

# 紀要

# 39

- 高島市仏性寺遺跡出土縄文土器の再検討(1)…………… 小島 孝修 (1)
- 布留式併行期の受口状口縁甕について…………… 伊庭 功 (15)
- 市三宅東遺跡の鏃形石製品とその意義…………… 宮村 誠二 (25)
- 滋賀県内の出土事例からみた斎串の一例について  
—上御殿遺跡の調査成果から—…………… 中村 智孝 (35)
- 滋賀県内における猿投窯産須恵器の流入  
—貯蔵器種を中心に—…………… 高島 悠希 (41)
- 条里地割からみる佐和山城下町の形成過程…………… 山口 誠司 (53)
- 三次元計測の実験的試行  
—等高線図の作成とオルソ画像の作成—…………… 福井 知樹・三好 佑佳 (62)

## 三次元計測の実験的試行

### —等高線図の作成とオルソ画像の作成—

福井知樹・三好佑佳

#### 目次

1. はじめに
2. 三次元計測の方法
3. デジタルカメラによる撮影
4. 無人航空機による撮影
5. おわりにかえて—今後の課題と展望—

#### — 論文要旨 —

本稿では、無人航空機およびデジタルカメラを利用した三次元計測の検証を行った。筆者のうちの福井は、以前本『紀要』第36号誌上で「遺物三次元計測の実験的試行」と題し、石造物・瓦・陶磁器の手実測と三次元計測の比較を行い、おおむね良好な結果を得た。一方で、遺構等に対する検証は特に行ってこなかった。そのこともあり、本稿で検証を行いたい。なお、今回はEpicGamesのRealityCaptureならびにRealityScanを利用して、三次元データの構築を行った。

また、近年では無人航空機の利用が普及しているが、無人航空機の利用に関しては、航空法や航空法施行規則、無人航空機の飛行の安全に関する教則等の法令等による規制が多く存在する。それらについて、埋蔵文化財分野で利用する際に規制対象となる飛行を考えた。規制される飛行も国土交通省の許可承認を得れば飛行可能ではあるが、どういった飛行が規制対象であるのかを把握し、適切な運用を行うことが肝要となる。

今回の三次元計測では、石室内のオルソ画像の作成と、等高線図による墳丘測量・地形測量を行った。石室内の撮影と墳丘測量ではデジタルカメラ、地形測量では無人航空機を利用してそれぞれ撮影を行い、それぞれにおける長所と短所を検討した。デジタルカメラでの撮影では、細かいところまで三次元モデル化ができており、精細なデータの取得ができたが、一方で光量不足や撮影データ不足でデータ化できなかった箇所が存在した。無人航空機での撮影では、比較的写真枚数が少なくても細かなデータの取得ができたものの、上空視界が開けていない樹木がある箇所等ではデータが大きく乱れる結果となった。

結果として、小規模範囲の三次元計測を行うにはデジタルカメラによる撮影が、上空視界が開けている大規模範囲の三次元計測を行うには無人航空機による撮影が、それぞれ適しているものの、無人航空機における撮影では、デジタルカメラによる補助的な撮影が必要であるという考えに至った。

#### ——— キーワード

三次元計測 三次元データ Metashape RealityScan QGIS 無人航空機 デジタルカメラ

## 1.はじめに

筆者のうちの福井は以前、本『紀要』第36号誌上で「遺物三次元計測の実験的試行」(山田・福井2023)と題し、石造物・瓦・陶磁器の手実測と三次元計測の比較を行い、おおむね良好な結果を得た。一方で、遺構等に対しての検証は特に行ってこなかった。しかし、今年度に筆者らは無人航空機(ドローン等)の国家資格である二等無人航空機操縦者技能証明を取得したこともあり、本稿では無人航空機を活用した三次元計測の実証実験を行いたい。

また、無人航空機による撮影だけではなく、デジタルカメラによる撮影を利用した三次元計測も合わせて検証したい。なお、本稿は三好・福井が分担して執筆し、文責は各章末に記載した。(福井)

## 2.三次元計測の方法(図1)

福井は、これまで(山田・福井2023)や(辻川・福井2025)で、Agisoft Metashape professionalやEpic Games Reality Capture(現Reality Scan)を利用して三次元計測を行ってきた。しかし、(山田・福井2023)は遺物を対象とした解析であり、また(辻川・福井2025)では解析の方法については詳しく記述しなかった。そのため、改めて解析の方法について述べたい。なお、撮影の方法はそれぞれの章で記述する。

今回はEpic Games Reality Scan(バージョン2.1.0)もしくはReality Capture(バージョン1.5.1)を利用した。基本的にはどちらも使用方法は同じであるが、機能名称が異なることがあるため、Reality Scanを主として記述し、Reality Captureで名称が異なる場合は()で補足する。

事前準備として、Windows標準搭載のメモ帳もしくはMicrosoft Excel等を利用して座標データを作成する。メモ帳の場合は「点名 X軸 Y軸 Z軸」をタブ区切りで入力し、csv形式ファイルで保存する。Excelの場合は各セルに同様の順に入力し、csv形式で保存する。ソフトウェア起動後、ワークフロータブ「Ground Controls(GCP)」を選択し、作成したcsvファイルを選択する。取り込みオプションが表示されるので、ファイルフォーマットが「Name Y/Lat X/Lon Z/Alt」、区切り文字「タブ」、座標系が正しいかを確認して取り込むと、画面左側のワーキングエリアのコントロールポイントに取り込んだ点が表示される。

ワークフロータブの「FolderもしくはImages(フォルダもしくはは入力)」で画像を取り込む。取り込んだ後、アライメントタブの「ドラフト」、MESH&COLOR(MESH MODEL)タブの「Preview」、「Texture」をして仮モデルを作成する。その後、アライメントタブの「Add Control Point」を選択して標定点を設定する。仮モデルのマーカを探し、クリックする。クリックすると「ワーキングエリア」のコントロールポイントに「point1」が追加され、取り込んだ写真の中で該当する点が提案されるので、必要に応じて修正しつつ追加していく。マーカを利用している場合

は、写真を取り込んだ段階で「マーカを検出(Detect Markers)」を選択することで、マーカの検出ができる。コントロールポイントが設定できれば、標定点を先に取り込んでいた座標点に対応するドラッグしていき、座標値を与え、「更新」をクリックすることで、三次元モデルに座標を与えることができる。

この時に誤差が生じることが多いため、仮モデルを削除してアライメント、メッシュ構築、テクスチャーを再度行う。そののち、SCENE 3D TOOLSタブの投げ縄ツール「Lasso」を使用して不要部を囲むか、「Advanced」で「最も多く接続しているコンポーネント」→「Invert」で浮いているメッシュを選択して、「Filter Selection」で取り除く。

三次元モデルの不要部を消去したのち、「Ortho Projection」でオルソ画像(正射投影画像)を生成する。オルソ画像の適したサイズは「推定」を押せば計算してくれるが、大きくなりすぎるため、幅・高さを利用目的に応じて設定する。QGISで1枚のオルソ画像を利用する場合は長辺の大きさが10,000ピクセルまでが目安だと思われる。

オルソ画像生成後は、SCENE ORTHO 2D TOOLSタブの「Orthophoto(Ortho Projection)」でオルソ画像を書き出すことができる。また、「Digital Surface Model」で数値標高モデル(Digital Elevation Model:DEM)を書き出すことができる。これらはオルソ画像の用途に応じて書き出して利用する。(福井)

## 3.デジタルカメラによる撮影(図2・3)

### (1) 撮影方法

使用したカメラはCanon EOS KISS M(レンズ:EF-M28mm F3.5 Macro IS STM、APS-Cミラーレス一眼)である。今回、カメラを用いて撮影したのは、滋賀県甲賀市甲賀町岩室に所在する岩室塚穴古墳群の石室と、大津市真野に所在する中村狐塚古墳の墳丘である。このうち岩室塚穴古墳は、5基からなる群集墳で、横穴式石室を持つ円墳である。この石墳は甲賀市の史跡に指定されている。

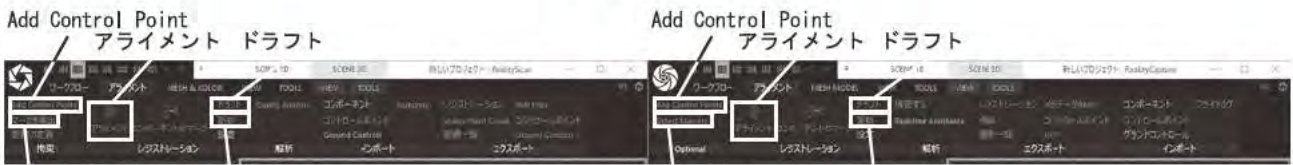
そのほかの機材類として、ストロボとスケール情報のためのマーカを使用した。なお、マーカは岩室塚穴古墳では任意座標を、中村狐塚古墳ではGNSS測量による座標観測値を、それぞれ利用した。また検証するにあたり、基本の撮影カット数は、岩室塚穴古墳群の石室は400カット、中村狐塚古墳の墳丘は1,800カットとした。カメラの撮影設定はオートで、より手軽になるようJPEG形式のみとした。また、EOS Utilityを利用してリモートで行った。

### (2) 検証結果

岩室塚穴古墳群の石室は内部が暗かったため、ストロボ



ワークフロータブ



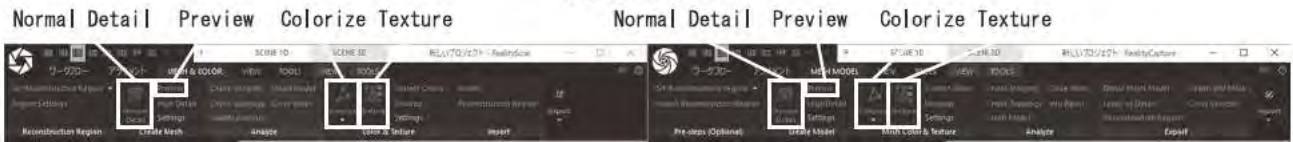
マーカを検出

更新

Detect Markers

更新

アライメントタブ



MESH&COLOR (MESH MODEL) タブ



Lasso Filter Selection Ortho Projection

SCENE 3D TOOLS タブ

(上 RealityScan 下 Reality Capture)



SCENE ORTHO 2D TOOLS タブ

(上 RealityScan 下 Reality Capture)

図1 Reality Scan/Reality Captureのツールバー



図2 岩室塚穴古墳 石室 展開図

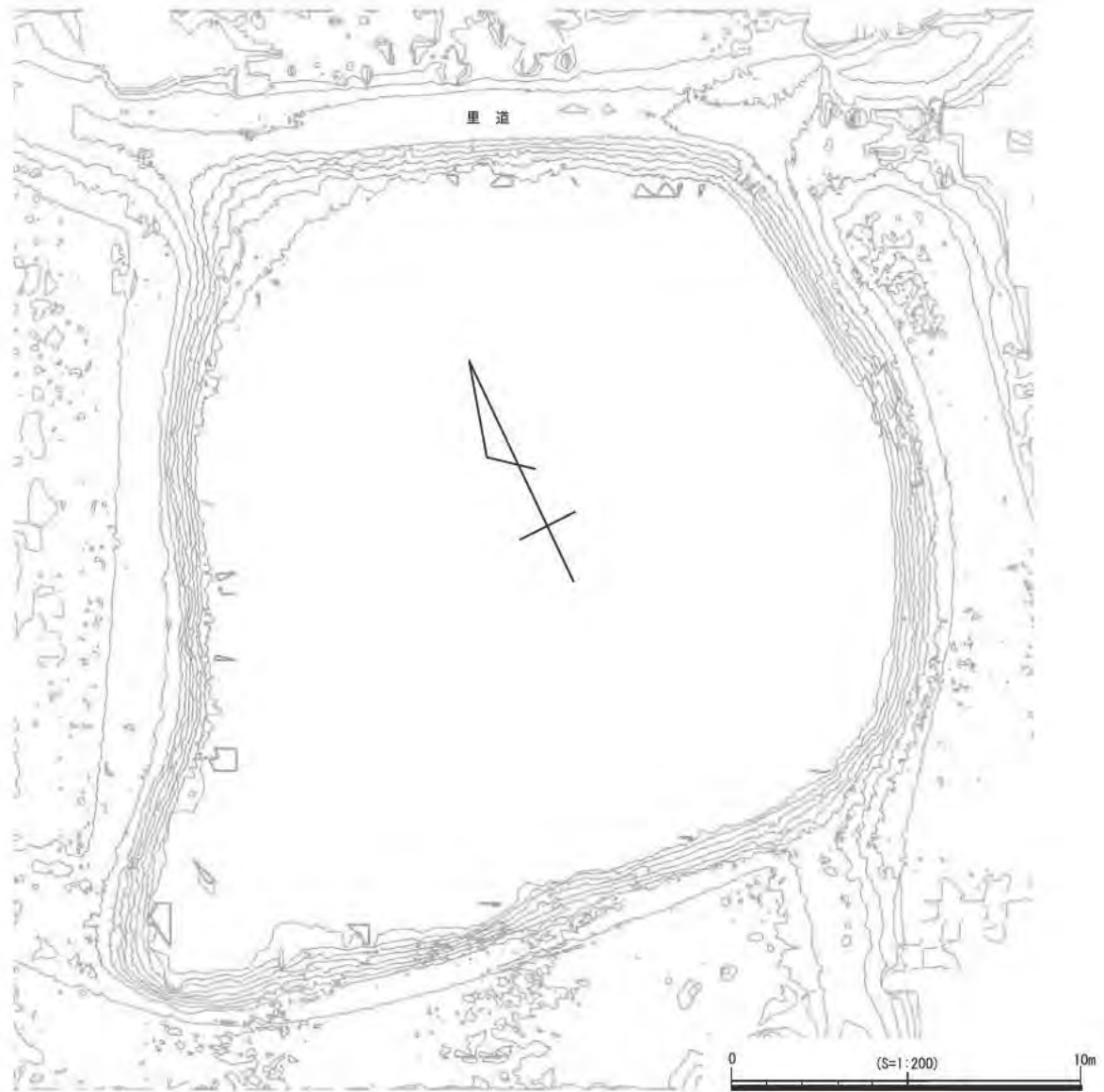
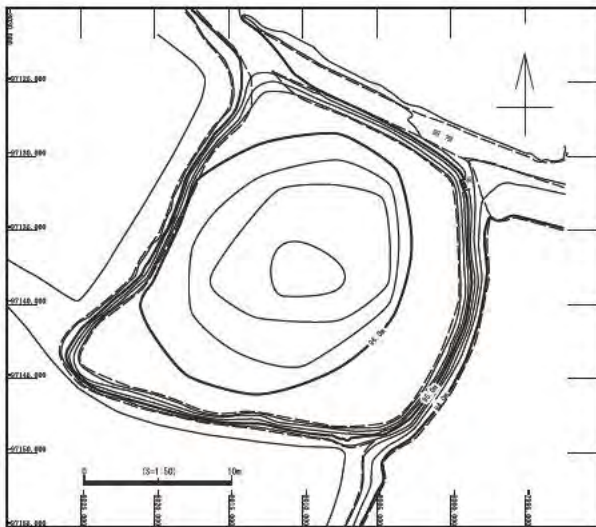


図3 QGISで作成した中村狐塚古墳墳丘 等高線図



墳丘詳細(東側斜面)



墳丘詳細(西側斜面)

参考：中村狐塚古墳墳丘 実測図および写真（辻川・福井 2025 より転載、図は50%縮小・一部加筆）

を使用して撮影を行った。その結果、天井部のモデルは欠けたものの、壁や地面はきれいにモデル化ができた。天井部のモデルが欠けた要因としては、ストロボの光が十分に届いておらず、光量が不足していたことが考えられる。

中村狐塚古墳は墳丘頂部は立入禁止のため、外周のみの撮影となった。そのため、モデルは墳丘部の点群が大きく欠け、モデル化が不可能であった。しかし、裾部は比較的間近で撮影できたため、細かいモデルの作成まで可能だった。(三好)

#### 4. 無人航空機による撮影(図4～7)

##### (1) 無人航空機と関係法令

無人航空機の飛行に関しては、航空法等によって多くの規制があるため、法律に則って飛行する必要がある。本節では、飛行に関しての法・施行規則・要領ならびに国土交通省航空局が無人航空機を飛行させるのに必要な知識等をまとめた「無人航空機の飛行の安全に関する教則(本稿執筆時は令和7年2月1日改訂第4版、以下、教則とする)」を基に、それらの規制を概観しておく。

**飛行空域と飛行の方法** 無人航空機はいつでもどこでも飛行できるわけではない。航空法(以下、法とする)や航空法施行規則(以下、規則とする)等で飛行空域・方法が規制されている。飛行空域については法第132条の85ならびに規則第236条の71・72、飛行の方法については法第132条の86第2項ならびに規則第236条の79で規制される。

具体的に規制されている内容は、飛行空域には、①空港等の周辺、②地表・水面から150m以上の上空、③国勢調査の結果で定められる人口集中地区の上空、④緊急用務空域の4つがある。飛行の方法では、①夜間飛行、②目視外飛行、③人または物件と十分な距離を確保できない飛行、④催し物上空での飛行、⑤危険物輸送、⑥物件投下の6つがある。このうち飛行空域④以外の飛行空域・方法は、国土交通大臣の許可・承認を得ることで飛行が可能となり、これらに該当する場合は特定飛行という。特定飛行するには許可・承認以外にも規制が多く存在し、違反すると罰則や行政処分が下される。

文化財分野における無人航空機の運用は写真撮影が主だったものになるだろうが、これは飛行の方法②に当たる。教則では「安全な飛行を行うためにバッテリー残量を確認する目的等で無人航空機から一時的に目を離し、モニターを確認する等は目視飛行の範囲内(教則15頁3.1.2(2)2)b. 目視による常時監視)」とされており、撮影のための画角調整等は目視内飛行に含まれない。また、撮影場所によっては飛行空域③と飛行方法③にも当てはまる可能性があるため、これらの許可・承認を得る必要がある。

飛行空域③の人口集中地区は国勢調査の結果によって決定されるため(規則第236条の72)、数年に1度変更されることがある。本稿執筆段階では令和2年度国勢調査の結

果で定められた人口集中地区である。これは国土地理院地図等で確認できる。

飛行方法③は飛行することを知らない第三者とその第三者が所有する物件から30m以上距離を取る必要がある(規則第236条の79)。教則では、電柱・電線・街灯・自動車・建物等の土地・自然物以外が物件に該当する、とする。そのため、道路や民家の近くでは該当する可能性が高い。

これらの飛行許可・承認申請は国土交通大臣に申請を提出するが、飛行開始予定日の少なくとも10開庁日以上前までに申請するよう国土交通省のホームページでは呼びかけている。また、原則オンライン(ドローン情報基盤システム(Drone Information Platform System:以下、DIPS))で申請するように呼びかけている。

**飛行日誌と飛行計画の通報** 特定飛行に該当する場合、飛行日誌を備えることと飛行計画の通報が義務となる。ただし、特定飛行に該当しなくとも、これらを行うことが望ましいとされる。

飛行日誌については、法第132条の89に、特定飛行を行う場合は飛行日誌を備えること、と明記される。また、規則第236条の84には、飛行日誌は飛行記録・日常点検記録・点検整備記録の3種が挙げられ、これらは令和4年12月1日制定の「無人航空機の飛行日誌の取扱要領」、令和5年3月31日制定「無人航空機の飛行日誌の取扱いに関するガイドライン」に様式例・記載例がある。

飛行計画の通報は、法第132条の88に、特定飛行を行う場合、あらかじめ日時・経路等を国土交通大臣に通報しなければならない、と明記される。他の無人航空機等との情報を共有することで、無人航空機同士の衝突事故を未然に防ぐことを目的としている。

規則第236条の83や令和4年11月3日制定(令和7年12月12日改正)の「無人航空機の飛行計画の通報要領」には、通報内容の詳細が記載される。これもDIPSで計画の登録ができ、特定飛行に該当する場合は許可・承認に該当しないと計画の登録ができないようになっている。

##### (2) 撮影

撮影対象は比較的広範囲で高低差があり、検証しやすいという点で福井の自宅敷地で行った。

撮影に当たって、標定点となる対空標識が識別できる限界高度を確認した。対空標識はA4用紙にX型と+型(1)を印刷したものを作成し、高度5mから40mまで5mごとに撮影した画像から対空標識の確認をした(図4)。

高度5～10mでは、X型・+型ともに交点まで明瞭に確認できる。高度15～25mでは+型の交点と角がやや不明瞭になり、X型も若干不明瞭になるものの、いずれも中心点は判別ができる。高度30～40mでは、X型・+型ともに中心の判別がつかなくなった。そのため、この対空標識では高度20～25m程度が判別できる限界とみなせる。

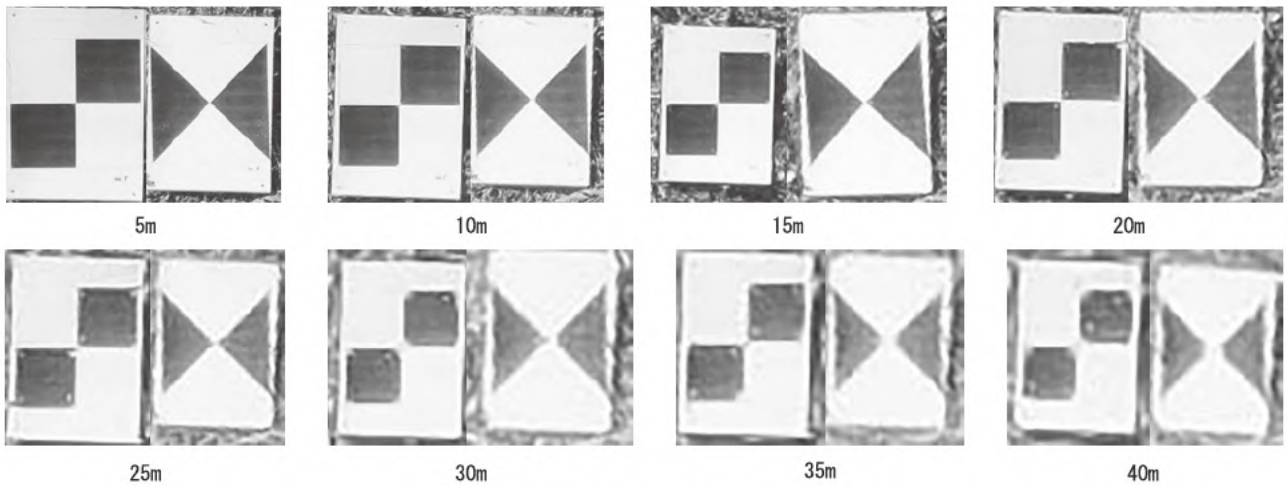


図4 高度差による対空標識の差



図5 撮影画像



図6 撮影画像重複度合

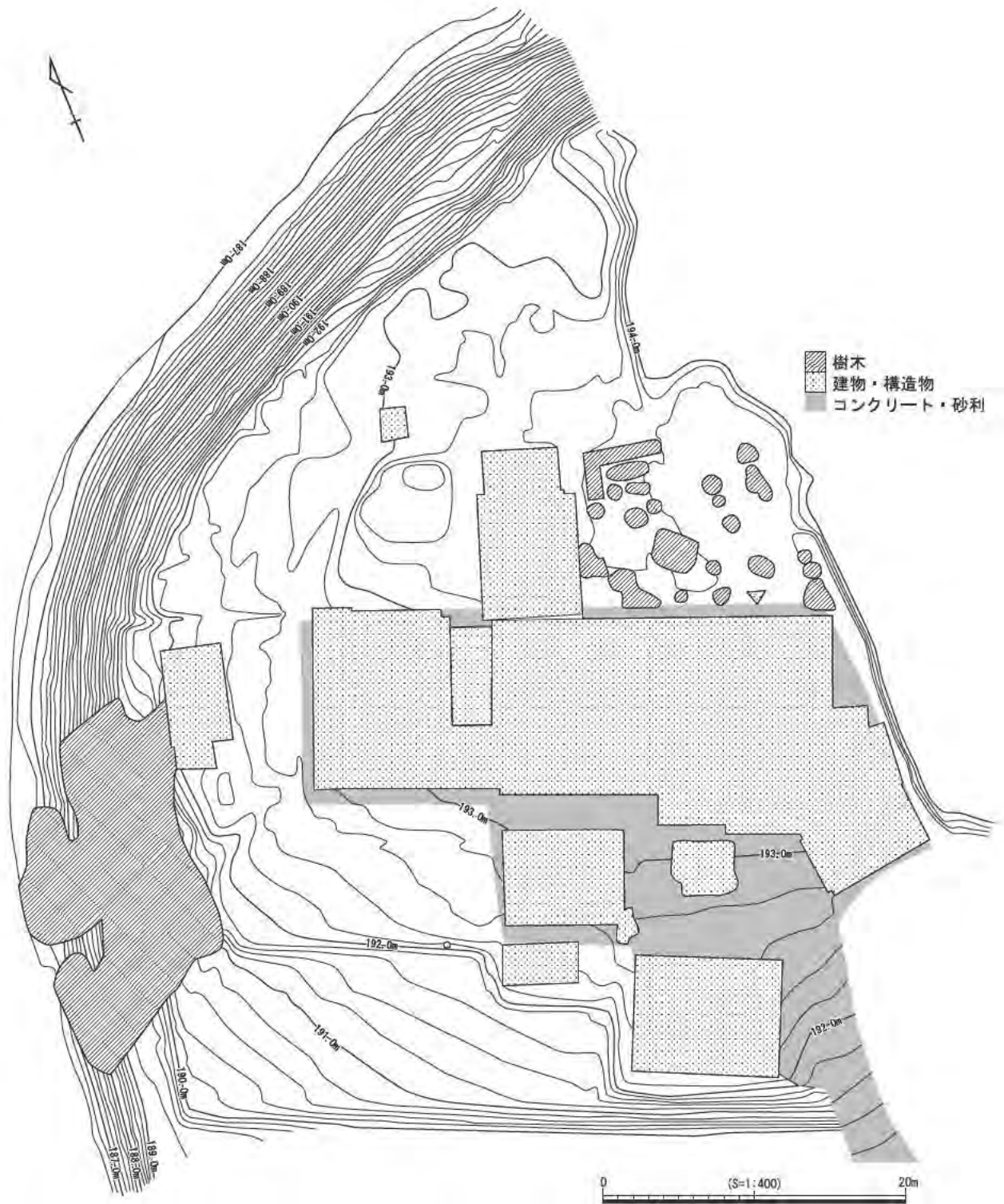


図7 無人航空機を利用して作成した等高線図

次に障害物等から最低高度を考える必要がある。無人航空機を飛行させた場所は筆者の自宅敷地内であり、建物・樹木といったものがあり、それらは10～15m程度の高さがある。それらが干渉せず、対空標識が識別できる高度20mで飛行させることとした。撮影は60%程度重複させながら平行移動しながら撮影し、約3,400㎡で245枚撮影した(図5・7)。なお、カメラを真下に向けた状態でしか撮影していない。撮影時間は約20分で、同時に座標観測(3点)も行い合計約60分で完了した。

### (3) 等高線図の作成

三次元計測の方法は第2章の通りで、オルソ画像と数値標高モデルをGeoTIFF形式で書き出した。書き出したTIFF画像を地理情報オープンソースソフトウェアのQGISで読み込み、ツールバーのラスター抽出＞等高線を選択する。入力レイヤを数値標高モデル、等高線の間隔を任意の幅(今回は0.2mと1.0m)に設定して、「実行」を押すことで等高線が生成できる。

生成した等高線は、雑草等の地形と関係がない部分も反映されて、線が乱れた箇所もあった。そのため、QGISのレイアウトマネージャーで任意のスケールに設定して画像を書き出し、Adobe illustratorでトレースをした(図7)。

さて、等高線図であるが、高度20mで撮影したにもかかわらず、幅10cmのU字溝といった幅狭のものも表現できている。そのことから、更に高度を上げて作成できそうである。高度を上げることで撮影枚数を減らすことができるため、必要に応じて高度を設定すればいいだろう。

データ生成前は真上からの撮影で、高低差があまり現れないのではないかと考えていたが、図7北側から西側にかけての斜面がしっかりと認識されていて、想定よりも正確にデータ化ができた。その想定理由は、かつて行った軒瓦の三次元データでは、真正面からの撮影だけでは瓦当面が弓なりに反ることがあったため、真上からの撮影だけだと奥行があまり表現されないと思っていたためである。おそらく、撮影対象から離れている分、複数枚の写真で立体感の認識ができたと考えられる。

一方で、樹木が生えている箇所はデータ生成がうまくいかなかった。西端で大きく樹木の影響を受けている場所があるが、ここには柿・桜の木があり、枝が密集していることもあり、木自体も地面も曖昧なデータとなっていた。オルソ画像も、モザイク掛かった状態になっていた。また北東側は竹林・山林になっており、データの構築は上空視界が開けている箇所だけになっている。おそらく、手持ち撮影とうまく組み合わせれば、より良いデータの構築ができるだろう。

(福井)

次元計測を行った。デジタルカメラを用いたモデル作成では、適度に撮影できた箇所に関しては、細部までモデル化することができた。石室の石材や石室入り口前の砂利、植物等の細かい部分までモデル化できたことは、構造物におけるデジタルカメラ測定の利点が活かせる結果となった。このことから、今回実験対象とした石室のような、小規模の構造物に関しては有用性が認められるように感じた。しかし、古墳墳丘や民家のような大規模な構造物については、それぞれに問題点が生じる結果となった。デジタルカメラを用いた古墳墳丘の撮影に関しては、墳丘裾部を歩いて1周しながら撮影したため、墳丘裾部はきれいにモデル化できた。しかし、立入禁止区域の墳丘頂部は、写真枚数が乏しく、モデル化に至らないという問題が生じた。また、無人航空機を用いて行った民家の撮影に関しては、上空からということもあり、屋根や障害物のない地面についてはきれいにモデル化ができた。しかし、樹木などの障害物が多く、地面の撮影が困難だった箇所や、屋根に遮られた二階壁面に関しては、モデルが粗くなる、もしくはモデル化されないという問題が生じた。

これらのことから、小規模の構造物をモデル化する際にはデジタルカメラで写真撮影を行い、大規模の構造物をモデル化するには、全体的に無人航空機による写真撮影を行ったのち、細部をデジタルカメラによる写真撮影によって補う必要があると考える。また、無人航空機による写真撮影を主とした測量を行う際には、上空写真の際に撮影が不可能だった箇所に関しても、デジタルカメラを用いての補助的な撮影が必要である。

今後も遺構や建造物、測量等様々な分野での三次元計測が増えていこう。これらの撮影をする際に、適切な方法を選択していくことが肝要となっていこう。(三好)

### 註

(1) 対空標識の名称は、測量法第34条で定める作業規程の準則第137条に則る。

### 文献一覧(著者名・機関名50音順、刊行年順)

喜多耕一(2022)『業務で使うQGIS』全国林業改良普及協会  
国土交通省航空局編(2025)『無人航空機の飛行の安全に関する教則(第4版)』  
辻川哲朗・福井知樹(2025)「志賀・中村狐塚古墳測量調査報告」『紀要』第38号、公益財団法人滋賀県文化財保護協会  
山田梨紗子・福井知樹(2023)「遺物三次元計測の実験的試行」『紀要』第36号、公益財団法人滋賀県文化財保護協会

### 挿図典拠

図1・4～7 福井作成

図2・3 三好作成

## 5. おわりにかえて—今後の課題と展望—

今回は、デジタルカメラと無人航空機の2種類を用いて三

(ふくい ともき：調査課 主任技師)

(みよし ゆか：調査課 技師)

**ANNUAL BULLETIN**  
**of**  
**Shiga Prefectural Association for Cultural Heritage**  
**Vol.39 2026.3**

私たちは文化財をとおして  
ゆたかな滋賀づくりに貢献します。



公益財団法人滋賀県文化財保護協会  
Shiga Prefectural Association for Cultural Heritages