

# UAV-LiDARによる遺跡・地形計測の仕様と実施

野口淳（金沢大学古代文明・文化資源学研究所客員研究員）

中村良介（産業技術総合研究所）

金澤舞（和歌山県立紀伊風土記の丘）

Airborne measurement survey of archaeological site and related topography using UAV-LiDAR

Noguchi Atsushi (ISACCR, Kanazawa University)

Nakamura Ryosuke (AIST)

Kanazawa Mai (Wakayama Prefectural Kii-Fudokinooka)

・ドローン UAV／UAVs・空中 LiDAR 計測／Airborne LiDAR

・マルチリターン／Multi return

## 1. 概要

航空 LiDAR (Airborne LiDAR) による遺跡・地形計測の有効性は、国内外のさまざまな事例により示されている。

中米マヤ文明や南米アマゾン川上流域の「古代都市」など、熱帯雨林に厚く覆われている地域では、上空・地上いずれからも見通しが効かないため、広範囲の遺跡所在の把握が困難だったものが、航空 LiDAR 計測により植生被覆の下の地形や遺構群の詳細が明らかにされている (Chase et al. 2017, Prümers et al. 2022 など)。国内でも古墳の墳丘などへの適用事例が増えている (光本ほか 2022 など)。

これらは、上空からのアプローチで接近・立ち入り困難性を解決すると同時に、LiDAR 計測機器のマルチリターンを利用して植生等の被覆をあたかも「透過」したかのように、地表面の状態を計測することで達成されるものである。可視光画像による 3D 写真計測とは異なる技術であり、求められる要件、取得されるデータとその解析処理も相違点が少なくない。

本稿は、産業技術総合研究所が和歌山県岩橋千塚古墳群（特別史跡）において 2022 年 3 月に行なった計測事例にもとづいて、航空 LiDAR 計測を実施する際の参考情報を提供することを目的とする。

なお本稿は、1・2・4・5 節を野口が執筆し、3 節は中村が作成提供した仕様書にもとづき野口が文章化したものを、中村・金澤が確認したものである。

## 2. UAV-LiDARによる遺跡・地形計測

LiDAR は「光検出と測距 (Light Detection and Ranging)」または「レーザー画像検出と測距 (Laser Imaging Detection and Ranging)」と呼ばれる計測技術である。指向性・収束性の高い光(紫外線～可視光線～近赤外線)を照射し、その反射にもとづき対象との距離や表面形状を計測する。

長距離または広範囲を計測するためには、指向性・収束性が高く高出力な光源が必要なため機材が大きく、重くなる。三脚等に設置して地上から計測する据置型のもの（地上 LiDAR スキャナー、TLS: Terrestrial LiDAR Scanner）、固定翼（セスナ、パイパー等）・回転翼（ヘリコプター）有人機に搭載されるものなどである。近年では機材の小型化が進んでおり、手持ち・可搬型（ハンドヘルド）のスキャナーや、小型の無人航空機（UAV: Unmanned Aerial Vehicle）に搭載されるもの、さらにスマートフォンやタブレットなどの小型携帯端末に組み込まれたものも実用化している。

有人機か無人機かに関わらず、航空機に搭載された LiDAR スキャナーの利点は、地上からの接近が困難または不可能な対象を上空から計測できることにある。陵墓のように接近・立ち入りが制限されている対象、範囲が広く高低差があり森林植生に覆われた山城のように地上からの計測が容易ではなく非効率、または実質的に不可能な対象などに効果的で

ある（西藤 2017）。さらに多数回の照射・反射データ（マルチリターン）を処理することで、植生に覆われた範囲について、表面（樹冠）だけでなく地表の形状を計測することが可能である。

UAV 搭載 LiDAR の利点は、より低高度で対象に近いところを低速度で飛行しながら安定的にスキャンできることにある。さらに近年では、全球測位衛星システム（GNSS）と慣性計測装置（IMU: Iteral Measruement Unit）の組み合わせによる自己位置推定技術の高度化により、移動体からの LiDAR 計測の高精度化が進んでいる（鈴木 2021）。このため計測成果の解像度＝点群密度も高めることが可能になった。有人機よりコストが大幅に低下し、運用の制限も相対的に小さいことから実施にあたっての障壁も小さくなっている。

しかしながら、UAV 搭載型 LiDAR スキャナー自体およびそれを搭載運用可能な UAV の導入・維持および人員の習熟訓練のコストは高く、個別の自治体や埋蔵文化財調査機関等で装備可能なものではない。UAV-LiDAR を装備する専門業者に業務委託をすることが前提となる。このような観点から、以下、業務委託の仕様書を詳しく紹介した上で、発注監理に関連する解説を付け加える。

なお UAV-LiDAR とは異なる、静止画または動画撮影による UAV-3D 写真計測は、使用機材もより小型で導入・運用コストも小さい。上空から対象を目視可能な開放環境下にある遺跡・地形計測は、費用対効果の観点から UAV-3D 写真計測を選択すべきであると考える。

### 3. UAV-LiDAR による遺跡・地形計測の仕様

実際の発注仕様は以下のとおりである。なお実際の仕様書の全文そのままでなく、適宜加工または割愛している。なお仕様書中では、計測機器については「レーザスキャナ」と表記しているが LiDAR スキャナーと同義である。

#### 1. 件名

デジタルツイン構築のための UAV レーザ計測

#### 2. 概要

古民家、古墳といった屋外の文化財管理や、広域かつ進入困難な森林の所有者把握を適切に行うために、その状態を三次元情報として把握することが有用である。

本役務は、産業技術総合研究所（以下、「産総研」という）で開発している三次元プラットフォームで、様々な三次元データを統合できることを実証するために、UAV に搭載したライダーによる屋外文化財や森林の測定を行うものである。

#### 3. 作業の内容

和歌山県立紀伊風土記の丘（以下、「県立紀伊風土記の丘」という、和歌山県和歌山市）ほかにおいて、以下の作業を行うこと。

##### 3.1. 共通事項

###### 3.1.1. 遵守すべき規定

- ① 文化財保護法（昭和25年法律第214号）
- ② 測量法（昭和24年法律第188号）
- ③ 改正航空法（平成27年法律第67号）
- ④ UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）[国土地理院]
- ⑤ 無人航空機飛行マニュアル[国土交通省]
- ⑥ その他関係する法令および規則

###### 3.1.2. 作業の詳細

###### （1）作業計画

撮影の実施にあたり事前に撮影地区の地理条件等を調べて、計測コース・作業方法・計測手順・使用機器等を産総研に報告し、承認を得ること。

###### （2）調整用基準点、検証点の設置

- ① 三次元計測データの調整及び点検を行うため、調整用基準点、検証点を設置すること。
- ② 調整用基準点の設置数については水平位置及び標高について精度確保が必要となるため、

計測範囲の面積 (km<sup>2</sup>) ÷ 0.25+1 を標準とし最低4点とすること。また、検証点については、調整用基準点の点数以上とすること。

- ③ 調整用基準点は作業範囲の可能な限り両端に選定し、計測に支障がない場所に設置すること
- ④ 調整用基準点及び検証点の設置ならびに観測を行うものは、測量士の資格を有する技術者とすること。※契約締結時に、資格証明の写しを提出すること。

### (3) UAV (無人航空機) レーザ計測、オルソ画像用撮影

- ① 電波障害など発生した場合でも、離陸地点まで安全に移動し、離陸地点に自動で着地する機能を搭載したUAV (無人航空機) を使用すること。
- ② UAV (無人航空機) の操縦士は現場の立地条件を考慮し、フライト経験時間50時間以上の経験者で、財団法人日本ラジコン電波安全協会が認定する産業ラジコン操縦士とし、電波法令に適合する無線設備の無線局免許状と第三級陸上特殊無線技士免許を取得し、改正航空法HP (国土交通省航空局HP) 掲載の「無人航空機の講習団体及び管理団体一覧」にある講習団体の検定員もしくは指導員であること。(※証明書等の提出を要求)
- ③ 航空法第132条第2号及び132条の2第3号のUAV (無人飛行機) の飛行に係る許可書は受注者が作成及び手続きを行い、国土交通省から承認、許可を得て、その写しを産総研に提出すること。
- ④ (UAV (無人航空機) 賠償責任保険の加入と証明提出を要求)
- ⑤ レーザ計測で取得したオリジナルデータは全て納品すること。
- ⑥ オルソ画像用撮影は撮影後、直ちにブレやハレーション、ピントの確認を行うこと。
- ⑦ 地上解像度は、4cm以下で撮影を行うこと。

### (4) 使用機器および性能

- ① 作業に使用する機器等については、以下に記載する性能同等以上のものとし、事前に使用機器は産総研の承認を得ること。

#### UAV 航空機

|        |         |
|--------|---------|
| 機体名    | UAV 航空機 |
| 最大離陸重量 | 25kg 未満 |
| 最大到達高度 | 500m    |

#### レーザシステム

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| 最大発射レート  | 100kHz～600kHz                 |
| システム正確度  | ～5cm                          |
| スキャナー視野角 | 360°                          |
| GNSS/IMU | ApplanixAPX-15～リターンパルス数5パルス以上 |

- ② 計測当日は予期せぬ事態に備え、あらかじめ予備機を現地に準備しておくこと。なお、予備機においても精度管理表の様式1～17まで提出できる機器とすること。また、オペレーターにおいても現地に2名以上、待機させておくこと。

### (5) 検査・再撮影

計測作業終了後、同日中もしくは翌日までに社内で検査を行い、再計測の必要があると認められた場合は産総研に報告し、速やかに再計測を行うこと。

### (6) オリジナルデータ作成

- ① オリジナルデータは、三次元計測データを調整用基準点観測結果と比較調整して作成すること。
- ② 調整用基準点と三次元計測データとの水平位置および標高値の正確度は、較差の平均値と標準偏差を10cm以下とし、それ以上の場合は産総研に報告し、データ処理方法を協議すること。
- ③ データは色情報を持つ三次元点群データとし、作成するデータはLAS形式とすること。
- ④ データ作成等を作業するものは測量士かつ写

真測量2級の資格を有する技術者とすること。  
※契約締結時に、資格証明の写しを提出すること。

#### (7) グラウンドデータ作成

- ① グラウンドデータは、オリジナルデータからフィルタリングを行い、地表面の標高データを作成すること。
- ② 作成するデータはLAS形式とすること。

#### (8) グリッドデータ作成

- ① グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間により作成すること。
- ② グリッドデータ間隔は50cmとし、作成するデータはLAS形式とすること。

#### (9) 等高線データ等作成

- ① 等高線データは、グラウンドデータまたはグリッドデータを用いて作成すること。
- ② 等高線間隔は1m、計曲線間隔は5mとし、スマージング処理にて作成すること。
- ③ その他の事項は産総研と協議し決定すること。

#### (10) オルソ画像作成

オルソ画像は、1000万画素以上のカメラ画像から作成すること。また、位置精度確保のため調整用基準点の座標の他にUAVレーザで計測した点群の座標を抽出し利用すること。

#### (11) 検査・校正

測量精度及び較差、撮影の精度、解析精度及び較差の検査は、測量、撮影、解析の各担当者(実施者)と異なる担当者が行うこと。校正は、産総研と協議し行うこと。

#### (12) 事前調整

本作業の実施にあたっては、事前に産総研と観測日時や飛行経路に関する打合せを行うこと。また、

関連機関等との事前協議及び無人航空機の飛行許可など申請書類作成等の撮影作業全般の計画及び準備を行うこと。

#### 3.2. 県立紀伊風土記の丘のUAVレーザ計測

①～⑤を満たすUAVレーザ計測を行うこと。なお、観測時期および観測地点の詳細な位置は天候などに依存するため、産総研と協議し最終決定すること。

- ① 計測場所：(地図・航空写真で提示、割愛)
- ② 計測時期：(割愛)
- ③ 面積：(地図上で計測、割愛)
- ④ 点密度：100点/m<sup>2</sup>以上
- ⑤ 撮影回数：1回

#### 4. 受注者の要件

- ① 予備機を含むUAV用レーザ機器2台は、検定を受けた自社所有のものであること。
- ② UAVレーザを用いた古民家、古墳といった屋外文化財の三次元測量の実務経験が5件以上あること。
- ③ UAVレーザを用いた数十ha程度の森林の三次元測量の経験があること。

#### 5. 貸与品

なし

#### 6. セキュリティ

##### 6.1. 情報セキュリティポリシーに関する要件

##### 6.2. その他セキュリティに関する要件

割愛。

#### 7. 完成品の確認

#### 8. 納入の完了

割愛。

#### 9. 納入物品

以下の成果物(各1式)を、電子媒体(ポータブルHDD等)で納品すること。

#### (1) 作業計画書

本件作業の体制、作業場所、スケジュール、計測コース、作業方法、計測手順、使用機器等を記載し

たもの。

## (2) 作業報告書

本件作業の実施結果として、測定日付、時間、測定場所、測定方法、実施の様子、測定結果や評価結果の概要等を纏めたもの。

## (3) 県立紀伊風土記の丘 レーザ計測成果品

成果品の確認に必要なビューワなどある場合は、併せて納入すること。

- ① オリジナルデータ (LAS形式)
- ② グラウンドデータ (LAS形式)
- ③ グリッドデータ (LAS形式)
- ④ 等高線データ (DXF・AI形式)
- ⑤ オルソ画像データ (TIFF・PDF形式)
- ⑥ オルソ図
- ⑦ 陰影図
- ⑧ 等高線図
- ⑨ 等高線+オルソ図
- ⑩ 等高線+陰影図
- ⑪ 精度管理表 (様式1～17) (PDF形式)  
UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアルに準ずる

## 10. 納入期限および納入場所

## 11. 成果物に関する権利の帰属

## 12. 付帯事項

割愛

## 4. 各項目の解説

ここでは、仕様項目のうち技術的な部分を中心に必要に応じて解説を行なう。

### 1. 件名 割愛

### 2. 概要 割愛

### 3. 作業の内容

#### 3.1. 共通事項

##### 3.1.1. 遵守すべき規定

発注者側のコンプライアンスの観点から明示しておく。

・対象となる文化財に関する法令として文化財保護

法および自治体の条例等。

・基準点の測量や地図・航空写真等を利用する際にはそれに関連する規定等。とくに UAV を利用する公共測量については国土地理院よりマニュアル(案)と手びきが公開されているので、発注監理者も熟知しておくべきである<sup>1)</sup>。

・UAV を飛行させる際に適用される改正航空法および自治体や地域における条例・規定等。国土交通省より飛行ルール、手続きフロー、安全飛行のガイドラインが公開されているので、航空局標準マニュアルとあわせて発注監理者も熟知しておくべきである<sup>2)</sup>。

### 3.1.2. 作業の詳細

#### (1) 作業計画

通常の委託業務と同様に、業務監理のために作業計画の提出を求める。作業計画が妥当なものであるかどうかを判断するためにも、前掲のマニュアル、ガイドライン等を熟知しておく必要がある。

#### (2) 調整用基準点、検証点の設置

計測データに座標を付与し精度を検証するために基準点、検証点を設置する必要がある。基本的には、埋蔵文化財調査等における基準点設置に準じるもので良いが、航空計測であることから、上空から視認・計測可能な基準点、検証点を確保する必要がある。測量法の規定にもとづき測量士の資格を有する技術者を求める。

#### (3) UAV (無人航空機) レーザ計測、オルソ画像用撮影

使用する UAV 機材および操縦者の要件を規定する。①は電波障害による操縦不能や墜落を防止するための必要な機能を持つ機材の要求である。②も安全な飛行実施のための操縦者の要件である。③は UAV の飛行に際して法律で要求されるものであり、飛行実施者 = 受託業者が許可を得る必要がある。

⑤は、(6) 項で提出を要請する調整加工データだけでなく、原データの提出を要求するもので、実際の解析図化に使用するかどうかに関係なくアーカイブしておくべきものである。⑥⑦は、LiDAR計測と

は別に可視光画像をオルソ（正射投影）画像として取得することを要求するもので、対象の形状を把握することに優れている LiDAR を補い色情報を記録するために実施する。なおオルソ画像の解像度はここで指定しているが、機材等については（10）で指定している。

#### （4）使用機器および性能

所期の目的を達成するための成果を得るために、使用機器とその性能を明確に規定しておく必要がある。

①では、UAV については個別の機種型番ではなく、性能クラスで規定している。基本的には、必要とする LiDAR スキャナー（ここではレーザシステムと記述）を搭載運用できることが条件となる。LiDAR スキャナーについては、正確度（Accuracy）と視野角（計測範囲）、リターンパルス、ナビゲーション（航法）システムを規定している。

このうちリターンパルスは、マルチリターンの解析処理による地表計測データの取得のために必要な規定である。ナビゲーションシステムは、LiDAR 計測データの精度に関連するので必要十分なクラスを指定しておく必要がある。

②は作業の確実な実施に必要な要件となる。

#### （5）検査・再撮影 割愛

#### （6）オリジナルデータ作成

通常、LiDAR スキャナーで計測した原データをそのまま受領するだけでは、可視化や解析を行なうこととは困難である。データの調整加工についても十分に行ない得る業者を選定するためにも、詳細を規定しておくべきであろう。ここではオリジナルデータについて、計測データの座標の確認と精度検証に関する規定（①②）、データの書式・形式に関する規定（③）を行なっている。また測量法に規定される作業のため従事する人員についても規定している（④）。

#### （7）グラウンドデータ作成

開地環境では、上空から観測されるのは土地の表面（地表面）であるが、森林等に被覆されている場合は被覆物の表面（樹冠等）と地表面が入り混じっ

ていることになる。グラウンドデータとは、被覆物を除去した地表面の形状データを指す（①）。②でデータ形式を規定しているが、被覆物の下位についてはオルソ画像は取得できないため色情報についての規定がないことに注意。

#### （8）グリッドデータ作成

オリジナルデータは UAV の飛行に伴い、機体の位置、スキャン方向・角度、地表及び被覆物の表面の形状に応じて取得される、任意の間隔・密度の点群である。グラウンドデータはさらにフィルタリング処理をしたものであり、また異なる間隔・密度となる。これを標準的なデジタル地形モデルのデータとするために、一定間隔のグリッドごとの標高データに変換したものの作成も行なう。

①では点群データの密度が指定のグリッド間隔に満たない範囲についてのデータ補完方法を規定し、②ではグリッド化の間隔とデータ形式を規定している。

#### （9）等高線データ等作成

グラウンドデータおよびグリッドデータから等高線データを生成することが可能である。GIS 等を利用することで業務委託によらずに生成することもできるが、委託する場合は、使用するデータ（①）、等高線間隔と処理（②）を規定する。

なおここでは指示・要求をしていないが、指定のカ所における断面図を作成することも可能である。

#### （10）オルソ画像作成

オルソ画像の取得・作成に関する規定である。使用するカメラ機材や、位置情報の精度等について規定する。

#### （11）検査・校正

検査については受託者において行ない、構成について機関・組織に規定がある場合はそれに従う。

#### （12）事前調整

3.1.2 作業の詳細（3）③に規定する、航空法にもとづく許可の他に、対象地の管理者等との調整・協議についても、必ず行なうことを確認しておくべきである。

今回の場合、特別史跡・岩橋千塚古墳群、県立紀

伊風土記の丘について UAV の飛行に関する特別の制限等はないため、管理者（県立紀伊風土記の丘）において、飛行実施者（受託業者）からの園内利用許可申請を許可している。

### 3.2. 県立紀伊風土記の丘のUAVレーザ計測

ここでは実際の計測について、計測場所（地図・航空写真で提示）、時期、面積、点密度、撮影回数を明示している。

## 4. 受注者の要件

所期の目的を達成する成果を得るために、機器の保有・管理や過去の実績について規定しておく。とくに実績については、3.1.2作業の詳細の各項目で規定する品質・内容のデータの取得を保障するものとなるので、必要に応じて該当する実績の成果物の提示を求める。

## 5. 貸与品

発注監理者側で準備、貸与するものがあれば示す。

## 6. セキュリティ

### 6.1. 情報セキュリティポリシーに関する要件

取得データの管理・通信などに関して発注者のセキュリティポリシーに準拠して対策を行なうことを指示する（参考：産総研セキュリティ規定<sup>3)</sup>）。

### 6.2. その他セキュリティに関する要件

受注者の守秘義務等、発注者の規定等に応じて指示する。

## 7. 完成品の確認

## 8. 納入の完了

発注者の内部規定等による。

## 9. 納入物品

成果物の種類内容と納品形式（データファイル形式と保存媒体）を規定している。2022年10月時点では、点群データは位置座標を有するLAS形式、等高線データはCAD標準交換形式（DXF）、画像データはTIFF形式を事実上の標準としておくことが妥当だろう。UAV-LiDAR計測により取得・生成されるデータは一般的に容量が大きなものとなるため、物理的媒体による納品に際してはHDDまたはSSDなどによることになる。クラウドサービス等を通じた

オンライン納品についても検討するべきであろう。また印刷物の納品を必要とする場合は、個別に指示を行なう。

なおここでの「陰影図」とはグラウンドデータにもとづき法線ベクトルを計算、陰影処理（シェーディング）により地形の凹凸を立体的に示した可視化表現を指す。このほか、傾斜量・角度、標高段彩などを可視化することも可能である。

## 10. 納入期限および納入場所

割愛。

## 11. 成果物に関する権利の帰属

発注者の、業務委託等における知的財産権等の取り扱いに関する規定がある場合は、それに準じる。

3D計測データに著作権があるかどうかについては見解が分かれているが、地形計測などは客観情報として著作権の保護対象とはみなされないとする見解もある。現時点では確定した判例等もなく、将来的な紛争を予防する観点からも、必要な範囲において発注者への権利の譲渡や、「著作者人格権の不行使」について規定しておく必要があるかもしれない。

## 12. 付帯事項

納入成果品に関する保証期間等を規定する必要があればここに付け加えるほか、受託者が発注者の指示へ従うこと、仕様書に定めのない事項・疑義についての協議決定などの一般的な事項を規定する。

## 5. 計測成果の公開

2022年3月に実施したUAV-LiDAR計測の成果については、全国文化財デジタルツインプラットフォーム・産総研3D DB Viewer上に、CC-BY4.0和歌山県立紀伊風土記の丘として公開している（中村：2023）<sup>4)</sup>。公開データは以下のとおり：

- ・特別史跡岩橋千塚古墳群前山A地区 UAV搭載LiDARによるオリジナル点群データ
- ・特別史跡岩橋千塚古墳群前山A地区 UAV搭載LiDARによる地表面点群データ
- ・特別史跡岩橋千塚古墳群前山A地区 UAV搭載LiDARによる地表面点群グリッドデータ



図1 特別史跡岩橋千塚古墳群前山A地区 UAV搭載LiDARによるオリジナル点群データ（北東方向より）

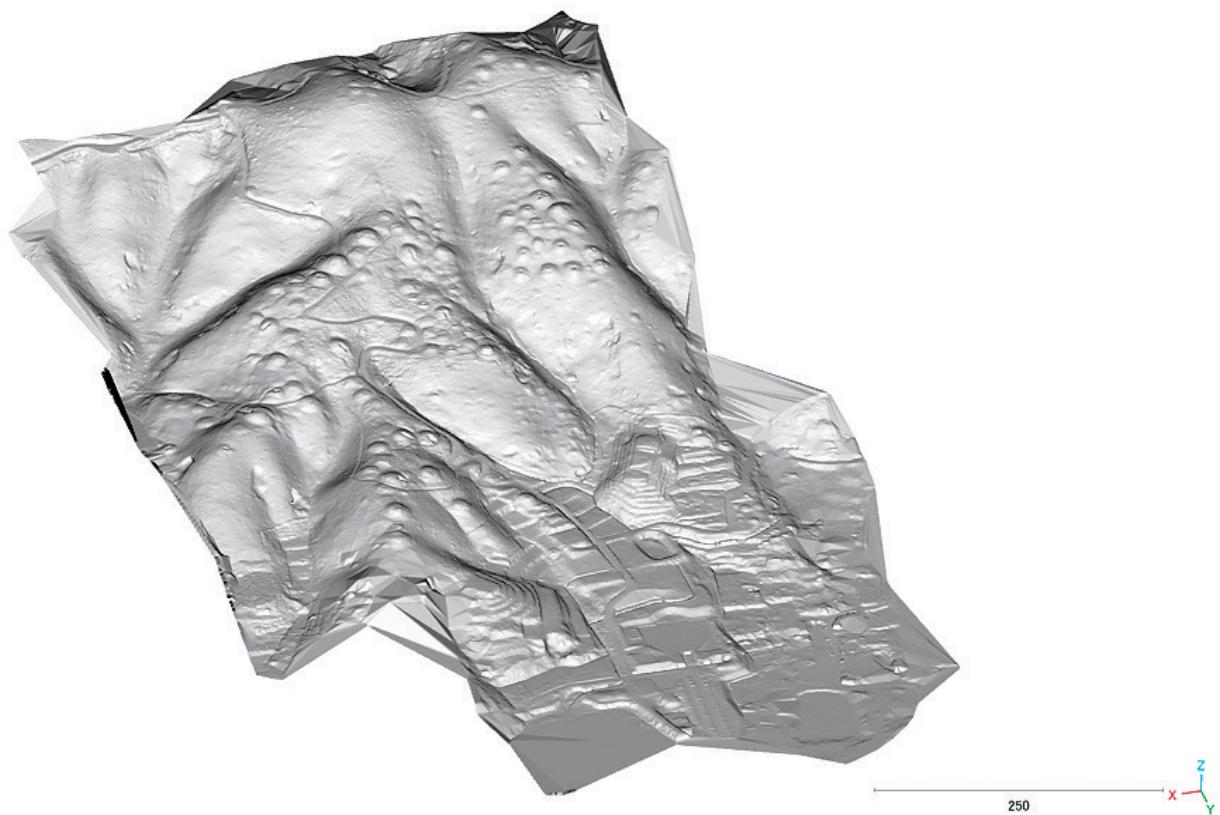


図2 特別史跡岩橋千塚古墳群前山A地区 UAV搭載LiDARによるグラウンドデータ（北東方向より、CloudCompareによりメッシュ化したもの）

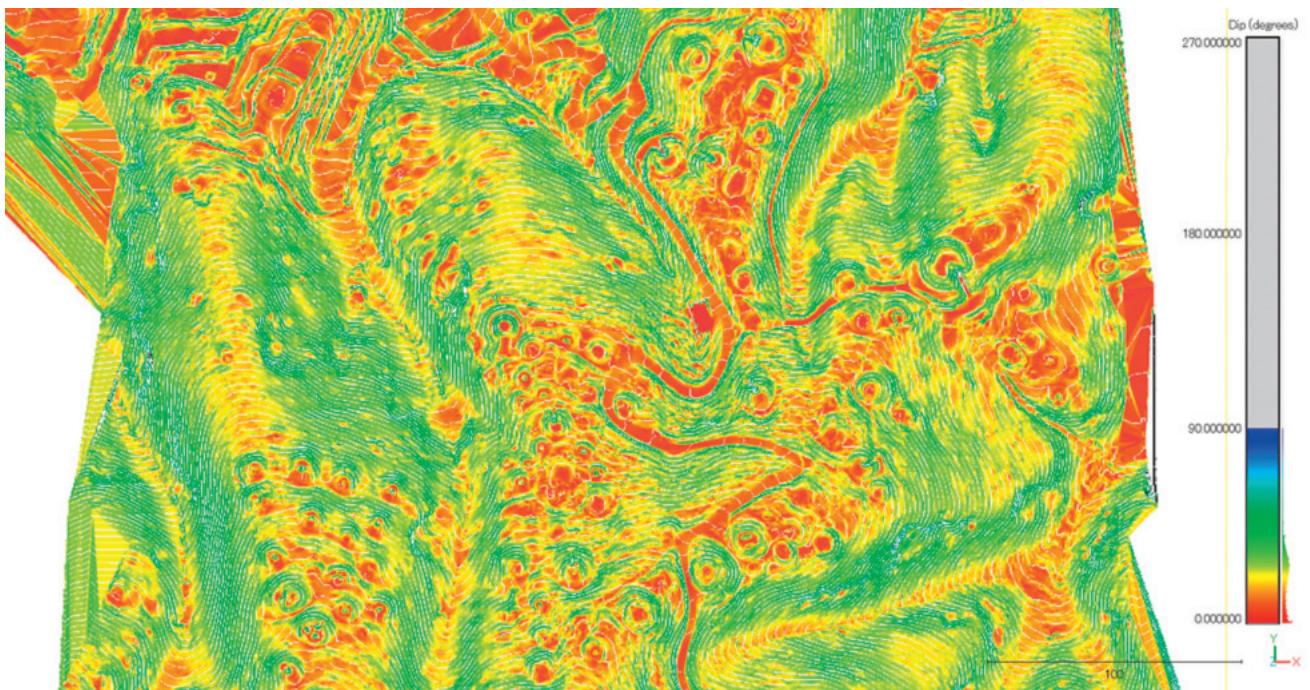


図3 傾斜量・等高線重ね合わせ図

なお公開は、史跡・公有地の範囲に限定している。

図1・2には、北東方向から計測対象地（前山A地区）を斜めに臨んだオリジナルデータとグラウンドデータをそれぞれ示した。オリジナルデータでは、整備公開されているものを除き厚い森林植生に被覆されている範囲についても、グラウンドデータの陰影図では墳丘の位置・形状が鮮明化されている。

尾根と谷が入り組む起伏に富んだ地形でかつ樹木も密生している現地では、地上での見通しも効かないため、従来型のアナログ機材、最新のデジタル機材のいずれでも、地形計測を行なうことは容易ではない。これに対して、今回、UAV-LiDAR計測では1時間に満たないフライトで図示・データ公開した範囲の計測を行なうことができた。その効率の高さ、費用対効果の高さは一目瞭然である。同時に可搬型LiDARスキャナーによる地上計測により、墳丘等を、より詳細な計測データにより補完できることも確認した。この手法は、同様な環境下にある古墳・古墳群や、山城、さらに石丁場などにも同様の効果が見込まれる。

さらに陰影図と傾斜量図（図3）の検討からは、既知の墳丘以外に、未発見・未記載の墳丘の可能性が

ある地形も指摘された。これらについては、今後、踏査による地表面での詳細確認を実施する予定である。あわせて今回の計測範囲外でもあらたにUAV-LiDAR計測を実施し、全域の詳細記録と地表形状の解析を進める予定である。

### 謝辞・例言

本稿は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP18010）の成果を含む。特別史跡岩橋千塚古墳群の現地計測は、県立紀伊風土記の丘の許可により実施した。岩村孝平氏（備前市地域おこし協力隊）には横穴式石室等の地上計測データを提供いただいた。

### 【註】

- 1) 国土地理院「無人航空機（UAV）を用いた公共測量～UAV レーザ測量～」<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uavls/index.html> (2022/10/28閲覧)
- 2) 国土交通省「【国土交通省からのお知らせ】「航空局標準マニュアル」の改正」<https://uas-japan.org/news/%E7%9C%81%E5%BA%81%E3%81%8B%E3%82%89%E3%81%AE%E3%81%8A%E7%9F%A5%E3%82%8B>

- 2%89%E3%81%9B/7198/ (2022/10/28閲覧)  
同「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール」[https://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk10\\_000003.html](https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html) (2022/10/28閲覧)
- 3) 【国立研究開発法人産業技術総合研究所情報セキュリティ規程】[https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource\\_images/aist\\_j/outline/comp-legal/pdf/securitykitei.pdf](https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/outline/comp-legal/pdf/securitykitei.pdf) (2022/10/28閲覧)
- 4) 産業技術総合研究所「全国文化財情報デジタルツインプラットフォームの構築」[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2022/pr20221018/pr20221018.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20221018/pr20221018.html) (2022/10/28閲覧)  
3D DB Viewer : [https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/nabunken\\_aist/index.html](https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/nabunken_aist/index.html)  
朝日新聞DIGITAL2022/10/20「古墳のなかの石室も丸見え? 遺跡を3Dで地図表示、産総研+奈文研」<https://digital.asahi.com/articles/ASQBL5K49QBCPOMB00N.html> (2022/10/28閲覧)
- G. Iannone, H. Moyes, J. Yaeger & M. K. Brown 2017 Show author details The Use of LiDAR in Understanding the Ancient Maya Landscape. *Advances in Archaeological Practice*, 2 (3) : 208-221 <https://doi.org/10.7183/2326-3768.2.3.208>
- Prümers, H., C. J. Betancourt, J. Iriarte, M. Robinson & M. Schaich 2022 Lidar reveals pre-Hispanic low-density urbanism in the Bolivian Amazon. *Nature*, 606: 325-328 <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04780-4>
- 西藤清秀 2017「遺跡・遺構の三次元的研究 3次元航空レーザー測量とその成果」『季刊考古学』140: 54-57 <http://doi.org/10.24484/sitereports.117940-40820>
- 鈴木太郎 2022「UAVとLidarによる三次元計測技術」『計測と制御』60: 711-715 <https://doi.org/10.11499/sicejl.60.711>
- 中村良介 (2023)「デジタルツイン構築技術の文化財への応用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5』奈良文化財研究所研究報告
- 光本 順・山口雄治・ライアン ジョセフ 2022「LiDAR測量による岡山県赤磐市鳥取上高塚古墳の墳丘の検討」『文明動態学』1: 67-81 <http://doi.org/10.18926/63028>

## 【引用文献】

Chase, A. F., D. Z. Chase, J. J. Awe, J. F. Weishampel,