

点群データによるグリッドデータを活用した 車いすの最適走行指示に向けた 歩道路面のミクロなバリアの可視化

八木澤 柊斗¹・江守 央²・佐田 達典³

¹ 学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: cssh20017@g.nihon-u.ac.jp

² 正会員 日本大学准教授 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

³ 正会員 日本大学教授 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

わが国では少子高齢化が進み、将来的に移動制約者の割合増加による車いす事故の増加が見込まれており、屋外における車いすの自動走行技術が注目されている。また、近年国土交通省では、3次元点群データを活用した様々な取り組みが行われており、将来的に多くの分野での普及が考えられる。このような中既往研究により、グリッドデータを使用することで三次元点群データを用いてバリアの検出を行うことが可能と示された。また、既往研究によって車いすを対象とした場合のバリア検出における最適な点群密度やグリッドサイズ、処理方法も明らかとなっている。そこで本研究では、3次元点群データを活用して、車いすの自動走行支援に向け、車いすの安全かつ快適な走行のためのミクロな路面のバリア情報の取得を目指し、グリッドデータを使用して3次元点群データによる凹凸と横断勾配の重み付けを行うマッピング手法を検討する。

Key Words: Barrier-free, 3D point cloud data, Grid data, Wheelchair, Mobile mapping system

1. はじめに

わが国では、少子高齢化が年々進行しており、令和 2 (2020) 年 10 月 1 日現在、人口 1 億 2,571 人に対して、65 歳以上の人口は、3,619 人であり、総人口に占める 65 歳以上人口の割合（高齢化率）は 28.8%となっている。この状況が継続すると令和47年（2065）年には、高齢者が約2.6人に一人の割合となることが推測されている¹。また、高齢化に伴い、車いす使用者が増加しており、車いすの路肩や側溝への転倒や電柱等への接触による事故も増加傾向にあり、車いす使用者が安全かつ快適に走行できる環境づくりが必要である。

この状況を踏まえて、国土交通省では歩行者移動支援サービスの普及を目指している。歩行者移動支援サービスとは、様々な場面における利用者の情報ニーズに応え、バリアフリー対応の移動経路や施設の情報等を提供するサービスである²。例えば、個人の身体的状況やニーズ

に応じて、段差や急勾配、幅員の狭い経路等を避けたバリアフリー経路の検索や経路検索が可能となる。歩行者移動支援サービスには、位置特定技術・情報端末・情報データの3要素が必要とされており、特に、情報データは地図データ・施設データ・歩行空間ネットワークデータ等で構成されており、情報が不足しているといわれている。

近年では、技術革新により Mobile Mapping System：移動計測車両測量システム（以下、MMS）などを用いると 1 秒間に 100 万点程度の高精度な 3 次元点群データ（以下、点群データ）を取得することが可能である。MMS は道路台帳やメンテナンス、防災等幅広い分野で活用されている。そこで国土交通省では、「歩行空間ネットワークデータ等整備仕様案（2017年3月版）」を公開し、歩行空間ネットワークデータの整備を推進している³。これにより、歩行空間における段差や勾配、幅員等のバリア情報の収集が進められている。

既往研究では、点群データを用いた様々なバリア検出手法が検証、提案されてきた。奈良部ら⁴⁾は MMS によって取得した点群データをグリッドデータ化し、隣接するグリッドの比較やグリッド内に含まれる点群の比較を行うことで、MMS からの点群データを用いて国土交通省が規定している基準を満たした精度でバリア検出が可能であると示した。

そのため、本研究では車いすの自動走行支援に向けて車いすの安全かつ快適な走行のためのマイクロな路面のバリア情報取得を目指し、グリッドデータを使用して点群データによる凹凸と横断勾配を考慮した車いす走行位置の可視化を行う。

2. 対象と点群データの処理方法

(1) 対象とする車いす

現在、一般的に使用されている車いすには、自走式車いす、介助式車いす、コンパクト車いす、電動車いす等種類やメーカーによって様々なサイズや特徴が存在する。そこで本研究では、松永製作所製の自走式車いす（図-1）を想定した検証を行う。前輪幅が 0.025m、後輪幅が 0.035m のスチール製の自走式車いすである。



図-1 対象とする車いす

(2) 対象とする歩道

本研究で選定した歩道は、千葉県船橋市にある北習志野駅近くのエビス通りの歩道であり、北西と東南方向に延びる道路である（図-2、図-3）。その中でも、本研究において選定した箇所は、マウントアップとなっている箇所から切り下げ部中央付近までであり、その他にグレーチングによる凹凸やグレーチングとその周辺の舗装の膨らみによる横断勾配が存在する箇所、平坦な箇所がそれぞれ存在する。



図-2 対象とする歩道

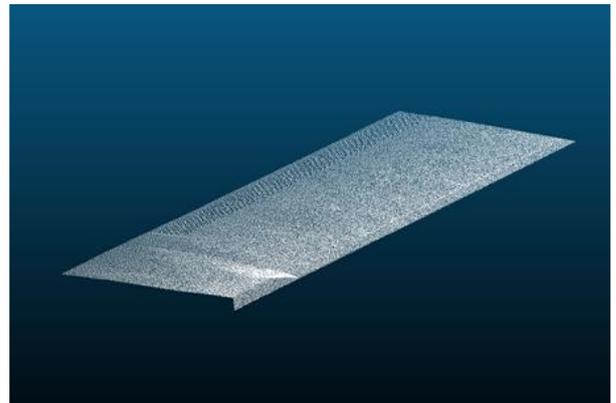


図-3 対象とする歩道路面の点群データ

(3) 点群データの処理方法

取得した点群データを点群解析ソフトである Cloud Compare にて、歩道部分の切り出しを行う。MMS で点群データを取得する場合、対象とする場所以外の点群や搭載されている 360° カメラによる画像データ等、必要としないデータも取得される。本研究では、歩道の路面状況を高精度に把握することを目的としているため、周辺の建物や電線等の余分なデータを取り除き、路面のデータのみとするフィルタリングを行う。また、画像データについても RGB 値による分析は行わないため、データ量を削減するために、あらかじめ画像データも取り除く。その後、図-4 の手順 2 と手順 3 に示すようにバリア評価用点群データとして、グリッドデータ化を行う。

グリッドデータ化には奈良部らの手法を用いる。奈良部らはグリッド内に含まれる点群データのうち、Z 値の最大値と最小値の差（以下、レンジ）をグリッド中央に与える手法と Z 値の平均値をグリッドの中央に与える手法を提案し、隣接するグリッドを比較することで、バリア情報を歩行空間ネットワークデータの要求精度を満たして取得できることを示した。本研究では、この手法を採用し、対象とする歩道の点群データを対象とする車いすの前輪幅に合わせた 0.025m のグリッドサイズでグリ

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} u = x \cos \theta + y \sin \theta + c \\ v = -x \sin \theta + y \cos \theta + d \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad c = -x_1 \quad d = -y_1 \quad (3)$$

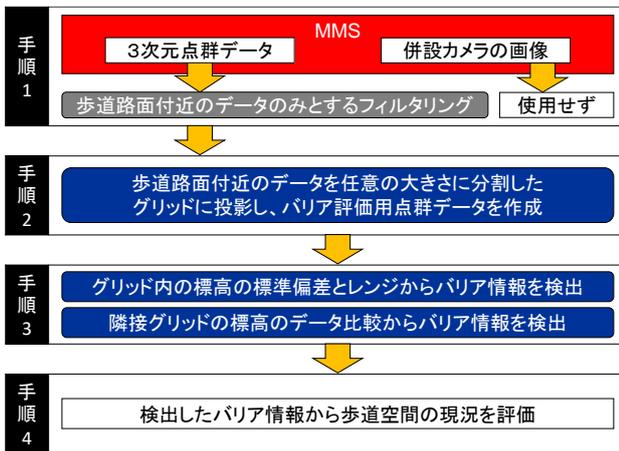


図-4 点群データの処理方法⁴⁾

ットデータ化する。しかし、奈良部の手法ではグリッドデータ化の際に、座北を基準に X 軸を形成し、Y 軸は X 軸に直行する軸を基準として東西方向へ形成した。そのため、形成されたグリッドは歩道の向きに関わらず座北を基準とするため、歩道の向きによっては、グリッドが歩道の向きに対して平行にならず、グリッドデータを使用した走行位置の分析が困難になる可能性があった。そのため、グリッドデータ化の前に点群データの座標変換を行う。座標変換にはヘルメート変換を用いる(式-1, 式-2, 式-3)。

3. 点群データの分析方法

本研究では、凹凸と横断勾配を考慮したバリアの可視化を行うため、グリッドサイズ 0.025m のグリッドデータを用いて凹凸の検出を行い、グリッドサイズ 0.025m から車いすの車体幅を想定した 0.700m 格子ごとにデータを抽出して横断勾配を検出する⁵⁾(図-5)。凹凸を検出するためのグリッドデータはレンジをグリッドの中央に与える手法を使用し、勾配を検出するグリッドデータは Z 値の平均をグリッドの中央に与える手法を使用する。

本研究では、凹凸と横断勾配の重みづけによる車いすの走行位置の可視化を行うため、凹凸と横断勾配をそれ

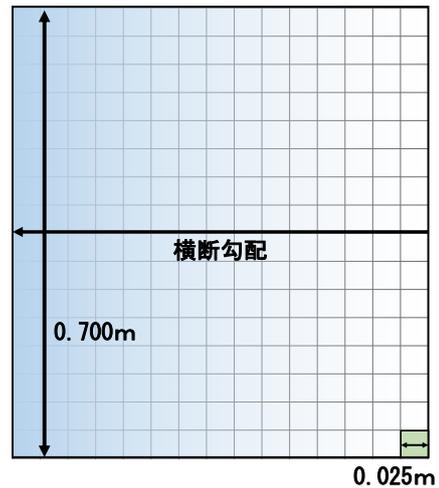


図-5 重みづけのイメージ

表-1 レンジの点数化

0.150m以上	6
0.150m以下	5
0.020m以下	4
0.005m以下	3
0.002m以下	2
0m	1

ぞれ点数化する。凹凸はレンジの大きさごとに点数化し、平坦であるレンジ 0m を 1 点として表-1 に示す形で点数化する。0.002m は細かい凹凸、0.005m は点字ブロック程度の凹凸、0.020m は歩道縁端部の段差、0.150m は歩車道境界部の縁石の高さを想定してレンジを階層化することとする⁶⁾。また、横断勾配は 0.700m 内の勾配が 1% 以下の箇所を 1 点、2% 以下の箇所を 2 点、2% より大きい箇所を 3 点とする。

4. 走行位置の可視化

凹凸と横断勾配を考慮した可視化を行う際、対象とする路面を車いすの車体幅を想定した 0.700m 格子ずつで評価・点数化を行う。レンジと横断勾配の大きさごとに点数化を行った後、車いす使用者が個々の要求に合わせて凹凸と横断勾配をどの程度考慮するかどうかを選択できるように、複数のパターンで重みづけを行う。本研究においては、レンジと横断勾配の重みを 30 : 70, 50 : 50, 70 : 30 の 3 つのパターンに分けて可視化を行う。重みづけの方法としては、0.700m 格子における横断勾配の点数と格子中に含まれるレンジの点数の和を 0.700m 格子における車いすの通りやすさの点数として計算を行

う。式4 はレンジと横断勾配の重みを 30 : 70 の場合における計算式の例を示している。

$$\text{点数} = (\text{レンジの点数} \times 0.3) + (\text{勾配の点数} \times 0.7) \quad (4)$$

各格子を点数化した後、ArcGIS を使って、車いすの走行位置の可視化を行う。図-6 は本研究において検証した 3 つのパターンを可視化したものであり、青に近いほど走行のしやすいルートとなっており、図の右が車道側、左側が歩道の内側を示している。また、本研究の対象路面は歩道内側に細かな凹凸があり、車道側には切り下げ部がある。そのため、レンジと勾配を 30 : 70 で考慮する場合は横断勾配となる切り下げ部は避け、図の左側の凹凸部分が走行しやすいルートとして表示されている。しかし、反対にレンジと勾配を 70 : 30 で考慮する場合、凹凸部分である左側がやや走行しづらいルートとして表示されており、対象路面の中央部の方が走行しやすいルートとして表示されている。

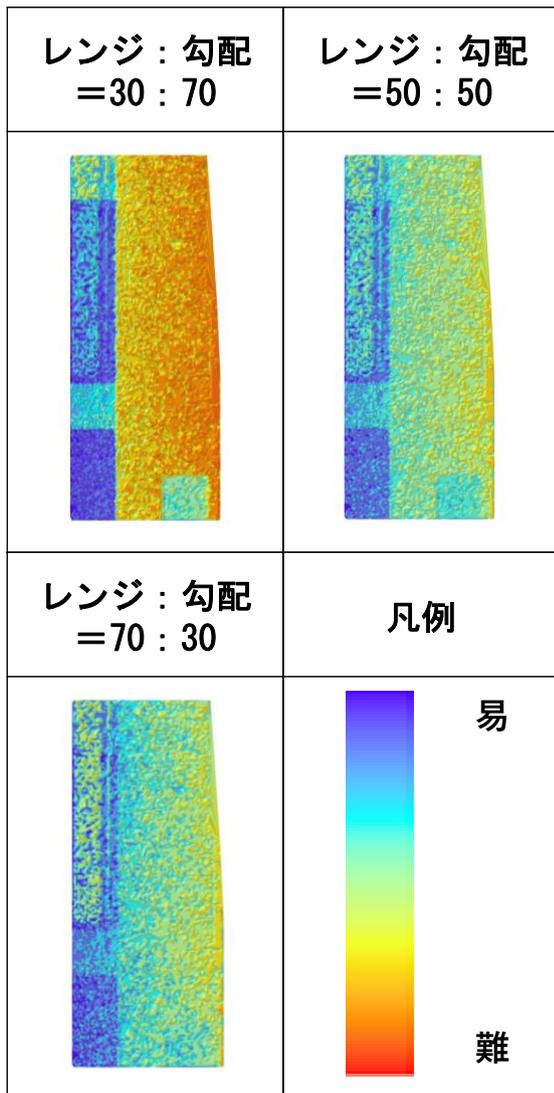


図-6 歩道路面の可視化

5. おわりに

本研究では、MMS によって取得した点群データから作成したグリッドデータを用いて、車いすが安全かつ快適に走行できるルートの可視化を行った。その際、グリッドサイズ 0.025m ごとに凹凸の点数化を行い、グリッドデータを 0.700m 格子ごとに分割して横断勾配の点数化を行った。グリッドデータを使用して凹凸と横断勾配の重みづけをした結果、レンジと横断勾配の点数化とそれぞれを考慮したルートの可視化は可能であり、考慮する度合いによっても走行位置に変化が見られた。しかし、本研究では、国土交通省が示す基本寸法や道路構造に関する基準をもとに点数化を行ったが、今回の解析方法による走行位置と実際に車いすで走行した際の感覚がどの程度一致しているかが不明瞭である。そのため、今後は、レンジと横断勾配の点数付けや解析方法の再検討、また、現地での走行実験による解析値と実測値の比較を行い、本研究で示した手法の有用性や改善点について検討を行う予定である。

謝辞：実験に協力をいただいた株式会社ニコン・トリンブルの岩上弘明様に心より謝意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府：令和3年版高齢社会白書
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/gaiyou/02pdf_indexg.html (入手日付：2021.9) .
- 2) 国土交通省：バリアフリー・ナビプロジェクトの概要
<https://www.mlit.go.jp/common/001213091.pdf> (入手日付：2021.9) .
- 3) 国土交通省：歩行空間ネットワークデータ等整備仕様案
<http://www.mlit.go.jp/common/001244374.pdf> (入手日付：2021.9) .
- 4) 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検出手法の提案，土木学会論文集F3（土木情報学），pp.123-pp.131，2019.
- 5) 国土交通省：第4章 基本寸法等
<https://www.mlit.go.jp/common/001179685.pdf> (入手日付：2021.9) .
- 6) 国土交通省：移動円滑化のために必要な道路構造に関する基準を定める省令
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/content/001341214.pdf> (入手日付：2021.9) .