

(52) SfM を用いた 3D モデル生成に基づく 歩道路面のバリア表示手法

谷口 阜貴¹・窪田 諭²・安室 喜弘³

¹ 非会員 関西大学大学院 理工学研究科 環境都市工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: e.l.f7193fekt.o@gmail.com

² 正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

³ 正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: yasumuro@kansai-u.ac.jp

近年、超高齢社会化の進行に伴い、今後も長期にわたり、車椅子、歩行補助用具の利用者の増加が予想され、身体的弱者に対して歩行空間の快適な通行をサポートする仕組みが必要不可欠である。これに対し、車椅子や歩行補助用具の利用者向けにバリアフリーマップやストリートビュー等のサービスが活用されているが、これらから具体的なバリア情報を把握することは難しい。本研究では、歩道を撮影した画像から SfM (Structure from Motion) によって 3 次元形状を介して、路面のバリア情報の抽出とマッピングを実施する手法を提案する。これにより、バリアの分布と空間的な位置関係の把握が可能となる。本稿では、従来の方法に比べて、より詳細なバリアの種類、範囲、程度の情報について、GIS と 3 次元 CG 双方で参照可能なシステムを実現した。

Key Words: wheelchair users, barrier-free, pedestrian space, SfM (Structure from Motion), 3D model, map information

1. はじめに

超高齢社会化が進行している日本では、高齢者人口の割合は年々増加傾向にあり、65 歳以上人口の割合は、2018 年 10 月時点で 28.1%に達している¹⁾。高齢者の増加に伴って、身体障害者も増加してきている。全年齢の在宅の身体障害者のうち 65 歳以上の割合は、2016 年時点で 72.6%に達しており、今後も車椅子やシルバーカー、歩行車等の歩行補助用具の利用者の割合も増加していくことが考えられる²⁾。

一方で、歩いて移動する人が共通して通る歩行空間には、車椅子や歩行補助用具を使用する人が快適に通行することを妨げる要因が数多く存在している。健常者には気にならないような縁石の段差や歩道上の電柱、グレーチングの網目に加え、路面のタイルの隆起や路面のひび割れなどは、車椅子や歩行補助用具の利用者にとってはバリアとなり、快適な通行だけでなく安全の妨げにもなり得る。内閣府が実施した平成 30 年度バリアフリー・ユニバーサルデザインに関する意識調査において、「今後、特にどの公共空間を重点的にバリアフリー・ユニバ

ーサルデザインとしていくことが必要だと思うか」を問う調査に対して、「歩行等歩行空間」という回答の割合が全体の 67.1%と最も高くなっている。年代別でも、高い年齢ほど、この回答の支持割合が高くなっている³⁾。

したがって、高齢者や車椅子、歩行支援用具の利用者が、安全かつ快適に通行することができる経路を事前に把握し、円滑な移動を支援する仕組みが必要である。そこで本研究では、歩行空間の撮影に基づいて 3 次元モデルを作成することで、歩行空間の実情を反映したバリア情報を表示する手法を提案する。3 次元でバリア情報を抽出することで、身体的弱者が通行可能な領域を詳細に把握することが可能になり、事前に通行経路を選択して移動計画ができるようになると思われる。

2. 関連研究・技術

(1) センサを用いたバリアの計測

これまで、センサを用いて段差や路面の凹凸、傾斜角度を計測することで路面状況を把握する手法が多数実践

されている。計測方法としては、台車や自転車、車椅子に加速度センサ、ジャイロセンサ、スマートフォンを搭載し、対象空間を走行させた時に生じる振動を検出するものである。例えば、加速度計測を利用した研究では、台車に3軸加速度センサを取り付けて走行させて加速度値を計測し、加速度の変化量が大きい箇所を検知して路面の凹凸を判断している。そして、あらかじめ閾値を設定しておき、計測結果から通行可能性について3段階で評価してマッピングしたバリアフリーマップを作成している⁴⁾。

(2) バリアフリーマップとバリアフリーストリートビューの活用

各地方公共団体では、歩行空間に存在する階段や段差、勾配等のバリア情報を含む歩行空間ネットワークデータを反映し、車椅子で通行可能な経路を掲示した2次元マップが作成されており、都道府県等のホームページからWeb上でのマップの閲覧が可能となっているものが多い。近年では、歩行空間ネットワークデータを活用したマップ上で、段差のない経路や勾配の少ない経路等を選択して案内するアプリケーションも普及してきている。

また、バリアフリー情報を地上視点から360°の視野で現地の景色を確認できるストリートビューで表示させるシステムの開発も行われている。車椅子に3軸加速度センサ、GPSセンサ、地磁気センサ（電子コンパス）を搭載したスマートフォンを装着し、バリアフリー情報を収集する。また、全天球カメラを車椅子に装着してパノラマ画像を生成する。パノラマ画像は、Wi-Fiでスマートフォンに接続し、GPSセンサを用いて10mごとに撮影して取得する。取得したパノラマ画像とバリアフリー情報をデータベースに保存し、Webブラウザ上で、Google Mapのマップ情報、パノラマ画像より作成したストリートビュー、色分けした傾斜情報を表示する。マップには、段差、傾斜の程度によって色分けされたマーカーが表示されるようになっている⁵⁾。

しかし、バリアフリーマップ、バリアフリーストリートビューでは、バリア情報を色分けやマーカーにより表示しているため、バリアの実情を俯瞰した視点から評価することには不向きであると考えられる。

3. 提案手法

(1) システム概要

本研究では、歩行空間の快適性について、通行する歩行者の目線で注目する。ここでは、実際に通行しながら連続撮影して画像データを収集する。これにより、台車等で通行した動線上だけでなく、周囲の路面についても

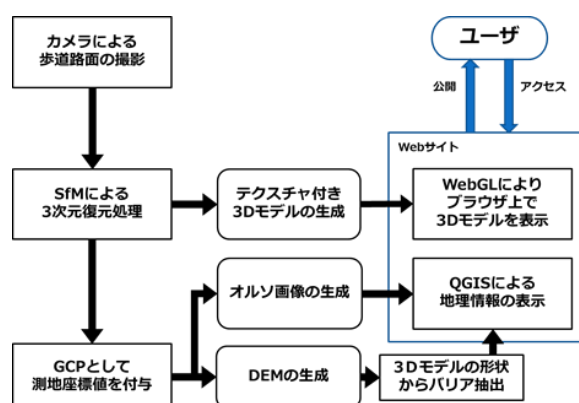


図-1 提案システムの処理手順

詳細な性状の情報を収集することが可能となる。収集した画像群に対して3次元復元処理を行うことで、得られた形状情報から判断されるバリアを抽出できる。これにより、歩道路面に存在するバリアの種類、バリアの分布とバリアの相互位置の情報を包括的に扱って可視化することが可能になる。

システムの処理手順を図-1に示す。歩きながら歩道路面を撮影して写真を多数取得し、画像に映り込んだ地上基準点に対して測地座標値を付与してSfM(Structure from Motion)を実施する。これにより、バリアの分布と路面状況を反映した歩行空間の3Dモデルを、実スケールで作成する。得られた3次元形状から、段差や凹凸、路面の粗さなど、バリアだけでなく、身体的弱者の通行において快適性に影響する路面の性状を分析し、マッピングする。本研究では、これらの結果を、GISに整合した地理情報として表示するとともに、WebGLを利用した独自の3Dビューを作成し、歩行空間をWeb上で俯瞰可能なシステムを構築する。

(2) 3次元形状からのバリア抽出

SfMにより作成したモデルの3次元点群データの座標値をもとに、路面の地形形状を表現したDEM(Digital Elevation Model)を作成する。DEMでは、地表面の標高データを色で階層分けして描画できる。僅かな段差でも標高差が生じていれば局所的に急勾配となっており、DEMの画素値分布でも勾配が高くなっている。ここでは、グレースケールで表現したDEMに対して、ソーベルフィルタを用いてエッジ検出を行うことで物理的な段差を抽出する。実スケールとグレースケールとの対応を考慮して、勾配の値に対して閾値処理を施すことにより、対象とする勾配レベルのバリアを抽出する。

4. 実験方法

(1) 使用機材

路面の撮影には、GoPro 社製の HERO5 Black を最長 3m まで伸ばせる一脚に取り付けて使用した。SfM による 3 次元復元処理には Agisoft 社製の Metashape を使い、取得した画像データから 3D モデルの作成と GIS のレイヤとして使用するオルソ画像の作成を行った。GIS ソフトウェアとしては、QGIS を使用した。

(2) 実験の概要

対象箇所は、関西大学千里山キャンパス内の図-2 の赤枠部分とした。また、対象箇所の風景を図-3 に示す。対象箇所には、大きく分けて、道路と歩道が存在する区域と、歩行空間内に駐輪所が存在する区域がある。道路と歩道が存在する区域には、道路と歩道の境界に大きな段差が存在する。歩行空間内に駐輪所が存在する区域では、自転車が歩行空間にはみ出し、歩行者の通行を妨げている場合がある。また、所々に大きなグレーチングが存在し、車椅子や台車がその上を通行した際に、車輪が嵌り込んでしまう。

路面の撮影は、図-4 に示すように、GoPro Hero5 Black を長さ約 2m に伸ばした一脚の先端に取り付け、カメラのレンズが路面に対しておよそ垂直になるように手で持って行う。また、画像上の基準点を GCP (Ground Control Point) として設定してマーカーの配置を行い、マーカーに測地座標値を付与する。以上の編集を行うことで、SfM を用いて測地座標に基づく位置情報とスケールを持つ 3D モデルとオルソモザイクを作成することができる。また、3 次元復元処理で生成した 3 次元点群データを基に、DEM を作成し、ソーベルフィルタによる画像処理を行うことで、3 次元形状からバリアを抽出する。QGIS では、作成したオルソモザイク、3D モデルの作成範囲の基盤地図情報データ⁹⁾、バリア抽出画像をレイヤとして挿入し、重畳する。QGIS に表示させた地図情報と 3D モデルをそれぞれ Web ブラウザ上で表示させる。

5. 結果と考察

今回の実測では、計 569 枚の写真を取得し、Metashape にて 3 次元復元処理を行い、測地座標値を付与することにより、測地系に則した 3D モデルを作成した。図-5 は生成したテクスチャ 3D モデルである。歩道の縁石部分や駐輪された自転車、ポール等の地物について詳細に確認することができるようになっている。図-6 では、生成したテクスチャ 3D モデルを、WebGL によりブラウザ上で表示させている。モデルはブラウザ上で、マウス操

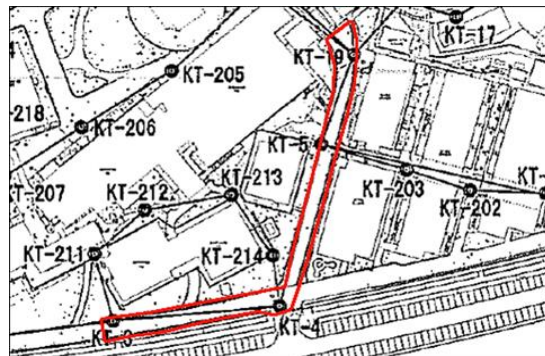


図-2 実験対象範囲の基準点網図



図-3 対象箇所の風景



図-4 撮影機材と撮影の様子



図-5 SfM により生成したテクスチャ 3D モデル

作により拡大・縮小、回転、平行移動が可能となっており、俯瞰的に路面情報を参照することができる。一方、DEM は画素値が高度を表しており、画素値勾配が物理的な勾配を示しているの、ソーベルフィルタにより画像処理を実施し、画素値勾配を一画的に検出することで、路面上の凹凸を抽出する。その結果を、図-7 に示す通



図-6 WebGLにより Web ブラウザ上で表示したテクスチャ 3D モデル



図-7 バリア抽出画像の重畳前 (左) と重畳後 (右) のオルソモザイク

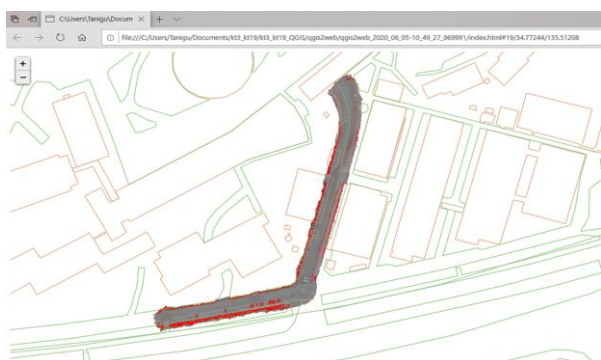


図-8 Web ブラウザ上で表示した地図情報

り、QGIS 上でオルソモザイクに重畳してマッピングした。このことから、段差、自転車の他に、歩道上の標識ポールやガードレール等の地物についても同様に抽出することが可能である。

本研究では、歩行空間を撮影した写真画像から 3 次元復元を実行することで取得した 3 次元データをもとに路面性状を分析することで、計測の動線上の情報のみならず、周囲状況を踏まえて俯瞰的に路面を参照することが

可能となっている。これにより、視点を制限されず、あらゆる角度からバリア情報を把握することが可能となり、実際に現地に赴いたかのように、周囲の状況を一望することができる。また、3 次元復元時に生成したオルソモザイクを測地系に基づいて地図表示させることで、3D モデルが表示する箇所の正確な位置情報を提供している。さらに、図-8 のように、バリア抽出結果の画像を重畳させたオルソモザイクと基盤地図情報データは Web ブラウザ上で表示可能であり、ユーザへの公開が可能である。

6. おわりに

本研究では、歩行空間での快適性に留意して、実際に歩行しながら収集した多視点画像に基づいて、歩道路面の性状を網羅的かつ綿密に計測し、SfM により 3 次元復元することで、身体的弱者にとってのバリアはもちろん、その他の路面性状についても詳細な情報を収集し、可視化する方法を提案して、GIS と併せて Web 公開可能な実装を示した。本稿では、歩道の縁石、駐輪された自転車のみをバリア情報として抽出したが、今後は様々なバリアを対象として計上分析を進めるとともに、傾斜勾配やバリアのスケールの計測を行う予定である。また、3 次元復元のタイポイント抽出の際に発生したノイズによって、本来にはない路面の凹凸が出現し、DEM のフィルタ処理時にバリアとして抽出されてしまっていた箇所があった。また、縁石や自転車以外にも、道路脇の植え込みも抽出されているため、これらの画素値を計測し、フィルタ処理によって削除する手法を検討していく。

参考文献

- 1) 内閣府：令和元年版高齢社会白書（全体版），pp.2-6，<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf>，（入手 2020.1.23）。
- 2) 内閣府：令和元年版 障害者白書（全体版），pp.231-237，<<https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/r01hakusho/zenbun/pdf/ref2.pdf>>，（入手 2020.1.9）。
- 3) 内閣府：平成 30 年度バリアフリー・ユニバーサルデザインに関する意識調査報告書，pp.71-72，2019。
- 4) 岡村拓哉，伊與田光宏：加速度センサによる路面状況の把握とバリアフリー検知への利用，第 76 回全国大会講演論文集（第 1 号），pp.721-723，2014。
- 5) 荒井研一，中島良太，小林透：ソーシャルバリアフリーストリートビューシステム，情報処理学会論文誌 Vol.60 No.3，pp.821-829，2019。
- 6) 国土地理院発行 基盤地図情報データ，<<https://www.gsi.go.jp/kiban/o.jp/kiban/>>，（入手 2020.1.9）。