

ペルー南部の鉱床について (1)

竹田 英夫 (鉱床部)
Hideo TAKEDA

1. 前書き

1984年6月 約15年振りにペルーを訪問したが 余りにも変わり様の少ないペルーの景色に懐かしさよりも驚きに近い印象を受けた。今回はリマ-アレキパ-フリアカ-クスコの陸路を走ったが 15年前にはほぼ同じルートを逆に辿ったことがあり 道路は相変わらずの未舗装 (日本では全く考えられないことである) 高度4,000mの湖にはフラミンゴの群れ 澄みきった青空の下の高原には南米特有のリヤマやアルパカの放牧が見られ 以前に見た景色と寸分違わないため タイムトンネルをくぐり抜けて15年前に戻った様な錯覚に陥った。

唯一の違った現象としては ろばに乗ってのんびり往來していたインディオ達がポンチョをたなびかせて自転車を走らせていたことで 近代化のはしりがアンデス山中にも及んで来たかと微笑しくなった。

しかし 生活様式はかなり変化していることも事実であり インフレの昂進は想像を絶する有り様で ベラウンデ大統領の率いる政府は各地で瀕発する賃上げストにお手上げの状態にあり 戒厳令の一步手前の緊急事態 (Estado de Emergencia) として対応に苦慮していた。

確かにペルーの通貨は15年前に比べて100分の1以下に下落しており 10,000ソールと言われれば一瞬ギョッとすが 日本の1,000円にも相当しないと解れば なーんだと言う気分になる始末である。普通大学を卒業して10年位経った地質家のサラリーが何と300ドルを



写真1 アレキパ東方の Misti 火山 (通称アレキパ富士)

下回る有り様では ストライキも無理ではないと同情したくなるのは 私だけでは無いであろう。それにしても 税関吏までストに加わっているため JICA の寄贈器材が倉庫で保管されたままであり また“セグレ”の実験室のある大学では学生達によるロック・アウトで見学に行くことも出来ぬ状態には いかんともし難い腹立たしさを覚えたことも事実である。

話が横道にそれたが 今度ペルーに狩り出された目的は通称“セグレ”と呼ばれているプロジェクトの査察とバック・アップをするためであり このためプロジェクトの対象に挙げられているベレンゲラ鉱山の現地調査にも加わった。

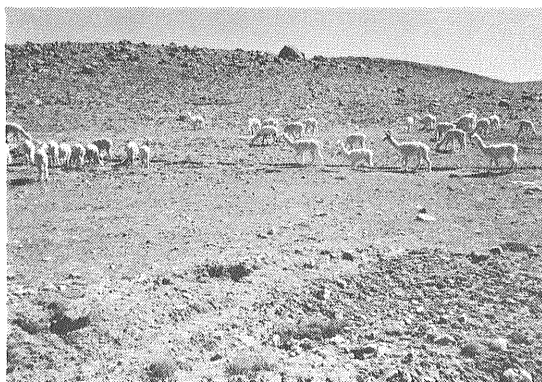
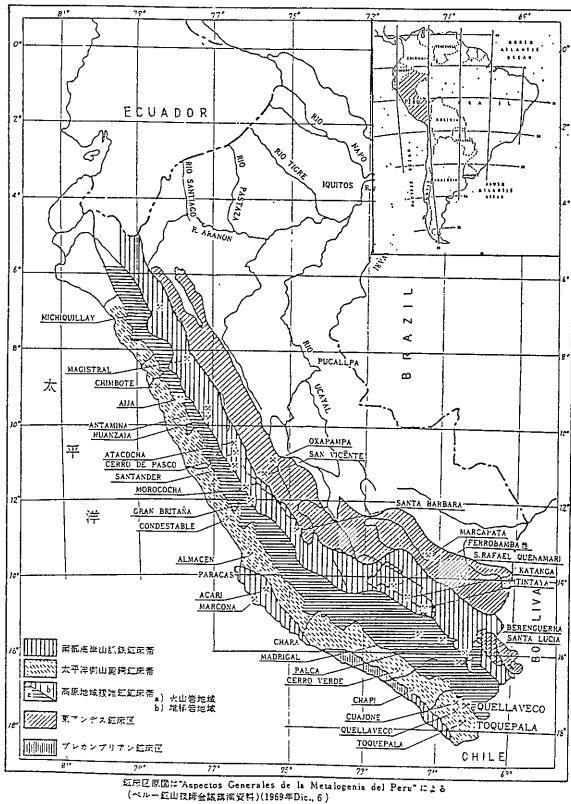


写真2 標高4,000m 付近のリヤマ・アルパカ放牧。



写真3 標高4,000m 付近の湖の中のフラミンゴ群。



第1図 ペルーの鉄床区と鉱山位置図。

いずれ“セグレ”については後で述べるとして 先ずペルーの鉄床区の概要から話を始めることにしよう。

2. ペルーの鉄床区

ペルーでは西から東にかけて——つまり太平洋岸から南米大陸の奥地に向かって

- 1) 沿岸地域南部の鉄鉱化帯
 - 2) 太平洋側斜面の銅鉱化帯
 - 3) 高原地帯の鉛・亜鉛・銅・銀鉱化帯
 - a 火山岩地帯
 - b 堆積岩地帯
 - 4) 東部山岳地帯の複雑鉄銅化帯
- に分けられている(第1図)。

1) 沿岸地域南部の鉄鉱化帯

この地帯は基盤岩類として先カンブリア紀または古生代前期に属するとされている片麻岩や結晶片岩等の変成岩および赤色花崗岩が分布し これらの上に一部古生代の堆積岩 三疊紀後期ないしジュラ紀の火山岩と堆積岩が載っており 上記の構成岩類は閃緑岩と花崗閃緑岩の

貫入を受けている。その後 さらにこれらを第三紀の海成層と陸成層が覆っている。

この鉄化帯の代表的な鉄山のひとつとしてマルコーナ(Marcona)鉄山が挙げられる。マルコーナ鉄山はペルー南部のイカ(Ica)県ナスカ(Nasca)市の南西約40km 海拔800m付近に位置し パラカス-チャラ(Paracas-Chara)鉄山地区に属する。

本鉄山は今世紀に入って発見された比較的沿革の新しい鉄山であり 1953年以降米国籍のマルコーナ鉄山会社(Marcona Mining Co.)により開発が始められたが ペルーの軍事政権により1975年に接收され イエロ・ペルー(HIERRO PERU)公社が設立されて操業が継続されている。

鉄床は主に古生代の石灰岩とドロマイトを交代した接触交代鉄床であり 鉄化帯は延長15-20km 幅5-8kmに及び 単位鉄体は東西方向に200-1,200m 幅数10-100mの規模を示すものが多いが 中には最大延長2,500mに達するものもある(第2図)。

鉄石は地表下30mまで酸化溶脱作用を受け 褐鉄鉱 赤鉄鉱の他 酸化銅鉄 ジャローサイト 石膏 硬石膏等を伴うが その下には初生の磁鉄鉱と黄鉄鉱が晶出し 石英 陽起石を伴っている。初生鉄の品位は Fe 60% P₂O₅ 0.04% S 0.15% SiO₂ 8-10% とされているが 実際には鉄の含有量がやや低く 硫黄が若干高くなるらしい。

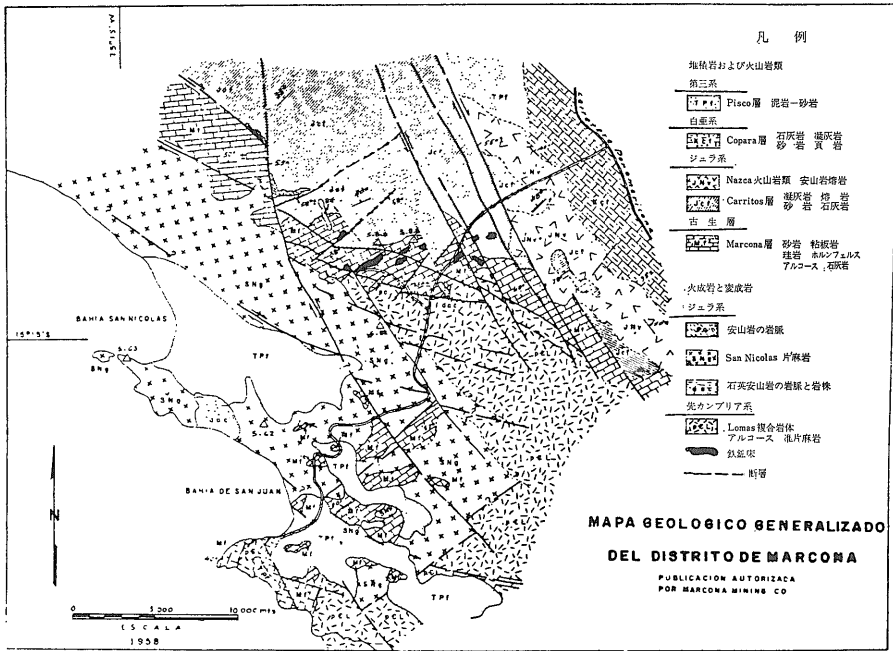
現在の粗鉄採掘量は日産約3万トン 埋蔵量は確定鉱量が約4億トン 推定鉱量が約5億トンと算定されている。

2) 太平洋側斜面の銅鉄化帯

西部山岳地帯(Cordillera Occidental)の太平洋に面した西斜面にはアンデス底盤(Andean Batholith)と呼ばれる一大貫入岩体が南緯8°から16°まで1,200kmにわたって連続して露出する。

これらの岩質は斑輝岩から花崗岩までであるが トーナライト 花崗閃緑岩 閃緑岩等が最も多い。この岩体の西側ではジュラ紀または白亜紀早期の火山岩ないし火山碎屑岩中に貫入しており 東側ではジュラ紀-白亜紀の碎屑岩と石灰質堆積岩および白亜紀晚期-第三紀早期の火山岩類を切っているが 一般にこれらに与える接触変成作用は弱い。この底盤中にモンゾニ岩 石英安山岩等の小規模の岩株や岩脈が分布しており 後で述べる様に ポーフイリー・カップーの鉄化作用と密接に関係するものが多い。

この地帯の銅鉄床は鉄脈 接触交代鉄床 ポーフイリー・カップー鉄床等があるが 鉄脈鉄床が最も多く そ



第2図
マルコーナ鉱山地域の地質図。

の規模は様々であり 接触交代鉱床は少ない。ポーフイーリー・カッパーの主要なものはこの地帯の南部に集中しており セロ・ベルデ (Cerro Verde) クアホーネ (Cuacone) トケパラ (Toquepala) ケジャベコ (Quellaveco) の世界でもトップ・クラスの4大鉱床が分布する。これらについては後で詳しく述べるので次に進むことにする。

3) 高原地帯の鉛・亜鉛・銅・銀・鉄・鉍地帯

この地帯も西部山岳地帯に属し 海拔4,000-4,500 mの高原 (Altiplano) を中心に 山岳地帯の高所およびアンデス中間帯 (Zona Interandina) を含んでいる。

この一部には古生層が分布するが 主要な構成メンバーとしては三疊紀晩期-ジュラ紀早期の海成石灰岩 白亜紀早期 (ネオコム階-アプト階) の碎屑岩類 白亜紀中期-晩期の石灰岩 泥灰岩 頁岩 白亜紀晩期-第三紀早期の火山岩類および第三紀晩期-第四紀の火山岩類が見られる。

山岳地帯の分水嶺を境にして西側に火山岩類 東側に堆積岩類が分布する傾向が認められるが 南緯16°より南では火山岩が東側にも進入して その幅は150-200kmに達し 堆積岩は火山岩に覆われて露出面積が減少する。また分水嶺より西側の高地 (海拔3,500-4,000m) では 白亜紀後期-第三紀早期の火山岩類と堆積岩類が酸性火成岩の貫入を受けているところが見られる。

西部山岳地帯のアンデス造山運動は

- (1) 白亜紀晩期の末期
- (2) 始新世末期-漸新世初期
- (3) 新生代後期の初期

の3つの時相に分けられ アンデス地帯の隆起運動は鮮新世-更新世に発生進行して現在の状態に到ったとされている。

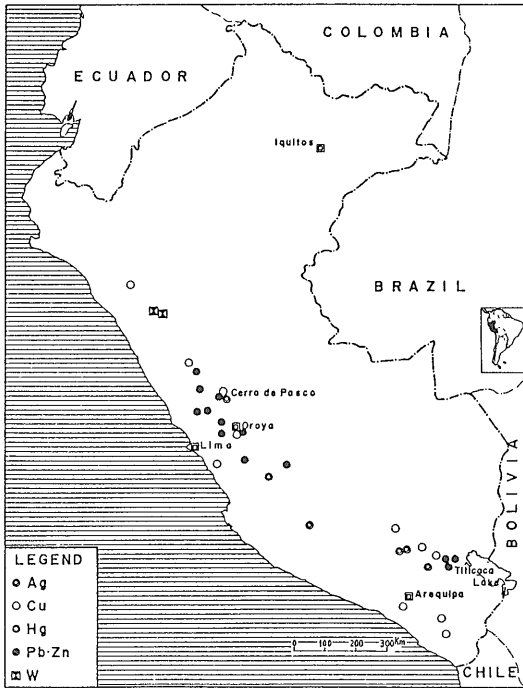
これらの中 巨大なアンデス底盤の形成は最初の時相の直後に開始され 西側から順次東側に進み 古第三紀の期間中続いたとされており 鉍化作用に関係したモンゾニ岩 石英斑岩 石英安山岩等の小規模の岩株は第三紀中期-晩期に活動したと推定されている。

この地帯には鉛 亜鉛 銀 銅 鉄の多金属鉱床が分布し タングステン モリブデン ヴァナジウム マンガン アンチモン 水銀等を少量伴う他 ビスマス カドミウム セレン テルルが微量含有されるところもある (第3図)。

先にも述べた様に 分水嶺を境にして西側に火山岩類 東側に堆積岩類が分布し 鉍化作用の性質もそれぞれ若干の差が見られるが これらは多分分割作用のレベルの違いを反映したものであり 両者は本来同一の鉱床区に属するものとされている。

a. 火山岩地帯

分水嶺の西側の火山岩地帯には鉍脈型鉱床が多く分布し 鉛 銀 亜鉛 銅を主とし 金とカドミウムを伴っている。一般に銀の含有率が高く 南部では銀と金



第3図 非鉄金属鉱山分布図。

が主要な役割を果し 少量の鉛と銅を随伴する様になる。大半の鉱脈は北西方向の断層に規制されており 走向および傾斜の変化する付近 または断層の交又点等で 富鉱部を形成する傾向が認められる。

鉱石鉱物の共生関係はかなり複雑であり 同一の鉱石中でも変化が著しく 主要鉱物としては 含銀方鉛鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱 黄鉄鉱が見られ 硫砒銅鉱 四面銅鉱 砒四面銅鉱 輝銀鉱 濃紅銀鉱 輝安銅銀鉱 淡紅銀鉱 自然金 車骨鉱 毛鉱 輝安鉱 鶏冠石 石黄 ばら輝石 重晶石 菱鉄鉱を少量伴っている。

また少数の鉱脈では 鏡鉄鉱 磁鉄鉱 硫砒鉄鉱 赤鉄鉱 磁硫鉄鉱 白鉄鉱 斑銅鉱 ファマチナイト ピアセアイト ストロンチアナイト等が晶出する。

一般に脈石鉱物としては石英を主とし 脈石として母岩の角礫が取り込まれ 基質を硫化鉱物が充填しているところもあり この他網状構造や累被構造を示す部分も見られる。

熱水変質作用も場所により異なるが 緑泥石化作用 粘土化作用 絹雲母化作用 珪化作用が発達する。

多くの鉱脈は玢岩 (安山岩 石英安山岩) の小さい貫入岩体の周囲に分布する傾向を示しており 鉱化作用と貫入岩体が密接に関係している様に見える。

地表付近の鉱床の酸化作用と二次富化作用はそれぞれの地域により異なり 直接初生硫化鉱が露出する鉱脈も

あるが 普通地表面下 30-50m は二次鉱物に置き換わっている。

酸化帯では 褐鉄鉱 孔雀石 藍銅鉱 胆礬 白鉛鉱 硫酸鉛鉱 アンチモン酸化鉱物 ジャローサイト 石膏 方解石が晶出している。

二次富化帯では 銀の濃集が著しく 自然銀 濃紅銀鉱 硫銀鉱 輝安銀鉱が見られ これらと共に銅 鉛 亜鉛の二次鉱物を伴っている。

この地帯では 便宜上次の6地区に鉱床が集中している。

- (1) ネグラ山系 (Cordillera Negra)
- (2) カンタ・ウェアロチリ (Canta Huarochiri)
- (3) カストロヴィレイナ (Castrovirreyna)
- (4) プキオ-カイジョーマ (Puquio-Cailloma)
- (5) コンドロマー-バルカ (Condroma-Palca)
- (6) サンタ・ルシア (Santa Lucia)

b. 堆積岩地帯

分水嶺の東側の高原および中間アンデス帯を含むこの地帯は 北はエクアドルの国境から南はボリビアの国境まで連続しており 堆積岩中に種々の鉱化作用が見られる。

鉱床の形態も様々であり 単純な鉱脈から鉱染 交代マント 網状 チムネー型等を示し 同一鉱床内でこれらが組み合わさった複雑な形状となるものも見られる。

この地帯の鉱床は鉛 亜鉛を主とし 銅 銀を伴うものが多い。ペルー中央部のパスコ (Pasco) フニン (Junin) ウァンカベリカ (Huancavelica) リマ (Lima) の4県にまたがる地域では ペルー全体の鉛 亜鉛の埋蔵量の80%を占めると言われている。

この他 ロンドン (Rondoni) コルケマルカ (Colquemarca) の接触交代性の大規模の銅を伴う鉄鉱床およびタングステン 水銀 アンチモン 金等の鉱床も分布する。また コルキヒリカ (Colquijilica) サヤプージョ (Sayapullo) の様にウランを伴う鉱化作用も知られている。

興味のある現象としては この地帯のパリアタンボ (Pariatambo) 層中の瀝青質アスファルトにパトロナイトが形成されており ザナジュウム鉱床の存在と共に 多くの鉱床に螢石と重晶石を伴っていることが報告されている。

また 日本の企業と縁の深いポーフィリー・カップー型のみチキジャイ (Michiquillay) 鉱床もこの地帯に存在する。

世界的にも有名であり この地帯では最大の鉱床であるセロ・デ・パスコ (Cerro de Pasco) について簡単に紹

介しておこう。

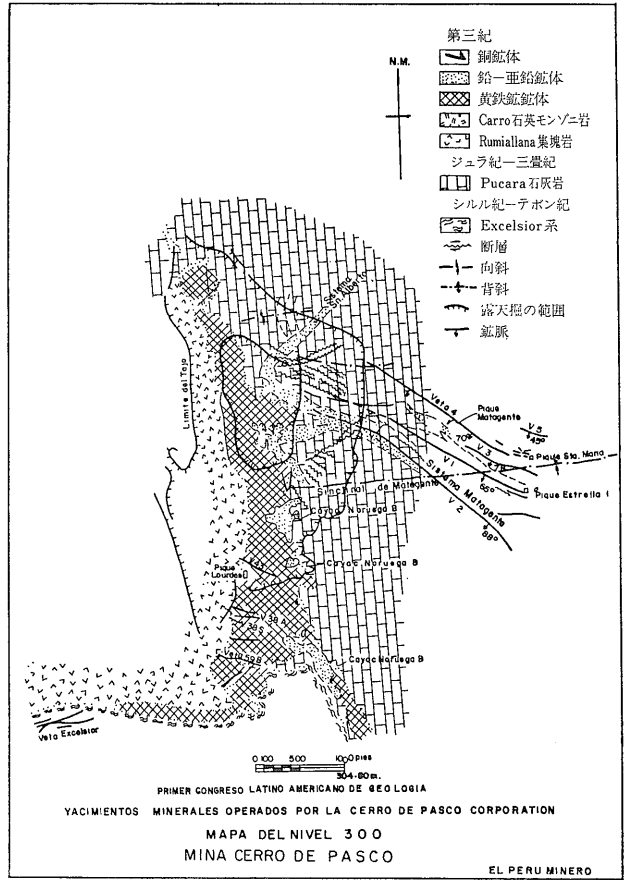
セロ・デ・パスコ鉱山はパスコ県セロ・デ・パスコ郡のチャウピマルカ (Chaupimarca) 地区とヤナカンチャ (Yanacancha) 地区の境界に在り (南緯 10°42' 西経 76°15') 海拔 4,330m に位置する。

本鉱床は植民地時代から銀を対象として採掘され セロ・デ・パスコ社 (Cerro de Pasco Corporation) の経営下にあったが 1973 年末国有化され コブリッサ (Cobrizsa) カサパルカ (Casapalca) サン・クリストバル (San Cristobal) モロコーチャ (Morococha) ヤウリコーチャ (Yauricocha) の鉱山およびオロヤ (Oroya) の精錬所を含めて セントロミン・ペルー (CENTROMIN PERU) の公社が設立された。

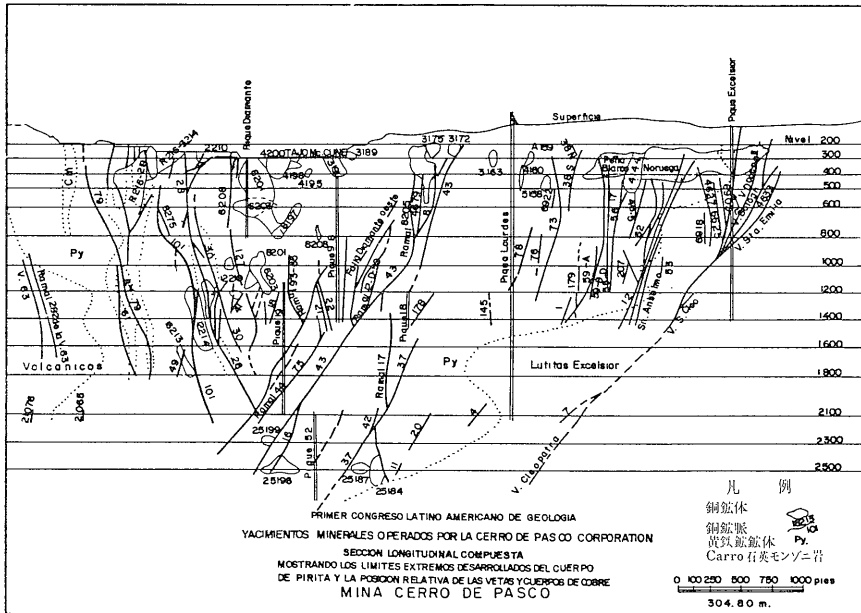
この地域は主にシルル紀から二疊紀にわたる古生層 三疊紀から白亜紀の中生層および第三紀層から成り 火成活動としては第三紀に属するルミアジャーナ (Rumiallana) 集塊岩が最も古く これらは南北に楕円状に延びるセロ・デ・パスコ火山岩頸 (2.7km×2.3km) 中に含まれる。この他 鉱化作用に関係したとされている不規則塊状または岩脈状の石英モンゾニ斑岩が分布する。

鉱床の形態および鉱石鉱物の共生関係は極めて複雑であり 珪質黄鉄鉱鉱体 鉛-亜鉛鉱体 銅-銀鉱体 銀鉱体等様々の鉱体が見られる (第 4, 5 図)。

巨大な珪質黄鉄鉱鉱体は延長 1,800m 幅 300m



第 4 図 セロ・デ・パスコ鉱山 (レベル 300) の地質鉱床図。



第 5 図
セロ・デ・パスコ鉱山鉱床
断面図。
(黄鉄鉱鉱体の末端境界と
銅鉱体および鉱脈との相対
的位置を図示)。

の半月形を示し 火山岩頸に対して接線方向に相当する南北性の断層中に胚胎する。この断層を境にして 西側にデボン紀の頁岩と粘板岩 東側にジュラ紀早期のプカラ (Pucara) 石灰岩が分布する。

この鉱体には低品位の銅 鉛 亜鉛 銀が含まれるがその大半は素硫化の珪質鉱から成り 銅1%以上に達する部分は全体の10%しか存在しない。

次に鉛-亜鉛鉱体は珪質黄鉄鉱鉱体の東側のプカラ石灰岩中に在り 同岩を交代した不規則な逆円錐形に近いチムネー状の形態を示している。

鉱石鉱物は閃亜鉛鉱 方鉛鉱の他 黄鉄鉱 磁硫鉄鉱 白鉄鉱 黄銅鉱 硫砒鉄鉱 黄錫鉱 錫石等から成り 鉱体の上部では亜鉛の品位は低下するが 鉛の品位は上昇する傾向が見られる。銀は品位にばらつきがあるが深部でも比較的一定した値を示している。

この他 マント型および鉱脈型の鉛-亜鉛鉱体も見られる。

銅-銀鉱体は火山岩頸の東端と南端に在り 断層に沿う鉱脈型と珪質黄鉄鉱鉱体中のチムネー型が在る。鉱脈型では主に硫砒銅鉱と黄鉄鉱から成り 少量の白鉄鉱 閃亜鉛鉱 砒四面銅鉱 四面銅鉱を伴い 銅鉱物としては黄銅鉱 斑銅鉱 ルゾナイト 輝銅鉱 銅藍が存在する。一方チムネー型は硫砒銅鉱 ルゾナイト 黄鉄鉱を主とし 最大長径180m 同短径60mに達するものもある。

銀鉱体は鉛・亜鉛鉱体の東西両端に在り 不規則な交代鉱床で 鉱石鉱物は黄鉄鉱 白鉄鉱 閃亜鉛鉱 輝銀鉱 鶏冠石 方鉛鉱 輝蒼鉛鉱 含銀四面銅鉱 エンプレクタイト 藍鉄鉱 アラマヨアイト 車骨鉱 自然銀等を産する。

これらの諸鉱体は上部で酸化帯を形成するが その深さは場所により異なり 数mから150mに達するところもあり 多種多様の複雑な鉱物の組み合わせが見られる。

本鉱山の粗鉱出鉱量は月産20万トン弱であり 鉛約4千トン 亜鉛1.25万トン 銀630トン(月産金属量)を生産している。

4) 東部山岳地帯の複雑鉱化帯

アンデスの東部山岳地帯は鉱化作用についての情報量が乏しく 未だそのポテンシャルティは良く知られていない地帯と言えよう。

構成岩類としては 先カンブリア紀に属すると見られる片麻岩 結晶片岩 ミグマタイト 角閃岩等の露出が局部的に見られ 山岳地帯の尖峰を形成するところもある。また 古生層はオルドビス系中部-上部の筆石類を含む海成頁岩の上に 傾斜不整合をもってデボン系下

部-中部の頁岩 砂岩 珪岩等が載っており 両者共デボン紀晩期の第一期ヘルシニア造山運動を受けている。

これらの後 上部古生層(ペンシルバニア系-下部二疊系)に属する陸成の砂岩 頁岩および海成の頁岩 泥灰岩 石灰岩が堆積し 二疊紀後期に第二期ヘルシニア造山運動により褶曲作用と火成活動を受けている。この造山運動に伴う隆起により モラッセ型の礫岩 砂岩から成るミトゥ層群 (Grupo Mitu) が形成される。

中生代に入って 三疊紀晩期-ジュラ紀早期にはプカラ石灰岩が堆積するが アンデス造山運動によりミトゥ層群と共に複雑な褶曲作用を受けている。

上記の構成岩類中には 花崗岩 花崗閃緑岩 閃緑岩等の多数の貫入岩体があるが それらの時代は大半不明であり 一部は明らかに古生代(または先カンブリア紀)に属するものがあるが その他の多くのものは中生代または第三紀に活動したと推測されている。

東部山岳地帯では中-小規模の裂隙充填型 鉱染型 交代型の鉱床群の他に 赤色層型の銅鉱床もあり 特に南部地域では金の濃集したモレーンと漂砂堆積物が知られている。

鉱種は多様であり 金 銅 鉛 亜鉛 錫 タングステン マンガン モリブデン クローム 白金 ニッケル コバルト ウラン等があるが 経済的に重要なのは金 銅 鉛 亜鉛 錫の鉱床であり これらについては新鉱床探査の余地が未だ十分に残されている。ニッケル コバルト クローム 白金の鉱床は塩基性または超塩基性岩に伴い いずれも小規模のものしか知られていないが 経済的価値をもつ鉱床の存在する可能性があると言われている。

鉱化期

以上 ベルーの鉱床区の概要を紹介したが これらの鉱化期についてはその大半を新生代に帰する説と 古生代以降の数回にわたるアンデス造山運動の各周期に生じたとする説とがある。

沿岸地域南部の鉄鉱床の生成時期はチリーとほぼ同じで ジュラ紀晩期の貫入岩に関係したとされている。

また 太平洋側斜面のポーフィリー・カッパーについては トケパラの鉱床付近の閃緑岩が 56×10^6 年の絶対年代を示し 鉱化作用に関係したと見られる石英安山岩質珪岩は閃緑岩を切って貫入することから 鉱化期は閃緑岩よりやや遅れたと推定されている。この鉱化期はセロ・デ・パスコの鉱床についても同様であり アンデス底盤の活動が白亜紀晩期または第三紀早期に相当する $(60-110) \times 10^6$ 年を示すことから 鉱化期はこれより遅れてはいるが 第三紀早期に属すると見られている。

高原地帯の鉱化作用は複雑な多金属の特性を示し 石英モンゾニ岩 石英斑岩 閃緑玢岩等の岩株や岩枝に関係したと推定され 一部の時代はポーフイリー・カッパーの鉱化期とほぼ同じであろうとされているが 分水嶺より東側では第三紀層を切るものもあり この地帯の北部と中央部では鉱化期が第三紀中期 - 晩期に相当するらしい。

東部山岳地帯の鉱化期については パタズ-ブルディブージュヨ (Pataz-Buldibuyo) 地域の金鉱床の様に 鉱化作用に関係した貫入岩が古生代に属するものもあるが 全般的にはボリビアの真正山岳地帯に類似しており 鉱化期は第三紀中期に相当するものが多いと推定されている。

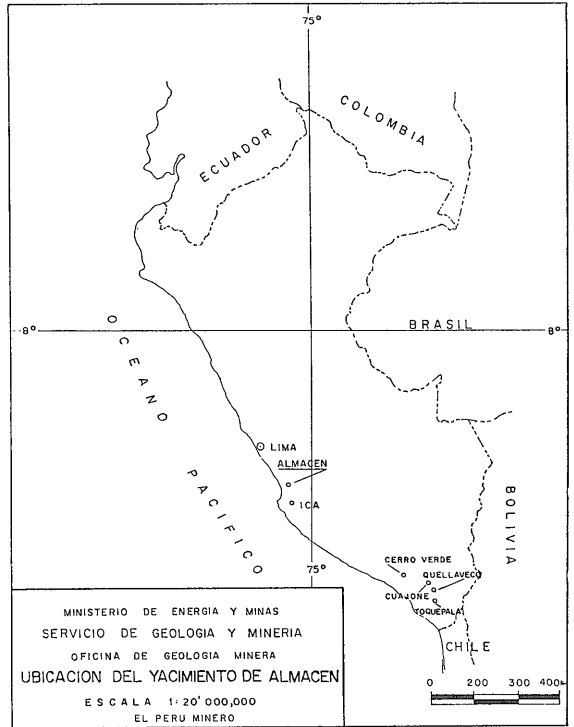
3. ペルー南部の鉱床

本文では ペルー南部地域としてアヤクチュョ (Aya-cucho) アプリーマック (Apurimac) アレキパ (Arequipa) クスコ (Cuzco) マドレ・デ・ディオス (Madre de Dios) プノ (Puno) モケグア (Moquegua) タクナ (Tacna) の各県を含んだ地域に限定しておくことにする。

ペルー南部の鉱床中最も経済的価値の高いものとしては 太平洋側斜面の銅鉱化帯に属するポーフイリー・カッパー鉱床群が挙げられる。この他 高原地帯の主として接触交代性の銅 - 鉛 - 亜鉛 - 銀鉱床も重要な役割を果たすものとして注目される。また後で詳しく述べる様に 銀と銅を伴う酸化マンガン鉱床も存在する。これらの鉱床群について それぞれの代表的なものを探り上げて説明しよう (第6図・第1表)。

1) セロ・ベルデ (Cerro Verde) 鉱山

本鉱山はアレキパ県アレキパ市の南西約 20 km



第6図 ペルー南部のポーフイリー・カッパー位置図。

海抜2,200m付近に位置し 同市より舗装道路約24kmにてセロ・ベルデ鉱山事務所に到着する。

19世紀後半より小規模の採掘が断続して行なわれたが 1916年世界の大手企業であるアナコンダ (Anaconda) 社が地質調査し その支社のアンデス探鉱会社 (Andes Exploration Co. of Maine) が鉱区権を取得して探鉱を行ったが 1919年探鉱活動を中止した。

1964年アナコンダ社の支社であるアンデス・デル・ペルー (Andes del Peru) が探鉱を再開し 131本 (延べ3,200m) の試錐を実施して ポテンシャルティーの評価を試みた。

1970年ペルーの鉱業法の改正により 鉱区権はペルー政府に返還され その後ミネロ・ペルー (MINERO PERU) の所有となり 現在までに酸化帯の開発がほぼ完了し 硫化帯の採掘に移行する段階にある。

地質一般

本鉱山付近の構成岩類は先カンブリア紀から第三紀にわたる変成岩 堆積岩 火山岩等から成る (第7図)。

また貫入岩類としては 第三紀に属するヤラバムバ (Yarabamba) 花崗閃緑岩 ティアバヤ (Tiabaya) 花崗閃緑岩 石英安山岩 - モンゾニ岩質斑岩の3回の活動が報告されている。両花崗閃緑岩の K-Ar 法による絶対年

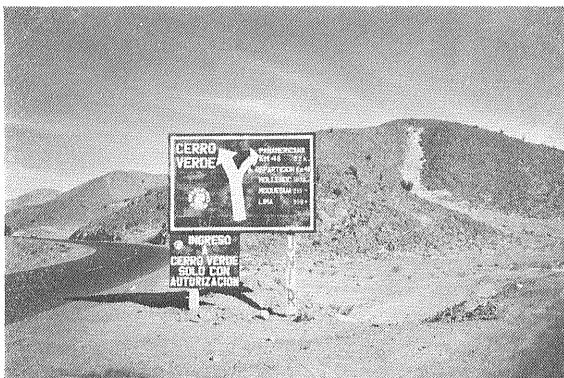
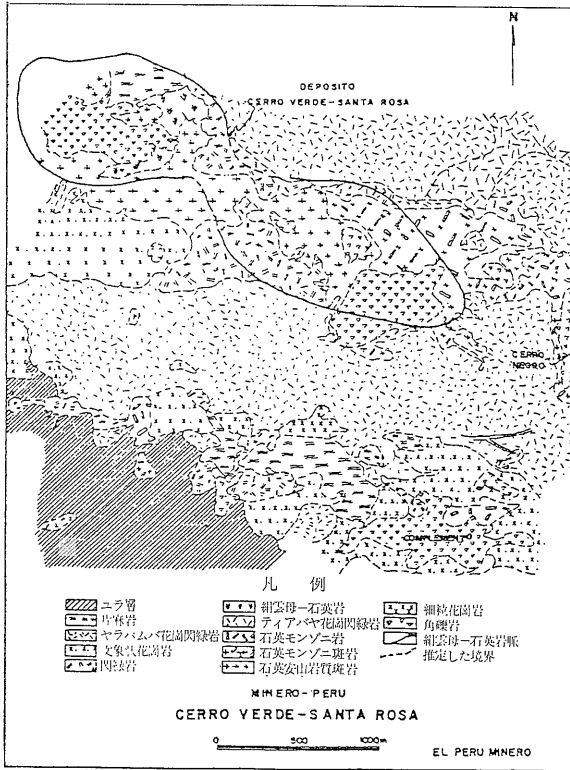


写真4 セロ・ベルデ鉱山の道標。

第1表 ペルー南部のポーフィリー・銅床一覧表

Cerro Verde	Toquepala	Cuajone	Quellaveco
<p>位置：西径 71° 37' 南緯 16° 32'</p> <p>Arequipa 県 Arequipa 地域</p> <p>沿革：Andes Exploration Co. of Maine (ANACONDA 系)</p> <p>1916 - 19年 地質調査およびボーリング (9,855 m)</p> <p>Andes del Peru (ANACONDA 系)</p> <p>1964 - 69年 探鉱ボーリング (32,000 m)</p> <p>1970年 鉱区権ペルー政府に返還</p> <p>1972年 MINERO PERU に鉱区権付与</p> <p>1977年 操業開始 銅カソード年間3.3万トン生産</p> <p>1984年 酸化鉱採掘終了 第2期プロジェクト(硫化鉱採掘)に移行中</p> <p>地質： (層序) 河川および風成堆積物(現世) Toquepala 火山岩類(白亜紀晚期 - 第三紀早期) 流紋岩 粗面岩 安山岩の熔岩 火砕岩 Unconform. Yura層 (ジュラ紀晚期 - 白亜紀早期) 炭質頁岩 珪岩と石灰岩を伴う Unconform. Socosani層 (ジュラ紀中期 - 晚期) 石灰岩 頁岩 砂岩 互層</p> <p>Chocolate 火山岩類 (ジュラ紀早期) 玄武岩質 安山岩質 熔岩 凝灰岩 Unconform.</p> <p>Characani 層 (先カンブリア紀) 片麻岩 (貫入岩) 角閃岩 石英安山岩質 - モンゾニ岩質斑岩 -- 鉱化作用 Tiabaya 花崗閃緑岩 (56 ± 2) × 10⁶ 年 Yarabamba 花崗閃緑岩 (58 ± 2) × 10⁶ 年</p> <p>鉱床： 鉱化面積 3 km × 1 km 鉱化帯 溶解帯 (厚さ 0 - 300 m) jarosite & limonite 酸化帯 (厚さ variable) brochantite, malachite, chrysocolla, cuprite & tenorite 二次富化帯 (厚さ 0 - 45 m) chalcocite, digenite, covellite & bornite 初生硫化帯 pyrite, chalcocopyrite, molybdenite, magnetite, sphalerite, pyrrhotite, galena & enargite</p> <p>変質帯 プロピライト帯 Py : Cp = 6 : 1 石英 - 絹雲母帯 Py : Cp = 1 : 1 カリ変質帯 Py : Cp = 1 : 1 - 1 : 2 埋蔵鉱量 8.7 億トン 平均品位 Cu 0.68 %</p>	<p>位置：西径 70° 38' 南緯 17° 14'</p> <p>Tacuna 県 Ilabaya 地域</p> <p>沿革：Southern Peru Copper Corp (ASARCO系)</p> <p>1956年 露天掘開始</p> <p>1959年 選鉱場完成 30,000トン/日 Ilo 銅精錬所 12,000トン/月</p> <p>地質： (層序) Alta シリーズ (熔結凝灰岩) 1,000 m Unconform. Toquepala シリーズ (粗粒玄武岩 - 流紋岩) 450 m Unconform. (白亜紀晚期) Quellaveco 石英斑岩 (流紋岩斑岩) 150 m (貫入岩) 斑状石英安山岩 ----- 鉱化作用 閃緑岩 (56 ± 2) × 10⁶ 年 アンデス底盤</p> <p>鉱床： 構造 劈断帯 幅 1 km (Micalaco断層) 鉱化作用 鉱石鉱物 malachite, chrysocolla 酸化帯 chalcocite (厚さ150m) 一次富化帯 pyrite, chalcocopyrite, bornite, molybdenite, sphalerite 硫化帯 埋蔵鉱量 4 億トン 平均品位 Cu 1 % (+)</p>	<p>位置：西径 70° 45' 南緯 17° 02'</p> <p>Moquegua 県 Torata 地域</p> <p>沿革：Southern Peru Copper Corp (ASARCO系)</p> <p>1965 - 69年 feasibility study</p> <p>1970年 建設作業に着手 (総経費 5.5億ドル)</p> <p>1974年 採掘開始 40,000トン/日</p> <p>地質： (層序) Chuntacala層 (熔岩 凝灰岩) Unconform. (鮮新世 - 更新世) Huaylillas層 (集塊岩 凝灰岩 斑岩) (白亜紀晚期) Unconform. Toquepala 粗粒玄武岩 (安山岩) 230 m Quellaveco 石英斑岩 (流紋岩質斑岩) 255 m Cuajone 安山岩 240 m 玄武岩 (白亜紀晚期) (貫入岩) 安山岩 石英ライト斑岩 ----- 鉱化作用 石英モンゾニ岩 アンデス底盤</p> <p>鉱床： 鉱化面積 1.2 km × 0.9 km (漏斗状) 鉱化帯 溶解帯 100 m 酸化帯 15 m 一次富化帯 20 m 初生硫化帯 鉱石鉱物 pyrite, chalcocopyrite, bornite, molybdenite, enargite, galena, sphalerite</p> <p>変質帯 粘土化帯 石英 - 絹雲母帯 Py : Cp = 1 : 1 - 2 : 1 埋蔵鉱量 4.7 億トン 平均品位 Cu 1 %</p>	<p>位置：西径 70° 39' 南緯 17° 06'</p> <p>Moquegua 県 Torata 地域</p> <p>沿革：Northern Peru Mining & Smelting Co. 1947 - 52年 探査 ボーリング (15,649m)</p> <p>1970年 鉱区権ペルー政府に返還</p> <p>1972年 MINERO PERU に鉱区権付与</p> <p>MINERO PERU 1972 - 73年 I.P.およびボーリング (15,331m)</p> <p>地質： (層序) Huaylillas 層 (熔結凝灰岩) Quellaveco 角閃岩 (第三紀晚期) Unconform. Alta シリーズ (安山岩 流紋岩) 下部層 (流紋岩)</p> <p>鉱床： 構造 角閃岩 ----- 鉱化作用 鉱化帯 溶解帯 80 m 酸化帯 40 - 50 m 一次富化帯 50 - 60 m (鉱量 2,500万トン) 初生硫化帯 鉱石鉱物 pyrite, chalcocopyrite, bornite, molybdenite, pyrrhotite, cubanite, sphalerite</p> <p>変質帯 プロピライト帯 石英 - 絹雲母帯 400m × 1,100m (鉱化面積の 60%) 平均品位 Cu 0.35 - 1.00 % Cp : Py = 1 : 1 - 1 : 3 (鉱化面積の 10%) 平均品位 Cu 0.50 - 1.20 % Mo 0.015 - 0.04 % Cp : Py = 1 : 2 - 1 : 3 埋蔵鉱量 3.85 億トン 平均品位 Cu 0.85 %</p>



第7図 セロ・ベルデ鉱山付近地質図。

代は前者が $(58 \pm 2) \times 10^6$ 年 後者が $(56 \pm 2) \times 10^6$ 年を示し晩新世末期 - 始新世初期に相当することが判明している。

鉱化作用に密接に関係する石英安山岩 - モンゾニ岩質斑岩は両花崗閃緑岩の活動よりやや遅れている。この他 火成活動に関係したと見られる角礫岩も分布する。



写真5 セロ・ベルデ鉱山事務所の前庭よりアレキープ富士を望む。

鉱床

セロ・ベルデ鉱山には セロ・ベルデおよびサンタ・ロサの2大鉱体が接近して分布しており 両者共にポーフリー・銅の特性を備えている。初生硫化鉱の分布を基準にして見た場合 長軸方向の延長約3km 幅は平均1km であり 北西 - 東南に延びた細長い瓢箪状を呈し 鉱化帯は深部に向かい 1,000m 連続している。

鉱化作用は石英安山岩 - モンゾニ岩質斑岩に関係したとされており 地表から下部に向かって溶脱帯 酸化帯 二次富化帯 初生硫化帯に分帯される(第8図)。

溶脱帯：硫化鉱物が酸化溶脱され 褐鉄鉱およびジャローサイトが形成されるが 鉱業的には価値の無い不毛帯である。セロ・ベルデ鉱体では溶脱帯の厚さは0m から300m まで変化するが サンタ・ロサ鉱体の溶脱帯の底面は起伏に乏しく 地表から60-70m の厚さを示し ほぼ均質に酸化溶脱作用が進んだことを示している。

酸化帯：不毛の溶脱帯の下に 銅の酸化鉱物を主とする酸化帯が発達しており プロシアン銅鉱および銅ピッチの他 少量のアントレライト 珪孔雀石 孔雀石 黒銅鉱 赤銅鉱が伴われ 二酸化マンガン鉱も認められる。

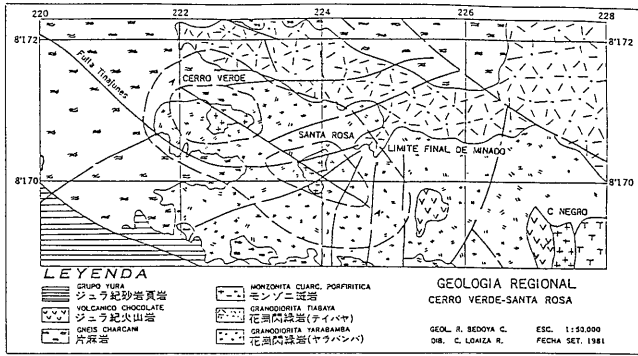
セロ・ベルデ鉱体では酸化帯が発達して厚さの変化も著しいが サンタ・ロサ鉱体では顕著な酸化帯は見られず 厚さも10m程度に過ぎず 分布範囲も数10平方mに留まっている。

二次富化帯：酸化帯の下に 主として天水の作用により生じた二次富化帯が発達するが 二次硫化鉱物として輝銅鉱の他 少量のダイジェナイト 斑銅鉱および銅藍を伴っている。興味のある事実としてサンタ・ロサでは酸化帯が発達しない代わりに 二次富化帯の厚さは45mに及び 下部の初生硫化帯との境界も明瞭である。

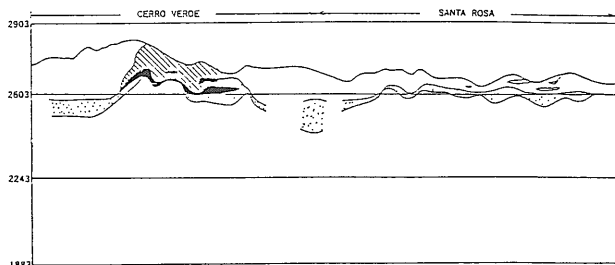
一方セロ・ベルデでは二次富化帯に乏しく 初生硫化



写真6 セロ・ベルデ鉱体の露天堀。(最下部の付近は初生硫化鉱帯に移化)



(平面図)



(断面図)

第8図 セロ・ベルデ鉱山周辺の地質図および断面図。

帯との境界も漸移的で余り明らかではない。

初生硫化帯：初生の硫化鉱物から成り 黄鉄鉱 黄銅鉱 輝水鉛鉱 磁鉄鉱が晶出し 微量の閃亜鉛鉱 方鉛鉱 磁硫鉄鉱 硫砒銅鉱を伴っている。またサンタ・ロサ鉱体の南部では鉄マンガン重石が濃集するところも見られる。この帯の鉱物組成はセロ・ベルデおよびサ

ンタ・ロサ両鉱体ともほぼ同じ性質を示しペルー南部の他のポーフィリー・銅パターとも共通性が見られる(顕微鏡写真1,2)。

変質作用

本鉱床の変質帯はプロピライト帯 絹雲母-石英帯 カリ変質帯の3帯に分けられているが一部に粘土化帯を伴う。これらの変質帯は同心円状に配列して 鉱化作用の性質とも密接に対応する(第9図)。

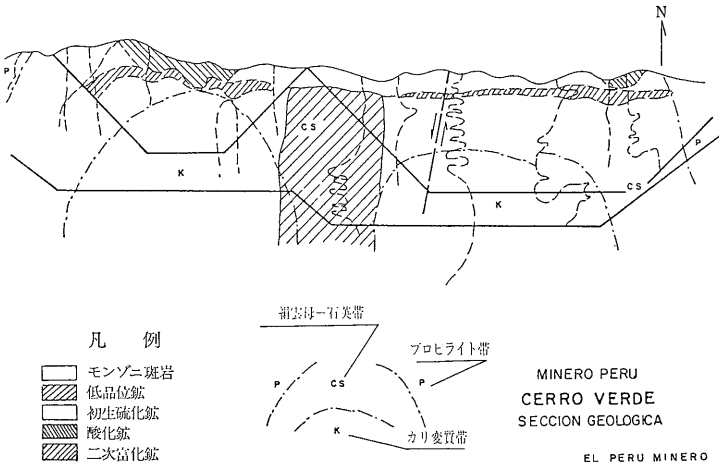
プロピライト帯：変質帯の最も外側に分布し鉄苦土鉱物は緑泥石や緑簾石に変化するが 変質作用は余り著しく無い。プロピライト化作用はヤラバンバ花崗閃緑岩中で特に顕著に認められる。

絹雲母-石英帯：プロピライト帯とカリ変質帯の中間にあり 構成鉱物は絹雲母と石英を主とする。一般に変質作用により原岩の組織が失われている。チャラカニ片麻岩 ヤラバンバ花崗閃緑岩および石英安山岩-モンゾニ岩質斑岩の一部がこの変質帯に属する。

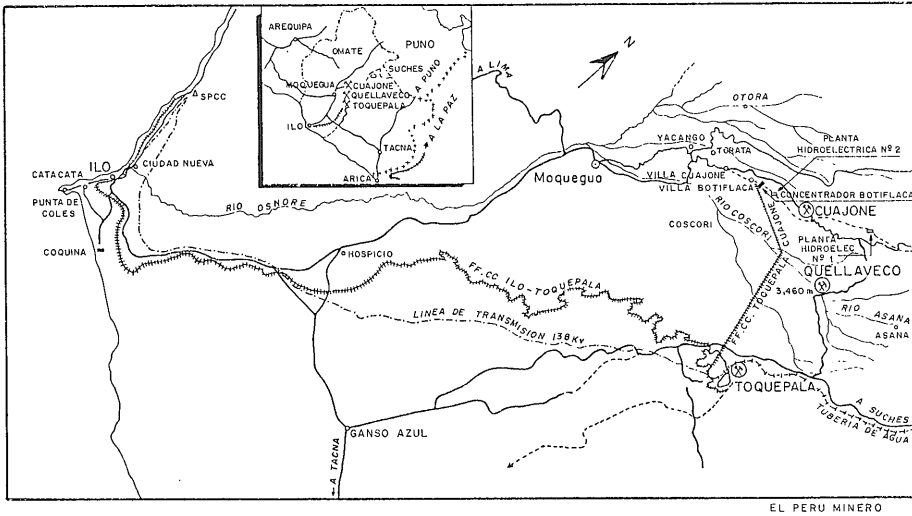
カリ変質帯：鉱化作用の中心部に位置し カリ長石と黒雲母が晶出する。一般にカリ変質帯は地表では露出が少ないため 試錐により地下の分布状況が判明することが多い。セロ・ベルデ鉱体では深度50mでカリ変質帯が確認されたがサンタ・ロサ鉱体では深度250mでその存在が判明している。

鉱化作用と変質作用との関係

プロピライト帯と絹雲母-石英帯の境界付近を中心として黄鉄鉱を主とする鉱化作用が幅300mにわたり見ら



第9図 セロ・ベルデ鉱山鉱床断面図。



第10図
トケパラ クアホーネ
ケジャベコ 鉱山位置
図。

れるが この中黄鉄鉱と黄銅鉱の比率が 6 : 1 であり
岩石中の硫化鉱物の占める割合はサンタ・ロサでは 7 %
セロ・ベルデでは 6 %である。この外側では硫化鉱物
の割合は低下すると共に 黄銅鉱に対する黄鉄鉱の比率
が増大する傾向が顕著となる。

次に この内側の絹雲母-石英帯からカリ変質帯の境
界までの黄鉄鉱と黄銅鉱の比率は 1 : 1 または黄銅鉱の
の方が多くなり銅の品位は上昇するが 硫化鉱物の全岩に
対する量比は 3-4 %となる。

さらに カリ変質帯の内側では黄鉄鉱と黄銅鉱の比率
が 1 : 2 または 1 : 3 となり 後者の方が前者よりも多
くなるが 全岩に対する硫化鉱物の量比はさらに 2-3
%に低下する。カリ変質帯の中心部では 硫化鉱物の
量比は著しく減少し 銅品位も劣る。

輝水鉛鉱と磁鉄鉱の分布状態は余り明かではないが
鉱化帯の中心部で多く晶出する傾向が指摘されている。

埋蔵鉱量

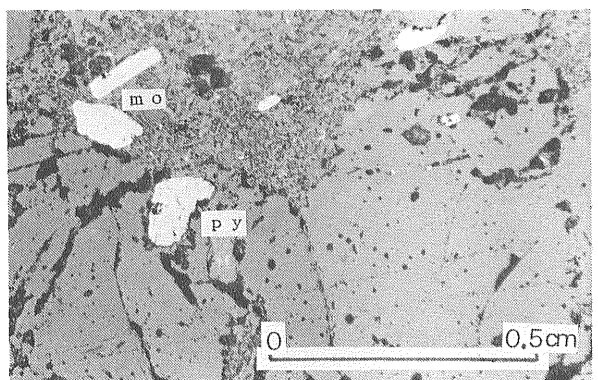
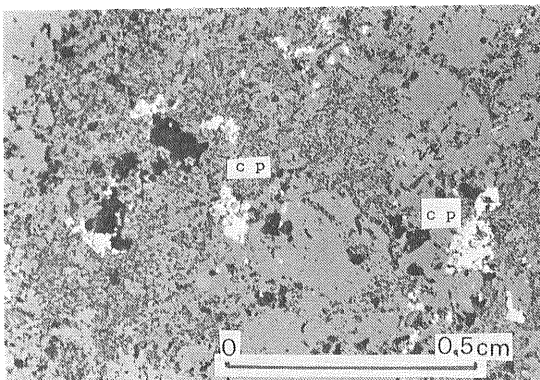
	埋蔵鉱量 (千トン)	平均銅品位 (%)
酸化鉱	61,366	1.01
硫化鉱	812,298	0.66
	873,664	0.68

(Cut off 品位 酸化鉱 0.20% 硫化鉱 0.35%)

2) トケパラ (Toquepala) 鉱山

本鉱山はタクナ県イラバヤ (Ilabaya) 地域のモケグア
県との境界付近に位置する (第10図)。

19世紀には既にチリーの山師達により探鉱されていた
が 1937年セロ・デ・パスコ社により調査が開始され
約 6年間にわたり試錐および坑道探鉱が実施された。
その後 アサルコ系の北ペルー-鉱山精錬会社 (Northern
Peru Mining & Smelting Co.) が1945年から1949年にか



顕微鏡写真1 セロ・ベルデ鉱山の初生硫化鉱物。
cp: 黄銅鉱

顕微鏡写真2 同左 (但し 輝水鉛鉱を含む。
py: 黄鉄鉱 mo: 輝水鉛鉱)

けて調査し 試錐を含めた探査はケジャベコにまで及んだ。これら両社の鉱区権の争いは裁判所に提訴され結局アサルコ社の勝訴となり 南ペルー銅山会社 (Southern Peru Copper Corporation) の国際合資会社が造られた。現在のシェアはアサルコ社 (ASARCO: American Smelting & Refining Co.) が52.3% マルモン社 (Marmon) が20.7% フェルプス・ドッジ社 (Phelps Dodge) が16.3% ニューモント鉱山会社 (New Mont Mining Co.) が10.7% となっており 後で述べるクァホーネ鉱山も同じ会社の経営下にある。

1956年露天掘の準備のための剝土作業が開始され 1959年3万トン/日の浮遊選鉱場が完成し またイロ (Ilo) の北3kmのところの1万2千トン/月の精錬所を建設した。

地質一般

この地域は最下底に厚さ150mのケジャベコ石英斑岩とよばれる流紋岩質斑岩があり これを不整合に覆ってトケパラ・シリーズと呼ばれる厚さ450mの上部白亜系が発達する。さらに この上にアルタ・シリーズと呼ばれる厚さ1,000mの熔結凝灰岩が不整合に載り 南西に5-10°の傾斜を示している。これらの火山岩を主とするメンバーにアンデス底盤の閃緑岩が貫入しているが

殆ど接触變成作用は認められない。この底盤を石英安山岩質斑岩が切っており これが鉱化作用と密接に関係すると見られている。また鉱化作用後に粗面安山岩が活動している。

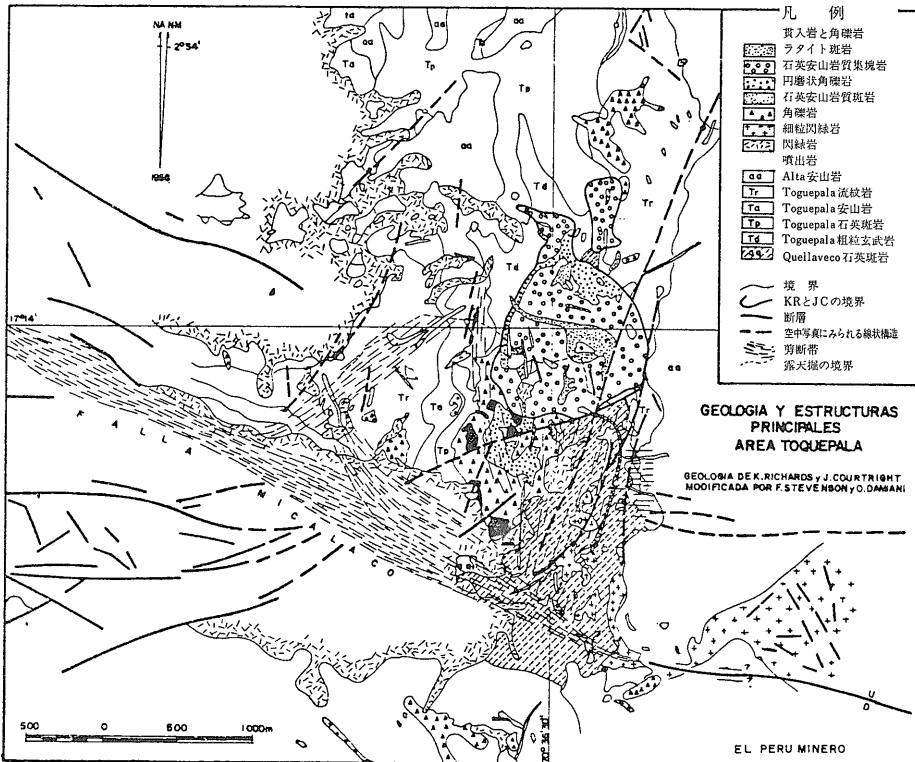
トケパラ地域には 北西方向に走る幅1kmのミカラコ (Micalaco) 断層と呼ばれる剪断帯があり この断層の南側はアルタ・シリーズ 北側はケジャベコ石英斑岩から成り 断層帯は北東に向かって階段状に上昇している。

ミカラコ断層は鉱化作用の胚胎の場を提供する重要な役割を果たしている (第11図)。

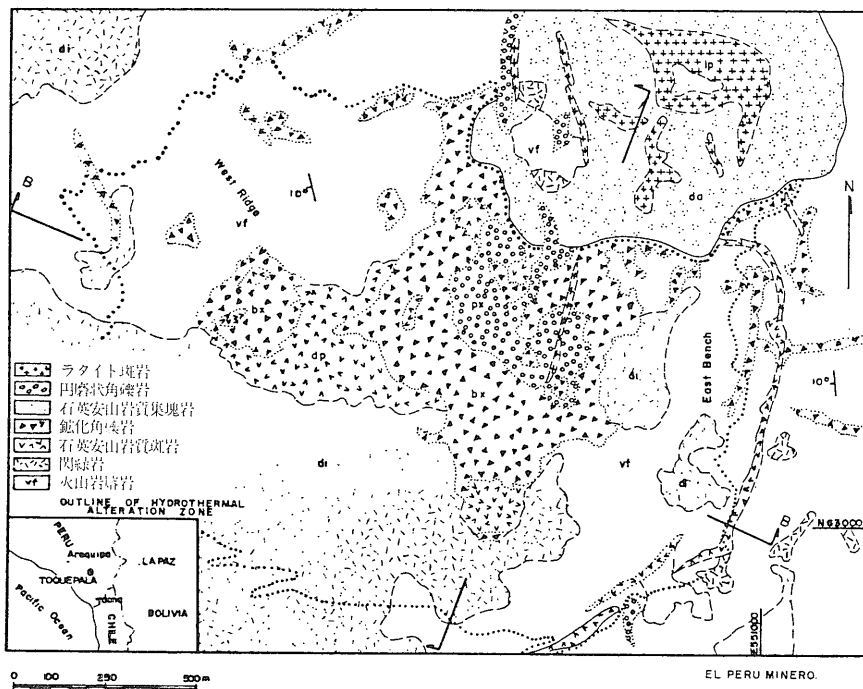
鉱床

鉱化帯は長径2kmの不規則な楕円形を示し 角礫から成るチムネーに規制されている。角礫には チムネー角礫 破碎角礫 円磨角礫等種々のものがあるが チムネー角礫が鉱化作用に最も関係が深い。これはダイアトリームの一種と考えられており 一度押し上げられた後 落ち込みを生じて角礫が形成され 基質は石英電気石 硫化鉱物により充填されている (第12図)。

初生硫化鉱物は主に黄鉄鉱 黄銅鉱 斑銅鉱 輝水鉛鉱 閃亜鉛鉱から成るが 酸化帯と二次富化帯を伴い 特に二次富化帯は輝銅鉱に富み 鉱床中央部で肥大する



第11図
トケパラ鉱山付近の地質構造図。



傾向が見られる。

トケパラ鉱山の埋蔵鉱量は約4億トン、銅の粗鉱品位は1%(+)と報告されている。

3) クアホーネ (Cuaajone) 鉱山

トケパラ鉱山の北西直線にして約28km、モケグア県のトラータ (Torata) 地域にあり (西経 70°45' 南緯 17°02')。トケパラ-クアホーネ間には鉱山鉄道が敷設されている。

本鉱山は1942年探鉱が開始されたが、1965年から69年まで南ペルー銅山会社により本格的な調査が実施されて feasibility study が行われ、1970年建設事業が始まり

総経費5億5千万ドルをかけて完成、1976年から4万トン/日の生産が見られる様になった。

地質一般

クアホーネ鉱山地域では、最下底に西に傾斜する上部白亜系の玄武岩、その上に厚さ240mのクアホーネ安山岩質熔岩、さらにその上に通称ケジャベコ石英斑岩の流紋岩質斑岩 (層厚255m)、これらを覆って厚さ230mのトケパラ粗粒玄武岩と呼ばれる熔岩層が分布する。

これらの火山岩類は互いに不整合の関係を示し、鉱化期以前に形成されたものである。

鉱化期後に堆積したメンバーとしては、粗面岩質の集



写真7 セロ・ベルデ鉱山の酸化銅の集積場。

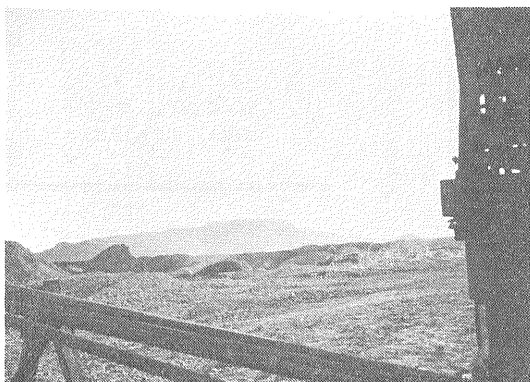
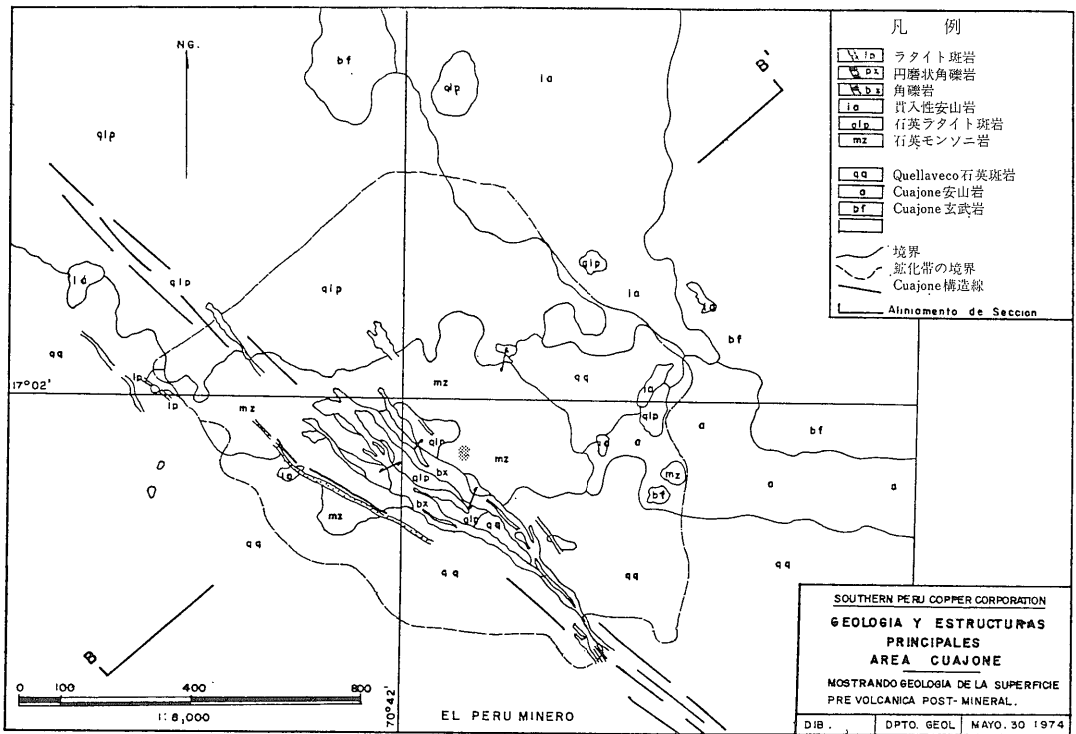
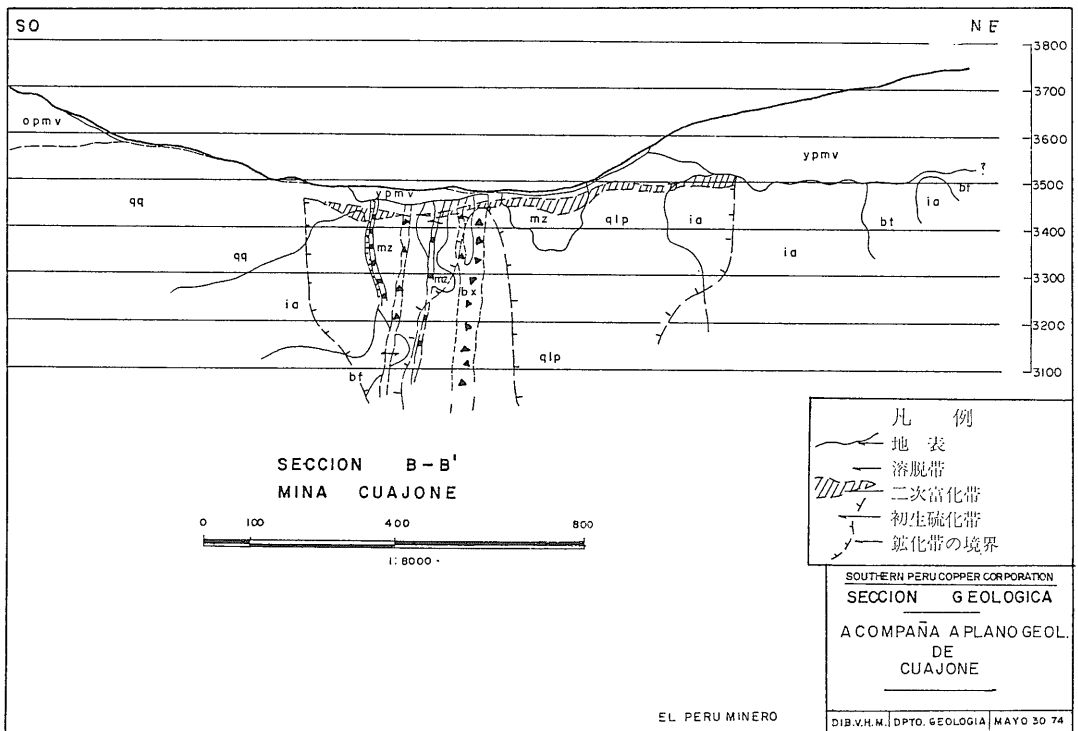


写真8 セロ・ベルデ鉱山の酸化銅のリーチングのため稀硫酸を散布。



第13図 クアホーネ鉱山付近の地質構造図。



第14図 クアホーネ鉱山付近の地質断面図。
(第13図にB-B' の位置を示す)

塊岩 凝灰岩 礫岩等から成るウエイリージャス (Huaylillas) 層の上に 鮮新世 - 更新世に属する凝灰岩と熔岩から成るチュンタカラ (Chuntacala) 層が載っている。

貫入岩類としては 本鉱床の西約3km のところにアンデス底盤に属する閃緑岩および花崗閃緑岩が分布しており 貫入時期は白亜紀晩期 - 第三紀早期に相当する。

古いものから時代順に 石英モンゾニ岩 石英ラタイト斑岩 安山岩の活動が見られ 石英ラタイト斑岩は北西方向に800m 南東方向に600mの面積を占め 鉱化作用の中心部に位置する。この地域には角礫帯が分布するが 直接鉱化作用とは関係が見られない。

鉱化作用に伴う変質作用は鉱化期前の構成岩類と貫入岩類に顕著であり 鉱体の中心部では絹雲母 - 石英帯がその大半を占めるが 一部にカリ変質帯も認められ これらの外側には粘土化帯とプロピライト帯がとり巻きその直径は4km に及んでいる (第13 14図)。

鉱床

鉱化作用は複合貫入岩体中にあり 石英ラタイト斑岩中で最も著しく 可採面積は $1.2 \times 0.9 \text{ km}^2$ で 深部で濾斗状を呈する。クァホーネ鉱山では 角礫帯と鉱化作用とは直接の関係が認められない。

地表から約100m は溶脱帯から成り 多量の赤鉄鉱の他 針鉄鉱 鱗緞石 ジャローサイト等の構成鉱物が見られる。この赤鉄鉱の晶出はペルー南部のポーフィリー・カッパーの重要な鉱徴の一つであり 探鉱の目安になるものである。

溶脱帯の下には 厚さ15mの酸化帯が発達しており 孔雀石 珪孔雀石 プロシャン銅鉱 藍銅鉱 赤銅鉱 自然銅が晶出し 針鉄鉱 石英 明礬石を伴っている。

その下部の二次富化帯は輝銅鉱 斑銅鉱 銅藍を主とし 平均した厚さは20mであるが 上記の3帯の発達状

況は現在の地形と関係している模様である。

初生硫化帯は主に黄鉄鉱 黄銅鉱から成り 少量の斑銅鉱 輝水鉛鉱 硫砒銅鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱を伴う。

一般に鉱染状鉱が多く 黄鉄鉱と黄銅鉱の比率は鉱体の中心部で1:1から2:1 周縁部では15:1となっており また硫化鉱物の含有率は全岩の4-9%である。

黄銅鉱は鉱染した産状を示すが 輝水鉛鉱は石英の細脈や晶洞に見られることが多い。

クァホーネ鉱山の全埋蔵鉱量は4億7千万トン この中初生硫化鉱の占める割合は84% 酸化鉱 (銅品位1.3%) が約2,400万トンと算定されている。なお全体の平均品位は Cu 1% である。

4) ケジャベコ (Quellaveco) 鉱山

本鉱山はクァホーネ鉱山と同じくモケグア県トラータ地域にあり トケバラ鉱山から北方直線にして16km 道路では47km で到着する。

また 海拔3,450-3,750m に位置し ペルー全体の鉱山の高度から見れば 余り高い方では無いにしても かなりの高度にあると言えよう。

1939年セロ・デ・パスコ社によりオプション探鉱が行われ 22本の試錐が実施されたが その結果 1941年オプション契約は破棄された。1947年から52年まで北ペルー鉱山精錬会社により再調査が実施され 試錐も総延長15,649mに及んだが 1970年予定された探査計画が完遂出来なかったため 鉱区権をペルー政府に返還せざるを得なかった。その後 1972年ミネロ・ペルーに鉱区権が移り 同社は延長15,331mの試錐と共に I・P も実施したが 現在は未開発の状態にある。

地質一般

ケジャベコ鉱山付近はアルタ・シリーズに属する火山

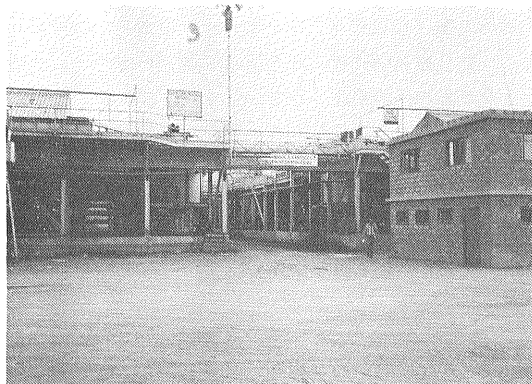


写真9 セロ・ベルデ鉱山の電解工場。

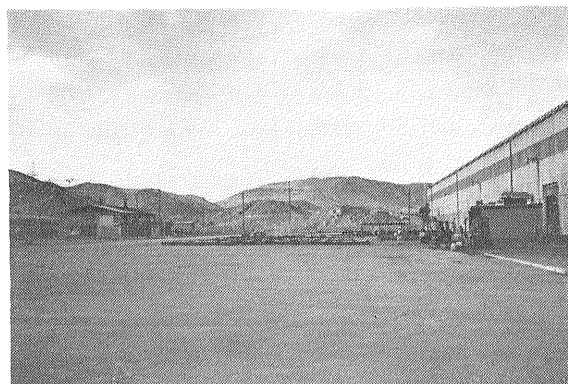
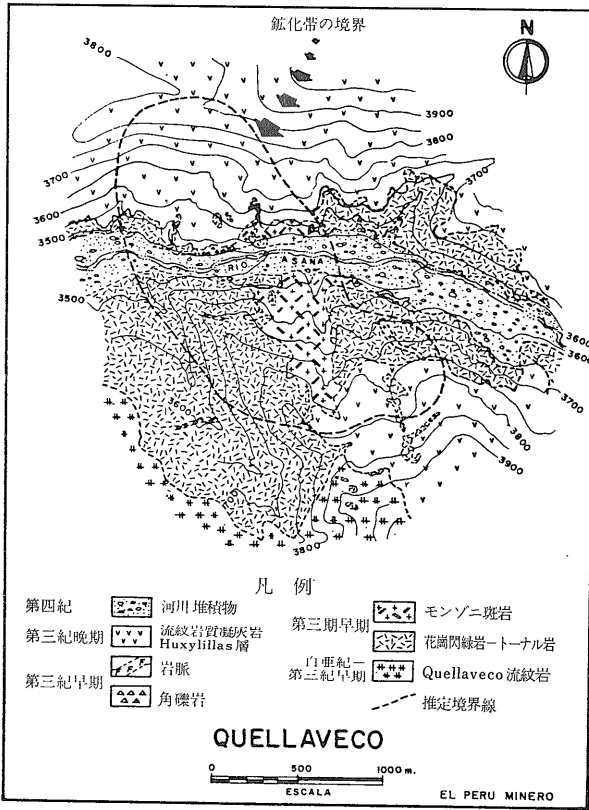
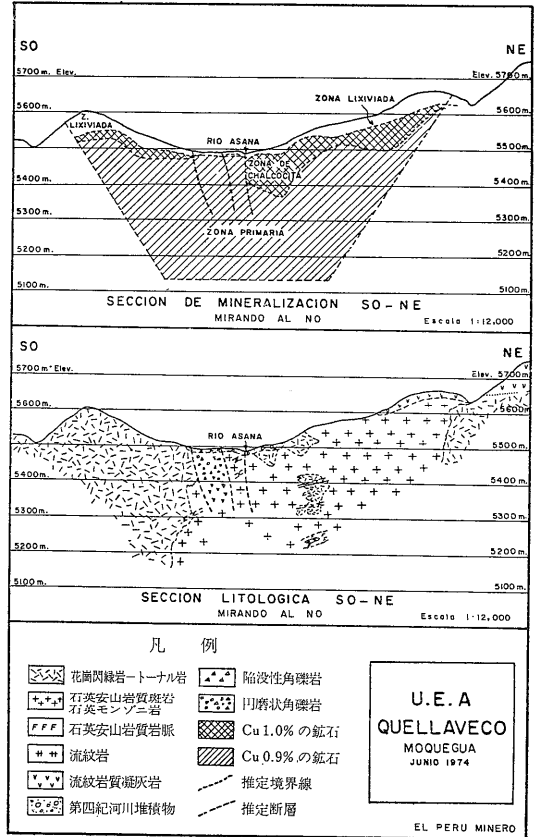


写真10 セロ・ベルデ鉱山の精製された銅板の集積場。



第15図 ケジャベコ鉱山付近の地質図。



第16図 ケジャベコ鉱山断面図。

上：鉱化帯断面図。 下：母岩の断面図。

岩類が発達し 下部は流紋岩 上部は安山岩質熔岩および角礫岩と流紋岩から成り これらの中にアンデス底盤が貫入する。その後 鉱化作用に関係したと見られる石英安山岩質斑岩がこれらを切っている。上記の構成岩類を被覆して 上部第三系に属するケジャベコ角礫岩および礫岩 さらにその上に流紋岩質の熔結凝灰岩から成るウエイリージャス層が載っている (第15 16図)。

北西方向の断層の発達と共に 種々の角礫が見られるが 鉱化作用に密接に関係するチムネー角礫および鉱化作用の認められない円磨角礫が分布し 前者では銅品位が0.5%以上に達する。

鉱床

鉱床は地表から約30mが溶脱帯で 赤鉄鉱 針鉄鉱 ジャローサイト等が晶出し その下部に厚さが 40-50mの酸化帯が発達する。酸化帯は珪孔雀石 孔雀石 トルコ石 プロシヤン銅鉱 赤銅鉱 自然銅から成る。

さらに その下部の輝銅鉱を主とする二次富化帯が広範に分布し 平均厚さが50-60mで 鉱量約2,500万トンに達する。初生硫化帯の主要構成鉱物は黄鉄鉱 黄銅鉱 輝水鉛鉱であり 斑銅鉱 閃亜鉛鉱の他 微量の磁硫鉄鉱とキューバ鉱を伴うとされている。

変質帯は周辺部の磁鉄鉱に富むプロピライト帯 その内側の石英-絹雲母帯 中心部のカリ変質帯に分けられる。鉱化帯の60%を占める石英-絹雲母帯では 黄鉄鉱と黄銅鉱の比率が1:1ないし1:3であり カリ変質帯では1:2から1:3で 鉱化帯の約10%に相当する。

銅鉱の銅品位はカリ変質帯で 0.5-1.2% モリブデン品位が 0.15-0.04% 石英-絹雲母帯では銅品位 0.35-1.0% であり 全体の平均銅品位は 0.85% 埋蔵鉱量は 3億8千500万トンである。

(次号)