

福岡県塚堂古墳横穴式石室の SfM 法による 3 次元計測 3-D measurement of stone chamber of Tsukando Tumulus in Fukuoka Prefecture using SfM method

藤沢 敦*・鹿納 晴尚*・田尻 義了**

* 東北大学総合学術博物館 ** 九州大学比較社会文化研究院

Atsushi Fujisawa*, Harumasa Kano*, Yoshinori Tajiri**

*The Tohoku University Museum, **Faculty of Social and Cultural Studies, Kyusyu University

Abstract: Tsukando Tumulus is a keyhole-shaped burial mound measuring 91 meters in length, located in Ukiha City, Fukuoka Prefecture. Two Stone chambers are constructed within both the rear circular and front rectangular sections. The mound has been partially destroyed, leaving only fragments of stone chamber in the rear circular section. Stone chamber in the front rectangular section remains well-preserved. During a re-survey of the front section stone chamber, 3D measurements were conducted. This chamber was constructed by stacking slab-like stones. To record the detailed shape of the stone chamber, measurements were taken using the Structure from Motion (SfM) method.

1. はじめに

近年相次ぐ地震や水害で文化財の被害が続いており、その発生場所は全国各地に及んでいる。このような災害で被害を受けた際、3次元計測データがあると、被害状況の把握、被災後の修復・復元の際に、大きな威力を発揮する。被害が目立つ石材で構築された文化財を対象に、保全を目的とした3次元計測の標準を確立することを目的として、藤沢が研究代表者となり、2020年度から文部科学省科学研究費助成事業（基盤研究（A）・2020-2024年度）「石材構築文化財の保全のための3次元デジタルアーカイブの標準化の研究」を実施してきた1)。この科研費による研究の一環として、2023年度に計測を実施した、福岡県うきは市に所在する塚堂古墳前方部石室の計測成果を報告する。当該科研費で計測を実施した主要な遺跡の報告は、準備が整ったものから行うこととして、順次報告してきた。科研費の研究成果全体については、すでに研究成果報告書で報告したところであるが（藤沢 2025）、塚堂古墳については、詳細な調査報告が、データ整理の関係で未了となっていた。科研費報告でも、概要のみを掲載していた。そのため、ここで調査成果報告の責を果たしたい。

なお本論は、1. 3. 6. を藤沢、2. を田尻、5. を鹿納が分担して執筆した。4. は藤沢と鹿納で担当した。

2. 塚堂古墳について

塚堂古墳の位置

塚堂古墳は、福岡県を西流する筑後川の南岸に築かれた前方後円墳である（図1）。南側の耳納連山の山裾には多くの古墳が確認されており、塚堂古墳に隣接する国指定史跡の日岡古墳・月岡古墳を含む計3基の古墳は、若宮古墳群



図1 塚堂古墳の位置
(国土地理院電子地形図を加工して作成)

と呼称される。これらの古墳は「的臣」との関連も想定されている（佐田 1980）。

塚堂古墳のこれまでの調査と概要

塚堂古墳では、これまでに 1934 年に前方部石室内部の調査、1955 年に後円部石室の調査、1956 年に前方部石室内部および前庭部の調査が行われた。さらに、1979 年には吉井町による 3 次にわたる周濠の調査が実施され、1986～87 年にかけては、吉井町による 2 次にわたる調査として墳丘

および石室の測量調査が行われている。

本古墳には後円部および前方部の双方に横穴式石室が設けられている。墳丘の残存状況は不良であるが、これまでの周辺調査の成果から、全長約 91m、後円部径約 64m、前方部幅約 68m に復元されている（図 2）。また、周囲を全周していたかどうかは不明であるものの、二重の周濠を伴うことが確認されている（福岡県教育委員会 1983）。調査の結果、墳丘には葺石が施され、各所に埴輪が樹立されていたことが明らかとなっている。

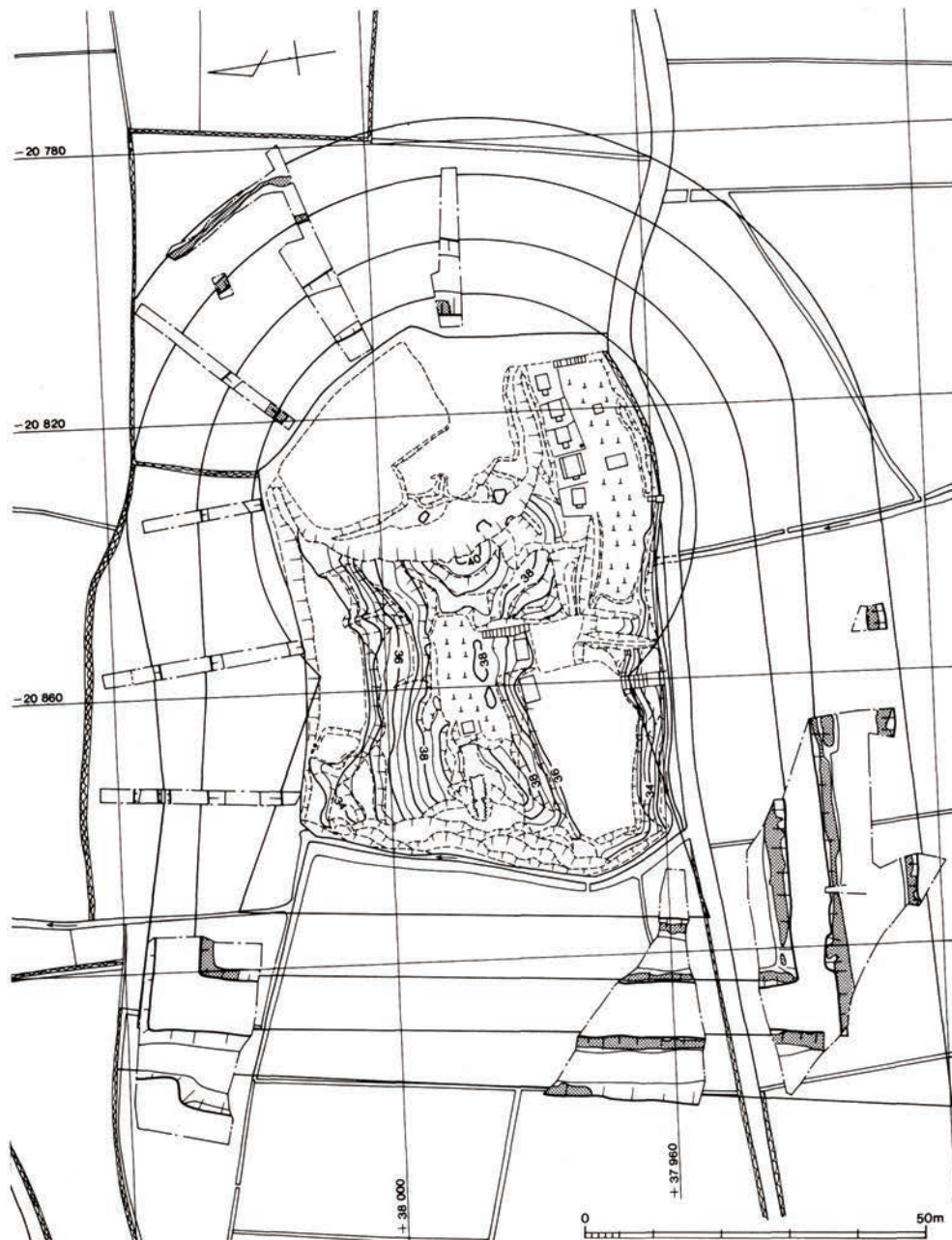


図2 塚堂古墳全体図（『若宮古墳群Ⅰ』より）

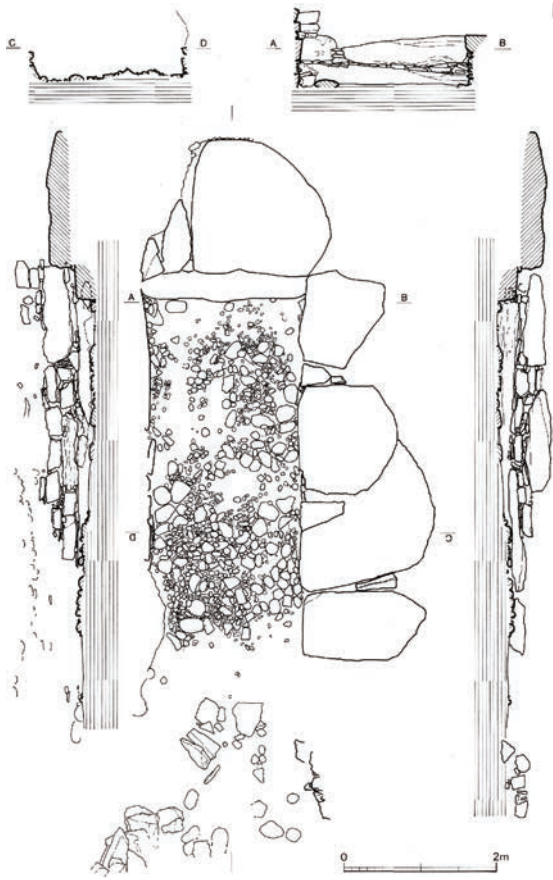


図3 塚堂古墳後円部石室実測図
（『若宮古墳群Ⅰ』より）

後円部の埋葬施設は、土採りによって石室および石棺が大きく破壊されており、1955年の調査時点では、玄室の基底部石が一部残存するのみであった（図3）。床面幅は約2m、右側側壁の残存長は4.9mを測る横穴式石室である。壁体は大石を平積みとし、残存状態の良好な箇所では高さ約1mを残している。玄門付近は破壊されており、詳細は不明である。奥壁の最下段は手前に約35cmせり出しており、後述する前方部石室では副葬品が配置されていた位置であることから、本石室においても同様の機能を有していたと考えられている。床面には副葬品の破片が散布しており、辛うじて出土位置の記録がなされている。

出土遺物には、珠文鏡片を含む鏡片、4個体以上の鈴、硬玉製・ガラス製・珪石製・滑石製の勾玉・管玉・白玉類、挂甲小札、鉄刀片、鉄剣片、鉄鏃、胡籙金具、金銅製鞍金具、鉄地金銅張剣菱形杏葉、鉄地金銅張F字形鏡板、木心鉄板被輪鏝、三鈴付環鈴、鉸具、金銅製鉾留金具、金銅製円盤、金銅製火熨斗、金銅製椀形品、滑石製有孔円盤などが含まれる。

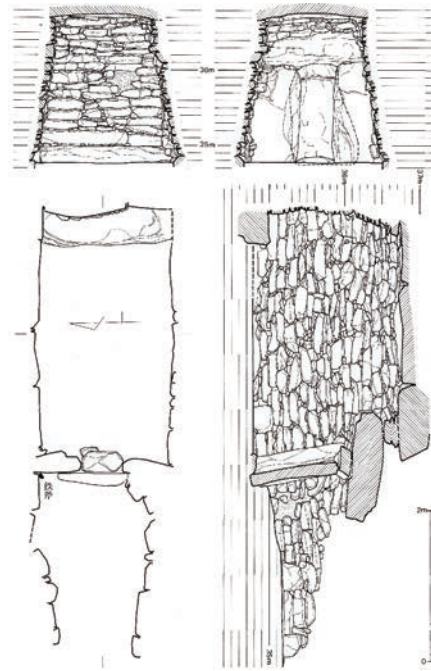


図4 塚堂古墳前方部石室実測図
（『若宮古墳群Ⅰ』より）

前方部の埋葬施設は、西側に開口する横穴式石室である（図4）。発見当時は未盗掘の状態であったとされ、床面には川原石が敷き詰められている。玄室の規模は、床面で長さ3.2m、奥壁幅1.81m、前壁部幅1.7m、高さ1.9～2.0mを測る。奥壁には、床面から22cmの高さで手前に最大50cmせり出す石床が設けられており、その水平面上には短甲2領、鉄刀3振、鉄鏃数十本が置かれていた。壁面は幅30～50cm、厚さ15～20cmの石材を基底部から内傾させながら積み上げている。天井石には3枚の石が用いられて、石室全体には赤色顔料が塗布されている。玄門の規模は幅45cm、高さ110cmである。

石室内からは、仿製神獸鏡、貝釧、玉類、横矧板鉾留衝角付冑、横矧板皮綴短甲、横矧板鉾留短甲、三角板鉾留短甲、挂甲、肩甲小札、頸甲、鉸具、直刀、鉄矛、鉄鏃、胡籙金具、馬具の鉸具、刀子、砥石、滑石製有孔円盤、針金などが出土している。また、前庭部からは、盾金具、鉄鏃、馬具の鞍金具、鞍、木心鉄板被輪鏝、鏝付属金具、素環鏡板、鉄環、雲珠、兵庫鎖、鉸具、鉾留金具のほか、刀子、鉄鎌、鋤先、鑿、鉄斧、釣針などが出土している。

墳丘および周堤には各種の埴輪が樹立されていたと考えられる。確認されている埴輪には、円筒埴輪、朝顔形円筒埴輪、形象埴輪があり、形象埴輪には人物、盾持ち人物、家、蓋、盾、冑、馬、動物形などが含まれる。

これらの出土遺物から、5世紀後半頃の築造と考えられている。

3. 調査の目的

調査に至る経緯

本科研費では、計測方法の検討を目的として、各年度に数ヶ所の計測を実施してきた。計測対象遺跡の選定は、計測方法の検討に合致することを基本としているが、それに加えて、近年の自然災害によって被害を受けた遺跡や、今後の保全が懸念される遺跡を優先するとともに、被災した自治体を支援することも目的として、対象を選択してきた。

近年、梅雨期をはじめとする集中豪雨で、毎年のように各地で被害が発生している。2023年（令和5）も、6月28日から7月16日にかけて停滞した梅雨前線の影響で、各地で大雨となり、北日本から西日本の広範な地域で被害が発生した²⁾。7月7日から10日にかけては、九州北部地方の広範囲で大雨となった。9日夜遅くから10日昼過ぎにかけては、福岡県、佐賀県、大分県で線状降水帯が発生し、非常に激しい雨となった。うきは市が所在する筑後川水系でも、浸水や土砂崩れなどの被害が、広範に発生している。

塚堂古墳の前方部石室は、吉井町による測量調査後に埋め戻され、前方部先端の削平された部分には、保護のための盛り土がなされていた。10日の大雨によって、この盛り土が崩落したことから、前方部石室の状況を確認し、保全措置をとるための調査が、うきは市教育委員会によって行われることとなった。この調査に合わせて、前方部石室の3次元計測を実施することとした。

調査の目的

調査に先立って、2024年1月15日に、藤沢と田尻が現地視察を行うとともに、うきは市教育委員会関係者との打ち合わせを行った。

塚堂古墳の石室石材は、かなり薄い板石が使用されており、それら石材の間を、できるだけ計測することが必要であった。本科研費での検討から、石材の間をできるだけ深いところまで計測するには、手持ちのデジタルカメラを用いた、SfM-MVS（Structure from Motion and Multi-View Stereo、以下SfM法）が有効であるとの認識に達していたため、今回の計測もSfM法で実施することとし、その有効性を確認することを調査の目的とした。

当石室の玄室内には、狭い盗掘孔から、かろうじて出入り可能な状態であったため、玄室内の標定を行う方法が課題となった（図5）。狭い盗掘孔を経由して玄室内外のデータを合わせるには、通常のトータルステーションや据え置き型のレーザー計測器では、作業が難しい状況であった。そのため、ライカジオシステム株式会社のご協力をいただき、同社の小型レーザースキャナ（Leica BLK360 G2）を用いて、玄室内と外側をつないで計測し、その際に外側の標定点を入れて計測し、検証することとした。あわせて、小型レーザースキャナの有効性を検討することも目的とした。



図5 石室内から見た盗掘孔

なお、玄門外側に設定されていた標定点は、九州大学からトータルステーションを持ち込み、周囲の既知点から測量することとした。

うきは市は、装飾古墳が集中する地域として知られている。鳥船塚古墳や珍敷塚古墳が所在する屋形古墳群（吉井町史編纂委編1977）では、これら装飾古墳の整備事業が進められている。珍敷塚古墳では、以前から存在する二重の覆い屋建物が老朽化し、その対応が課題となっている。それに伴い、内側の覆い屋の外側部分で、発掘調査が実施されていた。この区域を対象に、うきは市教育委員会の担当職の体験も兼ねて、SfM法での3次元計測を、あわせて実施することとした。

4. 調査の経過と計測方法

調査経緯

現地での作業は、2024年2月19～21日の3日間で実施した³⁾。ところが、19日は天候が不順で、時折激しい雨に



図6 雨中の作業状況（2月19日）

見舞われた。塚堂古墳の石室入口には、白色シートと青色シートをターフ状に張って、その中で小型レーザーキャナでの計測を行った(図6)。基準点測量は、雨中に傘をさして行うこととなった。午前中にこれらの作業がおおむね終了したため、その後の作業は、天候を見ながら、できるところから順次実施することとなった。20日に、SfM法で使用するための写真撮影までを終えることができ、合間に、

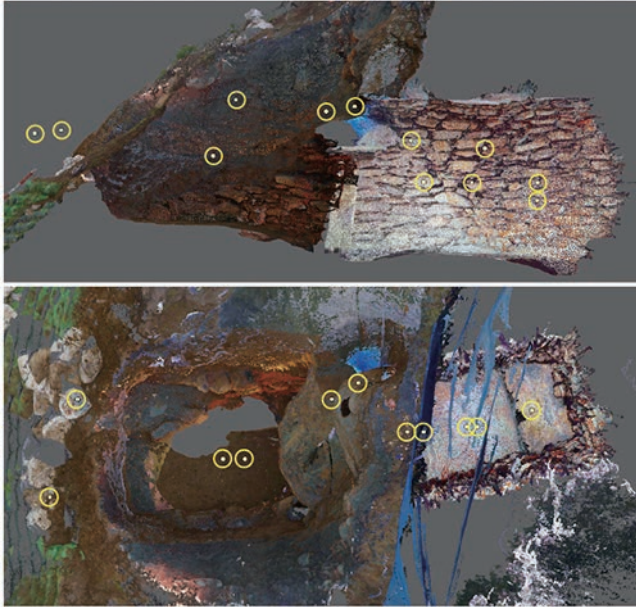


図7 石室周辺のレーザーキャナの設置位置
(上：横断面・下：水平面)

鳥船塚古墳や珍敷塚古墳など屋形古墳群の見学や、塚堂古墳群と一連の若宮古墳群を形成する、日岡古墳、月岡古墳の見学も行うことができた。21日には、珍敷塚古墳において、SfM法での計測などを実際に行い、写真撮影の留意点などを、体験しつつ確認することができた。

計測方法と作業の経過

上述のように石室の3D計測は、ライカジオシステムズ株式会社の協力のもと、小型軽量の3DレーザーキャナであるLeica BLK 360 G2(以後BKL)を使った3Dスキャンと、手持ちカメラ撮影によるStructure from Motion法(以後SfM)で行った。ライカジオシステムズの松田高広氏の予定から、不順な天候の中ではあったが、初日の2月19日に、石室内および周辺箇所をBLKで合計11箇所から松田氏がスキャンを実施した。スキャンの設置箇所は、石室内6箇所、石室内部と外部が見える入口近くが2か所、外側が4箇所である(図7)。1回のスキャンは3分程で終了し、石室内の計測は20分ほどで終了した。スキャン時の石室内の照明は、スキャナ本体の真下の床に置いて全体を照らすようにした(図8)。石室内のスキャナの設置箇所は、高さ方向、長軸方向それぞれ複数になるようにした。初日の計測終了後の午後に行われた、うきは市教育委員会での打ち合わせまでに合成が終了し、石室の3D情報を当日中に確認することができた。

翌2月20日は天候がある程度回復したことから、ライカジオシステムズの日比孝典氏と小西泰彦氏によりBLKを用いて古墳全体の計測が行われ、合計で58箇所からスキャンを行っている(図9)。この成果も参加者で検討したが、計測時間も短縮されており、機器が小型で操作性が良いことも相まって、文化財の3次元計測での活用の可能性を確認することができた。



図8 レーザーキャナでの石室内計測状況
(照明はスキャン範囲外になるキャナの下に設置)

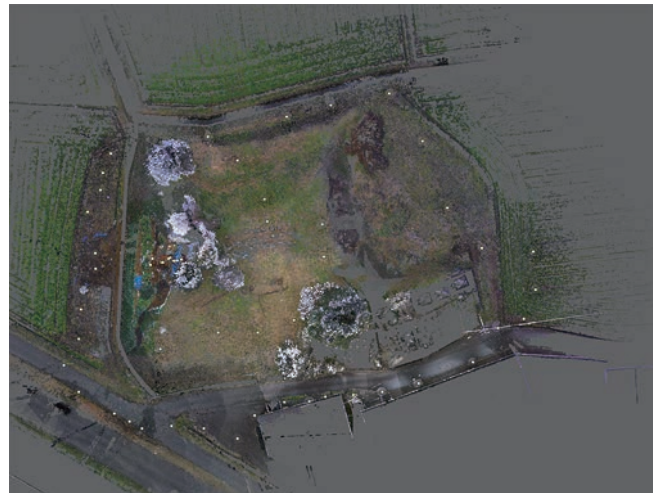


図9 塚堂古墳全体計測における
レーザーキャナの設置位置



図 10 4 灯ライトによる撮影状況

二日目の 20 日に、石室の手持ち撮影を実施した（図 10）。使用したカメラボディとレンズは、CANON EOS 6D Mark II と EF 24mm F2.4 IS USM である。石室内での撮影設定は F8、ISO4000 でシャッタースピードは 1/40 秒であった。照明は、LED 照明を 4 つ、カメラボディの周りにセットしてできるだけ影ができないように注意した。周囲の明るさが変化する場所ごとに、カラーチャートを撮影し、色補正ができるように raw データ（CR2 形式）で撮影した。撮影データは、キヤノン製現像ソフトの Digital Photo Professional 4 で色補正をして、jpg 形式で出力した。SfM で使用した写真の枚数は、913 枚である。さらに、試みとして、魚眼レンズを使った SfM による 3 次元計測を行った。使用したカメラボディは Olympus OM-D EM-5 Mark III、レンズは、Meike 製 MK-006520MF（F2.0 6.5mm）で F 値を 8 に固定して 307 枚撮影した。



図 11 SfM で生成した点群データのイメージ

5. 計測成果と計測データの加工

計測で取得したデータ

BKL で得られた古墳全体を含む点群数は 661,899,554（約 6.6 億点）である。今回の正射投影図に使用した石室及びその周辺のデータは、BLK の計測データファイルをエリジオン社製 InfiPoints で読み込み、全体を合成し、標定点を設定した。標定点は、玄室外側に市教委が設置した測量釘を用いて、古墳西側の道路に設置された既知点から、トータルステーションで測量して、座標値を求めた（表 1）。

表 1 標定点座標

点名	X(m)	Y(m)	Z(m)
1002	38,371.688	-21,095.194	36.107
1004	38,369.177	-21,095.178	36.412
1003	38,370.692	-21,093.528	37.759

次に石室周辺部分を切り出し、さらに 2 mm ピッチで間引きを行った。得られた点群数は 81,037,275（約 8,000 万点）であった。この点群をフリーウェアの CloudCompare で処理し、頂点色付きメッシュを作成し ply 形式で出力した。Blender 5.0（以下 Blender）で読み込み、不要部分を削除してデータを整形した。最終的なメッシュの頂点数は 6,336,782、面数は 12,669,651 であった。照明の影響で、石室内の色がかなり明るく白っぽく表現されている（図 7）。

一方、EOS 6D Mark II を使った手持ち撮影による 3D 化は、Agisoft 社の Metashape Professional 2.0.1（以後 Metashape）を使用した。BLK のデータを参考にするため、BLK のデータも含めて処理を行った。生成された点群数は、403,085,406（約 4 億点）である（図 11）。その点群デー



図 12 魚眼レンズ使用の SfM で生成した点群データのイメージ

タと深度データから、Metashape で精度を高く設定して頂点色付きメッシュを作成した。標定点を設定後、ply 形式でメッシュデータを出力した。Blender で不要部分を削除した結果、メッシュの頂点数は 25,160,941、面数は 50,130,121 となった。

魚眼レンズと OM-D で撮影した写真から Metashape で 3 次元化を試みたが、撮影画像が相当ぼやけていたことから、全体的な概要はつかめるものの、精度が悪く使用に耐えないデータとなった (図 12)。魚眼レンズでは、より焦点があったシャープな撮影画像が必要であることが明らかになった。



図 13 レーザースキャナによるメッシュ (白) と SfM によるメッシュ (薄茶) の差 (数 cm 程斜めにずれていることが判る)

レーザースキャナと SfM のメッシュデータの比較

BLK および SfM で前述のとおり 3D 化したデータを、Blender 上で比較したところ、全体的に SfM のデータの石室が数 cm ほど短くなる誤差が出た、(図 13)。この原因は、推測の範囲内であるが、SfM 法の写真撮影では、出入り口が狭く、前室と玄室との間で共通する十分なデータ (撮影画像) を取得できなかったためと考えられる。BLK による計測データを参考にしようとしたが、石室内部の基準点となる過去に設置された釘の先端の点群数が以外に少なく、位置合わせに利用できなかった。Metashape には、レーザースキャナのデータとデジタルカメラの写真を一緒に処理することで、レーザースキャナのデータを参考にした 3 次元化する機能がついているが、結果的に誤差が生じた。誤差の発生条件や解消方法については、今後の検討課題である。

一方、BLK のデータは、石積みの隙間の計測に威力を発揮した。SfM では暗くて検出できない隙間の奥までレーザーは届くので、SfM と比べ 10cm 以上深い位置まで計測できたところも認められた。石積みの構造をより詳細に検討したい場合は、移動式のレーザースキャナを利用することにより、より詳しい情報を得ることができると考えられる。

正射投影図の作成方法

東北大学総合学術博物館では、特定のソフトウェアに依存しない形で 3 次元データを保存するために、X・Y・Z の座標値と RGB データによる、色付き点群データとして保存し利用する方法を採用している。一方、考古学的データとして、学術的検討に供する方法は、本報告を含めて、2 次元の図面として調査報告を作成することが一般的である。そのため、3 次元データをもとに、正射投影画像を作成する必要がある。

2 次元の正射投影図の図面は、Blender で作成した。基本的に、仲林 (2023) の方法を簡略化した方法で、藤沢・鹿納・杉井 (2025) を踏襲している。Blender のバージョンが 5.0 に上がったことから、多少インターフェースが変化した部分があるものの、主要部分に変化はなく、Workbench レンダリングを利用して出力した。

前述の通り、レーザースキャナと SfM による 3D メッシュデータは、国土座標に乗せるため、標定点の公共座標の整数値の下 2 桁以下を使って位置を補正した。そのため、作図後に座標値の整数部分 3 桁以上の値を付加して表現する必要がある。両方のメッシュデータを Blender で読み込み、Blender で XYZ 軸座標の原点 (0, 0, 0) に近くなるように X 軸で 90 m、Y 軸で -70 m、Z 軸で -30 m それぞれ移動した。

投影位置の設定は次の通りである。Z 軸 (上) から見て、石室の長軸方向を決め、垂直平面を別に作成し、設定した軸に合わせて平面を回転・移動させる (図 14)。中心を X 軸に -4 m、Y 軸に 0.5 m、Z 軸に 6 m 移動させ、Z 軸に 11° 時計回りに回転させた。この面を中心に、奥壁、入口内側、入口外側の断面投影位置を決定した。天井と床の投影面については、長軸で設定した平面を水平に変換したものを二つ準備し、水平方向から見て、天井全体と床全体が入る位置に Z 軸の値 (天井で 6 m、床で 5.4 m) を設定した (図 15)。それぞれ設定した中心座標をもとに、石室全体がレンダリングできるようなサイズを調整した平行投影カメラ (スケール 9、範囲 0.000001 m ~ 100 m、解像度 X:1920px, Y:1080px) を設置し、Workbench レンダリングで、照明は MatCap を用いて画像を出力した。この時、位置合わせとスケール表示のため、XYZ 軸に合わせ 1 m ごとのグリッドを作成して同時に撮影している。この画像を Adobe の Illustrator で配置し、グリッドを用いて座標や標高の情報

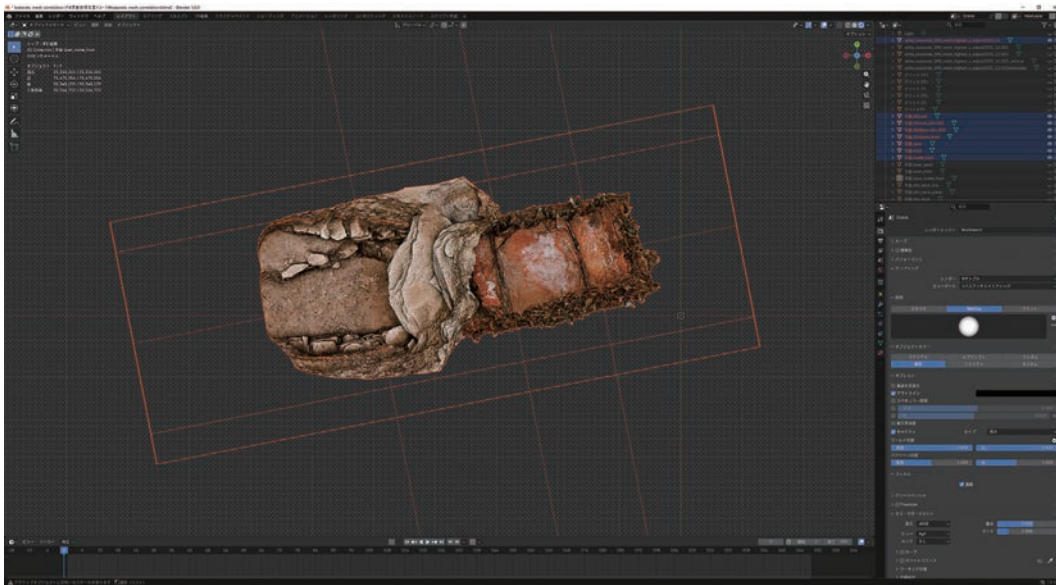


図 14 投影位置の設定 (1)
 (石室を Z 軸から見た状態で長軸方向と中心を決め、Z 軸に直交した投影位置を 3 ヶ所設定。)

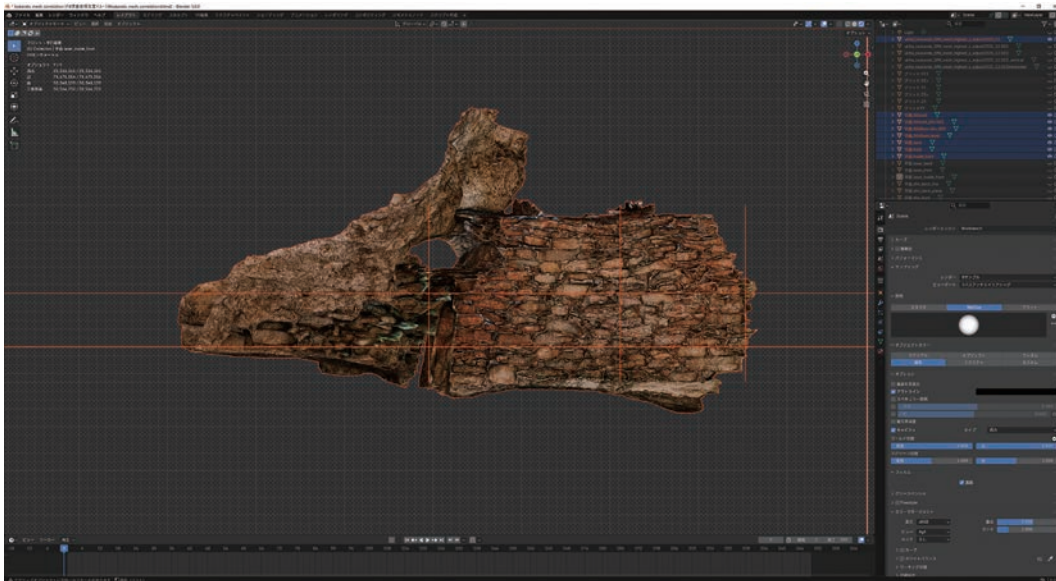


図 15 投影位置の設定 (2)
 (石室を横から見て、天井の石が全て入る位置と、床面が全て入る位置を設定。)

を追加した。さらにグリッドを表示しないレンダリングを実施して別名保存したファイルを、はじめに Illustrator で配置した画像のリンクを入れ替えて、正射投影図を作成した。本論では、BLK のデータについては、カラー正射影図のみで出力した (図 16)。SfM のデータについては EOS 6D Mark II で撮影したデータで生成した 3D データから、カラーとグレースケールで出力した (図 17 ~ 20)。

6. まとめ

塚堂古墳の石室は、薄い板状の石が用いられており、それらの石材の間を、できるだけ計測することが必要であった。そのために、カメラの撮影位置を細かく移動し、SfM 法で 3 次元計測を行った。おおむね目的は達することがで

きたと考えているが、狭い隙間については、深い部分が暗くなり、計測できていない部分もある。一方、あわせて試みた小型レーザースキャナ Leica BLK 360 G2 では、SfM では暗くて検出できない隙間の奥までレーザーが届き、SfM と比べ 10cm 以上深い位置まで計測できたところも確認できた。スキャナの設置高さを細かく移動させながら計測することで、より詳しい情報を得ることが可能であると考えられる。計測時間も短縮されており、機器が小型で操作性が良いことも相まって、文化財の 3 次元計測での活用の可能性を広げるものと評価できる。ただし、正確な色情報の取得のためには、照明方法などで課題も残っている。SfM 法では、照明方法を工夫することで、かなり色情報を正確に得ることができている。対象資料の状況に応じて、計測方法の適格性を判断していくことが必要である。

※本論には、日本学術振興会 (JSPS) 科研費 20H00019 「石材構築文化財の保全のための 3 次元デジタルアーカイブの標準化の研究」(基盤研究 A・2020～2024 年度・研究代表者藤沢敦) による研究成果を含みます。

謝辞

今回の計測では、うきは市教育委員会生涯学習課文化財保護係の各氏に、塚堂古墳の計測をはじめ、関連古墳の見学、検討場所の提供など、様々な面でご協力をいただいた。小型レーザースキャナでの計測では、ライカジオシステム株式会社と、同社の日比孝典氏・小西泰彦氏・松田高広氏に、多大なご協力をいただいた。あらためて感謝します。

註

1) 本科研費での研究については、WEB ページを作成し、その概要を紹介しているので参照されたい。

<http://webdb1.museum.tohoku.ac.jp/index.html>

2) 2023 年 7 月の福岡県などでの水害については、福岡管区気象台の「災害時気象資料—令和 5 年 7 月 7 日から 10 日にかけての山口県・福岡県・大分県・佐賀県の大雨について—」を参照した。

https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2023/20230808/pdf/2023_2_fukuoka_B.pdf

3) 現地での計測には、科研費関係の以下のメンバーが参加した他、九州大学の大学院生・学生の参加を得て実施した。

研究代表者：藤沢敦 (東北大学)

研究分担者：田尻義了 (九州大学)、杉井健 (熊本大学)、片岡太郎 (弘前大学)、金田明大 (奈良文化財研究所)

研究協力者：鹿納晴尚 (東北大学)

引用・参考文献

- 小林行雄編 1964 『装飾古墳』 平凡社
 佐田茂 1980 「筑後地方における古墳の動向」『鏡山猛先生古稀記念古文化論攷』 553～578 頁
 仲林篤史 2023 「古代瓦の三次元データを用いたシェーディング処理の検討」『デジタル技術による文化財情報の記録と活用 5』 奈良文化財研究所研究報告 37、75～90 頁、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所
 福岡県教育委員会 1983 『塚堂遺跡』 I 一般国道 210 号線浮羽バイパス関係埋蔵文化財調査報告第 1 集
 藤沢敦・鹿納晴尚・田尻義了・小池雄利亜 2024 「福岡県湯の隈古墳の高精細 3 次元計測」『Bulletin of the Tohoku University Museum』 No. 23、7～38 頁、東北大学総合学術博物館
 藤沢敦・鹿納晴尚・杉井健 2025 「熊本県大村横穴群の SfM 法による 3 次元計測」『Bulletin of the Tohoku University Museum』 No. 24、31～60 頁、東北大学総合学術博物館
 藤沢敦 2025 『石材構築文化財の保全のための 3 次元デジタルアーカイブの標準化の研究』 2020～2024 年度科学研究費補助金基盤研究 (A) 研究成果報告書、東北大学学術資源研究公開センター
 吉井町教育委員会 1989 『若宮古墳群 I』 吉井町文化財調査報告書第 4 集
 吉井町教育委員会 1990 『若宮古墳群 II』 吉井町文化財調査報告書第 5 集
 吉井町史編纂委員会編 1977 『吉井町史』 吉井町教育委員会

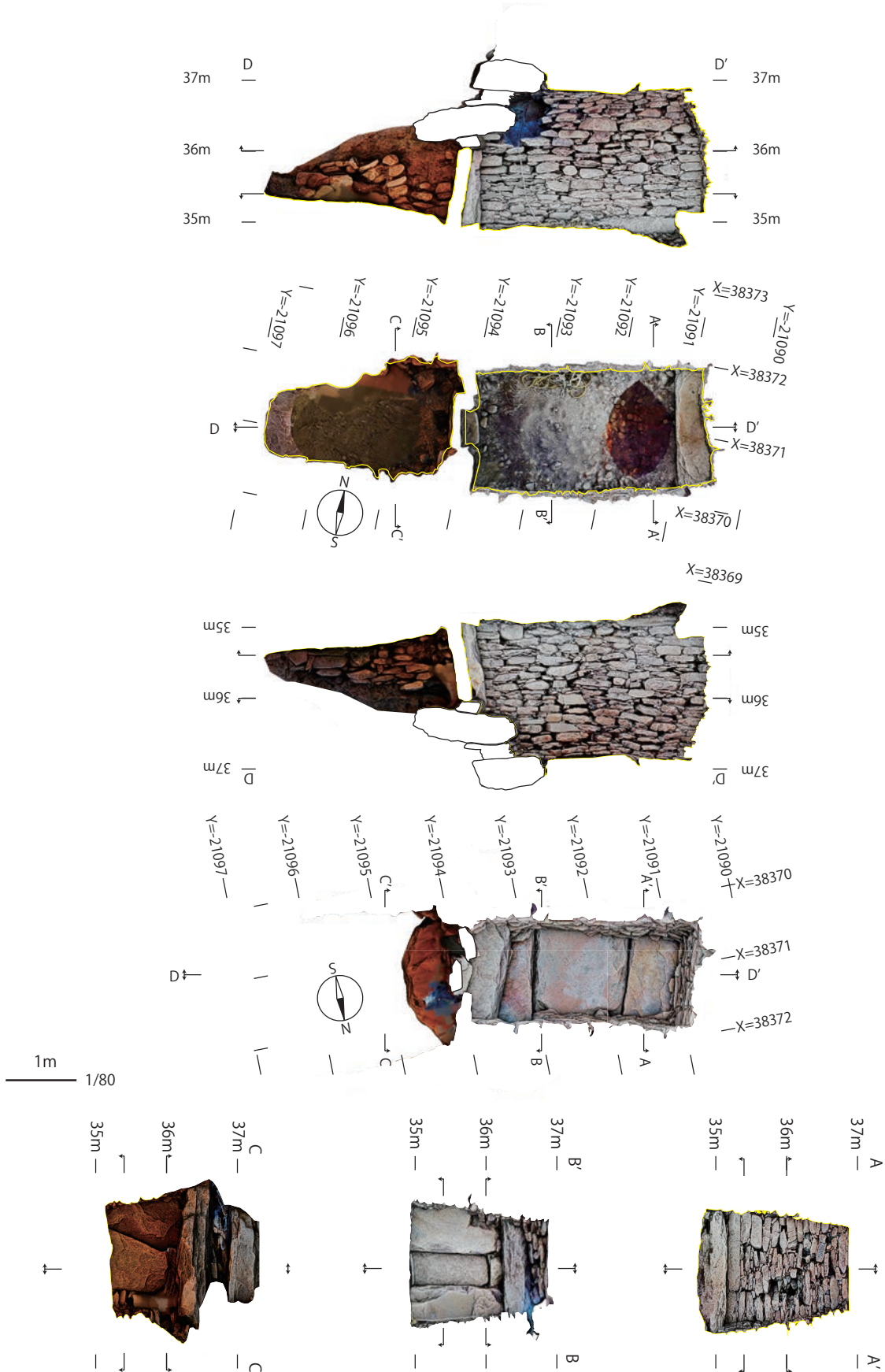


図 16 レーザースキャナによる塚堂古墳前方部石室正射投影図 (カラー・陰影図)

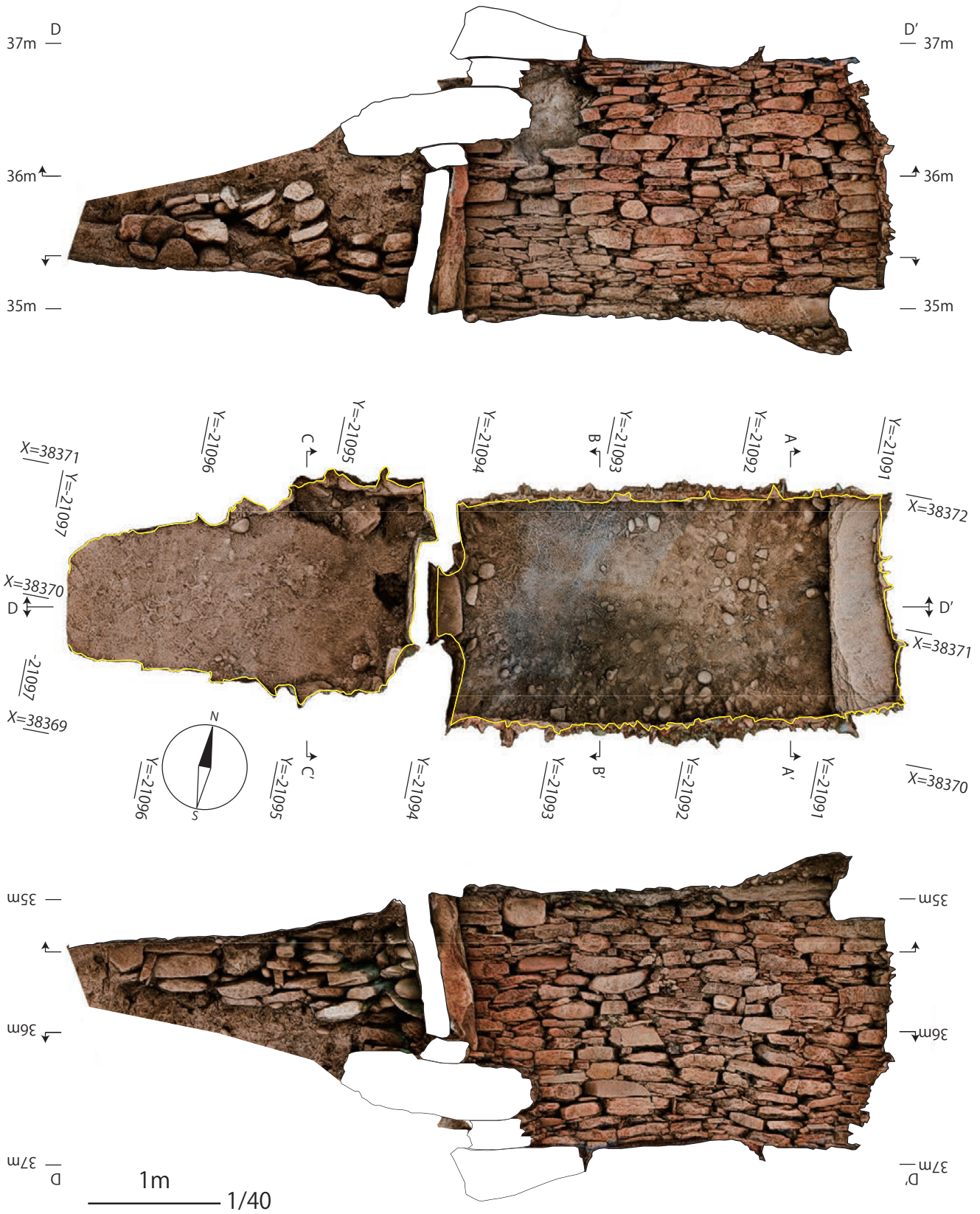


図 17 塚堂古墳前方部石室正射投影図 (カラー・陰影図) (1)

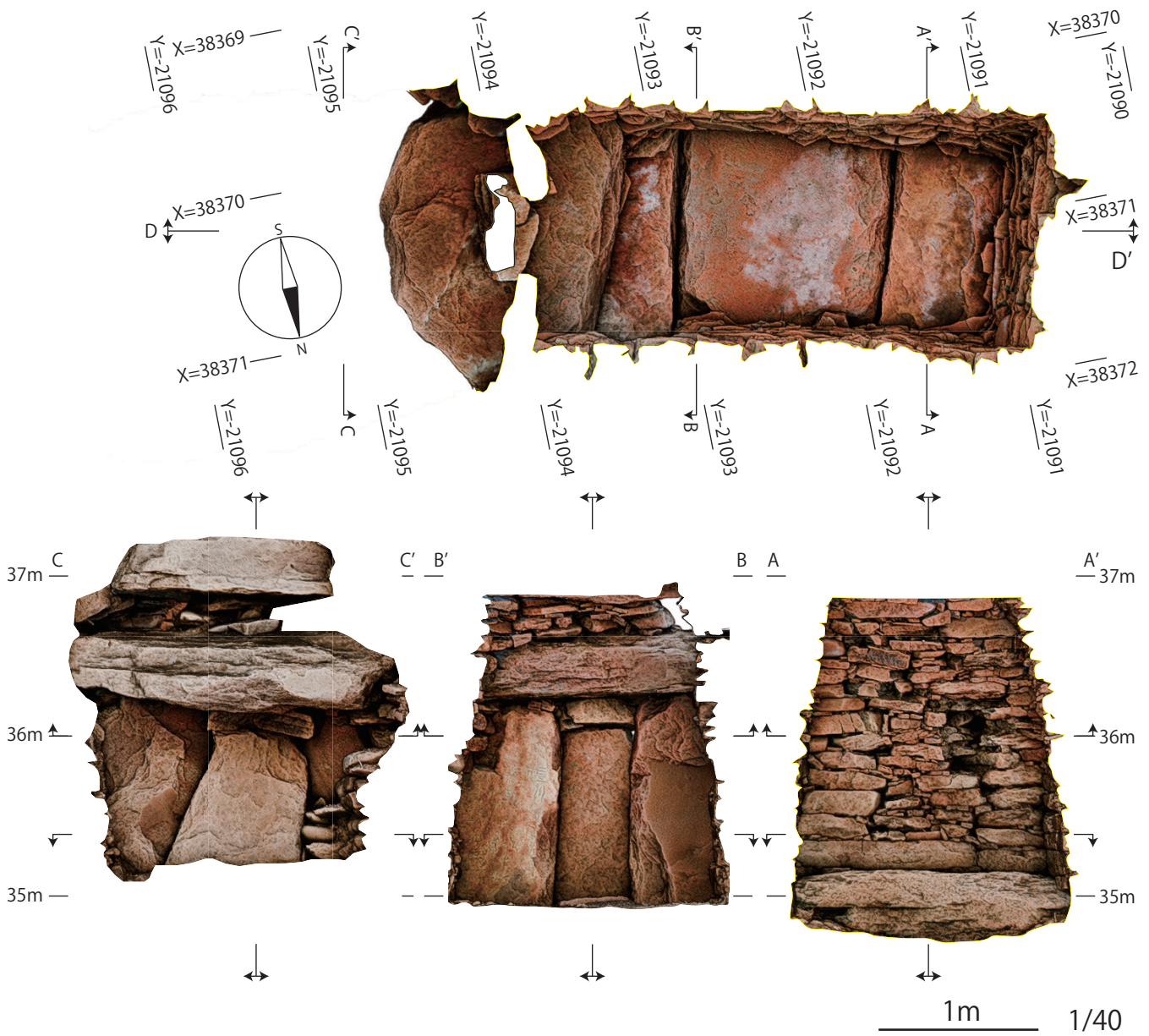


図 18 塚堂古墳前方部石室正射投影図 (カラー・陰影図) (2)

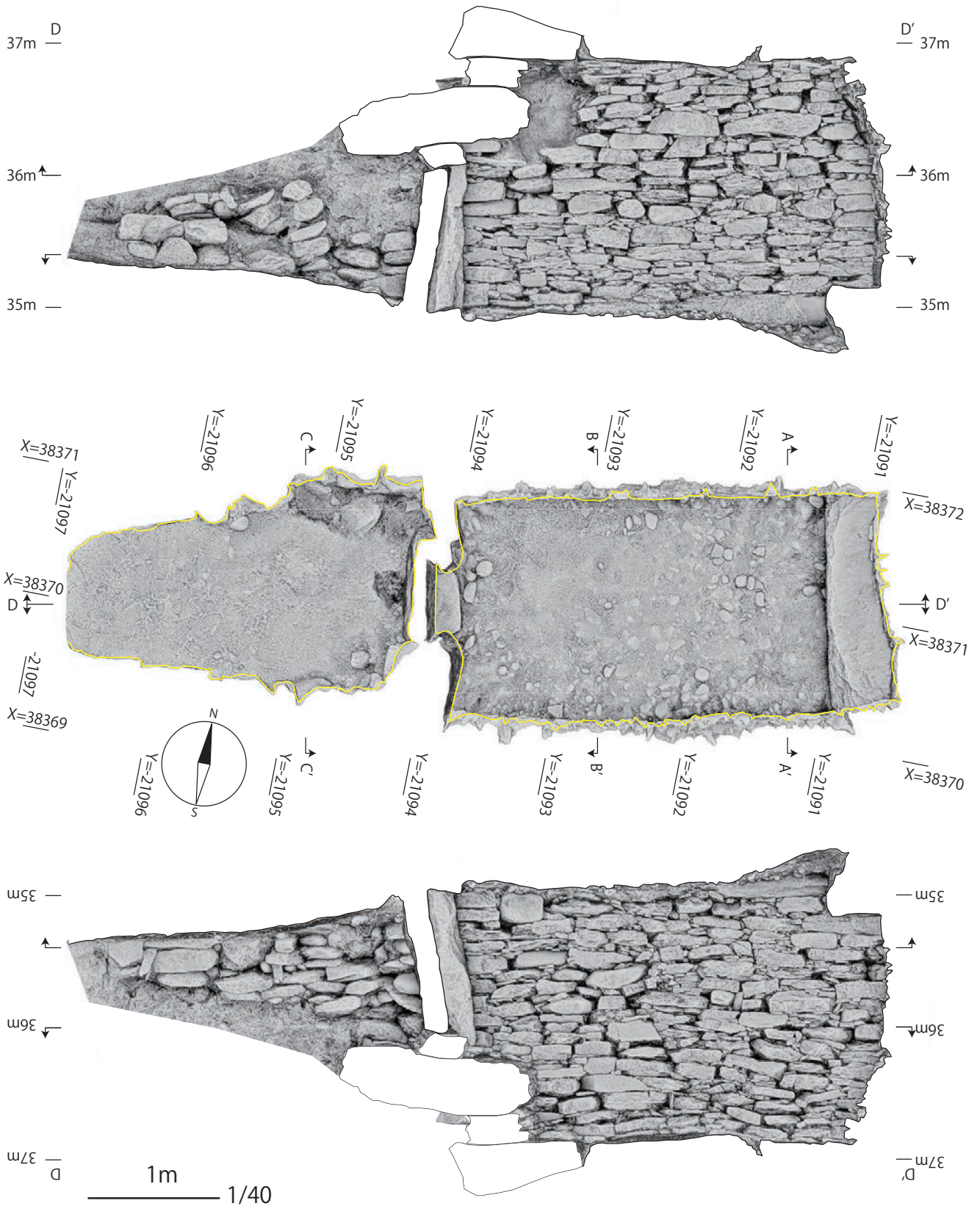


図 19 塚堂古墳前方部石室正射投影図 (陰影図) (1)

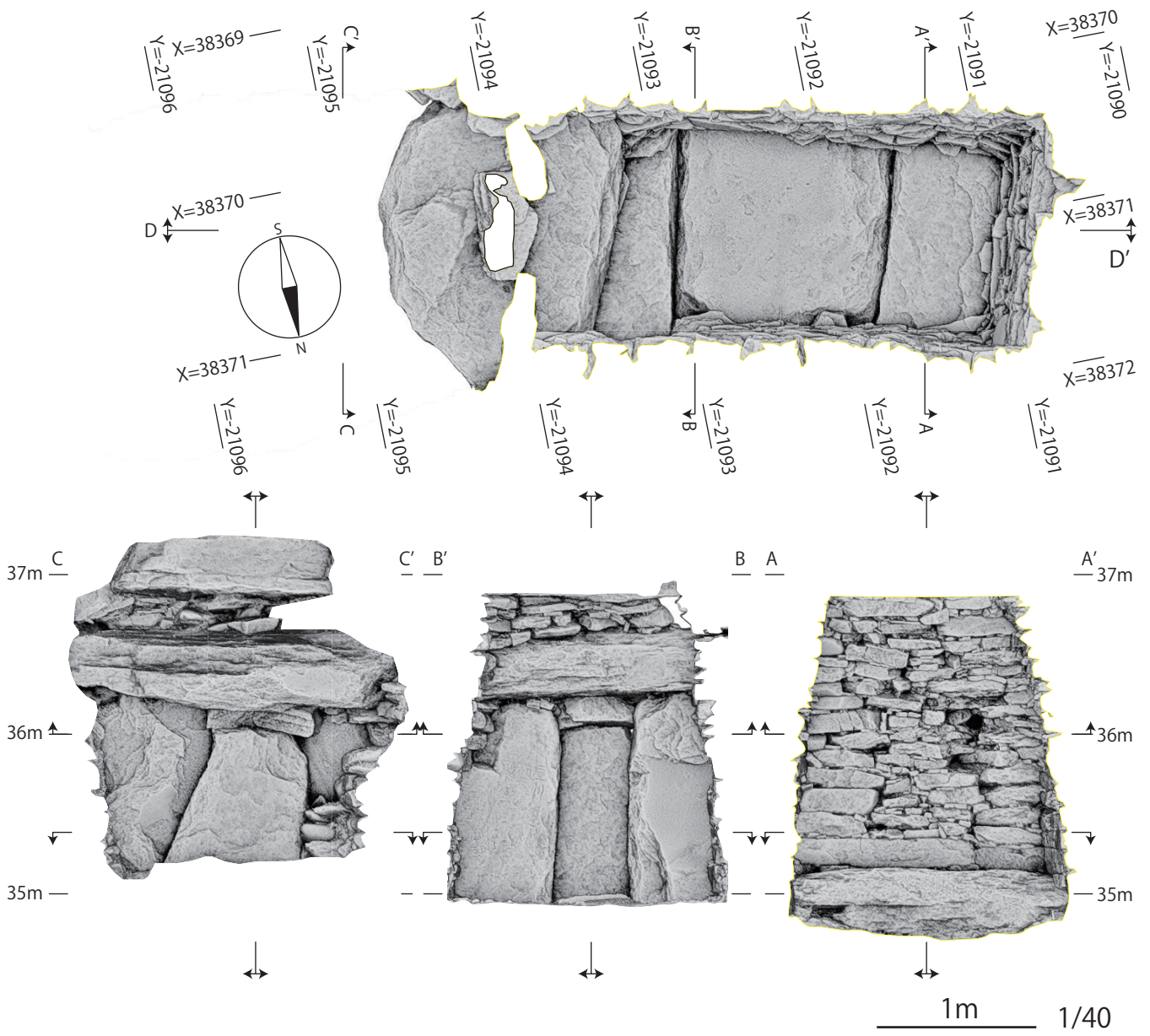


図 20 塚堂古墳前方部石室正射投影図（陰影図）（2）