新たなる環境への負荷を未然に防ぎ、産業と環境の共生のための手段となることを強調したい。

なお対象建設工事全般に該当する事項を環境影響評価項目に従って表 6-2-11 に記述する。