

3次元レーザスキャナを用いたカニカン岳坑道跡の測定

Measuring the Kanikan Mountain Tunnel Site Using a 3D Laser Scanner

久間 英樹
KUMA Hideki*

要旨

本研究では、鉱山遺跡の文化的価値を高めるため、坑道内や坑道が散在する斜面形状の3次元レーザ測定を行うことで、採掘時の状況を定量的に再現してきた。この結果から坑道内の断面形状や傾斜角と採掘年代に相互関係があることが分かった。今回北海道今金町カニカン岳7合目に残存する坑道内を3次元レーザ測定することによって、断面形状や傾斜角等定量データを取得した。その結果、坑内は3つの形状に分かれていることが確認できた。この結果から本坑道は江戸から昭和にかけて3回開発が行われたと推論した。但し、全長が約7.7mと短いため、本格的な採鉱場でなかったと考えられる。

キーワード：3次元レーザスキャナ、坑道採掘方法、カニカン岳

1. はじめに

本研究では、鉱山遺跡の文化的価値を高めるため、坑道内や坑道が散在する周辺地表面の3次元レーザ測定を行うことで、採掘時の状況を定量的に再現してきた（久間2012）。この結果から坑道内の断面形状や傾斜角と採掘年代に相互関係があることが分かった。

本稿で調査対象とする鉱山遺跡は、北海道瀬棚郡今金町北部のカニカン岳（頂上標高980m）に位置している。カニカンはアイヌ語で「カニ（金）・カン（取る）・ヌプリ（山）」に由来している。現在、図1に示す様に坑口が確認できる坑道は7合目（標高約770m）付近の1カ所である。今回、坑道跡内部の3次元レーザ測定を行い、採掘方法や採掘年代の推定を行う。更に、周辺地表面の測定も実施して相互関係を検討する。



図1 カニカン岳7合目付近 坑口

2. カニカン岳鉱山遺跡に関する資料

カニカン岳鉱山遺跡に関する文献は少ない。その中で坑道群に関する詳細な文献は、第1に北海道庁第二部地理課が明治24年（1891）に発行した「北海道鉱床調査報文」がある（北海道庁第二部地理課1891）。上記報告書には、「利別砂金地質略図」という付図が添付されており、この図中にカニカン岳山頂東側に「旧坑」の印が4カ所ある。これが今回調査対象としている「7合目付近」の坑道と推察される。明治期には7合目に複数個の坑道が確認できたことを示唆している。また本文224ページには、下記の様なカニカン岳（蟹寒）坑道群に関する記述がある。下記文は原文を筆者が現代語に翻刻して要約したものである。

- (1-1) 昔、蟹寒山腹には試掘坑が数十あった。
- (1-2) 坑内では熟練坑夫による鑿跡を発見した。
- (1-3) 主要な鉱脈の厚さ（幅）は1尺（約30cm）から1尺5寸（約45cm）である。
- (1-4) その方向は南60°～70°西。
傾斜は60°～80°南。
- (1-5) 坑口は海面から約650mにある。
- (1-6) 坑道は最も深いものが30間（約55m）、
浅いものが1,2間（約1.8～3.6m）。

第2は、昭和11年（1936）北海道工業試験場報告「北海道有用鉱産物調査（第九報）」である（北

* 九州大学総合博物館 The Kyushu University Museum

海道工業試験場報告 1936)。本報告書には、図2に示すように、坑口写真が「カニカン岳の松前藩時代の舊（旧）坑」と記載されている。下記文は、カニカン岳採掘に関する原文を筆者が現代語に翻刻して要約したものである。

(2-1) カニカン鉱山の変遷は、口伝えで極めて古いと伝わっている。しかし現在は稼働していない。

(2-2) 鉱主は転々と変わった。しかし松前藩時代、安永年間（1770 年頃）に美利河砂金の採取とほぼ同時に採金事業を計画し実行した。

(2-3) 当時の坑道は図2を参照。また原始的製錬の石臼等は山中に埋没している。これらから採掘時の状況を伺い知らなければならない。

(2-4) 鉱床は、利別川上流カニカン岳の7合目に位置している。同川の支流茶屋川付近の地域に採掘の中心がある。茶屋川の斜面に多数の小坑道を認めた。

(2-5) 地質（鉱脈）は、カニカン山頂部で北15°～20°東の走向をもって分布している。



図2 カニカン岳の松前藩時代の舊（旧）坑
（北海道有用鉱産物調査（第九報）より転載）

3. 中世以降の代表的な鉱山の採掘変遷

中世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（井澤 2013）。地表採掘とは岩石や鉱脈の一部が地表に現れている「露頭」部を目安に採掘する手法である。これを「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

のみを採掘した。更に、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。坑内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「坑道掘」と呼ぶ。但し、地中内の採掘距離が約30m以上になると坑道採掘の技術や道具以外に坑内排水、通気坑（煙貫）等、付加的な技術が必要となる。

3.1 露頭掘

3.1.1 竪穴掘

鉱山開発初期は、地表面から確認できる鉱脈を見安に採掘する露頭掘が主流である。文献（井澤 2013）調査および3次元レーザ測定（久間 2012）の結果から露頭掘を3つに分類した。第1は図3に示すように、地表に露出した鉱脈をすり鉢状に採掘する「竪穴掘」である。代表的な例として新潟県佐渡金銀山内鶴子銀山の「百枚平」がある。鶴子銀山は「佐渡年代記」（佐渡市教育委員会 2010）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。図4に百枚平の32番露頭掘跡の画像を示す。3次元レーザ測定結果から、深さ約4m、幅約24m、産鉱量約161 m³であった。

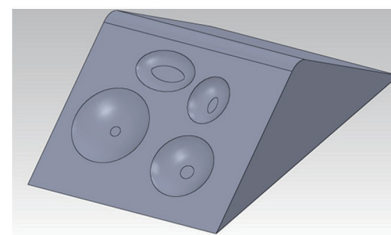


図3「竪穴掘」イメージ図



図4 佐渡金銀山 鶴子銀山「百枚平」画像

3.1.2 壁面掘

第2は、鉱脈が山腹を覆うように露出している

場合には、図5(a)(b)に示すように「壁面掘」採掘を行う。地表に露出している露頭の規模や山の勾配によって1段掘から複数に分けて階段状に採掘する場合がある。壁面1段掘の代表例は兵庫県多田銀銅山銀山区の小瓢箪間歩上部にある。図6に採掘跡の画像を示す。約7mの高さまで壁状に採掘されている。

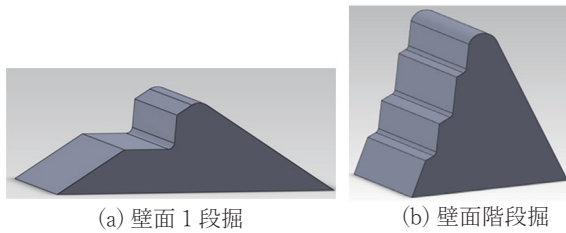


図5「壁面掘」イメージ図



図6 露頭掘「壁面掘」画像

3.1.3 溝掘

第3は、図7(a)に示すような地表に露出した鉱脈を溝状に採掘する「溝掘」である。また図7(b)の様に「壁面掘」後に「溝掘」を行った方法もある。図8(a)に示すように全国で最も有名な「溝掘」は1601年から採掘が開始された新潟県佐渡金銀山「道遊の割戸」である。山頂まで高さが約74m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。また図8(b)に示すように兵庫県生野銀山「慶寿鍾」付近でも確認されている。

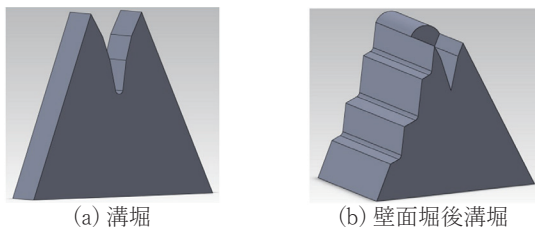


図7 露頭掘「溝掘」イメージ図

3.2 坑道掘

第1は、図9(a)(b)に示す様な、鉱脈を追って

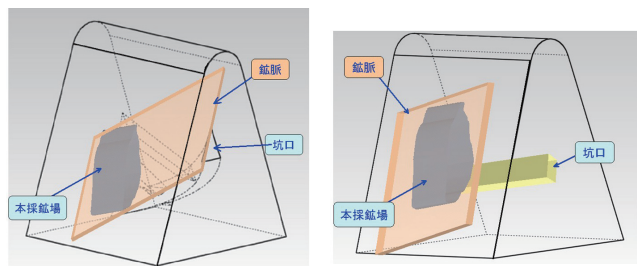


図8 鉱山遺跡 溝掘跡

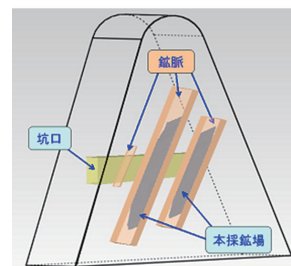
地中を不規則に掘り進む「鍾追」掘である。図9(a)は露頭掘の溝掘跡底部を再開発して採掘する場合がある。この場合、採掘勾配は急峻となる。また図9(b)のように山肌に露出した鉱脈の筋の一部から掘り進み地中内の富鉱帯を採掘する場合もある。この場合、採掘勾配は概ね平坦となる。

第2は図9(c)に示す様な鉱脈に向かって垂直に掘り進む、横相（立入坑道）である。16世紀末頃から行われていた技術である。石見銀山での横相採鉱の始まりは慶長5年（1600）頃であったと「銀山温泉津御納所之定」に記載されている（仲野2009）。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（仲野2009）。

また、これまでの調査により図10に示すように、近世以降の坑道掘断面形状に関しては三角



(a) 露頭掘跡を利用した「鍾追」掘 (b) 地表から採掘した「鍾追」掘



(c) 横相（立入坑道）

図9 坑道掘イメージ図

型、かまぼこ型、矩形型の3種類に分類されると考えている（島根県教育委員会 1999）。しかしながら、地中を採掘して富鉱脈に達すると鉱脈を全て採掘する必要がある。そのため断面形状は、図11に示すように「不定型」か「かまぼこ延び型」と複雑な形状に分類される。但し、高さ方向の採掘が長くなると、坑道の崩落を防止するために、図12に示すように「鉱柱」と呼ばれる鉱脈を故意に掘り残して坑内の崩落を防止する。

坑道の採掘年代を推論する場合、「断面形状」

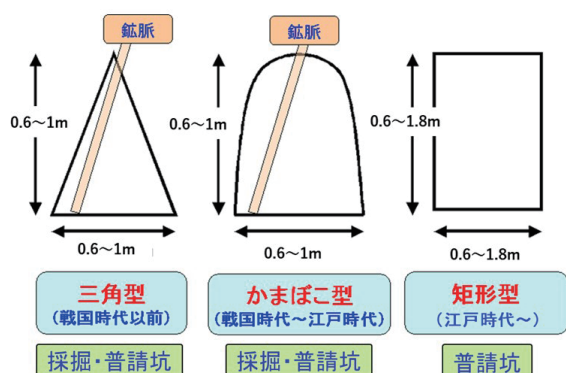


図10 近世の時代毎の代表的な坑道断面

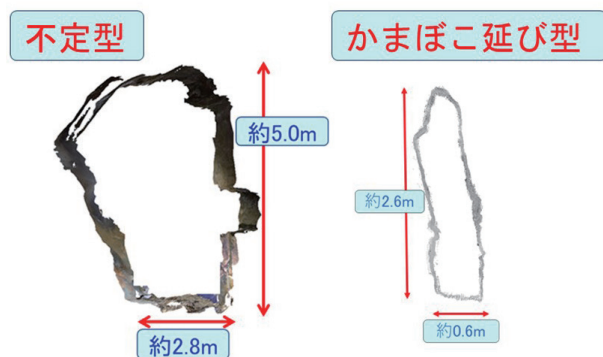


図11 富鉱脈採掘時の坑道断面



図12 富鉱脈採掘時の鉱柱

と「勾配」が重要な要素になると考えている。上述したように坑内勾配は概ね「斜坑」と「水平坑」の2種類である。開発初期の坑道掘は、鉱脈を追って地中を採掘するため斜坑となる。このとき断面形状は概ね「三角型」と「かまぼこ型」となる。この形状となる理由は、鉱夫が鉱脈を剥ぎ取るように地中内採掘するため、鉱脈以外の掘削を最小限にした結果であると考えている。近世以降、通洞坑・水抜坑・煙貫・試掘坑等の普請坑は、旧坑を再利用する場合が多数である。しかし新設する場合、掘削する際の搬入効率等を考え「水平坑」となり、断面形状は「矩形型」である。これは鉱主が鉱夫の1日の掘削量を把握しやすいために考えている。

4. 測定方法

これまで本研究では鉱山遺跡の坑道形状やその周辺地形測定のために、図13に示すような、全方位測定が可能なFocus3D（FARO製）等の3次元レーザスキャナを使用していた（久間2020,2021）。但し、これらの測定機は静止して測定する必要がある。そのため、広範囲の地表面や坑道内を測定する際には、数十カ所で取得したデータをパソコン上で特徴点を抽出しながら重ね合わせる作業が必要となる。また測定対象地表面には、事前に重ね合わせの際に特徴点となる基準球を数十個配置する必要がある。これにより鉱山遺跡の3次元レーザ測定には、事前事後作業に時間を要していた。



図13 据え置き型3次元レーザスキャナ

メーカー名	FARO
機種名	Laser Scanner Focus3D
測定距離	0.6～120m
取得点群数	約4300万点
スキャン範囲	垂直方向:305deg 水平方向:360deg
測定精度	25mに対して±2mm
概形	240×200×100[mm]
重量	5kg

しかしながら、上記手法では、測定機材が多くなる。このため荷物の輸送が困難な標高の高い場所や、静止測定位置確保に時間を要する場所では、測定が不可能となる。これを解決する一つの

手段として、測定・編集・解析作業等にかかる時間を軽減できる、情報端末に搭載されている3次元レーザスキャナ機能を使用した。今回は、情報端末として図14に示すApple製の「iPad Pro（第3世代）」や「iPhone13Pro」を使用することとした。本機は、3次元スキャナ専用機ではない。しかしながら端末にインストールされた測定・解析ソフトを起動させることにより対象物をスキャンできる。取得した3次元点群データにカメラで取得した画像データを合成してカラー3次元形状データを作成することができる。広範囲を測定する場合は、本機を移動しながらスキャンする。表1に公開されている仕様を示す。3次元レーザ測定を行う場合のアプリケーションソフトは、図14に示す様なフリーソフトの「Scaniverse」を使用した。本ソフトは、ネット回線未接続状態でも短時間に3次元モデル作成が可能である。取得したデータの編集・解析には、図14に示す様なパソコン上で動作するフリーソフトの「CloudCompare」を用いた。



図14 使用する情報端末と測定・編集・解析アプリ

表1 公開されているiPad & iPhoneの仕様

測定範囲	縦5m×横5m
深度	0.2～5m
点群数	576point (1照射)
重さ	iPad Pro:466g iPhone13 Pro:203g

5. 測定結果

坑内測定は、測定者自身が坑道内に進入して実施した。照明は、情報端末側面に小型LEDライト（AgoKud製VL49RG）を取り付けた。事前に色温度が5000Kになるようにスペクトロメータを用いて調整した。

図15にカニカン岳7合目坑内および周辺地形

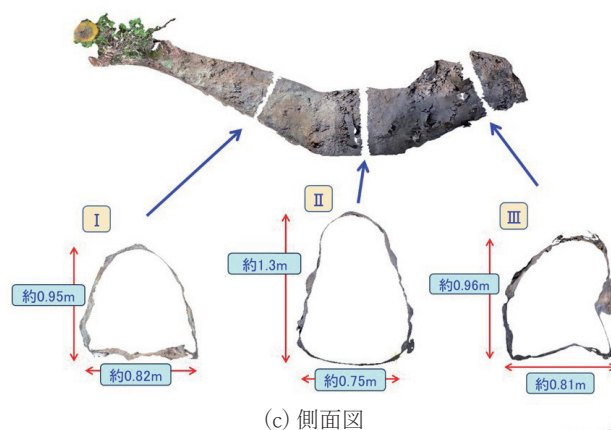
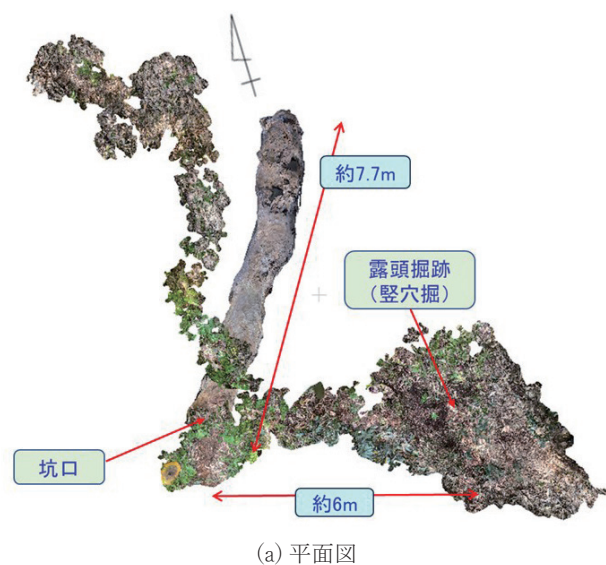


図15 3次元レーザ測定結果

の測定を行った結果を示す。(a)の平面図から採掘方向は北約30°東であった。採掘長さは約7.7mであった。また坑道内と並行して周辺地形を測定した結果、坑口右側約6mに露頭掘の竪穴掘跡を確認した。(b)の正面図から坑口が約24°の斜面に開坑されていることが分かる。(c)の側面図から、坑内は3つの傾斜角で採掘されていた。坑口から約3.5mは傾斜角約29°の下向き斜坑であった。その後、約1.5mは水平坑となる。先端部付近は、距離約2.7mの傾斜角約25°の上向き坑で有った。また平行して測定した地表面データから先端部と地表面との距離は約2.7mであった。先端部には、埋め戻しされた痕跡がなかった。また坑道内は横穴等が確認できなかった、このため本坑は地表部分と繋がっていない。(d)の断面図からⅠの下向き斜坑は「かまぼこ型」、Ⅱの水平坑は「だるま型」、Ⅲの上向き斜坑は「歪型」であった。測定結果から算出すると採掘体積約3.5 m³であった。

図16に坑道内の画像を示す。①②は坑口付近の様子である。狭小かまぼこ型であることが分かる。③から壁面が綺麗な状態であることが観察できる。④から底面に転石は確認できない。これは採掘時に整地したためと考えられる。また底部に傾斜があるため外部から進入した転石は内部へ転がったと考えられる。

⑤⑥の水平坑は、天井部が歪なことが観察できる。⑦の壁面の状態から下向き斜坑から水平坑に採掘が変遷したことが観察できる。⑧⑨は先端部の状態で埋め戻し等は行っていないことが確認できる。このためこの箇所では採掘が終了している。鉱山用語では「留」と呼ばれる。⑩より底面には採掘時のズリが多数散乱していた。天井部には岩脈が確認できた。また壁面も乱雑に採掘されていた。但し、削岩機等の痕跡は確認できなかった。

6. 考察

坑内から取得した定量・定性データを元に、表2に示すように、坑内形状を坑口から3つに分類した。特徴は傾斜がⅠ、Ⅱ、Ⅲで異なることである。

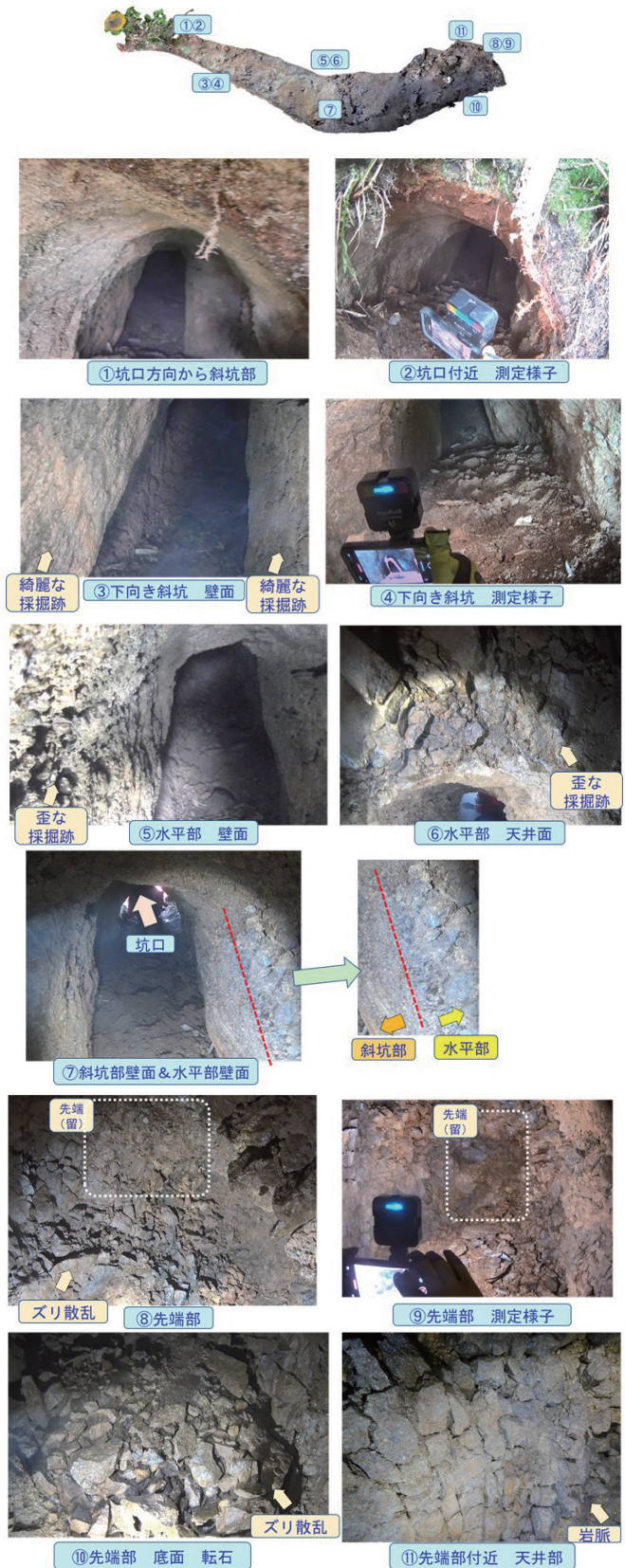


図16 坑道内画像データ

第4項で示したように、鉱脈を追って地中を掘り進む場合、開発初期は勾配が下向きとなる。本

坑道ではⅠの部分となる。また断面形状が「かまぼこ型」であることから江戸時代前期～中期に採掘された跡と考えられる。Ⅱの断面形状は、底面部分が大きい「だるま型」である。これは図10に示す「近世の時代毎の代表的な坑道断面」に該当しない。また壁面採掘跡が歪である。このことから明治期以降に再開発された「試掘坑」跡と考えられる。Ⅲの部分は、上向き採掘で断面形状が「歪型」である。また底部にズリ等が散乱している。このことから大正～昭和期に再開発された「試掘坑」跡と考えられる。

表2 坑道内の特徴

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
坑口からの距離	約3.5m	約3.5m～約5m	約5m～約7.7m
傾斜	下向き約3°	水平	上向き約3°
断面形状	かまぼこ型	底部が膨らんだ形	歪
壁面の状態	綺麗	歪	機械を用いて崩した
底面の状態	綺麗	転石少量散乱	掘削したズリが散乱

但し、坑道内に鉱脈は確認できなかった。また露頭掘の堅穴跡の底部にも鉱脈は確認できなかった。そのため、どのような意図でこの場所から地中へ掘り進む坑道掘を行ったのかは不明である。

次に、表3に示すように坑内から取得した定量データと「北海道鉱床調査報文（1891）」の数値データ記載箇所を比較した。その結果、全ての項目で異なっていた。このため、北海道鉱床調査報文（1891）は今回調査した坑道周辺とは別箇所のことを記載していると考察できる。

表3 北海道鉱床調査報文（1891）との比較

北海道鉱床調査報文(1891)	今回測定	比較
(1-3)鉱脈の幅は約30～45cm	未確認	×
(1-4)鉱脈方向は南60°～70° 西 傾斜は60°～80° 南	採掘方向:北約30° 東	×
(1-5)坑口は標高約650mにある	標高約770m	×
(1-6)坑道深は最も深いものが約55m 浅いものが約1.8～3.6m	深さ約7.7m	×

引き続き、表4に示すように坑内から取得した定量データと「北海道有用鉱産物調査（第九報）（1936）」の数値データ記載箇所を比較した。その結果、坑口の画像データは一致していた。更に鉱脈方向に関する記載も概ね一致していた。このため、北海道鉱床調査報文（1891）は今回調査した坑道周辺のことを記載していると考察できる。

表4 北海道有用鉱産物調査（1936）との比較

北海道有用鉱産物調査(第九報)(1936)	今回測定	比較
(2-3)当時の坑道は図2を参照	確認	○
(2-4)鉱床はカニカン岳の7合目に位置している	未確認	×
(2-5)鉱脈カニカン山頂部で北15°～20° 東	未確認 採掘方向:北約30° 東	△

「北海道有用鉱産物調査（第九報）（1936）」には、茶屋川付近の地域に採掘の中心がある。茶屋川の斜面に多数の小坑道を認めたと記載がある。表3に示すように、この部分の標高は「北海道鉱床調査報文（1891）」に記載している標高650mとも一致する。また周辺斜面であれば「南60°～70° 西」に向かった採掘も可能である。そのため、小坑道が多数ある位置は、標高650m付近の茶屋川上流の斜面と考えられる。

更に、図17で示す、坑道内から採取した転石を手ヘルト蛍光X線分析器で分析した。その結果、SiO₂＝約46%、Al₂O₃＝約11%、FeO＝約5%と一般的な花崗岩の値であったAu、Ag、Cuなどの鉱石成分は未検出であった。



図17 坑道から採取した転石

今回測定した坑道周辺には、図18に示すような、根曲がり竹等が生い茂っている「逆かまぼこ型」の掘削路地形が確認できる。これは人工的に掘削した跡と考えられる。しかしながら、周辺に明確な鉱脈は確認できなかった。そのため現段階では、図7に示すような地表に露出した鉱脈を溝状に採掘する露頭掘「溝掘」跡とは考えられない。図19に示すように、7合目付近の斜面底部の平地には、鉱山白が散在しているという報告がある。この情報から平地は、金鉱石を製錬した場所と考えることができる。このためこの掘削跡はこの7合目付近で採掘した鉱石を運搬するための通路や製錬の際に必要な水源確保のための水路と考えられる。



図 18 「逆かまぼこ」型掘削地形

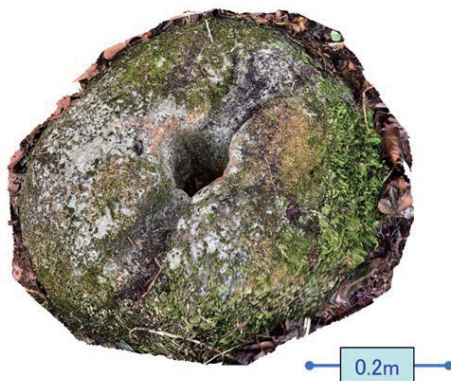


図 19 鉱山白（上白）3次元レーザスキャンデータ
（提供 矢原 史希 氏）

7. まとめ

今回、カニカン岳7合目に位置する坑道内の3次元レーザ測定を行った。得られた坑道内定量・定性データから、江戸から昭和にかけて3回開発が行われたと推論した。また周辺には小規模露頭掘（竪穴）跡や鉱石搬出の為の普請跡も確認できた。このため本坑道周辺が「北海道有用鉱産物調査（第九報）（1936）」に記載されている坑道であることは間違いない。また「北海道鉱床調査報文（1891）」の付図に記載されているカニカン岳頂上付近の旧坑と考えられる。しかしながら、坑道内に鉱脈を確認できなかったことや江戸時代採掘されたと推定される斜坑部の距離が約3.5mと短いことから、試掘坑として採掘された坑道跡と考える。

実際にカニカン岳7合目まで登山をして各部の測定を行った。その際、根曲がり竹等の影響で地表面を確認する作業は大変な労力を有した。そのためこれらを伐採しながら、茶屋川上流部の斜面に位置する小規模坑道等採掘跡の全容解明を行うことはほぼ不可能である。現在、今金町教育委員

会がCS立体図や赤色立体地図等、現場の地形を机上で確認できる新たな手法を用いて、茶屋川上流の平場周辺の調査に着手している。今後、本手法を用いてカニカン岳金鉱石採掘域が特定されることを期待している。

謝辞

坑道調査、各種カニカン岳採掘に関する資料等の提供に際してご協力を頂きました今金町教育委員会事務局主幹 宮本雅通氏、ピリカ旧石器文化館 矢原史希氏、今金町役場まちづくり推進課参事 寺崎康史氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 井澤英二 2013「～前近代における金銀鉱業の鉱山学～」『日本の金銀山遺跡』高志書院
- [2] 久間英樹・福岡久雄・廣瀬誠 2012「古代から近代にいたる鉱山坑道形状の変遷に関して」『日本鉱業史 研究会誌』第64号
- [3] 久間英樹 2020「第3章 3次元レーザ測定手法を用いた多田銀銅山民田地区A、B群の定量解析」猪名川町内遺跡文化財調査報告書10
- [4] 久間英樹 2021「～第7章 3次元レーザ測定手法を用いた多田銀銅山遺跡の定量解析調査～民田千軒地区F-2、G、H群、槻並万善地区、銀山地区～」猪名川町内遺跡文化財調査報告書11
- [5] 佐渡市教育委員会 2010『佐渡金銀山 鶴子銀山跡分析調査報告書』佐渡金銀山遺跡調査報告書第14集
- [6] 島根県教育委員会 1999『城跡調査・石造物調査・間歩調査編』石見銀山遺跡総合調査報告書第3冊
- [7] 仲野義文 2009『銀山社会の解明 近世石見銀山の経営と社会』清文堂
- [8] 北海道庁第二部地理課 1891『北海道鉱床調査報文』
- [9] 北海道工業試験場報告 1936『北海道有用鉱産物調査（第九報）』