

歩行状態に基づいた歩行者群の空間分布と時間変化の可視化

土田 夏実[†] 宮城 優里[†] 大西 正輝^{††} 伊藤 貴之[†]

[†] お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚2丁目1番1号

^{††} 産業技術総合研究所人工知能研究センター 〒305-8560 茨城県つくば市梅園1丁目1番1号

E-mail: [†]{g1620526,g1120538,itot}@is.ocha.ac.jp, ^{††}onishi@ni.aist.go.jp

あらまし カメラで計測された人の歩行データから人物の行動パターンや場所ごとの特徴を発見すると、交通、防災、マーケティングなど多様な目的への応用が可能となる。我々はこれまでに多数の歩行者の経路を要約して可視化する手法を提案してきたが、歩行者が急いでいるのか、ゆっくり歩いているのかといった歩行状態に着目した可視化には取り組んでいなかった。本稿では、複数のカメラで撮影された広範囲かつ長時間の膨大な歩行経路に対して、歩行状態を分類した上で可視化する手法を提案する。歩行速度に基づいて各歩行者の状態を分類し、これらの分布を可視化する。さらに時間別の歩行状態分布と歩行経路を同時に可視化することで、歩行状態の変化の様子を観察できるようにする。キーワード 可視化, 人流

1 はじめに

人の歩行は、GPS データや動画といった多様なデバイスで計測される。中でもカメラで撮影した動画による歩行経路の計測は、歩行者にデバイスを持たせる必要がなく、また行動を正確に記録できることから、今後の普及が有力視されている。この歩行データから、人物の行動パターンや場所ごとの歩行状態の特徴を、データ解析によって発見すると、交通計画やマーケティングなどの現場で、例えば混雑の原因究明や店舗の商品陳列の問題点発見といった用途での活用が可能である。

一方で、これらの情報を歩行データの解析で取得するには、長時間かつ広範囲の場所で記録された歩行データが必要となる。しかしこのようなデータは膨大な長さの動画として記録されており、これらの動画から有用な情報を直接発見する作業は非常に高難度かつ非効率的である。その一方で、現場の知識を活かして歩行データの解析ができる当事者には、必ずしも動画を長時間観察できる時間があるとは限らない、もしくは高度な分析手法を駆使できる専門家でないという可能性がある。解析の当事者となる幅広いユーザ層が、効率的に人流を観察できるようにする一手段として、歩行データから有用な知見を得られる特定の部分を抽出して可視化する技術が有効となる。

一方で歩行データの解析に際して、歩行経路を要約するだけでは歩行者の意図を十分に理解できない場合もある。特に、多様なタイプの歩行者が入り混じるような空間においては、各歩行者の歩行状態を考慮することも重要である。ここで歩行状態とは、例えば何かを見ながら歩いている、もしくは何かを探しながらゆっくり歩いている、あるいは目的の場所に向かってまっすぐ速く歩いている、といった状態を意味する。歩行データの可視化に関する従来の研究は、歩行経路のみを表現しているものが多く、歩行状態の表現には検討の余地がある。

我々はこれまでに、多数の歩行データを圧縮した後に、歩行経路を要約して可視化する手法 [1] を提案してきた。しかし我々

の従来研究では、歩行者が急いでいるのか、ゆっくり歩いているのか、といった歩行状態に着目した可視化には取り組んでいなかった。本稿では、RGB-D カメラを使用して取得した人の流れに関するデータを対象として、多数の人物の歩行データから歩行状態を分類した上で可視化する手法を提案する。現段階の我々の実装では、単純に歩行速度に基づいて歩行状態を分類する。そして、撮影範囲を分割してできる各エリアについて、通過した歩行者の人数を歩行状態別に集計する。このようなエリア別・歩行状態別の人数分布を、本稿では「歩行状態分布」と定義する。従来の可視化方法では、歩行経路を線描画で可視化しているが、線描画では静止状態の歩行者は点で表示されてしまうため、静止状態の歩行者の読み取りが困難となる。歩行状態分布に基づく可視化方法を用いることで、静止状態の歩行者を解析の際に考慮しやすくなる。さらに、時間別の歩行状態分布を同時に可視化することで、歩行状態がどのように変化するかを観察できるようにする。

本稿の構成は以下の通りである。2 節では関連研究について、3 節では提案手法について述べる。そして 4 節で本手法の可視化結果について、5 節で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2 関連研究

本節では、歩行データやその他の動線データ解析に関して、これまで提案されている可視化手法について紹介する。

人流可視化で最も多くみられる手法は、歩行経路を計測した空間を表示してその上に歩行経路（またはそれを表現する図形）を直接描画する手法である。一例として Yabushita ら [2] の可視化手法では、規定の経路が存在しない広場などの場所を対象として、通過人数の多い類似した歩行経路を束にして描画する。このような処理により、歩行者が自由に移動可能な場所で取得した多様な動線に対して、高い視認性を維持した可視化を実現している。しかしこのような経路描画型の手法では、静止状態

の人は線ではなく点で描画されてしまうため、静止状態に注目した可視化を実現することが難しい。

一方で、歩行経路を直接描画する以外にも多種多様な可視化手法が、歩行データに対して検討されてきた。松本ら [3] は、動線分析における 6 つの分析項目を、点、線、面を独自生成した 3 次元地図に描画することで、同時に可視化することを提案した。この手法は、同一時間で異なる場所の歩行状態の比較を容易にしている。Wang ら [4] は、都市部の人の流れの解析や移動時間推定のために、都市部全域のタクシーの出発点と到着点を繋いだ、地図と弦グラフの 2 種類を適用した可視化手法を提案した。この手法は地図上に大量の軌跡を描画する代わりに弦グラフを使用することで視認性を維持している。Liu ら [5] は、電車やエレベータの中などの移動できない空間に流入した人が、どのような分布で留まる傾向にあるのかを分析するために、ボロノイ図とヒートマップを組み合わせて、静止状態に特化した可視化手法を提案した。一方でこれらのような、歩行経路を集計して表現することに特化した可視化手法では、歩行経路そのものを描画していないため、詳細な歩行の様子を観察することが難しい。またこれらは全て、特定の時間帯の歩行のみを対象とした可視化手法であり、長時間にわたる歩行状態の時間変化を表現するものではない。以上により、上述の 3 つの手法を単独の可視化手法として扱うには限界があり、歩行経路や時間変化を表現する可視化手法と併せて利用することで、効果をもたらすことが考えられる。

以上の問題を解決するアプローチとして、複数の可視化画面を連携することで、歩行経路に関するデータを複合的な情報として可視化することが考えられる。複数の可視化画面を連携する可視化システムは Linked View と呼ばれ、可視化に関する多様なアプリケーションで既に適用されている。Guo ら [6] は、道路を走行する自動車等に限定して、車の動線を空間、時間、多次元の 3 視点で同時に可視化する手法を提案した。宮崎 [7] は、RFID によって取得した人の動線を、人の存在確率密度とベクトル場の 2 通りの手法で可視化する手法を提案した。この手法では歩行データを複数の視点から分析することが可能となっており、2 通りの可視化を重ね合わせることで同時に可視化を実現している。これらの手法は、複数の可視化画面を連動させた Linked View による可視化手法という点では本研究と共通している。一方で本研究では、自動車道路のような規定経路のない自由度の高い空間での歩行経路データを対象としている点で、上述の 2 つの手法とは異なる。

峯元ら [8] は、歩行状態を直行、経路探索、目的探索の 3 通りに分類し、線のタッチで直感的に歩行状態が伝わるような歩行経路の描画手法を提案した。この手法は線のみで歩行時の様子を表現しているため、直感性や可読性に長けた可視化手法であるが、静止したことを示す表現は十分であるとは言えない。これらの手法に対して本研究では、歩行者の移動や静止の両方の状態変化に着目した可視化手法を検討している。

一般ユーザを対象とした人流可視化のサービスも近年見られるようになった。一例として、東京急行電鉄株式会社が始めた「駅視-vision (エキシビジョン)」[9] というサービスがある。こ

れはホーム上や改札付近の混雑度をリアルタイムで表示する機能を持ち、「東急線アプリ」より配信されているシステムである。しかし、蓄積されたデータを解析する機能があるわけではなく、リアルタイムの人流を可視化することに特化している、という点で本研究とは目的が異なる。

3 歩行状態に基づいた人流可視化

本節では提案手法の処理手順について述べる。3.1 節ではカメラで取得できる歩行データの形式、3.2 節以降では歩行データの可視化について述べる。人流可視化の方法には大きく分けて 3 次元可視化と 2 次元可視化の 2 種類があるが、2 次元可視化は視点設定の必要がなく容易に利用できるため、本研究では 2 次元可視化を採用する。なお 3.1 節での処理は Miyagi ら [1] が報告した内容と同一である。

3.1 歩行データの取得

モーションキャプチャデバイス Xtion を用いて、次のような形式の歩行データを記録する。

- 時刻 t
- 歩行者の識別子 ID
- 座標値 (x, y)

Xtion ではミリ秒単位で歩行者の頭部座標と各時刻のフレーム情報を記録する。そのため時刻 t はミリ秒単位で保存される。歩行者の識別子 ID は各歩行者に割り当てられた固有の識別子である。歩行者は、カメラのフレームから外れた時点で別の歩行者とみなすため、同じ人物でも複数回歩行者として数えられる場合がある。頭部座標は 3 次元で取得可能だが、歩行中に高さの変化はないものとみなして、座標値は床平面上での位置を表す (x, y) の 2 次元座標系を使用する。

この歩行データを構成する各時刻のフレーム情報の集合から、同じ識別子を有する点を時系列順に連結することで、各歩行者の経路を 2 次元座標系で取得できる。

3.2 全エリアの歩行状態分布の可視化

続いて本手法では、測定した全エリアの歩行状態分布を可視化する。歩行速度に基づいて歩行状態を分類し、撮影範囲を分割してできる各エリアを通過した歩行者について歩行状態を集計して可視化している。

本手法ではまず、撮影範囲を図 1 の可視化マップに基づいて記号化して分割し、3.1 節で取得した 2 次元座標系を適用して、各エリアから上下左右方向へ移動した歩行者をそれぞれ分類し集計する。図 1 の例では全エリアを 24 分割しており、それぞれに上下左右の 4 方向への移動を仮定しているため、合計 96 種類の移動が存在することになる。ここで分割数の設定は、撮影領域の面積や形状、また可視化に用いるディスプレイの解像度などに依存する。我々は正方形に近い形状でかつ適切なサイズのエリアに撮影領域を分割することにした。4 節にて後述する歩行データでは、我々自身の試行錯誤により、図 1 のように 24 分割するのが適切であると考えた。多様な歩行データに対応するために、最適な分割数を自動設定することも今後検討し

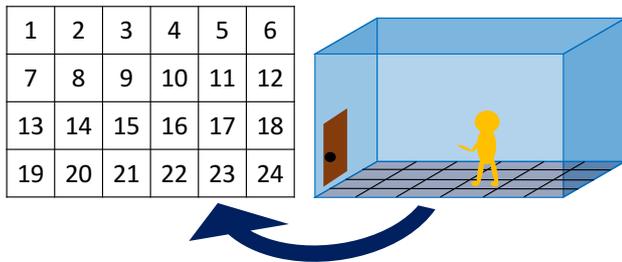


図1 可視化マップ

たい。また上下左右だけでなく斜め方向も含めた8方向に歩行移動を分類することも検討したが、現時点では4方向の実装となっている。8方向での実装に関しても今後検討したい。

また、現時点での実装では歩行状態を単純に歩行速度から分類している。具体的には以下の処理を適用している。

- (1) 各エリアでの各歩行者の秒速を計算
- (2) 1秒前と同エリアにいる場合に平均秒速を計算し、異なるエリアに移動するまで続行
- (3) 秒速を4段階に分類し、歩行状態値として定義

(2)に関して、1秒単位で毎回異なるエリアにいる場合は、それぞれのエリアを移動した秒速と向きをそれぞれ計算する。(3)に関して、4段階の歩行状態値は「静止・ゆっくり歩く・普通に歩く・速く歩く」といった状態を示している。なお、歩行状態値算出の閾値などの設定については、佐々木ら[10]の研究を参考にした。また本手法では、歩行状態値の各々に対して、表1に示すカラーマップを適用して色を割り当てる。具体的には、歩行速度が低速である人を赤や黄、高速である人を緑や青で表す。

続いて各描画空間の各歩行状態値の人数を集計する。本手法により、4種類に分類された歩行状態の歩行者数が各エリアの方向でどの程度いるかを可視化できる。

表1 歩行状態値と色の関係

色	歩行状態値	秒速 [m/s]
赤	1	~ 0.1
黄	2	0.1 ~ 0.45
緑	3	0.45 ~ 0.75
青	4	0.75 ~

全エリアの歩行状態分布の可視化を行うと、24エリアそれぞれの中心に灰色の四角形が配置され、その四角形の上下左右方向に4色の帯グラフが描かれる。この各方向の帯グラフは歩行状態値に割り当てられた色で描画され、帯グラフの大きさが各歩行状態の人数を示している。

3.3 全エリアにおける歩行状態の時間変化の可視化

本手法では、前節で説明したエリア別の可視化に加えて、全エリアの歩行状態別人数の時間変化を積み上げ折れ線グラフとして可視化する。この可視化では図1の全てのエリアを対象として、各時間帯(現時点での実装では1分単位)の歩行状態別人数を集計して表示する。なお人数の集計は、3.1節で計測した

歩行データにおける歩行者の識別子IDに基づいており、同一人物に複数のIDが割り当てられる場合があることから、総参加者数よりも集計した人数の総計の方が大きくなる。色の割り当ては3.2節の可視化処理と同様に、表1に示したカラーマップを用いる。

3.4 選択エリア通過後の歩行経路の可視化

本手法では、ユーザが選択した特定のエリアを通過した歩行者を対象として、エリアを連結する線分でその歩行経路を可視化する。各エリア(図1の例では合計24か所)を通過する歩行経路をエリアごとのファイルにあらかじめ記録しておき、本機能を適用する際に選択エリアに対応するファイルを読み込む。例として、24エリアに分割した場合は、24のファイルを作成し、選択エリアに合わせて異なるファイルを読み込むため、24通りの描画結果が得られる。それぞれの歩行経路は、要約するのではなく個別の折れ線で表現する。なお可視化結果の複雑化を避けるため、移動方向の違いについては描画時に区別していない。

3.5 選択エリアにおける歩行状態の時間変化の可視化

本手法では、3.4節と併せて、ユーザが選択した特定のエリアにおける歩行状態の時間変化を、積み上げ折れ線グラフとして可視化する。各エリア(図1の例では合計24か所)について単純に歩行状態別の人数比の変化を集計している。集計に際して移動方向は考慮していない。色の割り当ては3.2節の可視化処理と同様に、表1に示したカラーマップを用いる。

4 可視化結果

4.1 実験設定

提案手法を用いて、2017年に開催された合同研究会のポスター発表会場で取得した歩行データを可視化した。データを計測した会場の間取りを図2に示す。赤丸はXtionの設置位置を表す。この会場では部屋の壁の両側(図の上下端)にポスターが貼られ、中央部分が通路となっていた。合同研究会でのポスターセッションは、発表者が各セッション8名ずつで、1時間ずつの合計5セッションが実施された。総参加人数は40名で、合同研究会実施中の5時間の間は、停止することなく歩行データを記録し続けた。我々は5時間のデータを1時間ずつ分割してファイルに保存し、可視化の作業を進めた。本節ではその中から特定の時間帯の可視化結果を示す。

4.2 可視化結果

3.2節と3.3節の手法を適用して、全エリアの歩行状態分布と時間変化を可視化した例を、図3に示す。図3(左)が全エリアの歩行状態の空間分布を表し、図3(右)が全エリアの歩行状態分布の時間変化を表す。配色には表1に示したカラーマップを採用しており、配色された描画面積が大きいほど通過人数が多いことを表す。

まず図3(左)と(右)の両方からは、全体的に歩行速度が遅いことが読み取れる。これは、空間に対して多くの人が参加し

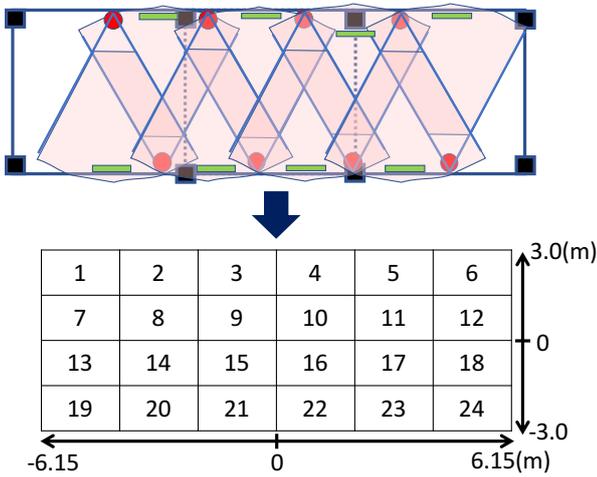


図2 ポスター発表会場の可視化マップ

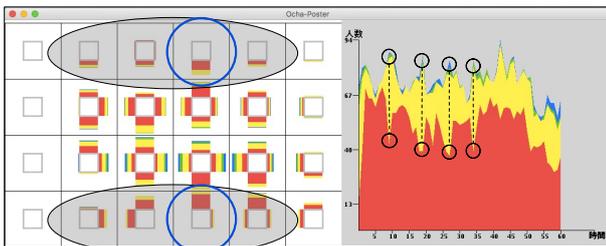
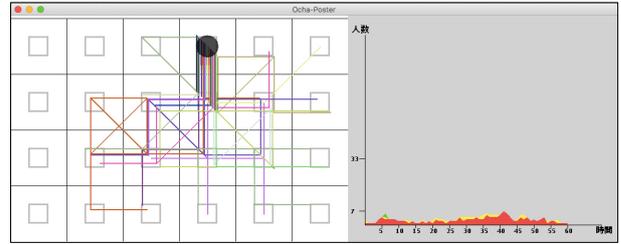


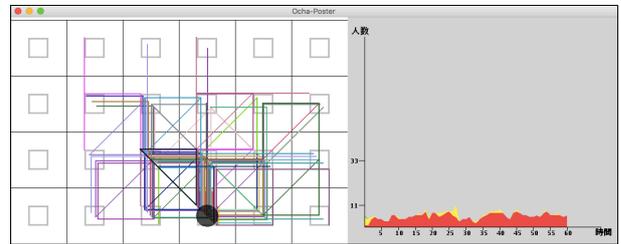
図3 全エリアの歩行状態分布の可視化

たことから、人のすれ違いが難しいような狭い空間でポスターセッションを実施することになったためと考えられる。そして図3(左)からは、壁側ではポスターを聞いている人が多いことから、ほぼ全ての人が静止している。それに対して中央の通路では、比較的速いスピードで歩行している人が多いことが読み取れるだけでなく、4方向に分類して可視化したことで、速度だけではなく移動方向も直感的に読み取ることが可能である。それに加えて、配色図形の大小の変化を観察することで、ポスター位置によって滞在人数が異なることがわかる。例えば図3(左)の灰色の円で囲んだエリアにおいて、上段よりも下段の方が、赤の面積が大きいことから多くの人立ち止まっていることが読み取れる。これは、図3(左)の右下に出入り口があったために、下段の方がポスター発表を見る人が多かったからだと考えられる。また図3(右)からは、黒丸で示した部分で、歩行状態が大きく変化していることがわかる。具体的には、赤の人数が減り、黄～青の人数が増加するという状態が、約5分おきに発生している。ここから、ポスターの説明が終わって多くの人別のポスターに移動する、という事象が約5分おきに発生していることが示唆される。

続いて3.4節、3.5節の手法を適用して、特定のエリアを選択し、歩行状態の時間変化と歩行経路を同時に可視化した。図4に可視化結果の例を示す。図4(右)の積み上げ折れ線グラフが、選択エリアの時間変化による歩行状態の変化を表し、図4(左)に描画された多数の折れ線が、選択エリアを通過した後の歩行者の経路を表す。この結果により、歩行状態の比率が時



(a) エリア4を選択



(b) エリア22を選択

図4 選択エリアにおける歩行状態の時間変化と歩行経路の同時可視化

間によって変化していることがわかる。時間変化における歩行状態の変化と歩行経路を同時に可視化したことで、選択エリアを通過した歩行者の経路と人数の時間変化を比較できる。

図4(a)および図4(b)に示す可視化結果は、図3の灰色の円で囲まれたエリアのうちの、青色の丸で囲まれた上下1エリアずつを、選択した結果である。図4(a)は、上段の青丸(図2のエリア4)を選択した時で、図3(b)は下段の青丸(図2のエリア22)を選択した時の結果である。

図3にて可視化された歩行状態分布では、青丸のエリアはほぼ同様であるように見えるが、図4で歩行経路を観察すると大きな違いがあることがわかる。具体的には、図4(a)のエリア4を通過した歩行者は、下方向に移動する人が多くいるのに対し、図4(b)ではエリア22を通過した歩行者は、上方向だけでなく横方向に移動する人も多いため読み取れる。このような歩行者の詳細な動きは、歩行経路を描画しないと読み取ることができない。また図4(右)の積み上げ折れ線グラフからは、図4(左)からも読み取れるように、図4(b)の方が通過人数が多いことがわかる。

4.3 今後の課題

ここまでの可視化結果から、以下の4点が課題としてあげられる。

1 点目に、歩行経路の描画デザインを検討する必要がある。多数の歩行経路を表す折れ線が重なり合って視認性を下げを防ぐために、現時点での実装では、折れ線の各々にランダムに色を与え、また折れ線の各頂点を各エリアの中でランダムに移動させている。しかし、この方法では表示結果にゆらぎが生じるという問題がある。解決にあたって、今後は歩行経路の線描画の方法として峯元らの方法[8]を参考に予定である。

2 点目に、描画する歩行経路の量を調節する必要がある。現在の歩行経路描画は、歩行データとして格納されている経路を全て描画しているため、線の重なりが多くなり視認性の低下に

つながっていることから、含まれている経路の全描画を避ける必要がある。解決のための一手段として、歩行経路群をクラスタリングし、特徴的な歩行経路クラスタのみを表示する機能を追加することが考えられる。

3点目に、各エリアの分割の数について検討する必要がある。人流の分析において、歩行者の移動方向は上下左右だけでなく斜め方向も加えた8方向に分類することが多い。現在の実装では斜め隣のエリアへの移動を集計結果から削除しているが、エリア選択時の歩行経路は斜め方向も含めて可視化している。歩行経路の可視化結果から、斜め隣のエリアへ直接移動する歩行者もいることが確認できている。よって、全エリアを対象とした歩行状態の集計結果の可視化においても、斜め方向を加えた8方向に対して人数を集計した上で可視化する必要があると考える。

4点目に、本研究の目的としている長時間の歩行データへの対応を進める必要がある。具体的には、まず長時間の歩行データを可視化した上で、細かく観察したい時間帯やエリアをユーザが発見して選択的に観察する、といった機能を搭載したい。

5 まとめと今後の課題

本稿では、複数のカメラで撮影された広範囲かつ長時間にわたる膨大な歩行データに対して、歩行状態を分類したのちに可視化する手法を提案した。歩行速度に基づいて歩行状態を分類し、撮影範囲の歩行者群について歩行状態分布を可視化している。さらに歩行状態の時間変化と歩行経路を同時に可視化することで、歩行状態の変化の様子を観察できるようにした。

本手法を用いた可視化によって、全エリアの歩行状態分布から、歩行状態の全体観を読み取ることが可能となった。歩行経路のみでは表現することのできない静止の歩行者も含めると、どのエリアで急いでいる人が多く、反対に止まっている人が多いのかを表現できたことで、各エリアでどの向きにどのような歩行状態の人が多いのかを読み取ることができた。また、選択エリアの歩行状態分布の時間変化や歩行経路の可視化からは、同場所別時間における歩行状態の移り変わりを観察でき、全エリアの歩行状態分布からは読み取ることが難しい、各エリア通過後の歩行経路の様子を表現できた。

一方で、現在では歩行状態の分類のために歩行速度を利用しているが、的確に歩行状態を分類するには歩行速度のみでは不十分だと考える。ポスター発表会場を例にすると、ポスターを見て静止しているのか、閲覧者の談笑によって結果的に静止しているのか、といった点を判別することができない。歩行経路の座標値だけでは歩行分類には限界があるため、今後の課題として、動画像の詳細な解析を可視化することも検討したい。

文 献

- [1] Y. Miyagi, M. Onishi, C. Watanabe, T. Itoh, M. Takatsuka, "Classification and Visualization for Symbolic People Flow Data", *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 43, pp. 91–102, 2017.
- [2] H. Yabushita, T. Itoh, "Summarization and Visualization of Pedestrian Tracking Data", 15th International Conference on Information Visualisation (IV2011), pp. 537–542, 2011.
- [3] 松本, 中村, 白石, 高橋, "動線分析における分析項目の同時可視化", マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 2011 論文集 (DPSWS2011), pp. 63–69, 2011.
- [4] H. Wang, H. Huang, X. Ni, W. Zeng, "Revealing Spatial-Temporal Characteristics and Patterns of Urban Travel: A Large-Scale Analysis and Visualization Study with Taxi GPS Data", *International Journal of Geo-Information (ISPRS)*, pp. 257–278, 2019.
- [5] X. Liu, W. Song, L. Fu, H. Zhang, "Pedestrian inflow process under normal and special situation", *Proceeding of Pedestrian and Evacuation Dynamics 2016*, pp. 136–143, 2016.
- [6] H. Guo, Z. Wang, B. Yu, H. Zhao, X. Yuan, "TripVista: Triple Perspective Visual Trajectory Analytics and Its Application on Microscopic Traffic Data at a Road Intersection", 2011 IEEE Pacific Visualization Symposium, pp. 163–170, 2011.
- [7] 宮崎, "REID 技術を用いて取得したスーパーマーケット内の顧客動線の可視化", *日本建築学会技術報告集*, Vol. 18, pp. 1033–1037, 2012.
- [8] 峯元, 土肥, チョウ, 秋山, 小野, 渡邊, "人流観測に基づく駅周辺移動パターンのビジュアライズ手法の研究—個人単位人流データの活用検討 (2)—", *デザイン学研究*, Vol. 63, pp. 33–42, 2016.
- [9] 米司, 松原, 秋良, 飯田, 村上, 額賀, "駅構内カメラを用いた混雑度可視化技術", *情報処理学会デジタルプラクティス*, Vol. 8, No. 2, pp. 152–159, 2017.
- [10] 佐々木, 渡辺, "観覧空間における歩行速度の変化に関する研究", *人間・環境学会誌*, Vol. 6, No. 2, pp. 33, 2000.

[1] Y. Miyagi, M. Onishi, C. Watanabe, T. Itoh, M. Takatsuka, "Classification and Visualization for Symbolic People Flow Data", *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 43, pp. 91–102, 2017.

[2] H. Yabushita, T. Itoh, "Summarization and Visualization of