

キルギス共和国アク・ベシム遺跡出土碑首三次元計測図

三次元（3D）計測による遺物の観察

近年、遺構や遺物など考古資料の記録方法として、三次元計測が行われる機会が増えている。上図には、キルギス共和国アク・ベシム遺跡で出土した石碑の一部で、碑首（碑文の頭部）の断片の計測図を示した。計測図とは下写真のように三次元計測（フォトグラメトリ：複数枚の写真画像を解析統合して計測する方法）で生成された3Dモデルを図化したものをいう。これにより展開図の作成や詳細な形状を記録するとともに、色情報を除いて形状を明確に可視化することで、より資料を捉えやすくすることができる。

上図右では、陽刻された文字（漢字）の一部が明確となり、碑額（碑首の文字が刻まれる範囲）の位置から「碑」の石偏であることが判明した。他にも同質の石材に漢字が刻まれた石碑の破片が4点発見されている。これらの石碑は「～の碑」として建立されたものであり、唐王朝の進出を直接示す資料として注目されている。



連続写真による三次元計測（フォトグラメトリ）：Agisoft社 Metashape

研 究
ノ ー ト

釜無川右岸における堤防の変遷

望 月 秀 和

はじめに

御座田遺跡は韮崎市龍岡町下条南割に所在する。同遺跡では令和元年より圃場整備に伴う発掘調査が実施されており、山梨文化財研究所は調査支援業務として発掘調査を実施している⁽¹⁾。

調査は水害を機に江戸時代に移転し廃村となった御座田村の村落・田畑の痕跡と、現行堤防の構築後治水の役目を終えていた堤防を対象に実施した⁽²⁾。本遺跡は釜無川の氾濫原に立地しており、北東は塩川との合流点にあたる。南西には30～40mの高低差のある龍岡台地の段丘崖が形成されている(図1)。堤防の存在は江戸時代の古絵図等にみられるが、釜無川・塩川・御勅使川の氾濫による開析と土砂の被覆、堤防自体の修築や改築により、その正確な位置や規模の同定は困難である。そこで、地形測量が行われた明治21年から現代までの地形図を比較し、どのような堤防の変遷が認められるのか、検証を試みた。

1 釜無川右岸の堤防

山梨県では、平成7年度から平成9年度(1995~1998)にかけて堤防・河岸遺跡の分布調査が実施された。その調査報告では河川法が定める「河川区域」の外側にあり、堤防としての構造が現地を確認できるものを「堤防遺跡」と定義して、95基を報告している⁽³⁾。このうち、御座田遺跡の南東端である釜無川右岸の御勅使川合流点から甘利沢川流点までの間には、7基の堤防遺跡と17基の堤防遺跡推定地⁽⁴⁾が示されている。韮崎市では河川域に位置する堤防についても地域の治水に関する重要な遺構として捉え、同地域では14基を周知の埋蔵文化財としている。(表1・図1)。堤防の変遷については、古宮二番堤調査報告において、空中写真から既存の堤防を取込み繋ぐかたちで連続堤(現行堤防)を構築していることを指摘した(図2)。この視点をもとに、次項では遺存する堤防及び現行堤防に内包された堤防の位置関係の把握を試みた。

2 地形図からみた堤防の変遷

御座田遺跡周辺の地形は、明治21年から平成27年までの地形図に記されている。このうち、釜無川流路および氾濫原の地形的変化がみられるA～Dの4時期の地形図に、堤防の位置を示してその変遷を示した(図3)。

表1 御座田遺跡周辺に分布する堤防

遺跡名	河川名	遺跡番号
古宮一番堤	釜無川	T-14
古宮二番堤	釜無川	T-15
阿寺沢一番堤	釜無川	T-16
出水一番堤	釜無川	T-17
清水久保一番堤	釜無川	T-18
清水久保二番堤	釜無川	T-19
清水久保三番堤	釜無川	T-20
道白島一番堤	釜無川	T-21
若尾新田東河原一番堤	釜無川	T-22
若尾新田東河原二番堤	釜無川	T-23
海老島一番堤	釜無川	T-25
海老島二番堤	釜無川	T-26
本滝一番堤	釜無川	T-27
本滝二番堤	釜無川	T-28
御座田一番堤	御勅使川	T-12
御座田二番堤	御勅使川	T-13
御座田三番堤	御勅使川	T-61
穂並一番堤	御勅使川	T-24

また、この時期に発生した水害による罹災状況を表2に示した。以下、4時期の地形図の比較から判読された堤防の変遷について記しておく。

A：明治21年(1888)

地形図として最も古く、釜無川の本流が塩川に近い位置を流れ、氾濫原中央付近に構築された堤防が示されている(T-20・22)。

T-14およびT-19は記載がなく、構築以前とわかる。T-17の出水一番堤の位置は、現在確認している堤防と同一なのか明確でなく、洪水による流失以前の姿、もしくは別の堤防の可能性など、検討の余地があるといえる。

T-27には2基の「出し」が記載されている。その他、改築・修築をしつつも、釜無川右岸の堤防はほぼ同じ位置のまま、堤防として遺存してきたことがわかる。

B：明治43年(1910)

5万分の1地形図であるが、堤防法面が石積みと土積みをつけて表記されており、古宮一番堤の発掘調査成果とも合致する部分が認められる⁽⁵⁾。

明治43年は県内各所で洪水による甚大な被害があった年にあたる。またその前段階の明治29年にも竜岡村若尾新田・下条南割等で破堤している。明治40年の水害等、洪水により堤防が流失したと考えられる⁽⁶⁾。

なお、古宮二番堤の屈曲部については、川裏側の南側

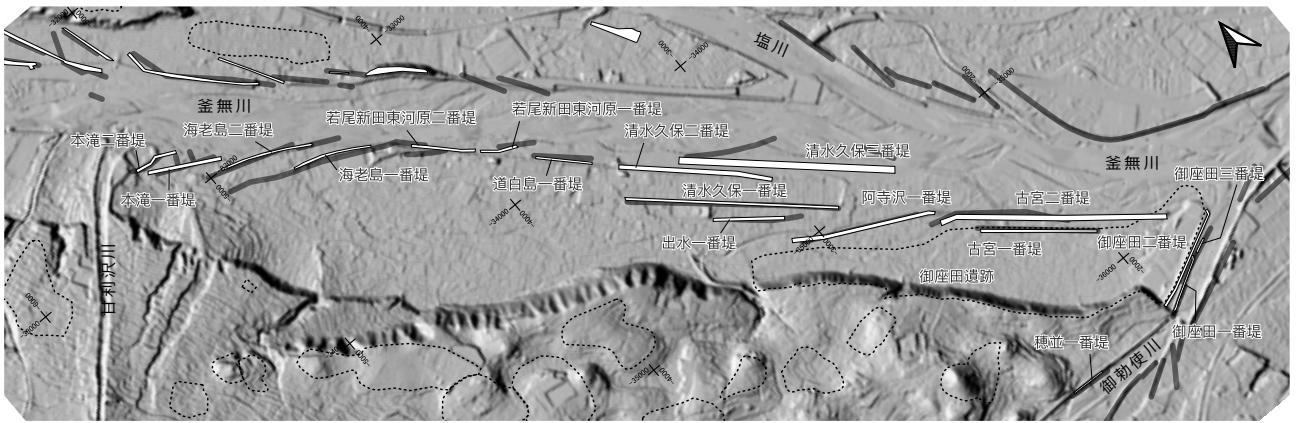


図1 釜無川右岸 堤防分布図

連続堤(現行堤防)構築以前 / 整理番号 MCB6210X-C9-7 撮影年月日 1962/05/14(昭和37年)



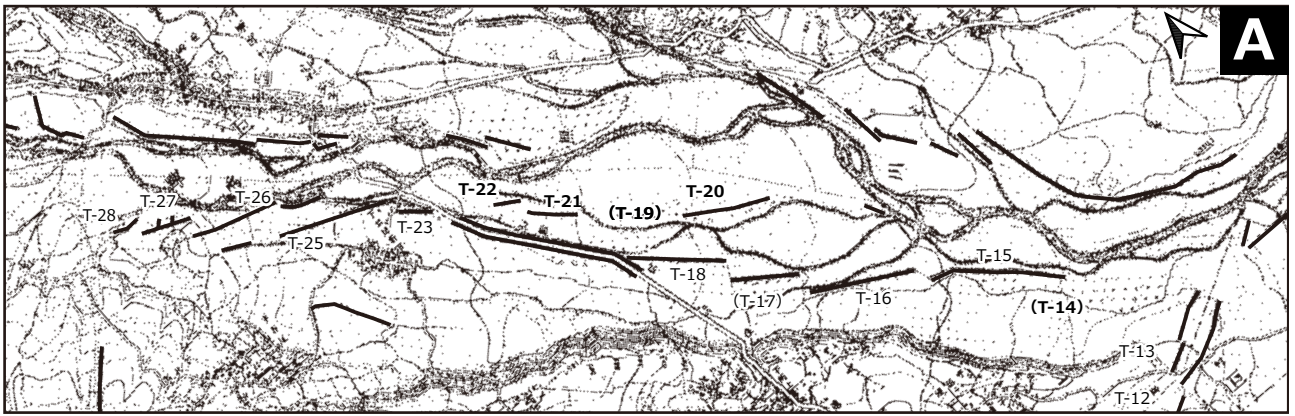
連続堤(現行堤防)構築以後 / 整理番号:CB708Y-C1-21 撮影年月日:1970/10/22(昭和45年)



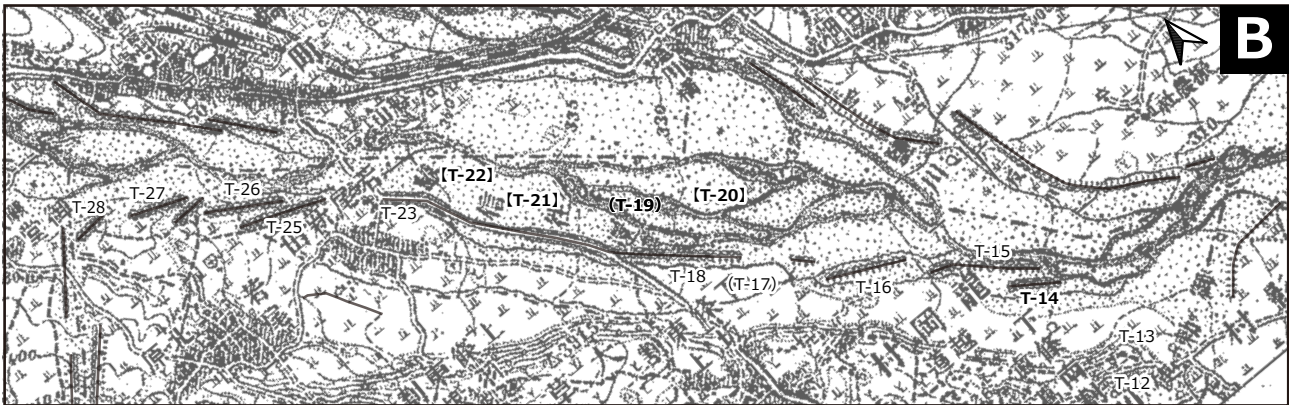
調査以前の状況(圃場整備前) / 整理番号:2 撮影年月日:1972/05/17(昭和47年)



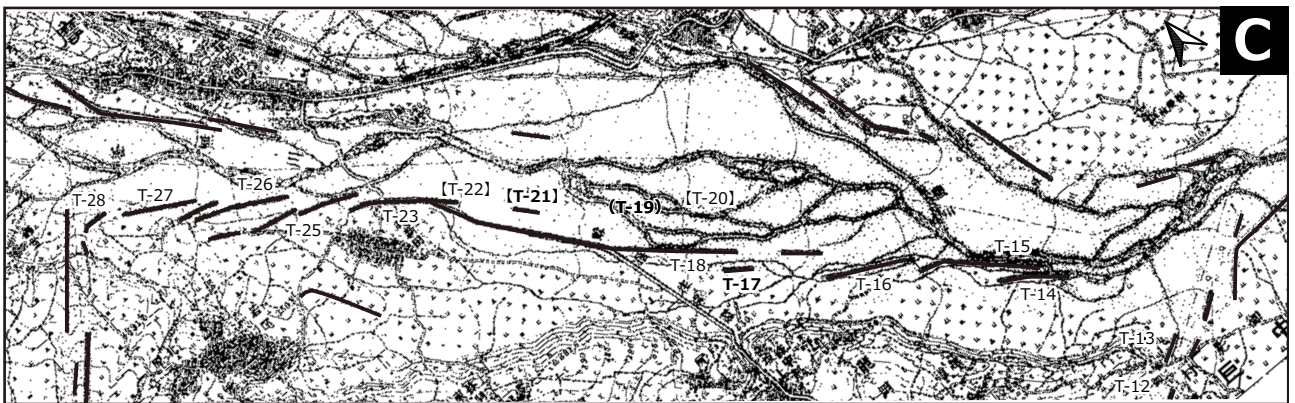
図2 空中写真による古宮二番堤の変遷



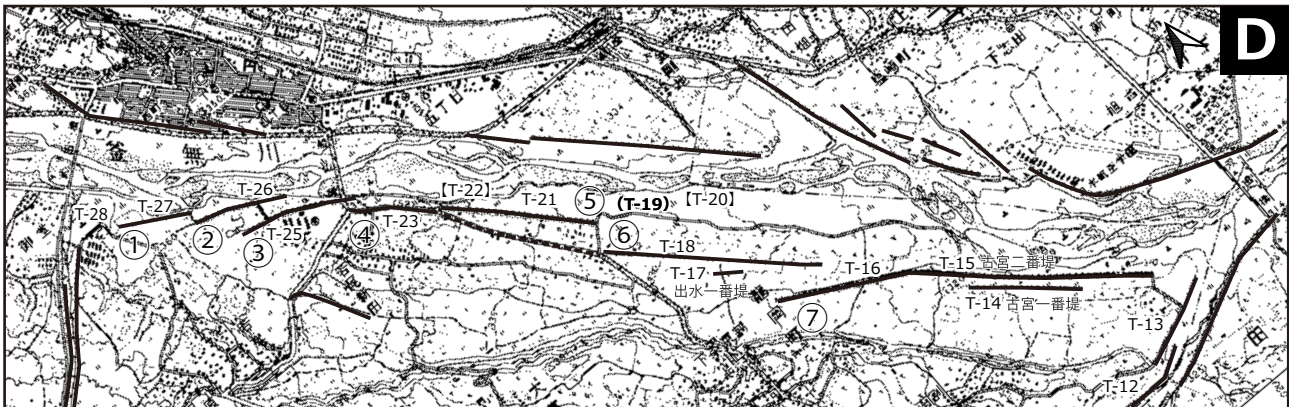
測量年：明治21年(1888) リスト番号：s2470[2万正式図]



測量年：明治43年(1910) リスト番号：84-10-1[5万地形図]



測量年：明治44年(1911) リスト番号：84-10-2-1[2.5万地形図]



測量年：昭和50年(1975)リスト番号：84-10-2-5[2.5万地形図]

堤防 ——— 上図は各地形図で堤防と表記した部分を黒線で強調し、表1に対応する堤防を遺跡番号(T-12~28)で示した。
遺跡番号に付した()は構築前段階、[]は流失または再構築された可能性を示す。堤防遺跡を取り込んだ釜無川右岸の現行堤防(測量時)は、①~⑦で示した。

図3 御座田遺跡周辺における堤防の変遷

まで石積みされていた状況が示されている。しかし発掘範囲においては川裏側まで石積みが巡った部分は確認されなかった。洪水で流失または石材の転用など、後世に改変された可能性がある。

C：明治44年（1910）

Bの翌年に測量された2.5万分の1地形図である。釜無右岸の堤防については、Bに記されている堤防の位置はCでもほぼ同じ位置に記されている。またBでは表記されていなかったT-17・20・21・22があることや、T-18の東側の延長上にある堤防が若干長く表記されている。推定の域は出ないが、洪水で罹災した堤防が残存が表記されているのかもしれない。なお、Bで記されていないT-17の出水一番堤については、Aが流失して規模が短くなったものとする一方で、Cでは水田と氾濫原の境に位置していることが地形図から判読でき、護岸施設であった可能性も窺える。この他、Aから記載されている駿信往還の表記に変化がみられることや、T-26・27の間にも堤防が判読できる。

D：昭和50年（1975）

すでに連続堤が構築されている時期の地形図で、現行堤防が整いつつ段階にあたる。まず、昭和42年（1967）測量の地形図で南端を延長した古宮二番堤が記されており、昭和45年（1970）の空撮写真には、T-15・16の堤防間が繋がった現行堤防の姿がみられる（図2中）。

昭和34年（1959）は県内各所で水害が発生し、葦崎市内は甚大な被害があった。またそれ以前も同地域では大正・昭和と堤防等の決壊や橋の流失等が発生している。

3 堤防変遷の経過と現行堤防の位置付け

以下、現行堤防が内包する堤防遺跡とその変遷を示す。

- ①：T-27であり、規模はほぼ変化なし。明治後半までに川表側の出し部分が流失したと推定する。
- ②：T-26にあたる。明治43年以降規模にほぼ変化なし。但し屈曲の方向が変化したようであり、一部修築か。
- ③：T-25で、明治と昭和前半に流失決壊、修築・延長か。
- ④：T-23を内包。船山橋西詰から南東に延びる堤防。護岸状になった駿信往還に接続する。
- ⑤：T-21,22を内包。明治期に罹災した後、改築延長し、駿信往還と④の接続部まで至る。
- ⑥：T-18が南東に延長し、西端は駿信往還に接続。明治期に北西から⑤⑥⑦の順で霞堤を形成している。
- ⑦：T-15,16を内包。古宮二番堤屈曲部と阿寺沢一番堤が接続し、南東端は御勅使川合流地点付近まで延長された。

表2 御座田遺跡周辺の水害罹災状況

発生年	西暦	発生月	発生原因	罹災状況
明治29年	1896	9	台風	更科堤防180間流失、江草村岩の下集落33人 竜岡村若尾新田、下條東割、下條南割堤破壊して耕地の荒地 免租21町歩余、再荒に帰るもの45町歩余
明治31年	1898	9	台風	円野村上井一番堤又々流失 更科村岩下 堤防決壊により家屋流失等 塩川筋常満堤防、舟山堤防決壊
明治39年	1906	7	梅雨	駒井村絵見堂で塩川堤防決壊、相違組30戸水がつく 駒井村共同墓地流失
明治40年	1907	8	台風	円野村五番堤決壊、小学校校舍流失 葦崎町舟山尻堤防全決壊 塩川筋 中田村不動堤防が決壊流失 御勅使川左岸旭村上条南割五番堤、高森堤決壊流失 大草村西割で、家屋流失町屋水田二町歩も河原となる 他
明治41年	1908		台風	激甚地は甲府以東 塩川堤防決壊
明治43年	1910	8	台風	塩川、セメントを使った中田不動堤防が70間決壊 葦崎町常満堤防決壊、塩川鉄橋西の線路決壊 葦崎町、本町を北・中・南の3部に区分 他
大正元年	1912	9	台風	葦崎町竜岡村立会船山橋西詰30間と、武田橋が流失 釜無川通り清哲村大字青木三番堤が50間、同一一番堤が10間流失 穴山村三ツ石堤の根固続存が流失
大正3年	1914	8	台風	舟山頭堤防30間、葦崎上宿二番堤60間決壊、祖母石村堤防150 間決壊田六町歩流失、穴山村上新田堤防300間決壊、人家一 戸、田6町歩流失、県道500間押堀 穴山橋西詰24間流失、円野一番堤流失徳島堰取水口埋没 他
大正7年	1918	9	台風	小武川右岸堤33間流失、葦崎町大明神三番堤130間決壊、船山 橋流失、御勅使川左岸旭村、大草村地内の堤防が決壊、田畑20 町歩流失
大正8年	1919	9	台風	小武川橋・桐の木橋流失、船山橋一部破壊、御勅使川堤防決壊
大正14年	1925	8	台風	釜無川通り武田橋、塩川通り塩川橋、三村橋などが流失 御勅使川筋旭村地内の堤防が約50間流失
昭和10年	1935	9	台風	塩川右岸常満堤決壊 塩川木橋全部、中央線塩川鉄橋、塩川橋流失 荒川も同様の罹災状況県は第一河川改良事務所を特設
昭和23年	1948	9	台風	穴山村次第塚上新田の堤防200m、円野村入戸野堤防170m、祖 母石堤防70m、清哲村青木一番堤55m、竜岡村若尾新田海老島 堤120mが決壊、武田橋西詰も流失 塩川筋中田村小田川不動坊堤が150m、藤井村駒井曲之手堤が 50m、三ツ石の蛇籠160m決壊
昭和33年	1958	9	狩野川台風	大武川橋上流、災害関連工事の査定
昭和34年	1959	8	7号台風	大々的に損壊流失、15号で仮堤防決壊、 大武川右岸堤防決壊、同時に100戸余吞まれる 石空川と大武川合流点「上の段」で浸水山津波のため流失

まとめ

地形図の解析から、御座田遺跡周辺においては現行堤防の形成に至るまでの堤防遺跡の変遷や、近代における堤防流失の時期と範囲などを判読することができた。今後は、駿信往還や古絵図に描かれた堤防の位置を同定と治水域についてや、微地形や水勢の解析から堤防を配置した意匠などについても検討を進めていきたい。

註

- (1) 調査主体は葦崎市教育委員会。弊所は調査支援業務として従事している。
- (2) 堤防の発掘調査は令和元年・二年度に古宮一番堤、令和三年度に古宮二番堤の発掘調査を行い、報告書を刊行している。葦崎市教育委員会・山梨文化財研究所2022『古宮一番堤』葦崎市教育委員会・山梨文化財研究所2023『古宮二番堤』なお、現在出水一番堤の発掘調査を実施（2023年10月から2024年3月予定）している。
- (3) 山梨県教育委員会1998山梨県堤防・河岸遺跡分布調査報告書
- (4) ここでの堤防推定地とは、註3の山梨県堤防・河岸遺跡分布調査報告書において示された明治21年の地形図に記載されている堤防をさす。
- (5) 古宮一番堤は、段階的に延長したと考えられ、堤防の南半分は馬踏・川表・川裏全面が石積み・石葺きされ、堤防内部も礫を積んだ部分が多くなるなど、構造の違いがみられた。
- (6) 表2の引用元は、菊島信清1981『釜無川の水害』および葦崎市誌編集委員会1978『葦崎市誌』上巻第5章水害である。

研 究 帝京大学文化財研究所所蔵サーサーン式銀貨の ノート 蛍光X線分析

竹 井 良

はじめに

サーサーン朝ペルシア（226-651年）は、イラン南部より興ったイラン人による王朝であり、約430年間にわたる統治のなかで、大量のコインが発行された。そのコインの多くが重量約4 gのドラクマ銀貨であり、この重量はイランの前王朝であるアルサケス朝パルティアの制度を踏襲したものであった（シルクロード学術センター，2003）。サーサーン朝ペルシアの銀貨は銀の純度の高さから信頼度が高かったため、サーサーン朝ペルシアの領土のみならず、その周辺地域でも広く用いられていた（岡野ほか，2003）。そのため、サーサーン朝ペルシアの銀貨は各地で出土事例があり、西は東地中海沿岸、東は中央アジアやアフガニスタン、そして中国でもみられる（岡野ほか，2003）。特にシルクロード交易において、サーサーン朝ペルシアの銀貨は高額決済手段として用いられており、当時の国際通貨として機能していたことも知られる（荒川，2010）。信頼度の高いサーサーン朝ペルシアの銀貨は常に模倣の対象になり続け、サーサーン朝の滅亡後も模倣貨が各地で発行されていた（岡野ほか，2003）。本報告にて取り上げるアラブ・サーサーン銀貨も数あるサーサーン朝ペルシアの銀貨の模倣貨の1つで、サーサーン朝ペルシアの滅亡後、イランを支配したイスラーム勢力が独自の貨幣制度を持っていなかったことから、サーサーン朝ペルシアの貨幣制度を踏襲して発行された貨幣として知られる（シルクロード学術センター，2003）。

銀貨を含む銀製品を対象とした科学的調査の多くは、蛍光X線分析（XRF）や粒子線励起X線分析（PIXE）など非破壊分析を中心に行われている。これまでのサーサーン朝ペルシアの銀貨を対象とした研究によって、銀貨の合金元素から鉱山の位置を推定できるほか、微量元素から材料となる鉱石の情報を特定できることが知られている（Nadooshan and Khazaiea, 2011; Mortazavi et al., 2018）。また、銀貨が持つ発行年代や発行場所の情報と紐づけることで、当時の経済的・政治的状況についても一定の情報を得ることができるという（Sodaiea et al., 2013）。

本報告では、帝京大学文化財研究所所蔵のサーサーン式銀貨を対象に可搬型蛍光X線分析装置を用いて、銀貨を構成する金属元素の調査を行った。

1. 対象資料

対象資料は帝京大学文化財研究所に所蔵されているサーサーン式の銀貨である。内訳はサーサーン朝ペルシアのフスラウ2世（在位590-628年）銀貨4点、アラブ・サーサーン銀貨2点である。資料の外観を図1に示す。

2. 使用装置と条件

分析には可搬型蛍光X線分析装置(Bruker Tracer5g)を使用し、非破壊で行った。分析モードはAlloy2モードを使用し、ロジウム管球の電圧を自動で40 kVと15 kVに切り替えて測定した。分析時間は40 kVで30秒、軽元素の分析のため15 kVについては50秒に設定した。その他条件として、フィラメント電流は自動設定、大気雰囲気、X線照射径は8 mmである。また、ファンダメンタルパラメーター法（以下、FP法）により簡易的ではあるが、各元素の半定量値を算出することが可能である。

3. 結果と考察

蛍光X線分析により得られた結果を元に、FP法によって算出した半定量結果から合金元素のみを抽出し、合金元素の合計が100%になるよう再計算した。これを表1に示す。

表1から、サーサーン朝のフスラウ2世銀貨は銀（Ag）の含有量が約96～99 mass%であり、銀の純度が高いといえる。一方、アラブ・サーサーン銀貨は約87～94 mass%と多くの銀が含まれているが、フスラウ2世銀貨と比較して銀の純度は低い。また、フスラウ2世銀貨、アラブ・サーサーン銀貨ともに銀貨を構成する金属元素として銅（Cu）、金（Au）、鉛（Pb）が含有している。銀貨に含まれる銀の含有量は、銀の精錬と抽出に用いられた冶金技術を示しているという（Mortazavi et al., 2018）。フスラウ2世銀貨は銀の含有量が約95 mass%以上という高い純度を示しているため、フスラウ2世治世下のサーサーン朝ペルシアでは高度な銀の精錬を行う技術とその精錬を管理できる環境が備わっていたといえる。一方、アラブ・サーサーン銀貨の銀の純度はフスラウ2世銀貨ほど高くないため、アラブ・サーサーン銀貨を発行したイスラーム勢力には、フスラウ2世治世下のサーサーン朝ペルシアほどの高度な銀の精錬技術を有していない、あるいは、銀の精錬を綿密に管理できる環境

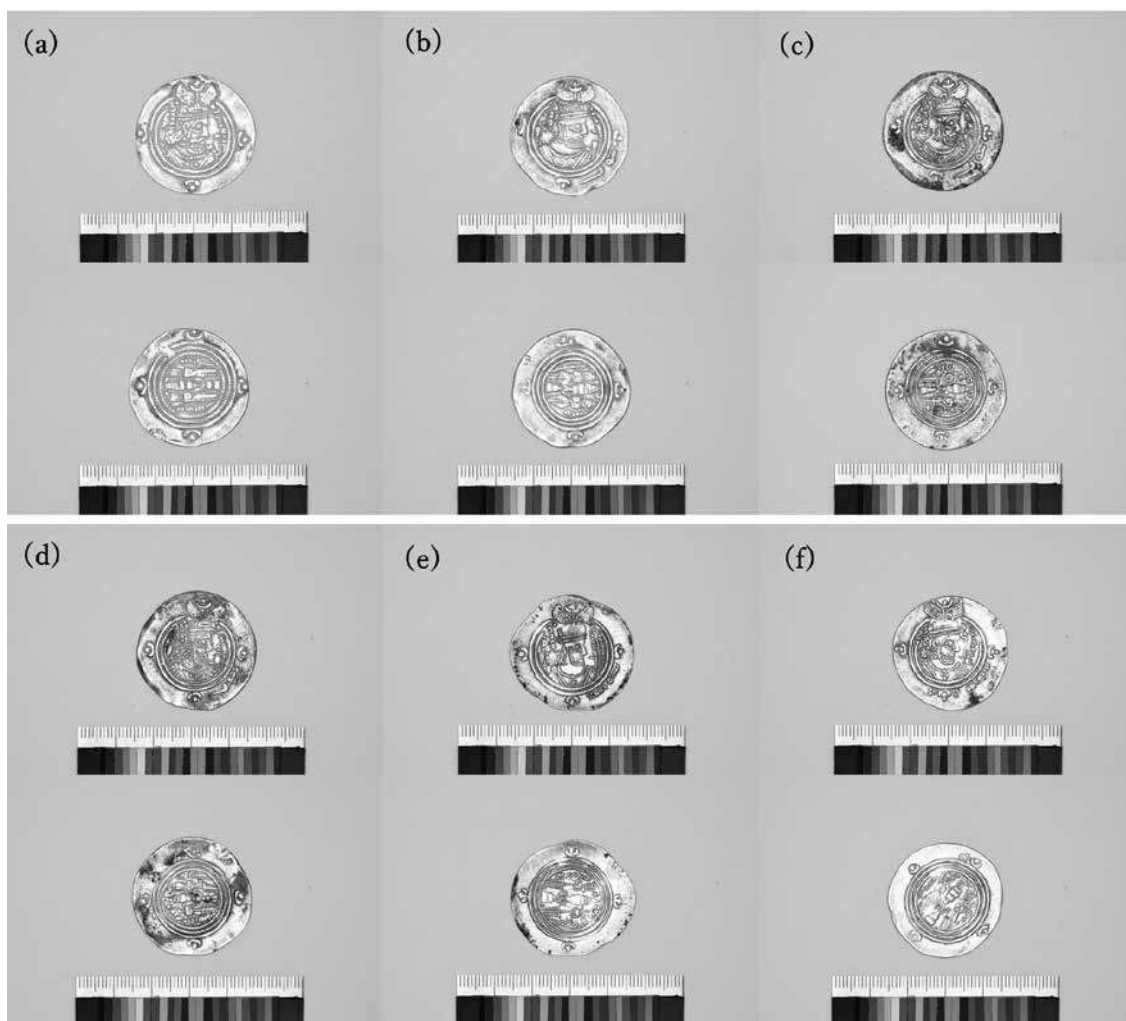


図1 対象資料の外観

(a)Coin No. 1 フスラウ2世, (b) Coin No. 2 フスラウ2世, (c) Coin No. 3 フスラウ2世,
(d) Coin No. 4 フスラウ2世, (e) Coin No. 5 アラブ・サーサーン, (f) Coin No. 6 アラブ・サーサーン

がなかったと考えられる。

表1から、金はフスラウ2世銀貨のCoin No. 1と3に約0.6 mass%ほど含まれているが、Coin No. 2と4にはみられない。アラブ・サーサーン銀貨では、対象資料すべてに金がみられ、その含有量は約0.6～0.7 mass%とフスラウ2世銀貨と近い値を示す。この結果は先行研究にて報告された、サーサーン朝ペルシアの銀貨に含まれる金の含有量と近い値を示している (Sodaeia et al., 2013)。これら銀貨に含まれる微量の金は、銀の原料となる鉛鋳石に含まれていたものと考えられる。古代における銀の精錬は灰吹法が一般的な手法であったことが知られている (Craddock, 2014)。灰吹法は原料となる鉛鋳石から銀を抽出することで純度を高めていくが、このとき鋳石中に含まれる金は、不純物として取り除かれずに銀とともに抽出されるという (Craddock, 2014)。つまり、金は灰吹法による影響を受けないため、銀貨に含まれる金は原料となった鉛鋳石の情報を反映していると考えられる。古代において銀の原料となった鉛鋳石には、方鉛鋳

(PbS) と方鉛鋳の二次鋳物である白鉛鋳 (PbCO_3) を一般的に利用していたとされる (Craddock, 2014)。また、先行研究では、方鉛鋳よりも白鉛鋳など炭酸塩鋳物のほうがより多くの金を含むと指摘されている (Meyers, 2004; Craddock, 2014)。よって、Coin No. 1、3、5、6の金を含有する銀貨には、白鉛鋳もしくは方鉛鋳以外の鋳石を利用していた可能性があり、Coin No. 2と4の銀貨には銀の材料として一般的であった方鉛鋳を利用していた可能性がある。

表1から、銅はフスラウ2世銀貨で約0.1～2.1 mass%、アラブ・サーサーン銀貨で約3.0～7.3 mass%と含有量に差がみられる。特にCoin No. 2～4は約0.1～0.2 mass%と極めて低いため、鋳石に含まれる微量元素としての銅であると考えられる。一方、Coin No. 1、5、6に含まれる銅は不純物としては多いため、意図的に添加された可能性がある。銀製の遺物には合金元素として銅が含まれることが多く、銀に銅を添加することで、銀の機械的性質を向上させることが知られている (Meyers

表1 蛍光X線分析より得られた銀貨の合金元素の半定量結果 (mass%)

Coin No.	分類	発行年代	重量 (g)	Cu	Ag	Au	Pb
1	フスラウ2世	590-628年	3.67	2.1	96.1	0.6	1.2
2	フスラウ2世	590-628年	4.00	0.2	99.0	0.0	0.8
3	フスラウ2世	590-628年	4.00	0.1	98.9	0.6	0.4
4	フスラウ2世	590-628年	4.07	0.1	99.6	0.0	0.3
5	アラブ・サーサーン	7c後半	3.89	7.3	86.6	0.6	5.4
6	アラブ・サーサーン	7c後半	4.07	3.0	94.4	0.7	2.0

and Harper, 1981; Scott, 1990)。しかし、含まれる銅の含有量のばらつきが大きいことから、銀の強度を向上させる目的より、使用する銀を減らしコストダウンをはかるねらいで銅が加えられたと考えられる。

表1から、鉛の含有量はフスラウ2世銀貨で約0.3～1.2 mass%、アラブ・サーサーン銀貨では約2.0～5.4%とアラブ・サーサーン銀貨のほうがより多くの鉛を含む。銀に含まれる微量の鉛は、灰吹法による銀の精錬があったことを示すと考えられている (Craddock, 2014)。そのため、Coin No. 2～4に含まれる鉛は銀の精錬工程において残留した鉛と考えられるが、Coin No. 1、5、6に含まれる鉛は、銀の微量元素として含有している鉛の量よりも多い。通常、灰吹法による精錬によって残留する鉛の量は少なくとも0.05%であり、一桁以上の含有は多いと考えられている (Craddock, 2014)。よって、これらの銀貨には意図的に鉛を添加していた可能性がある。鉛は銀に比べて安価で入手しやすい金属であることから、銅と同じく銀の使用量を減らしてコストダウンをはかるために添加されたと考えられる。

おわりに

帝京大学文化財研究所所蔵のサーサーン朝ペルシア銀貨とアラブ・サーサーン銀貨を対象に蛍光X線分析を行った。得られた結果は以下の通りである。

- ・銀の含有量はフスラウ2世銀貨で約96～99 mass%、アラブ・サーサーン銀貨では約87～94 mass%と銀の純度に違いがみられる。
- ・銀貨の銀の純度の違いから、サーサーン朝ペルシアがイスラーム勢力より高い銀の精錬技術を持ち、高度な精錬を行える環境を有していた可能性がある。
- ・Coin No. 1のフスラウ2世銀貨とCoin No. 5,6のアラブ・サーサーン銀貨には銅と鉛を意図的に添加していたと考えられる。
- ・銀貨に含まれる微量元素の金から、Coin No. 1、3、5、

6は白鉛鉱や方鉛鉱以外の鉛鉱石、Coin No. 2と4は方鉛鉱を材料として利用していた可能性がある。

【引用文献】

- 荒川正晴, 2010, ユーラシアの交通・交易と唐帝国. 名古屋大学出版会. 30-531.
- 岡野智彦, 山内和也, 足立拓朗, 須藤寛史編, 2003, サーサーン朝ペルシアのコインー王の肖像が語る歴史と文化ー. 中近東文化センター, 7-12.
- シルクロード学術センター編, 2003, 新疆出土のサーサーン式銀貨ー新疆ウイグル自治区博物館蔵のサーサーン式銀貨ー. シルクロード学術研究, 19, 1-15.
- Craddock, P., 2014, Production of Silver across the Ancient World. *ISIJ international*, 54, 5, 1085-1092.
- Meyers, P., and Harper, P., 1981, Silver vessels of the Sasanian period. Vol I the Royal Imagery. Metropolitan Museum of Art New York, 143-164.
- Mortazavi, M., Naghavi, S., Khanjari, R., and Agha-Aligol, D., 2018, Metallurgical study on some Sasanian silver coins in Sistan Museum. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10, 1831-1840.
- Nadooshan, F. K., and Khazaiea, M., 2011, Probable Sources and Refining Technology of Parthian and Sasanian Silver Coins. *Interdisciplinaria Archaeologica natural sciences in archaeology*, 2, 2, 101-107.
- Scott, D. A., 1990, A technical and analytical study of two silver plates in the collection of the J. Paul Getty Museum. *The J Paul Getty Museum Journal*, 18, 33-52.
- Sodaie, B., Hajivaliei, M., Nadooshan, F., 2013, Possible sources for extraction of silver by comparison of Parthian and Sasanian coins in mede satraps. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13, 1, 161-170.

研 究
ノート

考古学調査研究における三次元計測

望 月 秀 和

はじめに

近年、考古学において三次元計測が利用される機会の増加は、技術・機器の発展と、調査研究における本技術の普及と活用の根幹を培ってきた方々による賜物といえる。筆者の取り組みもその枝先の一葉と考えているが、未だ沼のなかで試行錯誤を繰り返している状況にある。

そこで本稿は、筆者が認識する三次元計測の利点や難点、計測の事例と発掘調査におけるワークフローを示すことにより、情報の共有を図ることを目的としている。そして筆者の誤認識や理解不足している部分に対しては叱正を頂戴して改め、また三次元計測を利活用する新たな枝葉を増やす契機になればと考えている。

1 三次元計測を実施する理由

考古学の調査研究において三次元計測を利用する主な利点と難点を、筆者は次のように考えている。

- 利点1 高精度で再現性の高い情報が取得できる
- 利点2 計測にかかる時間・労力が少ない
- 利点3 実測者の熟練度に頼らない計測成果が得られる
- 利点4 計測した情報は様々な状態で可視化できる
- 難点1 機材、解析プログラムの導入が必要なこと
- 難点2 正しく計測するには、撮影の方法と解析プログラムを理解・習得する必要があること
- 難点3 計測に向かない対象があること

発掘調査において検出する遺構や遺物のほとんどは、立体的な形状を呈す。筆者はその情報を適正に最大限取得する記録の手段として、三次元計測を実施している。計測の精度に関しては、従来通りの二次元の平面図、断面図の記録も、トータルステーションを使用することで正確にxyzの座標を記録することが可能である。しかし二次元図としての計測では、調査者または計測者に判断された遺構・遺物の凹凸した形状や土層の境目などの「特徴点」を計測する。そして計測点と計測点の間を、実測者の主観で線を繋げて補完することで記録図がつけられる。つまり特徴点以外は最初から計測の対象にならず、未計測（白抜き表示）として記録されるのである。

一方、三次元計測による記録では、連続写真を解析することで、対象の表面を網羅的に計測するものである。つまり、何も取捨選択しない情報を記録することができる。しかも実質的な座標の計測作業は、設置した対空標識（対標・target）の数だけになることから、計測者の

熟練度に頼らず、誰でも高精細な計測が可能となる。特徴の観察については、生成した計測図に含まれているため、所見とともに線を加筆することも可能である。実際、計測に要する時間や労力は減少し、その分、観察や詳細な検討を行う時間に費やせるため、大変有益である。

では、三次元計測の難点は何か。おそらくは計測に至る環境を整備することで、機材と解析ソフトの導入が最初の壁となっている。しかしながら、フォトグラメトリに用いる機器に関しては、近年は計測・処理ともにパーソナル・コンピューターでも可能となってきた。高スペックのPCやワークステーションの需要があることには変わりないが、さらに実質無償で利用できる解析ソフトのリリースの予定されており、以前より利用しやすい環境が整ってきている⁽²⁾。むしろ今日においては、三次元計測の活用不足の原因は、難点2・3にあげた計測に関する労力や成果にあるように思う。実質一度しかできない発掘調査に携わる者としては、慣れない手法をとった故に記録に欠落や不備が発生することへの畏怖は十分に理解できる。しかし、フォトグラメトリによる計測は、通常調査で実施している写真撮影の知識を基礎に、対標を設定した対象を6～7割ほど画角を重複させて余すことなく撮影することがメインとなる。

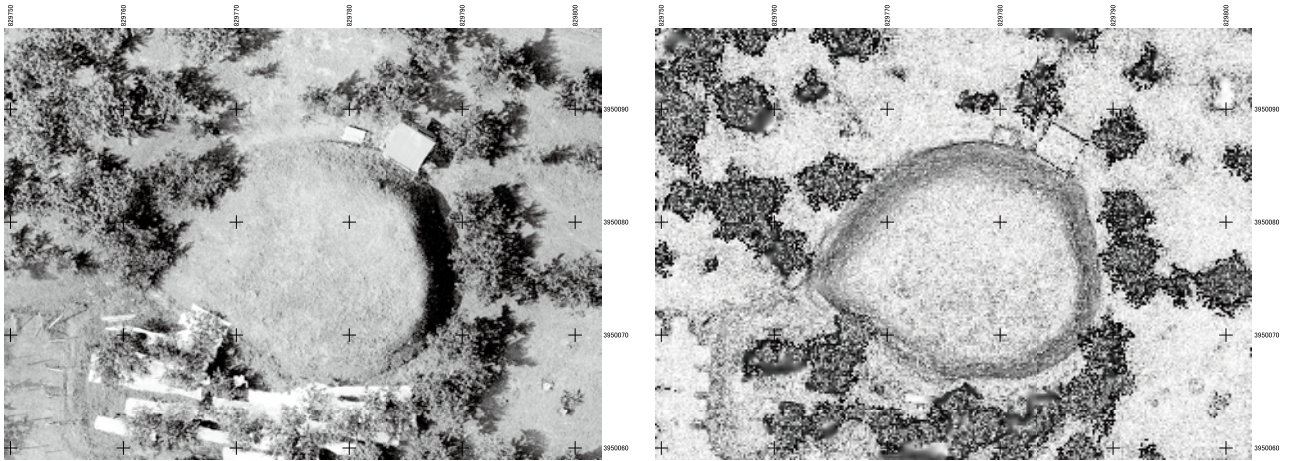
現段階では三次元計測の対象としては光沢や透明、凹凸のない単一色で反射するようなもの（黒曜石・水晶・ガラス等）は適していない。また陰影が強く出てしまう時間帯や狭小で光の届かないところ（柱穴や幅の狭いトレンチなど）も解析が難しい場合がある。後者については対応策として撮影の時間帯を変えたり、暗幕や照明機器の利用など撮影の方法において工夫を講じたりもしている。その他は従来どおり二次元での記録作業で対処しながら、技術の進展を期待しているところである。

2 事例紹介と三次元計測の適性

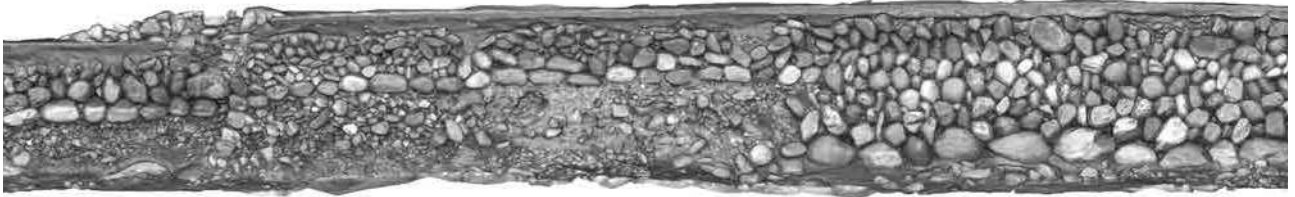
これまで弊所で実施した三次元計測のうち、図1にあげた計測対象や計測の目的の異なるA～Eを紹介する⁽³⁾。

A：遺構全景の平面図－亀甲塚古墳全体図

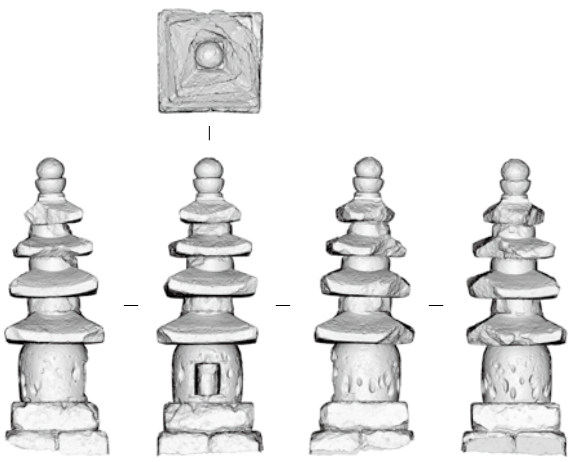
ドローンで撮影し、解析によりオルソ画像とDEM（Digital Elevation Model）を生成し、QGISで座標グリッドを表示した。右図の傾斜図もQGISで生成した図で、墳丘の形状を把握しやすい視覚効果がある。また生成したDEMからは、標高線を出力することも可能となる。



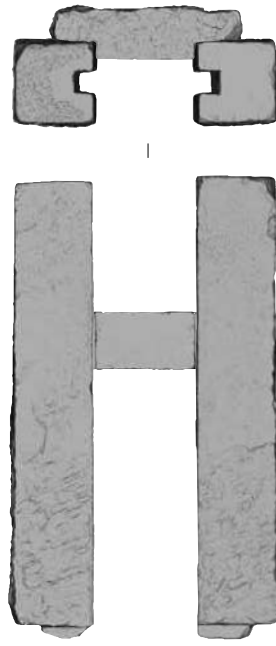
A: 笛吹市・亀甲塚古墳 (左: オルソ画像、右: 傾斜図)



B: 韮崎市・出水一番堤 川表法面計測図 (側面図)



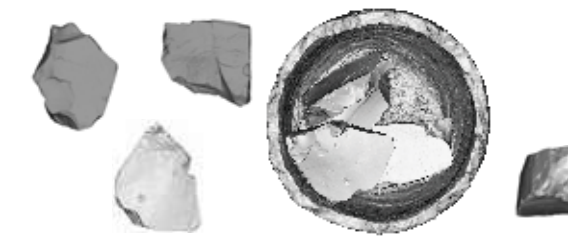
C: 浅利与一層塔付五輪塔



取り上げ前の水路水門の石材

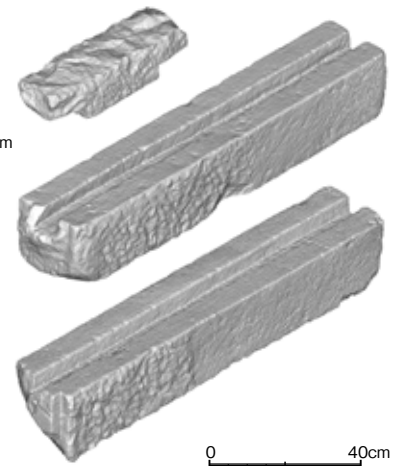


CloudCompare での資料観察



D: 山梨市・金林遺跡 SI3 埋甕 4 (黒曜石埋納土器)

0 10cm



E: 韮崎市・古宮一番堤 水路水門の石材

図1 三次元計測の実例

B：遺構側面図－出水一番堤川表側石積み側面図

一眼レフで撮影。フォトグラメトリはその場の状態を切り取るように短時間で記録できる。砂礫層の断面など時間とともに変化が進んでしまうものに適している。

C：モニュメント－浅利与一層塔付五輪塔展開図

コンパクトデジタルカメラと撮影ロッドを使用。移動できない対象物を計測した事例で、対標は地面に3点設置した。塔の裏側のスペースが狭く、リングライト不使用で撮影した。一部精度が低い部分はあるが、全体的に形状や構造、計測時の遺存状況を詳細に記録できた。

D：遺物（特殊遺物）－金林遺跡SI3埋甕4

ターンテーブルと一眼レフを使用。遺物の撮影時はカラーチャートを使用している。土器の中に埋納されていた黒曜石塊ごと計測した。計測に向かない黒曜石であるが、測はフルサイズの一眼レフで絞りを調整し、反射光が入らないように撮影した。また他の計測でも共通であるが、Rawからtiffを現像する際に、画像の調整を行う。この資料に関しては、黒曜石の表面が風化していたことも解析できた要因であろう。

E：重量物－古宮一番堤水文石材計測図

重量のある石材3点を計測し、フルモデル（デジタルツイン）を構築した。発掘報告書では展開図を掲載した。重量のある遺物をモデル化することで、各面の加工痕や断面形状などを容易に観察することができる。⁽⁴⁾

3 三次元計測による撮影記録のワークフロー

3.1実施経緯と使用する機材とコンピュータプログラム

弊所での三次元計測実施の契機は、2016年の帝京大学シルクロード学術調査団への参加であった。解析用のパソコンソフト（Agisoft社Metashape Professional：旧名Photoscan）を導入し、計測や解析の基礎を木口裕史氏にご教授していただいたことにはじまる。幸い当時から発掘調査で写真測量による記録を実施しており、撮影機材や撮影の方法を理解しやすい環境にあった。以下、三次元計測に使用する主な機材を挙げておく。

カメラ ・一眼レフ：Canon6D+広角レンズ

・コンパクトデジタルカメラ：RICOH G III

解析PC ・Teraga Workstation: Intel(R) Core(TM) i9-10920XCPU @ 3.50GHz 3.50 GHz 128 GB

・Macbook Pro: 2022 Apple M2、24GB

コンピュータプログラム：・Metashape Professional

2019年より事業用にアカウントを取得し、国内発掘調査業務で使用している。生成した三次元モデルやオルソ画像は、CloudCompareやQGISなどのフリーソフトを使用して図版化を行っている。

ドローン：DJI Mavic 3、DJI Air2S

ドローンは年々解像度の高い撮影が可能になってきた。但し、国内においては住宅密集地や線路・飛行場など、飛行が制限または禁止の区域もある。対処として遺構単位の計測では一眼レフカメラに吊り下げ用の治具を付けた6mのアルミポールや、コンパクトデジタルカメラを撮影用ロッド（Bi-Rod）に取り付け、スマートフォンとwi-fi/bluetooth接続してリモート撮影を行っている。特に平面図化には垂直方向から正対した連続撮影は肝心である。なお、三次元の解析には俯瞰した撮影が必要で、写真が足りない部分は信頼性が低くなる（図2右）。

3.2対標（対空標識・target）と座標について

Metashape Professionalでは、三次元計測の際に設置した対標に座標値を付与することで、計測したデータ（モデル）に位置情報またはスケールの付与が可能となる。

対標はMetashapeから出力される個別番号付きのものを使用する。⁽⁵⁾解析時に自動検出が可能となり、その対標名で計測した座標値もCSV形式にして読み込むことで、自動で入力される。作業効率的にも、入力ミスの防止する意味でも大変有益である。

なお対標を計測する際には、記録される値がどの座標系なのかを確認しておく必要がある。計測する機器によっては測定負担になるかもしれないが、筆者の場合、可能な限り国家座標で記録し、解析したデータをGISに

配置できるようにしている。

その他、計測した対標データの混乱を防ぐため、同じ調査では対標の使い回しおよび同じ番号の対標は使用しないことにしている。当然であるが、計測名は必ず対標の個別番号（target_個別番号）で記録し、CSV形式で書き出す際に_を半角スペースに置換して修正している。

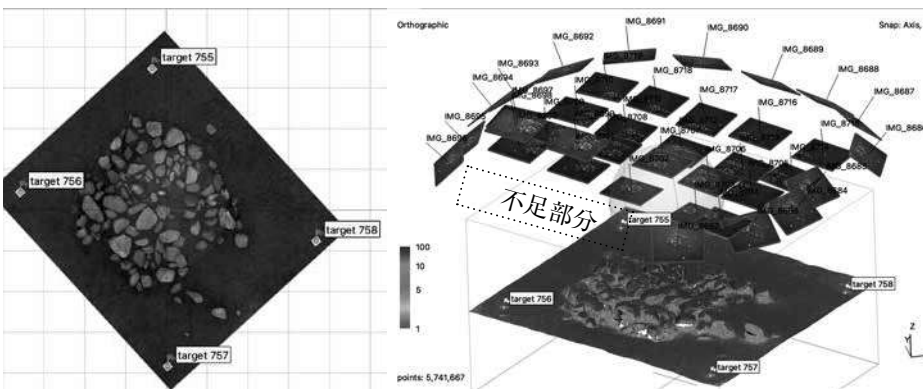


図2 遺構の三次元計測〔左：オルソモデル（テクスチャ）右：カメラ位置と点群の信頼性〕

3.3発掘調査における三次元計測のワークフロー

発掘調査工程の順に三次元計測の対象と目的を示す。

- 1) 調査前：可能であれば、調査直前の状況を記録する
- 2) 遺構検出段階：遺構確認面で遺構の遺存状態と分布数を把握し、調査の進め方を考える
- 3) 調査区壁面：遺構確認面までの堆積状況の記録
- 4) 調査工程上の記録：遺物出土状況、遺構埋没状況（半截・ベルト断面）、遺構内面（石組み井戸、地下室など）
- 5) 完掘状況：遺構単位（形状）、調査区全体

通常、現場においては①対標設置→②計測用撮影→③対標の座標計測の手順で実施する。対標の座標計測よりも撮影を優先するのは、遺構を検出した状況が変化しないうちに記録するためである。また対標の座標計測も撮影後すぐに実施し、対標の位置がズレて誤差が生じたり、外れて未計測になることを防ぐようにしている。

解析の主な手順としては、④取得データの処理（座標csv化、tiff現像）→⑤Metashapeでの解析・出力→⑥オルソ図化、モデルの活用（可視化）となる。

この計測作業自体は担当者のワンオペでも実施可能であるが、分業することでより効率的に記録を進めることができる。具体的には現場での準備（対標設置）、撮影・データ処理、対標の座標計測をそれぞれ分担して、次のようなワークフローで三次元計測を進めている。

- ① A [計測・補助者]：対標設置は個別番号を把握するため、専任で行う（1～2人）。
B [撮影者]：対標設置の間に写し込みや治具の取り付けなど撮影準備を行う。
- ② A：対標の座標計測の準備。
B：計測範囲の撮影、補備用の撮影を実施。
- ③ A：対標を個別番号の順に座標計測し、CSV化。
B：撮影データを処理（選別とTiff現像）。
- ④ AorB：Tiff画像と座標値を使い、Metashape解析。
- ⑤ AorB：オルソ・モデルをエクスポートして図化。
- ⑥ 担当者：計測図を基に、観察や解釈を加筆する。

今回、解析に関しては、頁の都合上あまり触れられないが、調査現場においては、解析の精度を「中」にすることで、計測図を生成・出力に時間をかけずに作ることが可能である。また同時に撮影したデータが不足していないか、確認する工程にもなっている。

弊所では写真測量と併用して実施してきた経緯から、対標を写真測量のポール撮影時の設定にしていることなど、いくつか独自の手法で三次元計測を試みてきた。対標を留める釘を黒塗り、同一範囲を段階的に計測する場合は対標を外さずに次の計測段階まで養生して残すこと

など、作業の効率化とともに、解析誤差の少ない記録になるよう試みている。特に調査区周辺には固定の対標を設置し、進捗状況の記録を可能な限り残すしている⁽⁶⁾。

一方、遺構の記録写真を撮影する際は、対標設置前もしくは対標を除去してから行う。個人的には対標が三次元計測したことを示すため、対標が遺構の特徴を隠さない限りは、共用しても良いのではと考えている。

この他、まだ実施には至っていないが、遺構や調査区の断面で土層を観察する際に、分層する前後でも計測を行うことを検討している。二度同じ面を計測する⁽⁷⁾ことになるが、遺構または遺跡の埋没過程を観察するために有効と考えている。

おわりに

発掘で発見されたカタチあるものを研究の対象にしてきた考古学で、三次元計測が利用されていくことは至極当然であり、今後も試行錯誤を続けながら可能な限り情報を共有していこうと考えている。また頂いたご叱正には真摯に受けて改善を図り、調査支援として取り組めるような体制の構築も検討していきたい。

註

- (1) 奈良文化財研究所、鹿児島国際大学、早稲田大学ほか、多くの方々のご尽力による。筆者の場合、三次元計測の習得は木口氏にはじまり、奈良文化財研究所の文化財方法論研究会のハンズオンなどに参加したことが契機となっている。参考資料としては、奈良文化財研究所が刊行した「文化財の壺」「デジタル技術による文化財情報の記録と利活用」のシリーズほか、情報源やハンズオンに参加している考古形態測定学研究会のオンラインサロン、動画投稿サイトなどから多くの情報を得ている。
- (2) 既に導入されている調査機関では、三次元計測による作業効率化や研究・活用の実例を挙げ、費用対効果を示して検討されている。なお、解析ソフトではReality Captureは2024年4月下旬より条件に適用せば無料になると公表されている。
- (3) 計測は弊所と帝京大学文化財研究所の事業で実施したもので、笛吹市教育委員会、中央市教育委員会、山梨市教育委員会等のご協力による。なおDについては、報告書刊行前段階のため、遺構および資料の名称は変更する可能性がある。
- (4) CloudCompareなどの点群処理ソフトを使用する。
- (5) Metashapeの「ツール→マーカー→マーカーのプリント」でパラメーターを入力するとPDFで出力される。弊所では耐水紙もしくはラミネート加工しているが、反射で認識されない場合もあり、注意されたい。
- (6) 調査の進捗状況の経時的記録は、調査後のフィードバックだけでなく、調査中も遺構の重複状況や分布を検討するために行っており、より効率的に調査を進めることが可能となる。
- (7) 分層の前後で計測する場合、分層前はセクションポイントとして断面ライン上と最下点など底面（平面）に対標を設置する。分層後の2回目は断面にも対標を設置し、1度目に設置した対標も含めて計測撮影する。断面の対標は図化の際、標高値を示す目安にもなる。

編集後記

三次元計測を含めたデジタル技術はまさに日進月歩である。技術が進展し、あらゆるものを計測して再現性の高い記録が容易に作成できるのも、それほど遠くないであろう。各所で実用が図られていくことを期待している。

最後に、私を三次元計測という沼にいられたいただいた木口裕史さんに、感謝と哀悼の意を表します。（H.M）