

研究会報告

金鉱山の作業内容のまとめ

中地 重晴

熊本学園大学水俣学研究センター長

I. はじめに

2019年3月に水俣学研究センターで実施したミャンマーの金採掘に関する実態調査で、ASGM、Artinasal and Small-Scale Gold Mining（小規模金採掘）といっても、水銀の使用方法には複数の方法があることが分かった。ここではどのように水銀を使用して、金の精鉱を得ているのか、訪問先ごとに紹介する。

II. 3月26日 Forever鉱山会社

1. 訪問した鉱区の概要

Forever鉱山会社は、ミャンマー政府の区分でいうと、中規模（400acre以上、約1.7㎡以上）の鉱山（写真1）で、我々が訪問した鉱区は475acre（約192ha）とのことであった。この鉱山会社は、他の場所で、大規模な鉱区1か所で操業し、それ以外にも、小規模採掘もやっているとのことであったが、詳細は説明されなかった。

訪問した鉱区は、標高2,000ft/フィート（約610m）で、この地域では、一番大きな金鉱石を掘削している鉱区とのことであった。



写真1 鉱区の全景

写真2 掘削された金鉱石

写真3 立坑の入り口

この鉱区から掘削されている金鉱石の品位は4～5 ppm程度とのことで、一般的には採算ぎりぎりの品位である（写真2）。立坑・垂直坑（写真3）は700ft（約213m）の深さで、7層の鉱脈を掘削している。横坑はチーク材で保持して、鉱石を掘削している。1層あたり、1グループ7人で、3グループで掘削作業を行っている。この鉱区での採掘作業は2006年から操業していた。



写真4 沈砂池の全景



写真5 沈砂池の土手



写真6 場内用水用プール

場内で発生した鉱山排水は沈砂池、テーリングポンド（写真4.5）に貯留し、上澄み水は分離、処理して、処理水（写真6）は場内用水として、再利用している。沈砂池の底部には遮水シートを敷いているという説明を受けたが、土手（土でできた堰堤）の外観からは遮水シートが敷設されているかどうかはわからなかった。

場内に掲示されていた採掘エリア（TPK-108）を示す地図（写真7）があった。



写真7 採掘鉱区を示す看板

この鉱山会社では、この鉱区での作業は鉱石を採掘、粉碎し（写真8.9）、選鉱場（写真10）で浮遊選鉱を行い、精鉱を他の場所に移送し、金を精錬、純金を生産しているとのことであった。選鉱作業の労働時間は7時から16時。採掘作業は24時間3交代で行っており、採掘は1時間交代で実施しているという説明を受けた。作業員は、700～800人を地元地域から雇用し、家族ぐるみ、父、母、子どもを雇用している。また、鉱山会社は、従業員の子弟が大学に行く支援、奨学金を支給しているとのことだった。



写真8 鉱石の積み下ろし作業



写真9 鉱石の粉碎作業



写真10 浮遊選鉱場

2. 会社側と意見交換の内容

訪問した鉱山会社で昼食を取った後、鉱山会社の幹部職員から、操業実態の説明を受け、意見交換した。

会社側の出席者は、Forever鉱山会社の幹部職員である鉱山技師、工場長、サイトエンジニア（地質調査担当）、電気技師、ラボ担当者（選鉱作業場の担当者）である。会社側からは、操業に際し、環境保全に気を付けている。選鉱排水は、リサイクル、クローズド化している。操業実態は、毎月ミャンマー政府鉱山局に報告している。場内の水質、空気（坑道内の大気質のことか）は毎日、簡易分析を実施し、3～6か月ごとに分析結果を報告している。土壌（鉱石の品位のことか）、爆発、振動状況についても報告している。鉱区の敷地内の環境保全にも配慮し、植物を栽培している。15acre（約6.7ha）に、4,300本植栽している。CSR（企業の社会的責任）として、地元の学校の建物、お寺に寄付している。また、地元の道路を造成する際にも寄付しているという説明を受けた。鉱山会社から、周辺の村にも水道水を供給している。また、鉱山会社の医師が週2回地元民にも診療している。操業当初、周辺の村には電気がなかったので、電気が来るように支援した。当時は、住民は薪を使用していたとのことであった。

金鉱石の採掘終了後、閉山後の修復、緑化は義務なので、坑道は埋め戻す計画であり、原状修復のため、20acre（約8ha）について、40万kyat（約28,000円、2024年10月現在）のデポジットを支払っている。鉱区の敷地400acre（約161ha）の半分を森林として保全している（写真11.12）という説明を受けた。



写真11 敷地内植栽

写真12 敷地内植栽

Forever鉱山会社での地下坑道から掘削した金鉱石の選鉱作業以下のとおりである。

鉱石の採掘→鉱石の貯蔵→ジョークラッシャー→コーンクラッシャー振動篩→粉碎鉱石溜→ボールミル→ハイドロサイクロン（分級機）→浮遊選鉱→選鉱液→濾過→乾燥濃縮→出荷→尾鉱→沈砂池→水循環池

金鉱石を掘削し、浮遊選鉱法で、金鉱石を精鉱しているだけ（写真13）なので、環境への負荷は小さくなく、周辺への環境汚染の可能性は少ないと考えられた。また、会社側は閉山計画も立てているので、計画通りに実行すれば、問題はないと考えられた。

会社側の説明では、浮遊選鉱後、金の精鉱（写真16）を150mile/マイル（約240km）離れているザガイン管区ジャカドーという場所にある子会社に搬送する。子会社が金鉱石を精錬



写真13 選鉱作業の流れ図を示す看板

し、純金にする工程を行うとのことだった。

訪問した場所では、シアンも水銀も使っていない。Forever鉱山の選鉱場（写真14）の浮遊選鉱工程（写真15）では使わない。金精鉱の搬送先の子会社で、シアンを使っているという説明を受けた。



写真14 選鉱場の全景



写真15 浮遊選鉱工程

写真16 金精鉱

一方、会社の説明によると、2006年から2010年までは水銀を使っていた。掘削した鉱石に金の含有量を確認するために、試験的な選鉱に水銀を使用していたが、環境汚染を引き起こしてはいないと考えているとのことだった。

この鉱山では、約1,000人が働いている。そのうち、社員は150人とのことだった。雇用形態で、日雇い作業員は、30日ごとに給与を月末支払う。1日払いの日雇い雇用もある。社員は18～43歳。採鉱作業は63歳まで雇用している。従業員は、男性が4分の3、女性が4分の1である。

この鉱山では、小規模金採掘の伝統的なやり方の水銀は使っていない。金鉱脈の探査は、すでに政府が調査しており、地質調査所がデータを持っている。金が取れることはわかってからは、鉱山会社は、政府と一緒に探査し、投資した。金鉱石の採掘権は入札で、入手した。40年位前からこの地域で金が取れることは知られていた。

従業員の健康診断は、入社時から、1か月に1回くらい医者に診てもらっている。この地域周辺には、ベイジン、マンダレー、軍の総合病院が3つある。個人の開業医もいる。地域

にいる医師が診察する。

我々に説明した幹部職員は、鉱山会社が金をどこで売っているかは知らないとのことだった。

鉱山の操業は、金鉱石は1日300t掘削している。年間6か月しか作業していない。雨期は埋め戻し作業のみを行っているとのことだった。

また、鉱区の土地所有権は政府が持っていて、森林局の管理下にある。鉱山局と契約して、操業しているとのことだった。土地賃借は5年契約で、その後は1年ごとに契約を更新する。今年（2019年）5月31日新しい法律で変わってくる。鉱区の定義は、4 acre（約4,000㎡）までを、小規模。4～280 acre（約1.1km²）までを中規模。それ以上は大規模と分類されている。

この鉱区の水平抗の長さは200～500m。立坑の深さは350mである。探鉱技術はカナダから。選鉱技術は大学で学んだ。鉱区の周辺に小規模な鉱区はいくつかある。小規模金採掘の選鉱に使用する水銀は村の中で買えるので、みんな使っている。小規模金採掘作業での健康被害は聞いたことがないとの説明だった。

一方、テーリングポンド（沈砂池）（写真17）の底の遮水シートは高密度ポリエチレンを使用している。崩れないように堤を作っている（写真18）という説明を受けたが、外観からは、遮水シートの敷設は確認できなかった。



写真17 沈砂池

写真18 沈砂池の堰堤

Ⅲ. 3月27日 シング郊外ケンタウン村

1. 典型的な水銀を使用した金精鉱作業

最初に訪問したケンタウン村の民家の庭にある金精鉱作業場では、鉱石の粉碎及び精製作業を行っていた。

鉱石の採掘場所は、作業場から1 mile（約1.6km）くらい離れた場所にあり、採掘後、運んでくるとのことだった。なお、採掘現場は、後で、見学しに行った。

見学した作業場では、鉱石を粉碎して（写真1.2）、水槽でざるを使い、砂金、金成分を採取する（写真3.4）。水銀を入れてアマルガム（写真5.6）にして、炭で加熱し（写真7.8）、水銀を蒸発させて、金を精製する（写真9）。その後、3～4時間乾燥させるとのことだった。

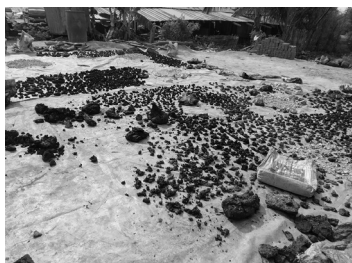


写真1 鉱石の乾燥作業



写真2 鉱石の粉碎作業



写真3 鉱石の分離作業



写真4 鉱石と水銀の混合作業



写真5 水銀アマルガムの脱水



写真6 水銀アマルガム



写真7 水銀アマルガムの
加熱作業



写真8 木炭の加熱炉



写真9 加熱後の金精鉱

2. シアンを使用した金精鉱作業

訪問した民家では、水銀を使用しない別の方法でも金精鉱を得ていた。作業方法は、まず、プールに水を張り、粉碎した岩石、石灰 (pH調整用)、シアンを混合して放置 (写真10) する。プール内で、15日間放置する (写真11. 12)。その後、活性炭に吸着させて (写真13)、燃やして、灰にする。その後、Borax (ホウ砂) を混ぜて、燃やして金を精鉱する (写真14) という説明を受けた。

また、説明では、硝酸 (写真15) に溶かして、純度をあげるとのことだった。



写真10 金鉱石貯留するプール



写真11 沈殿物



写真12 沈殿物



写真13 金を含有した活性炭



写真14 加熱後の金精鉱



写真15 硝酸のラベル

一連の作業について、作業員から説明を受けた時に、同行していたECD（ミャンマー政府環境保護局）の担当者から以下の説明を受けた。同行した中村さんが、ECDのスタッフのノートに記述したメモを転記した。

洗う

→amalgamation HNO_3 →+ BORAX 燃やす

→Crude Gold (75-85純度?) → HNO_3 (nitro acid) + Silver

→燃やす →アマルガム 燃やす →purified gold (99.9%)

青化法

Gold Ore (金鉱石) →Crushing (Cone crush) →Grinding (Ball Mill)

①→Sulphide Ore (硫化鉱) → ?

②→Oxide Ore (酸化鉱) →UP (Carbon in Pulp) 活性炭

→Pregnant carbon

①→燃やす (localな金)

②→Electrolysis Winning →Pregnant Solution →Steel Wool with HNO_3 →...

* Borax ホウ砂 $\text{B}_4\text{Na}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

以下、補足説明すると、青化法のElectrolysis winning以降は大きな企業で実施している工程を示している。BORAX（ホウ砂）を足して燃やしてしまう（①）のがローカルなやり方ということだった。説明してくれたECDのスタッフの方は、専門が金の精製だということだった。そのためか、すらすらと化学式を書いていた。

3. 金精鉱作業後について

訪問先での説明では、作業場で精製した金精鉱は、毎週、マンダレーの金販売店に売りに行く。雨期には生産量が減るとのことだった。この作業場での金精鉱の生産量は、一週間に5 TK/チャット¹⁾ とのこと。1 TKは16.32925 g なので、金精鉱の生産量は約81.6 g となる。説明によると、販売価格（買取価格）は1 TK=106万kyat（77,000円くらい当時）なので、5 TKで、約382,000円になる。

この作業場の作業者は男性18人が2グループに分かれて、24時間交代で作業している。女性は7人で、その中の3人は連れ合い（夫）を亡くしている。鉱山の作業員（採掘作業の従事者）は、早死にするそうである。金精鉱の収入は、4分の1はコミュニティーに収める。残りの4分の3をオーナーや作業者の取り分という説明であった。

週に約4万円の売り上げなので、 $4万 \times 4週 \times 3/4 = 12万円$ を25人の作業員で分けると、月収4,800円にしかない。それほどよい収入とは言えないような気がした。

4. 採掘現場の状況

金精製場を見学してから、約1 mile (1.6km) 離れた金鉱石の採掘現場を見学した。そこでの説明では、通常金鉱石の採掘は、1グループ12人で、午前7時から午後7時、午後7時から午前7時の2交替で作業している。24時間で4グループが、各回2グループ交代で作業しているとのことだった。1グループの作業時間は1日6時間（写真23）とのことだった。

シング地域には金採掘作業をしているところが、13地区あり、1地区100人くらいずつ働いている。採掘用の立坑は（写真16、17）50か所くらいある。女性の賃金は1日6,000kyat（約400円）とのことだった。

実際の金鉱石の採掘作業は、立坑にロープで2人ずつ降りる（写真18、19）。鉱脈を月2回ダイナマイトで崩した後、ドリルマシン（写真24）で砕く作業を行う。鉱脈を破壊するダ



写真16 採掘作業場

写真17 立坑

写真18 立坑と作業員



写真19 立坑から上がってきた作業員

イナマイトは陸軍から購入しているとの説明だった。

ちょっと前述の説明とは矛盾するが、1グループ4時間降りて、掘削作業を行う。立坑（シャフト）のいくつかは共同で所有している。1立坑を1人で所有しているオーナーもいるとのことだった。

現場にいた1990年から仕事しているというオーナーは、お金を貯めて機械を買っている。金鉱石を掘削して、家庭で金に精製すると言っていた。

また別の100人のグループのリーダーという人物は、1988年から仕事をしている。マンダレー近くのマリア市出身で、22歳から仕事していると言っていた。

1番大きな掘削現場（写真20. 21）を見学した。この坑内に中地が降りて、構内作業を



写真20 採掘現場



写真21 台車のレールのある立坑



写真22 案内してくれた村のリーダー



写真23 休憩中の作業員



写真24 削岩機



写真25 レールがめぐらされた坑内



写真26 横坑



写真27 掘削作業

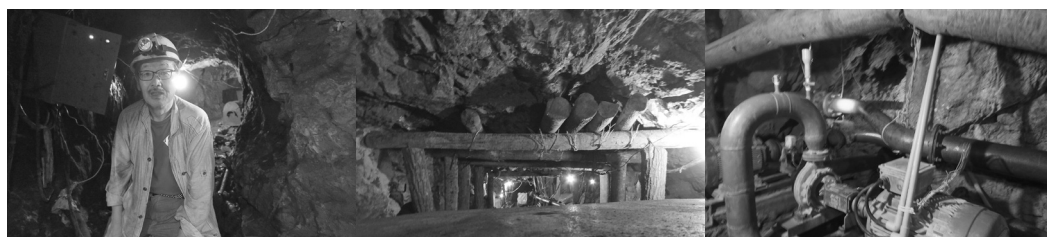


写真28 坑内に降りた中地(筆者)



写真29 横坑の内部



写真30 坑内排水用のパイプ

見学させてもらった(写真28)。金の鉱脈は290mの深さで、坑道の穴はつながっており、案内してくれていた村のリーダーが別の入り口から入り、台車に乗って出てきた(写真22)。

坑内は地下水が湧き出すため、水をポンプアップして排水(写真29, 30)していた。横坑で掘削作業中の作業員(写真27)が見えた。

5. ケンタウン村で見学した作業の感想

砂金を集める要領で、水銀と金鉱石を混合して、金アマルガム化(金と水銀の合金の作製)したものを木炭で加熱して、水銀を蒸発させて、金を精錬する作業を見学したが、案内者や作業員からは、一連の作業での健康被害についての情報は得られなかった。加熱作業時、作業員はそれなりに水銀の健康影響を気にして吸入しないように努力していた。窓の方に顔を向けて、加熱皿を見ないなどの工夫はしていたが、水銀を吸入していないとは言えない状況だった。

女性労働者の多くが夫を亡くしており、掘削作業による健康被害の方が多いように感じた。現場の掘削作業を見ても、掘削時の粉じんによる健康影響、じん肺などによる被害の改善の方が課題であるように思えた。

Ⅳ. 3月28日金販売店での経験

1. 金の純度をあげる金販売店（金買い上げ店）での作業

ケンタウン村の中に、ゴールドショップがあった。金を買上げ、販売するだけでなく、採掘用品等も販売していた。店主から説明を受けた。ゴールドショップの店舗に隣接した作業場では、各家庭で、金鉱石を粉碎、水銀と混合した金アマルガムを加熱し、水銀を蒸散させた純度の低い金（他所から買い取った）に、銀を加え、金の純度をあげようと精製加工していた。

店主の説明では、金14TKに銀52TKを加えると純度をあげた純金10TKができるとのことだった。

作業の内容を簡単に説明すると、

- ① 純度の低い金（金アマルガムから水銀を飛ばしてできたもの、商店が買い取った）と銀（写真1）とを使用して、金の純度をあげる精製工程を見学した。

「金14TK＋銀52TK→純金10TKできる」と説明を受けた。



写真1 買い取った
金アマルガム

写真2 金アマルガムと
銀との混合

- ② るつぽに、金と水銀のアマルガムに銀を混ぜ合わせる。（写真2）それにBoraxを加えて、木炭で加熱し（写真3）、アマルガムを形成する。1,200℃程度で加熱していると説明を受けた。



写真3 加熱中のるつぽ

- ③ 溶融したアマルガムを大きな水鉢に入れて（写真4）、水冷し、金銀混合アマルガムに固形化する（写真5）。



写真4 加熱、融解作業

写真5 冷却、固形化作業

- ④ 水鉢から冷えた金銀混合アマルガムを、別の鍋（写真6）に移し替えて、濃硝酸（写真7）を加えて加熱する。硝酸銀（液体）が生成され（写真8）、水銀は揮発し、金のみが沈殿する。濃硝酸を加えて、黒煙（写真8）が白煙になるまで、同じ作業を行い（筆者らの見学时は4回行った）、有機物等不純物を分解する。



写真6 濃硝酸を加えて加熱

写真7 濃硝酸の容器

写真8 濃硝酸から発生した黒煙

- ⑤ 濃硝酸を加えて、白煙になるまで、加熱し続け、硝酸銀溶液を捨てて（写真9）、沈殿物（金）を取り出し（写真10）、再度、加熱して、乾燥させる（写真11）。

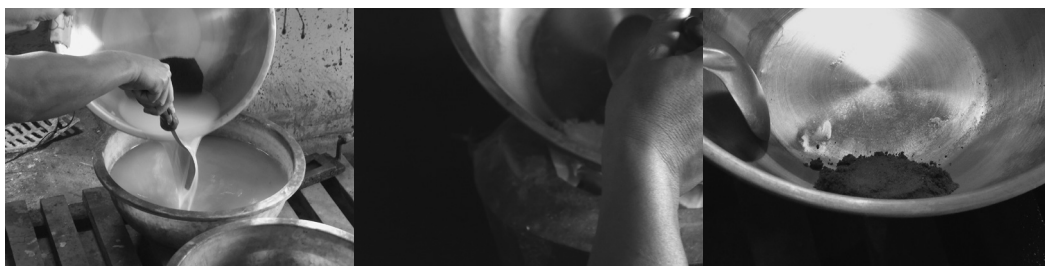


写真9 濃硝酸の廃棄

写真10 固形物のみ回収

写真11 残留した金成分

- ⑥ 残った沈殿物（金）をるつぽに移し替えて（写真12）、エンアイ（硫化水銀）を加え、再加熱、溶融する（写真13）。



写真12 るつぽにエンアイ投入

写真13 るつぽごと再加熱

- ⑦ 溶融した金をインゴット型に流し（写真14）、表面を硝酸で洗い、再度加熱し（写真15）、純金のインゴット（写真16）として販売できるように精製する。

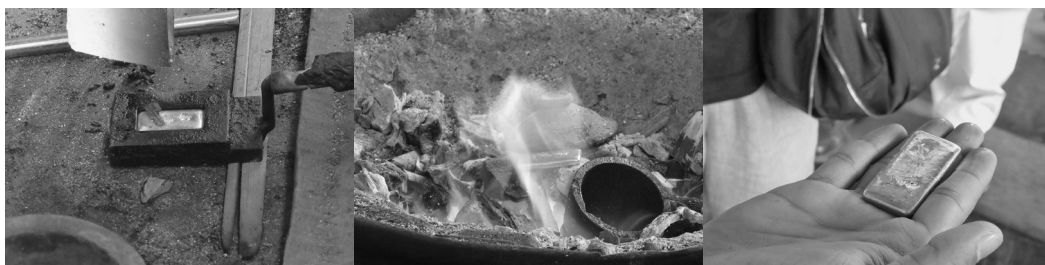


写真14 再加熱での溶融物

写真15 再加熱中の溶融物

写真16 出来上がった
金インゴット

2. 金販売店での作業の問題点

硝酸を加えて加熱する作業場所の隣は台所だった。家族が子どもと遊びながら、調理（写真17）していた。台所の壁の上部には開口部があり、作業場から空気は流れてくると思われた。もともと、金アマルガムを加熱し、水銀を揮散させた後の純度の低い金から精製する作業なので、水銀を含んでいる量は少ないと思われるが、ゼロとは言えず、周辺の住民や作業員が水銀を吸い込む可能性（写真18）があると感じられた。

金アマルガムと銀とを濃硝酸で溶解する作業の際に黒煙が発生するが、黒煙（写真8）は酸性が強く、酸化が不十分で、呼吸器への毒性の強い亜酸化窒素や一酸化窒素などの NO_x （窒素酸化物）を高濃度に含んでいるので、吸引しないように注意する必要があると考えられた。

この作業に従事していた作業者が使用していた布マスク（写真8）では、水銀や NO_x （窒素酸化物）の吸入を防止することはできないので、活性炭を使用したマスクを着用するべきである。



写真17 隣接する台所

写真18 金販売店の中庭

主に作業していたベテランの作業員は10年くらいこの作業に従事していると話していた。現在、42歳で、違う村から毎日通ってきているとのこと。特に健康を害しているという話は聞かれなかった。

6. まとめ

本稿では、ケンタウン村で実施されている小規模金採掘の操業実態を解説した。作業従事者や案内者からは、水銀による健康被害について聞きだすことはできなかった。健康を害したものは作業していないので、見学時出会うことはないのは当たり前のことである。ケンタウン村は、収入が得られるということで、外部からの流入者で人口が増加し、ASGMに村をあけて従事しているようだった。健康を害すると村を去る可能性があった。1990年代、筆者は原田正純先生に同行して、アフリカ東部ビクトリア湖周辺の金鉱山でのASGMを調査した時も同じような経験をした。

今回地元の金販売（買取）店で、見学した銀を使用した金銀水銀アマルガム化を利用した金の純度をあげる精製加工作業は今まで文献にも出てこない作業であり、貴重な体験をした。今回見学した作業では、水銀の吸入よりも硝酸や亜硝酸などの窒素酸化物の吸入、呼吸器への悪影響の可能性が高い作業だと考えられた。作業の健康影響をきちんと伝えて、マスクなど保護具の着用を進めるべきだと考えられた。

今回はミャンマー政府の担当者の案内で調査したので、土壌や水質などの検体を採取することはできなかった。次回機会があれば、環境汚染の実態調査ができるようにしたいと考えている。

注

- 1) 本来、ミャンマーにおける量の単位はパイターまたはトンなどを使うのだが、聞きとり時、TK/チャットと表現されたため、そのまま表記している。kyat/チャットは通貨の単位。