

12. 和束大杉の形象埴輪・須恵器提瓶の 三次元写真計測結果

仲林篤史・溝口泰久

1. 調査の概要と対象資料

本稿では和束町大杉古墳出土人物埴輪と人物埴輪付属大刀（以下、「大刀」）、同二本一古墳出土須恵器提瓶（以下、「提瓶」）の3点の資料調査に伴い実施した三次元写真計測の結果と、初村氏が実施した3Dスキャンのうち、光パターン照射式3Dスキャン（以下、「レーザースキャン」）による計測結果との比較を行う。

対象資料の概要を述べる。人物埴輪は、全体の上半部のあたる頭部から胴部が残存する。表面はハケ調整が施されている。頭頂部には装飾物が差し込まれていたとみられる円孔がある。これに付属する大刀は、木製刀装具を模していると考えられ、線刻文様から古墳時代中期後半に比定されている（小池1994）。大杉古墳は墳丘や主体部が確認されていないが、住宅建築に伴う開発の際に人物埴輪が出土したことから、出土地周辺に古墳が存在していたことが想定されている。須恵器提瓶は、（菱田ほか2021）で報告したため、ここでは省略する。

2. 計測方法

三次元写真計測とは、対象となる資料を全方位から撮影した写真を専用のソフトウェアで解析し、その三次元構造を復元する技術である。「SfM/MVS」(Structure-from-Motion/Multi-View Stereo) や「Photogrammetry」などと呼ばれるが、本稿では「SfM」とする。

考古学分野では、SfMソフトウェアは、一般にAgisoft社「Metashape」が知られる。他にも、Capturing Reality社「RealityCapture」そしてBentley社「Context Capture」などがある。遺跡発掘現場のトレンチ測量や、考古資料など有形文化財の計測など図化（オルソ画像の作成）などを目的に利用されることが多い。

3. 計測作業

2021年9月4日に溝口と吉永健人（4回生）が提瓶、小林楓（博士前期課程）と吉永が人物埴輪の計測を実施した。同11月3日に仲林と溝口が、人物埴輪と大刀の再計測を実施した。いずれの作業も、和束町史編さん室で実施した。

人物埴輪は同一資料を異なる日・機材で計測したため、別々に解析を行った。以下、9月4日実施分を「人物埴輪1」、11月3日実施分を「人物埴輪2」とする。なお、人物埴輪2では、ライトを用いた体部内の撮影を重点的に行ったため、結果的に撮影枚数が多くなった。

作業に用いた機材、各資料の撮影枚数、所要時間、解像度及びデータ形式は、表1に示した通りである。

4. 解析処理

撮影した画像データの解析には、Capturing Reality 社の「RealityCapture1.2.0」（以下、「RC」という。）を用いた。RCを使用したのは、考古資料の計測を目的とした利用が Metashape に比べてまだ少ないためである。RCでの解析処理設定は表2に示した通りである。

（1）Alignment（アラインメント）処理

Alignment 処理とは、撮影した画像から共通点を検出し、画像ごとのカメラ撮影位置と粗い点群を取得する工程である。以下は、RCでの設定項目である。これ以外の項目はデフォルトの設定を用いたが、人物埴輪1のみ、アラインメントの成功率をあげるため設定を変更している。

Image overlap 撮影した画像の中に対象物がどの程度オーバーラップしているかを事前に指定しておく項目である。

Max features per image/mpx 画像から検出する特徴点の上限値を決める。初期設定は「10,000」と「40,000」で、念のため2倍の数値を指定した。

Image downscale factor 解析にあたり画像の解像度をどの程度削減するかを決める項目である。設定値「1」は、削減なしの設定である。

Preselector features 使用される特徴点の数値で、デフォルト値は「10,000」である。

（2）Mesh Model（メッシュモデル）処理

高密度の点群とメッシュ（ポリゴン）モデルを作成する処理で、推定したカメラ位置からより高精細な三次元構造を復元する工程である。

Quality Level 「High」に設定することで、高精細なメッシュモデルを取得する。

Image downscale factor アラインメント処理の設定と同じ項目である。

5. 計測結果

（1）解析処理結果

解析処理結果を表3に示す。作成した3Dモデル（以下「SfMモデル」）をレーザースキャンによるモデル（以下「Laserモデル」）のポリゴン数に近い数まで削減した。

（2）スケールの付与

3Dモデルのスケール（大きさ）を以下のいずれかの方法で設定した。

方法① 写し込んだスケール等から、アラインメント時にソフトウェアで距離を設定する

方法② 3Dモデルを他のソフトウェアで読み込み、手計で計測した任意の長さを設定する

方法①で提瓶と人物埴輪1を、方法②で人物埴輪2と大刀を実施した。

方法②の作業には、オープンソースの3DCGソフトウェア「Blender2.93」を用いた。Metashape Standard版など、スケール付与機能のないSfMソフトウェアの利用を想定した方法である。

6. 検討

メッシュ化した 3D モデルを Blender で読み込み、前後上下側面からのオルソ画像を作成した（図 1～4）。また、人物埴輪 1 と Laser モデルのオルソ画像を作成した（図 5）。SfM モデルと初村氏による Laser モデルとの寸法の比較が、表 4 である。

（1）SfM モデル間の比較

人物埴輪 1 と人物埴輪 2 を比較する。両者は、撮影した画像データ形式が異なる。TIF 形式の 1 は、JPG 形式の 2 に比べてデータ量だけでも 5 倍近い差がある（表 1）。

人物埴輪 1 は、体部のハケメ調整痕の凹凸などがより明瞭に確認できる。RAW データを取得し、現像することで、資料の微細な凹凸が取得できることが改めて確認できた。

（2）計測方法間の比較

資料から直接的に情報を取得する技術であるレーザースキャンの成果を基準に、SfM モデルと比較した。

提瓶の計測差が他に比べ大きい。これは、方法①のため定規を写り込ませたものの、全体が写らなかったため、精度に問題が生じたと考えられる。

人物埴輪 1 との比較では、Laser モデル間の計測差は非常に小さい。

方法②は、計測差が 1% 以下となったことから、一定の有効性が確認できた。

人物埴輪 1 の SfM とレーザースキャンの比較のため、各モデルの任意の位置を拡大した（図 5）。一見すると SfM モデルの凹凸がより明瞭に見えるが、矢印で示したように Laser モデルにない形状を示している。改めて実物資料を確認する必要がある。

7. まとめ

今回の計測と比較作業から、同じソフトを用いた SfM 処理であっても RAW データで撮影する方が精細なモデルが作成できることを確認した。ただし、データサイズが大きくなることは、データ保管などコスト増につながる。今回のように細かな調整痕や凹凸形状を記録・可視化する場合、RAW データの有効性が認められるが、遺構や地形測量など、精密な凹凸の記録が求められない場合、保管するデータ量やコスト面も考慮すべきであろう。

RAW データからの処理は、レーザースキャンによるモデルとの比較でも、両者の計測差は小さく、凹凸などの形状が遜色なく明瞭に確認できた点が今回の成果であるといえる。考古学分野では、Metashape に比べて RealityCapture の導入事例はまだ少ないが、有用なソフトウェアであることを指摘しておきたい。

参考文献

- 小池寛 1994 「人物埴輪から見た刀装具について＝京都府和束町・大杉古墳出土例を中心にして＝」『京都考古』第 74 号 京都考古刊行会
- 菱田哲郎・田口裕貴 2021 「和束町二本一古墳出土の須恵器提瓶」『京都府立大学文学部歴史学科フィールド調査集報』第 7 号 京都府立大学文学部歴史学科

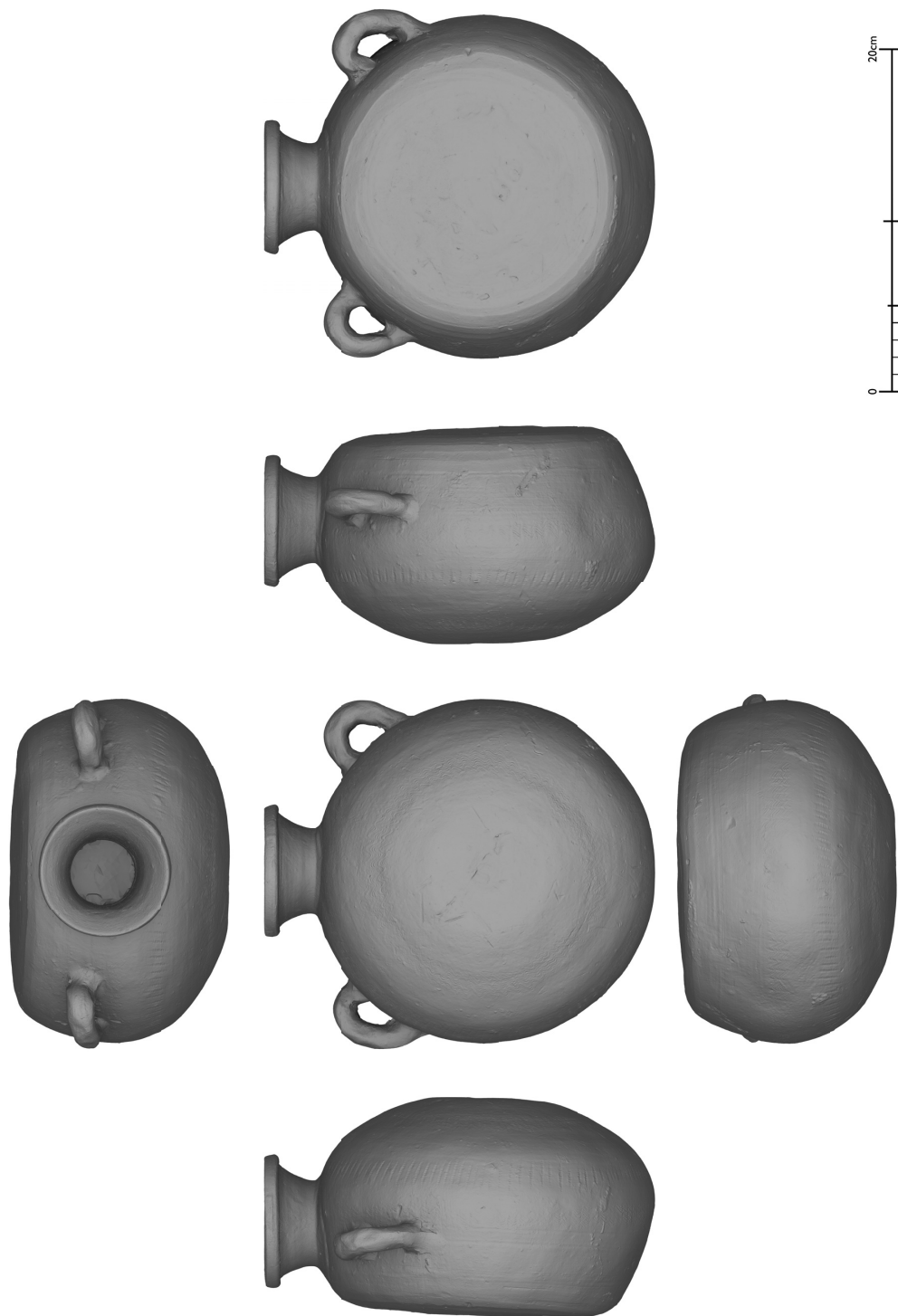


図1 二本一古墳出土須恵器提瓶オルソ画像 (S=1/4)

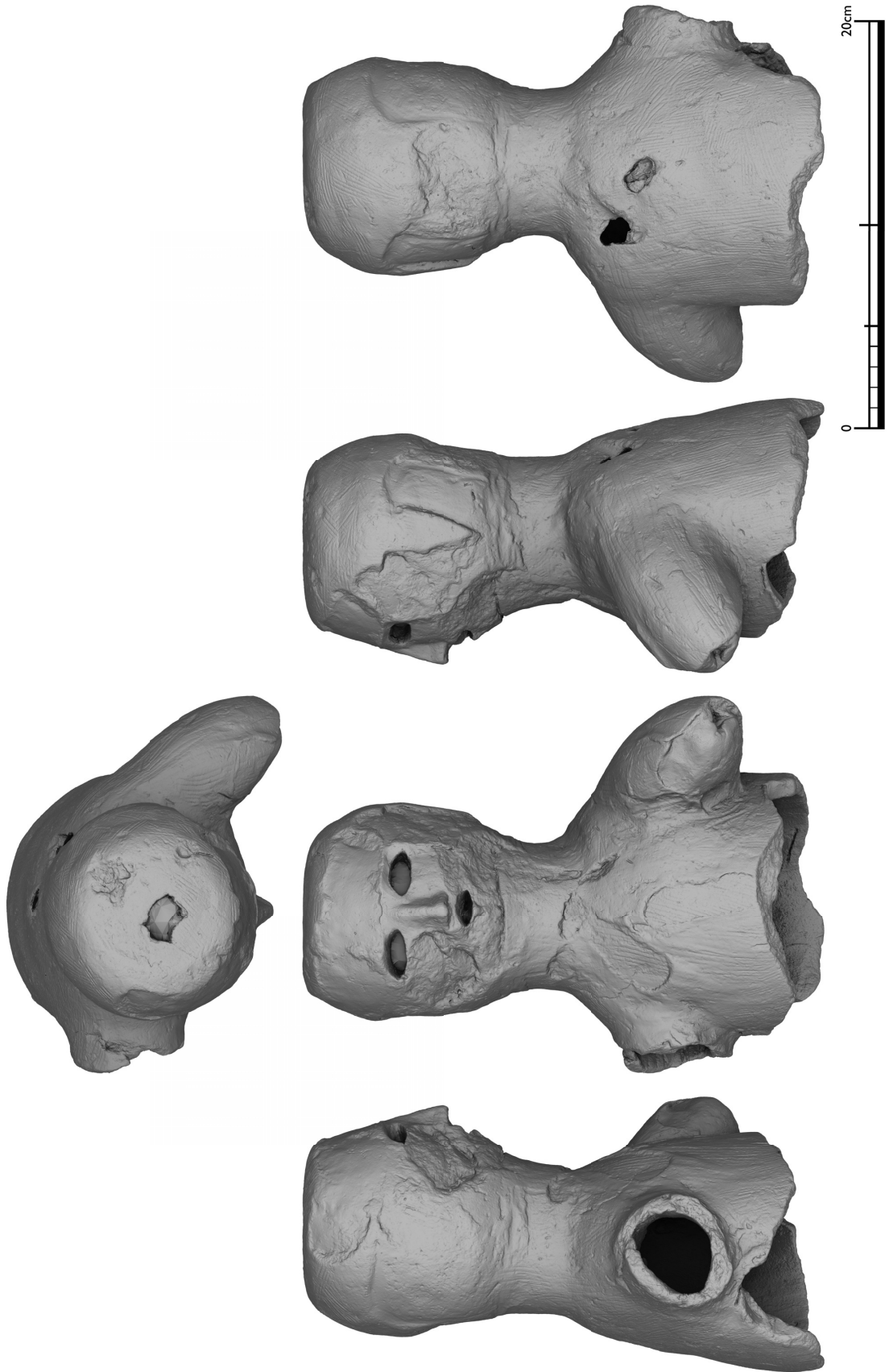


図2 人物埴輪1 オルソ画像 (S=1/3)

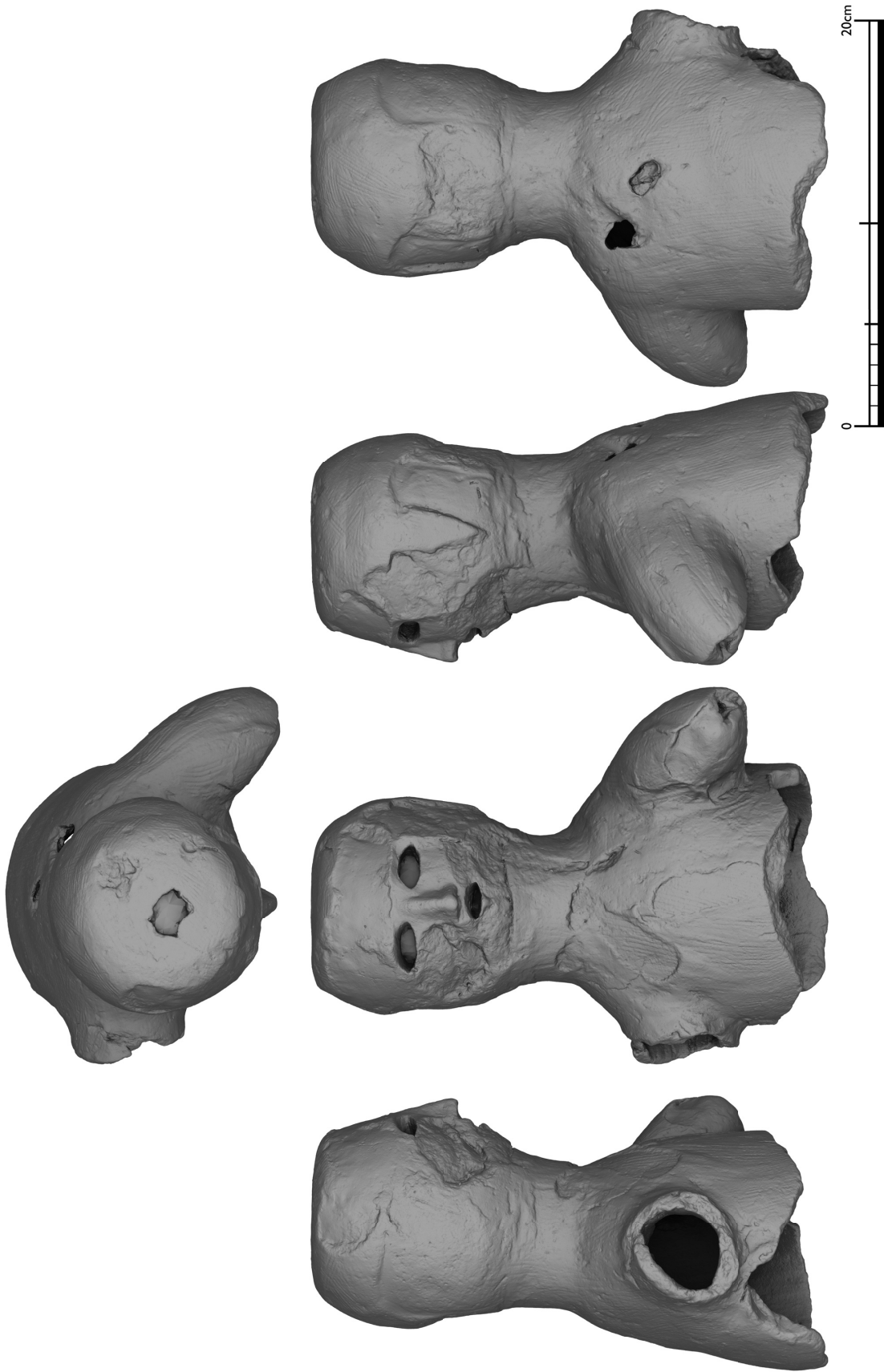


図3 人物埴輪2 オルソ画像 (S=1/3)

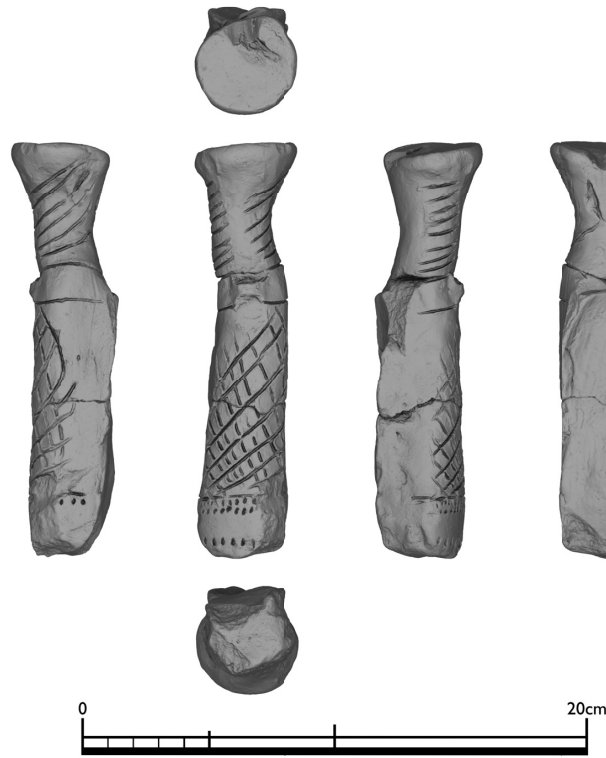


図4 人物埴輪付属大刀オルソ画像 (S=1/3)

表1 使用機材等

資料	デジタルカメラ機種名	レンズ (35mm換算焦点距離)	撮影枚数	撮影時間	総データ量	解像度	データ形式
提瓶	Panasonic DC-GX7MK3	H-HS030 (60mm)	422枚	120分	47.5GB	5184*3888	TIF
人物埴輪1	Panasonic DC-GX7MK3	H-HS030 (60mm)	389枚	90分	21.9GB	5184*3888	TIF
人物埴輪2	SONY ILCE-7M3	SIGMA 70mm F2.8 DG MACRO (70mm)	509枚	75分 (※)	4.63GB	6000*3376	jpg
大刀	SONY ILCE-7M3	SIGMA 70mm F2.8 DG MACRO (70mm)	276枚	40分 (※)	2.35GB	6000*3376	jpg

※撮影と同時に行ったアライメント処理時間を含む。

表2 RealityCapture での解析処理設定

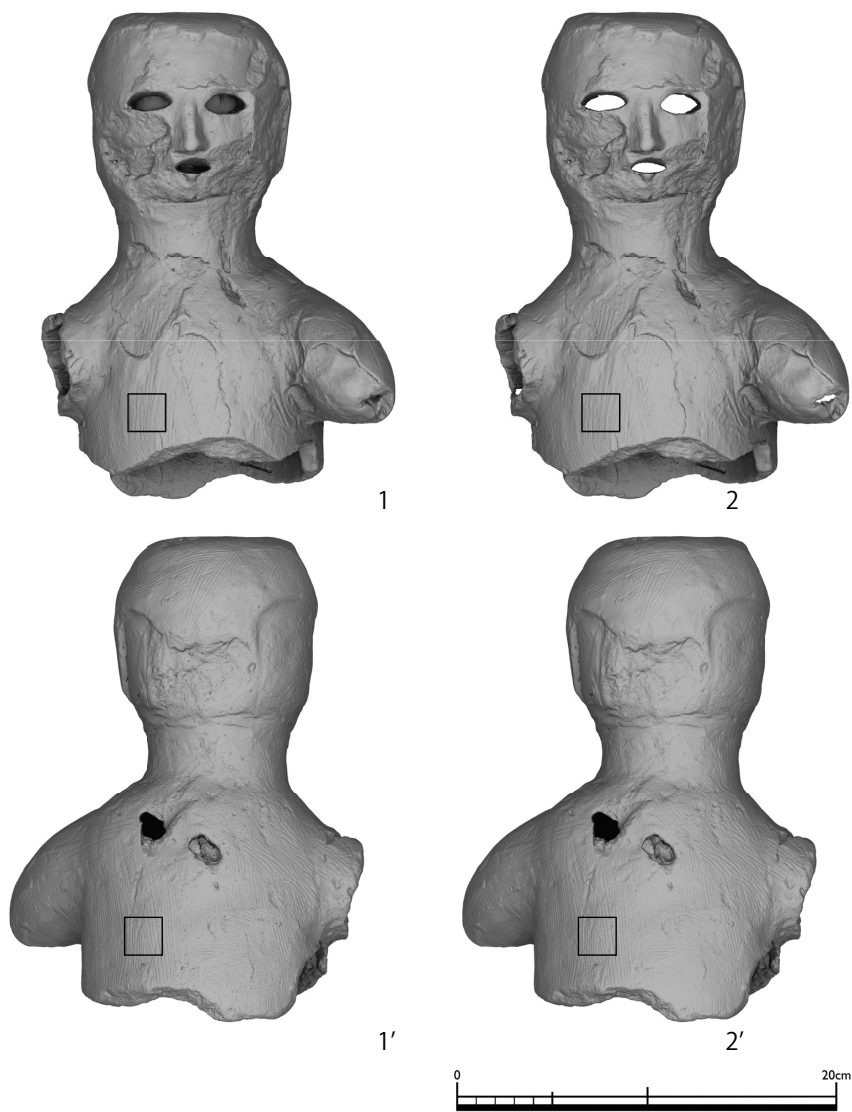
資料	Alignment Settings (カメラ位置の計算)				Mesh Model (モデルのメッシュ化)	
	Image overlap	Max features per mpx / image	Preselector features	Image downscale factor	Quality Level	Image downscale factor
提瓶	High	20,000 / 80,000	10,000	1	High	1
人物埴輪1	Low	20,000 / 160,000	50,000	1	High	1
人物埴輪2	High	20,000 / 80,000	10,000	1	High	1
大刀	High	20,000 / 80,000	10,000	1	High	1

表3 アライメント結果とポリゴン数

資料	アライメント結果	ポリゴン数		
	アライメント済枚数/撮影枚数	処理後	削減後	Laserモデル
提瓶	409枚/422枚	165,524,676	8,416,324	8,416,202
人物埴輪1	365枚/389枚	155,578,786	7,159,990	7,159,737
人物埴輪2	503枚/509枚	83,216,672	7,157,712	
大刀	276枚/276枚	46,919,138	1,297,258	1,297,472

表4 SfMモデルとLaserモデルとの比較

資料	スケール	x軸長 (横方向)		xの計測差		y軸長 (奥行方向)		計測差		z軸長 (高さ方向)		計測差	
		SfM (a)	Laser (b)	a-b	(a-b)/b	SfM (a)	Laser (b)	a-b	(a-b)/b	SfM (a)	Laser (b)	a-b	(a-b)/b
提瓶	方法①	203.995mm	206.710mm	-2.715mm	1.31%	127.931mm	129.451mm	-1.520mm	1.17%	227.920mm	230.732mm	-2.812mm	1.22%
人物埴輪1	方法①	187.058mm	186.896mm	0.162mm	0.09%	136.120mm	136.144mm	-0.024mm	0.02%	256.615mm	256.642mm	-0.027mm	0.01%
人物埴輪2	方法②	186.401mm		-0.495mm	0.26%	135.563mm		-0.581mm	0.43%	255.706mm		-0.936mm	0.36%
大刀	方法②	41.053mm	41.223mm	-0.171mm	0.41%	42.617mm	42.765mm	-0.148mm	0.35%	165.328mm	165.928mm	-0.600mm	0.36%



1: SfM モデル 2: Laser モデル (S=1/4)

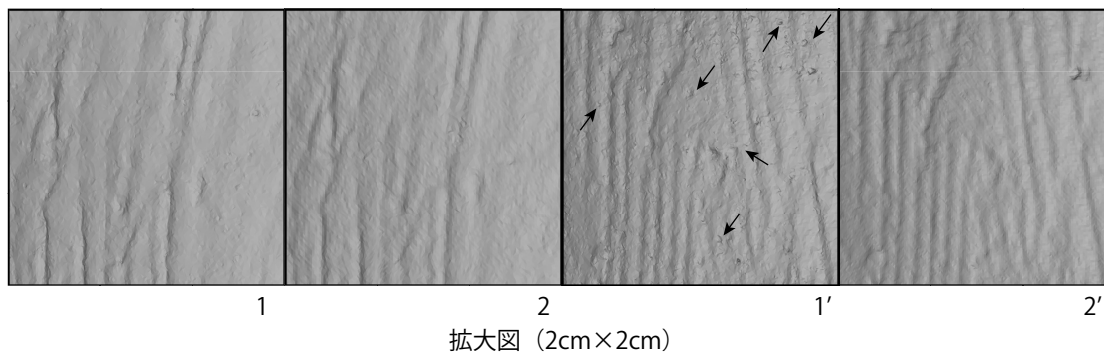


図5 人物埴輪計測データの比較