

# SLAM 技術を用いた森林内遺跡の三次元計測

## 1 研究の目的

遺跡および遺跡周辺の地形情報は、その遺跡と周辺環境を考慮する上で必須の情報である。特に墳墓や経塚、それに寺院や城郭といった地表にその痕跡が認められる場合に効果的である。このため、地形図を作成し、その形状や配置の検討を通じて遺跡の評価をおこなうことが基礎的な作業としておこなわれてきた。

その手法として平板やトータルステーション、写真測量による計測がある。近年では三次元レーザースキャナーやSfM-MVSによるより詳細かつ迅速な計測がおこなわれることも増えている。

しかし、森林の中における計測は、樹木に覆われていることから、空中からの写真測量やSfM-MVSでは地表面の計測が困難なことが多く、平板測量などにおいても煩雑な作業となることが多い。地表に設置する地上LiDAR (Light Detection And Ranging / レーザースキャナー) においても、機器から放射状に計測をおこなうことから、ある程度の密度の樹木がある場合、その背後が広く扇状に死角となり、生じる未計測部分を計測するために煩雑な機材の移動と計測が必要であったり、わずかな面積しか計測できず、成果のマッチングが十分にできない場合も多い。地上でのSfM-MVSも、同様の問題がある。ある程度は樹木の伐開により解決できるが、手間がかかる。

これらの課題に対し、空中LiDARが近年注目を浴びている。航空機やヘリコプター、UAV (Unmanned aerial vehicle) などに搭載されたレーザースキャナーから送受信されたレーザ光の最終応答 (ラストパルス) を元に地表面を計測する技術であり、古墳をはじめ数多くの遺跡で利用が進みつつある。人為的な活動の痕跡やその形状を発見し、また形状を記録する技術として今後とも発展と利用の拡大が期待できる<sup>1)</sup>。

広域を極めて短時間で計測できる反面、空中LiDARは、現状では高密度の点の計測をおこなうことが難しい。このため、空中LiDARと相補的に活用が可能なより高密度な形状の計測が可能な技術が望まれる。

自己位置推定と環境地図作成を同時におこなうSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術の発達は、この課題を解決する可能性を有している。今回は、小型LiDARセンサーを用いたマッピングシステムによる計測試験とその成果について報告をおこなう。

## 2 計測試験の成果

今回の計測試験はKAARTA社のStencil 2を用いた。この機器は小型LiDAR (Velodyne社VLP-16) と組み合わせ、IMU (慣性計測装置)、カメラ画像による補正をおこない、移動しながらリアルタイムに周辺を計測することが可能である。計測時には機材を計測者が保持しつつ歩行することで、自機の位置を決定しながら、周辺の計測をおこなう。このため、森林や建物内の死角が出にくく、また高速に高密度の計測を可能とする。計測範囲は機材より100m、測定点数約300,000点/秒、精度 $\pm 3\text{ cm}$  ( $1\sigma @25\text{ m}$ ) である。

機器単独での計測が可能であるが、実際の作業時には、計測状況を確認するために小型のディスプレイを使用して観察しながら計測をおこなった。機器は三軸の磁気センサーによる計測をおこなうため、急激な姿勢の変化に弱い。安定した計測のために、カメラ用の一脚を機器の下に付け、腰に石突の部分固定するようにして計測をおこなった。

様々な遺跡を想定して複数の試験をおこない、成果を蓄積している。取得データは点群として記録される。ファイル出力はPLY形式でおこなわれ、XYZの位置情報と反射強度、計測時間が出力される。

ここでは奈良県橿原市新沢千塚古墳群での計測成果を紹介する。機器の動作試験としておこなったため、一部に欠測部がある。今後はこれらの確認を含めた作業の工程を確立する必要があるが、効果がわかりやすいことから、ここで取り上げる。

今回の計測範囲は約12,500 $\text{m}^2$ である。実際にはさらに広い範囲が一部取得できているが、点群の密度が少ない箇所や、地表面が取得できていない箇所があり、有効でないと判断し、除去している。実際の計測は8分間を要した。

計測結果はオープンソースのCloudcompareを用いてデータの編集をおこなった<sup>2)</sup>。まず、Statistical Outlier

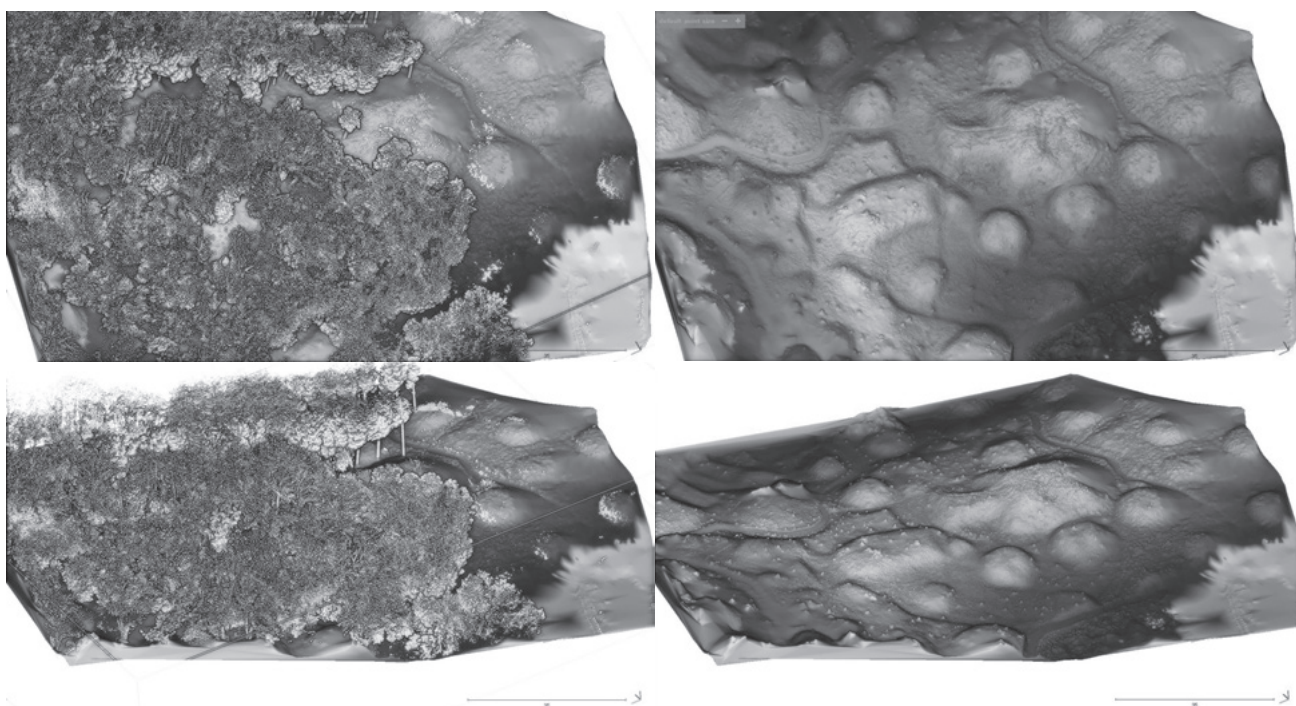


図91 森林内の古墳群の計測成果（左：樹木データあり、右：樹木データ除去後、上下はモデルの表示角度の違い）

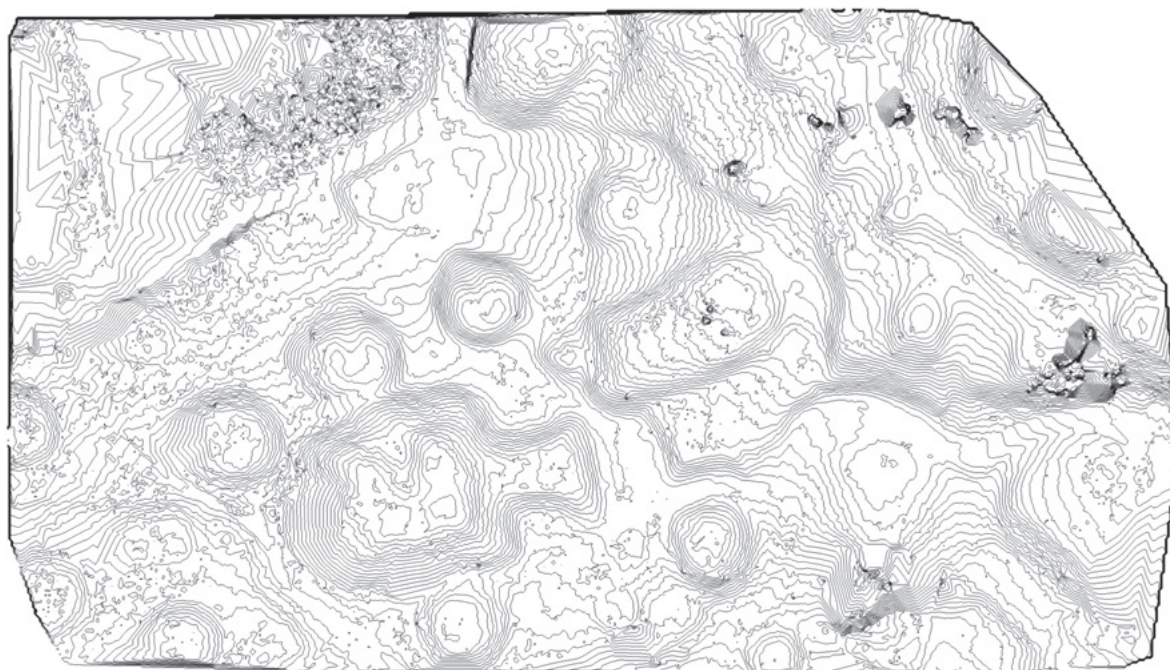


図92 等高線図の作成（等高線間隔0.25m）

Filterで日光の影響を除去し、続いてEye-dome Lighting Optical Shadingでデータの可読性を高めた。続いてCloth Simulation Filterで樹木や地物と地表面を分離した。地表面については高さごとに色分けや等高線図の作成をおこなった（図91・92）。この結果により、森林内の古墳の形状を詳細に観察することが可能である。

本研究は、平成29年度国土交通省建設技術研究開発費補助金「三次元計測と遺跡探査の利用による発掘調査の生産性向上」およびJSPS科研費JP17H06184による成果

である。

（金田明大）

#### 註

- 1) 垣内力・近津博文「航空レーザーデータを用いた多段階空間フィルタリングによる小規模古墳群の効率的抽出」『応用測量論文集』19、2008。西藤清秀・藤井紀綱「新時代を迎えた大型古墳測量」『日本文化財科学会研究発表要旨集』2010。
- 2) 金田明大「大変だったので仮想空間で伐採してみました。」『文化財の壺』5、2017。