

## 5. 実データから顧客行動シミュレーションができるまで

寺野隆雄（東京工業大学 情報理工学院）

### エージェントのモデルと人流分析

エージェント・ベース・モデリング(ABM)では、個々のエージェントを個人や組織のモデルと考え、エージェントを取り巻く環境とのインタラクションの中で創発する現象を分析する。これによって、社会システムをうまくデザインする方法を見出すことがその主要な目的である。これまで、我々は、社会ネットワーク上の諸現象、企業組織における不祥事とカイゼン活動、また、歴史や考古学におけるミッシングリングの探索など、さまざまな分野で研究を続けてきた<sup>1)</sup>。

そこには、当然ながら、実際の人々の動きをシミュレーションで分析するという課題も含まれる。単純ではあるが、人をエージェントに、その行動規則をルールや問題解決器に、環境を道路や混雑の状況などに割り当てればよい。個々のエージェントの

動きは単純であっても、非常に複雑な現象を観測できるようになる。実際に、本特集に見られるとおり、災害時の避難シミュレーションや、交通問題など人の動きにまつわるテーマは多い。

本稿では、特に、スーパーマーケットにおける顧客行動の分析にABMを適用した経験に基づいて、人流シミュレーションにかかわる諸課題について報告する。

### シミュレーションの目的と実現にいたるまでの課題

我々が、実際の店内での顧客行動の解明に興味を持ったのは、サービスサイエンスの文脈で、中小企業におけるロングテールビジネスの可能性について研究を行ったときである。そこでは、地方都市のスーパーマーケットを対象に、マーケティング意思決定を高度化することをねらっていた(図-1)。なお、このプロジェクト全体は、七福神から名前を拝借してダイコク(DAIKOC: Dynamic Advisor for Information and Knowledge Oriented Communities)と名付けた<sup>2)</sup>。

推薦システムやデータマイニングでしばしば使われる相関ルールの技法で、都市伝説化している「ビールとおむつの売上は相関が高い」という説の再発見ではないが、スーパーマーケットで客がどのように移動してどのように買い物をし

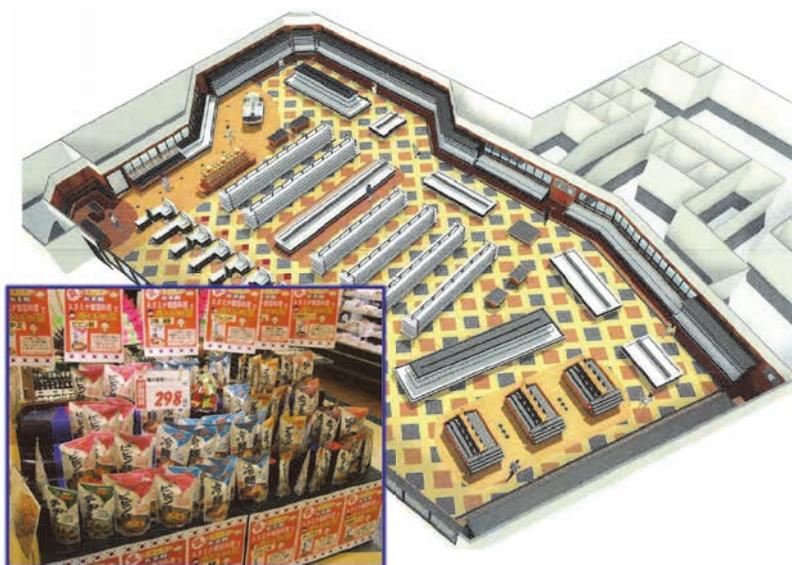


図-1 対象とするスーパーマーケットの俯瞰図

ていくのかが詳細に分かれれば、それに合わせたマーケティングが可能となるし、また、コストのかかる売場のレイアウト変更の効果もシミュレーション上で仮想的に実験できる。そして、「データマイニング」と「シミュレーション」を統合することで、利用者に対する説得力の強い、しかも、意思決定者にとって納得感のある非専門家にも使いやすいシステムの実現をはかった。これがうまくいったかどうかは微妙なところである。しかし「役に立つ」シミュレータを実現するには、以下の3つの課題を解決しなければならなかった。

## ● 課題1：エージェント歩行者モデル

兼田らのテキスト<sup>3)</sup>にもいくつか紹介されているように、混雑時の歩行者シミュレーションに適用可能なモデルはいくつか存在する。典型的なものとしては、複雑系物理学者の Helbing が発表したものがよく知られている。

採用したのは、我々が以前に開発した避難シミュレーションのための ABM 行動モデルである。これは、エージェントは、有限の視界を持ち、ゴールに向かってできる限り最短経路で移動するという単純なものである。それでも、視野の大きさや障害物回避ルールを工夫することで、渋滞学<sup>4)</sup>で記述されているような、混雑時の群衆の動きを再現することは可能であった。

しかし、スーパーマーケットの顧客の移動は、このような群衆の動きとは根本的に異なる。顧客は、不明確かつ変更されやすい購買目的と予算制約を持ち、しかも非計画購買を誘発する店内情報の影響を受ける。さらに、店舗内では顧客は2～3回売場を巡回する、20～30分店内にとどまるなどの経験則が知られている。これらをすべてモデルに実装することは不可能である。できるだけ少数のパラメータで表現できる単純な原理に従う ABM を設計し、それを実際の顧客行動の測定結果と合致するようにチューニングする必要がある。

## ● 課題2：店舗の協力と測定コスト

従来、回遊行動の分析を正確に行うためには、調査員が顧客と行動を共にしてデータを取得するという方法が行われてきた。これは、高コストである上に、調査員の存在が回遊行動に影響を与える可能性もあり望ましいとはいえない。近年、カメラ画像や、IC タグを用いる方法が実用化されてはいるが、これもコストがかかりすぎる。

とにかく、対象としたスーパーマーケットは、来客数は1日2,000人、一人あたりの購買額は平均2,000円程度という中小店舗である。おおげさなことはできない。幸いなことに、この店舗の場合は、実験の協力を得ることができたが、それでも実データを取るために顧客に不愉快な思いをさせることは許されない。

そこで、測定実験においては、まず、店内の主要な個所とカートとに専用のセンサデバイスをセットした。これによって、カートの動きから顧客の回遊行動を推定することが可能となった。そして、レジを通過する時点で、顧客のポイントカードの情報と購買商品との関連付けをすることによって、回遊行動履歴、購買商品、顧客行動の3者を関連付ける方針とした。これにより、最新のビジネス顕微鏡のような精度の高い方法には劣るものの、2桁ほど安価なコストでデータを取得することが可能となった。

## ● 課題3：センサの誤差とデータ統合

実データ取得に利用したデバイスは、既存のICカードなどのデバイスではなく、電波強度で距離が推定できるものである。これを店内とカートに70個ほどセットし、開店中のデータを取得しつつ、閉店後に、データを回収し、夜中に分析するといういささか過酷な作業を行った。この状況は、図-2のようにまとめられる。

しかし、この種の間接的なデータ収集方法は、誤差が多く整合的なデータを得ることは難しい。1週間のデータ収集実験を2回実施したが、この分析には、半年以上の作業が必要であった。標準的なデータマイニング手法を取得データに適用したが、相関



図-2 顧客行動を測定するためのセンサ例と実験システムのセンサ配置

ルールの結果などは意味が解釈できぬものが多くあまり役立たなかった。しかしながら、これが ABM におけるエージェントの基礎データとなった。

## 顧客行動シミュレータ ABISS

開発したシミュレータは、やはり七福神から拝借してエビス (ABISS: Agent-Based In-Store Simulator) と名付け、書籍<sup>3)</sup>でも利用されている artisoc で実現した。

シミュレータでは、顧客の大きさである 1 セル 60cm × 60cm を基準として、ターゲット店舗の CAD 図を基に仮想店舗を表現している。仮想店舗内には壁のほかに、入口、レジ、商品が設定される。商品は、商品区分と棚位置によって分類されており、合計 1,176 品が設定され、それぞれの商品が平均単価、購買選択確率を持つ。

シミュレータは、1 秒 1 ステップとして、営業時間である 12 時間、43,200 ステップを 1 回のランとする。

顧客エージェントは入口にて生成される。そして、レジに到達したときに自身のログを残し削除される。顧客エージェントの入店確率は、実際のデータの測定結果に基づいて、1 時間ごとにポアソン分布に従って決定される。

エージェントは、店内では、以下のような動きをする。まず、入店時に購買予定リストを設定する。店内ではリストに従って店舗内を回遊するが、回遊途中で商品周辺を通った場合は、購買予定リストの商品があれば必ず購入する。それ以外の商品については、購買選択確率と売り場に設定可能なプロモーションに依存して購入する。購買予定リストの商品がなくなったら、レジに向かい退店処理を行う。

図-3 にシミュレーションのスナップショット、店内の重要な位置、顧客動線の重ね合わせ例を示す。技術的な詳しい内容については、文献 5)、6) を参照されたい。

## ABISS から分かったこと

ABISS を利用したさまざまな条件のもとでシミュレーション実験を実施した。結果から得られた内容に関する考察を以下にまとめる。

ABISS により 1 日の顧客の典型的な行動をもっともらしく再現することは可能である。しかしながら、実際の顧客行動とエージェントの動きを一致させることは、非常に困難である。エージェントのパラメータは個々のエージェントごとに異なるが、このチューニングを試みた後は、エージェントの 70%

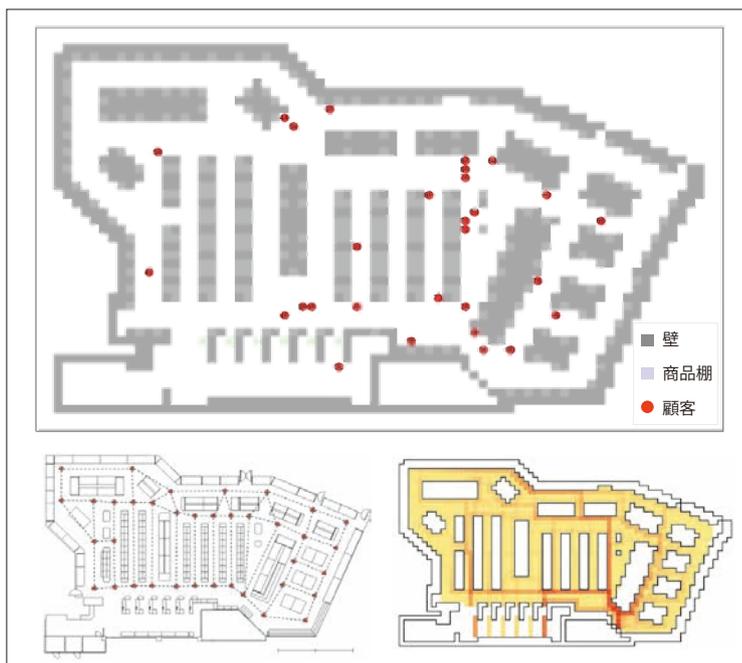


図-3 顧客行動シミュレータ ABISS の概略

程度は実際の顧客のように動く。しかしこれでは、ABISSの結果を個々の顧客行動予測に直接的に利用することは難しい。

ABMによるシミュレーションは、マクロな状況を知るのには有用だがマイクロなレベルで実際の事象との整合をとろうとすると矛盾を生ずる。同様な議論が、ダブリン市内を対象とした大規模交通シミュレーションでもなされている。交通流や人流シミュレーションの限界である。

一方、店内の商品配置の変更による顧客行動の変化を予測する What-If 分析には、ABISSの機能は十分である。特に、スーパーマーケットの商品配置は季節性が強く、新たな商品配置の試行には、現実の変更が不要な ABM の手法は有効である。

また ABISS では、特定の店舗に特化したシミュレーションのみを行っている。しかし、得られた結果は、関連研究に見られる顧客行動に関する一般的な知見と共通するものが多い。これは、一度、精緻なモデルを実現しておけば、同様な領域で、さまざまな目的でシミュレータが利用できることを示唆する。

## これからの研究への示唆

ABISS に関する研究開発においては、研究資源が絶えず不足する状況であったにもかかわらず、実データの取得・分析からエージェントシミュレーションに至るまでの一貫した活動ができた。これは、対象店舗の協力ならびに参加した学生諸君の努力のたまものといえる。人流分析の研究ではこのような実世界での実践が不可欠である。

もちろん、顧客行動の分析・解明という観点からは、回遊モデルのいっそうの単純化・精緻化が重要である。また、シミュレーションのCG化など分かりやすい表現の実装も必要である。

さらに、今後は、大規模商業施設あるいは客単価が高い商品などを対象として、コストをかけることが許される領域で同様の研究が実践できれば得るものも非常に大きいと考える。この種の大規模な測定データは、個人情報やセキュリティの問題はあるものの、研究者の間で共有する仕組みができれば有用であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 寺野隆雄：研究のネットワークがつながるとき、人工知能, Vol.31, No.2, pp.287-298 (Mar. 2013).
- 2) 寺野隆雄, 高橋雅和：中小ロングテールビジネスを支える双方向情報推薦システム, 人工知能学会誌, Vol.26, No.6, pp.743-749 (Nov. 2008).
- 3) 兼田敏之 (編著)：artiscoc で始める歩行者エージェントシミュレーション—原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで—, 構造計画研究所 (2010).
- 4) 西成活裕：渋滞学, 新潮選書 (2006).
- 5) Terano, T., Kishimoto, A., Takahashi, T., Yamada, T. and Takahashi, M. : Agent-Based In-Store Simulator for Analyzing Customer Behaviors in a Super-Market, Velasquez, J. D. et al. (Eds.), Proc. KES 2009, Part II, LNAI 5712, pp.244-251 (2009).
- 6) Fujino, T., Kitazawa, M., Yamada, T., Takahashi, M., Yamamoto, F., Yoshikawa, A. and Terano T. : Analyzing In-Store Shopping Paths from Indirect Observation with RFID Tags Communication Data. RISUS - Journal on Innovation and Sustainability, Vol.5, No.1, pp.86-96 (Jan. 2014).

(2017年5月7日受付)

寺野隆雄 (正会員) ■ terano@dis.titech.ac.jp

1978年東京大学修士。1978～89年電力中央研究所。1990～2004年筑波大学。2004年より東工大教授。社会シミュレーションなどが専門。人工知能学会, OR学会, IEEE等各会員。