

時間と滞留と向きに着目した歩行軌跡の可視化手法の検討

橘 優理子[†] 大西 正輝^{††}

[†] 京都産業大学コンピューター理工学部ネットワークメディア学科 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

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

E-mail: [†]g1544845@cc.kyoto-su.ac.jp, ^{††}onishi@ni.aist.go.jp

あらまし 人や車、飛行機など多様な移動軌跡のデータの理解に可視化は有効であり、その表現方法は多岐にわたる。本稿では介護施設内で取得した大量の歩行軌跡データを人がどのように動いているのかの理解が深められるように2次元空間上で可視化する。軌跡を可視化する際にどのような方法が適しているか、実際に可視化ツールを作成して調査する。時間や速度といった要素の組み合わせと、使用に適した色域や輝度の幅を明らかにし、滞留しやすい場所や人の流れの向き、時間による軌跡の移り変わりといった歩行軌跡の特徴を提示するのに最適な組み合わせを提案する。
キーワード 可視化, 歩行軌跡, 介護施設

1 はじめに

技術の進歩により GPS やカメラなど様々なデバイスを用いて移動軌跡のデータが取得可能になり、移動軌跡の分析の必要性が高まっている。軌跡の分析には可視化が有効であり、人の行動パターンや車の渋滞情報、旅行者の移り変わりなどを読み取るための可視化手法がこれまでも数多く研究されてきた。主要なものとして、画面が煩雑にならないようクラスタリングすることや、軌跡の単純化を行うことで可視化画面での情報量をコントロールする手法などがあげられる。これらの手法は通る地点が決まっていたり、軌跡の開始地点と終了地点が決まっている軌跡での全体的な流動の可視化には有効である。しかし、軌跡の特徴を可視化する際には情報を削り取ってしまう可能性がある点で不適と言える。例として介護施設内で起きた徘徊の軌跡がみたいときに軌跡の単純化やクラスタリングを行った場合、徘徊の軌跡は数が少ないため、省略または統合されてしまう可能性が高い。ほかにも可視化手法の一つに、軌跡を形状やサイズ、面積といった要素を用いて、空間的・時間的な特性や変化を表すものがあるが、大量のデータを表示する際には線の形やサイズといった特徴は見分けにくいと有効とは言えない。そこで今回、可視化を行うにあたって大量の移動軌跡のデータを省略することなくそのまま表示することに重点を置き、色と輝度情報をどのように変化させることで見やすくできるのかを調査する。どのような要素を組み合わせでどのような情報が表現できるのかを調査した後、その要素の組み合わせを表現するにはどのような色域や輝度の幅を用いるべきかの検討を行う。

2 関連研究

軌跡データの可視化はコンピュータグラフィックス技術の進歩とともに複雑な情報を表示できるようになった。可視化には主に2種類あり、計測したデータをそのまま表示するものと、データを解析した結果を表示するものがあげられる。今回は前者のデータの表現方法に焦点を当て、2次元表現と3次元

表現との可視化の例について紹介する。

2次元空間上では位置情報を座標で、その他の情報を色や大きさ、形といった視覚変数で表現する事ができ、それを用いた可視化手法が多く存在する [1]。その中でも Perin ら [6] は9種類の軌跡表現を評価し、2次元上での軌跡可視化に関してのガイドラインを作成している。しかし線の太さや形状でのデータ表示は画面が煩雑になりやすいため大量のデータの可視化には不適である。峯元ら [5] は人の歩行パターンを分類し、各パターンごとに線の形状をかえて駅周辺の人の可視化を行っている。少数データではそれぞれの軌跡を確認でき有効といえるが大量のデータ表示時にはそれぞれの線の特徴が見えなくなりデータの理解が困難になる恐れがある。Scheepens ら [7] は複数の属性を持つ軌跡の密度マップをボリュームレンダリングによって表現を行っている。この手法もまた、大量のデータを表現する際に軌跡の線が太くなってしまいう傾向があり、画面が煩雑になる可能性がある。

一方で、3次元で表現する場合には、 $x-y$ の2次元に1次元の情報を付加することができる。単純に高さ方向の z 座標を付加することもあるが、3次元上での可視化手法の多くは z 座標を表示するのではなく別の要素の表現に使っているものが多い。例が最も多くみられるものは $x-y$ 軸で空間を、 z 軸で時間 t の情報表現を行うものである [2] [3] [4]。Pauquet ら [2] は時空間キューブを用いることで位置情報と時間情報をもった軌跡を表示している。1軌跡の位置情報と時間情報は読み取れるものの複数の軌跡の表示には向いていない他、3次元ビューに慣れていないとデータを正しく理解できない可能性がある。複数軌跡データの可視化では、岡田ら [3] は店舗内を分割し、ブロックごとの混雑を色で、時刻情報を z 軸で表すことで、1日の軌跡と混雑状況を提示している。この表現法では月ごとや週ごとといった大量のデータの可視化には向かず、またブロック内の細かい動線情報を得ることはできない。Demar ら [4] も同様に z 軸を時間軸に設定し、2つの平面次元で地理的な空間を表し、移動軌跡の表現を行っている。この手法は複数の船舶の移動の時空間密度を計算して時空間キューブとして表示してお

表 1: 使用 csv ファイルの中身

time	u	v	x	y	z
19:08:01:885	232	237	-0.41651	0.722169	0.367588
19:08:01:994	238	237	-0.37221	0.739048	0.367211
19:08:02:056	240	238	-0.35059	0.674654	0.359292
19:08:02:134	243	238	-0.32451	0.624965	0.357837

り、大量のデータ表示には向いているが軌跡を体積として集約してしまうため細かい軌跡の移り変わりは描写できていない。

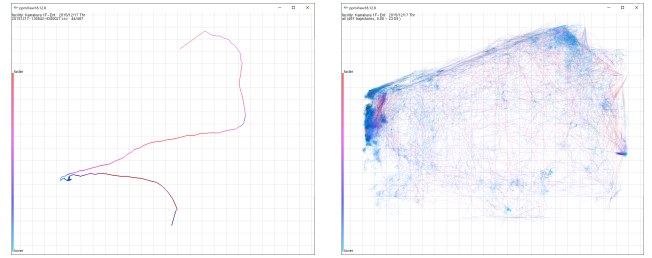
以上のようにデータ量の削減やクラスタリング、軌跡の簡潔化を踏まえての可視化や少量のデータの可視化は手法の検討は行われているが、2次元空間上で大量のデータをそのまま表示する際の表現は必ずしも明らかになっていない。本稿では大量のデータを軌跡の特徴を消さずに、主に時間、速さ、向きといった要素を色情報で表現する手法の検討を行う。

3 歩行軌跡可視化のための検討項目

人の軌跡データが持つ情報は主に誰なのか (who)、どこを歩いたものなのか (where)、いつ歩いたのか (when)、どう歩いたか (how) の4つの要素を持つ。データから抽出したこれら4つの要素を組み合わせで可視化することで、早朝に歩くことが多い場所や人が留まりやすい場所、人が入ってくることが多い場所といった特徴の理解を深めることができる。しかしどのような表示が大量のデータの可視化に適しているのかは明らかではない。そこで2次元平面上で大量の歩行軌跡をどのように可視化すると効果的にデータを理解できるのかを調査する。今回の可視化手法において大量の軌跡を見る際に1本1本の軌跡が誰のものなのかの判別は不必要であると仮定する。よって今回は $x-y$ 平面上に線でどこを歩いたのかという座標情報と、時間、速度、向きの情報を可視化する。可視化にあたって使用する表現方法は、煩雑になりやすい線の太さや形状という情報は使わず、色相と輝度の変更のみに限定する。まず時間、速さ、人の動きの向きの3つの要素の組み合わせからどういった情報が読み取れるか調査し、その後どの色域を使う表記が情報を読み取りやすいかを検討する。検討には作成した可視化ツールを用いて、介護施設内の歩行軌跡のデータを実際に可視化することで行う。

3.1 歩行軌跡の概要

介護施設内に設置された RGB-D カメラから取得した人の頭頂部の座標データを用いて検証する。RGB-D カメラからは、施設の玄関ドア前やエレベーター前といった人の出入りを俯瞰的に見ることができる場所に設置しており、RGB-D カメラに映る人物の頭部座標を抽出し移動軌跡が保存される。1軌跡につき1つの csv ファイルが作られており、1日に最大6000軌跡が保存される。csv ファイル内は表1のようになっており、時刻、画面内の $u-v$ 座標、頭部の $x-y-z$ 座標が記録されている。



(a) 1本の軌跡での表示

(b) 1日の全軌跡表示

図 1: 可視化ツール画面例

3.2 可視化ツールの概要

今回作成した可視化ツールは表現したい時間や速度、向きといった情報を色相と彩度で表す。使用データから $x-y$ 座標を取得し、点と点を線で結ぶことで軌跡の表示を行っている。また、軌跡表示は図1のように表現する。1本の軌跡のみの表示だけでなく1日の全軌跡を読み込み表示を行うことが可能である。C++とOpenGLを用いて開発した。色表現はHSL方式を採用し、可視化画面の左下のカラーバーから何の要素をどの色が表示しているのかが確認できる。

3.3 表示内容の検討

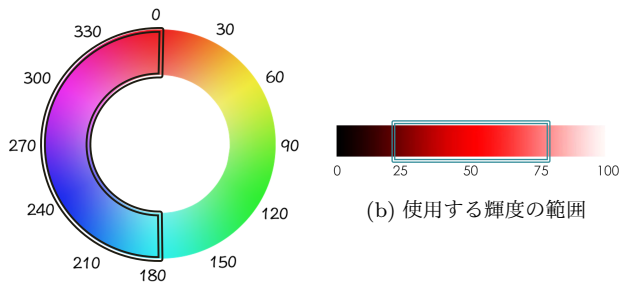
色、大きさ、形状、記号、面積、体積といった視覚情報を変化させることで時間的、空間的な変化や特徴を可視化することができる。今回はそのうちの色情報のみを変化させてどういった情報が可視化できるのかを検討する。色のもつ色相・彩度・輝度の3要素のうち色相と輝度の2つの表現を用いて、速度・時間情報・軌跡の向きという3つの情報を組み合わせで表現を行う。表2に組み合わせを示す。表示には、色の差を人が知覚しにくい緑の領域と色の輝度を知覚しにくい黄色の領域を除いた、図2(a)のHSLのカラーサークルの180~360の範囲の色、輝度は図2(b)の25~75の範囲を使用する[8]。

3.4 表示色の検討

次に、表示に適してる組み合わせをどの色で表示すると有効なのかを調査する。ここでも前項同様、図2で示している、カ

表 2: 表示要素の組み合わせと表記内容

色相	輝度	
時刻	速さ	時刻が遅くなっていくごとに色相を変化 速度が遅くなっていくごとに輝度を減少
	向き	時刻が遅くなっていくごとに色相を変化 軌跡開始地点から終了地点にかけて輝度を減少
速さ	時刻	速度が早くなっていくごとに色相を変化 時刻が遅くなっていくごとに輝度を減少
	向き	速度が早くなっていくごとに色相を変化 軌跡開始地点から終了地点にかけて輝度を減少
向き	時刻	軌跡の開始地点から終了地点にかけて色相を変化 時刻が遅くなっていくごとに輝度を減少
	速さ	軌跡の開始地点から終了地点にかけて色相を変化 速度が遅くなっていくごとに輝度を減少



(a) 使用する色相の範囲

(b) 使用する輝度の範囲

図 2: 使用する色相と輝度の範囲

レーザーの 180°～360° の範囲内、輝度は 25～75 で適している色域の探索を行う。色の範囲は 180°～240°, 180°～300°, 180°～360° の 3 段階、輝度の表現も 25～50, 50～75, 25～75 の 3 段階に変化させてよりデータ内容を伝えやすい組み合わせを探す。色の使用範囲の理由として、カラーサークルは 60° ごとに RGB のうちのいずれか 1 要素が 0～255 まで変化しているためである。色の変化が明確にわかる 60° ごとに、3 段階の色の変動を用いる。輝度は色味がわかる暗さと明るさの範囲の中で、暗い色から通常色、通常色から明るい色という 2 種類と、暗い色から明るい色という 3 つの輝度の移り変わりがある 1 種類との全 3 種可視化し、比較評価する。

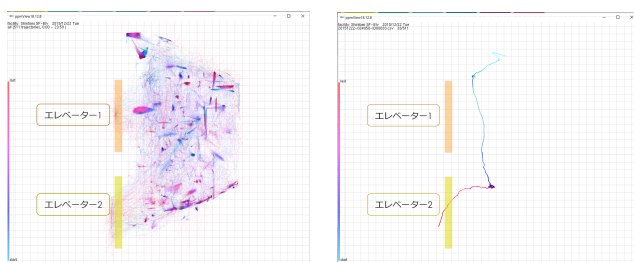
4 検 証

前章での検討内容を可視化ツールを用いて可視化する。図 3 が今回使用する施設データを可視化したものである。図 3 にある動線がある部分から大まかな建物内部の形を読み取ることができる。図中でも示している通り左に 2 つの凸部分があるのはその位置にエレベーターが 2 基あるためである。図 3 にはエレベーターの位置を重ねて表示している。

4.1 表示内容の可視化実験

速度・時間情報・軌跡の向きという 3 つの情報と色相・輝度という 2 種類の表現要素を組み合わせることで 6 通りの可視化を行った結果を図 4 に示す。

(a) に色相で時間を、輝度で人の移動移動した向きを可視化した。画面左側にある 2 つの凸部分がエレベーターの乗り口を表している。(a) からはこの凸のうち上部のものより下部のほう



(a) エレベーター位置

(b) 1 本の軌跡とエレベーター位置

図 3: 施設内の可視化例

うが色が黒っぽくなっていることから 2 のエレベーターに乗る人のほうが多く、また赤紫から青にかけての色が強い午後からの通行量のほうが多いことがわかる。

(b) に色相で速さ表示を行い、輝度で向きを表した。どちらのエレベーターも早足で利用する人が多く、エレベーターの真ん中付近に速度の遅い軌跡が集まっていることから台車を引いた人などの軌跡が可視化できているものと思われる。また、2 のエレベータードアがある付近が暗く、画面上部は色が明るいことから画面上部から 2 のエレベーターを利用する人が多いことが読み取れる。

(c) に色相で人の流れ向き表示を行い、輝度で速さを表示した。画面上部はシアンの色が強く、2 のエレベーター付近に赤みの強い軌跡が多いことから画面上部から下へと人の流れが多く起こっていることがわかる。また、エレベーター前の滞留が青っぽいことから軌跡の途中で立ち止まっている事が多いことが伺える。そのほかには、滞留していると思われる輝度の低い地点の色が、軌跡の中間点を表す青から軌跡終了地点を表す赤にかけての色が多く、滞留の多くが軌跡の後半で行われていることが分かる。

(d) に色相で時間を、輝度で速さを表示した。真ん中付近の人の滞留の様子が伺える。また、青色の軌跡が固まっている部分が暗くなっており、17 時以降の人の滞留がエレベーター前で多く起きていることがわかる。

(e) に輝度で時刻表現しており、何時頃の軌跡なのかの判別は難しい。真ん中付近が色濃く表示されているため夕方の軌跡であること、上のエレベーター口付近の色が明るいことから午前中に比較的良好に使われているなどの大まかな様子のみ理解できる。

(f) に色相で人の流れ向き表示を行い、輝度で時間情報を表示した。真ん中付近の滞留地点が暗い色が多いため午後以降のものだと考えられる。

以上の可視化結果を見比べると (a)(b)(c)(d) の組み合わせが適していると考えられる。

4.2 表示色の可視化実験

前項で可視化した (a)～(d) の組み合わせで使用する色と輝度の有効範囲を調査する。180°～240° は R:0、B:255 を固定し G を 255 から 0 に減少させるシアンから青への色域である。この 60° の色域では、速さと向きの 2 つが表現可能だが、時間の表現は表しきれておらず不適と言える。また、25～50, 50～75 の輝度の変化では全体的に暗く見えたり明るく見えたりしてしまうため、注目したい点が目立たない。25～75 の範囲では輝度表現の差が広がり、滞留地点や向きがはっきりと表せるため適していると言える。180°～300° のシアンからマゼンタの色域では早いところや遅いところ、入ってきた場所や出ていった場所がより目立つようになり、適した表示と言える。反対に時刻の表現はこの色の幅では時刻を読み取ることが難しく十分とは言えない。輝度は前述の通り 25～75 の範囲のものがより軌跡の特徴を強調できるため適していると言える。シアンから青、青からマゼンタ、マゼンタから赤という 4 色の移り変わり

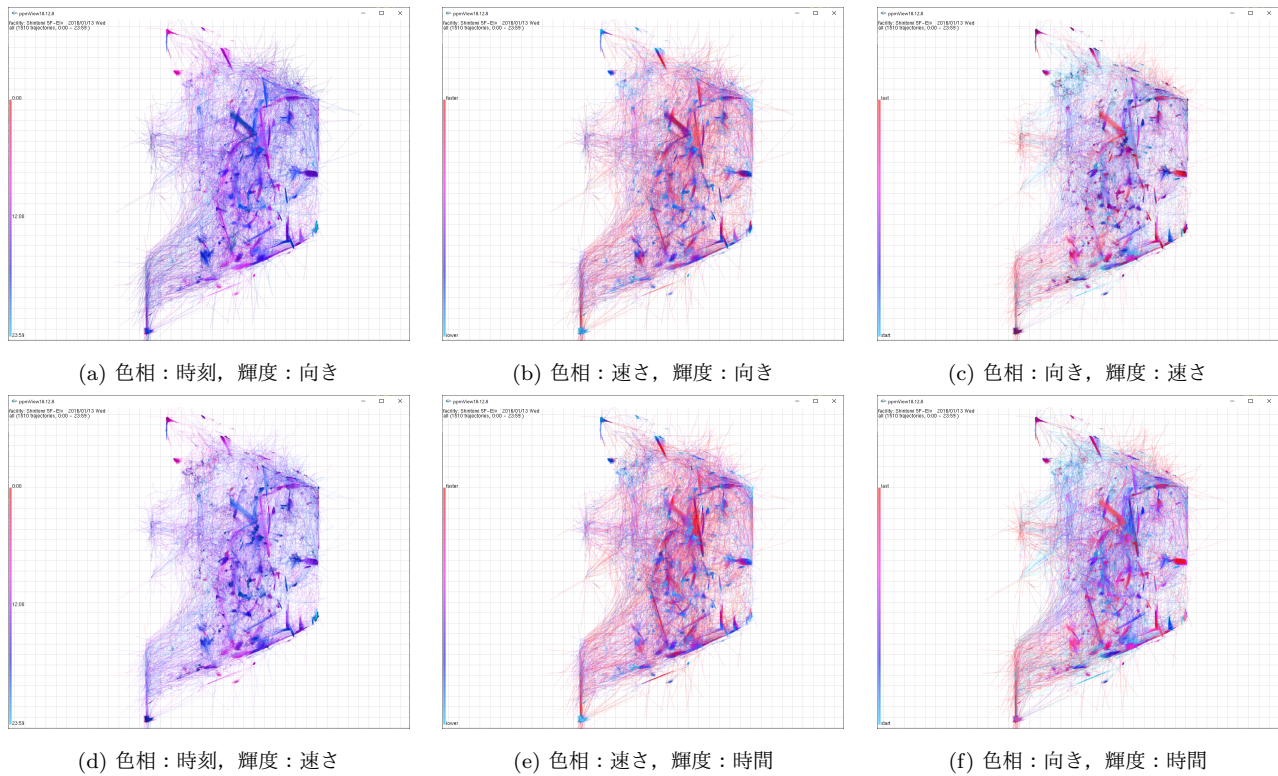


図 4: 表示要素の組み合わせ結果

が $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲の色である。これによって 4 色とその中間色である 3 色を使用することになる。この色の範囲では近い時間も色の差が大きくなり、細かな時刻表現も可能といえる。また向きでも同様にその軌跡中のどのタイミングで滞留したのかがより詳しくわかるため適しているといえる。

よって表 3 より、(a) の色相で時刻を、輝度で人の流れの向きを表示するには、 180° 以上の色域を用い、輝度は 25～75 の範囲を使用することが適していると分かる。表 4 より (b) の色相で速さを、輝度で向きを表示する場合は 120° 以上の色域を用い、25～75 の範囲の輝度を用いると、人の出入りの速度が分かりやすくなる。表 5 より (c) 色相で人の流れの向きを、輝度で

速さを表現する際は (b) 同様、 120° 以上の色域を用い、25～75 の範囲の輝度を用いると、滞留の情報が理解しやすい。表 6 より (d) 色相で時刻、輝度で速さを表示する時は 180° 以上の色域を用い、輝度は 25～75 の範囲を使用することが適している。

4.3 考察と今後の課題

実際にデータを可視化し、適切な要素の組み合わせと使用に適した色の範囲の検証を行った。適した要素の組み合わせと読み取れる内容は表 7 の通りとなる。

また要素の組み合わせごと、使用すべき色相と輝度の範囲は表 3～表 6 内の赤線で囲ってあるものが適切と分かった。2 重

表 3: 色相：時刻，輝度：向き

		色 相		
		180～240	180～300	180～360
輝度	25 ～ 50			
	50 ～ 75			
	25 ～ 75			

表 4: 色相：時刻，輝度：速さ

		色 相		
		180～240	180～300	180～360
輝度	25 ～ 50			
	50 ～ 75			
	25 ～ 75			

表 5: 色相 : 速さ, 輝度 : 向き

		色 相		
		180~240	180~300	180~360
輝度	25 ~ 50			
	50 ~ 75			
	25 ~ 75			

線で囲っているものは色相と輝度の範囲を過不足なく使い表現しているものである。時刻や軌跡の長さといった細かな表現変化必要とされる色相は、純色 3 色以上、中間色含め 5 色以上が必要であることが読み取れる。反対に、速度のような速いか遅いかの 2 種の情報は $60^{\circ} \sim 120^{\circ}$ の範囲で十分データ内容を表示できることがわかる。今回は HSL のカラーサークルを半周のみ使ったが、より広い範囲の色を使うことでさらに細かい情報を表現できると考える。その際には緑や黄色といった色差や純度弁別といった問題を考慮した色表現を使用する必要がある。またもう一つの要素である輝度は、明と暗を表現できる幅を使用することでより特徴を際立たせることができるとわかった。要素の組み合わせと適した色の範囲を示したが、軌跡をただ表示するだけでは限界がある。今後の課題としては歩行軌跡の特徴を消さないよう、表示データ量の削減を行うための手段を調査すること、また軌跡の特徴を消さずに可視化画面が煩雑にならないような表現方法の探索を行うことがあげられる。さらには軌跡の特徴を消すことなく可視化を行い、軌跡検出機能を追加実装し、徘徊未遂や不審な行動の軌跡の検出を行っていく予定である。

5 ま と め

本稿では大量の軌跡データをそのまま表示する際に色情報のみでデータの特徴を可視化する方法についての検討を行った。何時ごろの滞留かを見る際には時刻を色相で、速度を輝度で表現することでデータを見ることができる。また、滞留が軌跡中のどのタイミングで起こったのかを知るには向きを色相で、速さを輝度で表すことが有効とわかった。輝度や 2 色のみの変化では細かい表現ができないため時刻情報の表示は避けるべきである。輝度の使用範囲は通常色プラスマイナスの範囲を使うことでより明るさや暗さを表現できることがわかった。データの可視化表現の工夫のみでは限界があるため、表示データ量の調節方法の検討を行い、様々な軌跡データに適応できるよう改良を行うことが今後の課題である。

表 6: 色相 : 向き, 輝度 : 速さ

		色 相		
		180~240	180~300	180~360
輝度	25 ~ 50			
	50 ~ 75			
	25 ~ 75			

表 7: 表示要素の組み合わせ結果

色相	輝度	
時刻	速さ	何時頃にどの地点での人の滞留があるのか
	向き	何時頃にどこから人が来てどこに抜けていくのか
速さ	時刻	輝度による時刻表示は不適
	向き	どのくらいの速度で人が来て抜けていくのか
向き	時刻	輝度による時刻表示は不適
	速さ	滞留が軌跡中のどの区域で発生したか

謝 辞 本研究の一部は株式会社ズコーシャとの共同研究である。特に施設内での人の移動データの取得について協力を得た。

文 献

- [1] Natalia Andrienko, Gennady Andrienko, Peter Gatalaky, "Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review," *Journal of Visual Languages and Computing*, vol.14, pp.503-541, 2003.
- [2] D. Peuquet, M.-J. Kraak, "Geobrowsing: creative thinking and knowledge discovery using geographic visualization," *Information Visualization*, vol.1, no.1, pp. 80-91, 2002.
- [3] 岡田佳也, 伊藤貴之, 緒方貴紀, 日熊悠太, "店舗内の歩行者行動分析のための 3 次元時系列可視化," *DEIM Forum*, A5-3, 2017.
- [4] Demar, U, Virrantaus, K, "Space-time density of trajectories: exploring spatio-temporal patterns in movement data," *International Journal of Geographical Information Science*, vol.24, no.10, pp.152-1542, 2010.
- [5] 峯元 長, 土肥真梨子, チョウショウセイ, 秋山福生, 小野健太, 渡邊 誠, "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," *デザイン学研究*, vol.63, no.5, pp.5.33-5.42, 2017.
- [6] Charles Perin, Tiffany Wun, Richard Pusch, and Sheelagh Carpendale, "Assessing the Graphical Perception of Time and Speed on 2D+Time Trajectories," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG)*, 2017.
- [7] R. Scheepens, N. Willems, H. van de Wetering, J. J. Van Wijk, "Interactive Visualization of Multivariate Trajectory Data with Density Maps," In *Pacific Visualization Symposium*, pp.147-154. IEEE, 2011.
- [8] 竹内徹二, "色の知覚," *照明学会誌*, vol. 81, no. 6, pp. 500-505, 1997.