

# ペルー南部の鉱床について (2)

竹田 英夫 (鉱床部)

Hideo TAKEDA

## 5) ティンタヤ (Tintaya) 鉱山

本鉱山はクスコ県エスピナル (Espinar) 郡 ヤウリ (Yauri) 地区にあり (西経71°20' 南緯14°57') 海拔4,000—4,300mに位置する。気候 植生共に高冷地型であり4—10月は乾燥しているが 寒気が強く 11—3月は雨期に支配される。

交通はクスコまたはアレキパ市から陸路ヤウリを経て鉱山に到着出来るが クスコ市より約230km またシクアニ(Sicuani)から107kmの距離にある。(第1図)

今世紀初頭には本鉱山の存在は既に報告されており 1917—18年にはアナコンダ系のアンデス探鉱会社が試錐および坑道探鉱を実施したが 微弱な鉱徴を発見したに留まり 探鉱を中止した。1940年代には世界の大手鉱山会社の査察が相次いだがいずれも有望とは認めなかった。1952年 セロ・デ・パスコ社が鉱山主の Dr. J. M. Velasco とオプション契約を結び 本格的な地質精査 試錐および坑道を加えた探査を行い 鉱量4百万トンの存在を確認した。またその内訳としては 銅品位が3%以上の酸化鉱が約90% 3.5%の硫化鉱が10%を占めることが報告されている。

また 1956年グアイアナ鉱山 (Consolidated Guayana Mines, Ltd.) 会社がティンタヤ鉱山に隣接した南東部の地域で5本のボーリングを実施し 銅品位が3.5%の酸化鉱と 2%の硫化鉱を捕捉した。

1970年10月末 鉱業法の改正により鉱区権はペルー政府に返還され 次いで MINERO PERU に譲渡された。1971年以降組織的な探査が行われ チュバカ (Chubaca) 地区で坑道を開鑿し 99本の試錐 (全長 3,200m) を実施して鉱量を確保することに成功した。1980年 ティンタヤ鉱山会社 (Cia. Minera Tintaya, S. A.) を設立 (MINE-RO PERU 45%, CENTROMIN PERU 45%, COFIDE 10%) し 現在建設が進められており 1985年生産開始の予定とされている。

### 地質一般

本鉱山付近は西部山岳地帯の南東部に属し 更新世の水河作用により削割されて準平原化したため 緩い起伏の比高200m以下の平原状の地形を示している。

## TINTAYA Y LAS BAMBAS



第1図 ティンタヤおよび ラス・バムバス鉱山地域の位置図

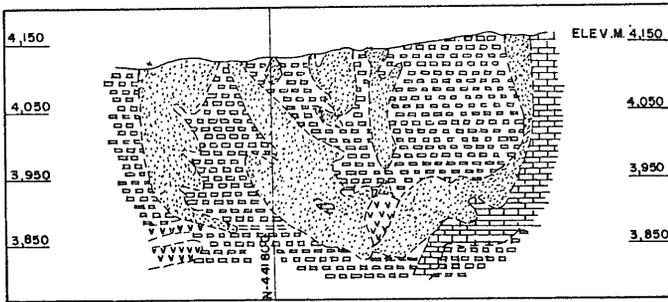
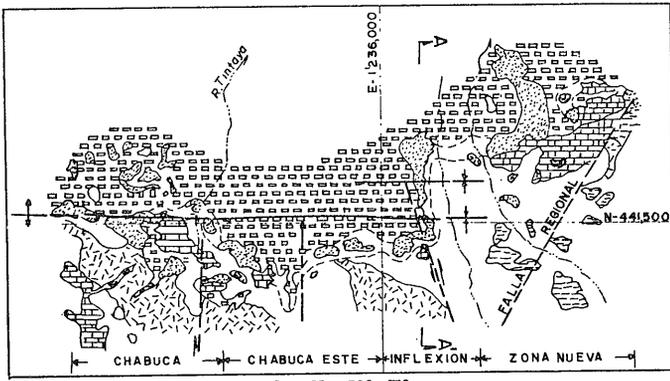
この削割作用により貫入岩体と鉱化帯が地表付近に露出して 鉱床発見の端緒を提供したと言われている。

この地域の地質はジュラ紀晩期から第三紀晩期に到る堆積岩 火山岩および貫入岩から成り さらにこれらは第四紀の水河堆積物により覆われている。

中生代の堆積岩類は下部からユラ (Yura) 層群 ムルコ (Murco) 層 フェロバムバ (Ferrobamba) 層が見られる。

ユラ層群に属するティンタヤ珪岩はペルー南部に広く分布しており 明白色を呈して偽層が発達する。この珪岩はアレキパ市付近に広く分布する上部ジュラ系または下部白亜系のワールウアニ (Hualhuani) 層に対比され またティティカカ (Titicaca) 堆積盆地のワンカネ (Huancane) 砂岩にも相当する。

この上に載るムルコ層は含鉄砂岩 頁岩 粘板岩質頁岩の互層から成り 下部白亜期に属する。さらに ムルコ層の上のフェロバムバ層は青白色または青灰色の著しく褶曲した石灰岩を主とし ティティカカ堆積盆地の



凡例

現世	河川および氷河堆積物	接触変成岩	貫入岩	閃緑岩	モンゾニ岩	安山岩
白亜紀	Ferrobambo層	スカルン	閃緑岩	閃緑岩	モンゾニ岩	安山岩
ジュラ紀	Hualhuani層	スカルン	閃緑岩	閃緑岩	モンゾニ岩	安山岩

YACIMIENTO DE TINTAYA EL PERU MINERO

第2図 ティンタヤ鉱山 地質鉱床平面図と断面図。

中部白亜系のアヤパッカ (Ayavaca) 石灰岩に対比される

フェロバムバ層は後で述べる様に 貫入岩との接触部でスカルン化し 鉱床を胚胎する最も重要な母岩の役割を果している。

本鉱床の南部に分布する火山岩類は先に述べた堆積岩類の上に不整合に載り 安山岩質 玄武岩質および粗面岩質の熔岩と凝灰岩から成り 第三紀早期のタカサ (Tacaaza) 層に属する。

また鉱床の北部では ヤウリ盆地の大半が第三紀後期および第四紀の火砕岩 氷河堆積物 河川堆積物により覆われている。

次にこの地域の貫入岩としては 塩基性から中性にわたる深成岩が見られ 中生代の堆積岩中に貫入して接触変成作用を与えている。一般に閃緑岩 花崗閃緑岩 斑状モンゾニ岩の順序に活動しているが 斑礫岩の小岩体も分布し 恐らくこれが最も古いとされている。

ティンタヤ鉱床の南縁には 褶曲構造に一致して北西

方向に伸びる細粒閃緑岩が 9 × 5 km の範囲に分布する。

一方鉱床の北側では フェロバムバ石灰岩の形成するドーム構造の中心部に 3 × 2 km のモンゾニ岩の小規模の岩株が貫入し スカルン鉱物を伴う鉱化作用を与えている。

この地域の主要な地質構造は NW-SE 方向の褶曲軸を持つ複雑な褶曲構造に支配され 一部に横臥型の著しい褶曲も見られ 鉱床付近では非対称の褶曲構造を示している。また 鉱床の延長にほぼ平行な NW-SE 方向の2本の断層が走っており 東側のものがより顕著である。これらが褶曲と斜交する場合 軸方向は折れ曲がる現象も珍しくない。

鉱床

本鉱床はフェロバムバ層の塊状石灰岩と石英モンゾニ岩との接触部に形成されており 鉱床の南縁には弧状に分布するモンゾニ岩の岩株群が見られる。石灰岩は石英モンゾニ岩と閃緑岩との間に在り 地表付近は大小の礫となって分布している (第2図)。

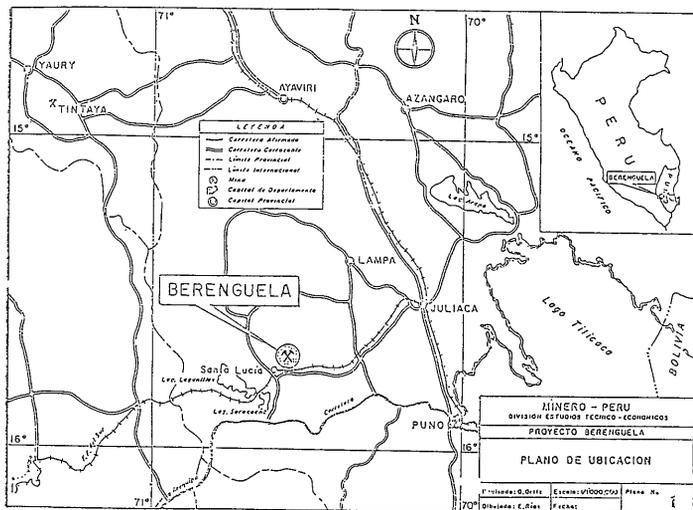
石灰岩はスカルン化しており スカルン帯の延長は約 3.5 km その幅は 50-600 m であるが 氷河作用の著しい削割のため 場所によりスカルン帯が欠如して不連続となっている。鉱床の西側では スカルン帯がルーフ・ペンダントとして部分的に残っているが 東側では比較的良く連続する。

スカルン中には アンドラダイト グロシュラライト 透輝石 磁鉄鉱 赤鉄鉱 菱鉄鉱 方解石が晶出しており スカルン化の不十分な部分は粗粒の大理石と成っている。

ティンタヤ鉱床地域は探鉱した結果 西から東にかけて (1) Chabuca (2) Chabuca Este (3) Inflexion (4) Zona Nueva の4地区に分けられる。

(1) Chabuca 地区

この地区は背斜の頂部に相当しており 顕著な削割作用の痕跡を示している。背斜構造は約 1 km 連続し 北に 70° 南に 40° の傾斜を示すが 北翼では銅の酸化物と硫化物を伴うスカルン鉱体が在り 層理にほぼ平行なマント型を呈し 鉱化作用は地表から 100m 以上深部に続いている。背斜の南翼はスカルン鉱物の晶出が弱



第3図 ベレングエラ鉱山位置図。

く少量の銅の酸化物を伴うに過ぎない。

(2) Chabuca Este (East Chabuca) 地区

横臥褶曲タイプに属する背斜構造が1 km 続ぐが 頂部に相当する部分にモンゾニ岩が貫入している。この構造の南翼では 地表のルーフ・ペンダント状スカルン中に銅の酸化物と硫化物の鉱染が認められ 一方北翼ではスカルン鉱物の晶出が顕著であり 物探により鉱化作用の兆候を捕捉して試錐を実施した結果 深度150-200 m間に厚さ30mの硫化鉱体を発見した。

(3) Inflexion 地区

この地区と後で述べる Zona Nueva とで 全鉱量の70%を占め スカルン帯の発達も良好であり 鉱化作用は深度300m以上に及ぶことが知られている。本地区は孔雀石と珪孔雀石を主とする酸化鉱が地表から60mの深さまで分布し その下部に黄銅鉱と斑銅鉱から成る硫化鉱が150-300mの深度に及ぶことが判明している。

またモンゾニ岩の貫入に伴う北部のスカルン帯には黄銅鉱の鉱染が見られる。

(4) Zona Nueva 地区

この地区ではモレーンが直接鉱体を覆い 酸化帯は見られず 硫化鉱のみが分布する。深度300mの付近には ムルコ層に相当するホルンフェルスが存在し モンゾニ岩との境界付近に弱い銅の鉱化作用が知られているが それより下部の鉱況は不明である。

これら各地区の母岩の変質は スカルン鉱物として柘榴石(アンドラダイトグロシュラライト) 透輝石 ヘデンベルグ輝石 透角閃石 陽起石の他 磁鉄鉱 方解石を伴うが ホルンフェルスは透輝石 石英 緑簾石 陽起石 方解石から成る。

ティンタヤ鉱床の鉱石鉱物は銅の酸化物と硫化物がその大半を占め 特に前者の比率が比較的大きいことは注目に価する。

酸化鉱物としては 孔雀石 珪孔雀石 プロシヤン銅鉱 胆礬 藍銅石が見られ 二次富化鉱物として輝銅鉱 銅藍 ダイジュナイトが晶出する。

初生硫化鉱物は黄銅鉱 斑銅鉱および黄鉄鉱を主とし 磁鉄鉱と赤鉄鉱を伴っている。

埋蔵鉱量は酸化鉱(Cu 2.2%) が約1千万トン 硫化鉱(Cu 2.0%) が約4千万トンと報告されていたが 最近では全体で3千600万トン 平均品位は Cu 2.03%と訂正された模様である。

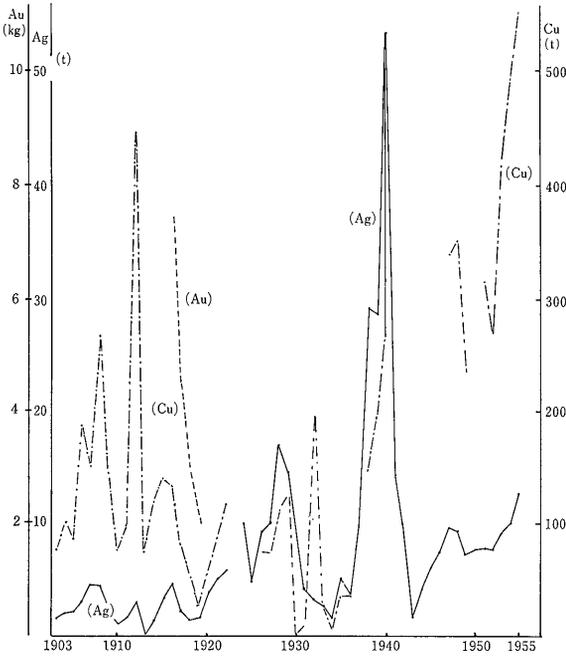
6) ベレングエラ (Berenguela) 鉱山

本鉱山はプノ (Puno) 県ラムパ (Lampa) 郡カバニージャスーサンタ・ルシア (Cabanillas-Santa Lucia) 地区に属し フリアカ (Juliaca) 市の南方約60kmに位置する。海拔4,150-4,290m 付近にあるため 11月から3月まで雨期 7-8月は結氷することも珍しくない。

交通はアレキパー(Arequipa)市より末舗装道路220km アレキパー-フリアカ鉄道を利用すれば サンタ・ルシア駅まで238km 同駅より鉱山事務所まで6kmの距離にある(第3図)。

本鉱山を開発する際には 単に2kmの道路を開設すれば 鉄道に達すると言う利点と共に リオ・ベルデ(Rio Verde)と呼ばれる水量の豊富な河川がすぐ傍にあり 水力発電が可能な条件を備えている。

ベレングエラ鉱山は既に植民地時代から銀を対象とし



第4図 ベレンゲーラ鉱山の金・銀・銅（金属量）の生産実績図。

た採掘が行われてきたが 1903年以降1957年までイギリス系のラムパ鉱山会社 (Lampa Mining Co.) の経営の下に採掘が続けられた。この会社では1955年までに原鉱石として約50万トン 金属量にして銀392トン 銅7,023トンを生産した。

当時の品位としては 銀33オンス/トン 銅2%の高品位鉱を出鉱してきたが その後サンタ・ルシアの北2 km に精錬所を建設し 本鉱山の鉱石とサン・ラファエル (San Rafael) 鉱山の珪質銅鉱とを混合して直接精錬し 銅品位 30—35% 銀品位 7—13 kg/トンの地金を生産



写真1 サンタ・ルシアの街（標高約4,000m）. 直射日光を遮るためテントの影で果物などを売るインディオ達。

した（第4図）。

その後 品位が低下して1955年から1957年まで 銀55,761 kg 銅2,101トンを生産したが さらに出鉱品位が低下したため 操業中止の状態に立ち至った。

この原因の一つとして ベレンゲーラ鉱山の鉱石がマンガン酸化物を主とし 銀と銅は大半が二次鉱物の状態で存在するため これらの抽出が通常の選鉱 冶金の方法では容易でないと言った性質によるためである。

また 1940年から1950年にかけてマンガン鉱物の回収を試みたが そのための設備費に比べてマンガンの価格が低く しかも不安定であったことから マンガン鉱の回収の努力は放棄せざるを得なかった。この他1958年には浮遊選鉱もテストしたが 当初予期した成果が得られず 改良を重ねた結果 銀の回収に有効であると言う目安を得たに止まった。

ベレンゲーラ鉱山の操業は20世紀前半が最盛期であり 休山以降種々の鉱山会社のアプローチはあったが 再開

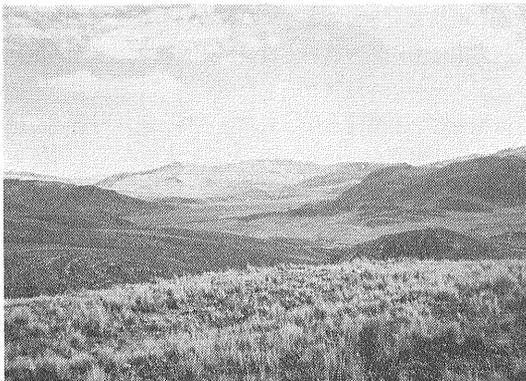


写真2 ベレンゲーラ鉱山よりサンタ・ルシアを見る。

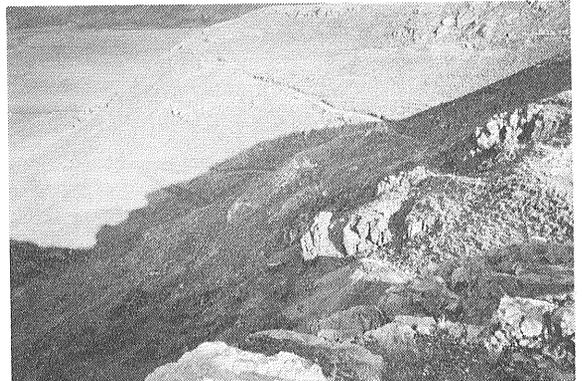


写真3 ベレンゲーラ鉱山の母岩の石灰岩。

発の状況には到っていない すなわち1965年8月より1966年9月まで アサルコ社 (ASARCO; American Smelting and Refining Co.) はオプション契約の下に探鉱活動を行い 初めて同鉱山付近の地質図の作成 また52本の試錐 (延べ3,241m) を実施した。

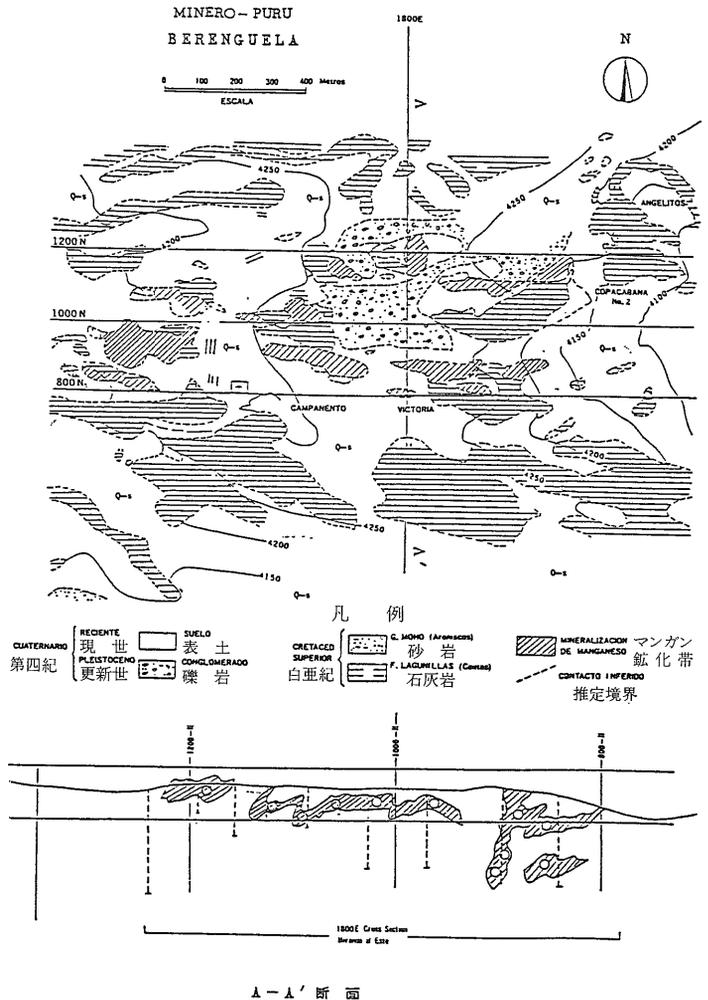
これと共にアメリカのアリゾナ州の鉱山局 (Bureau of Mines) や他の民間会社に鉱石の処理方法について検討を依頼し セグレーションと浮遊選鉱による銀 銅 マンガンの回収テストを実験室規模で行ったが feasible ではないと言う結論に達して契約を解消した。

続いて1966年11月より1968年11月までの2年間セロ・デ・パスコ社 (Cerro de Pasco Corporation) がアサルコ社と交代して調査し 鉱量を算定すると共に オロヤ (Oroya) の実験室で浮遊選鉱や溶脱法による銀と銅の回収を試みたが 期待した成果は得られなかった。

さらに 1968年12月より1970年12月までチャーター鉱山会社 (Charter Minera, S. A.) により56本の試錐 (総延長3,386m) が追加され 鉱石の処理についての検討と共に prefeasibility study も行った。この場合 300トンの鉱石がイタリーのミラノに送られてアングロ・アメリカン企業体 (Anglo-American Corporation) によりパイロット・プラントでセグレーションによる鉱石処理の検討が試みられたが チャーター社は開発から生産までの予定が完遂出来なかったため 鉱業開発促進法により鉱区権をペルー政府に返還せざるを得なかった。

1972年1月ペルー政府はミネロ・ペルー (MINERO PERU) に対しベレンゲラ鉱山の鉱区権を付与したため ミネロ・ペルーもまた prefeasibility study を実施し 鉱石処理の検討をスダミン社 (SUDAMIN: Sud American Des Minerias et Metaux, S.A.) に依頼した。この他1978年にはソ連の技術協力機関からモスコウのパイロット・プラントでベレンゲラの鉱石処理を検討することの申し入れがあり この件に要する費用について125,000ドルを提案して来たが 実現には到らなかった。

以上が本鉱山の沿革であるが 鉱石中から銀と銅を有効に回収する方法が種々検討され 結局セグレーション法が効果的であると言う結論に達したと判断される。



第5図 ベレンゲラ鉱山付近地質図および鉱床断面図。

### 地質一般

本鉱山付近は西部山岳地帯の東端に位置し 白亜紀のモエオ (Moho) 層群に属するアヤバッカ (Ayavaca) 層の苦灰質石灰岩を主とする。また赤色の珪質頁岩が分布し石灰岩中にも同質の砂岩と頁岩が挟まれており 一部にはノジュール状の珪質頁岩も存在する。石灰岩の上盤には相当厚い石膏層を伴っており 特に鉱床の東端で肥大する傾向が認められる。これらの堆積岩類はN70°W方向の褶曲軸をもつ背斜と向斜を繰り返しており 著しい部分では倒れた同斜構造を示している。特に頁岩層はインコンピートであるため 褶曲に伴って剪断作用を受けているところも見られる。またこれらの他NW方向の大きな断層 NE および NS 方向の落差数m程度の直立した断層群があり 鉱床の南端には褶曲軸に平行な衝上断層もみられる。本鉱山の北東2km付

近には白亜系とデボン系を境する大規模の衝上断層が存在し 地質構造をより複雑化していると報告されている。  
(第5図)

後で述べる様に ベレンゲーラ鉱床付近の堆積環境は非常に浅い海であり マンガン酸化物の堆積中も一部陸化して削剝された可能性があり また周辺からも碎屑物が流入していた形跡が残されていることが判明した。

これらの白亜系の上に第四紀の水河堆積物が載っており 融氷流水堆積物の水礫土が凹所や割れ目を充てて分布する。この水礫土中の礫は主に第三紀の火成岩類からなり 珪岩や鉄鉱石なども伴うが 火成岩の礫の多くは熱水変質作用を受けており 鉱化作用の認められるものもある。

### 鉱床

先にも述べた様に ベレンゲーラ鉱床は白亜期中期のアヤバッカ石灰岩中に挟まれた銀および銅を含んだ酸化マンガン鉱床であり ペルーでは唯一のマンガン酸化物を主とする鉱床と言われている。

本鉱床は標高 4,200m 付近の小高い丘の上に露頭が分布しており 鉱体は褶曲軸に平行に N70°W 方向の伸びを示している。鉱化帯の総延長は約1,500m 幅は約500m その厚さは最大100m近くに達するが 平均25m前後であり 部分的に厚さの変化が著しい。

鉱石は一般に黒色のマンガン酸化物を主とし 硬マンガン鉱と軟マンガン鉱から成ると言われてきたが その大半は非晶質の鉄を含んだマンガン酸化物である。これらの鉱石は一見大洋底のマンガン団塊に似ているが 鏡下では層理やコロフォーム組織を示し コロイド状の沈澱により生成したと推定される。これらと共にマンガン鉱自体が砂粒となって堆積した部分も見られ 浅い海盆中で海面が上下することにより マンガン鉱体の一部が水面上に突出して削剝されたか または底層流の

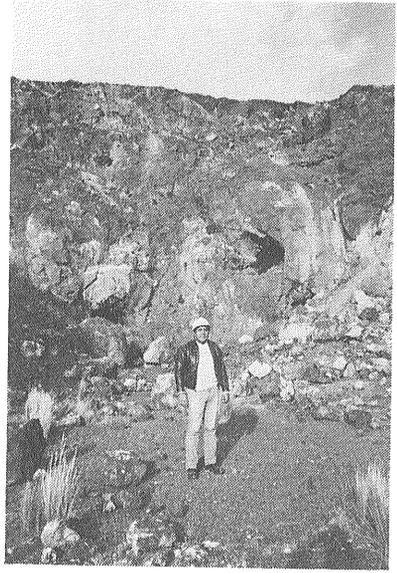


写真5 ベレンゲーラ鉱山の旧採掘跡。

動きにより削られたかの可能性が考えられる。マンガン鉱の沈澱中も炭酸塩鉱物の破片が取り込まれており 周辺から碎屑物が供給されていた模様である。このような堆積環境は下盤の石膏層が硫黄の同位体比からみて蒸発残留岩起源であることにより裏付けられている。

次に銅鉱物としては 野外ではマンガン鉱中に酸化銅鉱の細脈が層理に平行か または若干斜交しているが中には直交するものもある。しかしこれらのいずれも余り連続性が良くない。二次銅鉱物としては 孔雀石が目立つが 珪孔雀石 銅藍 輝銅鉱も存在する。

興味ある事実としては 鏡下でマンガン鉱に伴う砂質部の石英中に黄鉄鉱と黄銅鉱が含まれており また二次



写真4 ベレンゲーラ鉱山の露頭。

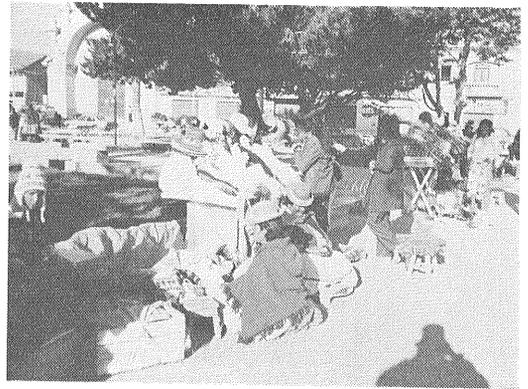
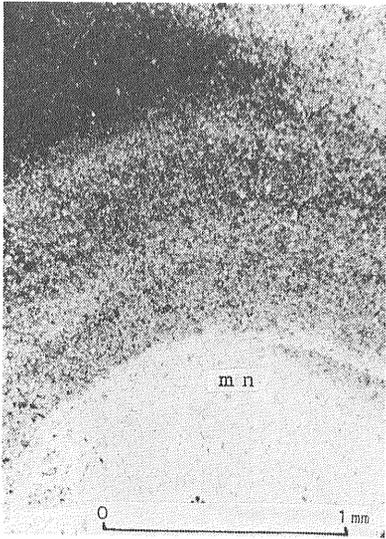
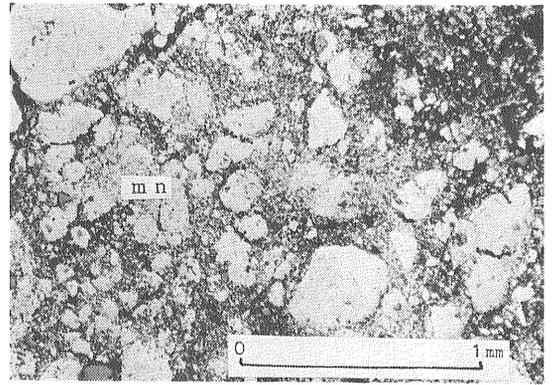


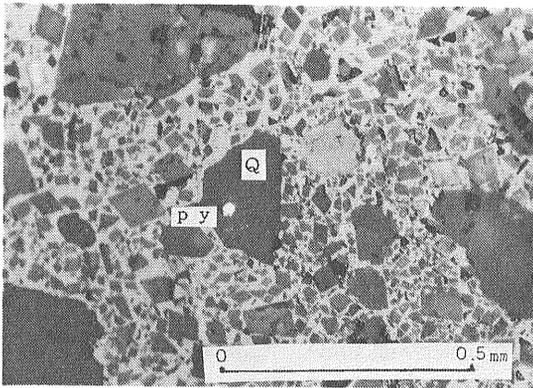
写真6 フリアカ市の中央広場のフェア。毛皮の敷物や毛織物を売るインディオ達



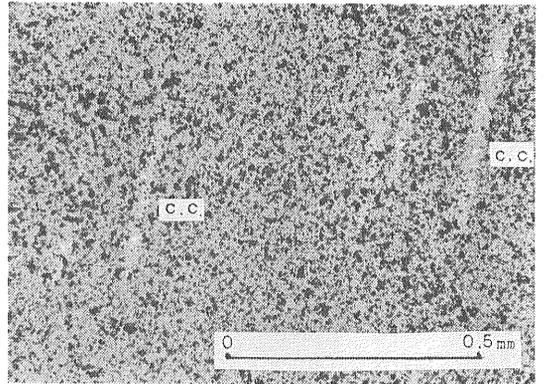
顕微鏡写真1  
ベレンゲーラ  
鉱山のマンガン  
鉱の褶曲した  
ラミナ構造。  
mn: マンガン  
鉱



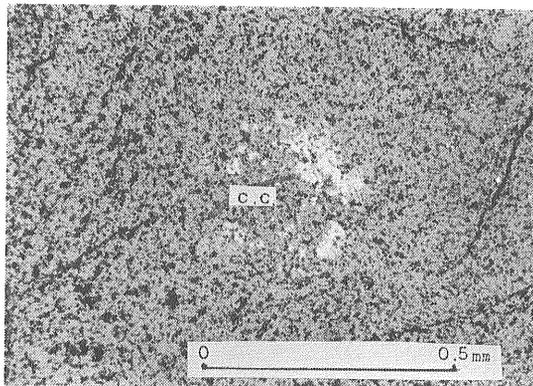
顕微鏡写真2 マンガン鉱自身が  
砕屑物となった砂質部。  
mn: マンガン  
鉱



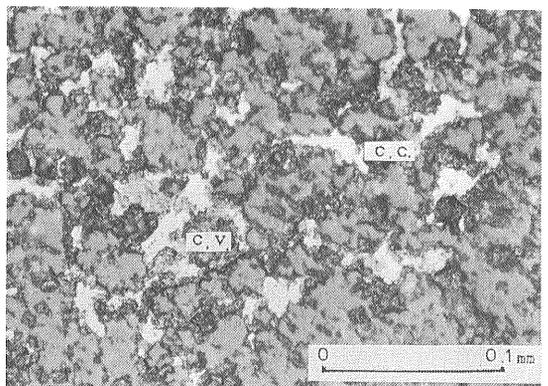
顕微鏡写真3 砂質部の石英中に見られる  
初生硫化鉱。  
Q: 石英 Py: 黄鉄鉱



顕微鏡写真4 酸化銅鉱の伸びた形を示す  
砕屑片。  
C. C.: 輝銅鉱



顕微鏡写真5 亜円環状の酸化銅鉱。  
C. C.: 輝銅鉱



顕微鏡写真6 酸化銅鉱の濃集部  
C. C.: 輝銅鉱 C. V.: 銅藍

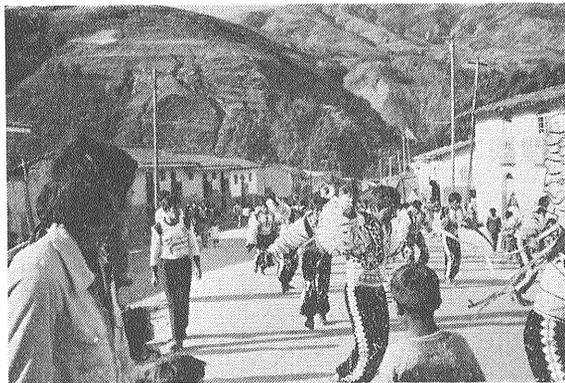


写真7 フリアカからクスコに行く途中の町のお祭りの行列。

銅鉱物に富む鉱石では輝銅鉱の集合体が円礫に近い形を保つと共に それらの中に黄銅鉱が残っていることが判明した。

このような産状は一次銅鉱物が砂粒や小礫として堆積盆の外側から流入し マンガン鉱の中に他の炭酸塩鉱物と共に取り込まれて堆積したものと推測される。銀鉱物は現地では採取したサンプルからは発見することが出来なかったが これまで報告された産状やベレンゲラ鉱山の生産統計からみて 恐らく銅鉱物に密接して産する可能性があり 銀と銅の起源は同一ではないかと考えられる。また 生産統計では1916年から1919年まで金を採取した実績があるが 今後金についても注目して探査を進める必要があろう。

脈石鉱物としては 方解石 ドロマイト 石英が主要構成鉱物であるが これらの他少量のカオリン カリ長石 絹雲母などが報告されている。

銀と銅の起源については 氷河堆積物中の鉱化作用を受けた氷礫から溶け出したこれらの有用元素が 下にあるマンガン鉱中に吸着されたとして ベレンゲラから 3.5km 離れたリモン・ベルデ(Rimon Verde)鉱山から運ばれてきた鉱石がその起源であると言うユニークな意見もあるが 鉱石中の一次硫化鉱物の存在はこの成因説に矛盾している。

問題はマンガン鉱物の酸化による汚れが著しいため肉眼による銅や銀の品位の判定が困難であり 少なくとも鉱石顕微鏡による観察と 正確な分析値とを対応させることが探査する上で絶対必要条件となろう。いずれにしても この様な類の少ない鉱床は成因的にも経済的にも極めて興味があり 今後さらに詳細な研究が必要と思われる。

#### 鉱量および品位

母岩の複雑な構造に支配されるため 鉱体は不規則な

形態を示しており 鉱量の算定は困難であるが 次の様な数値が報告されている。

	(トン数)	銅 (%)	銀 (Oz/T)
確定 鉱量	13,769,000	1.31	4.08
指示 鉱量*	2,000,000	0.94	5.63
全 鉱量	15,796,000	1.26	4.28

\*指示鉱量 = (推定鉱量 + 予想鉱量)

この中 高品位鉱 (銅1.6% 銀10 Oz) の分布範囲は延長1,000m幅は40—100mであることが知らされており 鉱量として 300 万トンが期待される。

#### セグレゲーションと H. G. N. S. について

ベレンゲラ鉱山の鉱石の処理については セグレゲーション法を適用することが有効であると言われて来た。このため 日本チームがペルー政府の協力機関である INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) と共に セグレゲーション法についてベレンゲラの鉱石を中心にテストを実施しており 将来本鉱床の開発に貢献すべく努力を続けている。

セグレゲーション法については余り耳にしたことの無い方も居られると思うので 簡単に説明することにしよう。

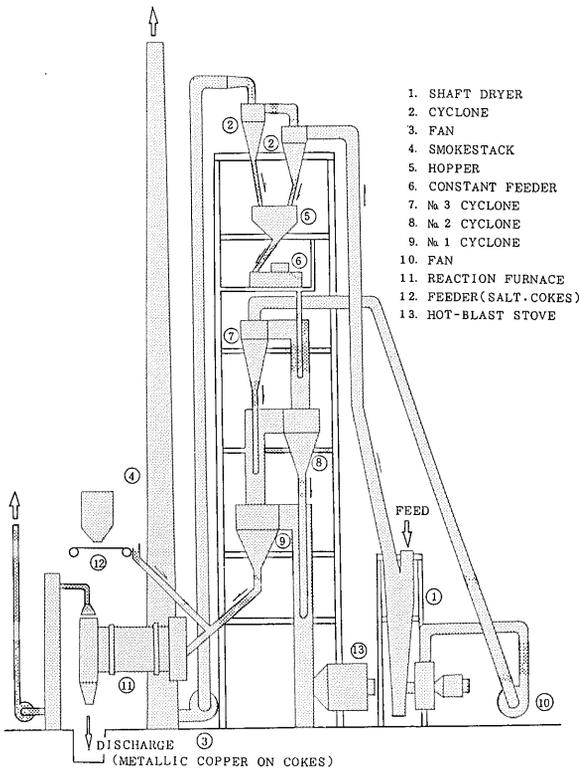
この方法は普通酸化鉱を処理する場合に用いられるが一般の選鉱法では困難な鉱石を塩とコークスを加えて焼鉱し 酸化鉱中に含まれる銅や銀等の有用金属元素を遊離させた後 塩化物に還元して炭化物に付着させ これを浮遊選鉱法により選鉱する方式である (第6.7図)。

セグレゲーション法の利点は酸化鉱をリーチングで処理する方法に比べて 珪孔雀石の様な鉱物からの銅の抽出が容易であり 微量成分として含まれる金や銀も回収出来ることが挙げられている。

しかし キルンの設備費 焼鉱に要する燃料費等のコスト高がセグレの弱点となることは否定出来ない。こ



写真8 クスコ市の中央広場。

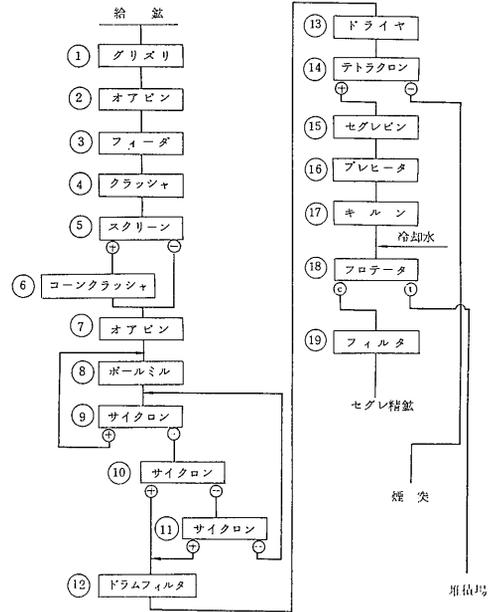


第6図 セグレゲーシヨ設備 (Katanga 鉱山).

の弱点を補うためには 含有金属の積極的な利用と具体的な省エネ対策が心要になると思われる。

一つの試みとして これまで余り議論されていないマンガン鉱の回収と利用について検討してみたが この過程で種々のことが判明してきた。先にも述べた様にベレンゲーラ鉱山のマンガン鉱は非晶質の鉄を含むマンガン酸化物を主とし マンガンの炭酸塩鉱物は予想に反して全く存在していない。従って セグレゲーシヨン法により焼鉱した場合 炭酸塩鉱物に比べてマンガンの品位が上昇しないことが指摘される。例えばメキシコのイダルゴ(Hidalgo) 州にあるアウトラン (Autlan) 鉱山では マンガン炭酸塩鉱物の焼鉱による CO<sub>2</sub> の逸失のため 品位が上昇することに成功しているが ベレンゲーラの様な酸化鉱物の場合 焼鉱によるそれ自体の品位の上昇は望めない (第8図)

また X線回折により850°C まで加熱した鉱石を同定した結果 マンガン鉱物としてヤコブ鉱の生成していることが明らかとなった。しかし ヤコブ鉱はフェライトの原料としての用途に限定される模様であり しかも不純物の少ないことが要求されているがヤコブ鉱のX線回折像はピークも低く明瞭さを欠くことから 不純物を



第7図 セグレゲーシヨ選鉱系統図 (Katanga 鉱山)

含む可能性が高く その利用は困難であることが予想される (第9図)。

当初 セグレゲーシヨンにより生成したマンガン鉱物について 高勾配磁力選鉱法 (H. G. M. S. -High Gradient Magnetic Separator)により回収出来るのではないかと期待したが ヤコブ鉱が強磁性鉱物であるため 高勾配磁力選鉱法を心要としないことが判明した。さらに ベレンゲーラ鉱床の焼鉱により生じたヤコブ鉱は利用上疑問があり 現時点でマンガン鉱の回収利用は困難と判断せざるを得ない状況にあるが 今後なお検討の余地は残されていると思われる。

次に ベレンゲーラの原鉱石について示差熱分析を行った結果 1000°C まで温度が上昇する間に 810°C 付近

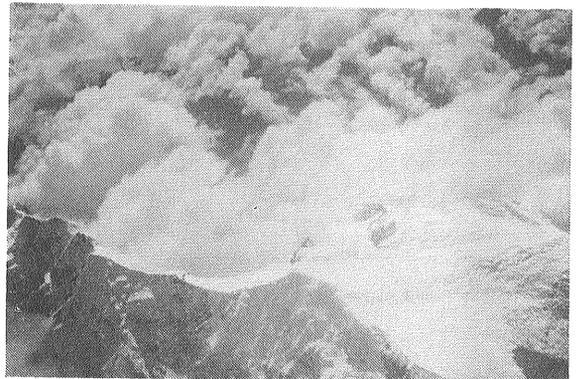


写真9 クスコリーマ間機内より眺めたアンデス山頂の氷河

で方解石928°C付近でドロマイトの吸熱反応が見られるが 当然のことながらマンガンの炭酸塩鉱物の存在を示す反応は見出されなかった。

上記の反応の結果 両鉱物から失う炭酸ガスなどから全体で重量比にして27.2%の loss を生じることが判明した。

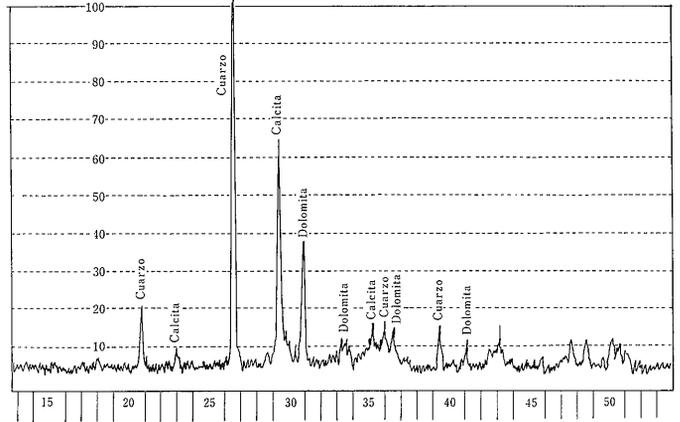
セグレゲーシオンで加熱する場合 炉中の温度が一応850°まで上昇するが 脈石鉱物として含まれる方解石とドロマイトの吸熱反応に相当大量の熱エネルギーが消費される可能性の存在を示差熱分析の結果が示唆している(第9図)。

一方 日鉄鉱業(株)中央研究所の御厚意により 高勾配磁選機(SALA-H. G. M. S)を用いてベレンゲーラの原鉱石を60メッシュ以下に粒砕した試料を選別する予備的な実験を行った。その結果 鉱石鉱物と脈石鉱物との分離が H. G. M. S. により可能であることが判明した(第10図)。

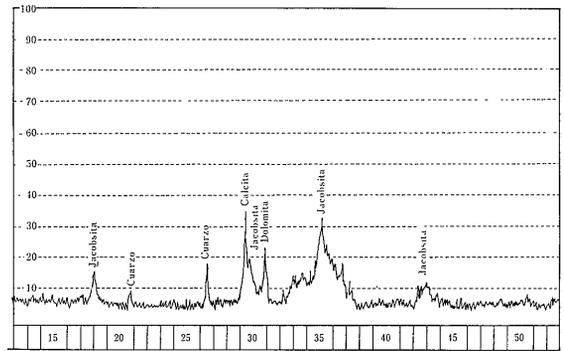
この事実はセグレゲーシオン以前に H. G. M. S. により脈石鉱物を分離して除去すれば 焼鉱する場合の燃料の大幅な節約が期待出来る見通しが成立することになる。すなわち 方解石やドロマイトの減量が吸熱反応の制御になり セグレゲーシオンの燃料節約に重要な役割を果すことになる。従って 今後セグレゲーシオンのテストと共に H. G. M. S. を併用して選鉱の経済性を高めるよう努力することは ベレンゲーラ鉱山開発を促進する具体的な方策の一つとなると思われる。



写真10 INNGEMMET サマメ総裁のパーティー(中央の人物がサマメ総裁)



第8図 マンガン鉱原鉱の X 線回折図。  
Cuarzo : 石英 Calcita : 方解石 Dolomita : ドロマイト



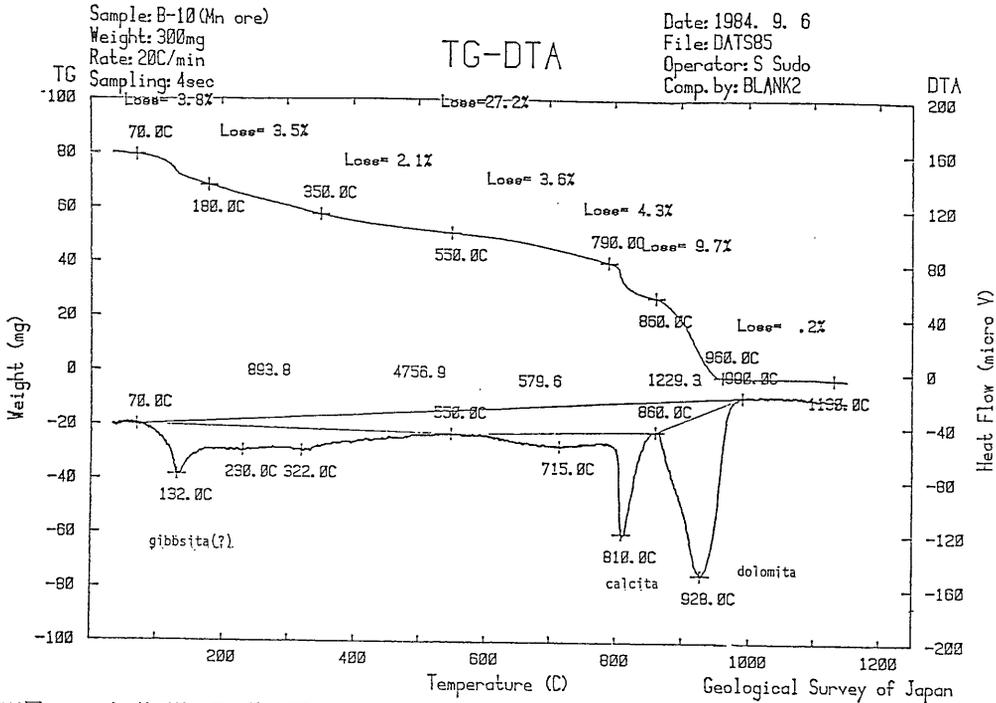
第9図 マンガン鉱焼鉱の X 線回折図。  
Cuarzo : 石英 Calcita : 方解石 Dolomita : ドロマイト  
Jacobsita : ヤブコ鉱。

また ベレンゲーラ鉱山の地質 鉱床および鉱物の諸性質を総合した結果を考慮すれば ベレンゲーラ鉱床の銅 銀 金等の分布状態は均質では無くて偏在する可能性が高く 一応マンガンの回収を考慮しなければ 当面の課題として鉱床中の高品位鉱(埋蔵鉱量約300万トン)のみを対象とした採掘計画を検討することが優先するのではないかと思われる。

最後に ペルー南部の主要な鉱床の位置図と一覧表を添付したので 興味のある方は参照していただきたい。(第12図第1表)

#### 4. 後書き

今回はたまたまペルーを訪問して 本当に久しぶりに旧知の方にもお目に掛かれたし 以前訪ねたことのある町や村を見聞し さらに昔の思い出のあるホテルにも泊



第10図 マンガン鉱原鉱の示差熱分析図。

ることが出来て 懐旧の情が一入の旅行であった。特に セロ・ベルデ鉱山は開発前の準備段階の状況を知った上で現在の盛況を見ると 正に今昔の感があったがその他の景色は全く昔のままであり わが国に比べて変わり様の少ないのには 驚きに近い強烈な印象を受けた

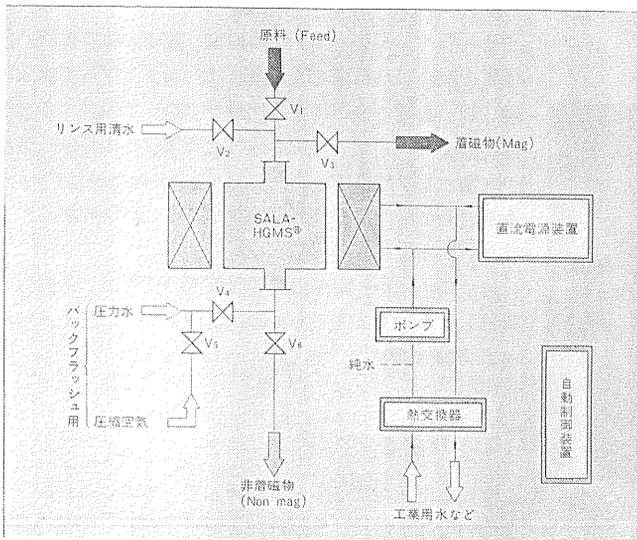
ことは 冒頭に述べた通りである。

ペルー共和国は鉱業的に見た場合 年間の生産量は銅が32.2万トンで世界で8位 鉛が20.5万トンで世界第5位 亜鉛52.7は万トンで世界第4位 銀は5万オンスで世界3第位であり石油を含めた全鉱業生産は G. N. P. の9.2%に当たり 輸出部門では鉱産物が全体の45.5%を占めている。

また 輸出部門で日本は銅 鉛 亜鉛の重要な輸出国であり 種々の問題があるにしても 我が国と深い関係にあることは否定出来ない。

本文では ペルーを訪問したことを契機として ペルー南部の主要な鉱床について紹介することを目的としたが まだ十分とは言えないので今後さらにデータを補足して行く積りである。しかし これにより多少なりともペルーの鉱床の一端でも 御理解頂ければ幸いである。

末筆ながら 現地調査に御援助下さった“セグレ”チームのメンバーを始め ベレンゲーラの鉱石について貴重な御意見を頂いた九州大学の広渡文利教授 H. G. M. S. の選鉱実験に協力された日鉄鉱業中央研究所の方々 また文献について御教示下さった金属鉱業事業団の資料センターおよび鉱石の研究に御助力を賜った地



第11図 Sala-HGMS (サイクリックタイプ) の系統図。



第12図 ペルー南部地域の鉱山分布図。

質調査所鉱床部の中年パワーの諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

BELLIDO, B. E. et al. (1956); Mapa geologico del Peru (Escala; 2,000,000). Sociedad Geologica del peru, Lima.

BELLIDO, B. E. & De MONTREUIL, L. (1972); Aspectos generales de la metalogenia del Peru. Serv. Geol. Miner., Geol. Econom., 1, 149 p.

CANDIOTTI, H. (1980); Yacimiento de Berenguela.- Antecedentes y programa de exploracion adicional.-Minero-Peru, Gerencia de Proyectos, Division de informacion minero-metalurgica, 12p

—————. (1982); Geologia del yacimiento de cobre y plata, Berenguela.-Minero-Peu, Direccion de geologia, 9 p.

海外鉱物資源開発株式会社(1978); ペルー国コロコワイコ特別鉱区中間探鉱報告書 17 p.

金属鉱業事業団(1983); 開発環境解析委員会報告書—アンデス諸国の資源開発環境—ペルー共和国 金属鉱業事業団資料センター p. 191—282.

—————. (1984); ペルーの国営鉱山企業の現状 海外鉱業情報 vol. 13, no. 11, p. 1—24.

—————. (1984); ペルーの中規模鉱山の概要 海外鉱業情報 vol. 14, no. 1, p. 13—30.

金属鉱物探鉱促進事業団(1970, 1971, 1972); 海外地質構造調査報告書 ペルー南部地域 昭和45年度 48p. 同46年度 75p.

同47年度 75p.

国際協力事業団(1982); ペルー共和国酸化鉱処理プロジェクト事前調査団報告書 鉱開技 JR 82-106, 66 p.

—————. (1983); ペルー共和国酸化鉱処理プロジェクト実施協議チーム報告書 鉱開技 JR 83-76, 66 p.

—————. (1984); PERU 共和国 BERENGUELA 鉱選鉱試験報告書 鉱開技 JR 84—61, 34 p.

MINERO-PERU(1980); Proyecto Berenguela, Estudio de Pre-factibilidad.-Empresa Minera del Peru, Proyectos minero-metalurgicos, 71 p.

NEWELL, N. D. (1949); Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia. Geol. Soc. of Am. Memoir 36.

PLAN REGIONAL PARA EL DESAROLLO DEL SUR DEL PERU; Informe-Los recursos minerales. PS/A/ 5, Vol. II, 150 p.

SAMAME, M. B. (1980); EI Peru minero. Tomo IV. Yacimientos(1)-Berenguela, Cerro Verde, Coroccohua-yco Cuajone, Chapi, Katanga, Quellaveco, Tintaya & Toquepala.

—————. (1980); EI Peru minero. Tomo IV. Yacimientos (2)—Catalina Huanca, Orcopampa & San Juan de Lucas.

—————. (1980); EI Peru minero. Tomo IV. Yacimientos (3)-Hiero, Hierro-Cuzco y Apurimac.

TERRONES, L. & ALBERTO, J. (1958); Structural control of contact metasomatic deposits of the Peruvian Coridllera. A. I. M. M. E. T., 211, p. 365—372.

ZEIL, W. (1979); The Andes- A geological review. Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 260 p.

第1表-1 ペルー南部の鉱床一覧表

鉱山名	位置・交通	地質一般	沿革	鉱床	品位・鉱量
Arcata	Arequipa県Cayarami	白亜紀-第三紀火山岩類中に胚胎	Hochschild グループ所属 84年4月800トン/日の選鉱場完成	Pb-Zn-Ag 鉱脈型 方鉛鉱 閃亜鉛鉱 銀 鉱物 黄鉄鉱 方解石 石英 重晶石	Ag:15.0 Oz/T Ag 350 万Oz 生産(年間)
Atalaya 従業員数 353人	Cuzco 県Yauri	(地質・鉱床については Tintaya 鉱山参照のこと)	Cia. Minera Atalaya S.A.の経営		Cu:2.2 % 粗鉱 700 トン/日
Catalina Huanca	Ayacucho県	(層序) 第四紀 モレーン・河川堆積物 第三紀早期 Tintay 火山岩類 凝灰岩 火砕岩 白亜紀中期 Ferrobamba層 石灰岩 苦灰岩 白亜紀早期 Yura層群 ジュラ紀晚期 珪岩 頁岩 ジュラ紀中期 Socosani層 黒色石灰岩 暗灰色頁岩 ジュラ紀早期 Pucara層群 三疊紀晚期 灰色石灰岩 含鉄石灰岩 砂岩 三疊紀早期 Mitu層群 二疊紀晚期 頁岩 火山岩質礫岩 珪岩 (火成活動) 流紋石英安山岩 (800×80-250 m)	Minas Canarias,S.A.の経営	裂隙充填型鉱脈 (マント型交代鉱床) 走向 N50-60° E 傾斜 NW-SW 60-80° 厚さ 0.20 - 3.00 m (普通 1 m +) 露頭延長 約 400 m 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 閃亜鉛銅鉱 粗 閃亜鉛銅鉱 斑銅鉱 硫黄銅鉱 黄鉄鉱 赤 鉄鉱 螢石 石英 菱マンガン鉱 褐鉄鉱  珪化作用 絹雲母化作用	トン数 Pb(%) Zn(%) 確定 145,000 16.86 9.43 推定 66,000 18.30 10.10 211,000 17.31 9.64
Caylloma 従業員数 637人	Arequipa県Suchitambambo 地域 海拔4,500-5,000m Arequipa-Juliacca鉄道のSumbay駅より約150km 砂利道にて鉱山到着	(層序) 新生代の火山岩類 斜方輝石安山岩 -----不整合----- Yura層(ジュラ紀) 頁岩 珪岩 (貫入岩類) 石英モンゾニ岩の岩株 安山岩中に貫入 鉱化作用に関係 珪化作用 緑泥石化作用 絹雲母化作用	植民地時代から銀を対象に探掘 大規模鉱脈として有名 1950年代年間 銀10-20 トン 金50-60 kg を生産 Cia. Minera Caylloma 経営 現在 500 トン/日の生産量	鉱脈型鉱床 張力型 剪断型等多数の大規模 脈分布 銀 輝銀鉱 (主成分) 淡紅銀鉱 銀 紅銀鉱 輝安銅銀鉱 閃亜鉛銅 自然銀 黄鉄鉱 黄銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛銅 脈石鉱物 バラ輝石 方解石 石英 アン ケライト	品位 Ag 9.5 Oz/T
Corocochuayco	Cuzco 県Espinar 郡 Hector Tejeda 地区 Cuzco 市より陸路約 150kmにて鉱山到着	(層序) Descanso & Yauri 層 (厚さ80m) 上部第三系の湖成層 Taccaza 層群 中部第三系の火山岩類 Ferrobamba 層 (厚さ300 - 800m) 下部白亜系の石灰岩 Murco 層 (厚さ200m) 下部白亜系の頁岩 Yura層群 Hualhuani 層(厚さ600m) 上部ジュラ系の粘板岩 頁岩を伴う 珪岩 (貫入岩類) Tintaya 底盤の南端に相当する閃緑岩 花崗閃緑岩 モンゾニ斑岩の他 石英安 山岩の岩脈あり Tintaya 底盤 144 ×10 <sup>6</sup> 年	1971 - 1973年 ペルー・日本政府間ベース協力 調査により本鉱床発見 1974 - 1977 年 MINERO PERUと海鉱務の精密調 査	接触交代鉱床 Murco 層下部-Ferrobamba 層上部間 鉱化帯の面積 1,500 ×400 m N25° E 方向に伸び 平均 60° NW に傾斜 スカルン鉱物 磁鉄鉱 矽硼石 透輝石 角閃石 珪化作用 炭酸塩化作用を伴う 鉱石鉱物 黄銅鉱 斑銅鉱 輝銅鉱 磁鉄鉱 赤 鉄鉱 黄鉄鉱 モンゾニ岩中にも黄鉄鉱 黄銅鉱の鉱染が 認められる	推定鉱量 772 万トン 品位 Cu 3.21 %

第1表-2 ペルー南部の鉱床一覽

鉱山名	位置・交通	地質一般	沿革	鉱床	品位・鉱量
Chapi	Arequipa県Palogaya Arequipa市の南東約 60 km	(層序) Yura層 Hualhuani 珪岩 90m ジュラ 頁岩 60-300m 紀 砂岩 700m ----- Chocolate 層 安山岩質火山岩類  (火成活動) 石英斑岩 鉱化期前 安山岩 鉱化期後 (断層) 走向 N 60° W 傾斜 60-90° N 落差 70 - 2,000 m 地塁 地溝帯形成	1936年発見 現在までに約14万 トンの酸化鉱出鉱 Cia. de Minas de Cobre de Chapi, S.A. 1956年以降探掘 Cu79% 精鉱50トン/月生産 1982年日産1,200 トンに拡大し たが 資金不足の為休山	鉱床は厚さ約2,000mの Hualhuani層の珪岩 Yura層上部層中にあり 裂隙充填型鉱脈とマント型鉱床が見られ 前者は Chapi 断層に関係 後者は厚さ 25-30mこれまで 6 鉱体探掘 石灰岩中 にもマント型鉱床あり 酸化帯: 赤銅鉱 孔雀石 珪孔雀石 緑塩 銅鉱 胆礬 黒銅鉱 赤鉄鉱 褐鉄鉱 硫化帯: 輝銅鉱 黄銅鉱 黄鉄鉱 パラ輝 石(微量の金を含む) 脈石鉱物: 石英 方解石 白色粘土鉱物 瑪瑙 蛋白石 緑礬石 石膏	品位: Cu 3% 既出鉱量 200 万トン 埋蔵量 20 万トン
Katanga 従業員数 107人	Cuzco 県Chumbivil- cas 郡 Yauri-Santo Tomas 街道より Chillior- oya 農場方向の支道 15kmにて鉱山到着 海拔4,000mに位置す る	白色塊状石灰岩(時代未詳)から成り 苦 灰岩を伴う 白亜紀の Mono 群 珪岩 層に対比される可能性あり この上に 氷河堆積物が載る 本鉱山の南に白亜紀-第三紀初期のTacaza 層に属する安山岩類分布 (貫入岩類) 楕円状岩株 3 相 複合岩体 (1,200 m × 300 m) 1. 閃緑玢岩 貫入岩体の 80% を占める 2. ソータ閃緑岩 3. 斑状閃緑岩	植民地時代から鉱山付近で砂金 採取 18世紀初期より採掘 1910年Cia.Ferrobamba探査後放 棄 1950年Cia.Administradora de Minas 探査 1963年中止 その後 三井金屬鉱業鉱区権取 得 1974年操業開始 1981年末 までに粗鉱34.5万トン採掘 セグレージョン法により原鉱 処理 1983年ペルー資本に鉱業 権移転	接触交代鉱床 Katanga & Quibio 両鉱体 あり 透輝石 珪灰石 石榴石 緑礬石等 のスカルン鉱物晶出 鉱石鉱物 酸化帯: 孔雀石 珪孔雀石 赤銅鉱 銅藍 輝銅鉱 赤鉄鉱 褐鉄鉱 硫化帯: 斑銅鉱 黄銅鉱 磁鉄鉱 自然金	品位: Cu 4.15 % Ag 1.32 Oz/T Au 0.10 Oz/T 全埋蔵量 約 50 万トン
Madrigal 従業員数 880人	Arequipa県Caylloma 郡Madrigal地区 海拔4,000m Arequipa市の北西直 線距離 95 km 同市 より陸路約 200 km にて鉱山に到着	(層序) 現世火山岩類 Sillapaca 火山岩類 玄武岩 安山岩 Seneca 熔結凝灰岩 石英安山岩 流紋岩 Tacaza 火山岩類 安山岩 流紋岩  Sotillo 層 礫岩 層厚: 50-100m (上部第三系) Quellaveco 火山岩類 (下部第三系 - 上部白亜系) 上部 熔岩・集塊岩互層 300 m 下部 塊状安山岩 700 m ----- (傾斜不整合)----- Yura層 珪岩 粘板岩 層厚: 100 m (上部ジュラ系) (貫入岩類) 新期: 輝緑岩 中期: 石英安山岩 流紋岩 Tacaza 火山岩類中に貫入 古期: モンゾニ岩 閃緑玢岩 Quellaveco 火山岩類中に貫入	Cia. Minera del Madrigal経営 1983年筆頭株主が Homestake Mining Co. から St. Joe に 肩代わりした	主に Quellaveco 火山岩中に賦存する東西 方向の鉱脈群 一部 Yura層と貫入岩体中 にもあり 鉱脈の幅 1.5 - 4.9 m 8 つの鉱化帯中 Santa Rosa および Poscohuaico 帯が重要 鉱石鉱物: 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄鉄鉱 四 面銅鉱	品位: Cu 0.7 % Pb 2.0 % Zn 4.5 % Ag 1.7 Oz/T 全鉱量 98 万トン

第1表-3 ベルー南部の鉱床一覧表

鉱山名	位置・交通	地質一般	沿革	鉱床	品位・鉱量
Orcopampa 従業員数 600人 (推定)	Arequipa県Castilla 郡 海拔 3,800 m Arequipa市より陸路 または空路にて鉱山 到着	( 層 序 ) 現世河川堆積物 第四紀火山岩類 Andahua volcanics 第三紀火山岩類 Umachulco 凝灰岩 石英安山岩 ( 6.2 ± 0.2 ) × 10 <sup>6</sup> 年 鉱化期後 Tacaza 層群 Subacuoso 凝灰岩 ( 含石灰岩 頁岩 ) ( 18.3 ± 0.3 ) × 10 <sup>6</sup> 年 Manto 凝灰岩 熔結凝灰岩 ( 18.9 ± 0.4 ) × 10 <sup>6</sup> 年 Tudela火山角礫岩 平均厚さ 150 m Pisaca 凝灰岩 石英粗面安山岩 厚さ 250 - 400 m ( 19.1 ± 0.3 ) × 10 <sup>6</sup> 年 ----- ( 傾斜不整合 ) ----- 中生代堆積岩 Arcurquina層 含チャート石灰岩 白亜紀中期 - 晩期 Murco 層 赤色 - 暗紫色 砂岩 頁岩 白亜紀早期 Yura層 含頁岩砂岩と珪岩互層 白亜紀早期 - ジュラ紀晩期 ( 貫入岩類 ) Sarpane 複合岩体 石英安山岩 石英粗面安山岩 安山岩 Chachas 複合岩体 閃緑岩 トーナル岩 花崗閃緑岩 貫入時期 中新世晩期と推定 ( 地質構造 ) 南北性構造線 Andahua 峡谷に一致 NW & NE 断層 交差点 火成活動	植民地時代から銀を対象に採掘 1780年 - 1833年 銀 1万マル コス ( 2.3 トン ) 産出 1842年 出水事故により休山 1910年 Sindicato Minero de Orcopampa に鉱区権 1962年 Cia. de Minas Buena- ventura S.A. 探鉱 1967年 選鉱場建設 現在 400 トン/ 日	裂隙充填型鉱脈 母岩 Tacaza 層群 鉱化帯の面積 1 × 3 km 鉱脈の延長 NE方向 約 800 m 内部構造 綫状 角礫状 鉱石鉱物 四面銅鉱 ( 主成分 ) 方鉛鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱 車骨鉱 輝安銅銀鉱 黄鉄鉱 自然金を伴う 脈石鉱物 バラ輝石 重晶石 石英	品位 Ag 9.5 Oz/T Au 0.3 gr/T
San Juan de Lucas	Ayacucho県	( 層 序 ) 安山岩 ( 鉱化期後 ) ----- 不整合 ----- 白亜紀 - 第三紀の火山岩類から成る 第三紀の安山岩および石英安山岩分布 この中に安山岩の岩株貫入 プロピライト 化作用 絹雲母化作用 珪化作用が見られ る 鉱体付近の母岩の化学的特性 K <sub>2</sub> O SiO <sub>2</sub> 増加 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO MgO Na <sub>2</sub> O 減少	Cia. Minera San Juan de Lucas 経営 但し ベルー鉱業銀行所有 1984年 高品位精鉱 ( Ag 300 Oz/T Au 1 Oz/T ) 月産 200 トン計画	銀を主要対象にした鉱脈型鉱床 鉱石の品位が一定せず 変化が著しいため 採掘上問題あり 富鉱部が直ちに分散劣化 する傾向が見られる 上部 酸化帯 二次富化帯 輝銅鉱品出 下部 硫化帯 晩期 淡紅銀鉱 銀鉱物 玉髓 紫 水晶 早期 黄鉄鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱	品位 Ag 9.7 Oz/T Au 0.6 gr/T
San Rafael	Puno県Quenamari 地 域 海拔 5,000 m	オルドヴィス紀 - デボン紀の粘板岩と珪岩 を母岩とする	以前は銅を対象に採掘 Minsur S.A. 経営 錫鉱の尾鉱処理プラント完成	鉱脈型鉱床 鉱石鉱物 黄銅鉱 黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 錫 石 方鉛鉱	品位 Cu 1.2 % Sn 1.7 %