

佐渡金銀山採掘方法の変遷 ～露頭掘から坑道掘へ～



動画

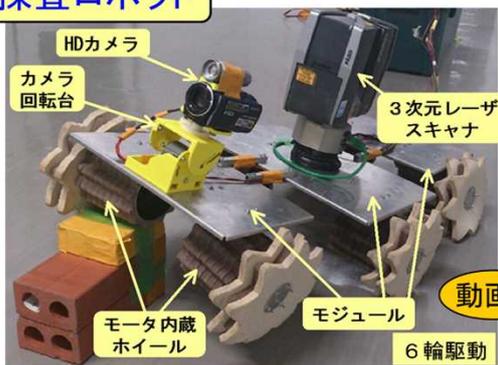
松江工業高等専門学校 久間英樹

本研究の一部は、
JSPS 科研費19K01131の
助成を受けたものです。

令和2年10月18日 世界遺産登録推進 県内巡回講演会
「佐渡金銀山の魅力と価値を知る」

佐渡金銀山は、学術的な価値では日本一の鉱山遺跡である。なぜか？戦国時代から江戸、明治、昭和、平成までの約400年間の鉱山関連遺跡が残っており、また各時代の人々が記した絵図、古文書、絵巻物等の多数の資料が確認できるからである。本研究の結果とこれら絵図や絵巻物との記載がよく合致しており、昔の人々がいかに精密に記録を残しているかがよく分かる。

探査ロボット



探査風景



3次元レーザスキャナ



材質:ABS



本研究では鉱山坑道内部を非接触で測定できる遠隔操作型ロボットを開発した。ロボットには3次元レーザスキャナやカメラが搭載されている。3次元レーザスキャナは、短時間で複雑な環境や地形の詳細な3次元イメージを作成するレーザ技術を使用している。この結果から坑道内での金銀の採掘体積を算出することができる。更に、鉱物の産出量も推定可能となる。また得られたデータを基に3Dプリンタを利用して採掘時の坑道の形を再現できる。坑道周辺地形の3次元点群データと複数の坑道内3次元点群データをパソコン上で重ね合わせることによって地中内での坑道間の相互関係を推測することも可能である。

これらの得られた結果と絵図や古文書等の記載を比較することによって時代毎の坑道形状の特徴を求めることができる。

採掘方法の変遷

地表採掘：地表に露出している鉱脈（富鉱帯）を目安に採掘

露頭掘（鉱脈のみ採掘）

露天掘（鉱脈を含む山全体を採掘）



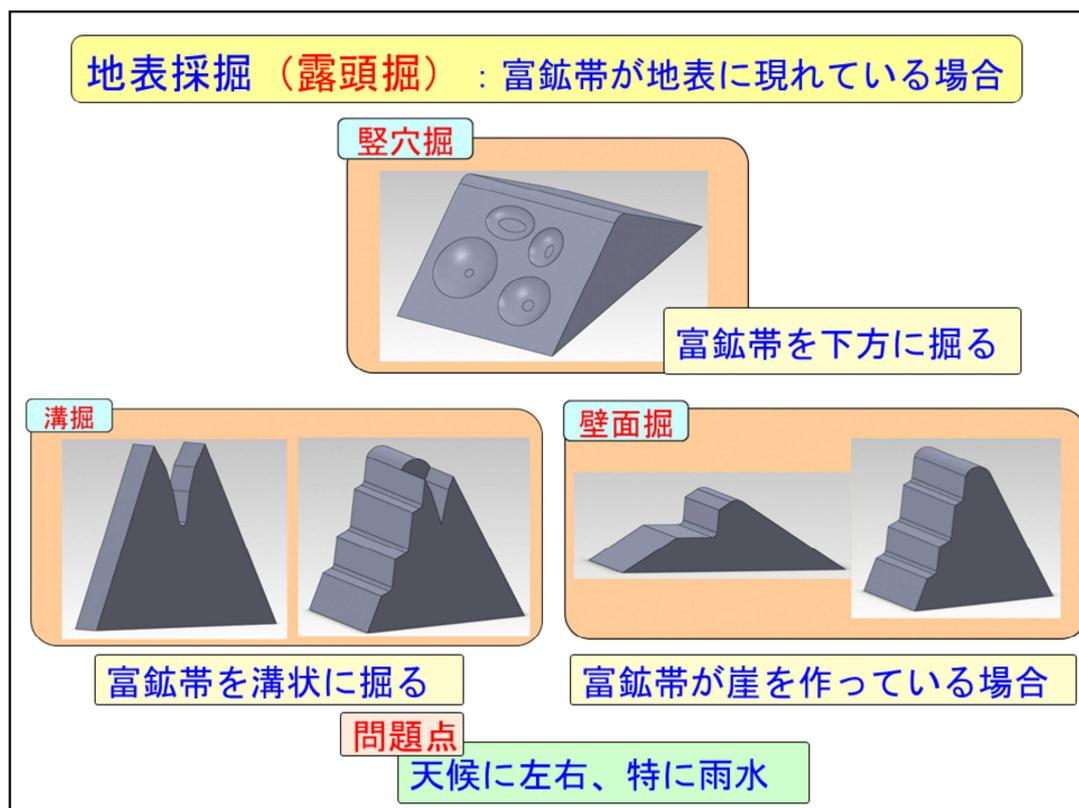
地中採掘：地中の鉱脈（富鉱帯）を求めて採掘（坑道掘）



鉱石の採鉱方法は大きく「地表採掘」と「地中採掘」に分けることができる。地表採掘とは岩石や鉱脈の一部が地表に現れている「^{ろとう}露頭」部を目安に採掘する手法である。これを「^{ろとうぼり}露頭掘」と呼ぶ。鉱山開発の初期段階は主に露頭掘が行われたと考えられる。また、古代から近世は「露頭」の中でも鉱物が多く含まれる富鉱帯のみを採掘していた。現代の地表採掘も富鉱帯を目指して採鉱を行う、しかしながら富鉱帯以外の部分も大規模に山を削って行う「^{ろてんぼり}露天掘」と呼ばれる手法もある。このため本講演では「露頭掘」と「露天掘」は区別して考える。

地表に露出している露頭を掘り尽くすと地中へと掘り進む。地中採掘とは地表の露出している鉱脈を目安に地中の富鉱帯を求めて掘り進んでいく方法である。これを「^{こうどうぼり}坑道掘」と呼ぶ。坑道掘の最古の記録は対馬の銀鉱山に関するものである。

「^{えんぎしき}延喜式」（平安時代の法令集）によると685年頃に高山の底部から40丈（約120m）掘入ったと記述されている。しかしながら、当時120mの距離を坑道掘するための技術や道具また坑内排水や通洞等、付加的な技術が整っていたか疑問である。



露頭掘は大きく3つに分けることができる。第1は地表に露出した鉱脈をすり鉢状に採掘する「^{たてあなぼり}竪穴掘」である。代表的な例として佐渡金銀山内鶴子銀山の「^{ひやくまいだいら}百枚平」がある。鶴子銀山は「佐渡年代記」によると、天文11年（1542年）越後国（新潟県）の商人によって発見された。税として1か月に銀100枚を領主へ納めたと記載されている。

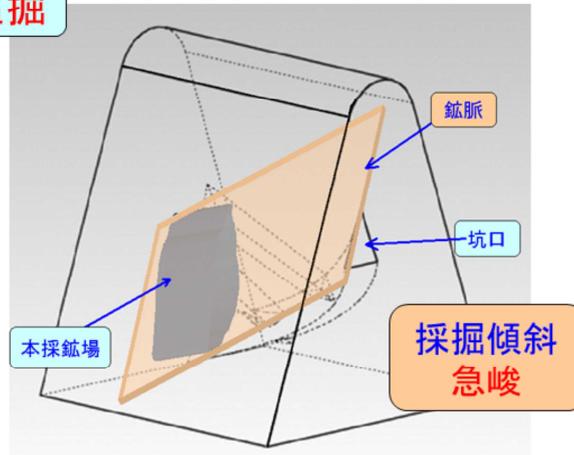
第2は地表に露出した鉱脈を溝状に掘る「^{みぞぼり}溝掘」である。代表的なものは1601年から採掘が開始された相川金銀山「^{どうゆう わりと}道遊の割戸」である。山頂まで高さが約100mであり山の裏側が確認できるほど大規模に採掘されている。また^{いくの}生野銀山（兵庫県）「^{けいじゅひ}慶寿鍾」付近でも確認されている。

第3は鉱脈が崖を作って地表に露出している場合に壁面状に採掘を行う、「^{へきめんぼり}壁面掘」である。^{ただ}多田銀銅山（兵庫県）の銀山地区や民田地区で確認されている。また地表に露出している露頭の規模や山の勾配によって複数に分けて階段状に採掘する場合もある。更に「壁面掘」後に側面から「溝掘」を行った採掘方法もある。

なお、「露頭掘」採掘の問題点は、天候に左右されることである。特に竪穴掘の場合は、雨水が底面に溜まり排水に苦慮する。

地表採掘から地中採掘へ移行

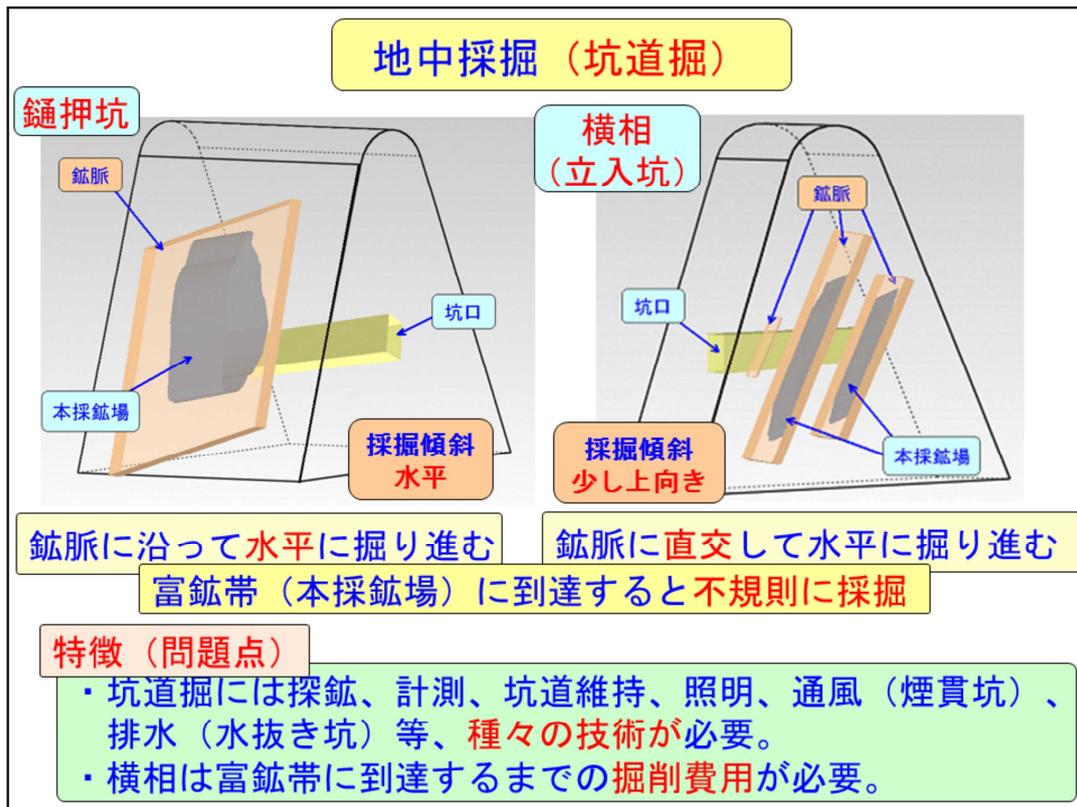
鍾追掘



鉱脈を追って地中に不規則に掘り下がる。
主に露頭掘跡から採掘開始、坑口付近は直線的に採掘

坑道掘は、3つに分類することができる。但し、坑道とは上面および側面があるものと考えている。また坑道掘は地中内部の富鉱帯に到達することを目的としているため到達した場合は、内部が崩壊しないように配慮して富鉱帯を無駄なく掘り尽くしたと考えられる。このため坑内の断面形状は不規則な形となる。

第1は鉱脈を追って地中を不規則に掘り下がる「鍾追掘」である。この採掘方法では採掘勾配が急峻となる。また露頭掘の溝掘跡を再開発して「鍾追掘」を行う場合もある。いずれの場合も、坑口から30m付近で外光や換気が不十分となる。このため鍾追掘では地中深く採掘することは困難であると考えている。鍾追掘は鶴子銀山内の屏風沢間歩群^{ひおいぼり}で確認できる。



第2は地中の鉱脈を追って水平に掘り進む「鍾押坑」がある。鍾押坑は鶴子銀山内の弥喜知間歩^{やきちまぶ}で確認できる。

第3は鉱脈に向かって垂直に掘り進む、横相^{よこあい}（立入坑）がある。16世紀末頃から行われていた技術である。横相は相川金山^{おおぎりやまやまこう}内の大切山坑で確認できる。本手法は鉱脈に到達するまでの坑道内が平坦であるため鉱石の搬出や坑道内排水、通気に適している。しかし、本手法は鉱脈に到達するまでの坑道掘削に多額の先行資金が必要であるため鉱山経営を圧迫する。しかしながら大切山坑の初期採鉱時（1631～1649年）には坑道内の空気の循環を良好にするために横相の本坑道と通気坑^{けむりぬき}（煙貫）の2つの坑道を平行に掘削する方法も行われていた。

上記の様に、坑道掘には通気坑の他に、探鉱、採掘方向計測、坑道維持（崩落防止）、照明、坑内排水等、種々の技術が必要である。

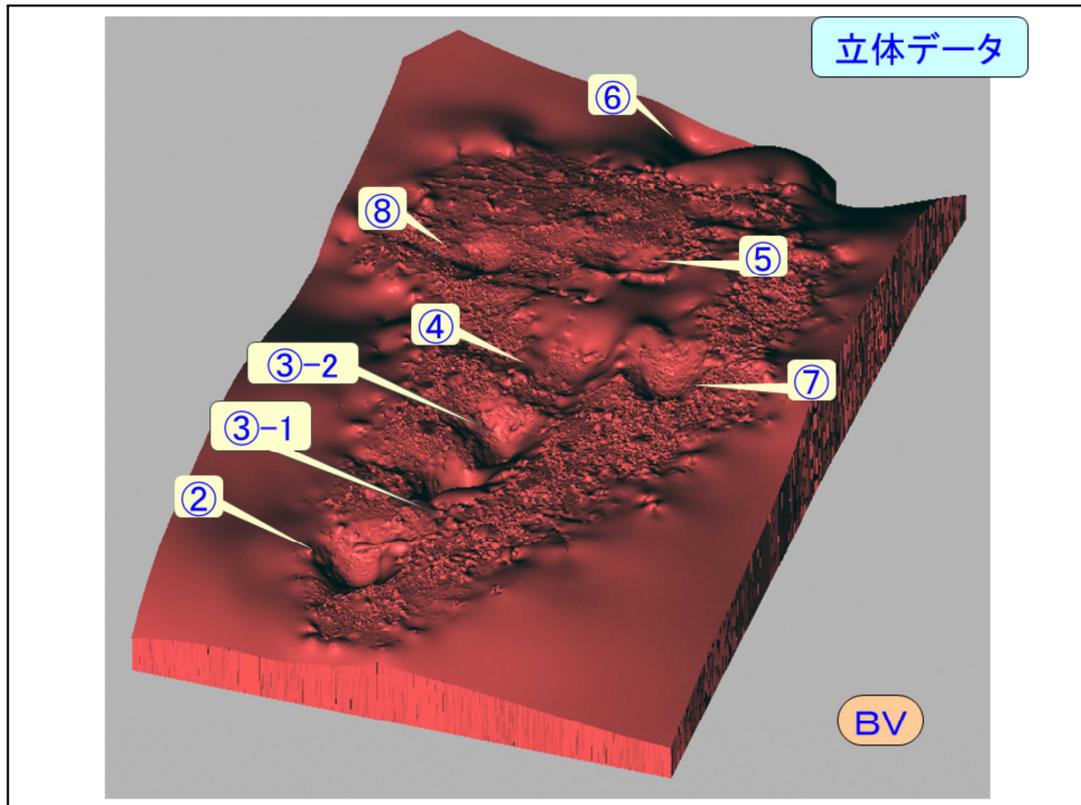


佐渡金銀山の象徴である「道遊の割戸」は、国内で現存する露頭掘「溝掘」の最大のものである。

頂上付近の採掘幅は約 30 メートル、道遊の割戸付近の鉞脈はあおばんみやく青盤脈（道遊脈）と呼ばれ約 10 メートルの幅を有する。開発初期は頂上部に露出している鉞脈から溝状に採掘を開始した。その後、徐々に下方方向に採掘した。現在の溝の高さは約 74 メートルである。1753 年に描かれた絵図には今とほぼ同じ形が描かれている。一説には約 30 年で現在の形と同程度まで採掘したと考えられている。

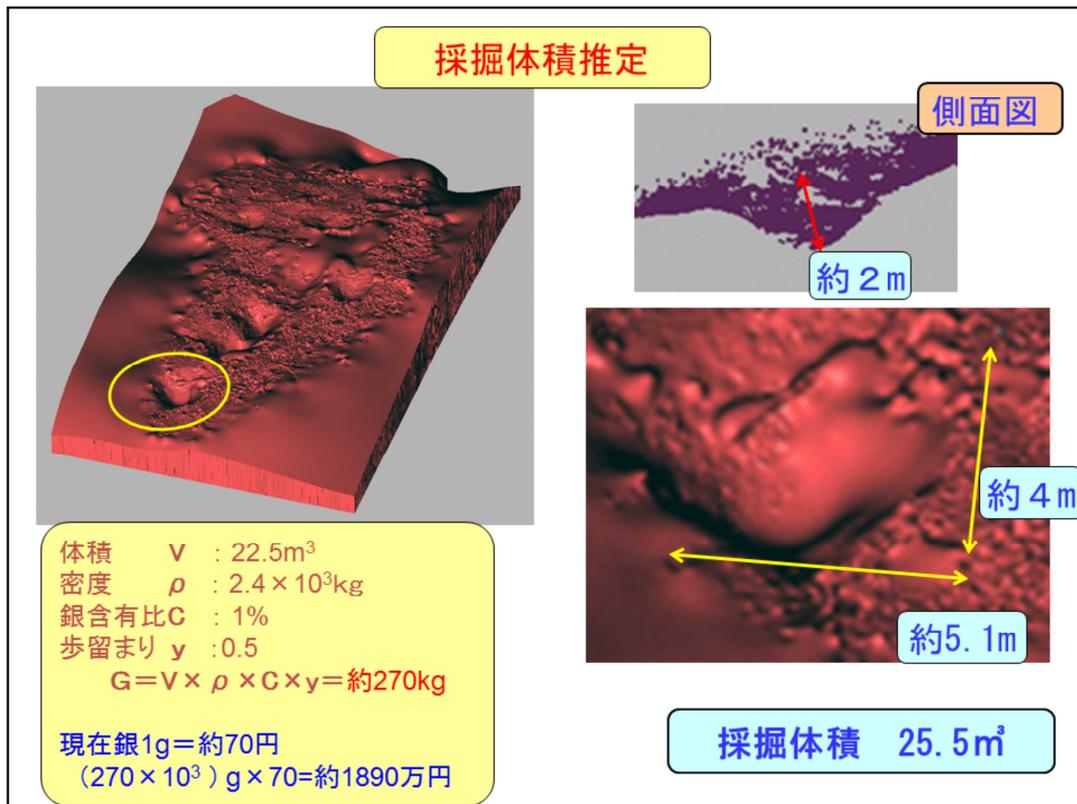


にいぼ ななつじき
新穂銀山の七ッ敷は露頭掘（竪穴掘）で採掘された跡である。1859年に描かれた「新穂村瀧沢銀山岡山図」には7つの掘り跡が記載されている。現在は、図のように樹木で覆われ、全体の様子を把握することは困難である。このため次頁の手法を用いて採掘時の地形の再現を試みた。



3次元レーザスキャナを用いて、「七ッ敷」周辺の地形を72箇所測定した。その結果を元に専用ソフトを用いてパソコン上で重ね合わせることによって周辺地形を再現した。しかしながら、このデータには樹木等のデータも含まれている。そのため、専用ソフトを用いて樹木等を取り除く地面検知処理を行った。その結果を元に周辺地形を立体的に復元したものを図に示す。竖穴掘を8箇所確認できた。

1859年に描かれた「新穂村瀧沢銀山岡山図」と3次元レーザ測定結果から復元した採掘時の周辺地形を比較した。その結果、おおむね一致した。絵図の精密さを確認できた。

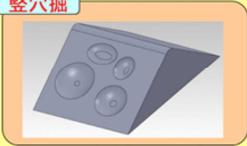


復元した採掘時の立体データを元にして産銀量の算出を試みた。図の黄色で囲んだ一か所の縦穴掘の採掘体積は、立体データから算出すると約 25.5 立方メートルとなる。この値に、密度、銀含有量、精錬時の歩留まりを乗じて産銀量を推定すると約 270kg の銀を産出したと算出できる。現在の価値に置き換えると約 1890 万円と考えられる。この結果から「七ッ敷」全体の産銀量は約 2 トン以上であったと考えられる。

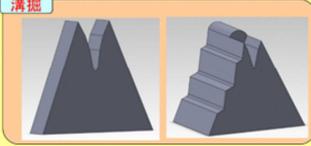
まとめ

採掘方法変遷
 地表採掘→地中採掘
 露頭掘（竪穴掘、溝掘、壁掘）

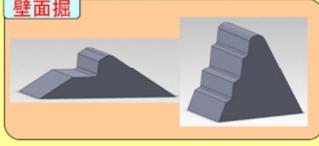
竪穴掘



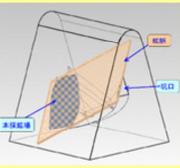
溝掘

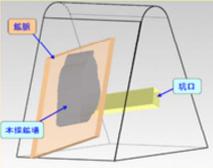


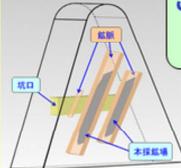
壁面掘



地表採掘→地中採掘
 鍾追掘
 地中採掘（鍾押坑、横相（立入坑））







但し、坑内本採鉱場では富鉱帯を全て採掘するため
 このため
 不規則な採掘形状

**佐渡金銀山は前近代の採掘方法を
 全て確認できる貴重な遺跡！！**

今回の講演会のポイント

- 1、採掘方法には、地表掘と地中掘がある
- 2、地表掘（露頭掘）には、竪穴掘、溝掘、壁面掘がある。
 「道遊の割戸」は日本一の溝掘跡である。
- 3、地中掘には、鍾追掘、鍾押坑、横相がある。
 鍾追掘は地表掘から地中掘への移行の際に採掘される。
 特に坑口から歪んだ断面形状で斜めに掘り下がっている。
 横相の坑道内は歩行可能な大きさを水平に採掘されている。
 但し、坑内本採鉱場では富鉱帯を全て採掘するため、
 「不規則な採掘形状」となる。
 佐渡金銀山は前近代の採掘方法を全て確認できる
 貴重な遺跡である。また絵図、文書、絵巻物等が多数
 残されているところも貴重である。