

UAV を用いた埼玉古墳群の測量について

—古墳群の記録の一手法として—

ナワビ矢麻

1. はじめに

UAV は Unmanned Aerial Vehicle (無人航空機) の略で、ドローン (Drone) の通称でも知られる。飛行や空撮を楽しむ目的の他、インフラ点検や測量、物流など様々な分野で普及が進んでいる。低コストで簡易に飛行できることから誰もが使用でき、身近な存在となりつつある。一方で、航空法の規制に違反した飛行を行った者が逮捕される事例などもあり、安全で適切な運用が求められている。現状で UAV の操縦に免許は必要とされていないため、航空法、電波法、道路交通法やその他の関連する条例を遵守し、飛行を行う必要がある。

これまでの空撮と比較して UAV が考古学にもたらす効果は大きく、導入が進んでいる。発掘調査中の空撮や遺構の真上からの撮影の他、撮影した写真から地形データを生成するなど、多方面への利活用が可能である。遺構の情報の取得から、展示等への利用など、データの活かし方はこれまでの記録方法を凌駕する。本稿では、平成 30 年度に実施した、埼玉古墳群を対象とした UAV による空撮及び写真から生成した三次元モデルについて報告する。埼玉古墳群のように広大な面積をもつ遺跡の記録において、UAV が果たす役割や利活用、課題についてまとめる。なお、今回は調査実施の経過報告としての側面が強い。図版等にノイズ等が多く含まれるなど、解析が完了していない点についてご容赦いただきたい。

2. 遺物や遺構の記録の方法

考古学において、遺物や遺構を記録するために様々な方法が考案され実施されてきた。これまでの考古資料の記録においては、本来三次元である資料の形状や特徴などの情報を二次元的に表現していた。発掘調査時における平面図や立面図、遺物の実測図などの記録が好例である。実測においては遺物の観察を基に点を測り、点を繋いだ線の形で外形を表現する。面的な情報の提示には写真撮影や拓本等の手段が用いられ、表面の調整や色、質感が表現される。

一方で、近年考古学の記録において注目されているのが三次元的な計測手法である。文化財の調査、記録の現場において三次元計測の事例が急速に増加している。特に立体的で多様な形をもつ遺物や遺構を対象とする考古学の分野で顕著であるといえる。

もともと三次元である資料を三次元的に記録し、提示する媒体に応じて様々な表現が可能である。また三次元計測では、物体のもつ形状をそのまま記録するため、原理的には誰が作業を実施しても同じデータを取得することができる。実測では、観察に基づき図り込む点を決定し、特徴的な部分を特徴的に表現することが多いため、実測者 (=データ取得者) の主観やバイアスが反映される。レーザースキャナー等に代表される三次元計測では、遺物の表面情報を計測し、点群データとして記録する。この点群は手実測による選点よりはるかに多いため、より精度の高い図やデータを取得することができる。精度が高いデータを短い時間で計測可能であり、

これに従来の実測でも行う観察を組み合わせることで、客観的なデータと解釈とを同時に提示することが可能となる。

しかし、三次元計測を導入・実施するにあたって課題となる点もある。まず、機器の導入時のコストが高い点である。装置コストは実測道具と比較すれば当然高額になるため、考古学の分野での導入は緩やかである。また三次元計測機器は遺物や遺構のもつ形状を点として記録保存しているため、色情報や対象物がもつ「質感」等は記録において反映されないことが多い。

上記の課題を解決する手法として最近事例が増えているのが、SfM-MVSである。SfM (Structure from Motion) は複数枚の写真から、画像に写された物体の形状と撮影を行ったカメラの動きを復元する技術である。MVS (Multi-View Stereo) は SfM により復元されたカメラ位置から、より高密度な点群を生成する技術である。点群の生成に必要となるのはソフトの他にカメラ (種類は問わない) のみであり、導入が非常に容易である。一眼レフカメラ等でなくても、スマートフォン等の写真でも手軽に行えるため、事例が増えている。写真に釘やマーカーなどの標定点を写しこみ、ソフト上で座標を与えることで、スケールや座標系をもった三次元データを生成可能である。また、画像データを基にしているため、生成する点はカラー情報をもつ。点群をつないで生成したメッシュの各面に画像データを貼り付けることで、オルソ写真も作成できる。データを写真から生成しているため、素材の色や質感を保持したデータを作成することができる。レーザー等による三次元計測と比較すると点群の精度は低いことが多く、ノイズの発生や撮り方を誤るとカメラ位置の復元ができなくなる等のデメリットもあるが、対象物の色や空間を含めた記録には最適な方法である。

遺物、遺構の記録には様々な方法があるが、求められる精度や対象物の規模によって最適な手法を選択すべきであり、実施者も計測手段の選択肢を拡げる工夫が必要である。広範囲にわたる遺跡の記録には mm 単位の精度は必要ないことが多く、遺物の計測においては取得したい情報に応じた精度の設定を行うべきである。今回の調査対象は埼玉古墳群全体ということで、UAV から撮影した写真データを基に、SfM-MVS を使用し三次元データを生成した。

3. 調査の概要と方法

調査の概要は下記の通りである。

1. 日時：2018年12月15日(土)～12月28日(金) 11時～15時
2. 目的：UAV 空撮および空撮写真を利用した地形三次元データの生成。
3. 操縦士：ナワビ矢麻 (早稲田大学會津八一記念博物館・助手) (当時)
4. 無人航空機：DJI 社 PHANTOM 4Pro プロペラガード装備
5. 加入保険：ラジコン操縦士保険、DJI 無償付帯賠償責任保険
6. 操縦者実績：マニュアルに基づく操縦練習、古墳の空撮等の飛行実績あり



図1 使用した UAV

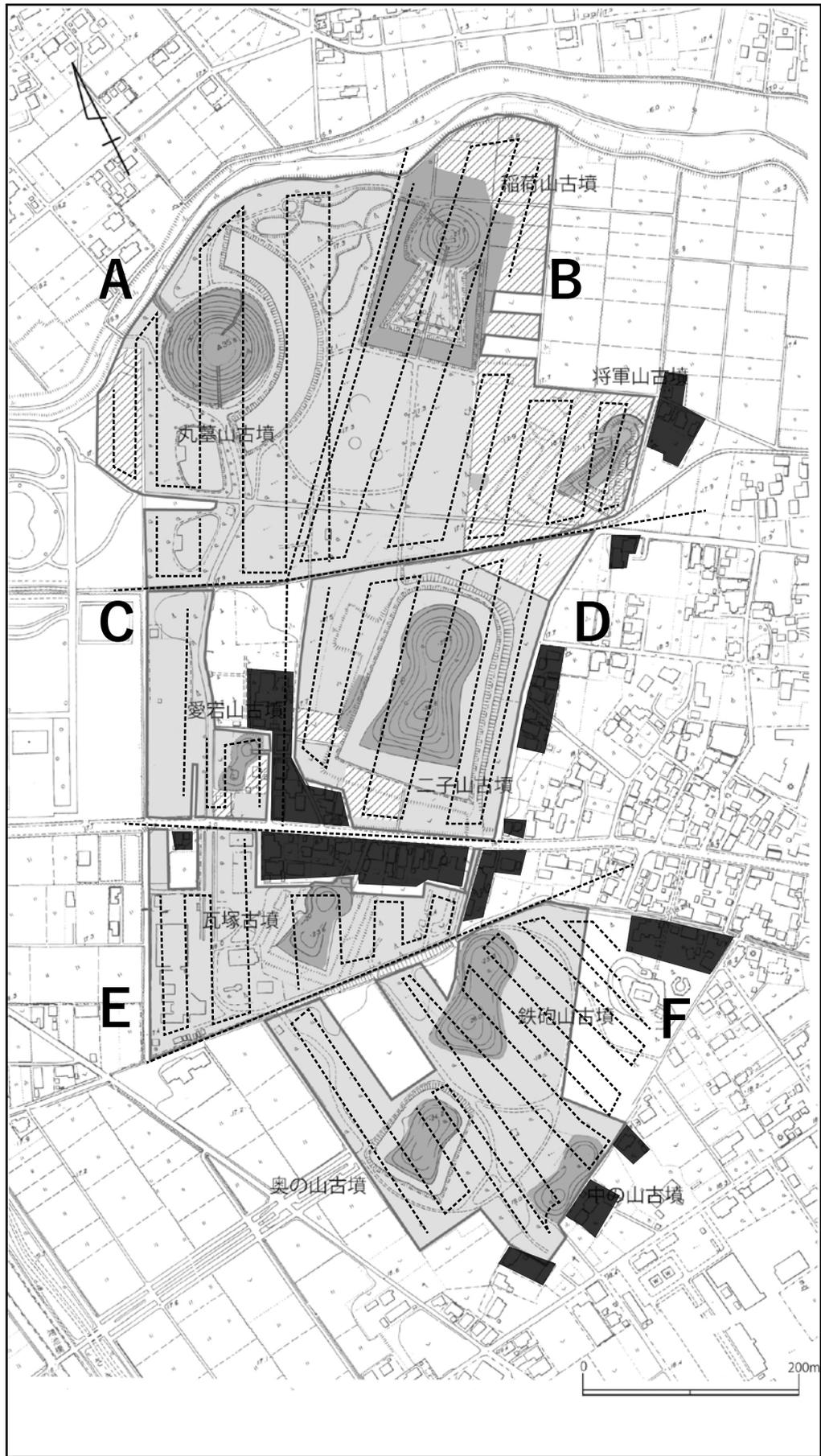


図2 飛行ルート図

調査に先立って、さきたま史跡の博物館の担当者と協議を行った。協議では、全体のスケジュールおよび飛行ルートの確認、注意事項に関して確認した。多くの来園者が想定される土曜日・日曜日の飛行は行わない点、飛行中は操縦者を含め複数人が UAV を監視する点、許可を受けて調査していることがわかるよう目印を身に着ける点について確認した。また、近隣住民に対して理解を得られるよう、事前に調査のお知らせを配布した。強風時の飛行、悪天候時の飛行、15 時以降の飛行、人や建物に 30m 以上近づくことを禁止し、プロペラガードを着け、安全には十分配慮した。なお調査を実施した 2018 年時点で、埼玉古墳群を含む一帯は国土交通省の指定する飛行禁止区域には該当していない。

調査は平成 30 年 12 月、早稲田大学が実施した二子山古墳の測量調査・レーダー探査と並行して実施した。史跡の範囲内、航行が許可された範囲を A～F の 6 地区に分割し、1 日 1 区ずつ飛行を行う計画を策定した。本調査では、埼玉古墳群全域の写真撮影とともに、三次元計測も目的としている。写真から三次元モデルを生成するために、SfM-MVS を用いた。生成したモデルに座標を与える必要があるため、上空から見えるような標定を地面に設置し、飛行・撮影後に標定点の測量を実施した。標定は各区画で最低 4 か所設置した。実際の飛行では、一定時間の間隔でシャッターを切るように設定し、同じ高度、同じ速度で移動した。カメラからの画像は、コントローラー上のモニターでリアルタイムに把握できるため、進路が逸れていないか確認しながら飛行した。撮影したデータ (.jpg) は 6 地区の合計で 4905 枚であった。

UAV から撮影された写真は、その前後左右の画角と 80% 以上オーバーラップさせている (図 3)。画像データは Agisoft Metashape (ver.1.5.2) 上で解析し、座標を与えた後に、地形の標高データとして DEM (Digital Elevation Model) とオルソ写真として出力した。出力した標高データとオルソ写真は GIS ソフト (QGIS) に読み込み重ね合わせた。DEM は処理によって様々な表現が可能である (図 4)。任意の間隔で等高線を描かせ、オルソ写真に重ね合わせることで、地形の凹凸をより直感的に示すことができる。図 5 はオルソ写真に 1m 等高線を引いたもの、図 6 は DEM から生成した陰影図に 1m 等高線を描かせたものである。植栽部分は消去してお



座標情報を持った 3D モデル

図 3 UAV を用いた三次元モデル生成イメージ

らずノイズとして表れているが、各古墳の形状や整備状況について良好なデータを取得することができた。現在の地籍図や特別史跡の範囲のデータ、過去の航空写真等を GIS 上で重ね合わせることにより、更なる活用や研究への利用が可能である。

4. 生成データの活用について

UAV から撮影された写真データから、色情報をもった三次元点群データの取得を行った。取得した点群データはすべて座標をもっており、地理情報システム上で様々な図として出力できる点や、ここではまとめとして、生成したデータをどのように活用できるかという点について述べる。

1つ目は三次元データを使った研究の基礎材料の提示である。座標情報をもった地形データとしてモデル生成されているため、GIS を用いた地理的な分析を行うことができる。墳丘高や墳丘長、段築の勾配などの情報を容易に取得する方法として、三次元データは今後欠かせないものになっていくと考えられる。例えば、墳丘の傾斜変換線等は観察に基づいた主観で描かれることが多かった。三次元データを使用すれば、取得した点群データの分布から数値として導き出せるため、客観的なデータとして提示可能となるのである。特に埼玉古墳群の場合、個々の古墳の測量図は存在するが、古墳群全体を対象とした測量図は作成されていない。遺跡とは大地に直接遺された人類活動の痕跡であるため、地形と切り離して論じることはできない。マクロな視点での研究や遺跡の記録という意味で、同様のデータが果たす役割は大きい。

2つ目として博物館での利活用が想定される。前方後円墳のような大規模な遺跡については、上空からの視点が来跡者の理解を助ける。実際に、館内に掲示された航空写真やミ

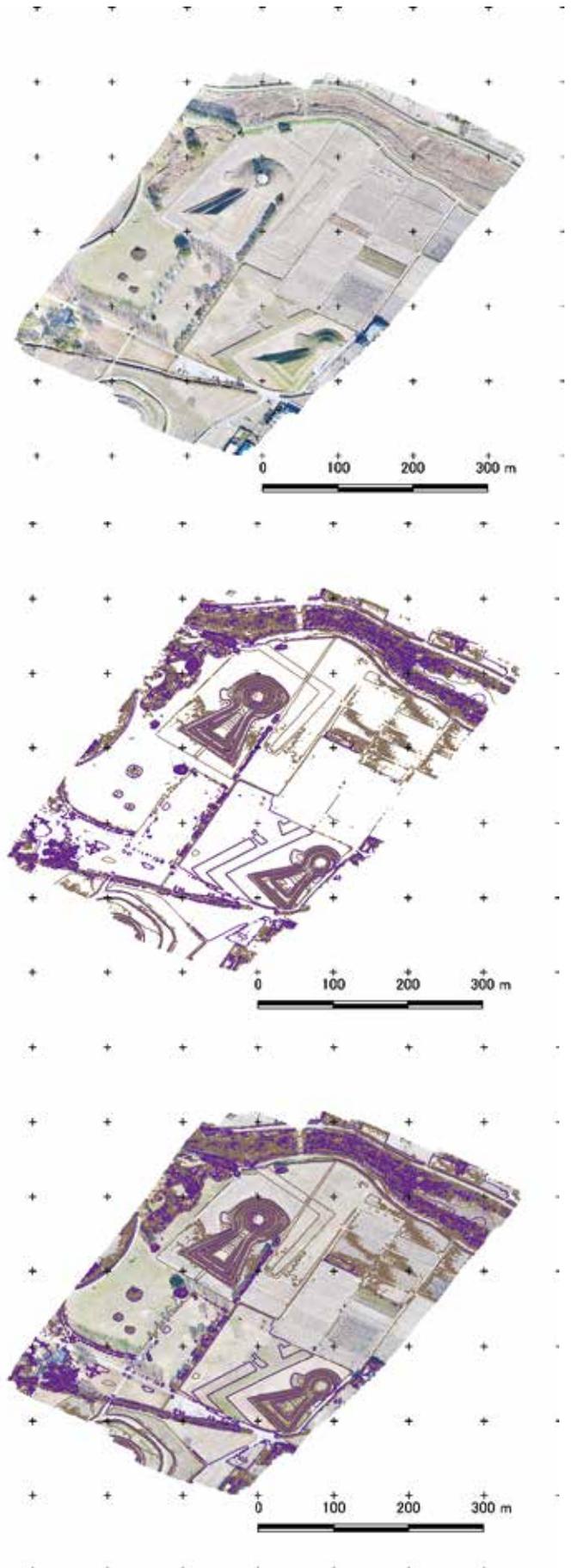
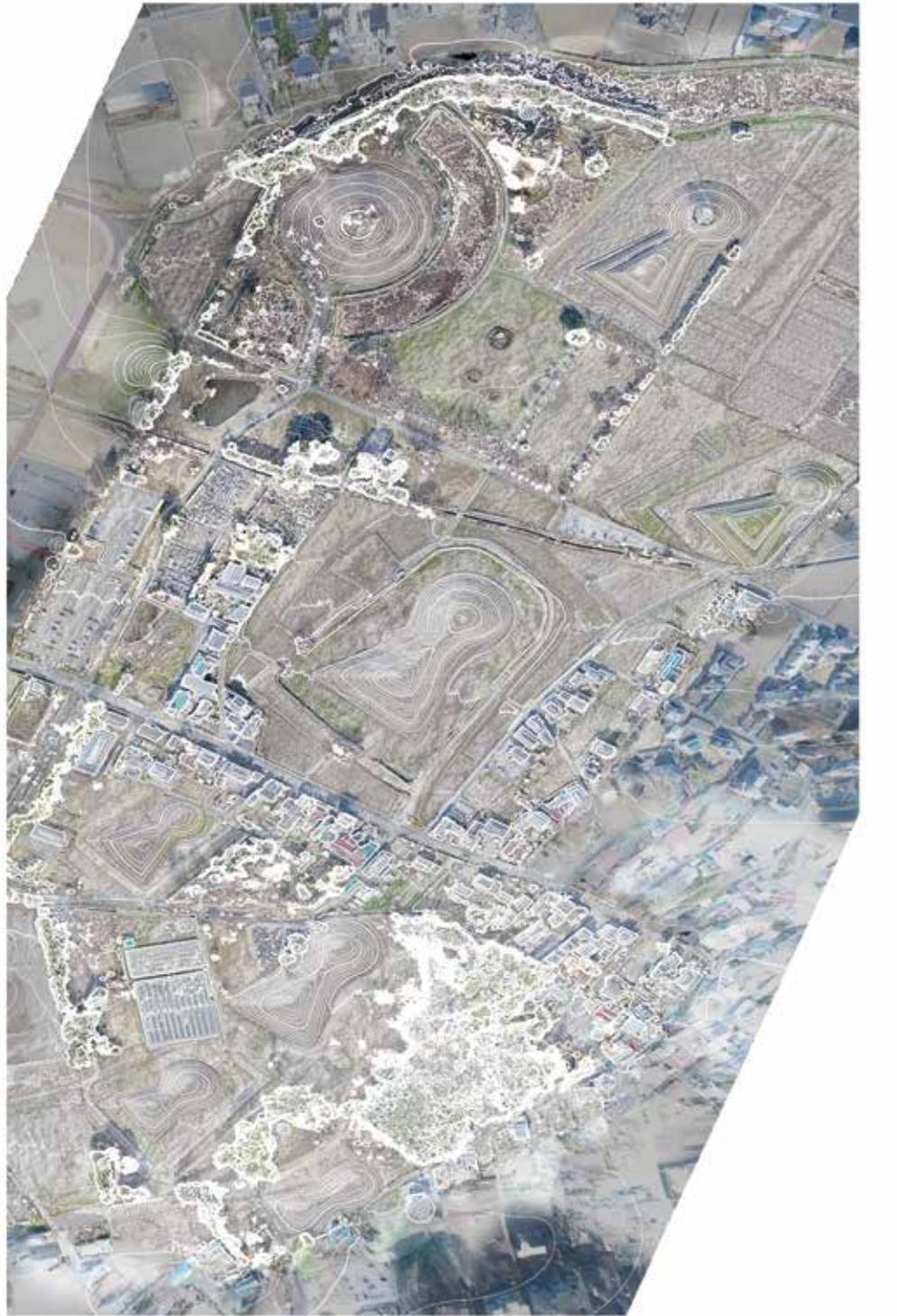
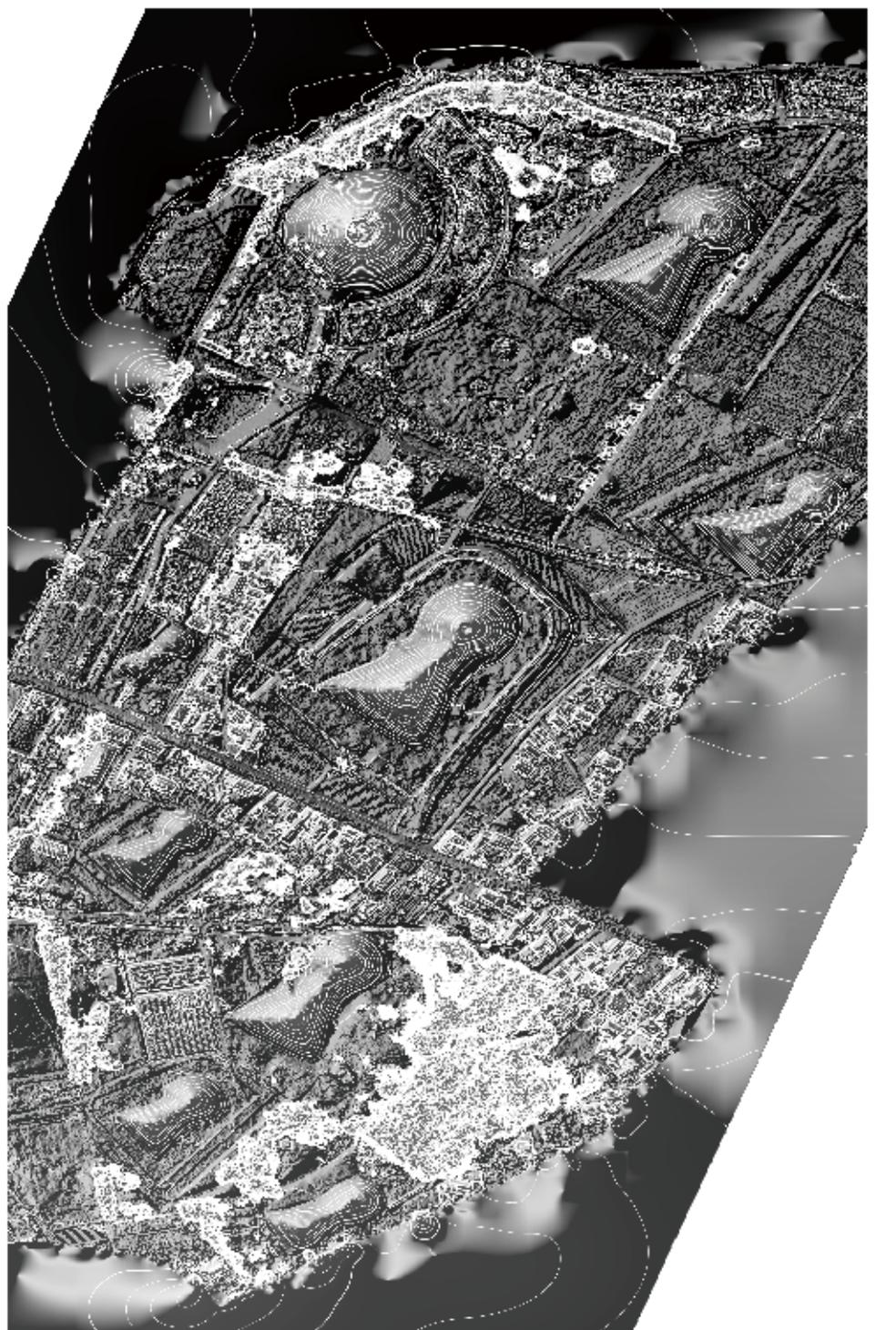


図4 処理および表示方法



0 200m
S=1/5,000

図5 埼玉古墳群三次元モデル①



0 200m
S=1/5,000

図6 埼玉古墳群三次元モデル②



图7 埼玉古墳群空撮①（稻荷山古墳・丸墓山古墳）



图8 埼玉古墳群空撮②（二子山古墳・将軍山古墳）

ニチュア模型を見学する来館者も多く見受けられる。上空からの写真（図7・8）や動画は館内の展示や広報等でも利用でき、大型古墳の墳形を理解する上で効果が高いと考えられる。タブレット端末やサイネージ等を利用し、来館者が埼玉古墳群の三次元モデルを操作する等のインタラクティブな利用方法もある。データを3Dプリンター等で形にし、より精細なジオラマの作成等も可能である。

3つ目は埼玉古墳群の定点記録としての利用である。埼玉古墳群は50年にわたる史跡整備の歴史をもち、今日に至るまで日々発掘調査や整備工事により形を変えている。史跡整備においては、遺構の性質や形状、規模、立地等をわかりやすく伝えるために、時代に応じて様々な手法が選択されてきた。現在目にしているものは整備を経た姿であり、埼玉古墳群における史跡整備の歴史を示している。今後も調査研究に基づいた史跡整備が実施され、古墳群は形を変えていくと考えられるため、現状の記録と劣化等の観測という意味でも、三次元的な記録の効果は高いと考えられる。発掘調査や史跡整備技術の向上にもつながると考えられる。

本稿では UAV を用いた埼玉古墳群の記録について簡単に報告を行った。2018年12月時点での埼玉古墳群の姿を三次元的に記録することができ、展示等の活用面での貢献についても期待される。地形や各古墳の基礎データを基に、これまでなかった視点を提供することも可能になったと考える。今後とも、文化財を記録する際には適切な精度、遺跡の規模から方法を選択し、文化財の保護に応用していく必要がある。そのためには、記録者として選択肢を多く持つことと同様に、記録対象についての理解を深めることが不可欠である。今後とも、データの取得・保存・研究・活用の面で、隣接分野と協働しながら、考古学に携わる者が主体となった活発な議論が展開されることを期待する。

〈図版出典一覧〉

図1・7・8 撮影データ

図2 (埼玉県立さきたま史跡の博物館 2019) を基に筆者作成

図3～図6 撮影データを基に筆者作成（※生成したデータは解析途中のものであり、未完成である。）

〈参考文献〉

埼玉県立さきたま史跡の博物館編 2018 『史跡埼玉古墳群 総括報告書 I』 埼玉県教育委員会

埼玉県立さきたま史跡の博物館 2019 『ガイドブック さきたま』