

マルチエージェントモデルを用いた店舗内行列現象のメカニズムの解明

08601029 高橋 紀子 (Noriko Takahashi)
群馬大学社会情報学部情報行動学科 意思決定科学研究室

現代の様々な場面において行列と呼ばれる現象は起きている。だが、そもそも人間は並ぶことが好きなわけではないのに、なぜ行列現象は起こるのだろうか。人間の感情とは違う部分で行列を起こす原因となっている要因があるのではないかだろうか。行列現象を対象とした研究としては待ち行列理論 (Queueing Theory) が挙げられるが、この理論では混雑状況を全体的な視点から見た解決方法は示唆できても、個々の人間の状況や性質の差を考慮することはできない。そのため、本研究の目的は人間が行列を作る現象のメカニズムを、人間一人一人が有する内部状況や外部状況から解明することであるとする。本研究ではそのために、マルチエージェントモデルを構築しそれを基にしたシミュレーション実験を行った。まず現実世界での観察を某コンビニエンスストアで行い、観察の結果から、仮説的に「客の人数」「客がレジに来るまでの速さ」「レジでの会計処理にかかる時間」が行列現象を起こす要因になり得るのではないかという考えに基づいて分析を進めた。実験結果から、現実世界の観察から予想された行列を起こす条件となり得る 3 つの要素が、行列現象の発生やその大きさに大きな影響を与えているということをより確信的なものにすることができた。それぞれの結果の増減を見ると、現実世界で見られたような現象の一端が表れていて、それぞれの条件の変化によってどのようなことが起こるかを再確認した。

1 はじめに

現代の様々な場面において行列と呼ばれる現象は起きている。コンビニエンスストアやスーパー、マーケットなどの屋内における行列は、その都度様々な形となって現れる。だが、そもそも人間は並ぶことが好きなわけではないのに、なぜ行列現象が起こるのだろうか。人間の感情とは違う部分で行列を起こす原因となっている要因があるのではないかだろうか。

行列現象を対象にした研究としては、待ち行列理論 (Queueing Theory) が挙げられる。この理論は混雑状況を全体的な視点から見た解決方法は示唆できるが、個々の人間の状況や性質の差を考慮することはできない。本研究ではこのような個々の条件の違いを考慮した分析を行うため、マルチエージェントシステムを用いたシミュレーションを行うこととした。

本研究では行列のメカニズムを探るために、まず現実世界での観察を某コンビニエンスストアで行い、行列現象を起こす要素になり得る条件の予想を立てた。それらの条件を変えながらシミュレーション実験を行い、人間が行列を作る現象がなぜ起きるのかを、人間一人一人が有する内部状況や外部状況から解明することが本研究の目的である。

2 マルチエージェントモデルの構築

2.1 現実世界の観察から

シミュレーションを行うためのモデルづくりに入る前に、まず実際に行列現象が起きている某コンビニエンスストアでの観察を行った。そ

こで見られた客の動きから、客の行列行動に影響を与える条件として以下のものが挙がった。

- ・客の人数
- ・店を回る順路が決まっている/決まっていない
- ・買うものが決まっている/決まっていない
- ・買うものの個数
- ・支払い方法

これらは、実験上では非常にシンプルな意味を持った変数に置き換えることができる。本研究では、仮説的に「客の人数」「客がレジに来るまでの速さ」「レジでの会計処理にかかる時間」の 3 つが行列現象を起こす要因になり得るのではないかという考えに基づいて実験を行うこととした。設定した変数については後述する。

ステップと施行

本研究では株式会社構造計画研究所より学術研究用に無償配布されているマルチエージェントシミュレータ『artisoc』を使用する。artisoc のシミュレーションは「ステップ」と呼ばれる単位で実行される。ステップごとに artisoc は Universe のルール内の Univ_Step_Begin を実行し、次に Universe 以下に含まれる全てのエージェントの Agt_Step をランダムな順序で実行し、最後に Univ_Step_End を実行する。これらすべての実行が終わるとステップが一つカウントアップされる仕組みになっている。本研究では便宜上、ステップ 0 でシミュレーションを開始してから終了するまでの一回のシミュレーションを「施行」と呼ぶことにする。

2012/1/28

2.2 モデルの構築

2.2.1 店内モデル

空間の大きさは 50×50 とし、空間のループはないものとした。品物の棚が 5 つあり、レジスタ（客が会計を行う場所）が 1 つある想定である。入口・出口の概念はなく、シミュレーションが始まった瞬間から客は店内にいるものとし、レジでの処理を終えた時点で客は店内からいなくなるものとする。

2.2.2 エージェントモデル

(1) お客様を表す customer

- ・シミュレーションの最初に空間にランダムに配置
- ・商品を三つ取ってレジまで行く
→事前設定において買うものを固定させる
- ・基本的には毎ステップ自分の向いている方向に向かって 1 進む
- ・毎ステップ自分が今取りに行こうとしている商品の方に向かせる
- ・レジでの会計を済ませると店内から出ていく
→レジに着き、処理の順番がまわってきてから一定時間経つと空間から消去

(2) 商品を表す shelf

- ・数を 5 つで固定
- ・場所を固定（座標 (25, 25), (6, 12), (12, 42), (36, 6), (42, 36)）
- ・店内空間にあるため、イメージとしては商品棚
- ・レジを表す counter
- ・数を 1 つで固定
- ・場所を固定（座標 (50, 50)）
- ・レジでの会計処理は一人ずつ行われる

店内モデルを作り、(1)～(3)のエージェントを配置したシミュレータ上に表示させる MAP 画面が以下の図 2-1 である。

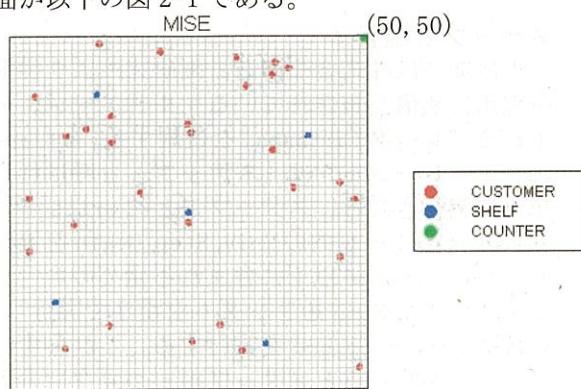


図 2-1 店内モデル

2.2.3 行列モデル

エージェントは目的の商品を買うため商品の

場所を経由し、3 つの商品を取ったらレジへ向かう。本研究においては、1 人以上並んだ時点で「並んでいる」と判断するものとする。

シミュレーション中レジで行われる会計処理は、客エージェント一人ずつ順に行われていくものとする。一人が会計処理を行っている際に他のエージェントがレジに辿り着いた場合、処理途中のエージェントが空間から消えるまで他のエージェントの会計処理は始まらない。買うものは既に手に入れていて、かつレジにいるのに会計処理が始まっていないエージェントはその場（座標 (50, 50)）に留まるので、シミュレーションにおいてはその人数を数えることで、一つのレジに客が並んでいるという状況が再現できると考えた。

2.3 実験で使用する値の組み合わせ

本実験では、以下の 3 種類の変数の値を変化させて行った。

(1) customer の数

ここでは最初に空間に配置する客エージェントの人数を設定。3 種類の値を設定した。現実世界において、元もと店に何人客がいたかということが行列の様相を変える要素であると考えたため、最初に空間にばらまくエージェントの数を変えていくことにした。

※ 使用する値 : 10 20 30

(2) machi

この変数ではレジで 1 エージェントに与える会計処理の時間をステップ数で設定。3 種類の値を設定。レジでの会計処理にかかる時間の違いは現実世界においては、配置された従業員の熟練度の違いによる処理の速さ、例えば長年その仕事を続けてきた熟練者か入ったばかりのアルバイトか、といった要因によるものと考えた。

※ 使用する値 : 5 10 15

(3) speed

この変数では 1 ステップにエージェントが進む距離を設定。全エージェントが全く同じ speed の場合と、エージェント内で speed の遅いものがある割合で存在する場合に分けて実験を行った。それぞれの場合において 3 種類の値を設定した。

ここにおける speed の速い／遅いの違いは、現実世界において目的の商品を取ったら一直線にレジに向かう客と、目的が決まっていない客や目的の商品以外にも他の商品を物色しながらレジへ向かう客などの差と考えた。割合における「遅い」 speed は 0.5、「速い」 speed は 1.0 を指定した。

※ 使用する値と割合 : 0.5 1 1.5
 $0.5:1.0=3:7$ $0.5:1.0=5:5$ $0.5:1.0=7:3$

2012/1/28

(1)～(3)の変数の値を組み合わせ、全部で54通りの組み合わせで実験を行った。

2.4 実験方法

実験における基本ルールは以下のとおりである。

(1) 1 施行はシミュレーションの開始から customer の数が 0 になりシミュレーションが終了するまで

(2) 一つの組み合わせで 100 回の施行を繰り返す

(3) 出力するデータ : Universe.machi に格納されている値 (1 ステップごとのレジ待ちの人数)

実際に用いる作業は以下の図のような順序で進めていく。



この作業を全組み合わせにおいて行い、結果を出力させた。その結果のデータをもとに、分析を行った。

3 シミュレーション結果の分析と考察

3.1 分析方法

実験計画に沿ってシミュレーションを実行し、そのデータを集計した。得られたデータは各組み合わせにおける 1 施行が終わるまでにかかるステップ数と、1 ステップごとの並ぶ人数である。

本研究における分析は、値が変化する 3 種類の変数のうち 1 つを固定した場合と 1 つだけ変化させた場合の二点に注目して行うこととする。具体的には以下の【分析 1】と【分析 2】の視点から分析を行っていく。

【分析 1】3 種類の変数のうち 2 つを固定して 1 つの変数の変化による結果の差を見る

【分析 2】3 種類の変数のうち 1 つを固定して 2 つの変数の変化による結果の差を見る

●分析 2-1：待ち人数の最大値と平均値について、結果そのままの値でグラフにした。ここでは全体的な値の推移を見る。

●分析 2-2：分析 2-1 の結果をさらに確信的なものにするために、分析 2-1 で使用したデータのうち 1 つの変数を固定して抽出した値の平均値を取り、その推移を見た。

これらの視点から結果を比較することによっ

て、行列のでき具合に変化を与えており、行列が起こる要因となり得る要素を見つけ出すことができると思った。

分析のために、並ぶ人数の 1 組み合わせ中の最大値と平均値、1 施行終わるまでにかかるステップ数の 1 組み合わせ中の最大値、平均値がそれぞれ必要となるため、csv 形式で保存された実験のデータを Excel で集計した。

ここにおいて待ち人数平均値の計算方法は以下の式である。

平均値 =

待ち人数が 1 人より多い場合のデータの値の合計／待ち人数が 1 人以上のデータの個数

3.1.1 artisoc における設定変数

モデルを artisoc で作成するために、以下のような変数を設定した。

【Universe 変数】

machininzu : レジでの待ち人数をカウントするための変数

machi : レジでの会計処理に必要な 1 エージェントあたりのステップ数、コントロールパネルで変更可

speed : エージェントが 1 ステップごとに進む距離、コントロールパネルで変更可

rs : 1 施行ごとの乱数シード値を格納する変数

【customer エージェントの変数】

X, Y : 位置座標

Direction : エージェントが向いている方向

kaumono : 買うものの個数。初期設定は 3 を与えている。商品の場所に辿り着くごとに値が 1 減っていき、この値が 0 になるとレジへ向かう。

machi : エージェントがレジに着いた時点からステップ数をカウントして格納する。これが Universe.machi と同じ値になったエージェントは空間から消滅する。

list : 配列変数。エージェントそれぞれが 5 個ある商品 (0, 1, 2, 3, 4) に対して (1, 1, 1, 0, 0) のように 3 個の買う商品のリストに 1 が表示されているイメージ。

syouhin : list の商品の座標位置を格納してある変数。エージェントが自分の向く方向を決めるときに値を取り出して使う。

【shelf/counter エージェントの変数】

X, Y : 位置座標

3.1.2 customer エージェントの行動ルール

3.1.1で設定した変数を用いて、customer エージェントの行動ルールをシミュレータ上に設定した。以下に行動ルールのフローチャートを示す。

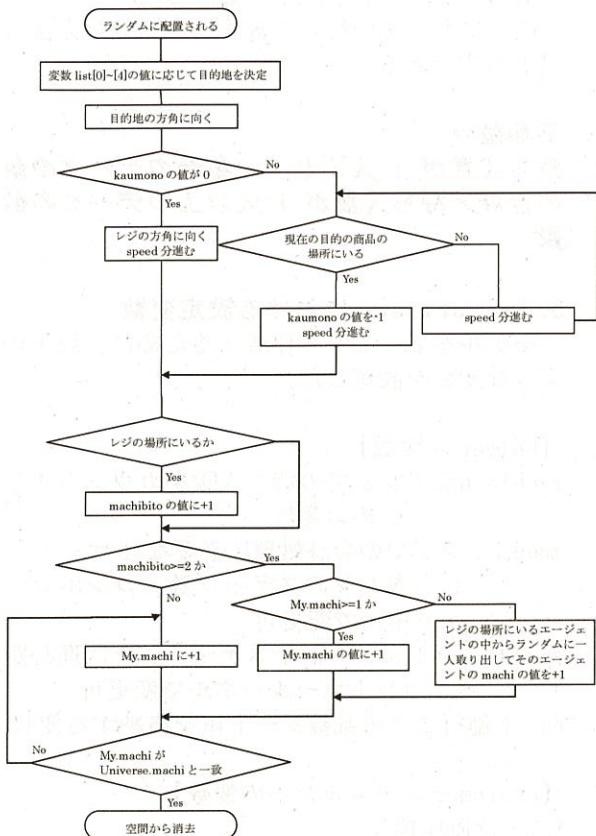


図 3-1 customer エージェントの行動ルール

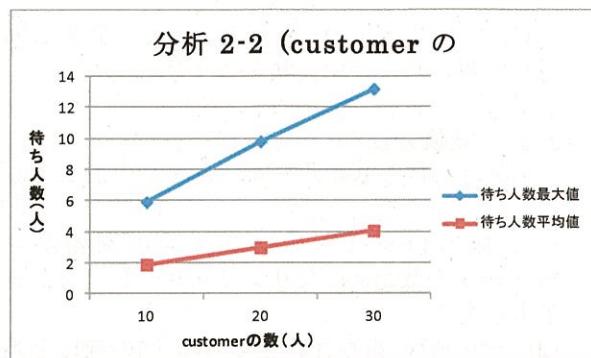
3.2 結果の分析と考察

先述した分析方針に沿って結果を分析していくところ、本研究の目的であった行列のメカニズムを解明するための鍵となる要素について以下の結論を得た。なお、すべての分析結果のグラフはほとんど同じ推移の形を取っていたため、最も典型的なものを例として載せている。

【customer の数(最初に店内にいる客の人数)】

最初にいる客の人数は、できる行列の最大人数と、平均人数、つまり店内の客がいなくなるまでの行列のばらつきに大きく影響を及ぼしていると言える。客が多いほど、一度に並ぶ人数が多くなり、一過性の行列が起こりやすくなることが分かった。

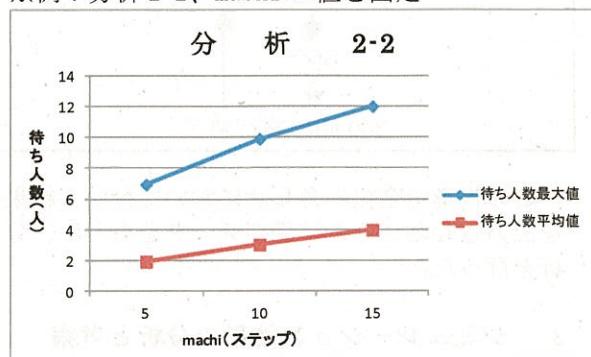
※例：分析 2-2、customer の数を固定



【machi(レジでの会計処理時間)】

レジでの会計処理にかかる時間もまた、行列の最大人数・平均人数に大きな影響を及ぼしていると言える。会計処理時間が長ければ長いほど、行列はできやすくなるということが分かった。

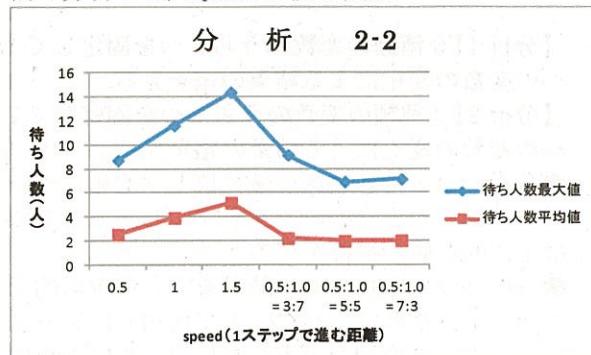
※例：分析 2-2、machi の値を固定



【speed(1ステップごとに進む距離)】

客の速さ、1ステップごとに進む距離は、より速い客が多い、つまり商品を取ってまっすぐレジに向かう客が多い方が、行列は起こりやすくなることが分かった。そして、遅い客、つまり他の商品に目移りしたりしながらレジに向かう客がまっすぐレジに向かう客と同じだけの数いる場合は、レジに到着する時間にばらつきができる、行列は起こりにくくなるということが分かった。

※例：分析 2-2、speed の値を固定



以上、シミュレータを用いて現実世界をコンピュータ上に再現し実験を行ったことで、実験

2012/1/28

を行う前に現実世界の観察から予想した行列を起こす条件となり得る3つの要素が、行列現象の発生やその大きさに大きな影響を与えていたということをより確信的なものにすることができた。それぞれの結果の増減を見ると、現実世界で見られたような現象の一端が表れていて、それぞれの条件の変化によってどのようなことが起こるかを再確認した。

補足として、ステップ数についての分析を述べる。分析2で使用したグラフのデータ範囲のステップ数最大値と平均値をそれぞれグラフにしてその推移を見たところ、speedの全員一致の場合以外すべてにおいて、変数の値が変化してもそのステップ数はほとんど同じであった。たとえば、speedが1、machiが5の時のcustomerの数を10→20→30と変化させていった間では、待ち人数の最大値・平均値が増加していく中、ステップ数の最大値・平均値は変わらないという結果であった。

このことから、行列ができるでもできなくても、全体の処理時間(店内にいる客を処理する時間)は変わらないということであると考えられる。行列ができれば全体の処理時間は大幅に増えるのではないかと予想していたため、非常に興味深い結果となった。

4 おわりに

本研究の実験と分析を通して、行列現象の要因となり得る条件の一端を見つけることができた。現実世界の観察から行列に影響を与えると予想された条件が確かに行列の様相を変える要因となっていることを、シミュレーションで再現し実験することで確認を得ることができた。現実世界において自分が不思議に感じた行列という現象のメカニズムを、完全に解析することには至らなかったが、解決するためのヒントを得られた。

本研究では1回の観察と1回のシミュレーション実験しか行うことができなかつたが、シミュレーションの実験結果をもとに、観察する際に注目すべき顧客の行動条件や様子、外部環境をあらかじめ明確にしたうえで、再度観察実験を行うことが必要であると感じた。これは、現実世界のより多くのデータを得るために、実験で明らかになったことが現実世界で起きているかをより確証的なものにするためである。

また、本研究における実験では、マルチエージェントシミュレータを作る際にエージェント同士の相互作用によって変化の起きるような変数を組み込むことができなかつたため、こちらがほとんど変数の変化を管理できる状態でシミュレーションをしてしまった。そのため、今後

の課題としてはエージェントがある程度自由に動き、相互作用によって変化する変数を組み込んだシミュレータ上での実験を行うことが挙げられる。本研究において具体的に案として考えていたのは、レジに他の客が並んでいるかどうかを認識して、その数によって自分がレジに行くかを判断するような「配慮行動」である。このようなエージェントの自律的行動を組み込んだシミュレータを作ることで、より現実世界に近い状態を再現することができるであろう。

そして、さらなる課題として、より現実世界に近いシミュレーションを通じて行列現象を引き起こす要素を洗い出し、そこから待ち行列を起こさないための工夫を導き出す研究を行うこと

が挙げられる。コンビニエンスストアやスーパーマーケットなどの現実のレジにおける待ち行列を防止する、または素早く解消するといった解決方法を提示することができれば、社会で起きている、顧客がサービスを受けるために混雑してしまう問題の根本的な要因への解決策のヒントともなり得るであろう。

5 参考文献・資料

※()の中の日付は最終閲覧日である。

1. 山影進、2007、『人口社会構築指南－artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門』、書籍工房早山
2. 横堀純子、2007、『マルチエージェントによる土地の魅力を考慮した新分居モデルの構築～都市と農村の住み分けはいかにして起こりうるか？～』
3. 品川健、2001、『エージェント間相互作用による意見形成モデルの構築～少数派が多数派に成長するための条件を探る～』
4. 山影研究室
<http://citrus.c.u-tokyo.ac.jp/> (2012/1/16)
5. 木暮 仁：「経営と情報」に関する教材と意見
<http://www.kogures.com/hitoshi/index.html>
(2012/1/16)
6. SANO Lab.
<http://sites.google.com/site/sanonagaolab/research/masim> (2012/1/9)
7. 渡辺研のマルチエージェントシステム研究
<http://www.swlab.ice.uec.ac.jp/intro/mas/>
(2012/1/16)