

# メキシコの鉱山と自然

向井寛昌<sup>1)</sup>・丸井敦尚<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

「メキシコは南北アメリカの中で第3位の経済大国である」という紹介を受けたとき、これまでメキシコに対して抱いていた印象と違い、かなりの大国のように感じた。メキシコの首都であるメキシコシティは、標高2000m以上の高地に位置する都市として有名であるが、人口2000万人を越える世界第2位の大都市でもあり、一時の東京をしのぐほどの大気汚染に悩まされている。その原因の一つには、日本のような自動車の排ガス規制がなされていないことが挙げられる。近年、“グループ100”と称する市民団体を中心に環境問題が騒がれ始めており、メキシコ政府・国民の関心も高まりつつある。自然

環境の保護を今まさに始めたメキシコを訪ね、メキシコ鉱業振興公社 (CFM) の協力を得て、いくつかの鉱山とその周囲の自然環境に関する現状把握 (環境調査) を行った。

調査の対象となったのは、サカテカス州エル・ボテ鉱山およびパロネス選鉱場、並びにシナロア州エル・ココ選鉱場の3地区である (第1図)。ここで、選鉱場と言うのは、周囲の中小鉱山から産出された鉱石を委託選鉱するだけの、文字どおりの選鉱場であり、CFM が中小鉱山を保護する政策の一環として運営しているものである。それに対し、エル・ボテ鉱山は、鉱山と選鉱場が一体化したものであり、日本で普通に見かける鉱山の形態を呈している。もちろん、同鉱山においても中小鉱山保



第1図  
調査地域図。

1) 通商産業省立地公書局：  
〒100 東京都千代田区霞が関1-3-1  
2) 地質調査所 環境地質部

キーワード：メキシコ、鉱害（鉱山公害）、水文地質

繼のための委託選鉱は行っている。自然が豊かに残る鉱山地域の水文環境を中心にメキシコの自然および鉱山について紹介したい。

## 2. 各鉱山および選鉱場の概要

### 2.1 エル・ボテ鉱山

エル・ボテ鉱山はサカテカス (Zacatecas) 州の州都サカテカス市 (人口 15 万人, 写真 1) の郊外, 北西約 2 km の谷の出口に位置する。その下流側には複合扇状地が発達しており, 第 1 図に示すとおり選鉱場の近傍を流下する河川は乾季になると下流側で枯渇する。気候は, 海拔 2400m を反映し, 半砂漠気候で, 毎年の年平均気温は, 10~15℃ 冬季間は 7℃ 程度であり, 5 月~9 月の 5 カ月に降雨がみられる。年平均降水量は, 660mm である。また, 乾季には強い南東の季節風が吹く。植生は, カクタス (サボテンの一種) の他にモレロス (桑の一種) 等の灌木がみられる。また, 鉱山下流は扇状地形を呈し下流域には農地がありトウモロコシ, 豆及びチレ (トウガラシ) 等を栽培している。鉱山の下流側, 北西 14km にサカテカス市の水道水源井戸 (深度約 200m) があるため, 当初は, 本選鉱場からの鉱山廃水による飲料水の汚染が懸念された。

当鉱山は鉛鉱山として 19 世紀後半より地表付近の酸化帯が幾多の小鉱山主により採掘されていた。当時の採掘品位は Au 15 g/t, Ag 500 g/t 程度と推定される。その後, これらの個人鉱山の統合が進み 1912 年に至って Bote Mining Co. が設立され, 続いて 1924 年からは米国家資本の Pittsburg Mining Co. の経営するところとなり, 同社は 1931 年 2 月まで操業を実施した。約 4 年の操業休止の後, 1935 年には Carnegie Mining Co. が経営に当たった。1972 年に CFM が探鉱部門と選鉱部門を統合してその傘下に収め “Unidad Mine or Metalurgica El Bote” として操業に当たっている。

1989 年の生産実績は 16.6 万 t であり, 2 万 t の委託処



写真 1 サカテカス市市街地の遠景。



写真 2 堆積場の様子。中央の湛水している部分が現在堆積を行っている部分。

理を行った。1990 年の委託処理の実績は 3.6 万 t/年となっている。埋蔵鉱量については, 現在確定鉱量及び推定鉱量ともに約 4 年分を確保している (委託 4 年分を合わせると計 12 年分)。本選鉱場の処理能力は CFM 所有の 17 の選鉱場 (金属) の内で一番大きく 24.6 万 t/年 (全国 137 万 t/年) の能力を有している。以前は, 鉛精鉱, 亜鉛精鉱を採取する優先浮選を行っていたが, 1987 年 2 月以降, 硫化物混合精鉱のみを採取する総合浮選に切り替えて現在に至っている。1987 年 12 月より 1988 年中頃まで青化製錬を実験的に実施したが収益性の問題で現在は中止している。

鉱石から金属を採取した後の廃さいをためておく堆積場 (写真 2) は, 選鉱場の谷向いの山腹南西部にあり, スライムは選鉱場より内径約 10cm のパイプにより流送されている。流送されたスライムはサイクロンで分級され粗いスライムで堤体を作り, 細かいスライムは堆積場の中に放流している。堆積場は内盛式で, 平均法面勾配は約 45 度, 堆積高は 40m, 法長は 50m である。堆積量は CFM が 1972 年に引き継いで以来, 約 20 年での堆積量は約 500 万 t に達し, それ以前は特に堆積場を設けずに沢に放流していた模様であり, 鉱山より流下する河川はその昔は「鉱さいの川」と称されていたとのことであった。

堆積場の法面にはガリー (雨裂) が発達し, 一部には幅数十 cm, 深さ 2 m のガリーもみうけられた。また, 堤体の一部は数年前に崩壊したためその下流側に隣接して堆積場を作り, 現在はそこに堆積させている。乾季においては, 選鉱場用水が不足ぎみであるため, 堆積場からの廃水を堆積場の下流域に沈砂池を設けて一時的に貯留し, 選鉱場用水として 1 日の使用量である 1400m<sup>3</sup> のうち 400~1000m<sup>3</sup> を循環使用している。しかし, 放流水の中和処理は行っていない。雨季においては, 沈砂池より水が溢れ河川に流入している。選鉱場付近の上流バロネス鉱山より流下する小河川の流量観測と水質のチェックを行ったところ, pH をみる限りにおいては, 選鉱場

からの排水の水質は安定しており、管理されている。また、選鉱場近傍の井戸において水位を観測した結果、深度約20m(表面からの深度)程度に存在する地下水位は、近傍の河川水面よりも高く、被圧されていることが判明した。また谷の出口より下流は複合扇状地形を呈するため地下水流動系が複雑化する。従って、サカテカス市の上水道水源を保護するためには、谷の出口よりも上流側において地下水汚染対策を講じなくてはならないといえよう。

このような地域においては、降水が雨季に集中的に、しかも短時間に大量にもたらされるため、雨季には、堆積場の崩壊防止が最重要課題となる。その反面、乾季においては表土は極めて乾燥しており、自由地下水面はかなり低下していることが予想される。その証拠に、乾季においては、卓越風による塵埃の飛散が環境問題を引き起こしている。いずれにせよ、堆積場内の水分量をコントロールできれば問題は解決するといえるが、これが難題である。

## 2.2 パロネス選鉱場

パロネス選鉱場はサカテカス市の郊外(北西約1km)に位置する(第1図、写真1)。本選鉱場はエル・ボテ鉱山のの上流域に当たっている。本選鉱場の谷地形を利用した堆積場の下流域には中小の鉱山の堅坑が数多く存在し、下流側数百mの地点には若干の集落が存在している。選鉱場はサカテカス市を取り囲む山の尾根部に立地し、市の中心部より臨むことができる。本選鉱場は14.4万t/年の選鉱処理能力を有しており、青化処理能力は3.9万t/年となっている。本選鉱場は周辺の約50の中小鉱山の鉱石の委託処理を行っているが、周辺の鉱山企業、経営上の問題及び州政府の希望により、“近日中に州政府に移管する”という方針が大統領により1990年2月8日に明らかにされた。

堆積場(写真3)は、幅約150mの谷地形を利用し、特にかん止堤(砂防ダムに似た堆積物の流出防止堤)を構築し

ないままスライムにより堤体を作り内盛式に、沢部(谷部)に2段に分けて堆積させている。上流側から1段目は硫化物の選鉱廃滓を、2段目は青化精錬の廃滓を堆積してきたが、1段目の堆積場の廃滓の堆積高さが1988年に選鉱工場の高さと同じになったため堆積を中止し、現在は2段目の青化精錬の廃滓堆積場に混合して堆積している。

堆積鉱さい量は8.1万t/年であり、現在までの総堆積量は約200万tである。かん止堤、底設暗渠、山腹水路、場内水路等の施設は設置されておらず、特に雨季等の出水時には谷合い下流の鉱山等に被害が及ぶ恐れがある。

## 2.3 エル・ココ選鉱場

エル・ココ選鉱場はメキシコ第3の保養地であるシナロア(Sinaloa)州マサトラン(Mazatlan)市の東北東約80km、国道40号線より谷合いに約2km入った谷部に立地している。本地域の標高は約800m、年平均気温は24.4℃(2月に19.7℃、7月には28.7℃)、年平均降水量も830mmに達する。本地域の気候は完全に雨季と乾季に分れ、雨季である6～10月の間の平均降水量は750mmを上回る。広葉樹等が茂り非常に豊かである。本選鉱場の処理能力は3.6万t/年であり、近傍の約10鉱山の粗鉱の委託処理のみを行っている(写真4)。

堆積場は選鉱場の下流約200m地点の約40mの谷地形(沢)に幅0.5m、長さ40m、高さ7m(根入れ2mを含む)のコンクリートかん止堤が設置され約1万tの鉱さいが堆積されている。廃滓は選鉱場よりパイプ流送され、乾季にはその上部に内盛式で3.6万t/年を堆積させ選鉱用水の回収を図っているが、雨季においては廃滓は沢に放流されている。というのも、本地域はサバナ～湿潤熱帯冬季乾燥気候帯に属するため、雨季に集中する豪雨によって年間の総降水量のほとんどがまかなわれることが知られている。また、本地域は、地形的にみて、森林流域の源流凹地部に当たるため、降雨に良く応答した地表流出が発生する。この現象による洪水流出跡が堆積場谷底

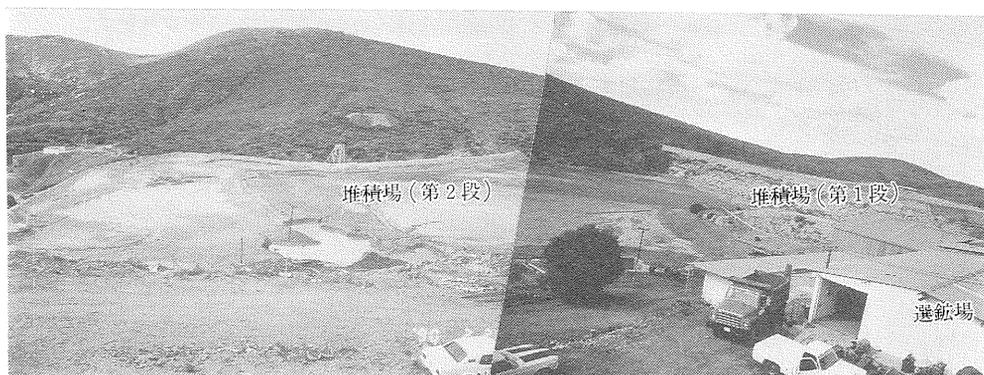


写真3  
パロネス選鉱場の堆積場。

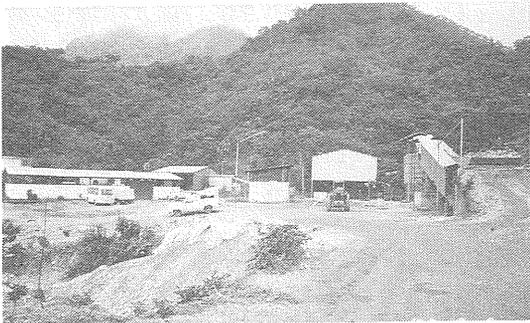


写真4 エル・ココ選鉱場。谷合の僅かな平地を利用した小規模な選鉱場。

部において観察された(写真5)。本エル・ココ選鉱場は、1979年から操業を開始しているが、現在堆積されている量は1万t程度であるから年間処理量から考えると約35万tの鉱さいが、これまでの間に沢に放流されたことになる。本地域において環境問題を論ずる場合、降雨流出水(地表流)による堆積場の洗い流しが最重要課題となっている。

現在の地点に選鉱場が建設されたのは1979年であるが、谷の中腹にあり、源鉱の運搬が困難であること、および処理能力に限界があること、そして何よりも堆積場内の廃さいの流出が防げないこと等種々の問題があるため、CFMは、約15kmマサトラン寄りに新規の選鉱場を建設する計画を有している。新エル・ココ選鉱場建設予定地は、平坦地であり、しかも恒常河川が存在しないため、現在のエル・ココ選鉱場のような問題は起こりづらいといえる。しかし、日本同様の鉱害防止対策を施さない限り、問題は完全には解決されない。しかし、堆積場の維持費だけで年間数億円も要するような完璧なものをつくも作することは、メキシコの事情を考えると、現時点では不可能と言えよう。そこで、これまでどおりの堆積場を建設した場合の問題点を挙げてみた。



写真5 地表流によって侵食された堆積場。乾季には一面にスライムが堆積するが、雨季に発生する恒常河川によって堆積物質は洗い流される。

### (1) 堆積場の安定性に関する問題

堆積場を平坦地に建設した場合、エル・ボテに見られたような法面が形成されることは免れない。無限に広い用地があれば、法面勾配を安息角に等しくすることもできるが、現状では45度前後の法面勾配を有する堆積場を建設せざるを得ない。この場合、メキシコの気候を考慮すると雨季の堆積場の崩壊が問題となる。一般には、ガリーが発達し、降雨がもたらされると堆積場は湛水し、法面が崩壊する。これらを防ぐためには、堆積場内部の地下水面を下げる必要がある。

### (2) 季節風による風害

風害を避けるためには、堆積場表面を乾燥させないことが必要である。そのためには、堆積場内の水分量をある程度高く維持する必要がある。これは、(1)の堆積場内の地下水面を下げることに反する。

### (3) 選鉱用水確保に関する問題

一般には、選鉱用水は地下水を利用するが、本地域では電気探査を行った結果、有効な帯水層が存在しないことが判明した。このため、乾季の選鉱用水不足が懸念される。

たとえば、堆積場の下流側に井戸を掘り浅層地下水を汲み上げることができれば、堆積場内の地中水を循環させ、なおかつ選鉱用水として再利用することも可能である。これは同時に、堆積場内の地下水面を下げることにもなり、斜面の安定性に関する問題も解決できる。この様なモデルを現実化することにより、今後CFMがこれらの難題をどう解決して、どの様な堆積場を建設するか期待したい。また、低コストで鉱害の少ない新しいタイプの堆積場を建設することができれば、世界中の各地に広く普及するモデルとなろう。

## 3. おわりに

現在の日本のように、環境問題を重視する社会では、鉱山の廃さい堆積場から漏れ出す汚染物質があってはならないのが常識である。しかし、メキシコをはじめ世界中の多くの国々において、鉱山を営む側の関心が低コスト化に向かうあまり鉱害防止対策を軽視してきたのはごく当り前のことといえよう。我々は、鉱害の悲惨さを知るもの一人として、今後のメキシコの鉱害防止対策を見守ってゆきたい。

MUKAI Hiromasa and MARUI Atsunao (1991): Mining and nature of Mexico.

<受付: 1990年12月20日>