

3Dレーザースキャナを用いた平泉柳之御所遺跡と無量光院跡の三次元計測

平原 英俊^{※1} 會澤 純雄^{※1}
桑 静^{※2} 藤崎 聡美^{※3}

1. はじめに

世界遺産「平泉」について、歴史、考古学及び理化学分析等の学際的研究を推進する「岩手大学平泉文化研究センター」を設置し、平泉文化研究センターでは東アジア文化を反映しつつ形成された平泉の文化的諸形象の国際的な意義の解明、平泉の学際的・国際的研究の進展や文化遺産を活かした地域振興を目的とし、平泉文化の学術研究を行っている。古代遺跡は驚くべき過去の文明について手がかりを与えてくれるが、2011年東日本大震災による自然災害また昨今の台風等による遺跡の崩壊、他国では戦争また開発放置等の人的被害によって失われる危険にさらされている。

我々は、遺物・遺構などの研究史料を高速かつ高精度に分析、解析するツールが必要不可欠と考え、遺跡・地形・遺構等の三次元座標を瞬時に高精度で取得するための「3Dレーザースキャナ装置」を導入し、遺物と文化財等の歴史、そして考古学評価に向けた文理融合研究を展開している。3Dレーザースキャナ装置では、レーザースキャナによって離れた地点から遺跡・地形・遺構等の三次元座標を高速に高密度な点群データとして一定の間隔において瞬時に3次元の座標を高精度で取得し、点群からワイヤフレームやポリゴンなどのモデルを作成することによって3Dデジタルデータとして保存することができる¹⁻⁷⁾。また、同時に撮影したデジタル画像を3Dデジタルデータに貼付けることによって、本物に近い質感で地形を再現することができる。本装置により、貴重な遺物・遺構の現状寸法をデジタルデータで保存するため、文化財産を長年にわたって、正確に受け継ぐことが可能となり、そのデータから関連した歴史を解明することが期待される。そこで本研究では、平泉柳之御所発掘現場と無量光院跡の3Dレーザースキャナによる三次元計測を行い、高精度で形状や地理情報を取得し、3Dスキャンデータをデジタルアーカイブ化することを検討した。

なお、本稿掲載の写真については、岩手県教育委員会平泉遺跡群調査事務所、平泉文化遺産センター、毛越寺より使用に際して快諾を頂いた。記して謝意を表す。

※1 岩手大学工学部 平泉文化研究センター

※2 岩手大学工学部

※3 岩手大学技術部

2. 現地での測定データ収集作業

3Dレーザースキャナによる三次元計測は、柳之御所遺跡（岩手県西磐井郡平泉町平泉柳御所地内）の発掘調査中の現場で、2013年6月3日9時から17時と2013年6月10日6時から17時まで、2013年9月12、13日6時から16時、また、世界遺産の無量光院跡（岩手県西磐井郡平泉町平泉花立）は、2013年7月2日6時から16時、2013年7月16、17、18日6時から16時、2013年9月12日にて6時から15時まで計測作業を行った。現地では3Dレーザースキャナの測定、内蔵デジタルカメラによるテクスチャ用写真撮影、デジタルカメラによる簡易写真撮影を行った。2013年6月3日と2013年6月10日、2013年7月2日、2013年7月16、17、18日の天気は晴れ、2013年9月12、13日は曇り時々雨であった。図1には柳之御所遺跡と無量光院跡の位置を示す。図2には柳之御所遺跡と無量光院跡の航空写真を示す。



図1 柳之御所遺跡と無量光院跡の位置 (© 2014 Google, ZENRIN)



図2 柳之御所遺跡と無量光院跡の航空写真

(画像 © 2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe 地図データ Google, ZENRIN)

3.3 Dレーザースキャナ計測器

3Dレーザースキャナ計測に使用した装置は、ライカジオシステムズ（株）製 Leica ScanStation P20（以下、レーザースキャナ P20）（図3）を用いた。レーザースキャナ P20のレーザータイプはパルス式レーザースキャナ、超高速タイムオブフライト方式レーザー、ウェーブフォームデジタルタイミング（WFD）テクノロジー搭載、レーザー波長 808 nm（不可視）/ 658 nm（可視）、レーザークラス 2（IEC 60825-1）、ビーム拡散度 0.2 mrad である。スキャン速度は1,000,000点/秒、垂直計測範囲は鉛直計測である。水平位置を0°として - 45°までの下方を計測できる。最大計測距離は反射率18 % の対象物を最大120 m 先まで計測が可能である。最短計測距離は装置から最短 40 cm 先の対象物を計測、測定精度は50m 先で1σあたり座標誤差 ±3 mm の計測精度、角度精度は水平、垂直共に8秒以上の角度精度を有する。内蔵型高解像度デジタルカメラを具備し、計測毎デジタルカメラ撮影を行った。スキャンデータを公共座標系に地理的参照を行い、空間合成、登録することができる。計測時の操作は計測器のタッチパネルおよび Wifi 接続のノートパソコンを用いて行った。計測に係るポイントターゲットは測定毎に4カ所設置し、公共座標がある場合はその座標にポイントターゲットを設置した。



図3 3Dレーザースキャナ Leica ScanStation P20

4. 計測データの統合と処理

レーザースキャナ P20によって得られた柳之御所遺跡と無量光院跡の三次元座標データを計測ごとにプロジェクトファイルを作製した。さらに、レーザースキャナ P20内蔵のデジタルカメラの写真から色情報をデータに付加し、全地点のデータ統合を行った。データ処理はライカジオシステムズ（株）製 Cyclone バージョン8.1ソフトウェアを用いて、データの圧縮、不要部分ノイズ除去を適宜行った。

5. 計測

5.1 柳之御所遺跡三次元データ計測

柳之御所遺跡は、古くから清衡、基衡の屋敷跡と伝えられていたが近年発掘調査から柳之御所跡は

藤原氏の政庁「平泉館」と推定されてきた。平泉の西北から東南にのびる台地にあり東稲山と北上川を一望する位置にある。図4には2013年6月3日に計測したときの柳之御所公園から撮影した発掘予定の柳之御所現場写真を示す。柳之御所現場はまだ発掘が開始されていない。ポイントターゲットを4カ所設置（図5）し、レーザースキャナP20を箇所から計測した。当日は晴天で気温が30℃以上であった。そのため計測条件設定時にレーザースキャナP20の高温にならないように日傘によって温度上昇を防止した（図6,7）。図8には柳之御所跡の計測において3Dレーザースキャナ計測ポイント▲（8カ所）ターゲットポイント◎（5カ所）の位置を示す。図9にはレーザースキャナP20を用いて計測を行った結果、コンピューター上で柳之御所遺跡を3Dデータ化し、上空から見た場合を再現した。図10は柳之御所跡の3Dレーザースキャナデータ点群にデジタルカメラ写真を付加した図である。図11から14も3Dレーザースキャナデータ点群にデジタルカメラ写真を付加した図である。3Dレーザースキャナ計測ポイントは8カ所であったが計測ポイントの設置場所と数、計測時間、データ処理に関わる計測ポイント数など様々な問題点も把握することができた。



図4 柳之御所現場写真（発掘前）（2013年6月3日）



図5 ポイントターゲットの設置（2013年6月3日）



図6 3Dレーザースキャナの設置と計測（2013年6月3日）



図7 3Dレーザースキャナ計測とポイントターゲットの設置（2013年6月3日）

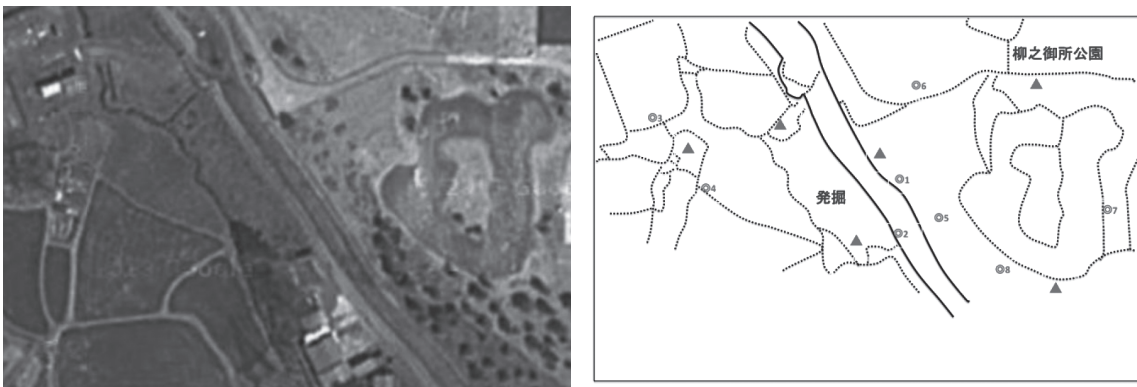


図8 柳之御所遺跡の航空写真（左）3Dレーザースキャナ計測ポイント▲とターゲットポイント◎（右）

（画像 © 2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe 地図データ Google, ZENRIN）

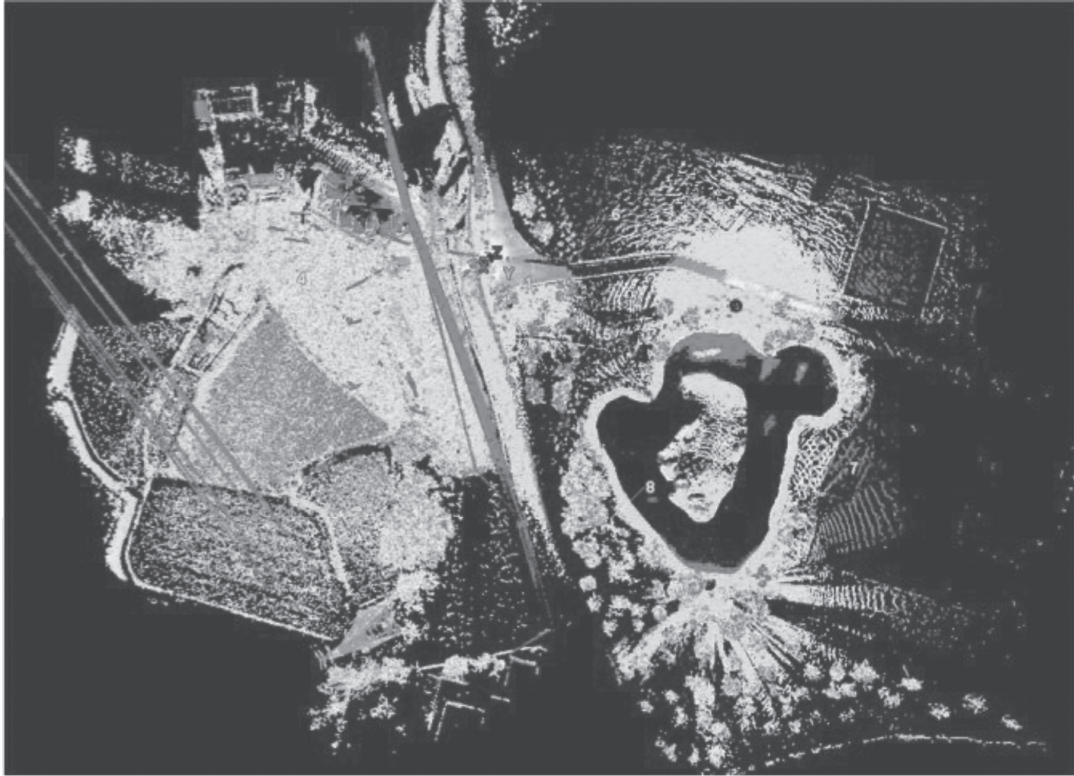


図9 柳之御所跡 3Dレーザースキャナデータ点群

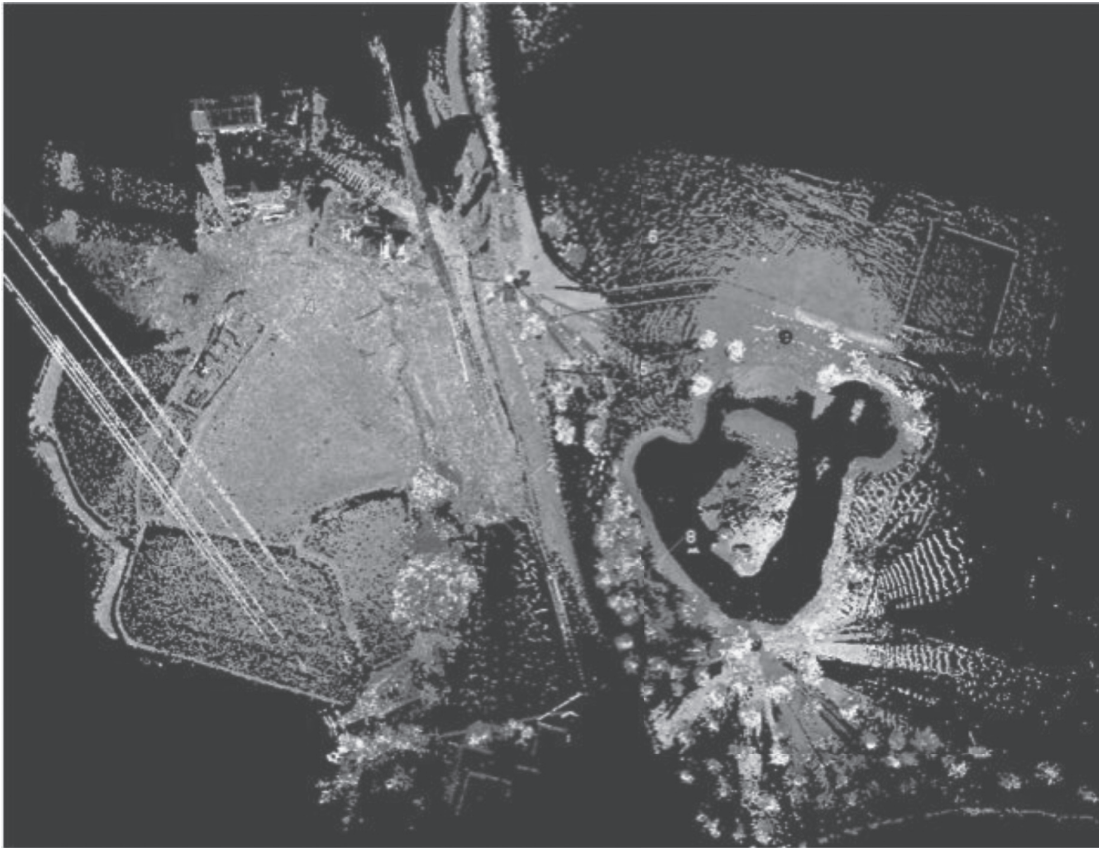


図10 柳之御所跡 3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付加)



図11 柳之御所 3Dレーザースキャナデータ点群



図12 柳之御所 3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付加)

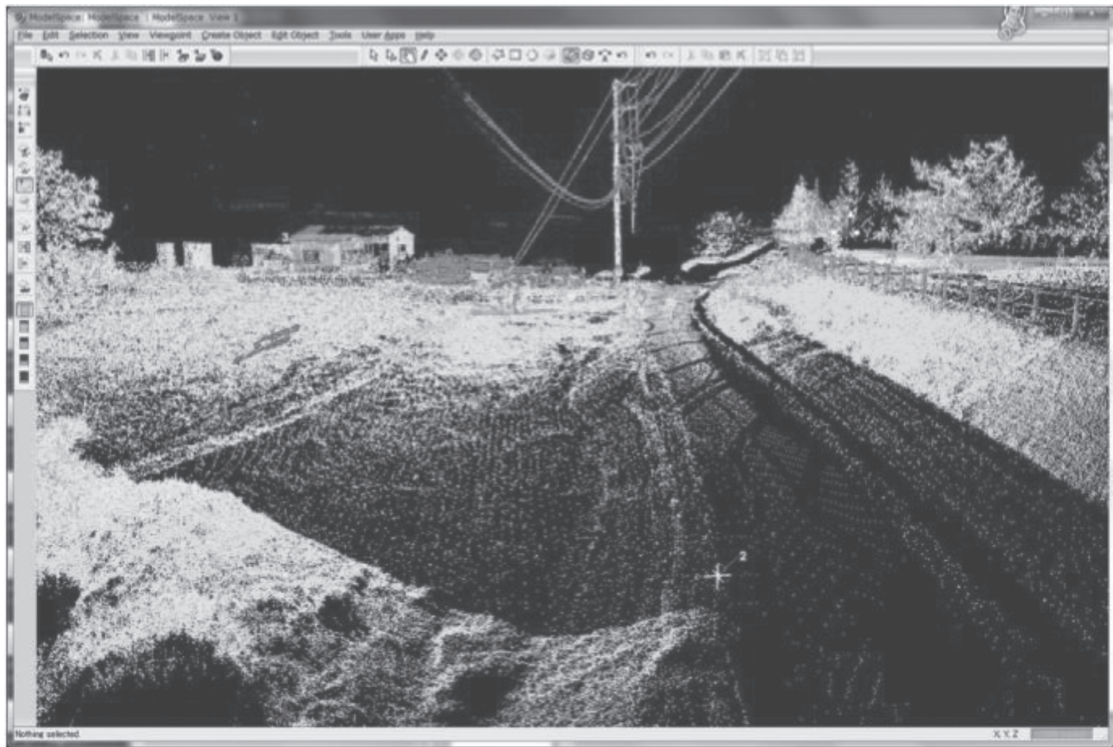


図13 柳之御所 3Dレーザースキャナデータ点群

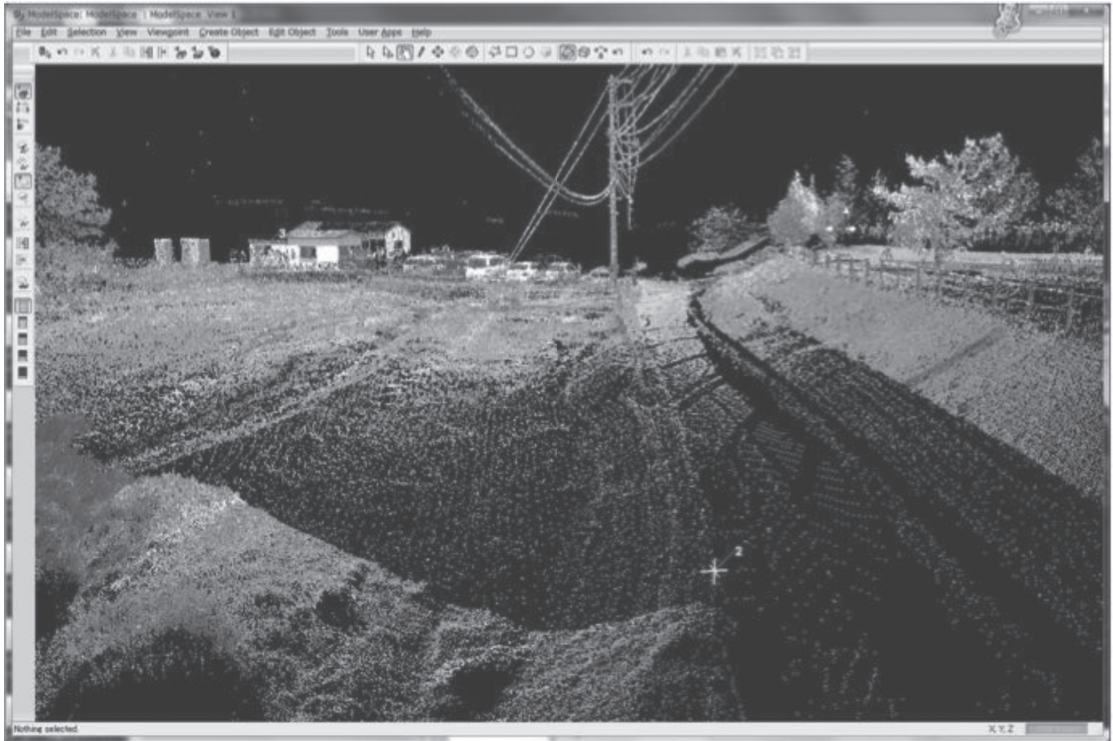


図14 柳之御所 3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付加)

2013年9月12日に3Dレーザースキャナ計測を行ったときの柳之御所発掘現場写真を図15から17に示す。発掘によって1m以上も深堀した箇所もあるためポイントを増やして計測した。柳之御所発掘現場の3Dレーザースキャナデータ点群（図18）の一部を掲載し、詳細については次回に報告する。



図15 柳之御所発掘現場（2013年9月12日）



図16 柳之御所発掘現場（2013年9月12日）



図17 柳之御所発掘現場（2013年9月12日）



図18 柳之御所発掘現場 3Dレーザースキャナデータ点群

5.2 無量光院跡三次元データ計測

無量光院跡は奥州藤原氏の三代秀衡が京都の宇治平等院の鳳凰堂を模して建立した寺院の跡とされ、度重なる火事によって焼失したとされている。現在は礎石や池の跡、土塁などが残るのみである。周囲は東西約240メートル、南北約270メートル、面積約6.5ヘクタールで世界遺産、国の特別史跡である。図19と20、図21には2013年7月2日に計測したときに無量光院跡を撮影した写真を示す。図22と図23には2013年7月16日無量光院跡本堂付近と3Dレーザースキャナを撮影した写真を示す。図24には無量光院復元図と復元平面図を示す。図25と26には無量光院跡の計測において3Dレーザースキャナ計測ポイント▲(31カ所)とターゲットポイント◎(9カ所)の位置した場所を示す。図27には無量光院跡の本堂付近の3Dレーザースキャナデータ点群(写真付き)と3Dレーザースキャナ計測ポイント▲を示す。本堂と中島には木々と礎石があるためレーザーがそれらによってカットされるために多角的に計測を必要とする。図28と29には計測によって発生するノイズをクリーニング処理した(ノイズカット)前(左)後(右)での無量光院跡の3Dレーザースキャナデータ点群である。図30と31には31か所の計測から29か所のデータを合成処理からの無量光院跡の3Dレーザースキャナデータ点群と写真付加した図である。さらに、樹木・近隣施設等が含まれるのでそれらをデータクリーニング処理した。図32と33には無量光院跡の樹木・近隣施設のデータクリーニング後の3Dレーザースキャナデータ点群と写真付加した図である。無量光院跡の全体のデジタルイメージは取得することができた。図34の円内にはそれぞれ本堂と中島の位置を示している。図34には本堂と中島 Area を斜め45度から見た3Dレーザースキャナデータ点群の写真付加である。そして、図35は図34に示されている樹木を除去した本堂・中島 Area の3Dレーザースキャナデータ点群(写真付加)である。この図36を元に本堂と中島 Area のTINメッシュした図が図37である。TINメッシュ化条件はグリッド間隔を0.1m設定した。TIN化する際、同じデータでもグリッド間隔を変えることで作成される三角形の大きさが変わるため、植物等の不要データを取り除くことができる。そして、本堂・中島 Area の SampleGrid 図を図38に示した。SampleGrid 化条件は TriangleSize を0.1

m設定とした。これらのデータ処理によって無量光院跡の地形を確認することができる。



図19 無量光院跡の写真（2013年7月2日）



図20 無量光院跡の写真（2013年7月2日）



図21 無量光院跡の写真（2013年7月2日）



図22 無量光院跡本堂付近と3D レーザースキャナによる計測の写真 (2013年7月16日)



図23 無量光院跡と3D レーザースキャナの写真 (2013年7月16日)

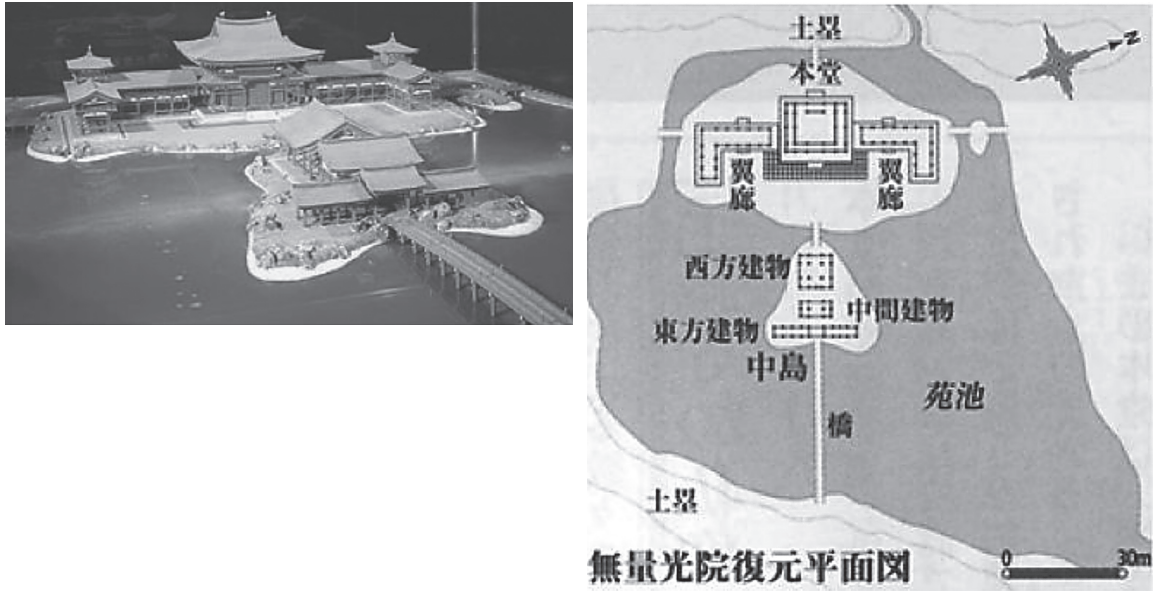


図24 無量光院復元図と復元平面図

【平泉文化史観 HP より】 <http://www.hiraizumi2011.jp/hiraizumibunkashikan2013.html> (左)

【HP 【心豊かな旅】 より】 <http://www.do-be.jp/hiraizumi/muryoukoin.html> (右)

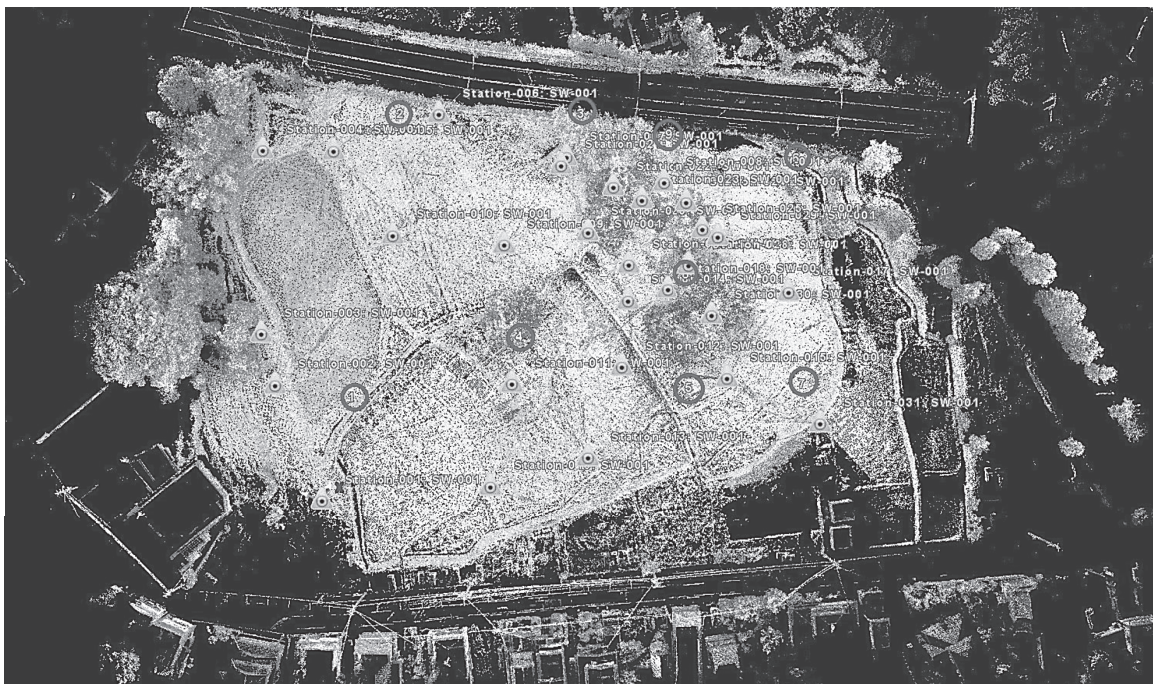


図25 無量光院跡の中島を中心とした3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付き) と3Dレーザースキャナ計測ポイント▲ (31カ所)、ターゲットポイント◎ (9カ所)

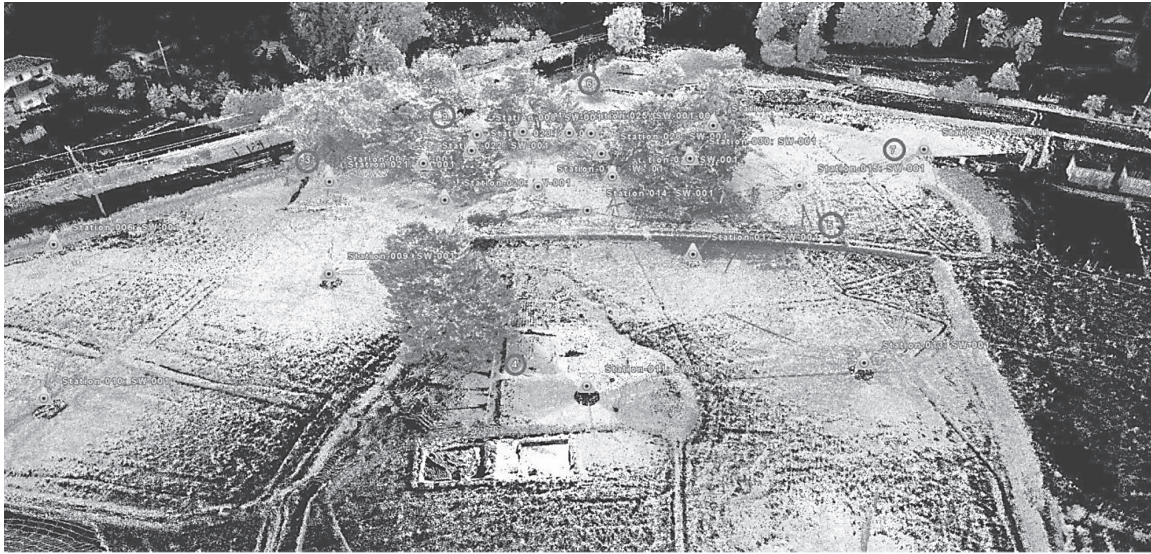


図26 無量光院跡の中島を中心とした斜め45度からの見た3Dレーザースキャナデータ点群(写真付加)と3Dレーザースキャナ計測ポイント▲、ターゲットポイント◎



図27 無量光院跡の本堂付近の3Dレーザースキャナデータ点群(写真付加)と3Dレーザースキャナ計測ポイント▲

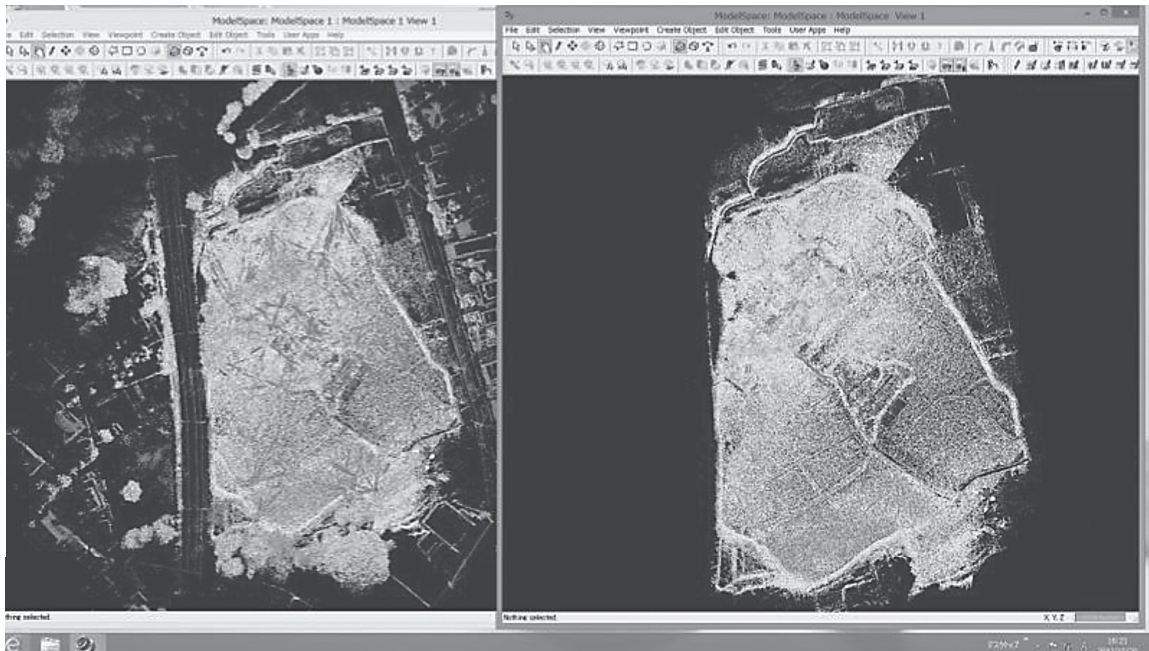


図28 無量光院跡のクリーニング（ノイズカット）前（左）後（右）の3Dレーザースキャナデータ点群

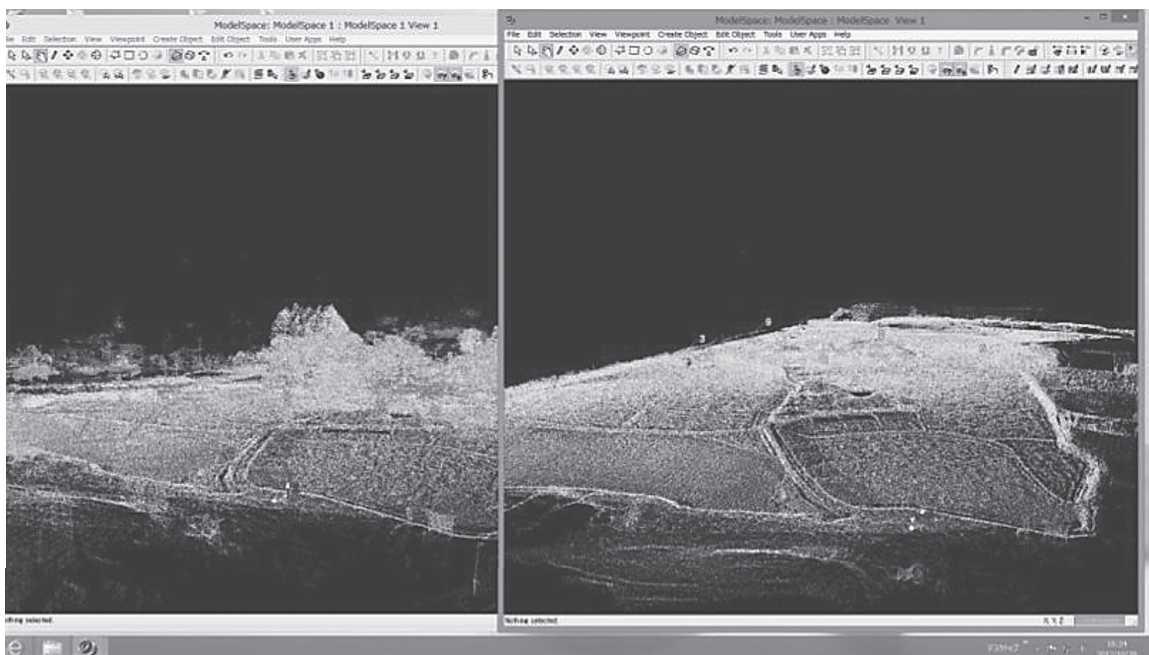


図29 無量光院跡のクリーニング（ノイズカット）前（左）後（右）の3Dレーザースキャナデータ点群



図30 クリーニング（ノイズカット）後無量光院跡の3Dレーザースキャナデータ点群
（測定箇所：計31か所 合成箇所：計29か所）

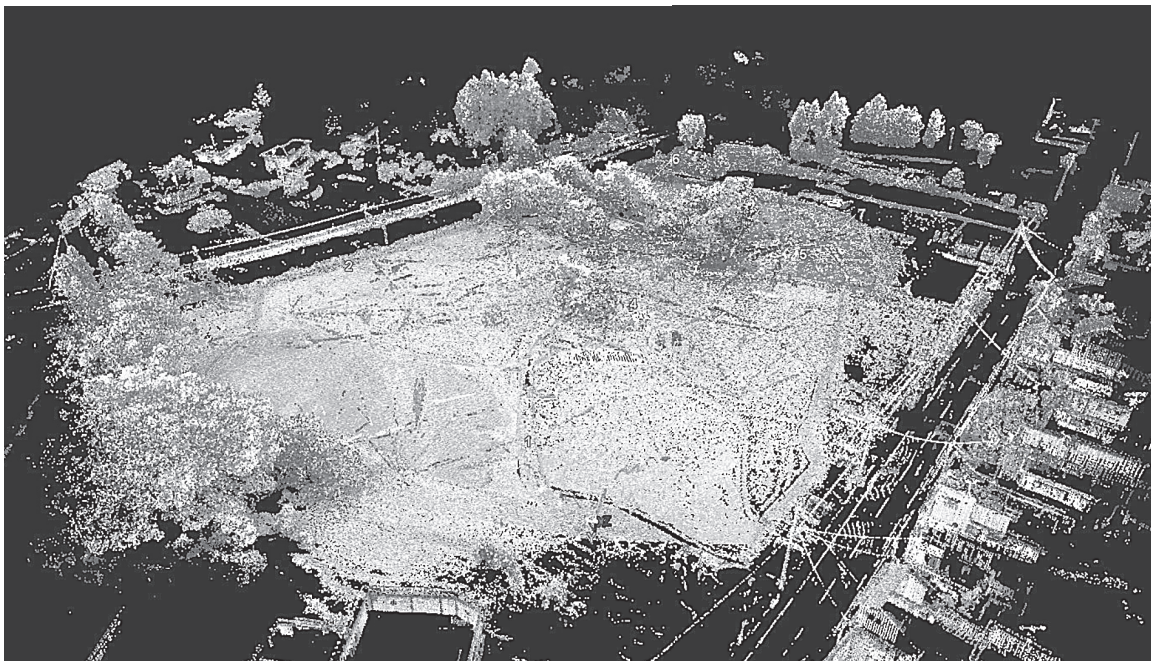


図31 クリーニング（ノイズカット）無量光院跡の3Dレーザースキャナデータ点群（写真付加）
（測定箇所：計31か所 合成箇所：計29か所）

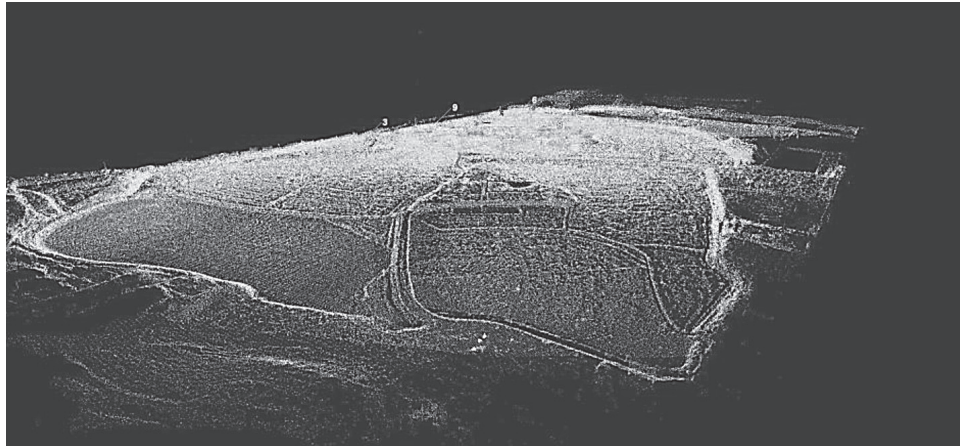


図32 無量光院跡の不要データクリーニング後の3Dレーザースキャナデータ点群
 ※不要データとは、樹木・近隣施設等

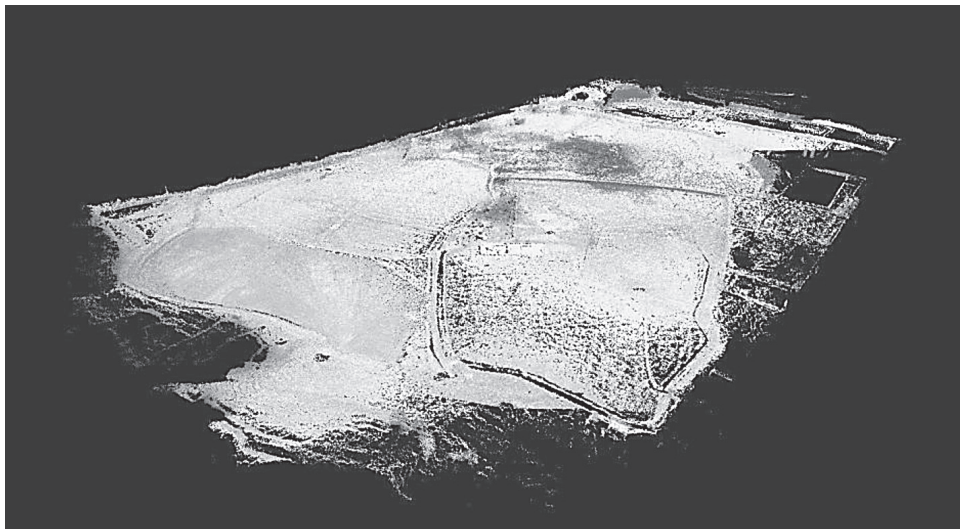


図33 無量光院跡の不要データクリーニング後3Dレーザースキャナデータ点群（写真付加）

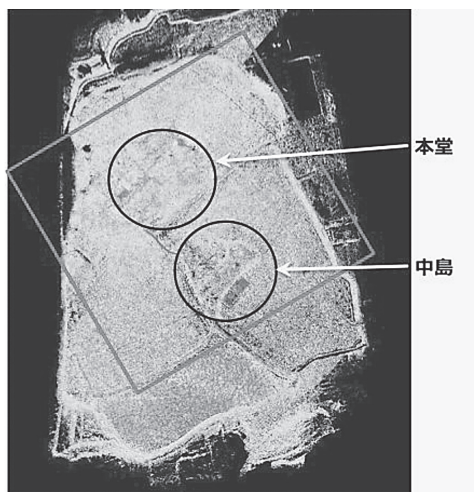


図34 無量光院跡の3Dレーザースキャナデータ点群



図35 本堂・中島 Area を中心とした3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付加)

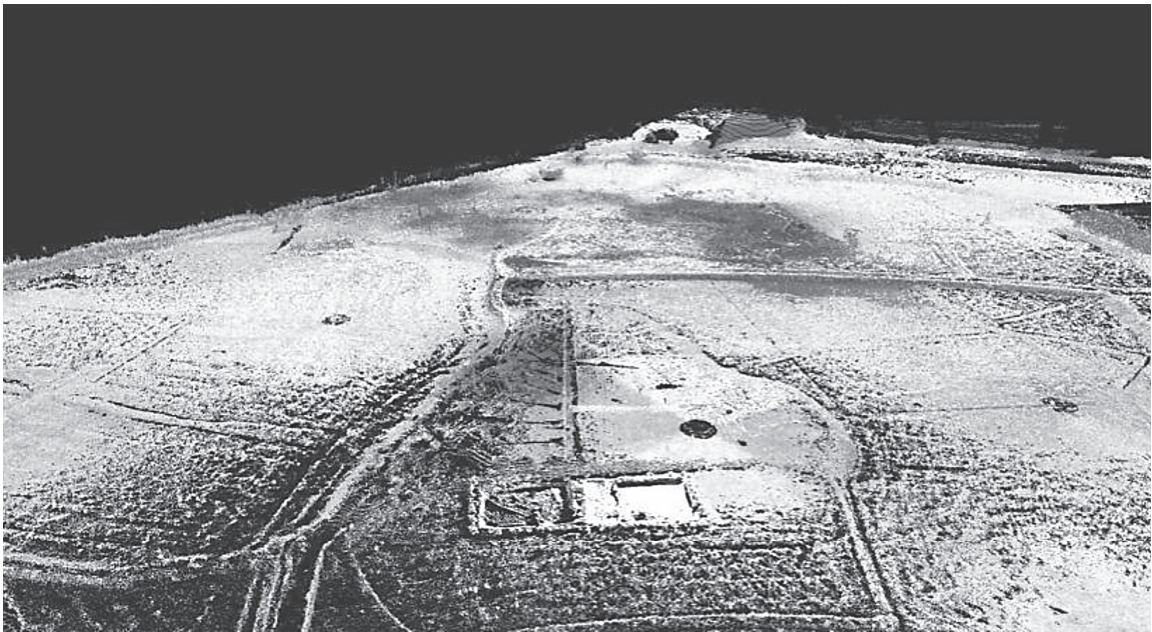


図36 樹木カットした本堂・中島 Area の3Dレーザースキャナデータ点群 (写真付加)

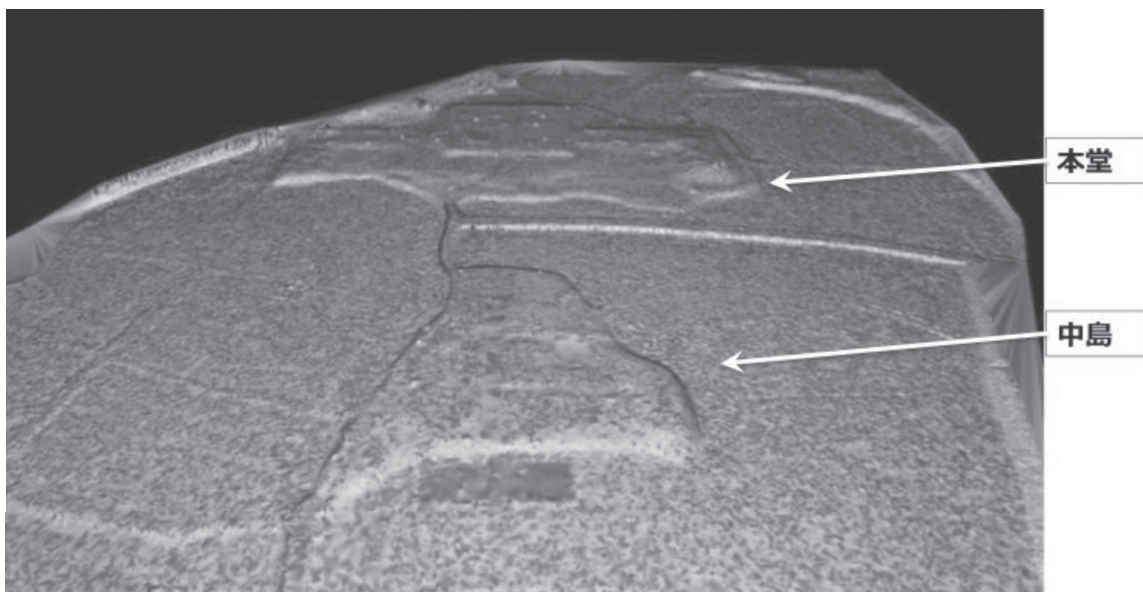


図37 本堂・中島 Area の TIN メッシュ図
 TIN メッシュ化条件：グリッド間隔…0.1m設定

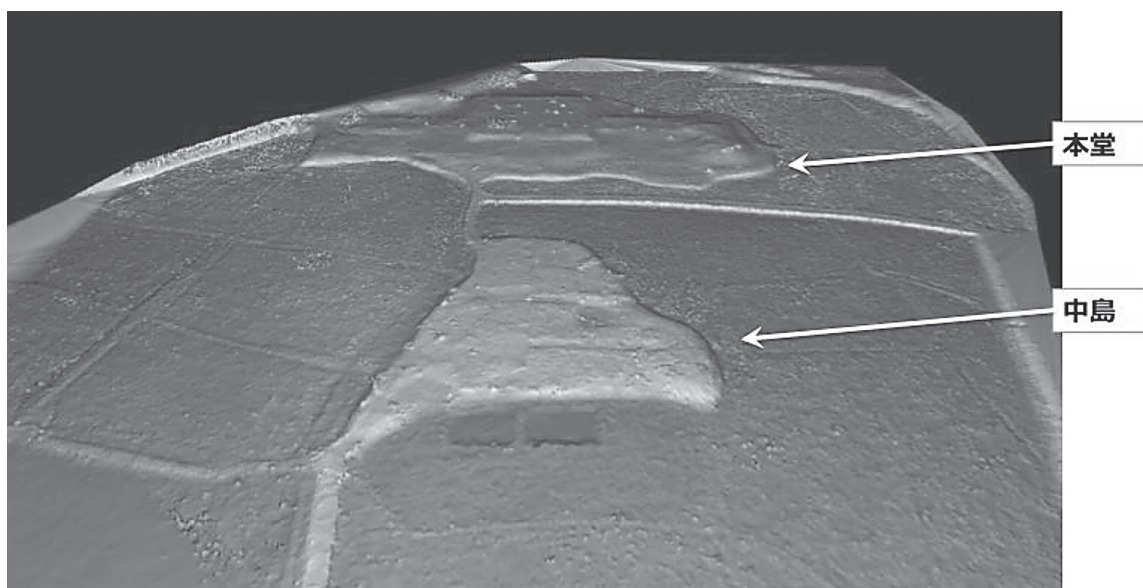


図38 本堂・中島 Area の SampleGrid 図
 SampleGrid 化条件：TriangleSize…0.1m設定

6. まとめ

3Dレーザースキャナ計測に、Leica ScanStation P20を使用して、柳之御所遺跡と無量光院跡の3Dレーザースキャナ計測を行った。デジタルアーカイブの有効な利用方法の一つとして可能性があり、このデータを公共座標に当てはめることによってより地理データに基づくことができる。3Dレーザースキャナデータによって平泉世界文化遺産を多目的利用可能なデジタルアーカイブとして構築することが期待される。そのためには、3Dレーザースキャナデータを利用者の目的に対応できるモデルと閲覧できるシステムを開発することが必要となり、CGやVRを用いてのビジュアル化の課

題に取り組んでいきたい。

本計測にあたり、炎天下の猛暑の中また雨天の日にも、現地のデータ収集などにご協力いただいた李ヤンニ、野中穂、熊谷凌介、竹村芳乃香、佐藤燎、宮地洋平、井上翼、齊藤友貴、学生諸君に感謝申し上げます。



図39 協力してくれた研究員と学生諸君

参考文献

- 1) 門林理恵子、レーザースキャナとRTK-GPSを用いた遺跡の3次元計測、情報処理学会研究報告、Vol.2003 No.59 (CH-58)、pp.73-80 (2003)
- 2) 小野晋太郎、松井健、池内克史、梯子式レーザ計測システムによる大規模文化遺産の三次元モデリング、3D映像、Vol.20、No.4、pp.9-16 (2006)
- 3) グリューン アーミン、「文化財」文化財の三次元計測とその利用-文化財の三次元計測とその利用の動向 遺構平面測量のための三次元データ取得-遺構図面の三次元化の有効性、測量、Vol.56、No.5、pp.26-29 (2006)
- 4) 野沢直人、「文化財」文化財の三次元計測とその利用-文化財の三次元計測とその利用の動向 遺構平面測量のための三次元データ取得-遺構図面の三次元化の有効性、測量、Vol.56、No.5、pp.52-53 (2006)
- 5) 早瀬 真弓、今西 純一、中村 彰宏、戸田 健太郎、森本 幸裕、地上型レーザースキャナを用いた庭園の借景復元に関する景観シミュレーション、ランドスケープ研究 (オンライン論文集) Vol.2、pp.62-66 (2009)
- 6) 加藤 淳、3Dレーザースキャナの構造物調査への適用事例、建設の施工企画、No.722、pp.47-49 (2010)
- 7) 白杵 勲、正司哲朗 考古資料のデジタル記録化とデータ活用、札幌学院大学人文学会紀要、第93巻、pp.83-104 (2013)