

三次元レーザー測量及び写真測量によるモデリング手法に関する研究

○徳永 勇人*¹ 本間 里見*²
大西 康伸*³ 下田 貞幸*⁴

キーワード：三次元レーザーメータ、点群データ、CAD モデリング、写真測量

1. 研究の背景と目的

建築分野において、3次元モデルの活用が普及しており、既存建築物を3次元モデルとして表現する技術や方法が開発されるようになってきた。また、測量の分野では、地上据置型3次元レーザーメータ（以下、LIDARと呼ぶ）が土木やプラントの分野で活用されており、建築の分野でも応用が望まれている。これまでの点群データの処理・モデリング手法では、航空用レーザー計測により取得したデータを主に利用されてきた^{1),2)}。そのため、LIDARデータを主体としたモデリング手法は確立されていないと考えられる。本研究では、LIDARを活用したモデリング手法を2つ提案している。1つは、点群データを平面にスライスし、作成した平面図に高さを与える手法である³⁾。もう1つは、ソフトウェアの機能を利用し、点群データから半自動的にポリゴンを作成する手法である⁴⁾。しかし、LIDARで計測できない箇所はモデルを作成できないことが課題として挙げられる。

本研究では、図化・モデル化を行える簡便な技術として、写真測量に関する研究を行っている⁵⁾。既往の研究では、写真測量により石橋を対象に3次元計測を行い、モデリング手法としての有効性を示している。写真測量では、複数枚の画像から対応点を設定し、対応点にポリゴンを作成するものである。具体的なソフトウェアとして、PhotoModelerや、Kuravesが挙げられる。LIDARと写真測量の両方を取り上げた研究はあるものの⁶⁾、煉瓦造建築を対象としたものが多く、木造建築を対象とした研究はほとんど見られない。また、最近の市販の画像計測ソフトウェアでは、複数の地点から撮影した画像を利用し、点群データを作成できるものもある。この写真測量の手法に着目し、研究に応用させる。

本稿では、LIDARを活用した木造建築物の外形モデルの作成手法の提案、及びLIDARでは計測できない屋根部の補完技術として写真測量によるモデリングの検証を研究の目的とする。

2. 研究の方法

本研究では以下の手順で研究を進める。

- 1) ケーススタディとして木造建築物・金波楼（図1）をLIDARで計測した点群データを分析する。
- 2) 点群データを活用した外形モデルの作成手法を検討し、その有効性と制約条件を明らかにする。

3) LIDARの補完技術として、バルーンを用いた空中写真測量を検討し、モデリングへの適応性を確認する。

4) 画像計測システムを利用し、画像から建築物の点群データを取得する方法について検討する。

3. 点群データの分析

3-1. レーザーメータによる計測

本研究では、ライカジオシステム社製のスキャンステーション（HDSシステム）を利用して、金波楼（約90m区間）を対象に計測し、3次元空間の点群データを取得した。3次元計測の際に、機器設置箇所の精密な座標と高さが必要となるため、基準点測量（新点6点、与点2点）を実施した。測地基準系は、世界測地系である。計測により得られた点群データ（有効点数約2077万点）のうち、前面道路から見た金波楼側のデータを抽出した。取得した点群データの加工には、専用のソフトウェアであるPointoolsを利用した。

3-2. 点群の欠損箇所

点群の分析により、今回の計測環境でLIDARでは、計測できない部分があることを把握することができた。具体的には、屋根部（図2）や本館の1、2階の一部がメータからの死角となり、計測できていなかった。



図1 金波楼

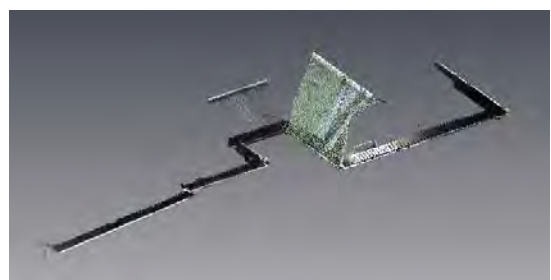


図2 点群の欠損部(屋根)

4.外形モデルの作成

4-1.作成手法

点群データを活用し、金波楼の外形を表現する3次元CADモデルをSketchUpで作成した。以下に提案するモデル作成の手順を示す。

- ①モデリングに不要な点群を除去する。
- ②平面ビューにおいて鉛直方向のスライスの基準となる補助線を引く。
- ③側面ビューで水平方向のスライスの基準となる補助線を引く。
- ④側面ビューで③で作成した補助線を基に、点群をスライスする。
- ⑤平面ビューで点群の外形を線分で結び、平面外形線を作成する。
- ⑥平面ビューで②で作成した補助線を基に、点群をスライスする。
- ⑦正面ビューで点群の外形を線分で結び、断面線を作成する(図3)。
- ⑧⑦で作成した平面外形線を基にファサード部分の点群をスライスし適宜幅と位置を変更しながら平面外形線に高さを与え3次元モデルを作成する。
- ⑨点群を参照し、窓やサッシなど細かい箇所を作成する(図4)。

4-2.考察

既往研究²⁾では、点群をスライスする手法により、RC造の建築物を対象とし、3次元モデルを作成した。本研究の事例を通し、次の点が明らかになった。

- ①木造建築物においても建物の全体形状を把握できる簡便な方法であることが明らかになった。
- ②木造建築物はRC造に比べ形状が複雑であるため、点群をスライスする位置と幅を調整する必要がある。
- ③点群データが存在しない部分を線分として結ぶ際には、既存図面や資料を参考にし、オペレータの判断が必要である。



図3 金波楼の点群データ(左)と断面図(右)

今回のケーススタディでは、日奈久の街並みの一部として金波楼を計測している。そのため、金波楼の表面をすべて計測することを目的とせず、スキャナから死角となる部分は計測できていない。したがって、完全なモデル作成のためには、新たにスキャナの設置点を増やした計測が必要である。

5.写真測量を用いた3次元モデルの作成

本研究では、3DLSの補完技術としてバルーンを用いた空中撮影による写真測量を検討し、3次元モデルを作成する。バルーンを用いることで高度150mからの撮影を可能とし、対象の建築物の屋根面全体を複数の角度から1枚の写真に収めることができる。写真測量では、2枚以上の写真から立体的な形状を解析して3次元座標を計算する。計測精度向上のために、今回は3枚の写真を用いて計測を行った。計測により取得した3次元座標・形状データは、DXFなどの3次元CADデータとして出力することができる。

5-1.作成手法

本研究では、空中撮影による写真測量のソフトウェアとして倉敷紡績株式会社「Kuraves-G2」を利用した。具体的な、作業を以下に示す。

- ①付属のソフトウェアを利用し、カメラのキャリブレーションを行い、使用するカメラのパラメータ値を得る。
- ②バルーンによる屋根部の空中撮影を行う。
- ③撮影した3枚の画像と、①で取得したカメラパラメータを「Kuraves-G2」に取り込む(次項図5)。
- ④画像の中で、3次元化する建物の特徴となる座標をマーキングする(次項図6)。
- ⑤④でマーキングした点を他の画像に関して対応付けをし、カメラ位置を計算する。

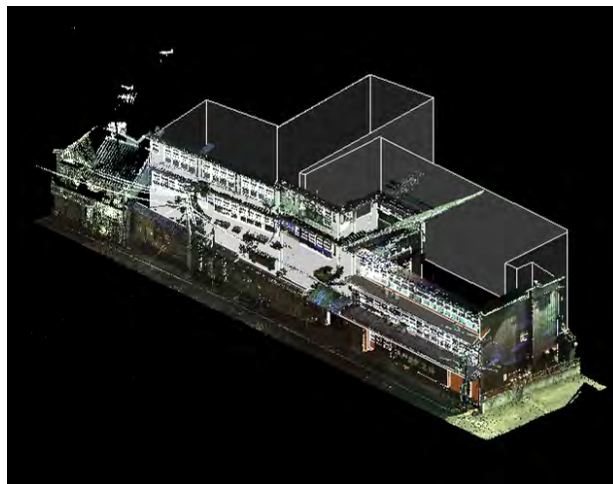


図4 外形モデル

- ⑥計測された対象物上の座標を基に、屋根面の3次元モデルを作成する(図7)。その際、画像データからテクスチャを作成することが可能である。
- ⑦点群データから距離の計測を行う。計測箇所は、④で設定した座標間の2点で、点群データから把握できるものである。計測結果を写真測量で作成したモデルに基準長として入力する。
- ⑧写真測量の3次元解析結果をDXF形式で書き出す。
- ⑨SketchUpに写真測量で作成したモデルを取りこみ、⑦で参照した点群上の2点と、写真測量から作成したモデルの対応する2点の位置を合わせる。
- ⑩点群データを活用し作成した外形モデルと、写真測量から作成した屋根面モデルの統合を行う(図8)。



図6 座標のマーキング

5-2.考察

地上据置型スキャナの補完技術として、写真測量によるモデリングのプロセスを検討し、作成したモデルデータを評価した。評価項目は、写真測量により作成したモデル上のポイントと点群上のポイントとのXY平面上での差、及びZ値の差である(表1)。基準とした点1と点9は誤差が0となっている。誤差の最大値は、342.4mmとなった。点群上のポイントと写真測量により作成したモデルとの間のずれは、建物全体に対して0.75%に留まった。これは、モデルから建物の形状を把握するレベルにおいて、点群データから作成するモデルを補完するデータとしては、実用的なレベルであると考えられる。

作成したモデルのポイントは、オペレータの目視による確認で作成している。そのため、オペレータ個人によるばらつき、作業時間と手間がかかる、といった課題がある。



図5.使用した写真データ(解像度:2592x1944pixel)



図7 写真測量で作成した3次元モデル

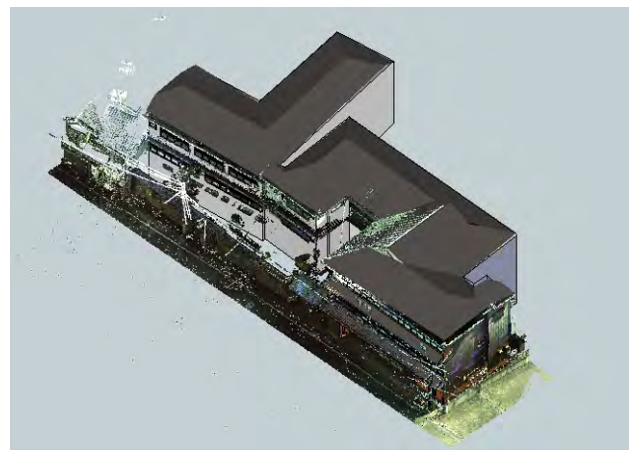


図8 モデルの統合

表1 写真測量のモデルの誤差(単位:mm)

	モデル上のポイント			点群上のポイント			誤差	
	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	2点間の距離	Z値の誤差
1	48492.7	-12884.6	12296.5	48492.7	-12884.6	12296.5	0.0	0
2	48733.3	-9853.2	12815.6	48645.4	-9802.1	12871.1	101.7	-55.5
3	48378.1	-2774.0	12935.5	48192.1	-2542.0	12670.6	297.4	264.9
4	65193.8	-1967.6	12421.3	65248.2	-2061.8	12587.5	108.8	-166.2
5	65467.6	-10013.4	12121.2	65605.1	-10093.6	12287.1	159.2	-165.9
6	69858.0	-10034.2	12195.0	69937.5	-9986.9	12324.4	92.5	-129.4
7	69932.7	-6368.7	12542.4	70020.3	-6429.9	12716.2	106.9	-173.8
8	78407.7	-6087.3	12135.7	78196.7	-5817.7	12264.1	342.4	-128.4
9	92939.5	-3564.4	11892.6	92939.5	-3564.4	11892.6	0.0	0

6. 写真測量による点群データの作成

前章に示した空中撮影による写真測量では、オペレータの目視による座標計測を基にポリゴンを作成することに留まっている。そのため、個人によるデータのばらつき、作業時間と手間がかかる、計測できる座標の数に限りがあるといった問題がある。3次元画像計測ソフトウェアであるTOPCON社のImageMaster（以下、計測システム）では、対応点の設定など、一部手作業はあるものの、複数の画像から点群データの作成を行うことが出来る。このシステムを利用し、点群データを取得する方法を検討する。具体的には、建築部位に着目し、精度の検証を行う。さらに、建物全体形状の計測方法を検討する。

6-1. 建築部位を対象とした精度の検証

熊本大学工学部研究資料館（明治41年竣工の文化財）の建築部位を対象に、画像を用いた3次元計測を行った。測量には、1辺が100mmのターゲットを配置し、撮影を行った画像を測量した。画像の解像度は4532x3264pixel（1479万画素）、撮影距離は約3m、カメラ間の距離は約1mである。測量には、図9の2枚の画像を利用した。

6-2. 考察

図10に示す①～⑧までの設置したターゲット間の距離について、取得した点群データの計測値と実測値とを比較したところ、表2の結果が得られた。ただし、1-5間を基準長として計測システムに入力する。結果として、平均の誤差率は0.79%であった。ここで、3次元計測により得られたモデルの大きさは、幅約2100mm、奥行約500mm、高さ約1600mmである。通常、写真測量による精度は、1/5000以上（撮影距離5mで1mm程度）である⁷⁾。建物の維持管理等に用いる建物モデルの精度は、建物の規模等にもよるであろうが、建物壁面上の部位を対象として、誤差がおおよそ1%程度に収まった計測精度（最大で7.5%）を示した研究例もある⁸⁾。本研究の計測結果も妥当であると言えるが、10mm前後の誤差があるため、詳細な部材の寸寸把握等は困難であると考えられる。

表2. 写真測量のモデルの誤差

	計測値 (mm)	実測値 (mm)	誤差 (mm)	誤差率 (%)
1-2	408	404	4	0.99
2-3	396	401	-5	1.25
3-4	398	397	1	0.25
5-6	399	398	1	0.25
6-7	397	399	-2	0.50
7-8	392	400	-8	2.00
4-8	1760	1755	5	0.28
1-5	1747	1747	-	-

表3. 各データのまとめ

メッシュ 間隔(mm)	点数 (点)	点密度 (点/cm ²)	TIN作成 時間(sec)
5	75,157	2.165	600
10	16,845	0.486	98
20	3,513	0.101	50
40	827	0.024	23
80	150	0.004	10

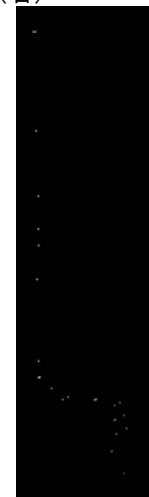
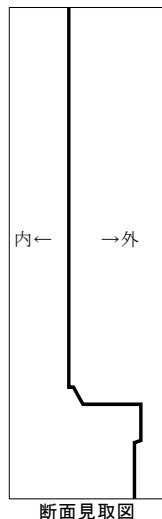


図12 開口部の断面の点群データ<メッシュ間隔>

作成するTINモデルの密度と形状の再現性を検討した。TINモデル作成時のデータを表3にまとめ、作成した窓の開口部の断面を図12に示す。点の密度は、点数を、作成したTINデータの投影面積約3.48m²で除した値とする。今回のケースで、メッシュ間隔5mmで作成した点群データにおいて、およそ平滑な面を再現できているといえるだろう（図12）。

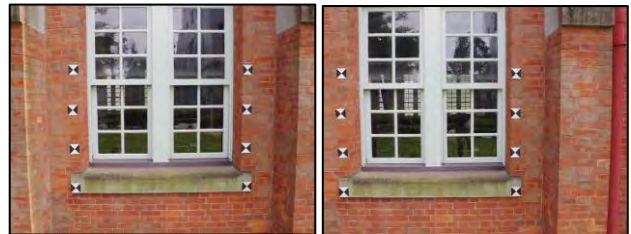


図9 計測に使用した画像(解像度:4532x3264pixel)



図10 三角メッシュの作成例



図11 TINモデル(左)と点群データ(右)

6-3. 計測システムの手順

計測システムを利用し、TINモデルの作成、点群データの取得、ノイズの除去までの計測の手順を表3にまとめ、その様子を図13~15に示す。

6-4. 考察

計測システムによって2枚の画像から、半自動で対象物のTINモデルを作成し、点群データを取得することが

表3.計測の手順

1	計測システムに付属したソフトウェアでカメラのキャリブレーションデータを取得する。
2	計測対象を複数の位置から写真撮影を行った。今回、計測で使用した写真は2枚である(図13)。対象までの距離は約37m、カメラ間の距離は約5mである。
3	計測システムに写真と、カメラのキャリブレーションデータを読み込む。
4	2枚の写真上の対応点を設定する。対応点は、最低6点必要である。今回は、対応点として建物の特徴的な部位、7点を使用した(図13)。対応点の設定後、評定計算を行う。評定では、撮影時のカメラの位置と傾きを求める。
5	画像内の建物特徴点の実測値を基に、基準長を設定する(図13)。
6	評定計算の結果を利用し、ステレオ画像を作成する。ステレオ画像を基に、TINデータを作成する。
7	ステレオ画像からTINデータを作成する。その際、TINデータを作成するメッシュの間隔を設定する。また、TINデータには、元画像を利用したテクスチャ・マッピングが可能である。
8	TINデータを基に、点群データを取得する(図14)。その際、TINデータのRGB値を属性情報として同時に書き出す。
9	点群データからノイズ(樹木等)を除去する(図15)。除去は、点群処理ソフトウェアを利用し、オペレーターの手作業で行う。

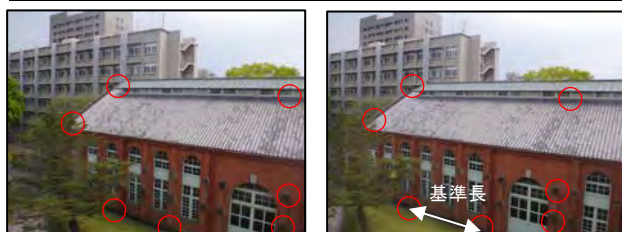


図13 計測に使用した画像(解像度:4532x3264pixel)



図14 作成した点群データ

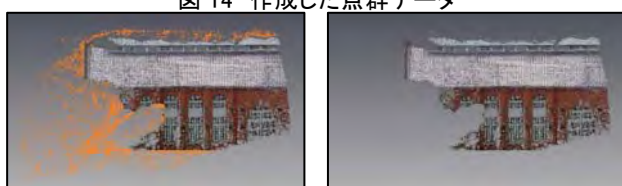


図15 ノイズの除去前(左)、除去後(右)

出来た(図14)。取得した点群データは、102,477点であり、点群の密度は、約1.77点/cm²である。取得した点群データは、XYZの座標値に加え、RGB値を属性情報として保持している。

画像計測で作成した点群データは、計測対象物以外のノイズ(樹木など)まで取得される。そのため、点群処理ソフトウェアを利用し、手作業でノイズ除去を行う必要がある(図15)。このことは、LIDARの場合も同じである。既往研究⁴⁾で提案している、クラスター分析による点群データの分離を行うことで、ある程度自動化できると考える。また、取得した点群データを3DCADでモデリングできると考える。

7. まとめ

7-1. 研究の成果

本研究では、点群をスライスし、断面と平面の外形線を参照してモデリングする手法は、木造建築物においても建物の全体形状を把握できる簡便な方法であることが明らかになった。また、LIDARでは計測できない屋根上面等の部位の計測を、バルーンを用いた写真測量により補完モデルを作成し、外形モデルとしては実用的な範囲であることを示した。さらに、画像を利用した3次元計測を検討した。実測値として最大2%以内の誤差に納まった。

7-2. 研究の展望

今後の研究の展望として、対象物について複数箇所画像から取得した点群データの合成方法の検討、画像から取得した点群データとLIDARで取得した点群データとの合成方法の検討が挙げられる。さらに、精度を高め点群データを取得するために、研究を行っていく。

尚、本研究は、平成24年度科学研究費補助金(基盤研究C)「高詳細3次元都市モデリングのための点群ベクトル変換システムの開発」(課題番号22560616)の一環として実施した。

【参考文献】

- 1) Chen, Liang-Chien, et al. "Shaping polyhedral buildings by the fusion of vector maps and lidar point clouds." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74.5 (2008): 1147-1157.
- 2) Schenk, Toni, and Bea Csathó. "Fusion of LIDAR data and aerial imagery for a more complete surface description." *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.3/A (2002): 310-317.
- 3) 本間里見, 位寄和久, 下田貞幸: 「三次元レーザー測量による建築モデリング手法の考察」日本建築学会 2009年度情報・システム・利用・技術シンポジウム, pp7-12, 2009
- 4) 本間里見, 兪維, 位寄和久, 下田貞幸: 「クラスター分析による点群データの建築要素の抽出方法に関する研究」日本建築学会 2011年度情報システム利用技術シンポジウム, pp7-12, 2011
- 5) 内村麻衣, 両角光男, 位寄和久, 本間里見: 「7478 PCベース写真測量ツールによる岩本橋のモデリング技術」学術講演梗概集. F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題, 955-956, 2000
- 6) Andreoni, D. Conforti, and L. Pinto. "The creation of the digital models for the protection of cultural heritage: the baptistery of Cremona." *XXth ISPRS Congress*. 2004.
- 7) 高地信夫: 「デジタルカメラとPCを利用したデジタル写真測量システムと文化財への様々な応用」, 文化遺産のデジタルドキュメンテーションと利活用に関するワークショップ, 2007
- 8) 海老原享圭, 小見康夫: 「8080 3次元写真計測による既存スケルトンの採寸・形状把握の実用性に関する研究」日本建築学会学術講演梗概集 F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題, 2011

- *1 熊本大学大学院自然科学研究科 博士課程(前期)
- *2 熊本大学大学教育開発総合研究センター 准教授 博士(工)
- *3 熊本大学大学院自然科学研究科 助教 博士(学術)
- *4 熊本高等専門学校 教授 博士(工)

Architectural Modeling Method With Three Dimensional Laser-scanner and Photogrammetry

○Hayato TOKUNAGA*¹ Riken HOMMA*²
Yasunobu ONISHI*³ Sadayuki SHIMOODA*⁴

Keywords: LIDAR, point cloud data, CAD modeling, photogrammetry

Back Groud and purpose

The purpose of this study is to illustrate a method of an efficient architectural modeling from the point cloud data obtained by Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR). When a building is surveyed with the terrestrial laser scanning, the point cloud data could not include the blind spot from the position of the scanner such as a roof. At the first, we have created a polygon data of the roof by photogrammetry using aerial photos. By synthesizing the polygon data and the point cloud data with LIDAR, the whole polygon data of the building generated. Second, by using the software to automatically generate a point cloud data from photogrammetry, the measurement method for the building shape is evaluated. In this paper, the modeling process of building using photogrammetry as a complementary technology of LIDAR is presented. By the case study, which targets Japanese style wooden buildings, the process is evaluated.

Methodorogy

In this study, we researched by the following stages;

- 1) Survey a Japanese-style hotel “Kinparo” in Hinagu, Kumamoto Prefecture by using with Terrestrial Laser Scanning.
- 2) Create the wall model from the point cloud data by LIDAR.
- 3) Take photos of the roof from the air using a balloon for photogrammetry.
- 4) Create the roof model by the photogrammetry software with the manual input by the operator. Then the roof model and the wall model are synthesized.
- 5) Evaluate the polygon model by the photogrammetry using a balloon that can adapt as a complementary technology of LIDAR, for an architectural modeling.
- 6) In order to verify the accuracy and applicability of photogrammetry software, modeling the elevation of the brick building as a case study.
- 7) Examine the generated point cloud data using photogrammetry software. The accuracy of modeling has been confirmed.

Conclusion

When synthesizing the model of the roof by photogrammetry and the model of the wall by LIDAR, maximum value of the error remained 0.75% of the entire building size. In the scale to understand the overall shape of the building, this is acceptable to be a practical level. Furthermore, we evaluated the software that generates the point cloud data automatically by photogrammetry. Although an error of less than 2% is generated by comparing the measured values, the accuracy of the point cloud data was evaluated to be within practical for the architectural modeling.

*1 Master’s course student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, BA

*2 Associate Professor, Center for Higher Education, Kumamoto University, Dr. Eng

*3 Assistant Professor, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, Ph. D.

*4 Professor, Kumamoto National Collage of Technology, Dr. Eng