

歩行速度で分類した歩行者群の空間分布・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 人間文化創成科学研究科 〒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 〒135-0064 東京都江東区青海2丁目4番7号

E-mail: [†]{tsuchida.natsumi, itot}@is.ocha.ac.jp, ^{††}{miyagi.yuri@, onishi@ni.}aist.go.jp

あらまし 人の歩行情報は、動画像などの多様な媒体で記録されている。そして歩行情報から人物の行動パターンや場所ごとの特徴を発見することで、交通やマーケティングなど多様な目的への応用が可能となる。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情報に対し、歩行者の「歩行状態」を考慮した可視化手法を3種類提案する。1つ目は、撮影範囲を分割した各エリアに対する各歩行状態の歩行者群の空間分布を帯グラフで可視化する手法、2つ目は、各歩行状態の歩行者群が時間経過でどのように変化するかを積み上げ折れ線グラフで可視化する手法、3つ目は、特徴的な類似度の高い歩行経路を線描画で可視化する手法である。本研究において「歩行状態」とは、歩行速度によって分類した「ゆっくり歩いている」、「急いでいる」などの状態を指す。

キーワード 可視化, 人流, 歩行状態, 滞留

1 はじめに

人の歩行に関するデータは、GPS データや動画像といった多様なデバイスで計測される。この歩行データはデータ解析により、人物の行動パターンや場所ごとの歩行状態の特徴を発見できる。例えば交通計画やマーケティングなどの現場で、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、実際の現場で利用できるような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像として記録されており、これらの動画像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、必ずしも動画像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。データ解析の当事者となり得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。

そして歩行データの解析に際して、歩行経路の描画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の考慮が重要である。本研究において歩行状態とは、何かを見ながら、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、といった状態のことを指す。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。

そこで我々は、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3種類提案する。本研究では「歩行状態」を、前述の通り「ゆっくり歩いている」、「急いで速く歩いている」といった状態と定義する。その定義に従い、本研究での歩行状態の分類には歩行速度を用いた。提案手法の1つ目は、静止に着目した可視化である。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し、各歩行状態の空間分布を可視化している。このようなエリア別・歩行状態別の人数分布を、本稿では「歩行状態の空間分布」と定義する。そして歩行者の滞留状態を静止時間の長さで分類し、空間分布の可視化に重ねて可視化することで、静止している時間や人数、位置の関係を読み取ることが可能となっている。2つ目は、時間変化に着目した可視化である。時間別の歩行状態別の人数分布を同時に可視化し、歩行状態が時間帯によってどのように変化するかを観察できるようにした。3つ目は、特徴的な歩行経路を線描画で可視化する手法である。歩行経路をクラスタリングし、類似した歩行経路群を可視化した。そして、前述した空間分布の可視化において生成した各エリアを、通過した後の歩行経路の可視化も実装し、エリアごとの空間的な特徴の観察が可能となっている。また、我々が既に提案している手法[1]への追加機能として、2つ目の時間変化の可視化において、可視化する時間範囲の選択が可能になったことと、3つ目の特徴的な歩行において、クラスタリング手法を拡張したことについても報告する。これらの可視化システムを組み合わせると同時に可視化し、さらに各可視化画面を連携することで、歩行データを複合的な情報として読み取ることが可能となった。

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節で提案手法について、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 らが提案した可視化手法 [2] 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検討されてきた。Wang ら [3] 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つないで可視化する手法を提案した。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。Li ら [4] は、歩行軌跡の始点と終点の場所や記録された時間帯に着目してクラスタリングを適用し、類似軌跡と異常軌跡を検出する手法を提案した。この手法は、始点と終点の場所をエリアで分類したのち等高線を用いて可視化しているため、視認性が高い。Liu ら [5] は、電車やエレベーター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、ポ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。その他には、歩行者の密度と移動速度の関係性を分析する Jelić らの手法 [6] や、待ち行列幅と密度、不快感の関係性を分析する Adrian らの手法 [7]、無人航空機 (UAV) で記録された歩行データから非整備ルートを通過する歩行者の様子を分析する Smaczyński らの手法 [8]、大規模かつ高密度な GPS データから混雑箇所を発見できる Alia らの手法 [9] がある。これらの手法では、数段階の色を設定したカラーマップに沿って、歩行者の混雑度をヒートマップで可視化する手法を用いており、視認性が高いだけでなく直感的な認識が可能である。

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。そのため描画する線に特徴をつけることで、歩行状態を考慮して歩行経路を可視化する手法が多く提案されている。

Koshak ら [10] は、混雑状況にも適用可能な軌跡の流れ方の可視化手法を提案した。軌跡の流れ方の表現に、滑らかな線と角ばった線を使い分けることで、軌跡がスムーズに動いているのかゆっくり動いているのかを読み取れる。峯元ら [11] は、歩行状態を直行、経路探索、目的探索の 3 通りに分類し、線の描画デザイン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。これら 2 つ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、静止を示す表現は十分であるとは言えない。

以上より、歩行経路を集計して可視化する手法には、詳細な歩行の様子を観察することが難しいという課題がある。一方で、歩行経路を描画して可視化する手法には、静止状態を表現することが難しいといった課題がある。そのためこれらを単独の可視化手法として扱うには限界があり、空間分布、歩行経路、時間変化を表現する可視化手法など、さまざまな可視化手法を併せて利用することで、歩行者の移動や静止の両方の状態変化が観察でき、効率的な分析が可能な可視化手法となると考えられる。

可視化画面に、歩行経路の線描画だけでなく別の情報も表現している手法の例として、Nakamura らの可視化手法 [12] がある。人通りの多い駅の改札周辺の歩行者を対象として、1 画面に速度、軌跡、衝突回避位置、静止位置の 4 種類の情報を表現し、静止と衝突が発生する場所に一定の特徴があることを発見した。また、McArdle ら [13] は、1 画面に街を歩く歩行者の動きを 3 次元で可視化した。x,y 軸で位置を、z 軸で時間を表し、停止位置をハイライト表示することで、歩行者がどの順番でどこへ移動しているかや、複数人で固まって移動している人を分析できる手法を提案した。これらの手法は、1 つの可視化画面に複数の情報を表現しているため画面効率が良く、狭い範囲に多くの情報を表示できる。しかし膨大な量の項目を持つデータを表現する場合は、これらの手法では、視認性が低下するため有効な方法とは言えない。Blanke ら [14] は、街のイベントに参加した 29,000 人の歩行データから抽出した、歩行速度や方向、密度、場所との関係など多様な情報を、複数の画面を使って可視化する手法を提案した。この研究は、大規模で多様な情報を収集する方法や、イベント運営に役立つ分析方法の提案に成功している。しかし、単独の可視化画面をいくつも作成しているため、視点を何度も移動させてデータを観察する必要があることから、効率的な分析方法とは言えない。

以上の問題を解決する方法として、複数の可視化画面を連携することで、歩行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 [15] 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。森本ら [16] は、ショッピングモールでの歩行者の動きをマップ上に矢印で示した画面と、詳細なエリア移動を表で示した画面の 2 種類を組み合わせて可視化した。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。

3 歩行状態にもとづいた人流可視化の処理手順

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 節では記号化処理の

方法、3.3 節以降では可視化手法について述べる。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、本研究では視点設定の必要がなく容易に利用できる 2 次元可視化を採用する。

なお、3.1 節から 3.4 節での処理は、[1] で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
- 2 次元座標値 (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 次元座標値を使用する。

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 次元座標値で取得できる。

3.2 歩行データの記号化処理

続いて本節では、3.1 節で取得した歩行データを記号化する方法について説明する。なお、本節以降で提案する全ての手法は、時間帯ごとの比較ができるよう時刻で分割したそれぞれのデータに対して適用するものとする。

本手法では、3.1 節で取得した歩行者の位置を表す 2 次元座標値を、図 1 に示すような可視化マップにもとづいて分割し、1 文字に記号化する。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、図 1 のように 32 分割するのが適切であると考えた。この理由は 2 つある。第一に、本研究における可視化の描画デザインの構築には、正方形で分割するのが適切と考えたためである。第二に、人の歩幅より長い長さでエリアを分割する必要があると考えたためである。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たい。

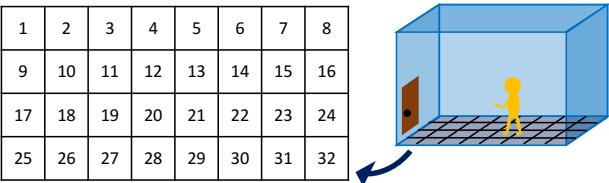


図 1 可視化マップ。

3.3 歩行状態の空間分布の可視化

本手法では、3.2 節に示す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、歩行状態を分類、集計して可視化する。本研究において歩行状態とは、急いで歩いている、ゆっくり歩いているといった様子と定義しているため、歩行速度にもとづいて歩行状態を分類した。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、歩行状態値に変換。
- (4) 移動前のエリア、移動後のエリア、移動の向き、歩行状態値を保存。
- (5) 各エリアにおける各歩行状態値の人数を算出。

(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際の秒速と向きを計算する。(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」といった状態を示す。なお、歩行状態値算出の閾値などの設定については、佐々木らの研究 [17] 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。(4) の移動の向きに関して、図 1 の例では全エリアを 32 分割しており、それぞれで上下左右斜めの合計 8 方向への移動を想定しているため、合計 256 種類の移動が存在することになる。そして (4) で保存したデータから、各移動方向における各歩行状態値の人数を (5) で算出する。

表 1 歩行状態値と色の関係。

Color	Walking States Values	Speed[m/s]
Red	1 (Stationary)	~ 0.1
Yellow	2 (Slow Walking)	0.1 ~ 0.45
Green	3 (Normal Walking)	0.45 ~ 0.75
Blue	4 (Fast Walking)	0.75 ~

続いて算出結果を可視化する。各エリア（本稿の事例では図 1 に示すように 32 個のエリア）の中心に灰色の正八角形が配置され、その正八角形の上下左右斜めの 8 方向に沿って 4 色の帯グラフが描かれる。例えば図 2 で表した帯グラフは、エリア 1 から右下方向のエリア 4 に移動した人の歩行状態分布が表現されている。各方向の帯グラフは表 1 に示す歩行状態値に割り当てられた色で描画され、帯グラフを構成する各領域の面積が各歩行状態の人数を示している。そのため帯グラフの描画面積が大きいほど、通過人数が多いことを示す。

3.4 滞留状態の可視化

本手法では、各エリアの滞留状態である人の数や、エリア内での静止時間の長さを可視化する。各エリアに一定時間静止している（＝滞留状態である）人数を静止時間の長さごとに集計し、3.3 節の可視化方法で描いた正八角形の中心に、静止時間とその位置の関係を表現する。描画方法は、一定時間静止している人の数に応じて透明度を設定した橙色で塗りつぶすことと、

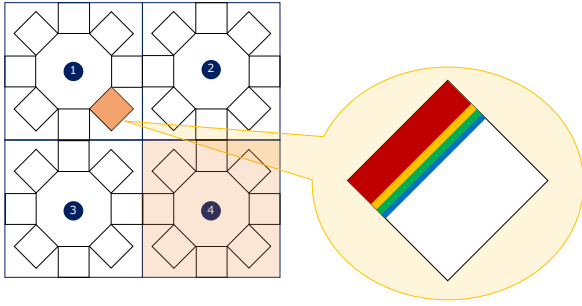


図2 歩行状態の空間分布の可視化.

人数を数字で表記することの2種類を採用した. なおこの機能で塗りつぶす「橙色」は, 表1の意味とは一致しない. 静止時間の長さに関する閾値を, ユーザインタフェース部品を集約したツールパネル上のスライダーで調整することにより, 静止時間の長さと人数や場所の関係を観察できる.

3.5 歩行状態の時間変化の可視化

本手法では3.3節での空間分布の可視化と併せて, 歩行状態別人数の時間変化を可視化する. 歩行データの2次元座標値とIDを時間ごと(現時点での実装では表示データの時間を60等分した単位)に分類し, それぞれの時間の歩行者ごとの歩行状態値を算出し, 各歩行状態の人数の時間変化の様子を積み上げ折れ線グラフで可視化した. またドラッグで時間範囲を選択すると, 3.3節の可視化手法と本手法が連動し, 選択範囲のみのデータを抽出して可視化する.

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にもとづいており, 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. 色の割り当ては表1に示したカラーマップを用いる.

3.6 各エリアの詳細情報の可視化

本手法では, 3.3節の可視化方法で描いた各エリアをクリックして選択した際に, 選択した特定のエリアを通過した歩行者を対象としたデータから2種類の可視化結果を表示する.

1つ目は, 3.5節の画面に選択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. そして3.5節の手法と同様に, ドラッグで時間範囲を選択すると, 選択範囲のみのデータを抽出して可視化する. 各エリア(図1の例では合計32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3.3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.

2つ目は, 選択エリアを通過した歩行者を対象として, その選択エリアを通過した後に辿った経路を可視化する. 3.3節で説明した画面上のエリアを線で連結することで歩行経路を表現する. 各エリア(図1の例では合計32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, 1つの時間帯のデータを32エリアに分割した場

合は32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, 32通りの描画結果が得られる. さらに, 前述した選択エリアの時間変化の可視化とも連動しており, 積み上げ折れ線グラフ上でドラッグをし時間範囲を選択すると, 選択された時間範囲に記録された歩行経路のみが描画される. 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. 歩行経路の色はランダムで表示するため, 表1の意味とは一致しない. 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.

3.7 歩行経路のクラスタリングの可視化

本手法では, 歩行経路群に対してクラスタリングを適用し, 類似度の高い特徴的な歩行経路を含むクラスタを可視化する. まずデータ量の圧縮のために, 3.2節で文字列に変換した歩行経路から静止状態を除く. すなわち, 本節の手法では静止状態の可視化を行わない. 3.3節や3.4節の可視化手法で十分に対応でき, また本節で使用する線描画手法では静止状態の表現が困難なためである.

続いてクラスタリングを適用し, 類似度の高い歩行経路群を生成する. 本研究では, クラスタリング手法にレーベンシュタイン距離を採用した. これは[18]で用いた距離計算手法と同様である. レーベンシュタイン距離とは, 2つの文字列がどの程度類似しているかを示す距離の一種である. 具体的には, ある記号列 S_1 と別の記号列 S_2 とのレーベンシュタイン距離を測る場合, S_1 に対して1文字の挿入, 削除, 置換の3種類の操作をそれぞれ何回行うことで S_2 に変換できるかを調べる. それぞれの操作を1回行う場合のコストを1として, S_1 を S_2 に変換し終わるまでのコストの合計を求め, 最もコストの低い方法を動的計画法にもとづいたアルゴリズムによって特定した結果のコストが, S_1 と S_2 のレーベンシュタイン距離となる. 変換が完了するまでに必要な操作の回数が少ないほど, S_1 と S_2 は類似した記号列とみなされる. このようにレーベンシュタイン距離はアルゴリズムが単純であり, 使用する歩行データに応じて条件設定を柔軟に変更できると考え採用した. 本手法でもレーベンシュタイン距離を以下のように拡張し, 類似度の算出を行う.

1. 挿入と削除の操作に重み付けをする.
2. 隣接する2文字の交換(転置)は操作に含めない.

まず1に関して, 置換のコストは1のままとして, 挿入と削除のコストに正の実数 w を加算する. 挿入と削除は置換と異なり文字数が増減するため, S_1 と S_2 の文字数が大きく異なるほど, 挿入または削除を多く適用する必要がある. そのため挿入と削除の操作コストに正の実数 w を加えると, 文字数の長さが異なる文字列ほどレーベンシュタイン距離の値が大きくなりやすい. 本研究において, S_k の長さは歩行者が何種類の領域を通過したかを表し, あまり移動しなかった歩行者と, 広い範囲を動き回った歩行者とでは, 歩行経路の類似性が異なる. そのため w を導入することで, あまり移動しなかった歩行経路と, 広い範囲を動き回った歩行経路では類似度が小さくなり, 分類しやすくなる.

続いて2に関して、レーベンシュタイン距離の拡張方法として採用されやすい、転置操作の追加は採用しなかった。転置とは1つの文字列内で隣接する2つの文字の順序を入れ替える操作である。例えば文字列“ab”を“ba”に変換する場合、転置を実装しない場合は、挿入、削除、変換のいずれかを使って少なくとも2回の操作が必要となるが、転置が可能であれば1回の操作で変換が完了する。本研究において、同じ文字を異なった順番で含む2つの文字列、つまり2つの歩行経路の通過点が同一で移動の向きが逆だった場合、それぞれ異なる意味を持つ行動として明確に区別するのが望ましいため、本手法では転置操作を採用しない。

続いてクラスタリング結果を可視化する。本手法では、可視化する類似度の高い歩行経路群として、歩行経路を多く含むクラスタを、多いものから複数個抽出し、3.3節で描いた空間分布の上に可視化する。ツールパネル上に「clustering group」というパネルを表示し、その上にあるスライダーを操作して調整することにより、クラスタを選択表示する。選択されたクラスタに含まれる歩行経路は、移動の向きを矢印で示した個別の線で描画し、要約せずに可視化している。歩行経路の色は所属するクラスタを表しているため、表1の意味とは一致しない。本手法により、特定の時間帯にどのような経路を通る歩行者が多いかを視認できる。

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3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間は、休憩時間以外は停止することなく歩行データを記録し続け、5時間分のデータを取得した。我々はその5時間のデータを全て保存したファイルと、1時間ずつ分割したファイルを利用して可視化の作業を進めた。

4.2 可視化結果

3.3節と3.5節の手法を適用して、5時間のデータで歩行状態の空間分布と時間変化を可視化した例を、図4に示す。図4中央部分(以下、「フロア可視化パネル」と表現)が歩行状態の空間分布を表し、図4右側(以下、「時系列可視化パネル」と表現)がその時間変化を表す。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。図4のフロア可視化パネルの上部と下部にある灰色の長方形はポスター発表会場のポスターの位置を表す。図4の時系列パネルに描画されているグラフの横軸の単位は分であり、300分を60等分した5分ごとのデータを表す。また図4左側は、本研究のユーザインタフェース部品を集約したツール

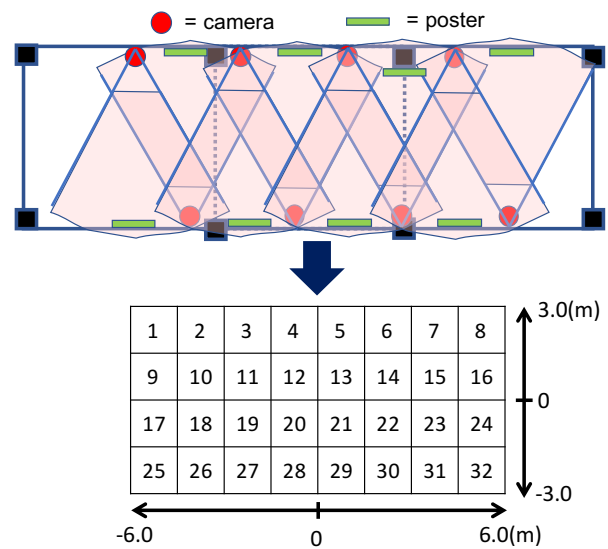


図3 ポスター発表会場の可視化マップ。

パネルであり、以下「ツールパネル」と表現する。

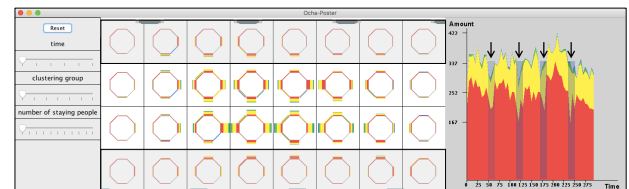


図4 5時間のデータでの歩行状態の空間分布と時間変化の可視化。

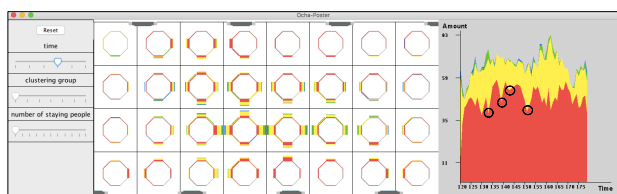
まず図4のフロア可視化パネルと時系列可視化パネルの両方からは、全体的に歩行速度が遅いことが読み取れる。これは、会場の広さに対して多くの人が参加したことから、人のすれ違いが難しいような狭い空間でポスターセッションを実施することになったためと考えられる。そして図4のフロア可視化パネルからは、壁側でポスターを聞いている人が多く、ほぼ全ての人が静止していることがわかる。それに対して中央の通路では、比較的速いスピードで歩行している人が多いことが読み取れる。加えて、8方向に分類したことで、移動方向も直感的に読み取ることでき、4方向の場合よりも可視化内容が正確になっている。さらに配色図形の大小の変化を観察することで、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4のフロア可視化パネルにある灰色の四角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、多くの人が立ち止まっていることが読み取れる。これは、図4のフロア可視化パネル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と考えられる。また図4の時系列パネルからは、矢印で示した部分で、人数が大きく減っていることがわかる。約60分おきに発生していることから、ポスターセッションの時間の区切れ目であると考えられる。

続いて3.3節と3.5節の手法を適用して、分割した1時間のデータで歩行状態の空間分布と時間変化を可視化した例を、図5に示す。図5(a)は、ツールパネルにある「time」パネルのスライダーを操作して、1番目にした際の可視化結果であり、図

5 (b) はスライダーを3番目にした際の可視化結果である。図5のフロア可視化パネルからは、時間帯による各歩行状態の歩行者群の違いを観察できる。特に壁側の人数が時間帯によって違うことから、ポスター発表の内容や配置によって分布が異なることが確認できる。図5の時系列可視化パネルにある黒丸で示した部分からは、6,7分に1回歩行状態が変化していることがわかる。ここから、ポスターの説明が終わって多くの人が別の場所へ移動する、という事象が約6分おきに発生していることが示唆される。



(a) 1時間目を選択.



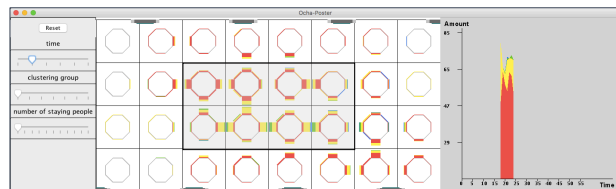
(b) 3時間目を選択.

図5 異なる時間帯での可視化の比較 (どちらも1時間分のデータ).

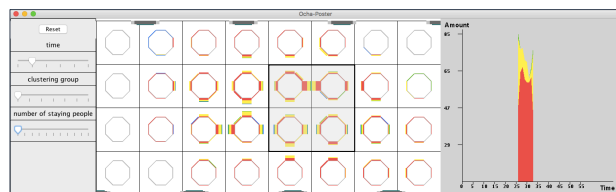
続いて3.5節で述べた手法を適用し、時間範囲を限定して可視化する。図5(a)の時系列可視化パネルにある黒丸で示した範囲を選択し、可視化した画面を図6に示す。図6(a)が、図5(a)の黒丸の1箇所目から2箇所目の範囲を選択した場合、図6(b)が、黒丸の2箇所目から3箇所目の範囲を選択した場合である。図6のフロア可視化パネルからは、同じセッション内の異なる時間の空間分布を比較できる。図6(a)と図6(b)の灰色の四角で囲んだエリアを比較すると、頻繁にエリアの移動が起きている場所が異なることがわかる。図6(a)よりも図6(b)の方が頻繁に移動のあるエリアが狭いため、滞在人数の多いポスターを特定できると考えられる。また現在の実装では、表示する時間帯ごとに帯グラフの縦軸の最大値を設定している。そのため、異なる時間帯の帯グラフの高さ同士では直接人数を比較できない。

続いて3.6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7に可視化結果の例を示す。図7の時系列可視化パネルにある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7のフロア可視化パネル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間によって変化していることがわかる。時間経過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いう空間的な変化と、人数の時間変化を観察できる。

図7(a)および図7(b)に示す可視化結果は、図5(a)の青



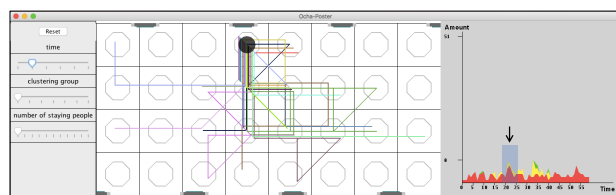
(a) 18~24分目を選択.



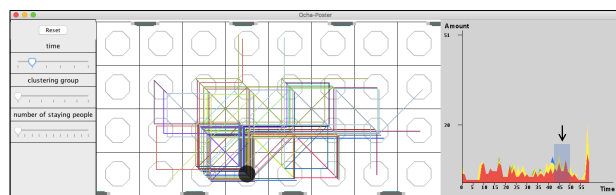
(b) 26~32分目を選択.

図6 同じセッションで異なる時間帯での可視化の比較.

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7(a)は、エリア4(図5(a)の上段の青丸)を選択した時で、図7(b)はエリア28(図5(a)の下段の青丸)を選択した時の結果である。図5(a)のフロア可視化パネルにて可視化された歩行状態の空間分布では、青丸のエリアはほぼ同様であるように見えるが、図7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7(a)のエリア4を通過した歩行者は、下方向に真っ直ぐ移動する人が多くいるのに対し、図7(b)のエリア28を通過した歩行者は、上方向に移動したのちに、横方向に移動する人が多いということを読み取ることができる。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7のフロア可視化パネルと時系列可視化パネルのいずれも、通過人数がより多いのはエリア28(図7(b))であるという結果を示している。さらに、図7の時系列可視化パネルにある矢印で示した部分からは、人数のピークの時間帯が異なることがわかる。図7(b)の58分付近をピークとしなかったのは、ポスターセッションが終了するタイミングであり、他の時間と同条件ではなかったと考えたためである。



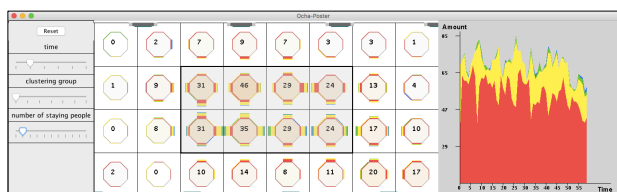
(a) エリア4を選択.



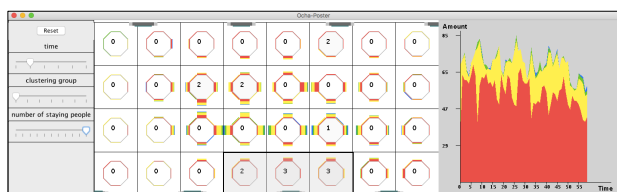
(b) エリア28を選択.

図7 エリア選択時における歩行状態の時間変化と歩行経路の可視化の比較.

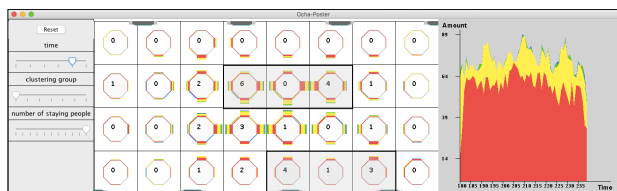
続いて3.4節の手法を適用して滞留状態を可視化し、静止時間と位置の関係を表現した。図8に可視化結果の例を示す。各エリアに一定時間静止している人の総数を、静止時間の長さごとに集計し、可視化した。3.3節の可視化方法で描いた正八角形の中心に、人数に応じて設定した透明度での塗りつぶしと、人数の数字表記により表現している。静止時間の長さはツールパネル上のスライダーで調整可能である。本事例では、30秒間以上静止した人数分布を、1分間刻みで集計して可視化した。図8(a)(b)は「time」スライダーを1時間目にした際の結果である。図8(a)は30~90秒間同じエリアで静止した人数の分布を表しており、図8(b)は570秒間以上同じエリアで静止した人数の分布を表している。図8(c)は「time」スライダーを4時間目にした際の結果で、570秒間以上同じエリアで静止した人数を表している。図8(a)(b)(c)のそれぞれに対して、四角で囲んだエリアが人数の多いエリアである。この結果から、短い静止時間の人は中央のエリアに多く、長い静止時間の人はポスターのある壁側に多いことがわかる。そして異なる時間帯を可視化した図8(b)と図8(c)を比較すると、図8(c)の方が長時間静止している人数が多いことがわかる。このことから、図8(c)の時間帯の方がポスターセッションでの議論が盛り上がっていることが示唆される。この可視化手法により、静止時間の長さと場所の関係を観察できたことで、静止時間の大小によって静止位置が異なるという知見を読み取ることができる。



(a) 30~90 秒間の静止 (1 時間目を選択)。



(b) 570 秒間以上の静止 (1 時間目を選択)。



(c) 570 秒間以上の静止 (4 時間目を選択)。

図8 滞留状態の可視化 (すべて1時間分のデータ)。

3.7節の手法を適用して、歩行経路のクラスタリング結果を可視化した。図9に可視化結果の例を示す。「clustering group」というパネルのスライダーを操作し、表示するクラスタを指定すると、クラスタごとに割り当てられた色で、類似した歩行経

路が図9のフロア可視化パネルに表示される。図9は、1時間目の歩行経路にクラスタリングを行った結果である。会場の中央から右端に向かう動線が1つのクラスタとして分類されているのは、前述の通りフロア可視化パネルの右側に入出口があり、人が集まりやすかったためと推測される。類似度の高い経路を表示しているため、3.6節に示した手法による歩行経路の可視化結果では読み取りにくい、歩行者による特徴的な移動を詳細に観察することができる。また図9は移動方向が右向きであるだけでなく、移動範囲が類似していることも観察できるため、クラスタリング手法の拡張による、移動方向や移動範囲を考慮した類似度計算の実現が示唆される。

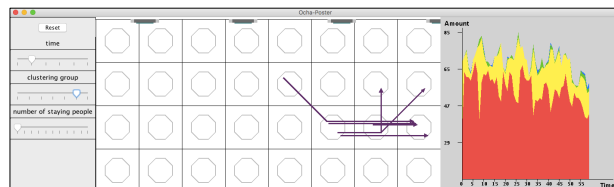


図9 歩行経路のクラスタリングの可視化 (1時間分のデータ)。

4.3 今後の課題

我々の以前の論文[1]では、観察可能な歩行データの細分化と、クラスタリング手法の拡張を課題としてあげていた。本稿ではこれらの課題に着手した成果を報告し、またここまでにした可視化結果から歩行データの分析内容を拡張できたことを論じた。さらなる課題として、以下の3点があげられる。

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。現時点での実装では、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のを防ぐために、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、この方法では同一データであっても毎回の表示結果にゆらぎが生じるという問題がある。解決手段として、同一のエリアを辿る経路の場合は歩行経路を個別に描画せず、要約して可視化することがあげられる。また峯元らの手法[11]のように、線描画における線自体のデザインを変更することも検討したい。

2点目に、クラスタリング手法のさらなる拡張を行う必要がある。現時点で、5時間分と1時間分の時間帯ごとのデータに対してクラスタリングを行っているが、さらに細分化することで、歩行経路に関するより詳細な特徴を読み取ることが可能になると考える。さらに現在の類似度計算には時間の要素を盛り込んでいないため、類似度計算に時間の要素を取り入れて正確性を向上させたい。

3点目に、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。

5 ま と め

我々は、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3種類提案し、3種類の提案手法の一部機能によって、以前に発表した[1]の手法を拡張した。

第一に、静止に着目した可視化手法を提案した。歩行速度にもとづいて歩行状態を分類し、撮影範囲の歩行者群についての歩行状態の空間分布を可視化した。歩行経路のみでは表現することのできない、各エリアの静止状態も含めた歩行状態の分布から、歩行状態の全体観を読み取ることができ、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や、各エリアでどの方向に移動する人が多いのかを読み取ることができた。そして歩行者の滞留情報の可視化を加え、静止している時間や人数、位置の関係の読み取りが可能となった。

第二に、時間変化に着目した可視化手法を提案した。時間帯別に各歩行状態についての人数分布を可視化し、歩行状態の変化の様子を観察できた。そして[1]への追加機能として、観察できる時間が選択可能となり細分化できたことで、より多くの事実を確認でき、時間帯ごとの比較が可能な可視化を実現できた。

第三に、特徴的な歩行に着目した可視化手法を提案した。歩行経路をクラスタリングし、類似した歩行経路群を可視化した。[1]の追加機能としては、歩行経路のクラスタリング手法を拡張したことで、移動方向と移動範囲を考慮した類似度計算が可能となった。そして、前述した空間分布の可視化において生成した各エリアを選択可能にし、選択したエリアを通過した後の歩行経路と、各歩行状態群の時間変化の可視化を同時に可視化した。同場所別時間における歩行状態の移り変わりに加えて、歩行状態の空間分布からは読み取ることが困難な各エリア通過後の歩行経路の様子を読み取ることができた。

またこれらの可視化システムを組み合わせると同時に可視化し、さらに各可視化画面を連携することで、歩行データを複合的な情報として読み取ることが可能となった。一度に全ての画面に重ねて表示するのではなく、各情報を分けて別の画面に可視化することで、詳細情報の過剰な描画による可視化結果の複雑化を回避でき、各エリアの特徴的な歩行経路や時間変化の様子を見比べて観察できた。

文 献

- [1] N. Tsuchida, Y. Miyagi, M. Onishi, T. Itoh, “Spatial and Temporal Visualization of Pedestrians Based on Walking and Retention States”, 可視化情報シンポジウム論文集, 2021.
- [2] H. Yabushita, T. Itoh, “Summarization and Visualization of Pedestrian Tracking Data”, 15th International Conference on Information Visualisation, pp. 537–542, 2011.
- [3] 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, pp. 257–278, 2019.
- [4] L. Li, C. Leckie, “Trajectory Pattern Identification and Anomaly Detection of Pedestrian Flows Based on Visual Clustering”, 9th International Conference on Intelligent Information Processing, pp. 121–

- 131, 2016.
- [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] A. Jelić, C. Appert-Rolland, S. Lemerrier, J. Pettré, “Properties of pedestrians walking in line: Fundamental diagrams”, Physical Review E, Vol. 63, Part 3, pp. 125–133, 2012.
- [7] J. Adrian, M. Boltes, S. Holl, A. Sieben, A. Seyfried, “Crowding and Queuing in Entrance Scenarios: Influence of Corridor Width in Front of Bottlenecks”, Proceedings from the 9th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp. 189–196, 2018.
- [8] M. Smaczyński, B. Medyńska-Gulij, L. Halik, “The Land Use Mapping Techniques (Including the Areas Used by Pedestrians) Based on Low-Level Aerial Imagery”, International Journal of Geo-Information, Vol. 9, pp. 754–769, 2020.
- [9] A. Alia, M. Maree, M. Chraïbi, “On the exploitation of GPS-based data for real-time visualisation of pedestrian dynamics in open environments”, Behaviour and Information Technology, pp. 1–15, 2021.
- [10] N. A. Koshak, A. Fouda, “Analyzing Pedestrian Movement in Mataf Using GPS and GIS to Support Space Redesign”, the Ninth International Conference on Design and Decision Support Systems, pp. 1–14, 2008.
- [11] 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.
- [12] K. Nakamura, H. Zhao, R. Shibasaki, K. Sakamoto, N. Suzukawa, “Visualizing Passenger Flow in Railway Station Using Laser Scanners”, Proceedings of the 9th Computers in Urban Planning and Urban Management Conference, pp. 220–231, 2005.
- [13] G. McArdle, U. Demšar, S. van der Spek, S. McLoone, “Classifying Pedestrian Movement Behaviour from GPS Trajectories using Visualisation and Clustering”, Annals of GIS, Vol. 20, No. 2, pp. 85–98, 2014.
- [14] U. Blanke, G. Tröster, T. Franke, P. Lukowicz, “Capturing crowd dynamics at large scale events using participatory GPS-localization”, 2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, pp. 1–7, 2014.
- [15] 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.
- [16] 森本, 辻本, 白浜, 上善, “Wi-Fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化”, 第7回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, F8–3, 2015.
- [17] 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.
- [18] 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.