

岡山県の古墳を対象とするドローンを用いた LiDAR 測量

光本 順¹, 山口 雄治², ライアン ジョセフ²

¹岡山大学学術研究院社会文化科学学域 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

²岡山大学文明動態学研究所 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

Drone-based LiDAR Surveying of Mounded Tombs in Okayama Prefecture

Jun MITSUMOTO¹, Yuji YAMAGUCHI², and Joseph RYAN²

¹Okayama University Faculty of Humanities and Social Sciences, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, Okayama 700-8530

²Okayama University Research Institute for the Dynamics of Civilizations, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, Okayama 700-8530

Abstract: In recent years, airborne laser scanning has been actively employed as an accurate method of archaeological site surveying both overseas and within Japan. The authors have adopted a drone-based LiDAR approach to efficiently and accurately map numerous Kofun-period mounded tombs throughout Okayama prefecture as part of a KAKEN project. In this presentation, the authors introduce the LiDAR project and discuss the methods and results.

Key Words: LiDAR, airborne laser scanning, drone-based laser surveying, Kofun period, mounded tombs

1. はじめに

過去の物質文化を対象とする考古学において、遺構・遺物の三次元計測（写真またはレーザ）は研究方法に関する現在の主要なトレンドのひとつである。なかでも航空レーザ測量は、マヤ文明最古・最大のモニュメントの発見¹をはじめ、国際的にも近年大きな成果を挙げ、注目されている。

日本考古学では、従来の遺跡測量法に加え、2010年頃からレーザによる遺跡測量の試みがなされるようになった。古墳を例にすると、その調査においてはまず古墳の地形測量を行う。これは従来、平板測量やトータルステーション等を用いて現地の地形を計測しながら等高線図を作成するものであり、その方法は現在でも一般的である。一方、古墳の航空レーザ測量については、ヘリコプター搭載型機器を使用するアジア航測株式会社との共同研究ないし同社への委託により主になされてきた。奈良県内の大型古墳および群集墳²や岡山県作山古墳³の測量は、その初期の成果として知られる。加えて、レーザスキャナ Faro Focus 3D を用いた地上からのレーザによる古墳や弥生墳丘墓の測量も試みられてきた^{4) 5)}。

しかしながら、日本において特に航空レーザに関しては、機材や保険料を含む維持費が高額である点、UAV 機器やソフトウェアの操作の点で、考古学研究者の所属機関において機器等を所有・運用するのは困難な面がある。したがって、測量とデータ処理に関しては専門会社に委託することが通例となってきた。

こうした中、筆者らは科学研究費（MEXT 科研費 JP19H05732）により 2019 年度にドローンと LiDAR システム等を購入し、2020 年 3 月より岡山県下の古墳を対象に実際に測量を実施する機会を得た。本稿では、ドローンを用いた LiDAR 測量の経過と方法、成果について報告する。

2. ドローンによる LiDAR 測量の経過と方法

2.1. 使用機材

測量における主な使用機材は次の通りである（Fig. 1）。LiDAR: Phoenix LiDAR Systems miniRANGER。LiDAR 搭載用ドローン: DJI Matrice 600 Pro。GNSS: Trimble R2。なお LiDAR 搭載ドローンの飛行前に、試験飛行用ドローン（DJI Phantom 4 Pro）を使用し、設定した飛行ルートの確認作業を行っている。

2.2. 測量の経過

2020 年 3 月から現在に至るまで、岡山県内 4 地点において測量を実施してきた。内訳は、①日本で第 4 位の墳丘規模となる岡山市造山古墳（墳長約 350m, 5 世紀前葉）とその陪塚（2020 年 3 月 20・21 日, 7 月 4・5 日, 2021 年 2 月 6 日, 合計 11 フライト）、②総社市作山古墳（墳長 282m, 5 世紀中葉, 2020 年 11 月 28 日, 合計 3 フライト）、③6 世紀後半の赤磐市鳥取上高塚古墳と周辺古墳（2021 年 4 月 18・19 日, 合計 8 フライト）、④6 世紀の群集墳である津山市佐良山古墳群の一部（2022 年 1 月 25 日, 合計 4 フライト）である。①②は、国内有数の大型古墳でかつ平野部との比高がわずかな立地であるのに対し、④は山中に連綿と築かれた直径十数 m 程度の円墳等の小規模古墳群であり、測量対象の性格が異なる。

2.3. 測量の方法

現地での測量は、基本的に以下の手順で実施した。まず現地の下見を行い、古墳の残存状況のほか測量範囲の草木や地表面の状況を確認する。フライトは DJI 社のアプリケーション Litchi を使用して事前に自動飛行ルートを設定する。この過程で飛行の安全性確保のため、専門業者（株式会社快適空間 FC、アジリティデザイン株式会社）のチェックを得ている。

フライトは、飛行距離で約 4.5 km、ドローンのバッテリーの関係で 15 分前後の飛行時間となる。フライトでは直線とそれに直交するルートを重ね、取得点群の増加を図る。飛行速度は、草木が繁茂する場合は低速の 5m/s、そうではなくかつ広域の場合は 8m/s で実施してきた。測量時の飛行高度はその時々で地面から 65m 前後である。位置情報の補正については、電子基準点のみでも可能であるが、測量地点に GNSS 受信機を設置し、測量中の座標データを計測している。測量に際し、樹木・下草の伐採作業は行っていない。なお測量にあたっては、地元自治体の文化財担当部署への協力願いやドローン発着地点の確保、地元町内会と所管警察署への周知等を行っている。

後処理 GNSS/IMU 解析と Las データ出力は、専用ソフトウェアで実施する (Inertial Explorer, Spatial Explorer)。この過程で位置等の解析結果が不安定で再計測等を行う場合がある。解析後データに基づき、樹木や建物等を除去したデジタル地形モデル (DTM) 抽出については、Terrasolid 社製の TerraScan によるフィルタリング処理作業を、株式会社快適空間 FC に委託している。

フィルタリング後の DTM については、ArcGIS Pro を用いて等高線図や色別標高図、傾斜図等を作成し、古墳と周辺地形に関しモニター上で観察する。その後、作成した図面をもとにデータの現地確認を行い、墳丘形態等に関する評価を行う流れである。なお、既知の座標や任意で取得した GNSS の座標と DTM の座標とを照合し、DTM データの確からしさを検証している。



Fig. 1. Photo of miniRANGER attached to DJI Matrice 600 Pro

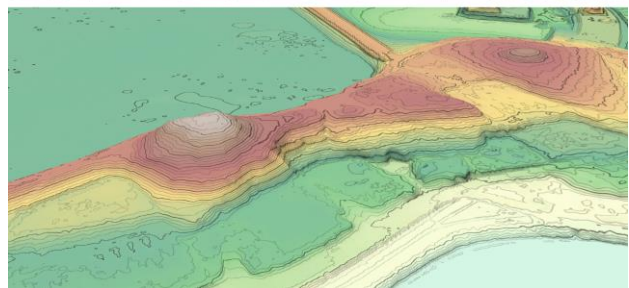
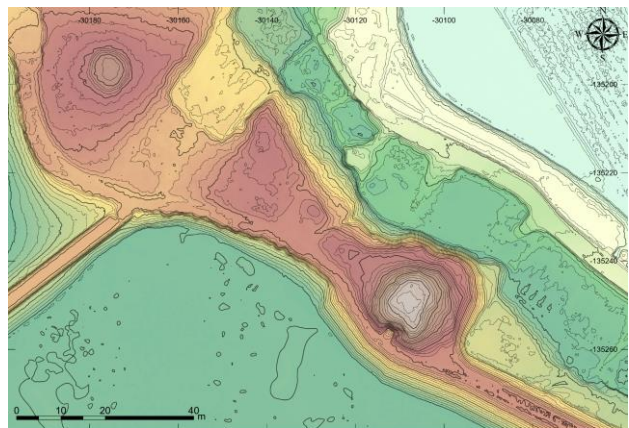


Fig. 2. Color elevation map of the Tottori-kamitakatsuka mounded tomb based on a DTM acquired through drone-based LiDAR survey (from reference 6)

2.4. 地表面の点群密度

取得できる地表面 (DTM) の点群密度は、レーザ/UAV 機器やフィルタリングのソフトウェアの性能の違い、あるいは天候以外にも、現地測量時の季節と植生に依存する。例えば、2021 年 4 月後半に測量を実施した鳥取上高塚古墳では、全体として植生が濃く、樹木や下草に覆われた墳丘部分の点群密度は平均して 15 点/1 m² であった⁶⁾。一方、2022 年 1 月末に実施した佐良山古墳群では、点群密度は全体として 1~122 点/1 m² であった。もっとも点群が多くなるのは地表面が樹木で覆われていない道路等であるが、山中であっても常緑樹か落葉樹かで取得点群数を異にすることが、植生図と重ね合わせることで判明した。したがって、航空レーザ測量を行う際には、状況に応じて下草が枯れる季節を選ぶことに加え、植生を具体的に把握することが測量計画を立案する上で重要になる。この点は、トータルステーション等により手測りで地表面を測量する従来の方法とは異なる留意点といえる。

3. 測量の成果

航空レーザ測量の利点は、測量時に現地に直接立ち入ることなくデータ化が可能となる点がある。また、

広域的なデータ化が可能である点は、手測りだと時間と労力のかかる大型古墳の測量や、古墳とその周辺地形の一体的測量に有効である。地上からのレーザスキャナ使用において必要であった下草の伐採作業なしでも成果が得られることは、広域的な測量を実現させる上で不可欠な要素である。実際に造山古墳群では、大型古墳と陪塚を含む約 1 km 四方範囲を初めて同一手法で一体的にデータ化することが可能となった。

こうした航空レーザ測量は、遺跡の新発見や、認識のあいまいだった遺構等の評価に特に威力を発揮する。例えば、赤磐市鳥取上高塚古墳は、その墳丘形態について従来、詳細な測量図面がなく、前方後円墳説（墳長 67 または 75m）と円墳説とに評価が分かれていた。筆者らの測量と現地観察の結果、墳長 75m 前後の前方後円墳と推定するに至った（Fig. 2）⁶⁾。

さらに佐良山古墳群のような山中に築かれた群集墳では、従来は踏査の成果として地図上に古墳の分布を落とし込む形で、その古墳群の広がり表現されてきた。それに対し、航空レーザ測量では、丘陵の地表面を丸ごとデータ化することが可能なため、そのデータをもとに古墳をモニター上で探索する方法を採用することができる。古墳認識のための図化は、十数 m 程度の小規模古墳であっても ArcGIS Pro による色別標高図や傾斜図等で十分可能である。佐良山古墳群では、LiDAR マップをもとにハンディ GPS（Garmin eTrex 30xJ）を携えて踏査行程をトラッキングする試みを 2022 年 5 月 21 日に実施し、確実な踏査とその記録化を図った。

4. 課題と展望

筆者らの取り組みは既成の機器を使用している実践であるが、実際には安定的で確かな座標データを得るための効果的な測量技術について試行しているところである。航空レーザ測量は、測量可能な季節が限定される場合があるものの、本稿で取り上げたような古墳をはじめとする遺跡とその周辺地形の地表面座標データについて、短期間で一体的・広域的かつ通常の遺跡測量に耐えうる精度で計測可能な点で、考古学にとって革新的といえる方法である。また個別の研究のみならず、自然災害等による文化財被害をモニタリングするという文化財保護の観点からも、遺跡の三次元データの取得は有効である⁷⁾。

遺跡の可視化は最も明確な成果となるが、加えて筆者らは取得データに基づく定量的分析を現在試みている。また筆者らの機関は、同じ科研費プロジェクトにより、地上から手持ちで測量可能な Phoenix LiDAR Systems Scout-16 を所有している。航空レーザとの併用によって、構造物に関するより精密なデータ取得を図る予定である。さらに今後はこうした DTM に基づく研究のほか、レーザの性質を生かした研究の可能性を探ることも筆者らの課題といえる。

謝 辞

本研究は MEXT 科研費 JP19H05732、JSPS 科研費 JP20H05634 の助成を受け実施した。

参考文献

- 1) T. Inomata et al.: Nature 582 (2020) 530–533.
- 2) 藤井紀嗣・西藤清秀・千葉達朗: 考古学と自然科学 69 (2015) 77-94.
- 3) 新納 泉編: 岡山市造山古墳群の調査概報 (岡山大学大学院社会文化科学研究科, 2012).
- 4) 新納 泉編: 前方後円墳の三次元計測 (岡山大学考古学研究室, 2018).
- 5) 光本 順編: 津倉古墳 (岡山大学考古学研究室, 2020).
- 6) 光本 順, 山口雄治, ライアン ジョセフ: 文明動態学 1 (2022) 67-81.
- 7) 新納 泉, 光本 順: 日本文化財科学会第 38 回大会研究発表要旨集 (2021) 2-3.