

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月27日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21504

研究課題名(和文)非線形統計量を用いた店舗内における消費者購買行動の幾何学的モデリング

研究課題名(英文)A Non-linear Statistical Geometric Model of Shoppers' Purchase Behavior at Supermarkets

研究代表者

金子 雄太(KANEKO, Yuta)

関西大学・ソシオネットワーク戦略研究機構・PD

研究者番号：40770300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、店内顧客動線の3次元可視化システムを開発し、動線の幾何形状の複雑度を指標化して、指標が購買行動に与える影響を計量モデルで分析した。可視化システムに時間軸を加えることで、顧客はどの買い物のタイミングで特定の売場に集まりやすいか、といったことを直観的に理解できるようになった。消費者行動モデルの分析から、野菜、魚、精肉といった素材の商品カテゴリーでは、動線の複雑度が増すほど、顧客は商品を購入しやすくなることがわかった。これらの商品の売場では、商品の陳列や告知を工夫して売場の巡回行動を促す経営施策が有効であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は実店舗の消費者行動研究に幾何学的な視点を導入した点に学術的意義がある。本研究では以下の4つの点から消費者の店内購買行動を明らかにした。(1)顧客動線の3次元可視化システムの開発;(2)スケーリング指数による顧客動線の複雑度の定量化;(3)動線の複雑度を含む消費者行動の計量モデリング;(4)動線の複雑度と購買結果の関係性の推定と効果的な売場レイアウトの提言;本研究成果には、売場配置の再検討や店頭マーケティングの効率化など、経営施策改善のための示唆が含まれており、小売・流通業界へ貢献する社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a three-dimensional visualization system of shopping paths in a Japanese supermarket, defined the geometric complexity of shopping paths as an indicator, and, using a consumer behavior model, analyzed how they influence consumer purchases. Adding a time axis to the visualization made it possible to understand intuitively when customers would likely gather on a specific sales floor. Our consumer behavior model revealed that in the commodity category of fresh produce such as seafood and meat, customers became easier to buy products as the complexity of the shopping path increased. Results suggest that managers can encourage customer movement with displays and notifications targeted at shoppers who most often purchase specific commodities, such as housewives among family shoppers.

研究分野：経営学

キーワード：顧客動線データ 動線可視化システム スケーリング指数 消費者行動モデル 売場レイアウト

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

従来、消費者行動研究のマーケティング領域では、J.D.C. Little (Guadagni and Little 1983)を中心に、購買履歴データを用いて顧客の購買行動を解明しようとする研究が数多くされてきた。一方、近年では AI やビッグデータをはじめとする情報科学とセンサー技術の急速な発展によって、店内の顧客の行動を詳細に把握することが可能になった。本研究で集中的に取り組む顧客動線研究は、店内の顧客の移動経路情報と購買履歴データを組み合わせて消費者行動モデルを提示するものであり、現在最も注目を集める研究領域の一つである。

店内の顧客動線を扱った先行研究として、Larson (Larson et al. 2005)は顧客動線データに多変量クラスタリングを適用し、典型的な顧客の移動経路を発見する研究を行った。Hui (Hui et al. 2009)は、顧客の巡回セールスマン問題を考え、売場巡回の最短経路と動線との偏差から、顧客の店内回遊と売上との相関を明らかにしている。こうした先行研究では、動線と店舗の売上を結びつけてはいるものの、動線そのものの幾何学的な性質には着目しておらず、動線の特徴を定量化するには至っていない。そして、顧客動線研究において、動線の幾何形状と複雑度まで考慮した研究例はない。店舗レイアウトと顧客動線を結びつけ、顧客動線データの性質をより深く理解するためには、従来のマーケティング研究にはなかった、幾何学的に動線を捉える視点が必要になる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、顧客動線の幾何学的な複雑度を定量化し、動線の複雑度が購買行動に与える影響を明らかにすることである。本研究では、店内の顧客動線データを可視化システム内の仮想売場に構成した上で、その幾何形状と複雑度を特定し、動線の幾何構造の特徴を含む説明変数を行動モデルに組み込んで、消費者行動の特徴を明らかにする。また、複雑度の指標を基に、売場レイアウトの改善策を提案する。上記の目的を達成するため、本研究は次のような具体的内容に取り組む。(1) 本研究では、顧客動線データを幾何学的な観点から解析するため、動線の幾何形状をデータから抽出し可視化するシステムの開発が必要になる。店舗の2次元マップを、時間情報を含んだ3次元マップに拡張し、顧客動線を時空間的に可視化するシステムの開発に取り組む。(2) 可視化システム上で顧客動線の幾何形状を定義する。そして、時空間的に定義された顧客動線に対して、幾何形状の複雑度を導出し、多面的に顧客動線の複雑度を評価するための時系列解析を実施する。(3) 求めた複雑度の有効性と妥当性を確認した上で、それらを組み合わせて顧客の店内回遊のパターンを同定する行動モデルを開発する。(4) 開発した行動モデルと購買履歴データを組み合わせることで、動線の幾何形状と複雑度から購買結果を推定する。また、店内広告と顧客動線の関係性を考慮し、広告の頻度に対する感度分析など、マーケティングの実証研究も遂行する。

### 3. 研究の方法

本研究では、顧客動線データから顧客動線を可視化システム内に構成し、動線の幾何形状の複雑度を定量化して店内の消費者行動を明確化していく。顧客動線データは関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構より、2012年の9月と10月の2ヶ月分、顧客約22,000人分が提供されている。我々は、顧客動線の3次元可視化システムの開発に先行して、2次元マップで動線の空間的特徴を抽出する可視化システムを開発している(金子、宮崎、矢田 2015)。本システムを基に時間軸を加え、時空間的な動線の特徴を抽出できる可視化システムの開発に取り組む。同時に、2次元可視化システムから把握された動線の特徴を考慮して、消費者行動のモデリングを進めていく。

続いて幾何学的な動線の複雑度を特定する研究に着手する。最も注目すべきは動線のスケールリング指数である。顧客動線データは、1秒毎に記録された離散的なデータ構造を有しており、離散数学からの分析のアプローチと相性が良い。さらに2次元上のマップに動線を再現できることから、ボックスカウント法でスケールリング特性を調べる方法論が有効である。このスケールリング特性を動線の複雑度として定義し顧客毎に指標化する。本指標を用いて計量モデルを組み、適切な推定方法で小売店における消費者の購買行動を推測する。そして、消費者の購買意思決定に与える顧客動線の幾何学的特性の決定的要因を明らかにする。

### 4. 研究成果

#### (1) 顧客動線の可視化システムの開発

研究を進めていく過程において、店内の空間構造と消費者行動のつながりを定式化する必要性があった。まず顧客動線データから、店内消費者行動の時空間的な構造を目視できるような可視化システムを、Processingを使って開発した。図1は実際の顧客動線の可視化である。本システムでは、縦軸を時間軸とし自在に伸縮できるように調整したことで、拡大縮小して顧客動線の全体像を確認できる。顧客一人の動線から顧客群の動線まで可視化をフォローしており、例えば顧客群の動線を可視化すると、密度の濃い箇所から、どの買い物のタイミングで顧客が集まりやすいか、

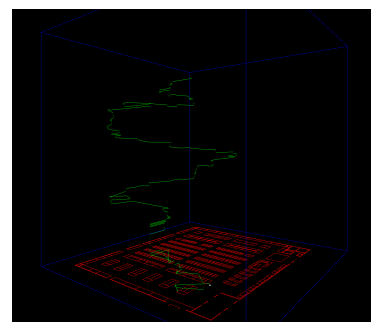


図1：顧客動線の可視化

といった傾向を直観的に把握できる。図1で横方向の移動は、速度が速く空間移動型の行動であり、縦方向の移動は速度が遅く時間移動型の行動といえる。顧客は買い物の段階によって様々な行動を取りうるということがわかる。

### (2) 顧客動線の複雑度の指標化

顧客の店内巡回行動の複雑度を定量化する指標として動線のスケーリング指数を導入し、購買行動との関連を調べた。データから顧客1,000人を無作為に抽出し調べたところ、指標は1.067以上1.4365以下の範囲に分布し平均値は1.225であった。顧客全体の傾向として、顧客動線の複雑度をフラクタル次元のようなスケーリング指数で表す場合、自然現象の平均的な複雑さ(=1.3)とほぼ同等であることが明らかとなった。指標の中央値で上位顧客と下位顧客を分けて、売場訪問数、バスケットサイズ、滞在時間、金額合計の平均値を比較した結果、上位の顧客層と下位の顧客層で有意な差が観測された。特に、バスケットサイズ、金額合計で差がみられたことから、巡回行動の複雑さが増すと、平均的に顧客はより多く買い物をすることが明らかとなった。2項ロジットモデルで顧客の購買行動を分析した結果、野菜、魚、精肉といった素材となる商品カテゴリーでは、指標が高くなるほど顧客は商品を購入しやすくなることがわかった。素材の商品カテゴリーでは、巡回行動の複雑さやランダム性が強まると、顧客は商品を購入しやすくなると言える。素材は日々の値段の変動が激しく、また鮮度の影響を受けやすい。そうした商品比較で考慮すべき要因が増えることが、顧客の巡回行動を促進し購買結果に結びついていると考えられる。さらに顧客層を考えると、素材をよく購入するのはファミリー層の主婦である傾向が強い。惣菜などの加工品は単身者が手軽さを求めて購入する。野菜、魚、精肉を購入する主婦層に対しては、商品の陳列や告知を工夫するなどして、売場の巡回行動を促す経営施策が有効と考えられる。一方、惣菜や一般Bの商品カテゴリーでは、購買に対し指標は統計的に有意でなかった。顧客動線の幾何形状は、顧客の年齢や性別、家族構成によって違ってくる考えられる。顧客の巡回行動が購買行動に与える影響をより深く理解するために、デモグラフィック属性などの詳細な変数を導入することが今後の課題である。

### (3) 消費者行動モデルの構築

本研究では売場間の顧客移動と売上との関連を明らかにする動的ベイズモデルを提案した。先行研究では、顧客の売場訪問数や売場滞在時間といった指標が購買に与える影響を調べていた。我々は売場の隣接関係を行列形式で定義し、顧客の潜在的な売場訪問数をマルコフ場として表現することで、売場訪問の時空間構造を需要予測モデルに組み込んだ。本研究で構築した動的ベイズモデルでは、スーパーマーケットの顧客動線データ約6週間分を学習データとして用いて、その後1週間分の各カテゴリーの商品売上を予測した。結果として、テストデータの挙動をモデルで再現することに成功し、安定的な95%予測区間と特殊なセール時のデータなどを分離するモデリングを実現できた。本提案モデルは状態空間モデルの一形態として体系化され、図2からわかるように、トレンドモデルでは売上の長期的な変動を捉えることができ、例えば月中で売上が落ちる傾向にあることなどを発見できる。季節調整モデルでは午前と夕方への二回、売上の上がる時間帯がある(図3参照)。顧客の潜在的な売場訪問数のモデル化では、売上への影響の強い売場の訪問数を可視化することができる(図4参照)。本提案モデルによる分析では、訪問数の多い一般Bと惣菜の商品カテゴリーでは、訪問数は売上への影響が非常に大きい。また、酒、冷食、ドリンクの商品カテゴリーでは、根本的に全時間帯の訪問数を増やす経営努力が必要といえる。このように売場訪問数と売上金額を連動させてモデル化することで、経営施策の改善に役立つ様々な示唆を得ることができる。今後は本提案モデルをウェブログデータといった別種のパスデータの分析にも応用していくことを計画している。

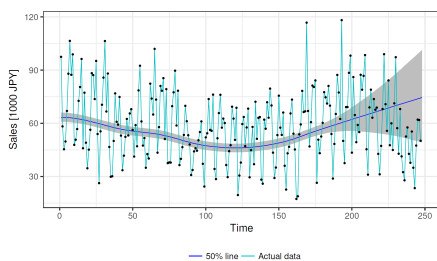


図2：野菜と鮮魚売場の売上とそのトレンド

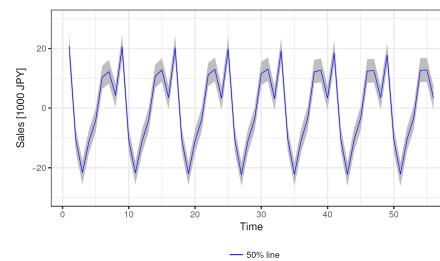


図3：野菜と鮮魚売場の売上の季節成分

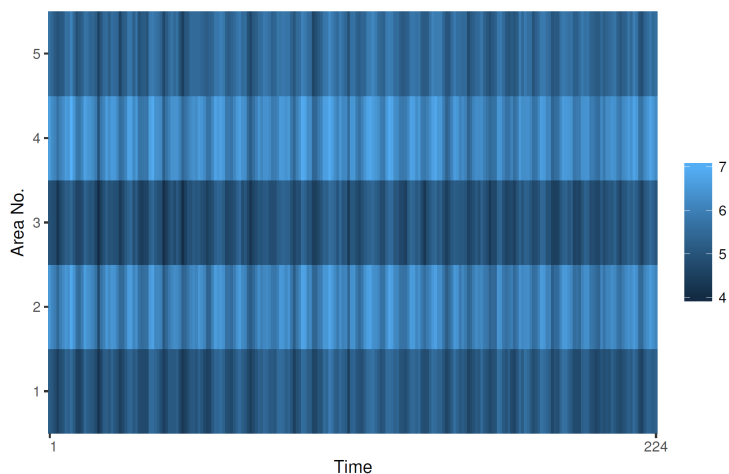


図4：顧客の潜在的な売場訪問数；縦軸は商品カテゴリー、横軸は時間帯を表す。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Y. Kaneko and K. Yada, “Bayesian Hidden Markov Model for Evaluating the Influence of In-Store Stationary Time of Customers on their Purchase Behavior,” In *Proceedings of the 2018 IEEE 5th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, 査読有, 2019, in press.

金子雄太, 石橋健, 矢田勝俊, “視線追跡データ取得のための店舗実験と消費者行動の分析 - 消費者の注視情報から購買傾向を探る -,” *経営システム*, 査読無, Vol.28, No.2, 2018, pp.103-108.

Y. Kaneko, and K. Yada, “Do Sales Promotions Affect Dynamic Changes in Sales Outcomes: Estimation of Dynamic State of Product Sales,” In *Proceedings of the 2017 IEEE 4th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, 査読有, 2018, pp.19-26.

金子雄太, 矢田勝俊, “スケールの階層性から探るスーパーマーケットの消費者行動,” *オペレーションズ・リサーチ：経営の科学*, 査読無, Vol.62, No.12, 2017, pp.807-814.

Y. Kaneko, S. Miyazaki, and K. Yada, “The Influence of Customer Movement between Sales Areas on Sales Amount: A Dynamic Bayesian Model of the In-store Customer Movement and Sales Relationship,” *Procedia Computer Science*, 査読有, Vol.112, 2017, pp.1845-1854.

Y. Kaneko, and K. Yada, “Fractal Dimension of Shopping Path: Influence on Purchase Behavior in a Supermarket,” *Procedia Computer Science*, 査読有, Vol.96, 2016, pp.1764-1771.

〔学会発表〕(計7件)

Y. Kaneko, and K. Yada, “Bayesian Hidden Markov Model for Evaluating the Influence of In-Store Stationary Time of Customers on their Purchase Behavior,” *The 2018 IEEE 5th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, 2018.12, Fiji.

Y. Kaneko, “Data Science for Analysis of Path Data in Marketing,” *JST CREST: The 4th International Workshop on Innovative Algorithms for Big Data*, 2018.11, Osaka.

金子雄太, 石橋健, 矢田勝俊, “視線追跡データを用いた消費者の店舗内購買行動の分析,” *経営情報学会*, 2018.6.29, 横浜.

Y. Kaneko, and K. Yada, “Do Sales Promotions Affect Dynamic Changes in Sales Outcomes: Estimation of Dynamic State of Product Sales,” *The 2017 IEEE 4th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, 2017.12, Fiji.

Y. Kaneko, K. Yada, “Fractal Analysis of Shopping Paths,” *JST CREST: The 3rd International Workshop on Innovative Algorithms for Big Data*, 2017.11, Tokyo.

Y. Kaneko, S. Miyazaki, and K. Yada, “The Influence of Customer Movement between Sales Areas on Sales Amount: A Dynamic Bayesian Model of the In-store Customer Movement and Sales Relationship,” *The 21st International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, 2017.9, Marseille, France.

Y. Kaneko, and K. Yada, “Fractal Dimension of Shopping Path: Influence on Purchase Behavior in a Supermarket,” *The 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, 2016.9, York, United Kingdom.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kansai-u.ac.jp/dslab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。