

(36) LiDAR 搭載モバイル端末を用いた 屋内空間の点群データからの バリアの判定に関する一考察

小宮 涼¹・今井 龍一²・中村 健二³・塚田 義典⁴

¹学生会員 法政大学大学院 デザイン工学研究科 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33)

E-mail: ryo.komiya.5p@stu.hosei.ac.jp

²正会員 法政大学教授 デザイン工学部 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

³正会員 大阪経済大学教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8)

E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

⁴正会員 摂南大学准教授 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)

E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

我が国では、点群データに基づくデジタルツインの構築が進み、主要都市の3次元モデルが公開されつつある。また、近年では、近距離を測距可能なLiDARセンサを搭載したモバイル端末が登場し、誰でも手軽に3次元の点群データを計測できるようになった。そのため、今後は、屋内空間の点群データおよび3次元モデルの整備も進むことが予想される。一方、屋内自律移動ロボットや電動車いす等の用途を満足するためには、段差やスロープ等のバリア情報を付与した3次元モデルが必要である。そこで、本研究では、LiDAR搭載モバイル端末を用いた屋内空間の点群データからのバリアの判定可否を検証する。

Key Words: mobile terminal, 3D model, point cloud data, barrier

1. はじめに

我が国では、点群データ（以下、「点群」とする。）と呼ばれる点の集合体を用いて、現実世界の地物をデジタル空間に再現するデジタルツインの構築が進んでいる。例えば、国土交通省は、航空レーザにより収集した点群から3次元都市モデルを構築してオープンデータ化するプロジェクト PLATEAU¹⁾を主導している。このプロジェクトでは、整備した3次元の都市モデルをオープンデータ化することで、都市活動モニタリング、防災およびまちづくりの分野でのユースケースの深耕に期待している。また、静岡県では、航空レーザ測量および Mobile Mapping System（以下、「MMS」とする。）計測にて得られた県内全域の点群をオープンデータ化²⁾している。このデータは、2021年に熱海市で発生した土石流災害現場の3D化や土量算出等に活用された。さらに、東京都は、東京都デジタルツイン実現プロジェクト³⁾を発表し、2030年までに都内全域のデジタルツインを構築することを宣言している。

屋外の都市空間のデジタルツインの構築が進む一方

で、屋内空間に関しても点群の取得が進められている。東京都では、デジタルツイン実現プロジェクトの一策として、地上型レーザスキャナやハンディ型レーザスキャナを用いて都営新宿線「都庁前駅」の構内の点群を計測してオープンデータ化⁴⁾している。

こうした背景を踏まえ、屋内外および地下空間の点群が蓄積され、それに基づく3次元モデルの整備も進んでいくと予想される。しかし、屋内自律移動ロボットや電動車いす等の用途を満足するためには、取得した点群をそのままオープンデータ化するだけではなく、段差やスロープ等のバリア情報の付与が必要となる。

江守ら⁵⁾は、歩道計測型MMSにて計測した点群から屋外の歩行空間におけるバリアを検出して評価する手法を考案し、その有用性を示している。また、奈良部ら⁶⁾は、MMSにて計測した点群からバリアとなる段差を検出して評価する手法を考案している。この手法では、1,000点/m²以上の高密度かつ測距精度5mmの高精度な機器で計測した点群を対象としており、点群の計測に膨大なコストがかかる。そのため、廉価な機器による手軽な方法で屋内空間の点群を取得し、取得した点群に基づいて、バ

リア情報を判定できれば、屋内空間のデジタルツイン構築の一助になると考える。

そこで、筆者らは、LiDAR を搭載したモバイル端末に注目した。誰もが利用可能なモバイル端末で計測した屋内空間の点群からバリア情報を獲得できれば、バリア情報を保持した屋内空間の3次元モデルを加速度的に整備できる。

以上より、本研究の目的は、LiDAR を搭載したモバイル端末にて計測した屋内空間の点群を分析し、バリア情報の判定の可否を明らかにすることとした。

本論文では、まず、2章にてモバイル端末に搭載されたLiDAR の仕様および屋内における計測精度を検証する。次に、3章にて段差に模した木材の高さを計測し、バリアの判定可否を検証する。最後に、4章にてモバイル端末による計測の有用性および課題を考察する。

2. モバイル端末のLiDAR の精度検証

(1) LiDAR の詳細

本研究で使用するモバイル端末は、Apple 社の iPad Pro 11 インチ (第2世代) である。iPad は背面にLiDAR (以下、「iPad LiDAR」とする。) が搭載されており、端末から被写体までの深度情報を取得できる。System Plus Consulting 社の調査⁷⁾によると、iPad LiDAR は、Lumentum Operations LLC 社の VCSEL (垂直共振器面光レーザ) と、ソニー社の NIR (近赤外線) CMOS イメージセンサで構成されており、VCSEL から照射した 9×64 個のドットと iPad との距離を NIRCOS イメージセンサによって測定し、周囲の環境の点群および深度を測定する仕組みである。また、専用のアプリケーション (以下、「アプリ」とする。) を用いて、点群を取得できる。ただし、iPad LiDAR は、5.00m 以上の距離では精度が保証されていない。そのため、多くのアプリでは、データの信頼性を確保するために、計測距離が最大 5.00m に制限されている。また、これらのアプリは、Apple 社提供の AR 開発フレームワーク ARKit を利用して開発されている。しかし、取得した点群の位置合わせやテクスチャの付与等はそれぞれのアプリで独自に実装されていると考えられ、計測後の3次元モデルの精度は、アプリ毎に差異がある。

(2) LiDAR の精度検証

本研究では、屋内計測を目的としたモバイル端末の特性を把握するため、iPad LiDAR の計測精度を検証する。アプリは、RGB 情報を付与した点群の取得が可能な「3D Scanner App」⁸⁾を使用する。

a) 実験方法

本実験では、iPad LiDAR の計測精度を検証するため、

SLAM 処理が機能しないように端末を三脚に固定して計測する。計測対象は廊下の壁面と床面とし、図-1 に示すとおり、精度検証の目印となる付箋を貼り付けた。実験は、対象までの距離を 1.00m、1.50m、2.00m の3段階に変更させ、各距離で 10 回点群を取得した。そして、点群より算出した付箋間の距離と実距離との差分値で精度を評価する。なお、点群からの距離の算出には、Cloud Compare⁹⁾を使用した。

b) 検証結果および考察

アプリで取得した点群を図-2、検証結果を表-1 に示す。表-1 より、すべての計測結果の中で最も実測値と誤差が大きかったのは、計測距離 2.00m における高さ方向の計測で 2.55cm であった。また、表-1 より、すべての距離での奥行方向において、50.00cm よりも長い計測結果が多いことが確認できる。このことから、奥行方向では計測結果が実測より長くなる傾向があるとわかった。しかし、それぞれの距離での各方向の計測結果に大きな差異はなく計測距離および計測方向に関わらず計測精度は安定していた。

以上より、iPad LiDAR は、2.00m 以内の範囲ではどの方向に対しても 3.00cm 以内の誤差で計測できることがわかった。したがって、iPad LiDAR を用いて屋内空間に

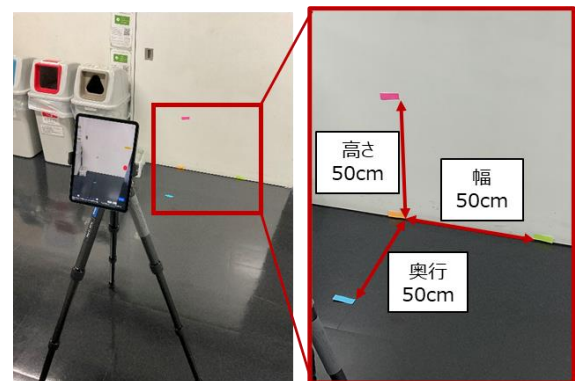


図-1 計測方法および計測対象

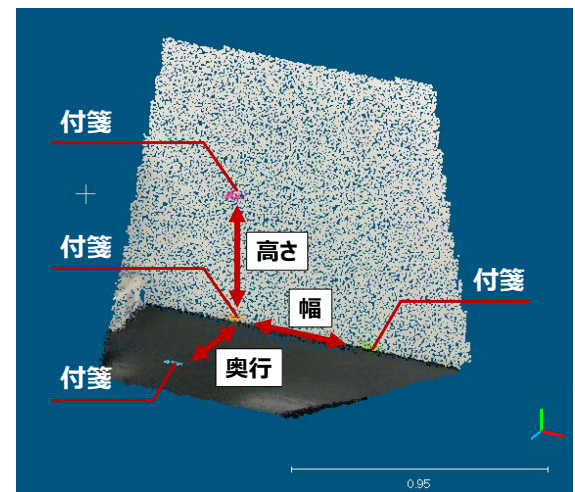


図-2 計測した点群の可視化結果

表-1 iPad LiDAR に基づく点群の測定値

単位：cm

計測回数	1.00m			1.50m			2.00m		
	高さ	幅	奥行	高さ	幅	奥行	高さ	幅	奥行
1	48.33	48.12	50.67	49.80	48.68	52.30	48.10	49.82	50.73
2	49.14	47.94	50.85	49.84	49.36	51.62	48.02	50.19	50.41
3	48.45	49.58	49.63	49.31	49.76	52.13	48.26	48.82	50.70
4	48.25	48.60	50.62	48.32	50.26	51.82	49.92	48.79	50.70
5	49.36	48.90	50.01	49.39	48.29	52.14	47.67	49.16	50.37
6	49.42	49.13	49.31	47.81	49.18	51.86	48.49	49.27	50.88
7	48.11	50.63	50.20	48.76	49.26	51.52	47.45	51.03	51.31
8	48.97	50.21	50.82	48.70	50.22	52.42	48.94	49.03	50.51
9	49.09	48.00	50.73	48.46	49.83	51.99	48.20	48.16	49.83
10	47.91	50.16	50.69	48.17	50.69	52.12	49.14	49.82	50.75
平均	48.70	49.13	50.35	48.86	49.55	51.99	48.42	49.41	50.62
標準偏差	0.52	0.93	0.51	0.66	0.71	0.27	0.70	0.78	0.36

おける段差等のバリア情報が計測できる可能性が示唆された。

3. 実証実験

(1) 実験概要

本実験では、iPadLiDAR のアプリで屋内空間の点群を取得し、バリアを模した木材の判定可否を確認する。木材は、一枚の厚みが 1.50cm であり、床面に合わせ黒色に塗装している。これを 1 枚から 4 枚まで積み重ねることで高さの異なる段差を作成し、計測精度を検証する。バリアは「歩行空間ネットワークデータ整備仕様」¹⁰⁾に基づき 2.00cm 以上の段差とする。これは、木材を 2 枚以上積み重ねた厚みに相当する。本実験では、iPad を三脚に固定し、台車に載せて移動しながら各条件 3 回ずつ計測する（図-3 参照）。

点群からの段差の高さの算出には、CloudCompare⁹⁾を使用する。まず、アプリからエクスポートした LAS 形式の点群を読み込み、床面から任意の 3 点を選択し、その平均値から床面の高さ座標を算出する。次に、段差の上面から任意の 3 点を取得し、段差の上面の高さ座標を算出する。最後に、床面と段差上面との高さ座標の差分を計算した結果を点群の計測値とする。

(2) 実験結果と考察

木材の点群の計測値および平均値の算出結果を表-2、取得結果を図-4に示す。表-2を確認すると、それぞれの計測において誤差は確認できるものの、木材が1枚の場合は、3回の計測のいずれの結果も2.00cmを下回っており、



図-3 木材の計測方法

表-2 段差の計測結果 単位：cm

計測回数	1枚	2枚	3枚	4枚
1回目	1.65	3.22	4.34	5.87
2回目	1.67	3.05	4.58	5.96
3回目	1.81	3.04	4.63	6.08
平均	1.71	3.11	4.52	5.97
実測値	1.50	3.00	4.50	6.00
誤差	0.21	0.11	0.02	-0.03

3回の計測結果の平均値は1.71cmであることから、2.00cmを超えておらず、バリアではない段差であると判定でき

る。一方、木材を2枚以上積み重ねた場合の計測結果に関しては、いずれの結果においても2.00cmを下回る結果は出ておらず、全ての枚数で3回の計測の平均値が2.00cmを超えていることから、バリアであると判定できる。このことから、モバイル端末で計測した点群に基づいて屋内空間のバリアが判定できることが確認できた。また、木材の枚数を3枚、4枚と増やすと、1枚、2枚の場合に比べ実測値と3回の平均値の誤差は小さくなっており、段差が大きいほど計測精度が高くなることがわかった。そのため、階段等の今回使用した木材に比べ高さの大きな段差に関しては、より高精度に計測可能であると考えられる。

先述の廊下での実験と比較して精度が向上した理由は、SLAMにより点群が良好に補正されたこと、3点の平均値を用いて木材の高さを算出したこと、計測対象の材質の影響が挙げられる。そのため、今後は、より広域での段差の検出実験を行い、iPad LiDARの適用条件を明らかにしたい。また、図-4より、計測された点群の間隔が一樣ではないため、屋内空間の全体を計測した場合は、別の階層や、隣接する部屋の点が透けて見える恐れがある。そのため、モバイル端末で計測した点群に基づいて屋内空間の3次元モデルを構築するためには、計測した点群を適切に加工し表現する方法を考案する必要がある。

以上より、バリアとなる段差とバリアとならない段差とを正確に区別できるとわかったため、3次元モデル上で正確にバリア情報を表現できれば、屋内空間の3次元モデルの整備にモバイル端末を活用可能なことが示唆された。

4. おわりに

本研究では、モバイル端末で取得した点群より、バリア情報を付与した屋内空間の3次元モデルを構築する手法を実現するために、iPadによる屋内空間の点群の計測可否およびバリアの判定可否を検証した。その結果、計測距離に制限があるものの、計測精度は安定しており、屋内空間において3.00cm以内の誤差で点群が取得できるとわかった。さらに、木材を用いた実験より、モバイル端末で計測した点群は、1.50cmのバリアの判定にも活用できるとわかった。このことから、iPad LiDARは計測対象によって計測精度が変わる可能性が示唆されたため、計測の特性に関して今後検証する予定である。

昨今LiDARを搭載したモバイル端末の点群計測は過渡期にある。既存のアプリは、アップデートが繰り返され、その性能は日々向上している。そのため、より高精度にバリアの判定が可能となることは必至といえる。一方、点群のデータ量が増加し続けており、大規模になる

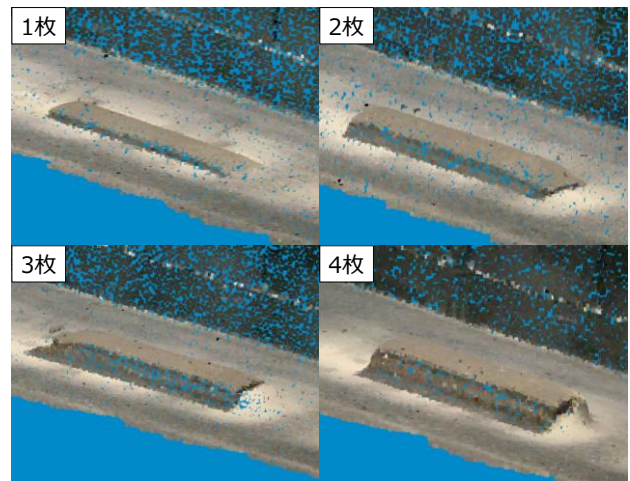


図-4 段差の点群の可視化結果

ほど扱いにくい課題が生じる。そのため、今後は取得した点群を用いた屋内空間およびバリアの表現手法を考案し、点群をより扱いやすく高度な表現に加工することで都市モデルの高度化に寄与していきたい。

謝辞：本研究は、JSPS科研費JP20K14854の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：PLATEAU[プラトール]、<<https://www.mlit.go.jp/plateau/>>、(入手 2022.6.10)。
- 2) 静岡県：静岡県が目指す「VIRTUAL SHIZUOKA 構想」とは？、<https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/kentoukai02/dt_kentou_02_04.pdf>、(入手 2022.6.10)。
- 3) 東京都：東京都デジタルツイン実現プロジェクト、<<https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/>>、(入手 2022.6.10)。
- 4) G空間情報センター：都営大江戸線 都庁前駅 3D点群データ、<<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/tochomae-3d-pointcloud>>、(入手 2022.6.10)。
- 5) 江守央、佐田達典、岡本直樹、岩上弘明：歩道計測型MMSを用いた歩道空間のバリア評価手法、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、Vol.72, No.2, pp.I_175-I_181, 2016。
- 6) 奈良部昌紀、佐田達典、江守央：歩行空間ネットワークデータの整備に向けた3次元点群データによるバリアの検出手法の提案、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、Vol.75, No.2, pp.I_123-I_131, 2019。
- 7) Junko Yoshida：Breaking Down iPad Pro 11's LiDAR Scanner、<<https://www.eetimes.com/breaking-down-ipad-pro-11s-lidar-scanner/#>>、(入手 2022.6.10)。
- 8) Laan Labs：3D Scanner App、<<https://3dscannerapp.com/>>、(入手 2022.6.10)。
- 9) Open Source project：Cloud Compare、<<https://www.danielgm.net/cc/>>、(入手 2022.6.10)。
- 10) 国土交通省政策統括官付：歩行空間ネットワークデータ等整備仕様、<<https://www.mlit.go.jp/common/001244374.pdf>>、(入手 2022.6.10)。