RFID 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

VISUALIZATION OF CUSTOMER SHOPPING-PATH USING RFID TECHNIQUES

宮崎慎也 —— * 1

キーワード:

RFID, 可視化, スーパーマーケット, カーネル密度推定,
ベクトル場

Keywords:

RFID, Visualization, Super-Market, Kernel Density Estimation Method,
Vector Field

Shinya MIYAZAKI —— * 1

Recently, RFID techniques enable us to obtain enormous amount of information on positions of humans and objects in a building. This paper discusses the visualization method of customer shopping-paths in a Super-Market that are obtained by RFID techniques.

For this, two different methods are applied to visualize the customer shopping-paths, which are Kernel Density Estimation method and Vector Field Visualization. By applying the Kernel Density Estimation method, it helps us to visually understand the customer existence probability density in sales floor, whereas the Vector Field Visualization enables us to grasp the customers' flow.

1. はじめに

1-1. 研究の背景

建築物内部における人物の行動を把握することは、建築計画上の重要な課題の一つである。建物内の人間の移動行動には、ユーザーの意志が強く反映されており、これを調べることで、建築計画的な問題の発見が可能になり、さらに行動パターン解析などを行うことによって建物管理方法の改善、諸室配置計画への示唆を与え、新築建築物を設計する際の基礎データとして活用することができる。

建物の内部における人間の行動を追跡して動線情報を取得する方法として代表的な2つが知られている。1つは人間の行動を人間が実際に追跡する方法であり、例えば、病院内の看護師の移動行動を調べる実証研究では、実際に調査員が看護師を追跡するという方法が用いられている¹⁾。もう一方は動画によるもので、建物内に複数のカメラを設置して人物を撮影した動画を元に、手動で人物を同定し²⁾、移動軌跡を追跡するものである。しかしながら、調査員が人物を追跡したり、動画から手動でデータ入力して動線情報を取得したりする作業は手作業に委ねられているため、利用範囲が非常に限定的であることが問題となっている。

そこで、本研究では、RFID技術を用いる方法により建物内の複数の人物の動きを自動的に追跡し、この情報を用いて建築計画的な知見を発見することを目的とする。RFID技術とは、ID情報を埋め込んだICタグを動体に取り付けることによって、動体の位置を時系列に追跡できるものであり、センサーネットワークと同様に様々な分野で応用が進んでいる。応用例としては、グローブにICタグを埋め込み、手の一連の動作を追跡することで医療に応用しようとするもの³⁾、図書館の書籍にICタグを貼り付けることによって図書管理を合理化しようとするもの⁴⁾など様々である。

このように、多様な応用が図られているRFID技術であるが、建物内を移動する不特定多数の人物の追跡については、ICタグの取り付けなどの点で課題が多く実用的な段階に達しているものは少ないのが現状であるが、本研究ではスーパーマーケットのショッピングカートにICタグを取り付けることによって、不特定多数の顧客の移動軌跡を取得することを可能としている。

1-2. 顧客動線関連の既往研究

RFID技術によって取得した顧客動線を用いた研究はLarson⁵⁾が行ったものが先駆的事例として知られている。これまで、スーパーマーケットを対象としたマーケティングの研究においては、レシートなどの購買情報や、性別、年齢といった顧客の属性情報をもとにする研究が多く行われてきたが、顧客動線を用いることで、店内の顧客の行動パターンと購買行動の関係をさらに詳細に把握することができ、チラシや広告などの販売戦略の立案への応用が期待されている。

顧客動線を用いたマーケティング関係の既往研究として、多変量クラスタリングによって、スーパーマーケット内での典型的な顧客の移動経路を発見しようとするもの⁶⁾や顧客の移動経路に巡回セールスマン問題のアルゴリズムを適用し、移動経路を順番偏差、距離偏差、TSPパス（最適経路）の3つに分解して分析するもの⁶⁾、買物行動における売場の訪問順番を文字列解析の技術に応用して分析するもの⁷⁾、階層的バイズモデルを用いたアプローチによって、買物行動に与える時間制約、ライセンシング、社会的影響を検証するもの⁸⁾がある。

このようにマーケティングの分野では、RFID技術によって取得した顧客動線を販売戦略に応用する観点で、顧客のクラスタリングや売場の訪問順番、店舗内の顧客の移動距離、店舗での顧客の滞在時

本稿は参考文献15)に示すワークショップで発表したものに加筆・修正を加えたものである。

¹⁾ 福岡大学工学部建築学科 博士(工学)
(〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目19-1)

¹⁾ Assistant Prof., Dept. of Architecture, Fukuoka Univ., Dr. Eng.

間などに着目した研究がすすめられているが、顧客行動の時空間的な特徴を直接扱ったものは少ない。

本研究では、RFID 技術によって取得した顧客動線から、顧客行動の空間的な特徴を把握するため、第一にカーネル密度推定法を用いて売場の顧客存在確率密度推定を行い、店舗内の顧客の滞留行動を可視化する。次に、ベクトル場による表現によって店舗内の顧客の流れを可視化する。このように、RFID 技術によって取得した顧客動線を可視化することによって、店舗内の顧客行動の時空間的な特徴を抽出し、マーケティング分野だけでなく、店舗レイアウトや商品配置などの建築計画的に有効な知見の発見を目的とする。

2. 可視化手法

2-1. 顧客動線の可視化手法

前述したように、本研究では、顧客動線データを2通りの方法で可視化する。1つは、カーネル密度推定法を用いた店舗内の顧客存在確率密度分布の可視化であり、店舗内のどの場所に顧客が留まる傾向があるかを視覚的に把握しようとするものである。もう一方は、ベクトル場による店舗内の顧客の流れの可視化であり、店舗内での顧客の流動を可視化して把握しようとするものである。

2-2. カーネル密度推定法

マーケティングの分野においては、顧客の店舗の滞在時間と売上には密接な関係があることが知られているが⁹⁾、これまでの顧客動線に関する研究では、店舗平面を各売場単位の領域に分割し、この領域内に顧客が存在する時間を求めることで各売場の滞在時間を推定している。一方、売場単位で離散化され集計された情報は、複雑なデータをシンプルに記述できるという点で有効であるが、各売場内での顧客行動情報を売場単位で平均化してしまうため、本来の情報精度を活かしきれない問題がある、また売場単位の設定の方法によって著しく異なった結果を出力してしまう可能性がある。

そこで、本研究では顧客存在確率という指標を定義し、カーネル密度推定法を用いて推定する。カーネル密度推定法^{10) 11)}とはノンパラメトリックの密度推定方法で、データから直接的に密度を推定するために、売場などの集計単位に依存せずに、連続的な密度分布を推定できるという特徴を持つ。カーネル密度推定法は、都市計画においては建物の分布密度を推定する場合¹²⁾や、犯罪マップの作成などに応用されている。

今、平面上の任意の点 (x, y) における顧客存在確率 $\hat{f}_h(x, y)$ は、平面上に分布する顧客の存在位置の座標点の総数を n 、バンド幅を h として、2次元正規分布のカーネルを用いると、式(1)のように表すことができる。次章では、本手法を実際の店舗実験で取得した顧客動線のデータに適用して、顧客存在確率密度分布を可視化する。

$$\hat{f}_h(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi h^2} \exp \left\{ -\frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{2h^2} \right\} \quad (1)$$

2-3. ベクトル場

スーパーマーケットの顧客の流れが密接に売上と関連していることはマーケティング分野で経験的に知られており、例えば店舗内の顧客の流れが時計回りか反時計回りのどちらの方が販売上有効かを

検証する研究¹³⁾がある。このように店舗内の顧客の流れは売上に強い影響を与える要因の一つと考えられる。しかしながら、これまでの研究では、シェアオフィス内の人物の行動傾向をベクトル場として表現した研究¹⁴⁾などがあるものの、RFID のような大規模なデータを用いて、顧客の流れを定量的に扱った研究は殆どないのが現状である。

本研究では、顧客動線データをベクトル平均によって集計し、ベクトル場として可視化することによって、これまでブラックボックス化されてきた店舗内の顧客の流れを定量的に把握する。ベクトル平均は風の平均エネルギーを求める場合などに用いられる方法で、ベクトルの方向と大きさの両方が加味されるという特徴を持つ。

今、平面上の任意の領域 R の中に始点が含まれるベクトルが n 個存在するとし、これらのベクトルを $v_i = (x_i, y_i) (i = 1, \dots, n)$ で表すと、ベクトル平均 $\vec{V}_R$ は次式で求められる。

$$\vec{V}_R = \sum_{i=1}^n (x_i, y_i) \quad (2)$$

また、時刻 t における顧客の位置を P_t 、 $t + 1$ 秒後の位置を P_{t+1} 、時刻 t における顧客の移動ベクトルを $\vec{v}_t = \vec{P}_{t+1} - \vec{P}_t$ と定義とし、すべての顧客動線からこの移動ベクトルを抽出する。さらに、店舗平面をメッシュに分割し、それぞれのメッシュに始点が含まれる移動ベクトルを式(2)により集計することで平均ベクトルを求める。

次章では、これを実際の店舗実験の顧客動線データに適用し、ベクトル場として可視化する。

3. 顧客動線の可視化

3-1. データ概要

店舗実験の概要を表1に示す。顧客動線データの取得のため、関東の中型スーパーマーケットで店舗実験を行い、合計34日で約7,000人分の顧客動線を取得している^{注1)}。

図1 RFIDを用いた顧客動線情報取得システム

表1 店舗実験概要

調査店舗	中型スーパーマーケット（関東）
調査期間	2009/5/11-6/15
調査日数	34(日)
顧客動線の総数	6994(本)
顧客の平均店舗滞在時間	18.63(分)
顧客の最大店舗滞在時間	89.38(分)
顧客の平均売上数量	20.03(個)
顧客座標の取得間隔	1.0(秒)
顧客の平均移動速度	0.553m/s

顧客動線は IC タグをショッピングカートに取り付けることによって、1 秒ごとに顧客の座標位置を同定している。具体的には、カートに取り付けた IC タグの信号を天井のセンサーに送り、サーバーにその位置情報と時系列情報（1 秒単位）を蓄積していく（図 1）。天井センサーは店舗実験のために、スーパーマーケットの通路上の天井に一定間隔で設置している。また、カート ID と POS データとの対応づけが行われており、1 人の顧客動線に対してその顧客が購入した商品の数量や、品目が明らかになっている。本研究では、主に顧客動線の可視化に焦点をあてているため、POS データは利用しない^{注 2)}。

次に、実験店舗のゾーン構成を図 2 に示す。表 2 に示すように店舗は 28 の売場単位で区切られており、売場ごとにそれぞれ商品カテゴリーが対応している。図 2 の左下と右下の「E」の部分が入り口であるが、左下がメインの入り口、右下がサブの入り口となっており、時計回りに店舗内の顧客を誘導する動線計画が行われている。また、灰色で示した部分が商品陳列棚となっている

図 2 売場のゾーン構成

表 2 売場ゾーンと商品カテゴリーの対応

R	レジ	J	和日記
B1	一般食品 1	G	惣菜
B2	一般食品 2	I	洋日記
B3	一般食品 3	M	精肉
B4	一般食品 4	C1	菓子 1
B5	一般食品 5	C2	菓子 2
B6	一般食品 6	C3	菓子 3
H	中央通路	D1	酒類 1
A1	住開 1	D2	酒類 2
A2	住開 2	V1	青果 1
A3	住開 3	V2	青果 2
S	催事	L	飲料
E	入口	F1	鮮魚 1
K	冷蔵	F2	鮮魚 2

3-2. 顧客動線の描画

次に、顧客動線の軌跡の描画を行う^{注 3)}。図 3 は典型的な顧客動線をサンプルとして抽出したものである。図 3 では、左下のメインの入り口から店舗に入った顧客は、まず野菜売場に入り、次に鮮魚売場と移動し、時計回りにスーパーマーケットの外周部の通路を移動して、最終的にレジに到達する。

図 4 は、実験期間中に観測した全顧客の 1 秒ごとの座標点の位置をすべてプロットしたものである。図 3 の顧客動線の軌跡や、図 4 の座標点の分布図からだけでは、顧客がどのような場所で立ち止まって商品選択をしているかなどの、行動の特徴をとらえることは難しい。

図 3 典型的な時計回りの顧客動線

図 4 全顧客の一秒ごとの位置の座標点プロット^{注 4)}

図 5-1 顧客存在確率密度分布の可視化^{注 5)}

図 5-2 一人の顧客動線の顧客存在確率密度分布の可視化^{注 6)}

図6 ベクトル場による可視化

3-3. カーネル密度推定法による顧客存在確率密度分布の可視化

次にカーネル密度推定法によって顧客存在確率密度分布を調べる。図5-1は、図4で示した実験期間中の全顧客の1秒ごとの座標点の分布にカーネル密度推定法を適用して顧客存在確率密度分布を推定した結果を示したものである^{注7)}。これによって、売場のどの位置で顧客が存在する確率が高くなるかを一目で把握することが可能となる。例えば、スーパーマーケットにおける入口付近の空間は販売促進上非常に重要な空間として位置づけられているが、メインの入口から風除室を抜けてすぐの場所は顧客存在確率密度が高く、販売戦略上重要な場所であることがデータからも確認できる。

また同一の売場内でも顧客存在確率密度の高い場所と低い場所が存在しており、確率密度の分布に顕著な偏りがあることがわかる。これは必ずしも売場という単位が顧客の存在確率を集計するのに適さないことを示している。

図5-2は図3に示す1人の顧客動線に顧客存在確率密度分布図を重ね合わせたもので、顧客がどの位置で立ち止まったかを一目で把握することができる。顧客存在確率密度が高い場所では、顧客が同じ場所を行き来する、あるいは、顧客が商品選択に迷うなど、特徴的な行動パターンを示した場所と理解でき、顧客の商品選択行動においてポイントになる場所であると考えられる。

3-4. ベクトル場による可視化

次にベクトル場によって店舗内の顧客の流れを可視化する。図6は全顧客の顧客動線から1秒ごとの移動ベクトルを抽出しベクトル平均によって集計した、ベクトル場の様子である^{注8)}。メインの入口から入ってから、店舗の外周通路を時計回りに顧客が流れる様子が把握できる。中通路についても、平均的な顧客の流れが可視化されている。

図7は、顧客存在確率密度の分布とベクトル場表現を重ね合わせて描画したものである。重ね合わせることによって、顧客の存在確率密度と顧客の流れを同時に把握でき、店舗内の顧客の行動のおおまかな特徴を把握することが可能である。実験店舗では、メインの入口から店舗の外周通路を時計回りに回るのが主要動線となっているのがわかる。

4. まとめ

本研究では、RFID技術によって取得したスーパーマーケットの顧客動線を可視化するため顧客存在確率密度とベクトル場の2通りの

図7 ベクトル場と顧客存在確率密度分布との重ね合わせ

手法を適用し検証した。

顧客存在確率密度分布を可視化することで、店舗内における顧客の存在確率密度が場所によって顕著な偏りがあることがわかった。顧客存在確率密度の高い場所は他の場所と比較して相対的にたくさん顧客が長時間存在していること示すものであり、このような場所は販売促進上のポイントとなる場所となると考えられる。また、ベクトル場による表現では、店舗内の顧客の流れがおおまかに把握できることが明らかとなった。これはPOPを出す方向や、デジタルサイネージを設置する場所を決定する際の販売戦略立案支援にすぐに活用することができるものである。

以上のように、本研究では顧客動線データを可視化することによって建築計画やマーケティングに活用できる有用な知見を得ることができることを明らかにした。またこのように、これまでブラックボックス化されてきた店舗内の顧客の行動の特徴を捉えることは、現在経験的に行われている店舗計画・設計に対して定量的な根拠を与え、今後の理論的な考察を飛躍的に促進していくものとする。

課題

今後の課題として以下があげられる。

- ・ POSデータとの対応による、顧客存在確率、ベクトル場と売上との相関分析。
- ・ 顧客存在確率密度推定のためのカーネルバンド幅の最適化。
- ・ ベクトル場表現のための、メッシュユニットサイズの最適化

謝辞

- ・ 本研究は科研費(24730374)の助成を受けたものである。また、本研究に係る顧客動線データは関西大学データマイニング応用研究センターの店舗実験に基づくものである
- ・ 研究の助言を頂いた、大阪大学産業科学研究所鷲尾隆教授、関西大学データマイニング応用研究センター矢田勝俊教授に感謝する。

注

注1) 本研究では関西大学データマイニング応用研究センターが店舗実験を行い取得した顧客動線データを用いる。

注2) POSデータと顧客存在確率密度との相関に着目した研究¹⁹⁾がある。

注3) 本研究ではJAVA言語を用いて開発したアプリケーションにより、すべてのデータ処理と描画処理を行っている。

注4) 本研究で用いたRFIDのシステムでは、複数のカートに取り付けたICタ

グから1秒ごとにその位置情報が取得される。具体的には位置情報とは店舗内を動くカートに取り付けたICタグのX, Y座標の値であり、これがサーバーに蓄積される。図は実験期間に取得したすべてのカートの1秒ごとの位置情報(XY座標)をすべてプロットしたものである。

- 注5) 図は全実験期間中の全顧客動線の1秒ごとの位置座標から顧客存在確率 $\hat{f}_h(x, y)$ を推定し、色分布で示したものである。白色で示される部分が周囲より顧客が存在する確率が高い場所である。
- 注6) 図中のポリラインで示されている1人の顧客動線の1秒ごとの位置情報から推定した顧客存在確率 $\hat{f}_h(x, y)$ を色分布で示したものである。白色で示される部分が周囲より顧客が存在する確率が高い場所である。
- 注7) カーネルバンド幅は1.0mとして、密度推定を行っている。
- 注8) ベクトルの集計は、約1.0m×1.0mのメッシュに平面を分割し行っている。

参考文献

- 1) 周 穎, 長澤 泰 : 看護動線から見た観察病棟の計画に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 576, pp.17~23, 2004.2
- 2) 鈴木 直彦, 平澤 宏祐, 田中 健一, 小林 貴訓, 佐藤 洋一, 藤野 陽三 : 人物動線データ分析による逸脱行動人物の検出, 情報処理学会研究報告. CVIM, 31, pp.109~115, 2007
- 3) Fishkin, K.P., Philipose, M., Rea, A: Hands-on RFID: Wireless wearables for detecting use of objects, Wearable Computers, 2005. Proceedings, pp.38~41, 2005
- 4) 山崎 榮三郎 : RFIDタグのIT図書館への応用(<特集>モバイル環境と情報), 情報の科学と技術, vol.52, no.12, pp.609~614
- 5) Larson, J.S. and Bradlow, E.T. and Fader, P.S. : An exploratory look at supermarket shopping paths, International Journal of Research in Marketing, vol.22, no.4, pp.395~414, 2005
- 6) Hui, S.K. and Fader, P.S. and Bradlow, E.T. : The Traveling Salesman Goes Shopping: The Systematic Deviations of Grocery Paths from TSP-Optimality, vol.28, no.3, pp.566~572, 2009
- 7) Yada, K : Path analysis in a supermarket and string analysis technique, Proceedings of the Institute of Statistical Mathematics, vol.56, no.2, pp.199~213, 2008
- 8) Hui, S.K. and Bradlow, E.T. and Fader, P.S. : Testing behavioral hypotheses using an integrated model of grocery store shopping path and purchase behavior, Consumer Research, vol.36, no.3, pp.478~493, 2009
- 9) Takai, K. and Yada, K. : Relation between stay-time and purchase probability with RFID data in a Japanese supermarket, Proc.of KES 2010, Lecture Notes In Artificial Intelligence (LNAI) 6278, pp.254~263, 2010
- 10) Silverman Bernard, W. : Density Estimation for Statistics and Data Analysis, London / Chapman and Hall, 1986
- 11) Brunson, C. : Estimating probability surfaces for geographical point data : an adaptive kernel algorithm, Computers & Geosciences, vol.21, no.7, pp.877~894, 1995
- 12) 田中 耕市 : 1990年代の東京23区における都市密度変化と土地利用転換 : 事務所建築物と集合住宅を対象として, 地学雑誌, vol.117, no.2, pp.479~490, 2008
- 13) Kholod, M. and Takai, K. and Yada, K. : Clockwise and anti-clockwise directions of customer orientation in a supermarket: evidence from RFID data, Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, pp.304~309, 2011
- 14) 長坂 一郎, 本江正茂 : 3次元ランドスケープ表現による人の行動傾向の視覚的分析, 日本建築学会第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.255~258, 2011.12
- 15) Miyazaki, S. and Washio, T. and Yada, K. : Analysis of Residence Time in Shopping Using RFID Data--An Application of the Kernel Density

Estimation to RFID, 2011 11th IEEE International Conference on Data Mining Workshops, pp.1170~1176, 2011

[2012年2月20日原稿受理 2012年4月24日採用決定]