

バリアフリーマップにおけるバリア情報可視化手法の比較

奥川和希¹ 大和佑輝² 大河原巧¹ 村山優子³ 宮田章裕^{1,a)}

概要: 我々の生活空間には階段や段差といった、移動弱者の円滑な移動を妨げるバリアが多数存在している。これらのバリアの存在を把握するためにバリアフリーマップが作成されている。現状のバリアフリーマップはバリアフリー施設の場所を表示しているものが多く、ユーザは移動経路上のバリア情報を把握できない。このため、移動経路上のバリア情報を含めて表示している広範囲のバリアフリーマップを作成する必要がある。しかし、移動経路上のバリア情報を含めたバリアフリーマップの作成には広範囲のバリア情報が必要なため、高いコストがかかるという問題がある。この問題を解決するために我々は健常歩行者の歩行データからバリア情報を抽出し、地図上に可視化する取り組みを行なっている。先行研究ではスマートフォンをポケットに入れて歩くだけでバリア情報を収集することができる。このため、収集されるバリア情報は大量になる。本稿では先行研究によって収集される大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化することで、ユーザがバリアフリーマップを用いて移動経路を作成する際の作業負荷を減少させられるかを検証した。比較実験を行った結果、大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化する手法は判明しなかったものの、特定の手法を用いることでユーザがバリアフリーマップを用いて移動経路を作成する際の作業負荷を軽減させられることが示唆された。

1. はじめに

我々の生活空間には、階段や段差、急な坂といった移動弱者の円滑な移動を妨げるバリアが多数存在している。移動弱者は屋外を移動中に立ち往生するような事態にならないよう、事前にこれらのバリアが存在する位置を把握し、移動計画を立てることが多い。バリアの存在する位置やバリアの種類（以降、バリア情報）を事前に把握する手段としてバリアフリーマップが存在する。バリアフリーマップは地方自治体や公共施設が発行していることが多い。これらのバリアフリーマップには施設のバリアフリー状況やバリアフリー対応施設の場所は載っているが、そこにたどり着くまでの移動経路上に存在するバリアの情報は載っていないことが多い。現状のバリアフリーマップでは、ユーザが施設へ向かう途中で思わぬバリアに遭遇し、立ち往生する可能性がある。移動経路上に存在するバリア情報をバリアフリーマップに表示するためには広範囲のバリア情報が必要である。しかし、バリア情報は調査員が現地に行って記録する必要があるため、収集するには高いコストがかかるという問題がある。この問題を解決するために、我々は健常歩行者の加速度・角速度データを Deep Learning で分

析することによりバリア情報を推定する取り組みを行なっている [1], [2]。このアプローチではユーザがスマートフォンをポケットに入れて歩くだけでバリア情報を収集できるため、広範囲かつ大量のバリア情報を低コストで収集できる。しかし、収集された大量のバリア情報を従来のバリアフリーマップと同様に地図上にアイコンやピンを表示することで可視化すると、地図が大量のアイコンやピン埋め尽くされてしまう。この状態ではユーザがバリア情報を直感的に把握できず、移動経路を作成する際の作業負荷が大きくなることが予想される。本稿では、大量のバリア情報を可視化する手法を4件選定し、それぞれの可視化手法に基づくバリアフリーマップを作成し、ユーザが移動経路を作成する際に感じる負担について比較を行った。本稿の貢献は次の通りである。

- 地理空間情報を可視化する代表的な手法を用いて大量のバリア情報を可視化し、ユーザが大量のバリア情報を直感的に把握できるように可視化するのに適した手法を調査したこと。
- 大量のバリア情報を直感的に可視化することによって、ユーザがバリアフリーマップを用いて移動経路を作成した際の作業負荷が軽減されるか検証したこと。

本稿の構成は次のとおりである。次章では本稿に関する関連研究に関する説明をし、3章では関連研究に基づく研究課題を定義する。次に、4章では3章で述べた課題を達成

¹ 日本大学 文理学部

² 日本大学 大学院総合基礎科学研究科

³ 津田塾大学 数学・計算機科学研究所

a) miyata.akihiro@acm.org

するための手法を提案し、5章では実装方法を説明する。最後に、6章では実験と考察を述べる。

2. 関連研究

本研究はバリア情報の可視化技術に深く関連している。また、バリア情報には位置情報が含まれているため、位置関連情報の可視化技術とも関連している。2.1節ではバリア情報の可視化に関する研究事例を説明し、2.2節では位置関連情報の可視化に関する研究事例についても説明する。

2.1 バリア情報の可視化

歩行者や車椅子の移動データからバリア情報を推定し、地図上に可視化する取り組みは多く行われている。例えば、車椅子に取り付けたセンサで計測された移動時の加速度データからバリア情報を推定し、地図上にピンを打って可視化している事例がある [3], [4]。三浦等 [5] は、台車に取り付けたスマートフォンを用いて道路の傾斜を測定し、色を用いて地図上に可視化している。我々も健常歩行者の歩行時の加速度、角速度データからバリア情報を推定し、地図上に可視化する取り組みを行なっている [6], [7]。他にも、ユーザから提供されたバリア情報を地図上に可視化する取り組みが盛んに行われている [8], [9], [10]。Wheelmap[8] は、ユーザから投稿された施設のバリアフリー状況を地図上に可視化する事例である。Cardonha 等 [9] も同様の取り組みを行なっている。また、Wheelog![10] は施設のバリアフリー状況に加えて、車椅子ユーザの移動ログを収集することで車椅子でも通行できる経路を地図上に可視化している事例である。

2.2 位置情報の可視化

我々が収集するバリア情報のような、位置情報を含んだデータを可視化している例として [11], [12] が存在する。佐藤等 [11] は、人の屋内での位置情報を WiFi を用いて推定し、散布図とヒートマップの2手法を用いて可視化している。Rizwan 等 [12] は、位置情報付きの掲示板データからユーザの都市部での行動傾向を分析し、ヒートマップで可視化している。

3. 研究課題

我々の生活空間には階段や段差、急な坂といった、移動弱者の円滑な移動を妨げるバリアが多数存在している。このため、移動弱者は屋外で立ち往生する事態にならないように、あらかじめ移動計画を立てることが多い。移動計画を立てる際には、バリアがどこに存在しているのかを事前に把握している必要がある。バリア情報を把握する手段の一つとしてバリアフリーマップが存在する。バリアフリーマップは主に施設や自治体が作成しているが、施設のバリアフリー状況やバリアフリー対応施設の場所を表示して

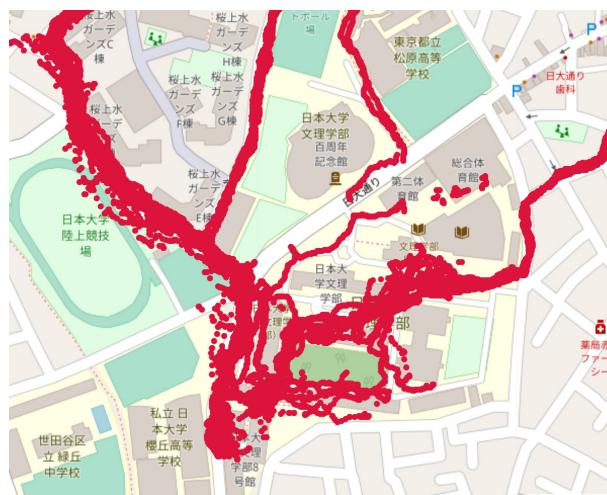


図 1 バリア情報を点で可視化したバリアフリーマップ

いるものが多く、移動経路上に存在するバリアも含めて表示している広範囲のバリアフリーマップは少ない [13]。このため、ユーザが現状のバリアフリーマップを利用して移動計画を考案した場合、移動経路上で思わぬバリアに遭遇し、立ち往生する可能性がある。移動経路上に存在するバリアも含めた広範囲のバリアフリーマップを作成すれば良いが、高いコストがかかるという問題がある。

この問題を解決するために、ユーザの投稿や車椅子の移動データからバリア種別を推定することでバリア情報を収集し、地図上に可視化する研究事例が存在する。例えば、文献 [3], [4] は車椅子に取り付けられた加速度センサを用いて計測した車椅子移動時の加速度データからバリア情報を推定し、地図上に可視化する事例である。ユーザから提供されたバリア情報を地図上に可視化する事例も存在する [8], [9], [10]。これらのアプローチでは車椅子利用者やバリアフリーに興味のある人がバリア情報を収集する。この条件に該当する人は限られるため、収集されるバリア情報の網羅性が下がってしまう。このため、より数の多い健常歩行者にバリア情報を収集してもらうことでバリア情報の網羅性が向上すると考える。

上記に基づき、我々は健常歩行者の歩行データからバリア情報を推定し、地図上に可視化する取り組みを行っている [6], [7]。先行研究では健常歩行者が歩くだけでバリア情報を収集できるため、大量のバリア情報を収集できる。先行研究で収集された大量のバリア情報を既存研究 [3], [4] と同じように点やマーカーといった画像を地図上にプロットするアプローチで可視化したものを図 1 に示す。このように、我々のアプローチによって収集されるバリア情報は大量であるため、既存研究と同じように点やマーカーといった画像で地図上に可視化すると地図が点で埋め尽くされてしまう。ユーザがこのバリアフリーマップを利用して移動経路の考案をする場合、バリア情報の把握が難しく、移動計画作成作業への負荷が高くなる。バリア情報の把握が難

しくなる要因として、我々が地図上に可視化しているバリア情報が大量であるため、ユーザが直感的に把握できなくなっていると考えられる。

上記を踏まえて、大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化し、バリアフリーマップを用いた移動経路作成作業を行う際の作業負荷を減少させることを研究課題とする。

4. 比較手法

可視化するデータが大量にあるとユーザがバリアフリーマップを使用した際に、バリア情報を直感的に把握することが難しくなる。このため、大量のバリア情報に対してクラスタリングを適用することでデータ量を削減させる。我々が収集するバリア情報には緯度、経度といった位置情報とバリアが存在する尤度が含まれる地理空間情報である。このため、地理空間情報を可視化する代表的な手法を用いて大量のバリア情報を可視化した結果を比較することで、大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できる可視化手法を明らかにできると考える。地理空間情報を可視化する手法の一つにヒートマップがある。ヒートマップは地理空間情報を可視化する代表的な手法であり、採用している事例も多い [11], [12]。バリア情報をヒートマップで可視化することによって、ユーザは色の分布を俯瞰することでバリア情報を直感的に把握できると考える。

上記の検討に基づき、我々はヒートマップを用いたバリア情報可視化手法を提案してきた [6], [7]。先行研究では、ヒートマップを用いることで、大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化できる可能性が示されている。よって、ヒートマップによる可視化は3章で述べた課題を達成するのに有効であると考えられる。また、ヒートマップには2Dのものとは3Dのものが存在している。文献 [14] では2Dと3D、2つのヒートマップを用いて、複数の種類の分析作業を行っている。その結果、2Dのヒートマップは分布の概要を把握する場合に有効であることが述べられている。バリアフリーマップを利用する目的はバリアの場所を把握することであり、これは地図上に可視化されたバリアの位置情報の分布を把握することに相当する。このため、課題を達成するためには2Dヒートマップを用いるべきであると考えられる。

他にも、地理空間情報を可視化する代表的な手法としてクラスターマップ、バブルマップが存在する。バブルマップは円の大きさによって値を表現する手法である。円の存在する位置と大きさを見ることで、ユーザはバリアが存在する位置と尤度を直感的に把握できると考える。クラスターマップはクラスタの情報を数字や色で表現する手法である。バリアが存在する位置を点で正確に表示しつつ、色でバリアが存在する尤度を表現できるため、ユーザがバリア情報を直感的に把握できると考える。似たような可視化

手法を用いている例として [5] がある。これは道路の傾斜を色付きマーカーで表現している事例であるが、ユーザから分かりやすいという意見が出ている。このことから、クラスターマップは課題を達成する上で有効であると考えられる。以上からヒートマップ、バブルマップ、クラスターマップはバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化できると考える。

上記に基づき、大量のバリア情報をクラスタリングによって削減し、従来の可視化手法であるドットマップとヒートマップ、バブルマップ、クラスターマップの4手法で可視化した結果を比較することで、大量のバリア情報を直感的に把握できるように可視化する手法が明らかになると考える。

5. 実装

5.1 可視化するデータ

本稿で可視化するデータは先行研究 [6], [7] で収集されたものである。先行研究では、健常歩行者の歩行時の加速度データ、角速度データを Deep Learning を用いて分析し、平地、段差、階段、急な坂の4種類のバリア情報を推定している。このため、先行研究で収集されるバリア情報にはバリアでないと判定されたデータも含まれている。先行研究で収集されるバリア情報は緯度、経度、バリアの種類を表すラベルの3つから構成されている。

5.2 可視化手法

我々が収集するバリア情報には緯度、経度を含む位置情報とバリアの種類2つの情報が含まれる。今回は、バリアが存在する座標とバリアが存在する尤度の2つの情報を地図上に可視化する。それぞれの手法において、可視化を行う前にデータ量を削減するために、収集されたバリア情報の緯度、経度を対象に凝集型階層的クラスタリングを行い、ward法によって求めたクラスタ間距離が一定の閾値以下で隣接しているクラスタを結合する。結合されたクラスタに所属するデータの平均座標をバリアが存在する座標とし、所属するデータのうちバリアと判定されているデータの割合をバリアが存在する尤度とする。

ドットマップではバリアが存在する座標に赤色の点をプロットすることでバリアの座標を可視化する。また、バリアが存在する尤度を可視化するために0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9の5つ閾値を設け、それら閾値より高い尤度を持つバリア情報のみを可視化した5つのバリアフリーマップを作成する。ドットマップでバリア情報を可視化した画像を図2に示す。

ヒートマップでは色を表示する位置でバリアが存在する座標を示し、色相変化でバリアが存在する尤度を示す。具体的には赤色、黄色、緑色、水色、青色の5色で表示され、赤色に近いほど尤度が高く、青色に近いほど尤度が低いこ

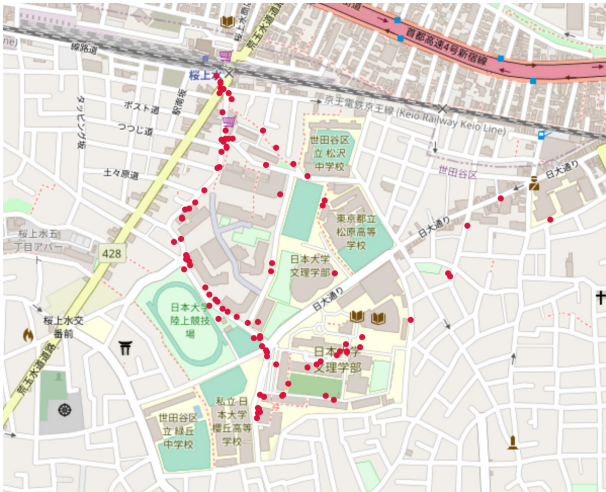


図 2 ドットマップでバリア情報を可視化したバリアフリーマップ



図 4 バブルマップでバリア情報を可視化したバリアフリーマップ

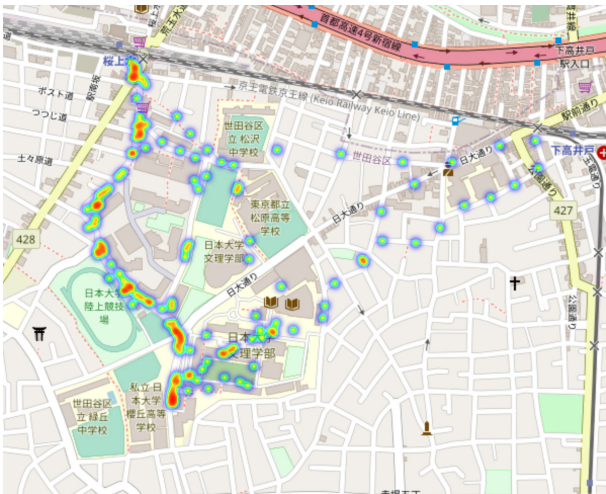


図 3 ヒートマップでバリア情報を可視化したバリアフリーマップ

とを示す。ヒートマップでバリア情報を可視化した画像を図 3 に示す。

バブルマップではバリアが存在する座標に円をプロットすることでバリアの座標を可視化し、円の大きさによってバリアが存在する尤度を可視化する。バブルマップでバリア情報を可視化した画像を図 4 に示す。

クラスターマップではバリアの存在する座標に点をプロットすることでバリアが存在する座標を可視化し、点の色でバリアが存在する尤度を可視化する。色は赤色に近いほどバリアの存在する尤度が高く、青色に近い程低くなる。クラスターマップでバリア情報を可視化した画像を図 5 に示す。

6. 実験

6.1 実験目的

今回の実験では、どの可視化手法が大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化できたのか、ユーザがバリアフリーマップを用いて移動経路を考案する作業を行った時の負担が軽減されたのかの 2 点を調査す

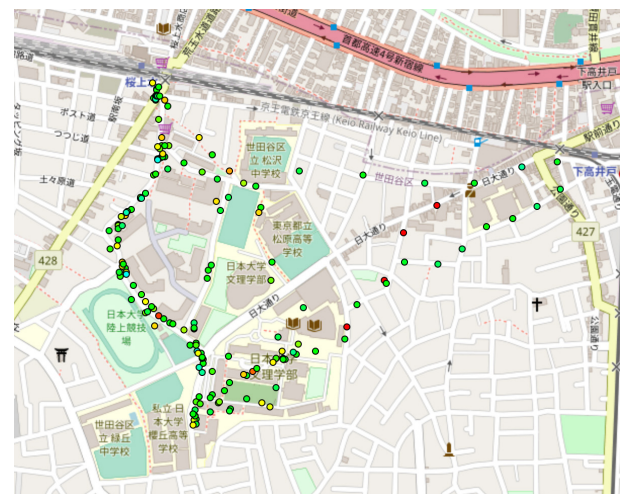


図 5 クラスターマップでバリア情報を可視化したバリアフリーマップ

る。具体的には、実験参加者に各手法で作成されたバリアフリーマップを用いて移動経路作成タスクを行ってもらい、アンケートによってバリア情報を直感的に把握できたのかを 7 段階のリッカート尺度で評価し、NASA-TLX を用いて主観的作業負荷の計測を行うことで作業を行った際の負担を評価する [15]。また、自由記述形式のアンケートを実施し、主観的な意見を収集した。

6.2 実験条件

実験参加者は 20 代の健常歩行者 10 名である。実験では、ドットマップ、ヒートマップ、バブルマップ、クラスターマップのそれぞれでバリア情報を可視化したバリアフリーマップを用いて実験参加者に 2 点間の移動経路を作成する作業を行ってもらい、その結果を比較する。実験参加者には「普段から車椅子を利用している友人のために移動経路を考える」というシーンを想定して移動経路の作成を行ってもらう。この際、順序効果を相殺するために、各手法の使用順はランダムで決定する。また、移動経路を作



図 6 実験で使った出発地点と目的地の組み合わせ

成する際の出発地点や目的地は、同じものを複数回採用すると最初に考えた移動経路を流用する可能性があるため、4種類を用意し使用順はランダムに決定する。4種類の出発地点と目的地は図6の通りである。

6.3 実験手順

Step1: 実験者はドットマップ、ヒートマップ、バブルマップ、クラスターマップの4手法を使用する順番をと移動経路を作成する際の出発地点と目的地の組み合わせをランダムに決定する。

Step2: 実験者は実験参加者に普段から車椅子を利用している友人のために移動経路を考えるというシーン設定を伝える。

Step3: 実験者はStep1で決定した順番に基づき、実験参加者にバリアフリーマップを提示する。

Step4: 実験者は実験参加者に提示したバリアフリーマップの説明をする。

Step5: 実験者はStep1で決定した順番に基づき、移動経路を作成する際の出発地点と目的地を実験参加者に提示する。

Step6: 実験参加者は提示された出発地点から目的地まで移動する移動経路を考案する。

Step7: 移動経路の考案が終わったら、実験参加者はアンケートに回答する

Step8: 4手法すべてにおいてStep3～Step7を行う

6.4 結果・考察

各手法ごとのバリアの情報を直感的に把握できたかについてのアンケート結果とNASA-TLXスコアをそれぞれ図7、図8に示す。

バリア情報を直感的に把握できたかどうかアンケートの結果に関しては、ドットマップ、ヒートマップで平均が同じ値になり、バブルマップ、クラスターマップは他より少し高いという結果になった。NASA-TLXのスコアに関して

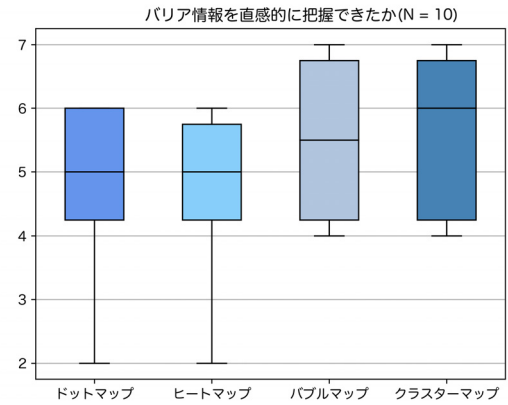


図 7 バリア情報を直感的に把握できたか (7:できた ~ 1:できなかった)

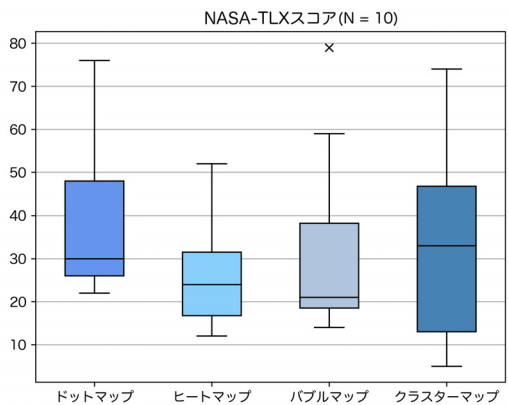


図 8 各手法別のNASA-TLXスコア (100:作業負荷が高い ~ 0:作業負荷が低い)

は、ヒートマップとバブルマップを用いた際の作業負荷が他の2手法より低いという結果になった。NASA-TLXスコアの結果に対してWilcoxonの順位和検定を実施したところ、ドットマップとヒートマップの間に10%水準で有意差を確認した。

以降、結果についての考察を述べる。ドットマップではバリア存在する位置が点で一つ一つ正確に表示されているため、情報を把握する際に負荷がかかったと考える。一方、ヒートマップではバリアの位置は正確に表示せず、曖昧に表示しているため把握する際の負荷が軽減されたと思われる。このため、バリアの位置を曖昧に表示することで、ユーザの移動経路作成作業時の負担を軽減できる可能性がある。しかし、バリアの存在する位置を正確に表示することはバリアフリーマップにとって重要であるため、どのくらいまで曖昧に表示して良いのかについては検討が必要である。

自由記述のアンケートでは、バリアの存在する位置について、全ての手法で分かりやすかったという意見がでた。ドットマップ、バブルマップ、クラスターマップではバリ

ア情報が点で表示されているため、正確な位置が分かりやすく、ヒートマップでは大まかな位置が分かりやすかったと考えられる。バリアが存在する尤度については色で表示しているヒートマップ、クラスターマップの2手法において、分かりやすいという意見がでた。反面、尤度を大ききで表現しているバブルマップでは円が大きいと正確な位置が分かりづらくなるという意見が出ており、円の大ききでバリアの尤度を可視化するアプローチは有効ではないと思われる。

7. おわりに

本稿では、大量のバリア情報をユーザが直感的に把握できるように可視化することで、ユーザの移動経路作成作業時の負荷を減少できるかを検証した。ドットマップ、ヒートマップ、バブルマップ、クラスターマップの4手法を用いて比較実験を行った結果、バリア情報を直感的に把握できたかどうかについては有意差が見られなかったものの、ヒートマップによる可視化はドットマップによる可視化よりも作業負荷が軽減されることが判明した。このことから、バリアの存在する位置を曖昧に表示することによってユーザの移動経路作成作業時の負荷を軽減できる可能性が示唆された。今後はバリアの存在する尤度だけでなくバリアの種類を可視化する手法やより大量のバリア情報を可視化した際の比較を行う予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H04160 の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] Akihiro Miyata and Kazuki Okugawa: A Comparative Study of Neural Network Structures for Detection of Accessibility Problems. *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol.25, No.3, pp.174-180 (2020).
- [2] 宮田章裕, 荒木伊織, 王統順, 鈴木天詩: 健常歩行者センサーデータを用いたバリア検出の基礎検討, *情報処理学会論文誌*, Vol.59, No.1, pp.22-32 (2018).
- [3] 荒井研一, 園田稔, 立石拓也, 一貫坂駿介, 小林透: 一般車椅子利用者からのセンサ情報を活用したオンデマンド型バリアフリー情報提供システム, *情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016)*, Vol.2016, pp.73-78 (2016).
- [4] 岩澤有祐, 矢入郁子: 多次元データ解析によるアクセシビリティ可視化システムの開発, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol.2014, No.4G, pp.1-4 (2014).
- [5] 三浦千里, 中島良太, 荒井研一, 小林透: バリアフリーストリートビューシステムにおける傾斜情報提供方式の提案, *情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS)*, Vol.9, No.1, pp.11-21 (2019).
- [6] 奥川和希, 大和佑輝, 大河原巧, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の基礎検討, *情報処理学会インタラクション 2020 論文集*, Vol.2020, pp.276-78 (2020).
- [7] 奥川和希, 大和佑輝, 大河原巧, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを利用したバリア情報可視化システムの実装, *情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2020)*, Vol.2020, pp.683-687 (2020).
- [8] Mobasheri, A., Deister, J. and Deiterich, H.: Wheelmap: the wheelchair accessibility crowdsourcing platform, *Open Geospatial Data, Software and Standards*, Vol.2, No.1, pp.1-7 (2017).
- [9] Cardonha, C., Gallo, D., Avegliano, O., Herrmann, R., Koch, F. and Borger, S.: A crowdsourcing platform for the construction of accessibility maps, *Proceedings of the 10th international cross-disciplinary conference on web accessibility*, pp. 1-4 (2013).
- [10] 織田友里子, 織田洋一, 佐藤耕介, 金井節子, 宗士淳, 大内宏友: 車いすプローブ情報「WheeLog!」を用いた新宿駅のアクセシビリティに関する評価手法の提案, *日本建築学会技術報告集*, Vol.25, No.60, pp.995-999 (2019).
- [11] 佐藤雄紀, 大寺亮: WiFi 屋内位置推定を用いた人の集合の可視化, *情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集*, Vol. 2015, No.1, pp.907-908 (2015).
- [12] Rizwan, M., Wan, W., and Gwiazdzinski, L.: Visualization, Spatiotemporal Patterns, and Directional Analysis of Urban Activities Using Geolocation Data Extracted from LBSN, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol.9, No.2, pp.137(2020).
- [13] 港区: 港区バリアフリーマップ, 港区 (オンライン), 入手先 <<http://www.city.minato.tokyo.jp/hofukukanri/kenko/fukushi/shogaisha/hibakusha/bf-townmap.html>> (参照 2020-10-16)
- [14] Kraus, M., Angerbauer, K., Buchmüller, J., Schweitzer, D., Keim, D. A., Sedlmair, M. and Fuchs, J.: Assessing 2D and 3D Heatmaps for Comparative Analysis: An Empirical Study, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1-14 (2020).
- [15] Haga, S. and Mizukami, N.: Japanese version of NASA task load index, *The Japanese journal of ergonomics*, Vol.32, No.2, pp.71-79 (1996).