

セルフレジによるレジサービスへの影響：マルチエージェントモデルによるシミュレーション解析

中桐 齊之¹、平田 直也²
社会環境部門¹、兵庫県立大学環境人間学部²

Impact on Cash Register Service by Introducing Self-registration: Simulation Analysis with Multi Agent Model

Nariyuki NAKAGIRI and Naoya HIRATA

School of Human Science and Environment,
University of Hyogo
1-1-12 Shinzaike-honcho, Himeji, 670-0092 Japan

Abstract: In recent years, shops such as supermarkets, etc. have installed self-registers rather than ordinary manned cash register are increasing. Self-cash register refers to a register that scans and checks merchandise at the cash register all at the customer himself. In this self-registration, depending on the customer, there are customers who feel bold about scanning the products themselves by customers themselves, sometimes lining up with the existing manned cash register. Consequently, introducing self-registration is effective in reducing employment costs, but its effect is difficult to understand in terms of reducing the waiting time of cash register services. In this report, we have constructed a queuing model of this self-register and decided to analyze the effect of its introduction by simulation. We analyzed how to reduce the waiting time. As a result, in order to reduce waiting time for customers, we found that it is better to induce customers depending on the number of products of customers.

Keywords: simulation, multi agent model, self-registration, queue model

1. はじめに

スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの店舗は、買い物を目的として多くの人に利用されている[1]。それらの店舗（以下、店と呼ぶ）の中には、客が購入した商品を精算するためのレジが存在する。そこにはレジスタッフと呼ばれる人がレジ1台につき1人存在し、客が持参した商品をスキャンし、精算を行い、金銭を授受する（以下、この形式のレジを有人レジと呼ぶ）。しかし、混雑する時間帯や精算におけるトラブル等で、レジには、しばしば長い行列ができる。店側はこのような混雑を解消するため、レジの台数を増やしたり、レジ業務を行うレジスタッフを増員するなどの対策を行ったりする。しかし、コスト面からもスペース面からもレジの台

数およびスタッフの数には限界がある。そこで、新たなレジ形態として、有人レジと比較して省スペースで設置ができレジスタッフが必要ない「セルフレジ」を設置する店が全国的に増加している[2]。

レジに、レジスタッフが存在せず、レジの前に立つ客が客自身で商品をスキャン（以下、セルフスキャンと呼ぶ）し、精算を行うようなレジをセルフレジと呼ぶ。スーパーマーケット等で見られるセルフレジは、一般的に複数台(N台)のレジが1組となっており、同時に最大でそのレジ台数分(N)の人数までの客のセルフスキャン、精算処理を行うことができる。その際、複数台(n台)のセルフレジを監視するスタッフ（以下、監視スタッフと呼ぶ）が1名常駐している（Fig.1）。この監視スタッフは、機器のサ

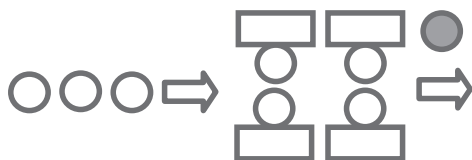


Fig.1 Self-registration queue (N=4). A white rectangle indicates a self-registration, and a circle indicates a customer. Gray circles indicate monitoring staff.

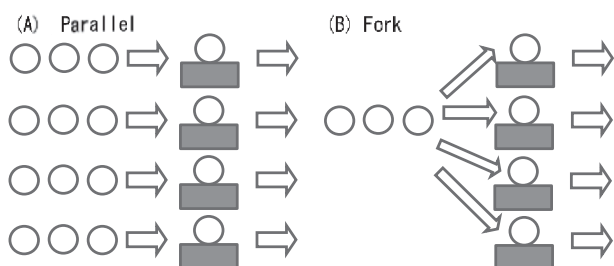


Fig.2 Queue in cash register service. A: Parallel type, B: Fork type. Gray squares indicate manned cash registers, and circles indicate customers. Arrows indicate the direction in which people move forward.

ポートや、酒、たばこ等の年齢確認などを行う。

セルフレジ導入による効果としては、従業員の雇用コストの削減やレジサービスの時間短縮(精算時間の短縮、客へのサービス時間の短縮、人の手による現金管理が省略されることによる金銭授受のミス防止、商品の衛生問題などがある[2]。商品数の少ない客や機械操作に慣れた客が利用する際、有人レジと同じかそれよりも短い時間で精算処理を行うことができる。

しかし、客によっては、セルフスキャンを行うことに対して億劫に感じる客も存在し、有人レジに好んで並ぶことがある。また、客自身がスキャンと精算を行うため、客のセルフレジの扱いが不慣れであるとき、または商品数が多いときは、それ以下の客と比較して非常に多くの時間がかかってしまうこともある。したがって、セルフレジは、雇用コストの削減においては効果がある[2]が、レジにおける待ち行列の解消という観点からは、その効果がわかりにくい。

レジにおいて形成される待ち行列については、大きく分けて2つの並び方が存在する[3]。一つ目は、1台のレジに対して1つの列を形成するもの、もう一つは複数台のレジに対して1つだけ列を作り、客が空いたレジに随時入っていくものである。前者は M/M/1 型待ち行列と言い、主にスーパーマーケットなどの有人レジにおいてみることができる。後者は M/M/s 型待ち行列と言い、主にコンビニエンスストアや銀行の ATM において見ることができる。セルフレジは M/M/s 型待ち行列に分類でき

る。

セルフレジにおいては、Fig.1 のように、客は複数台(N 台)のレジサーバーに対して1列の待ち行列を形成する。レジサービスを終えた客は退店を行い、その空いたレジへ次の客が入っていき、レジサービスを行う、といった行動を繰り返す。また、有人レジはレジ1台につき1人のスタッフが常駐しているが、セルフレジは複数台(N 台)につき1人のスタッフが常駐している。

柳澤ら[3]は M/M/1 型の待ち行列が複数並ぶものを Parallel 型(Fig.2(A))、M/M/s 型の待ち行列を Fork 型(Fig.2(B))とし、モデルとシミュレーションにより解析を行い、Parallel 型と Fork 型の平均待ち時間 W を比べた際、混み具合が小さいときは Fork 型の W が小さく、大きいときは Parallel 型の W の方が小さいという結果を得た。また、Fork 型を複数設置する D-Parallel-Fork 型についても解析しており、この型は両者の中間程度の混雑のとき W が小さくなることがわかっている。空港の入港ゲートのようにサーバ間の距離が遠く離れていても、そのサーバ間の移動時間よりサーバでのサービス時間が十分に大きければ、その移動距離を考慮した場合でも Fork 型の客の待ち時間が短くなることも示されている。

加えて、柳澤ら[4]はサービス時間が短い客と長い客がいる場合、それらを同じ窓口へ誘導するのか(以下、Mix と呼ぶ)、客をサービス時間の短い客と長い客の2つに分けて、別の窓口へ誘導する(以下、Separate と呼ぶ)方が良いのかという実験も行っている。サービス時間の短い客にとっては、Mix よりも Separate のほうが待ち時間が小さいが、これは客のサービス時間の長さに依存すること、また、待ち行列を Separate にすることは全体の効率を上げるよりはサービス時間の短い客のストレスを軽減することが目的であると述べている。

このサービス時間が短いということは、セルフレジにおいてはスキャンする商品数が少ないことに対応している。そこで本研究では、客が持つ商品数を操作してサービス時間を変化させ、その影響を調べることにした。

三道ら[5]は M/M/s 型の待ち行列における最適サーバ数について解析している。ここでは、消費者の購買運動を考慮したうえで、待ち行列システムの最適な運用を考えている。店の期待利益を最大とする意味での最適な窓口数を求めるために数理モデルを構築し、窓口の維持費用から店の期待利益を算出しシミュレーションを行った結果、維持費用が高くなるほど最適窓口数が小さくなるということがわかった。サービス率が大きいほど、客の処理時間が短くなるため、客は長い待機列を容認し、行列に並ぼうとすることがわかった。

セルフレジにおいてサービス率が大きいとは客自身が商品をスキャンしてレジを通る時間が短いことを指す。つまり客のスキャンのスピードが早い、または商品数が少ないときがこれに該当する。しかし、前者は、日頃からレジ業務をする有人レジのスタッフと比べてより早くなることはなく、むしろスキャンが遅い客が多くなると考えると起こりにくい。また、維持費用については、セルフレジを稼働させる場合レジに常駐するスタッフが有人レジと比べて少なく済むため、少ない維持費用でより多くのサーバを設置することが可能である。よって、本研究では、有人レジとセルフレジの処理可能な人数について調べることにした。

有人レジにおける人員配置による混雑の解消について加藤ら[6]は、ある程度の待ち時間客がレジで並んでいると「いらいらしている」として、待ち時間の評価方法とストレスを考えている。

セルフレジにおいては、平均待ち時間 W に加えて、スキャン自体にストレスが存在する点が有人レジと異なる。すぐにレジに到着したとしても、商品が多いと自分スキャンすることが億劫に感じてしまうため、セルフレジを避けて有人レジのスタッフに任せる、などの行動も考えられる。これはその客個人によるものと考えるが、このストレスについても、本研究で調べることにした。

また、本研究では、モデルとシミュレーションの際に、マルチエージェントシステム[7] (以下、MAS) を用いた。本研究では芹沢ら[8]が用いた $M/M/1$ 型の有人レジのモデルを発展させ、 $M/M/s$ 型のセルフレジを設置したセルフレジのモデルを構築し、シミュレーションによって比較を行うためである。その際、柳澤ら[3]と同様にサービス時間の短い客を通す *Separate* の形を採用して、実験を行っているが、芹沢ら[8]は $M/M/1$ 型でのシミュレーションを行うことにとどまっている。本研究では、 $M/M/s$ 型についての *Separate*、*Mix* についてのシミュレーションも行うこととする。

以上のように、本研究では、 $M/M/s$ 型であるセルフレジの待ち行列についてのシミュレーションを行い、平均待ち時間 W 等のデータからセルフレジのレジサービスにおける利点と課題を発見することとする。

2. モデル

本研究においては、客の行動や列選択、所持している商品数等のデータを踏まえてシミュレーションを行うことが必要となる。よって、それぞれの客の目的をモデルに組み込み、その目的達成に向けて行動するシステムを構築するため、マルチエージェントモデルを用いること

Table.1 The list of parameters and evaluation variables.

パラメータ	説明
C	客が持つ商品数。出現時は $C_{min} \leq C \leq C_{max}$ の範囲でランダムに決定する。
C_{min}	最小商品数。出現時に客が持つ商品数の下限。 $1 \leq C_{min} \leq 5$ の範囲で設定する。
C_{max}	最大商品数。出現時に客が持つ商品数の上限。 $6 \leq C_{max} \leq 20$ の範囲で設定する。
M, m, m_t	移動時間を m_t とし、その積算値を m 、 n 回の平均をとり M とする。
N	セルフレジの台数。 N 台 1 組。
P	総客数。 $P=2000$ と設定する。
R	レジ台数。 $2 \leq R \leq 11$ の範囲で設定する。
S, s, s_t	客がスキャンしていた時間を s_t とし、その積算値を人数で割ったものを s 、 n 回の平均をとり S とする。
T	時間 [ステップ]
U	セルフレジに誘導する商品数の上限
T_{max}, t_{max}	客 P 人が退店し終えるまでの時間を t_{max} とし、 n 回の平均を総ステップ数 T_{max} とする。
V_s	セルフレジスキャン速度。セルフレジに到達した客が商品を減らしていく速度。 $0 \leq V_s \leq 2$ の範囲で間隔 0.1 で設定する。
V_p	有人レジスキャン速度。有人レジに到達した客が商品を減らしていく速度。 $0 \leq V_p \leq 2$ の範囲で間隔 0.1 で設定する。
W, w, w_t, W_s, W_m	客の待ち時間を w_t とし、その積算値を w 、 n 回の平均をとり平均待ち時間 W とする。同様にセルフレジのみの平均待ち時間を W_s 、有人レジのみの平均待ち時間を W_m とする。
W_k	移動時間を含めた店内待ち時間 $W_k = W + M$
λ	単位時間当たりの平均来客数。単位時間あたりに 2 次元平面上端から客が出現する割合を表す。 $0 \leq \lambda \leq 1$ の範囲で 0.01 間隔で設定する。
α	商品数が極端に多い ($C:+30$) 人の出現確率
β	スキャン速度が非常に遅い ($V_p, V_s:+0.3$) 人の出現確率。
γ	セルフレジを避けて有人レジを優先する人の出現確率。

とした。実装は、構造計画研究所が制作したマルチエージェントシミュレータ「*artiscoc 4.0*」[7]を用いて行い、コンピュータを用いて、レジサービスについての客の行動をシミュレーション実験することとした。

2次元平面上にレジを R 台設置し、その平面上で客を

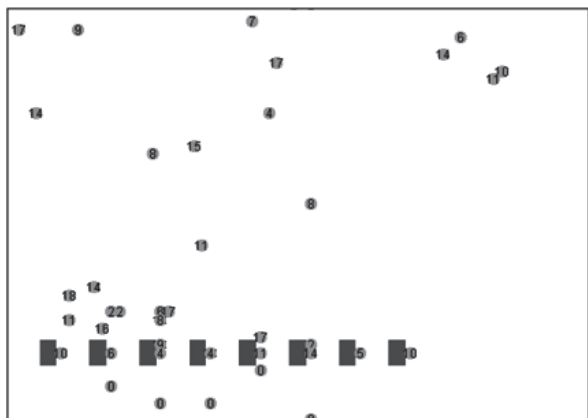


Fig.3 An example of simulation snapshot (T = 1000).

出現させる。客は平面に配置されたときにはすでに購入する商品を選択し終えており、精算するためのレジを探して平面上を移動し、レジの選択、列に並ぶ、商品をスキャンする、退店するといった行動を行う。シミュレーションには、ステップ(T)と呼ばれる単位時間が存在し、1ステップごとに各客は、さまざまな相互作用を受けながら行動を行い、待ち時間が発生した場合、待ち時間 w_t [ステップ]を増加させるとした。

また、本研究で構築したモデルでは、様々な条件下で実験ができるようにするために、各パラメータを設定した。Table. 1 に、パラメータの一覧を記す。2次元平面上にはレジが存在するが、レジはオブジェクトとしてその場所に存在しているだけで移動しない。

Fig.3 にシミュレーション画面の例を示す。Fig.3 において2次元平面は縦50×横70の格子で構成されており、灰色の丸印は客(1×1マス)、濃い灰色の四角形はレジ(3×2マス)を表している。

丸印上に表記されている数字は各客持っている商品数(C)を表しており、客がレジの右隣位置に到着すると商品数Cを減らしていきCが0になると退店する。

客はシミュレーションにおいて、1ステップの間に、客自身の目的に応じて(i)-(vi)の優先順位でいずれかの行動を取る。

- (i) レジの選択: 客は、一定の位置に達すると全てのレジに並んでいる客の数を調べ、最も人数が少ないレジへ目的地を設定する。
- (ii) 移動: 目的地へ向かって移動を行う。有人レジにおいては、客がレジに到達した際、客が存在すれば待機し列を形成する。セルフレジにおいては、客がセルフレジに到達した際、セルフレジ4台に囲まれた範囲内(3×7マス)に存在する客が4人未満なら前へ進み、スキャン行動を行う。4人以上存在する場

合は待機し列を形成する。移動が行われた際は、移動時間 m_t を1増加させる。

- (iii) 列に並んでいるときは、前方の座標を確認し、他の客が存在しないならば進み、存在するならば待機する。このとき、待ち時間 w_t を1増加させる。
- (iv) 列変更: 隣接するレジの客の数を調べ隣接するレジの客数の方が少なかった場合そのレジへ移動する。
- (v) スキャン: レジに到達したとき、商品のスキャンを行う。1ステップごとに商品数をスキャン速度 V_s , V_p だけ減らす。この際、各客はスキャンを行っているため、この時間をスキャン時間 s_t [ステップ]として、 s_t を1増加させる。また、客は商品数 $C \leq 0$ となったときレジを出る。
- (vi) 退店: レジを出て画面外へと向かった客は退店したとみなす。

レジスキャン速度 V_s , V_p は整数とは限らないため、商品数Cは小数の値をとることがある。その際、2次元平面上の赤色の丸印に記載される商品数は切り上げて表示されるが、プログラム内部では小数のまま商品数Cが保持され、 $C \leq 0$ となった時点で「(v) 退店」を行う。

セルフレジにおいては、客が商品をスキャンする行動が遅い客や、近年話題となった外国人観光客等による大量購入、いわゆる「爆買い」という行動も見受けられる[9]。その他にも、もともとセルフレジを避けており、有人レジのほうへ向かう客も存在する。このように、客には様々な個性が存在する。MASでは、各客に個性を持たせて実験を行うことが可能であるため、本研究では以下の要素(以下、個性と呼ぶ)を持つ客が一定の確率で出現するように設定した。

α : 商品数が極端に多い

β : スキャンの速度が非常に遅い

γ : セルフレジを避けて有人レジを優先する

ここで客が各要素を持つ確率は、各々独立に $\alpha=2\%$, $\beta=3\%$, $\gamma=42\%$ と設定した。 α は外国人観光客の来店割合、 β は70代以上の客の来店割合をもとにスーパーマーケットの統計データ[10]から、 γ はNCR株式会社調べ[11]によるものを用いた。この際、個性 α 「商品数が極端に多い」に該当した場合は、商品数はもともと持つ数値に30を加算した数値になるとした。個性 β 「スキャンの速度が非常に遅い」に該当した場合は、レジスキャン速度はもともと持つ数値に0.3を乗算した数値とした。個性 γ 「セルフレジを避けて有人レジを優先する」は、有人レジが存在するとき、レジの選択においてセルフレジを選択肢に入れず、客は有人レジに向かうとし、有人レジが存在しないときはセルフレジに向かうものとした。

以上を、客 P 人が来店し、全ての客が退店を行うまで行い、その時間 t_{max} (ステップ) として記録し、これを $n=10$ 回行って平均値を算出し、 T_{max} とした。終了までの間、各客が列に並んでいた場合、各客の待ち時間 w_i をすべて積算して、その値を客の総数 P で割り、一人当たり待ち時間 w とし、その平均値をとり W とした。また、スキャン時間 s_i の積算値を P で割って、一人当たりスキャン時間 s とし、平均値を S として記録した。

3. 実験結果

構築したモデルを用い計算機実験を行った。その際、できるだけ実測値に近づく条件で行うこととし、平成 28 年度スーパーマーケット年次統計調査報告書 [9] を基に、平均的なスーパーマーケットとして、売り場面積 $1300m^2$ 程度の中型店舗を想定し、売り場面積のデータにおいて、1 日の来店者数は、平日平均 2069 人、一人あたりの平均商品数は、9.6 点であったため、シミュレーションにおいては、その数値に近い値を用いた。具体的には、来店者数を $P = 2000$ [人]、平均買い上げ商品数 $C = 10$ [点] となるように設定した。レジ台数 R 以外の各パラメータは、次のように設定した。最小商品数 C_{min}

$=1$ 、最大商品数 $C_{max}=20$ 、単位時間当たりの平均来店客数 $\lambda=0.5$ 、セルフレジスキャン速度 $V_s=1.0$ 、有人レジスキャン速度 $V_p=1.2$ 。

セルフレジの有無によってレジサービスにどのような影響が生じるのかを調べるため、レジの種類や台数をそれぞれ変化させた次の(1)~(4)の 4 条件で実験を行い、条件(1)を基本として、合計レジ台数を等しくしセルフレジを導入した条件(2)、条件(3)を設けた。日本のスーパーマーケットにおいては、セルフレジと有人レジは併設されていることが多いため、条件(2)はその両方を設置することとした。また、条件(4)は、条件(1)と同じ従業員数で稼働させることが可能であるとして、その効果について調べた。その後、(1)(2)(3)の条件を変更した条件で実験を行った。一覧を Table. 2 に示す。

Fig.4 にそれぞれの条件のシミュレーション画面のスナップショットを示す。また、すべてのエージェントが退店した時の時間(以下、総ステップ数と呼ぶ)の平均値 T_{max} を Fig. 5 に、客一人あたりの待ち時間 w の平均を W として計測した。有人レジ 8 台の条件(1)における W は平均値 14.11 標準偏差 2.05 であった。その結果を Fig. 6 に示す。Fig. 5 より、合計レジ台数が同じという

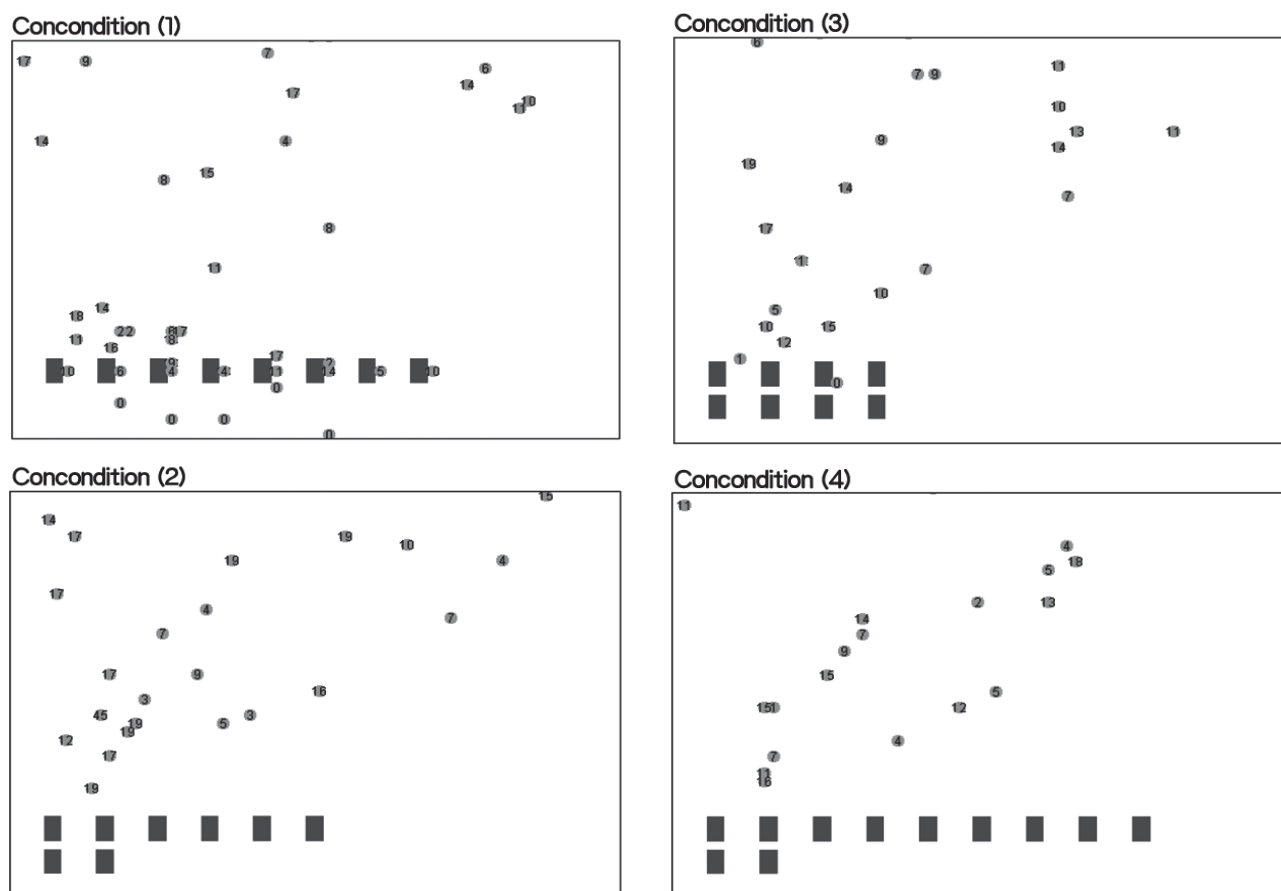


Fig.4 Simulation snapshot of condition (1), (2), (3) and (4), respectively ($T = 1000$).

Table.2 The list of conditions.

条件	説明
(1)	セルフレジ台数 $R_s=0$ [台]、有人レジ台数 $R_m=8$ [台]、レジ台数計 $R=8$ [台]
(2)	セルフレジ $R_s=4$ 、有人レジ $R_m=4$ 、($R=8$) (Mix)
(3)	セルフレジ $R_s=8$ 、有人レジ $R_m=0$ 、($R=8$)
(4)	セルフレジ $R_s=4$ 、有人レジ $R_m=7$ 、($R=11$)
(1A)	(1)の条件で、来店確率 $\lambda=0.25$
(2A)	(2)の条件で、来店確率 $\lambda=0.25$
(3A)	(3)の条件で、来店確率 $\lambda=0.25$
(1B)	(1)の条件で、来店確率 $\lambda=0.75$
(2B)	(2)の条件で、来店確率 $\lambda=0.75$
(3B)	(3)の条件で、来店確率 $\lambda=0.75$
(2C)	(2)の条件で、個性 γ の「セルフレジを避けて有人レジを優先する」確率を 0%とする
(2D)	(2)の条件で、商品数が 5 点以下ならセルフレジを利用する(Separate)
(3C)	(3)の条件で、セルフレジ 2 組のレジ間距離を大きく離す

条件の(1)、(2)、(3)については、違いが見られなかった。Fig. 6 においては、一人当たりの平均待ち時間 W について、条件(1)と(2)で大きな差は見られなかったが、条件(3)の W は(1)、(2)の W より大きかった。また、条件(1)と同じ従業員数で稼働できる条件(4)を比較すると、条件(4)において、総ステップ数 T_{max} が少し減少し、また、一人当たりの平均待ち時間 W が大きく減少していることがわかる。

次に、(1)(2)(3)の条件で、単位時間当たりの平均来客数 λ を $\lambda = 0.25$ に変化させた、条件(1A),(2A),(3A)と、 $\lambda = 0.75$ に変化させた条件(1B),(2B),(3B)について、シミュレーションを行った。

$\lambda = 0.25, 0.5, 0.75$ のときの総ステップ数 T_{max} を Fig. 7 に示す。Fig. 7 から、単位時間当たりの平均来客数 λ が大きくなるにつれて、総ステップ T_{max} が小さくなるのが分かるが、条件の違いによる差は見られないことがわかる。また、 $\lambda = 0.25, 0.75$ のときの 1 人当たりの平均待ち時間 W を Fig. 8 に示す。Fig. 8 より、 $\lambda = 0.25$ のとき、条件が異なっても 1 人当たりの平均待ち時間 W の違いは少ないが、 $\lambda = 0.75$ のとき、条件(2B)において 1 人当たりの平均待ち時間 W が小さい結果となっている。

次に、条件(2C)として個性 γ の「セルフレジを避けて有人レジを優先する」確率を 0%にし、すべての客が偏

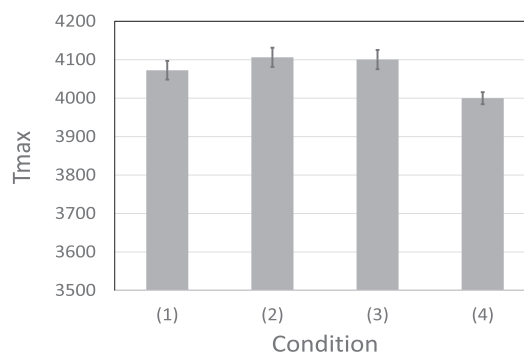


Fig.5 The total time T_{max} on condition (1), (2), (3) and (4), respectively.

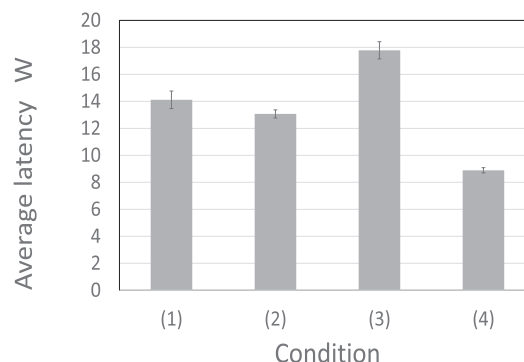


Fig.6 Average latency W on condition (1), (2), (3) and (4), respectively.

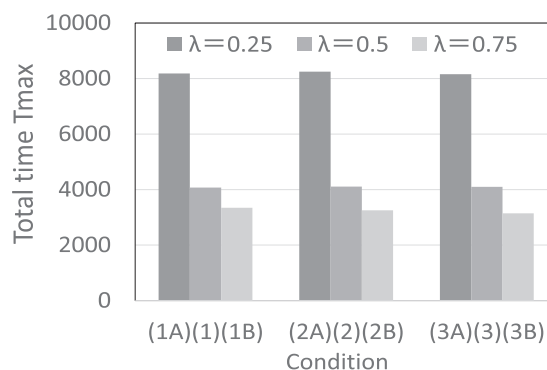


Fig.7 The total time T_{max} , on condition (1A), (2A) and (3A) for $\lambda=0.25$, on (1), (2) and (3) for $\lambda=0.5$, on (1B), (2B) and (3B) for $\lambda=0.75$, respectively.

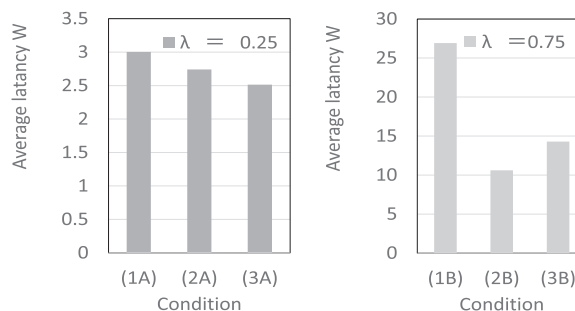


Fig.8 Average latency W against $\lambda=0.25$ and $\lambda=0.75$ on condition (1A), (2A), (3A), (1B), (2B) and (3B), respectively.

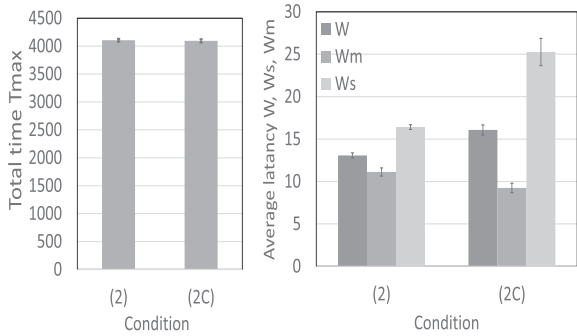


Fig.9 The right figure shows the total time Tmax, on condition (2) and (2C), respectively. The left figure shows average latency W, Wm and Ws on condition (2) and (2C), respectively.

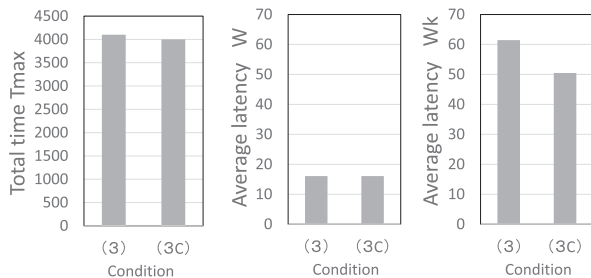


Fig.10 The total time Tmax, average latency W and Wk, on condition (3) and (3C), respectively.

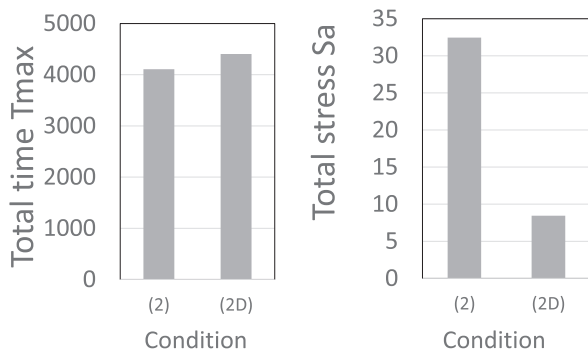


Fig.11 The total time Tmax and Total stress Sa on condition Mix and Separate, respectively.

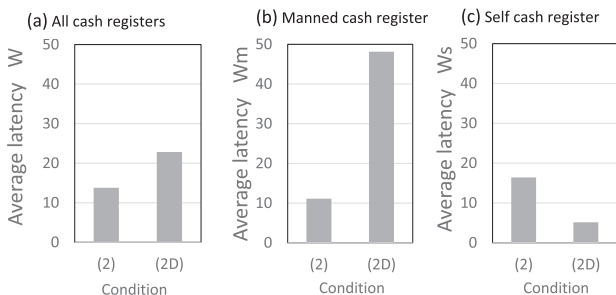


Fig.12 The average latency W, Wm and Ws on condition (2) and (2C), respectively.

りなくレジを選択するとして、条件(2)と同様のレジ配置で実験を行った。結果の総ステップ数 Tmax、平均待ち時間 W、有人レジの平均待ち時間 Wm、セルフレジの平均待ち時間 Ws を Fig.9 に示す。Fig.9 より条件(2)と(2C)で、総ステップ Tmax に大きな差が見られないことが分かる。また、個性 γ を 0% にすることによって、セルフレジの待ち時間 Ws が大きくなり、有人レジの平均待ち時間 Wm は小さくなるのがわかる。

また、条件(3)のセルフレジ 2 組の設置距離を大きく離して条件(3C)として実験を行った。このとき、平均待ち時間 w に加え、客が出現してからサービスを受けるまでの時間 M+W を、店内待ち時間 Wk として同様に調べた。条件(3C)と比較用の条件(3)の結果を Fig. 10 に示す。

Fig.10 より、セルフレジ 2 組間の間隔を空けることによる総ステップ数 Tmax や一人当たりの平均待ち時間 W について大きな差は見られないことがわかる。しかし、Fig.10 の右図を見ると 1 人当たりの平均店内待ち時間 Wk は間隔を空けた条件(3C)のほうが短くなっていることがわかる。

次に、商品数が少ない客専用レジをセルフレジに適用して実験を行った。条件(2)の有人レジとセルフレジが混在したレジ配置(Mix)を基に以下の条件を設定して実験を行い、その効果について調べた。

条件(2D)：商品数が 5 点以下ならばセルフレジを利用する(Separate)

これは、一般的にセルフレジを利用する客は飲料 1 本などの商品数が少ない買い物で利用する客が多数存在するためである。この際、セルフレジでの商品数が多いとスキャン行動そのものが長くなるため、客はその行為にストレスを感じると考える。そこで、本実験では(1)式のように Sa を定義し、待ち時間 W に商品をスキャンする時間 S を加えこれを総ストレス Sa として計測した。

$$Sa = W + S \quad \dots(1)$$

Fig. 11 に、条件(2)と(2D)における総ステップ数 Tmax と総ストレス Sa を示す。Fig. 11 において、総ステップ数 Tmax は、(2D)の方が少し大きい値をとっていたが、t 検定を行ってみたところ、有意差は得られなかった。よって、総ステップ数 Tmax は、条件(2)と(2D)に依存しないことが分かる。このとき、次に、条件(2)と(2D)における平均待ち時間 W、Wm、Ws を計測した。結果を Fig. 12 に示す。Fig. 12 より、条件(2D)ではセルフレジでの待ち時間 Ws のみが、大幅に減少していることがわかる。また、Fig. 11 において、総ストレス Sa は、(2D)は、(2)と比べて小さくなるのがわかる。しかし、逆に有人レジにおける平均待ち時間 Wm、平均待ち

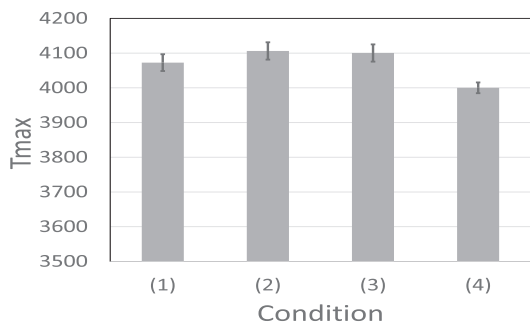


Fig.13 The total time Tmax on condition (1), (2), (3) and (4) with a Tmax scale of 3500 to 4200, respectively.

時間 W ともに増加していることがわかる。

4. 考察

有人レジ 8 台の結果である、条件(1)における W は平均値 14.11[ステップ]、標準偏差 2.05 であった。有人レジにおけるスキャン速度 $V_p=1.2$ 、平均商品数 10 点から、スキャンにかかるステップ数は 8.33 であり、 $W=14.11$ から、約 2 人分のスキャンにかかる待ち時間があると考えられる。現実のレジ待ち人数 (レジ待ち時間) は、平均 3~4 人であるため、1 人~2 人程度少ない値である。これは、現実では営業時間内の使用可能なレジ数が制限されているのに対し、シミュレーションではすべてのレジが使用可能となっているため、待ち時間が現実よりも短くなったと考えられる。

3 章において、(1)~(3)の条件では、レジサービスの総ステップ数 Tmax に関して、あまり大きな差は見られなかった。Fig.13に軸を 3500 から 4200 に取った図を示す。客数 $\lambda=0.5$ 、総客数 $P=2000$ から、待ち時間が発生しない場合のステップ数 Tmax は 4000 と期待される。条件(4)については Tmax が 4000 に近い値となっており、

レジ台数 R が大きく、平均待ち時間 W も小さい事から、レジにおいて客を処理することができていたため、レジにおいて客を全て処理することができたと考えられるが、条件(1)~(3)においては、条件(4)よりも総ステップ数 Tmax が多いためレジにおける混雑が起きていると考えられる。しかし、条件(1)~(3)においては、大きな差は見られない。このことは、Fig. 7 においても同様であり、単位時間当たりの平均来客数 λ が小さくなるにつれて、総ステップ数 Tmax が大きくなっており混雑は発生しているが、条件(1)~(3)においては、大きな差は見られない。よって、総ステップ数は、セルフレジの有無であり大きな差はないと考えられる。したがって、レジサービスによって、全ての客にサービスを終えるまでの時間という点においては、有人レジもセルフレジも同じであり、レジの台数 R が重要であると考えられる。

また、セルフレジのレジサービスの全時間 Tmax に、あまり差が見られなかった。これは、言い換えるとセルフレジは有人レジとほぼ同じ時間で 1 日約 2000 人分のレジサービスを行うことが可能であると言える。セルフレジは 4 台のセルフレジに対して 1 人の監視スタッフが常駐しており、1 人で 4 台分のレジサーバーを管理することができるため、レジの稼働時間が同じとすると、約 3 人分の人件費が削減できる。三道ら[6]は、最適窓口数は窓口の維持費用が高くなるほど最適窓口数は少なくなると述べているが、セルフレジは有人レジと比べて維持費用における人件費部分が減少する。よって、同じ台数のレジを設置する際の人件費を 3 人分削減することができる。仮に 4 台をセルフレジに変換するとすれば、現在の人件費は時給だけでも 1 時間あたり 1 人あたり約 970 円[10]であるから、ピーク時を 1 日 4 時間としても 1 年間で 3 人分の 4380 時間分の人件費約 425 万円が削減可能と考えられる。

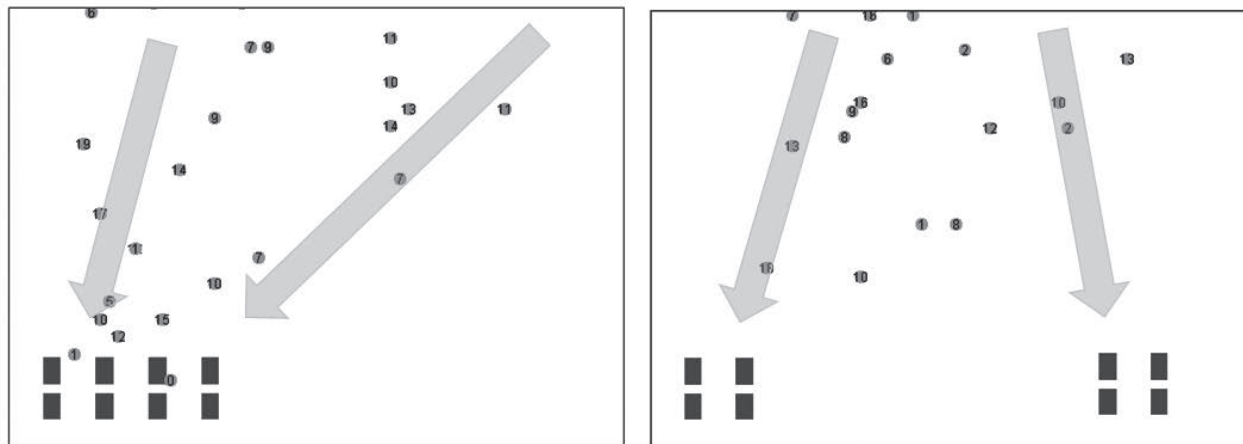


Fig. 14 Simulation snapshot of condition (3) (left) and condition (3C)(right).

また、レジ台数 R を一定にした場合は、有人レジをセルフレジに変えたとき、店内に空間が生まれ、その空間を商品陳列に用いることが可能となる。条件(4)では、条件(1)と同じ従業員数でセルフレジと有人レジを混合して稼働させているが、人件費は一定であるが、待ち時間 W は、条件(1)が 14.11、条件(2)が 8.89 である。よって、待ち時間は、一人平均約 37% 短縮されることになり、客の待ち時間の短縮という点において、非常に効果があるといえるだろう。

Fig. 8 より、 $\lambda = 0.25$ と混雑が緩和されたとき、セルフレジの有無にかかわらず 1 人当たりの平均待ち時間 W の違いは少ないが、 $\lambda = 0.75$ のとき、条件(2B)において 1 人当たりの平均待ち時間 W が小さい結果となっている。これは、混雑が緩和すると、セルフレジ有人レジ共にレジが処理することのできる人数に違いが少なくなり、混雑すると、セルフレジで処理可能な人数の影響で W が小さくなると考えられる。

また、Fig. 9 より、セルフレジを避ける客を無くすと、セルフレジに長い行列が生じてしまい、セルフレジを避ける客が存在するほうが、平均待ち時間 W が長くなった。これは条件(2)でセルフレジを避けていた 42% の客が偏りなくすべてのレジを選択するようになり、その分セルフレジに客が集まってしまったためであると考えられる。このことから、レジを避ける客がある程度存在しているほうが有人レジとセルフレジ双方においてより円滑にレジサービスが行われると言える。

また、セルフレジの設置間隔を大きくして行ったシミュレーションでは、総ステップ数 T_{max} や一人当たりの平均待ち時間 W について差は見られなかったが、店内待ち時間 W_k は間隔を空けた条件(3C)の方が短かった (Fig. 10)。これは条件(3C)において左から来店した客が左のセルフレジへ、右から来店した客は右のセルフレジへ向かうことにより、店内を移動する時間そのものが短くなったのだと考える (Fig. 14)。ゆえに、M/M/s 型のレジを複数組並べる場合、それぞれを隣接して配置するよりも、それぞれを、一定の距離を開けて設置する方が、客の店内の移動時間が短くなり、客の平均待ち時間 W が小さくなることがわかった。これは、窓口間の距離が十分に空いた D-Fork-Parallel 型の条件で、レジ選択の移動距離を加味した店内待ち時間 W_k は小さくなるという柳沢ら [3] の結果と同様の結果であることがわかる。

最後に、セルフレジを、商品数の少ない客専用とする実験においては、Fig. 12 において、セルフレジにおける平均待ち時間 W_s のみ大幅に減少するが、逆に有人レジにおける平均待ち時間 W_m 、平均待ち時間 W は増加す

る。このとき、総ストレス S_a は、(2D) では、(2) と比べて大幅に減少しており、セルフレジにおいては、商品数 C の少ない客だけが利用できるため、スキャン時間 S が短い客が多く利用できる。その結果、セルフレジにおいては、客をすぐに捌き切ってしまう、総ストレス S_a も減少すると考えられる。

しかしながら、その反面、商品数 C の多い客が多いときは、セルフレジを利用できる客が少なくなり、有人レジが混雑する。商品数 C が多い客は有人レジのみしか利用できないため、有人レジに長い行列を形成することになるのである。ゆえに、スキャンの早い有人レジにおいて、Mix よりも、さらに長い列が形成されてしまい、両方のレジの平均である平均待ち時間 W も増加する。

柳澤らは、有人レジのみの場合において、客の平均待ち時間 W を小さくするためには、サービス時間の長さで窓口を分けない (2) の Mix のほうが窓口を分ける (2D) の Separate よりも良いと述べている [5]。これは、(2) の Mix の方が、上述のように、客の平均待ち時間 W が増加することに加え、客が列に並ぶまでの移動距離が減少し、客を待たせることなくスムーズにレジへ案内することができるためである。客の待ち時間によって生じるストレスも軽減すると考えられる。

よって、客の C が大きいなど、スキャン時間 S が長く平均待ち時間 W が大きくなる場合においては、Separate (2D) にすることでサービス時間 S が短い客の平均待ち時間 W がさらに大きくなってしまうため、Mix を用いるのが良い。すなわち、スーパーマーケットのセルフレジにおいては、店の平均購買点数を考慮して客をレジに案内することで、客の平均待ち時間 W を少なくすることが出来ると言える。

以上より、先行研究についての結果と本研究の結果は、M/M/s 型であるセルフレジの設置間隔の変化や条件(2)と条件(2D)の影響についての結果などが先行研究と同様であることから、本シミュレーションは妥当性があると結論付けられる。

また、レジが全ての客にサービスを終えるまでの時間という点においては、有人レジもセルフレジも同じであるため、セルフレジの導入人件費削減や待ち時間の点からも有効であることが示唆された。しかし、実際にセルフレジを利用するのは客である。たとえセルフレジの設置が企業や店にとって良いものとされても、実際にセルフレジを利用する客がスムーズに精算することができずに避けてしまうことが多いと、セルフレジが空いてしまい設置する利点が少なくなる。その結果、平均待ち時間 W は増加する。

そこで、どのようにすれば多くの客が、ストレスなくセルフレジを利用することができるかを考えることとした。セルフレジにおいて、客がストレスと思っているのは、客自身で商品を読み取るという行動である。この行動の億劫さが客のレジ選択において有人レジへ客が流れていく原因であると考えた。

セルフレジを導入した際、商品数 C が少ない客専用のレジを設置したが、 $C=5$ のときは、逆に Mix の方が良くなってしまった。セルフレジにおいて商品数 C が少ないということは、客が感じるストレス S_a が少なくなり、セルフレジの操作が遅い客もサービス時間 S が小さい値をとる。その結果、有人レジへ向かう客の商品数は多くなり、セルフレジよりも早い速度で読み取を終えることができるため、両レジの待ち時間 W は減少するはずである。

つまり、商品数 5 以下とした条件が W が減少しなかった原因だと考えると、店のレジ台数 R 等に応じてセルフレジへと誘導する商品数にも変化し、最適な商品数が存在するのではないかと考えた。平均待ち時間 W を減少できる商品数があるのではないかと考えた。そこで、この商品数を調べるために、検証実験を行うこととした。

5 検証実験

前章でたてた、商品数が少ない客専用レジを設置するときに、待ち時間が短縮できる最適な商品数があるという仮説を検証するために、条件(2D)の Separate のモデルを基に、セルフレジに誘導する商品数の上限 U を変化させ、客の平均待ち時間 W を減少させる上での最適な商品数を解析することとした。

この実験では、客の商品数 C が U 以下の時、有人レジではなくセルフレジへ誘導するとする。また、レジ台数 R による誘導商品数の変化も調べるため、「セルフレジ 4 台」+「有人レジ 4~7 台」の範囲内で変化させてシミュレーションを行った。

このとき、個性 C 「セルフレジを避けて有人レジを優先する」確率 γ は 42%、 $U=2, 4, 6, 8, 10$ として実験を行った。Fig. 15 にセルフレジ 4 台、有人レジ 4~7 台のときの総ステップ数 T_{max} 、Fig. 16 にセルフレジ 4 台、有人レジ 5~7 台のときの一人当たりの平均待ち時間 W を示す。

Fig. 15 および 16 より、有人レジ台数が 4 台~6 台のときはセルフレジへ誘導する商品数 U が 10 の場合において、総ステップ数 T_{max} と一人当たりの平均待ち時間 W が小さい結果となった。有人レジ台数が 7 台のときは、

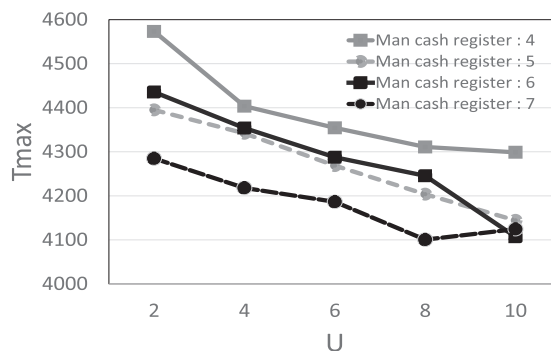


Fig. 15 Total number of steps T_{max} against U for 4, 5, 6 and 7 man cash registers.

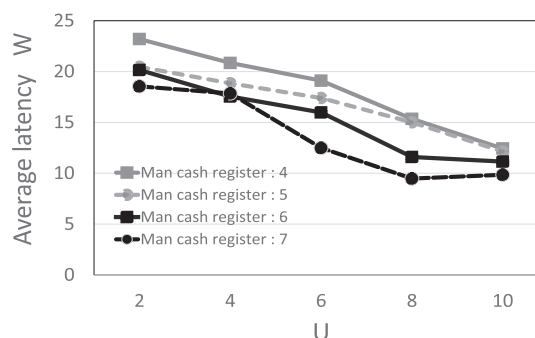


Fig. 16 Average latency W against U for 4, 5, 6 and 7 man cash registers.

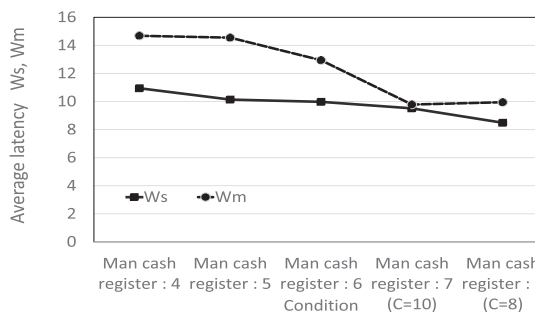


Fig. 17 W_s, W_m at the optimum value of U on condition of 4, 5, 6 and 7 man cash registers.

セルフレジに誘導する U が 8, 10 の場合、総ステップ数 T_{max} と一人当たりの平均待ち時間 W が小さくなった。よって、有人レジが 4~6 台のときはセルフレジに誘導する商品数 U が 10 のとき、有人レジが 7 台のときはセルフレジに誘導する商品数 U が 8 以上のとき、一人当たりの平均待ち時間 W が減少することが分かった。

このとき、レジ数 R を 4 から 7 まで変化させたときの有人レジ、セルフレジ各々のレジの待ち時間 W_m と W_s を調べた。その結果を Fig. 17 に示す。Fig. 17 より、有人レジが多くなるにつれて、平均待ち時間 W, W_m, W_s が短くなり、有人レジ 7 台においては、セルフレジと有人レジの待ち時間の差がほぼなくなっていることが

分かる。

したがって、商品数 C によってセルフレジに客を誘導するとき、その商品数が有人レジが 4~6 台のときは 10 点以下 ($U=10$)、有人レジが 7 台のときは 10 点および 8 点以下 ($U=8,10$) であるとき、優先的にセルフレジを利用させると客の待ち時間が解消されることとなる。

Fig.16 において、有人レジが 7 台のときでは、誘導する商品数が 10 点以下の場合と同様に、8 点以下の場合でも十分に 1 人当たりの平均待ち時間 W が短くとなった。これは有人レジが多いため多くの商品数を持つ客が有人レジを利用しても十分にサービスを行うことができるため、誘導する商品数を減らしても待ち時間が短くなったのだと考える。したがって有人レジ台数が増えるほど、平均待ち時間 W が短くなる時のセルフレジへ誘導する商品数 U は少なくなると思う。

また、このとき、客一人当たりのセルフレジでスキャンする商品数 C が少なくなるため、客のスキャン行動にかかる時間 S が短くなる。よって、総ストレス Sa が小さくなり、客自身が感じる億劫さも解消できると考える。一方、商品数 C の多い客は有人レジへ向かうため、セルフレジでスキャンするよりもレジ業務の早いスタッフが、有人レジでスキャンを行うことになり、平均待ち時間 W は減少する。そのため商品数 C の少ない客はセルフレジにおいても平均待ち時間 W が減少し、スキャン時間 S が短くなることで、セルフレジでのストレス Sa が小さくなる。

以上の結果より、商品数 C が少ない客をセルフレジへ誘導するとき、レジ台数 R に応じて誘導する商品数 U を変化させることが客の平均待ち時間 W を減少させるということがわかった。また、誘導した際の客の平均待ち時間 W は減少し、商品数が少ないために客のスキャン行動におけるサービス時間 S も短くなる。しかし、本研究では平均購買点数を 10 点とし、単位時間当たりの平均来客数を一定とした結果であるため、実際の店の平均購買点数や混み具合によっては異なる結果になると予想する。また、誘導に必要なスタッフや標識等の設備が必要になるため、そのコストについても考える必要がある。

6 まとめ

本研究では MAS[7] を用いてセルフレジシミュレータを開発し、セルフレジのレジサービスについて検証を行った。シミュレーションの結果、レジサービスの時間短縮についてセルフレジは有人レジ同等であることがわかった。加えて、セルフレジは少ない従業員数で多くのレ

ジを稼働させることができるため、人件費の削減を行ったり、同じスペースでより多くのレジを配置することによって、レジ台数 R が増えることになり、レジサービスの時間短縮が図れると考えた。このとき、増えるレジはセルフレジ、有人レジにかかわらず効果が表れるため、同じスペースでも多くの台数が設置できるセルフレジを採用するほうが各レジにおける客の待ち時間が短くなる。また、すべてのレジを有人レジにした時と、セルフレジを一部導入した時では、セルフレジを導入する方が同じレジ台数 R で空いたスペースを商品の陳列に利用することが可能となる。客の待ち時間が短くなることは客の待ち時間によるストレス減少にもつながる。

また、先行研究で提唱されている結果と本研究の結果は、Separate と Mix の影響やレジ間隔の距離についての結果などが一致していることから、本研究のシミュレーションは妥当であると言える。セルフレジが有効となる条件について調べた結果、セルフレジと有人レジの両方を設置する方が良いこと、セルフレジを複数組設置する場合はそれぞれの距離が大きいほうが良いとわかった。

スキャン時間 S については、セルフレジにおいては商品数 C に依存するとして実験を行った。商品数が多いとスキャン時間 S が長くなるため、客がセルフレジを利用する際にストレス Sa を感じるとした。これを解消するために、商品数 C が少ない客をセルフレジに誘導し、その影響について調べた。その結果、セルフレジを利用した客の平均待ち時間 W は大幅に減少したものの、有人レジでは逆に平均待ち時間 W が長くなってしまい、両方を平均した待ち時間も長くなってしまった。

また、セルフレジに誘導する商品数 U を変化させた結果、セルフレジ 4 台、有人レジ 4~6 台の時は $U=10$ 、セルフレジ 4 台有人レジ 7 台の時は $U=8,10$ の時に平均待ち時間 W は減少した。有人レジ台数 R によって最適な商品数 U は変化し、有人レジ台数が増えるほど誘導する商品数 U は少なくなることがわかった。実際の誘導については、商品数だけでなく商品の大きさや生鮮食品などの手間も踏まえて判断する必要があると思うが、サービス時間の変化を考えて誘導を考慮することが重要であると考えた。

参考文献

- [1] 熊倉 雅仁「小売業態の変革の理論的考察：チャネル革新がもたらすオムニチャネル業態」『高千穂論叢』51巻3号 2016. pp. 47-74.
- [2] 住友信託銀行「産業界の動き～小売業のコスト削減が

期待されるセルフレジ」『住友信託銀行調査日報』2010年3月号 2010. pp. 1-4.

[3] 柳澤 大地「複数窓口の待ち行列における待ち時間と追い越しの頻度の研究」『九州大学応用力学研究所研究集会報告』No. 20, 2009-02, 2008. pp. 1-6.

[4] 柳澤 大地「歩行距離を考慮した待ち行列理論による待ち行列システムの解析」『日本応用数学会論文誌』Vol.18 No.4, 2008. pp 507-534.

[5] 三道 弘明「M/M/sにおける最適窓口数に関する数値的検討」『神戸学院大学経営学論集』Vol.2 No.1 2005. pp. 51-57.

[6] 加藤 菜美絵「作業能力を考慮した人員配置問題を解くマルチエージェントモデルの構築」『群馬大学社会情報学部社会情報学科2006年度卒業論文』2007.

<http://www.si.gunma-u.ac.jp/~tomiyama/student/2006katou.pdf> (2016年12月10日アクセス)

[7] 構造計画研究所「artisoc4.0」MASコミュニティ artisoc4.0,<http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=13> (2016年12月10日アクセス)

[8] 芹沢 良「マルチエージェントを使用したレジにおける混雑解消法の検証」『東京工科大学メディア学部2005年度卒業論文』東京工科大学, 2006.

<http://mas.kke.co.jp/output/serizawa20060321.pdf> (2017年9月10日アクセス)

[9] 池田 台地「中国の力を活用した地方創生 -日光市を中心に-」城西国際大学国際人文学部推薦卒業論文, 2015.

<http://www.jiu.ac.jp/books/academy/2015/human/07.pdf> (2017年9月10日アクセス)

[10] 日本スーパーマーケット協会「平成28年スーパーマーケット年次統計調査報告書」一般社団法人日本スーパーマーケット協会, 2016.

http://www.ajs.gr.jp/ajslibrary/hanbai_pdf/toukei07.pdf (2017年9月10日アクセス)

[11] NCR 「SELF-CHECKOUT: A GLOBAL CONSUMER PERSPECTIVE」NCR, 2014.

https://www.ncr.com/sites/default/files/white_papers/RET_SCO_wp.pdf (2017年9月10日アクセス)

(平成29年 9 月29日 受付)