

画像を用いた人物動線データの解析による行動理解の試み小規模店舗を例として

長谷川信幸**・鈴木直彦***・水野裕介****・藤野陽三*****・佐藤洋一*****

By Nobuyuki HASEGAWA**・Naohiko SUZUKI***・Yusuke MIZUNO****・Yozo FUJINO*****・Yoichi SATO*****

1. はじめに

近年、画像センサ、RFID、GPS、携帯端末、レーザ、レーダ等のデバイスおよび情報処理技術の発展に伴い、人物などの移動体の位置情報を連続的に取得することが可能になりつつある。

移動体の行動を連続的に取得するデータを用いた新たなアプリケーションが提案されている。代表的なものとしては車両移動情報を用いたITSなどが挙げられる。

他方で社会の安全や安心に対する意識の高まりにより、駅や店舗内、ビル、街路といった様々な空間への監視カメラ設置が進み、膨大な情報が蓄積されている。しかし、監視カメラは膨大な設置費用を要するにも関わらず、主に防犯用途のみに用いられ、蓄積されたデータが有効的に活用されていない現状がある。

本研究では、センシングデバイスから人物動線データが得られた場合における人物動線の時系列変化の分析により、従来のPOSシステムによる分析とは異なる新たなマーケティングの可能性について検討を行った。

2. 実験

(1) 概要

本研究では人物動線を取得するため、実際の小規模店舗内にビデオカメラを設置し、店舗内部を撮影することとした。なお、本研究において、手作業で作成した動線データ(サンプリング周期 1s)を用いている。

*キーワード：自己組織化マップ、マーケティング、行動分類

**正員，工修，東日本旅客鉄道株式会社

(研究当時 東京大学大学院工学系研究科修士課程)

(hasegawa@bridge.t.u-tokyo.ac.jp)

***三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

(Suzuki.Naohiko@dw.MitsubishiElectric.co.jp)

****正員，博（工），東京大学

(東京都文京区本郷七丁目3番1号，
TEL03-5841-7497, FAX03-5841-7454)

*****フェロー会員，Ph.D，東京大学

(東京都文京区本郷七丁目3番1号，
TEL03-5841-6095, FAX03-5841-7454)

***** Ph.D，東京大学 生産技術研究所

(東京都目黒区駒場四丁目6番1号)

(2) 対象店舗

店舗内の品物配置は概ね図1のようになっている。店舗の大きさは奥行き6m・幅11mで小規模店舗である。

レジは2箇所があり、入口突き当たり(図中ではレジ1)と、入口右手奥(同レジ2)にある。通常は突き当たりのレジをメインに利用し、客が増えると右手のレジも合わせて利用する。本研究においては図1に示すように店舗内に38万画素カラーカメラを15台設置した。うち2台は魚眼レンズにより店内全体を俯瞰している。

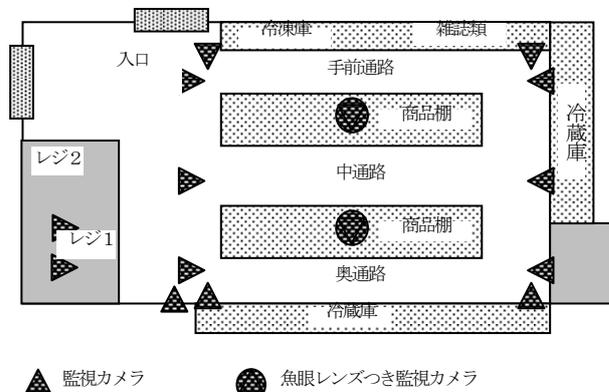


図1：カメラの設置状況

(3) 実験時期および来店者数

実験は2005年冬に行った。このうち本研究では、ある晴れた平日の10~11時(来店人数116人)・15~16時(来店人数157人)・17~18時(来店人数127人)の3つの時間帯のデータを用いた。

3. K-meansクラスタリングによる人物動線の分類

(1) 人物動線データの正規化

ある人物*i*の店内滞在時間を*T_i*としたとき、人物動線データ*R*は式(1)となる。

$$R_i = \{x_{it}, y_{it}, t\} \quad t = 1 \dots T_i \quad (1)$$

これについて、人物*i*について比較するため、時間を正規化し、入力ベクトル*R'*に変換する(式(2))。

$$R'_i = \left\{ x_{it}, y_{it}, \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_{it}, k, \left(\frac{\Delta y}{\Delta t} \right)_{it}, k \right\} \quad t = 1 \dots N \quad (2)$$

ただし、 Δx Δy Δt は時刻暦差分である。また、 $r^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ が一定となるようにし、*N* は全ての客に対して100とした。*k* は正規化のための定数である。

(2) K-meansクラスタリング

K-means クラスタリングは汎用的なクラスタリングの手法である。以下に手法の概要を示す。(a) 予め K 個の教師を与え、それを中心とする K 個のクラスタ $C_1 \sim C_K$ を作成する。(b) 全てのパターン P_i とクラスタ $C_1 \sim C_K$ 中心とのユークリッド距離を求め、最も距離の短いクラスタ C_j に所属させる。(c) 各クラスタ重心を C_j に所属する全てのデータの重心に更新する。(d) (c) で重心に変更があれば終了。変更があれば(b)に戻り、(b)→(c)の操作を繰り返す。

(3) K-meansクラスタリングによる分類結果

本研究では、10 時台の正規化人物動線データ R に対して、K-means クラスタリングを適用した。今回は、初期の教師データとして、典型的な行動である6つの人物動線データ 6 人を与え、6 個のクラスタに分類した。クラスタリング結果を図2に示す。クラスタ1は奥通路で買い物をする客。クラスタ3は立読みをする客を示している。K-means クラスタリングにより、人物動線データをある程度分類できることが分かる。しかし、クラスタ4などのクラスタは多様な人物動線データが含まれているため、クラスタの有する意味を明確に説明することが難しい。K-means クラスタリング手法では有用な結果が得ることが困難であると言える。

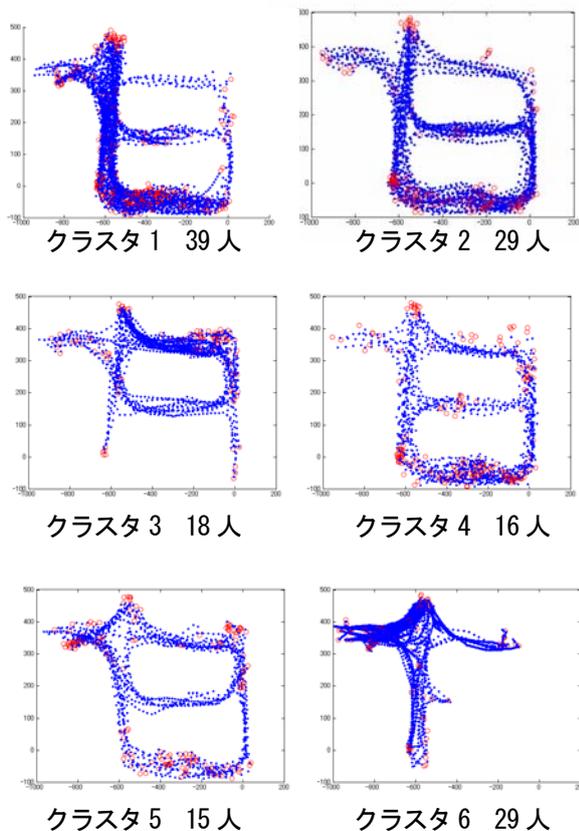


図2 : K-means クラスタリングによる分類結果

初期値として与える教師数を増加させることにより、クラスタの精度を向上させることも可能であるものの、かなり単純な行動でない限り明確な形で分類することは難しい。また、クラスタ数の増加は行動パターンを精緻に分類するためには必要であるが、一方でクラスタ間の関係性を抽出することを困難にする傾向があるため、店内の人物行動を分析するという用途には適さないと思われる。

一般に小規模店舗内では、同じ飲料でもホットドリンクとコールドドリンクが全く異なる位置に配置されることも多いため、例えばホットコーヒーを購入したいと考えている客が、すぐホットコーヒーを発見することができず、他の飲み物を見て周回ことがある。また、購買する商品を元に戻す場合には、店内を大きく移動する必要がある。このように店舗における人物行動は複雑な特徴を有しているため、単純なクラスタリング手法では人物行動パターン进行分类することを困難にしていると考えられる。

3. 自己組織化マップによる人物動線の分類

(1) 自己組織化マップ

自己組織化マップ¹⁾(Self-Organizing Maps, 以下 SOM)とは、コホネン(Kohonen)によって開発された大脳皮質の神経機能をモデル化したニューラルネットワークの一種で、教師なし学習によるクラスタリングの手法、ないしは多次元空間を2次元ないしは3次元空間に落とす手法として知られている。

ニューロンの基本的なモデルは次式で表される。

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)] \quad (3)$$

これは多数の入力 x_i の線形加重和 $\sum x_i w_i$ がある閾値より大きい場合に"1"、それ以外は"0"を出力するものである。本研究では2次元のクラスタリング手法を用いた。

(2) 自己組織化マップのアルゴリズム

SOM は階層型ニューラルネットワークの一種であり、2層のネットワークである(図3)。第1層は n 次元の入力層 $x(t)$ であり、第2層は競合層と呼ばれ、出力を視覚的に見るため一般的に2次元配列となっている。競合層のベクトルは、参照ベクトル $m_i(t)$ で表現され、入力層の n 次元と同様に n 個の要素を持つ。

SOM の学習は教師なし競合学習である。SOM では学習にユークリッド距離を用いる。学習のステップを以下の(a)~(f)および図4に示す。

(a) 全参照ベクトル m_i の要素をランダムに決定する。

(b) 入力ベクトル P を与える。このとき、 $x(t)$ とのユークリッド距離 $|P - m_i|$ を最小にするようなニューロン i を探し、そのニューロンを c とすると、ユークリッド距離

$|P-m_i|$ は式(4)となる。

$$|P-m_c| = \min |P-m_i| \quad (4)$$

(c)参照ベクトル m_c を持つニューロンを勝者ユニット (BMU)とする。

(d)勝者ユニット, およびその周辺の近傍 N_c 内のユニットは式(3)に従って入力ベクトルを学習する。ただし, 式(3)における近傍関数 $h_c(t)$ は, もし i が近傍のニューロンであれば学習係数 $\alpha(t)$ を返し, それ以外であれば 0 を返す関数である。

(e) (b)~(d)を T 回繰り返し学習を行う。近傍サイズは $N_c = N_c(t)$ という時間の関数で表され, 学習とともにそのサイズを小さくしていく。

(f)全ての入力ベクトルに対して, (b)~(e)を繰り返し実施し, 各入力ベクトルに類似したユニットを集積させる。

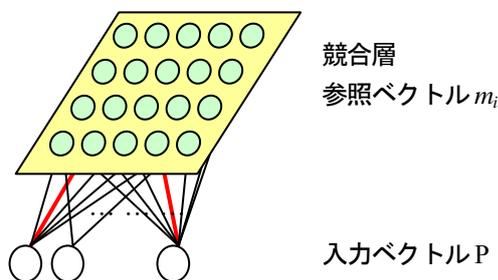


図3 : SOM の概念図

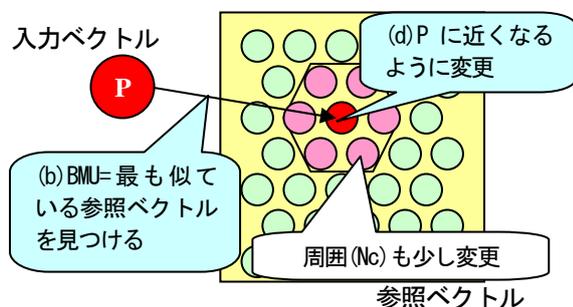


図4 : SOM アルゴリズム

SOM を適用すると, 入力ベクトルが密集しているエリアに参照ベクトルが順次広がっていく。つまり SOM では, 低次元空間内の参照ベクトルの分布を用いて, 入力ベクトルのクラスタリングを行う。

(3) SOMと行動の関連性

10 時台, 15 時台, 17 時台の正規化された人物動線データについて, SOM を適用し分析を行った。分析には matlab および SOM toolbox²⁾を用いている。

その結果, 図5 で示すように数名の類似した行動が, 同一あるいは, 近隣の参照ベクトル上に現れるという結果が得られた。また, 図6 に示すように, 利用しているレジがそれぞれレジ2, レジ1 であるという点以外は類

似した行動である図5 および図6 の人物行動が, 参照ベクトルにおいても近隣の参照ベクトルに出現している。これは K-means の場合と同様に SOM においても行動の傾向を正しく抽出していると考えられる。

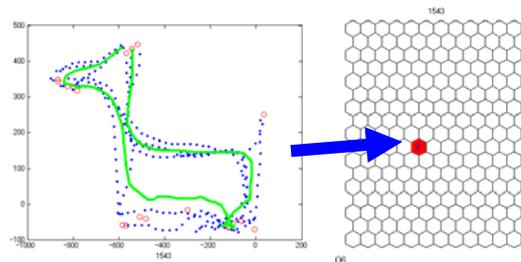


図5 : 同一行動と参照ベクトルの関連

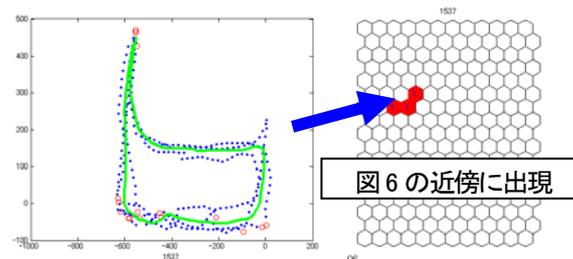


図6 : 類似行動と参照ベクトルの関連

(4) 参照ベクトルと行動の関連

参照ベクトルに基づいた分類結果を図7に示す。分類結果に対して店舗のレイアウトに基づいた対応付けにより, 各グループの人物行動は以下の1~5のように特徴を抽出することができる。

- 1: 食品のある奥通路に達している人(図7中央),
- 2: レジ付近だけで帰る人(図7下部),
- 3: 店内を周回する人(図7上部)
- 4: レジに寄らずに帰る人(図7右上)
- 5: 立ち読みをする人(図7右中央)

また, 図8のように (1)の中にあっても奥の通路を通過した後に右手奥の冷蔵庫に達する人物, あるいは中の通路を経由して奥通路に達する人物, 手前通路を経由して奥通路に達する人物などの細部の相違も分離されていることが分かった。

さらにK-meansクラスタリングにおいて正しい分類が困難であったデータについても, SOMできちんと分類できている。図9のように参照ベクトル同士の距離を示すU-Matrixを見てみると, 参照ベクトル間の距離は比較的小さく, 特徴ベクトル空間内に一様に広がっている様子が分かる。このため, 正しくクラスタと分類可能なデータは限定したものであり, K-meansクラスタリングを用いて例外を少なく分離することは難しいことを示している。

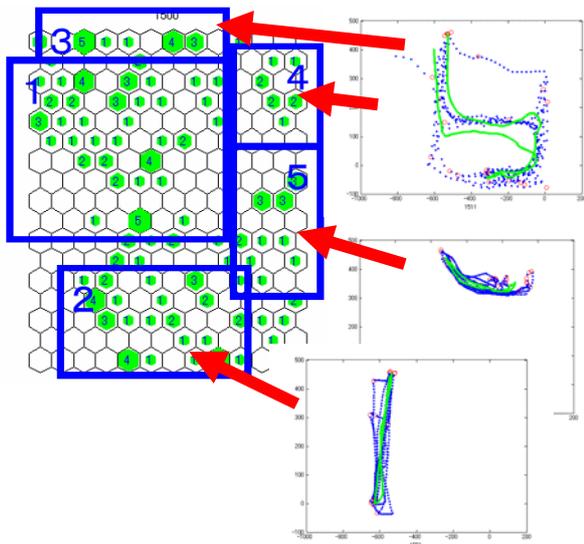


図7：参照ベクトルと行動の関連性

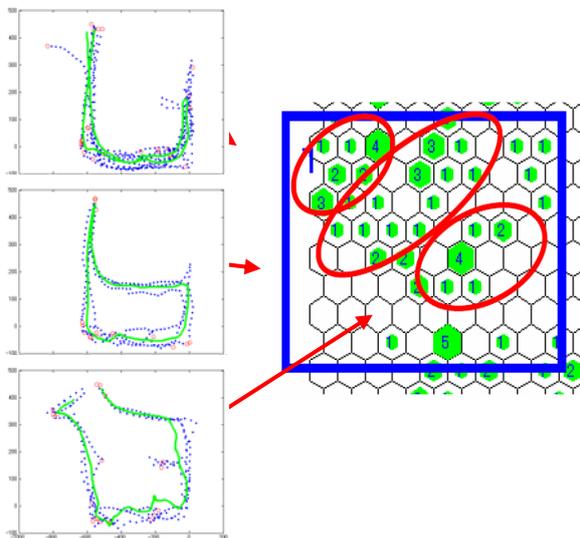


図8：図9中央部の拡大

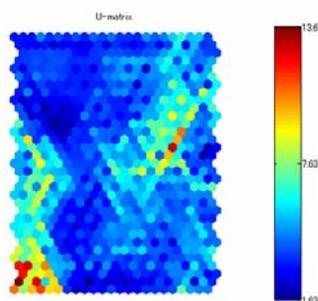


図10：U-Matrix

(5) 時間帯における傾向

本研究の提案手法を用いて各時間帯における人物行動を比較した。10時台は昼食を購入する人物が多いため、単純な行動による中央部の参照ベクトルが多い(図11)。15時台は、立ち読みや周回する人物など行動パターンが多様であるため、SOM参照ベクトル空間上に広くデータが分布している(図12)。17時台は、行動パターンが明

確に分離しているため、参照ベクトル空間周辺部のデータが多い(図13)。SOMを用いた提案手法は、例外的な行動を含む場合でも正しく低次元空間に表現することが可能であり、多様な行動が混在する小規模店舗内において人物行動を分類するのに適していると考えられる。

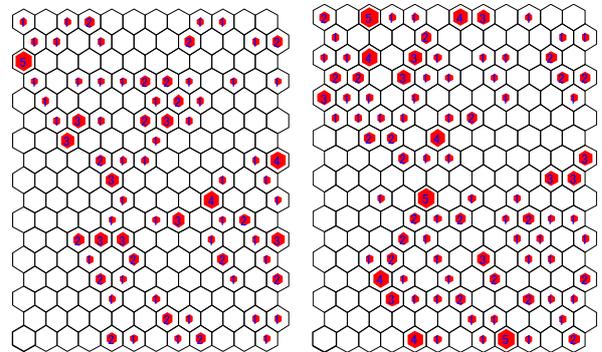


図11：10時台分布(左) 図12：15時台分布(右)

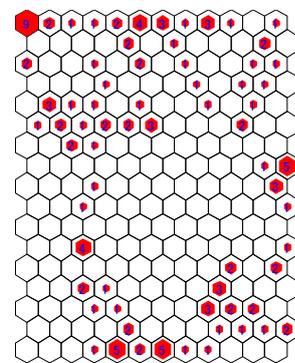


図13：17時台分布

4. まとめ

本研究では、実際の小規模店舗内部に設置したカメラから得た人物動線データに対してK-meansクラスタリングおよびSOMを用いた分類を実施し、両手法の比較を行った。その結果、多様な人物動線データが混在する小規模店舗内のデータに対して、SOMを用いた提案手法は、K-meansクラスタリングを用いた手法と比較して、人物動線データの適切な分類および購買行動傾向の詳細な分析が可能になったことが明らかになった。

今後は、POSデータや実際の購買行動内容と提案手法を組み合わせることにより、高度なマーケティングシステムの構築を目指していく予定である。

参考文献

- 1) T. Kohonen著 徳高ら訳 “自己組織化マップ”. シュプリンガー・フェアラーク東京 1997
- 2) SOM toolbox-
<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>