

店舗内の歩行者行動分析のための3次元時系列可視化

岡田 佳也[†] 伊藤 貴之[†] 緒方 貴紀^{††} 日熊 悠太^{††}

[†] お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒 112-8610 東京都文京区大塚 2 丁目 1 番 1 号

^{††} 株式会社 ABEJA 〒 105-0001 東京都港区虎ノ門 4 丁目 1 番 20 号 田中山ビル 10 階

E-mail: [†]{g1320508,itot}@is.ocha.ac.jp, ^{††}{takanori,yuta}@abeja.asia

あらまし 店舗内の歩行者行動を分析することで、商品陳列の改善などマーケティングに役立てることができる。このような時系列情報の分析過程において折れ線グラフやヒートマップによる可視化が多用されるが、歩行者行動分析において特に重要である空間情報と時間情報を両立する視覚表現が難しく、結果として効率よく理解することが難しい。本報告では、店舗のフロアマップの2方向と時刻を3軸とする3次元画面を使用した時系列可視化手法を提案する。具体的には、店舗内における各ブロックを人数の集計値によって色付け、透明度を調節することで特徴的な部分のみを可視化し全体像の把握を助ける。またフロアの時間変化を表示するシンプルなスライダーを用い、ユーザの見た時間のフロアを詳細に見ることができる。

キーワード 時系列可視化, 3次元, 歩行者

1. はじめに

店舗内における顧客分析や売上分析はビッグデータの蓄積や分析の端的な例である。この分析から得られる情報はマーケティングの分野で非常に役に立ち、特に商品陳列や営業方法の改善が可能となる。機械学習の進歩により、店舗に設置したカメラの映像から顧客のいる場所とその時間だけでなく、顔認識技術を用いて顧客の性別や年齢などの特徴も得られるようになった。これらの技術によって得られる顧客の行動や属性と、POSなどを通して従来から蓄積している購買情報を組み合わせることで、顧客情報を複合的に分析できると考えられる。このような分析手段は開発途上であり、特に店内での歩行行動まで含めた分析にはその可視化が重要であると考えられる。

一方で、最近では個人情報保護への配慮も重要な観点であり、個人が特定されることのない人物の経路情報の解析や利活用が特に求められる。本手法では、顧客の位置情報、時間情報、性別、年齢を集計した結果をもとに顧客の歩行行動を分析するための時系列可視化手法を提案する。売上の統計データとは異なり、歩行行動分析において店舗内の空間情報は非常に重要な情報である。そのため我々は店舗のフロアマップをxy軸方向の平面上に、時間をz軸の奥行き方向にとる3次元画面を開発した。フロアマップは柵と通路に沿って多数の多角形ブロックに区切られていることを前提とする。また本手法では、ブロックごと、かつ時間帯ごとに人数を集計したデータを可視化するものとする。集計値によってブロックの色と透明度を設定して表示することで、重要でないブロックを割愛し、人が集中する場所などの注目すべき部分が強調される。さらに各時刻のフロアマップの状態を表す色を選択しツールバーに並べて表示することで、ユーザがスライダーを操作しユーザの見た時刻のフロアマップを詳細に見ることができる。

2. 関連研究

一般的に時系列データ可視化は、折れ線型、ヒートマップ型、3次元型、連携型の4つに大別される[1]。特に多用されるのは折れ線グラフとヒートマップである。折れ線グラフは正確な数値の読み取りや時系列に沿った連続的な変化を見ることに適しているが、一方で大量の要素に対応する折れ線を描くことでクラッキングが発生し、視認性が低下する。これに対しヒートマップは要素が重なり合うことなく、実数値の大小だけでなく変化量、また要素どうしの関連性も表現することができる。熊谷ら[2]は変数を相関係数に基づいた距離によってクラスタリングし描画するヒートマップと、異常値の算出方法に対応したカラーマップで色付けしたヒートマップを実装することで変数どうしの相関や異常値の発見を可能にしている。セルの数値算出と色付けをする点において本研究と同様であるが、この手法では売上データを扱っており、本研究のような空間情報を含んでいない。折れ線グラフ型、ヒートマップ型いずれも単体では空間情報を表現することができないことが、本研究において大きな問題となる。

続いて、時空間情報を両立して可視化する方法として3次元可視化と連携可視化を紹介する。3次元可視化についてはさまざまな手法が研究されており、特に平面地図と地図に対し垂直に時間軸をとる時空間パスやGeo Timeが人の移動の可視化によく用いられる。深田ら[3]はGPSで得られる観光行動の移動軌跡を、GISで歩行者の移動度の可視化することで歩行ルートや滞留位置を示す手法を考案し、時空間パスによる表現と比較している。この方法ではGPSで移動経路を取得しており、広範囲の観測に適しているが、店舗のような室内での行動分析への適用は難しい。また本研究ではトラッキングデータでなくブロック単位で通過人数を集計したデータを可視化するという点で異なっている。その他の時空間可視化方法としてBachらのCubix[4]がある。これは動的なネットワークデータを平面上

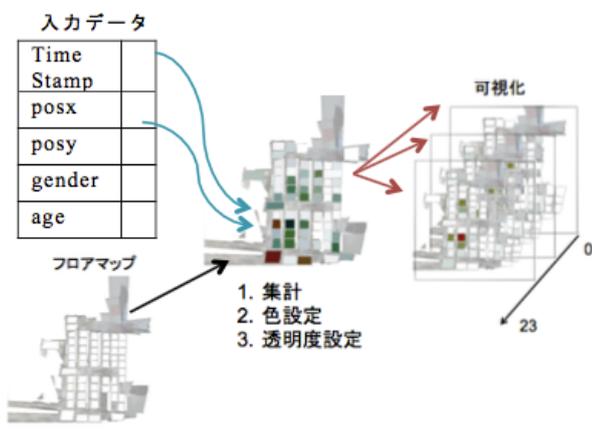


図1 処理手順

に頂点群, 他の1軸を時間軸とした3次元空間上に配置している。隣接する頂点同士の間隔をキューブとして表現する。時空間情報の概観を見ることができ、データの密集部分の読み取りが難しく、2次元への分解表示が欠かせない。

Wangら[5]はタクシーの移動データから特徴を抽出し、画面ごとに分けて可視化している。時系列データにはヒートマップやThemeRever, 空間データにはマップを使い、連携させる。各画面の視覚表現がシンプルになって初心者にも馴染みやすくなる点が連携可視化の利点である。一方、連携可視化では画面数の増加に伴い大きな画面空間を必要とする。また、視線移動が大きくなり、ユーザが複数のグラフを頻繁にかつ反復的に読み比べる手間が発生する。

以上をふまえ、本報告では主として2次元マップと時間軸による3次元時系列可視化手法と、ユーザの目線移動の問題を最低限にするようなシンプルな連携可視化手法を組み合わせた手法を提案する。

3. 提案手法

本章では提案手法が前提とするデータ構造と、提案手法の処理手順について述べる。3.1節ではデータ構造, 3.2~3.5節では全体像の特徴把握を目的とした3次元時系列可視化手法の処理手順(図1)について説明する。3.6節では詳細表示のための3次元可視化画面と連携した時系列可視化パネルについて説明する。

3.1 顧客データ

店内に設置したカメラから以下を取得する。

- 時刻 t
- 座標値 (x, y)

さらに顔認識技術により各顧客について以下を取得する。

- 年齢
- 性別

本手法では1日分のデータをJSON形式のファイルにまとめたものを用いて、ブロックの数値を1時間ごとに集計する。

3.2 ブロックごとの集計と計算

店舗内の商品棚をブロックに分け、ブロックごとに人数を集計し数値を算出する。本手法では分析対象を3つに分類し、以

下にその一例と算出方法を述べる。これらはあくまで例であり、他にも多様に考えられる。時刻を i , ブロック番号を j , 各ブロックの人数を n_{ij} , 算出結果を v_{ij} とする。

(1) 実数値や割合の相対値

- 特定の時刻において人が集まる場所

$$v_{ij} = \frac{n_{ij} - n_{min}}{n_{max} - n_{min}}$$

- 男性もしくは女性の割合の多い場所

$$v_{ij} = \frac{n_{ij男}}{n_{ij}}$$

(2) 数値の変化量

- 特定のブロックの1日の中で人の増える時間帯, 減る時間帯

$$v_{ij} = \frac{n_{ij} - n_{min}}{n_{max} - n_{min}} - \frac{n_j - n_{min}}{n_{max} - n_{min}}$$

- 性別, 年齢層の割合の変動が大きい場所

$$v_{ij} = \frac{n_{ij男}}{n_{ij}} - \frac{n_j男}{n_j}$$

(3) その他

- 同じまたは近い時間変化をするような, 相関の高いブロックどうし

3.3 カラーマップの設定

次に3.2節で求めた各ブロックの数値の変化を表現する色を自動的に設定するため、全体のカラーマップを定める。[6]ではデータの種類とカラーマップの対応付けについて述べられている。これにしたがい、カラーマップを分類した結果を図2と以下に示す。

(1) 色相のみ変化するカラーマップ

最も一般的に用いられているカラーマップである。[6]によると、種類や所属など順序のない不連続なデータに対して赤, 緑, 黄色, 青, 黒, 白の組み合わせのような全く異なった色相の使用を勧めている。特に3.2節のその他の例のような場合、相関を持つブロックの組み合わせを他と明確に区別して見ることができる。HSV色空間の色相 h は以下のような計算で生成する。

$$h_{ij} = \frac{160}{240}(1.0 - v_{ij})$$

(2) 1方向に彩度が変化するカラーマップ

続いて[6]は、人間は形状・動き・奥行きに明度を使うため、3次元の幾何学的形状には等明度で彩度の異なるカラーマップが適していると述べている。彩度の変化により数値の大きさを読み取りが可能となる。彩度 s は以下の計算式で求められる。

$$s_{ij} = v_{ij}$$

(3) 両端方向に彩度が変化するカラーマップ

等明度で異彩度という点で(2)と同様である。両端の色相が異なり、中央から両端に向けて彩度を上げていく(2)と比較して、最初に色相から数値の大小や増減どちらであるかがわかり、彩度で詳細な数値を読み取ることができる。

$$\begin{cases} s_{ij} = \left| \frac{v_{ij} - \bar{v}_j}{\bar{v}_j} \right| (v_{ij} \leq \bar{v}_j) \\ s_{ij} = \left| \frac{v_{ij} - \bar{v}_j}{1 - \bar{v}_j} \right| (v_{ij} > \bar{v}_j) \end{cases}$$

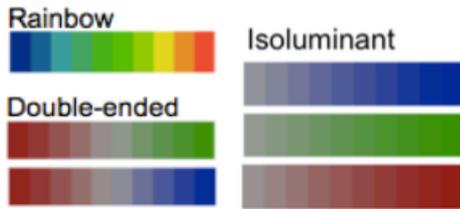


図2 カラーマップ。(1)は左上の Rainbow, (2)は右図 Isoluminant, (3)は左下 Double-ended に対応する。

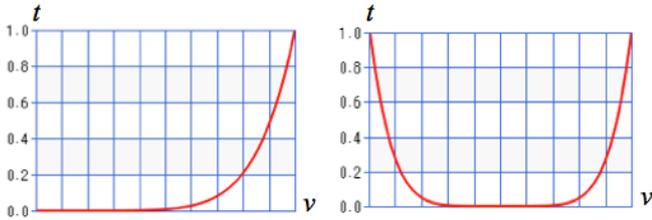


図3 伝達関数のグラフ。左が(1), 右が(2)である。

3.4 透明度の設定

次に透明度を算出する伝達関数を設定する(図3)。3次元空間における可視化では、視点によって物体間の画面上での重なり合いが発生する。この重なり合いによるデータの可読性の低下を防ぐため、数値の突出した重要な部分の透明度を低くし、その他の重要でない部分の透明度を高くする。透明度 t はブロックの数値 v に対する指数関数であり、ユーザーのスライダー操作によって指数 a が定まる。式は以下の通り。

- (1) 値が大きいほど重要と見なす場合

$$t_{ij} = v_{ij}^a$$

- (2) 値が最小値・最大値に近づくほど重要と見なす場合

$$\begin{cases} t_{ij} = \left| \frac{v_{ij} - \bar{v}_j}{\bar{v}_j} \right|^a & (v_{ij} \leq \bar{v}_j) \\ t_{ij} = \left| \frac{v_{ij} - \bar{v}_j}{1 - \bar{v}_j} \right|^a & (v_{ij} > \bar{v}_j) \end{cases}$$

3.5 可視化画面のデザイン

本章では可視化画面について説明する。本手法ではブロックごとに集計、色設定、透明度設定する。これを時刻ごとに奥側に0時、手前側に23時を割り当て、一定の厚みを持たせて並べる。ブロック値の計算方法はツールバー下部のラジオボタンで選択できる(図4)。このとき時刻の補助表示として時間軸の右下に目盛を付与する。さらに、ツールバーのtime スライダーを動かすことで半透明な板状のフロアマップが時間軸方向に動き、時刻とともに場所の補助表示として有効である。このようにデータ全体を俯瞰できるようになっている。

一方でユーザーがある特定の時刻のフロアマップのみを見たい時には、time スライダーで時間を指定し、ツールバーの invisible/visible ボタンを押すことで、その時刻のみのフロアマップとブロックが表示される。これを応用し、手動でtime スライダーを操作し view reset ボタンで正面から可視化画面を見ることで、アニメーションとしてブロックの時間変化を観察することも可能である。

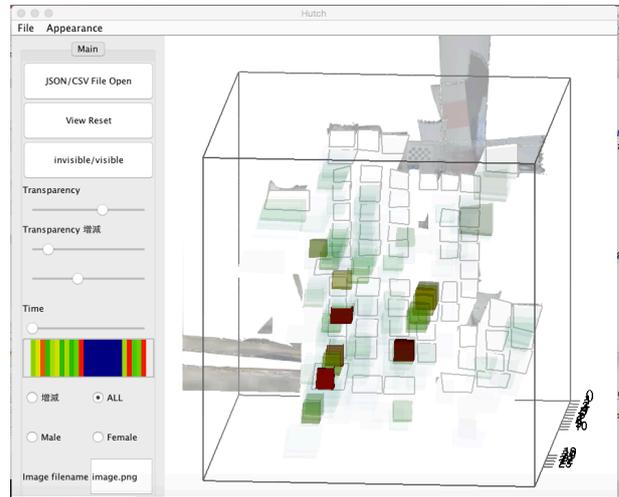


図4 可視化画面

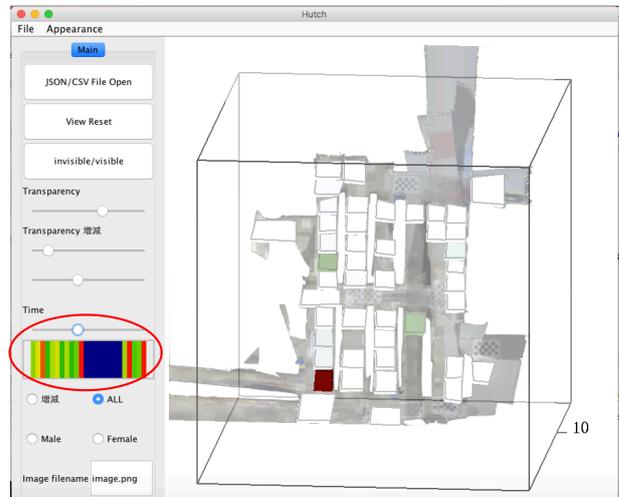


図5 time スライダーと time パネル

3.6 time パネルとの連携可視化

3.5 節で time スライダーを紹介したが、本節ではその下の time パネルについて説明する。time パネルには時間ごとのフロアマップにおいて一番特徴的な色、例としては突出したブロックがある場合はその色を選択し並べる。これにより一目でどの時刻に重要な現象があるのかを発見できる。さらに3.5 節の方法を用いてその時刻のフロアマップのみを表示することで、フロアのどのブロックでその現象が起きたのかを特定できる。パネルに最低限の色情報のみを載せることで、従来の連携可視化の視線移動や画面サイズの問題を解消している。

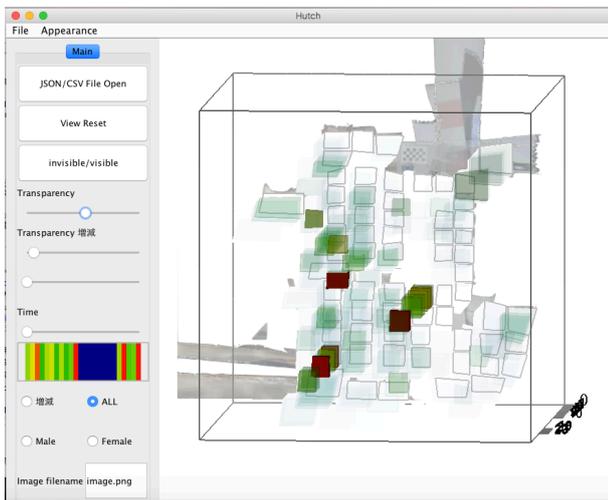


図 6 実行結果・俯瞰図

4. ビデオ店における分析結果

本章ではあるビデオ店における歩行者行動を可視化した。フロアマップは図 1 の通りである。店舗内は左上に入口があり、商品棚と通路が y 軸方向に並んでいる。データは閉店している 8 時間を含む 24 時間分である。

この分析例では、まず歩行者の集まる場所を調査した。カラーマップは色相のみ変化するカラーマップで、青い部分は歩行者が少なく、緑を経由し、赤い部分が歩行者の多い場所となっている。伝達関数は人が多い部分の不透明が高くなる指数関数を用いた。全体俯瞰図(図 6)からは、入口に近い左側に人が集中していることがわかる。また、どの時間にも継続的に人が集まる売場がいくつかある様子も見られる。このとき time パネルでは、人が特に集まった赤い部分が 4 つの時刻に絞られて表示されており、ここから最初に人が集中している売場が 2 時に存在することがわかる。

続いてこの店舗における人の増減を分析する。青から灰色、そして灰色から赤へと変化するカラーマップで、各売り場における 1 日の人数平均より少ない部分を青、平均より多い部分を赤とし、平均との差異が大きいほど不透明になるよう表示している。図 7 では店舗における人の増減を時間ごとにアニメーション表示したフロアマップのキャプチャを時系列順に並べている。全体として

- 開店後数時間は人の少ない売場が多い
- 図 7 の 3 段目、開店約 10 時間後には人が増加
- 閉店前最後の 1 時間は人が来ない

というような時間変化を読み取ることができる。

このように重要部分のみを表示することで、全体としての特徴を概略的に把握することができた。またその中でも突出した時刻とブロックの特定と観察ができた。

5. まとめ

本報告では、2次元フロアマップと時間軸からなる 3次元空間において顧客の歩行行動を表現する時系列可視化手法を提案した。本手法ではフロアを多数のブロックに区切っていることを前提として、ブロックごとに店舗内の顧客人数を集計し、そ

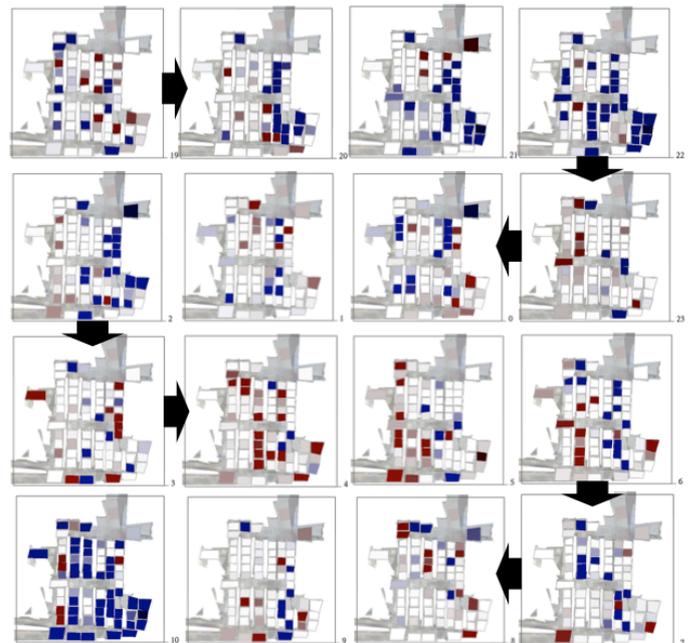


図 7 実行結果・増減

のブロックごとに色と透明度を設定することで集計値を表現する。また、この手法に time パネルと time スライダーによる小規模連携可視化手法を組み合わせた。これにより、顧客の 1 日の動きの特徴を全体として把握するとともに、より重要な時刻とブロックに絞って観察できるようになった。

今後の課題として、より長期のデータへの適用がある。現状では長期データになるほど奥行き方向が非常に長くなってしまい、これに伴い time スライダーも伸びてしまう。この問題については 1 ブロックの集計期間を月、日、時間と柔軟にするなどの対応を考えている。また 3次元可視化画面の可読性を高めるため、数値の大小や変化量だけでなく異常度の算出も検討中である。顧客分析において、例えばいつも人が集まるような部分は既に知られている情報である可能性が高く、反対にいつも人が集まる場所に人がいない時刻を異常とし強調することで新しい知見が得られる。この算出に伴い、色と透明度の設定も多様にしていきたい。

文 献

- [1] 伊藤, 視覚協創学 (5): マッピング技術～特に時系列データ可視化技術の体系化に向けて～. 第 17 回計算工学講演会論文集, Vol. 17, 2012.
- [2] 熊谷, 伊藤, "ヒートマップによる時系列データ可視化の一手法 非類似度と異常値観察を目的として", お茶の水女子大学修士論文, 2017.
- [3] 深田, 奥野, 大津, 橋本, "観光歩行行動データに対する GIS を用いた 3次元可視化手法の提案", 観光と情報, Vol. 8, No. 1, pp. 51-66, 2013.
- [4] B. Bach, E. Pietriga, and J. -D. Fekete, "Visualizing dynamic networks with matrix cubes." In Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems. ACM, 2014.
- [5] Z. Wang and X. Yuan, "Urban Trajectory Timeline Visualization", Big Data and Smart Computing (BIGCOMP), 2014 International Conference on, Jan 2014, pp. 13-18.
- [6] D. Borland and R. M. Taylor II, "Rainbow Color Map (Still) Considered Harmful", IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 27, no. 2, 2007, pp. 14-17.