

Kanagawa University Economic Society

Discussion Paper No.2022-01

キャッシュレス決済を促す低コスト手法の提案
スーパーマーケットでの利用に関するシミュレーション
2022/11/16

小川 浩[†]

[†] 神奈川大学 経済学部, santa@econ.kanagawa-u.ac.jp

1. はじめに

1.1. 停滞する日本でのキャッシュレス決済

日本政府は 2010 年代半ばから購買情報の利用など事業者側のメリットを追求してキャッシュレス決済を推進してきている [日本経済再生本部, 2016]。このような国の取組が行われているにもかかわらず、日本での 2020 年におけるキャッシュレス決済割合は 29.7%であり、韓国の 93.6%、中国の 83.0%などと比較すると国際的には低位となっている [(社) キャッシュレス推進協議会, 2022]。一方、2020 年のキャッシュレス決済手段 (クレジットカード、デビットカード、電子マネー) の保有状況は平均 9.8 枚であり、キャッシュレス決済割合の高い韓国の 6.1 枚や中国の 6.4 枚と比較しても多い [Bank for International Settlements, 2022]¹⁾。また、比較的少額での決済が多いと予想されるスーパーマーケットであってもキャッシュレス決済が利用可能になっている割合は 2021 年で 96.4%となっており [(社) 全国スーパーマーケット協会, 2021]、利用可能な基盤という観点からは十分普及していると考えられる。

このように消費者も事業者もキャッシュレス決済に対応しているにもかかわらず消費者がキャッシュレス決済を選択していない状況で、政府の諸施策のように事業者側のメリットを追求したところで利用拡大には効果がないであろう。わが国におけるキャッシュレス決済普及のためには消費者がキャッシュレス決済を選択するようなインセンティブ設計こそが重要である。

消費者側の決済手段選択理由についての分析では、キャッシュレス決済を利用しない人が挙げた理由は「使いすぎる心配」が首位である [日本銀行 決済機構局, 2018]。この理由を前提とするならば、キャッシュレス決済を促進するためには使用額や残額を分かりやすくする、使用限度額を設定するなどの対応が適切であると考えられる。

しかしながら、「使いすぎる心配」は使ったことのないキャッシュレス決済に対する漠然とした不安にマッチする選択肢として回答されている可能性がある。後述のように大規模ポイント還元でキャッシュレス決済を開始した人々はポイント還元が終了しても現金決済に戻っている訳ではない。キャッシュレス決済自体が使いすぎを誘発するような性質を持っているのであれば、使いすぎを心配する人はポイント還元が終了すれば現金決済に戻るはずである。

本論文では、このような初めてキャッシュレス決済を使う際の漠然とした不安をコストとして組み込んだ行動モデルを提案し、コンピュータシミュレーションによって低コストで実行可能なプランを提案している。

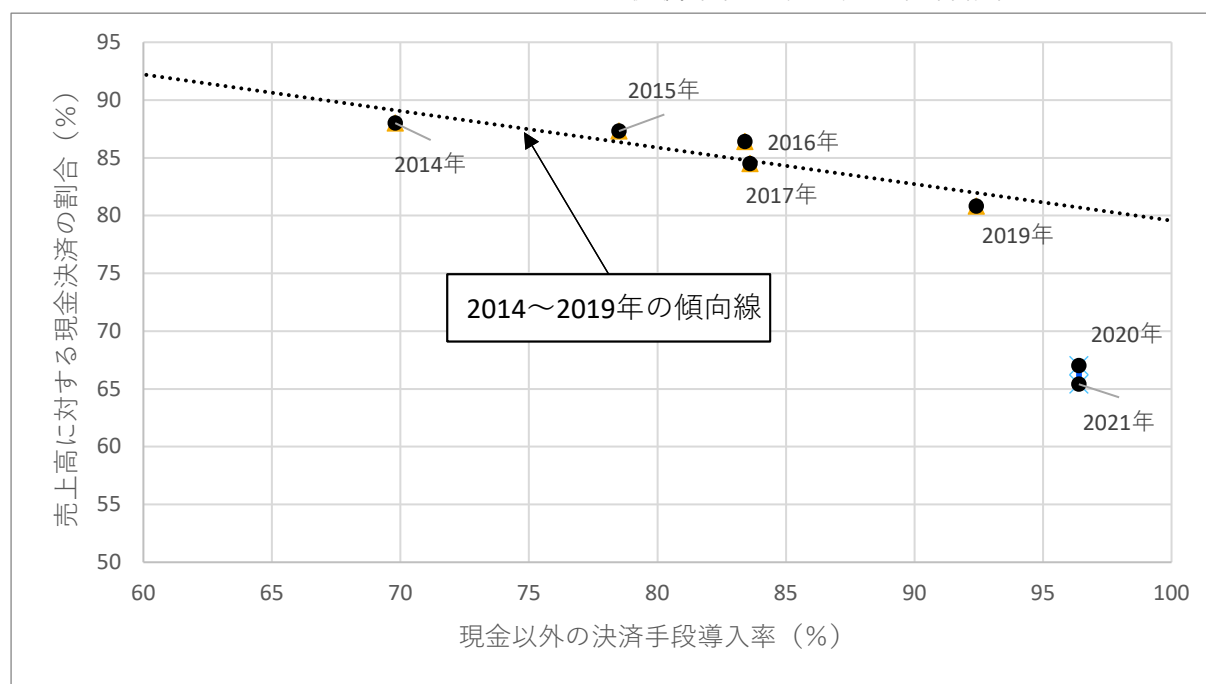
1.2. ポイントの効果

キャッシュレス決済にポイントを付与することで促進する効果については、実際に大規模なポイント還元を行った2019年10月～2020年6月のキャッシュレス・消費者還元事業を社会実験として評価することができる。この期間中に「ポイント還元事業をきっかけにキャッシュレス支払いを初めて利用した」＋「いままでも利用しており、支払い手段を増やした」の合計は2020年5月調査で51.5%となっている〔（社）キャッシュレス推進協議会, 2020〕。また、スーパーでの決済状況のデータでキャッシュレス決済のデータを見ても、キャッシュレス・ポイント還元事業前の2019年調査では利用金額の80.8%が現金だったものが、事業後の2020年調査では67.0%、2021年調査では65.4%まで減少している〔（社）全国スーパーマーケット協会, 2020〕。

図1に示す通り2020年、2021年での現金割合は2014～2019年の傾向線から大きく下にはずれている。このことは、（性質1）ポイント還元事業のような外的ショックでキャッシュレス決済利用を促すことは可能であることと、（性質2）外的ショックにより新規にキャッシュレス決済を利用した顧客は、外的ショックが終了した後も現金決済に戻るわけではないことを示している。（性質2）はキャッシュレス決済が使いすぎを誘発する性質を持っているわけではないことを示唆している。

これより、大幅なポイント還元のように利用者側に直接的なメリットがあればキャッシュレス決済は増やせることは言えるであろう。

図1 スーパーマーケットでの決済手段と現金売上割合推移



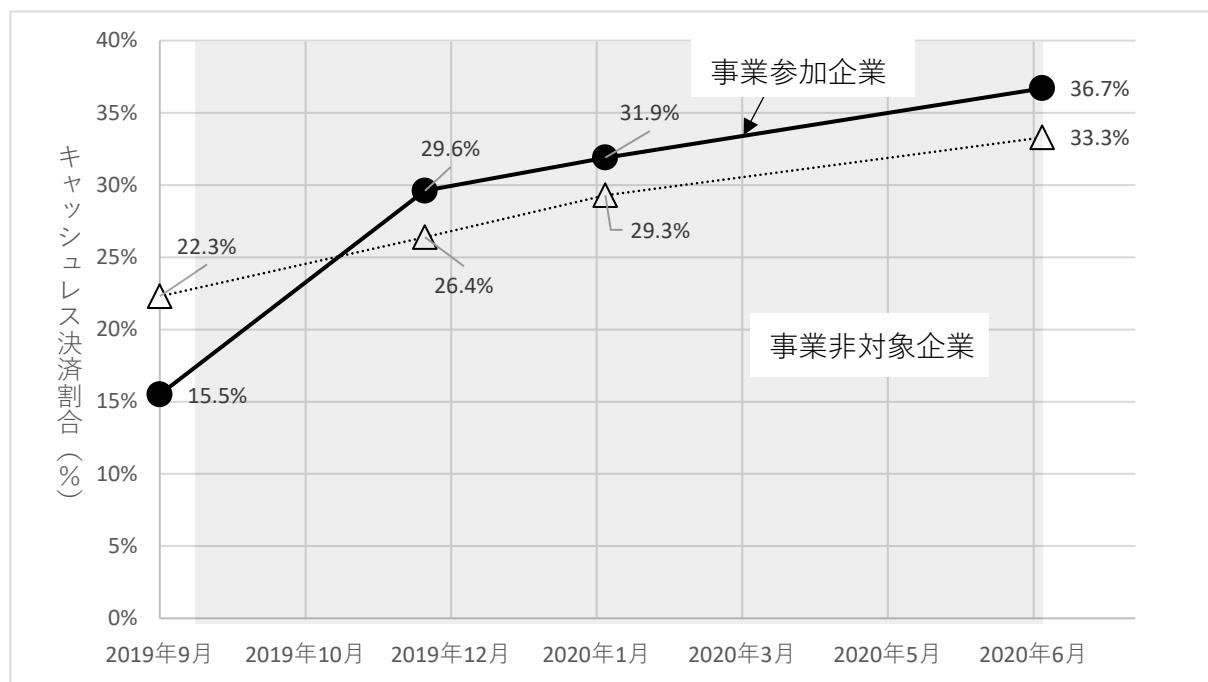
資料：（社）全国スーパーマーケット協会「スーパーマーケット年次統計調査報告書」

図 2 はキャッシュレス・消費者還元事業の実施期間でのキャッシュレス決済増加をより細かく見たものになる。図中で背景に影をつけた部分が事業実施期間を表す。この事業は中小・小規模事業者を対象として実施したため、図 2 での事業非対象企業は比較的大きな企業を表している。そのため、事業開始前の 2019 年 9 月段階では非対象企業のキャッシュレス決済利用割合が高い。

事業実施直後に参加企業のキャッシュレス決済割合は急上昇し非対象企業を追い越している。しかし、参加企業での急激な伸びが観察されたのは事業開始直後の期間だけであり、その後の期間については参加企業と非対象企業でキャッシュレス決済割合の増加には大きな差がない。

ここから（性質 3）一定の外的ショックで行動が変化する人は限定的であり、変化はショックが発生してから比較的短期間で生じる。同じ規模のショックを継続的に加えても効果は薄いという性質も読み取れる。

図 2 キャッシュレス・消費者還元事業とキャッシュレス決済割合（スーパー）



資料 [（社）全国スーパーマーケット協会, 2020] 図表 1 のデータより筆者作成

外生的なショックとしてのポイント付与はキャッシュレス決済増加に効果的であるが、（性質 3）のように同じ規模のショックでは効果が短期間しか続かない。そのため、ポイント付与でキャッシュレス決済を増やそうとし続ける場合、前回よりも多額のポイントを付与する必要があると考えられる。

しかしながら、ポイント付与を決済事業者の負担で行うことを前提とすると、キャッ

シュレス決済の決済手数料は売上の3%程度であるため [経済産業省, 2022]、ポイントとして使える原資には強い制約がある。政府の支援によって実施されたキャッシュレス還元事業のような大規模なポイント付与を継続的に決済事業者の負担で行うことは困難である。

1.3. 支払い手続きの速度・簡便性

キャッシュレス決済のユーザー側メリットの一つとして頻繁に挙げられるものの一つは決済時間の短縮である。JCBによる実証実験では、FeliCaベースの非接触型電子マネーであるQUICKPayでの平均支払い時間は8秒程度、同じ条件での現金での平均支払い時間は28秒であった [(株) ジューシービー, 2019]。また、交通系ICカードでの平均支払い時間は5.7秒程度 (現金の平均は15.18秒) とさらに速い支払いが可能である [関田, 2020]。

このように、支払い所要時間は現金と比較すれば3~4割程度になっているものの、実時間では10~20秒程度の差に過ぎない。さらに実際に商品を購入する際には金額を確定するための登録作業時間が必要であることと、支払い時間の差は消費者本人の購入操作のために用いられる時間であり、消費者本人から見た場合には作業時間であり待ち時間ではないことを考慮すると、単純な決済時間の差が消費者の決済手段選択に大きな影響を持つとは考えづらい。

[日本銀行 決済機構局, 2018]によると、キャッシュレス決済を利用する人であっても支払い手続きのスピードを選択理由に選ぶ人は4割程度であり、ポイントや割引を理由とする人 (6割程度) より少ないことは、単純な決済時間の差では人々の行動を変えられないという予想と一致している。

1.4. キャッシュレス決済と待ち時間

本論文では、スーパーマーケットのレジのように待ちが発生しがちな支払いを前提とし、消費者が直面している「支払手続きの時間」は自分の購入処理にかかる時間ではなく、前の客の取引が終わるまでの待ち時間であると考え。この待ち時間は決済処理が速いキャッシュレス決済利用割合が増えれば短くなるが、キャッシュレス決済と現金決済の混在しているレジでは現金決済のままの人も同様に短くなるはずである。

キャッシュレス決済のように新しい方式を取り入れる際にはある程度の移行コストが必要であると仮定しよう。この場合、現金決済のままの人は、キャッシュレス決済に移行した人が支払ったコストによって短くなったレジ待ち時間をコスト負担なしで享受しているフリーライダーであると考えられる。キャッシュレス決済を増やすためには、移行コストをカバーできるほどのメリット (ポイントなど) を提供するか、決済方式によって待ち時間を変えて、キャッシュレス決済に移行するメリット自体を増やすような方法が考えら

れる。

以下では決済方法によって待ち時間を変える方法を前提としてシミュレーションを行い、キャッシュレス決済の利用割合によってこの待ち時間がどのように変化するかについて以下のような結果を得た。

1. 現金決済とキャッシュレス決済が混在しているレジであっても、現金決済の件数割合が減ると全体の処理時間は短くなる。つまり、現金決済を選択する人のフリーライダー問題は発生していることが示せた。本論文でのシミュレーションによると、現金決済の割合が 65% から 20% に減ると、単位時間あたりのレジの処理能力は 1 割程度増加することが明らかになった。この性能上昇は待ち時間短縮として顧客に還元することも可能であるし、レジでの単位時間あたり処理量を一定にしたままレジの台数を減らして事業者側のコストダウンに用いることも可能である。
2. キャッシュレス決済のみのレジを作ることで、キャッシュレス決済を選んだ人の待ち時間だけを選択的に短縮し、現金決済の人については待ち時間を延長することが可能である。単にレジをキャッシュレスのみの対応とするだけであるため追加コストはそれほどかからず実行可能である。

2. 人々の行動モデル

人々がキャッシュレス決済を始める際には、上述の 3 つの性質

- (性質 1) ポイントのような外的ショックでキャッシュレス決済は増やせる。
- (性質 2) 外的ショックで 1 度キャッシュレス決済を利用した人は、外的ショックが消えても利用する。
- (性質 3) あるショックが生じた直後にキャッシュレス決済を使わなかった人は、ショックを継続しても使うようにはならない。人によってキャッシュレス決済利用に対する抵抗感の閾値は異なる。

が観察されている。ここでは、この 3 つの性質を満たすような行動モデルを提案する。

2.1. 利得の定義

2.1.1 キャッシュレス決済移行コスト C

(性質 2) を説明するために、初めてキャッシュレス決済を利用する際には何らかのコスト C が必要であるという仮定を置く。 C は具体的な費用だけではなく、「新しい決済方法を使うことに対する漠然とした不安」といった心理的な要素も含む。ここでは C は以下のような性質を持つことを仮定する。

- **仮定 1** C は人によって異なり、プレイヤー P_i のコスト C_i は何らかの分布 F に従って分布している ($C_i \geq 0$)。
- **仮定 2** プレイヤー P_i は自分の C_i を正確に知っており、意思決定に利用できる。
- **仮定 3** プレイヤー P_i が一度キャッシュレス決済を利用した後は、 $C_i = 0$ になる。

2.1.2 利得関数 f

- **仮定 4** 人々はレジでの待ち時間 w に対して $f(w)$ という単調に減少する利得関数を持っている²⁾。
- **仮定 5** キャッシュレス決済を使ったことのないプレイヤー P_i が初めてキャッシュレス決済を使う際には、上記の C_i が影響して、利得は $f(w) - C_i$ となる。

この C を考えることで、人々の行動に関する（性質 2）が説明できる。

2.2. レジが現金決済・キャッシュレス決済の共通レジの場合

プレイヤー P_i の行動について考えてみる。ここでは単純な非協力 2 人ゲームの枠組みで考えるため、プレイヤー P_j も考える ($i \neq j$)。レジの待ち時間は 2 人とも現金決済なら w_1 、どちらか 1 人が現金決済、もう 1 人がキャッシュレス決済なら w_2 、2 人ともキャッシュレス決済なら w_3 とすると、現金決済は遅いため $w_1 > w_2 > w_3 \geq 0$ となる。また、待ち時間 w は待ち行列のパラメータによって決まる一定の下限值 $\underline{w} \geq 0$ を持つ。そのため、

- **仮定 6** $w_1 - w_2 > w_2 - w_3$

という関係が成立する。さらに、

- **仮定 7** $f(w_2) - f(w_1) > f(w_3) - f(w_2)$

も仮定しておく。

この場合の利得表は表 1 のようになる。

表 1 共通レジでの利得表

	P_j 現金決済	P_j キャッシュレス決済
P_i 現金決済	$f(w_1), f(w_1)$	$f(w_2), f(w_2) - C_j$
P_i キャッシュレス決済	$f(w_2) - C_i, f(w_2)$	$f(w_3) - C_i, f(w_3) - C_j$

表 1 からわかるように、重要なのは f と C の大小関係であるから、 C_i と C_j について場合分けを行い、ナッシュ均衡を求めると表 2 となる（現は現金決済、キはキャッシュレス決済）

表 2 より

$$f(w_3) - f(w_2) \geq C_i \quad (\text{条件 1})$$

(条件 1) を満たせば、プレイヤー P_i は常にキャッシュレス決済を選択する。初期でこの条件を満たす人たちは、キャッシュレス決済サービスが導入されたときのアーリーアダプタに相当する。アーリーアダプタがキャッシュレス決済に移行すると w が小さくなるため、外的条件が変わらなければキャッシュレス決済への移行は止まると考えられる。

表 2 場合分けによるナッシュ均衡

	P_j			
		$C_j \leq f(w_3) - f(w_2) < f(w_2) - f(w_1)$	$f(w_3) - f(w_2) < C_j < f(w_2) - f(w_1)$	$f(w_3) - f(w_2) < f(w_2) - f(w_1) \leq C_j$
P_i	$C_i \leq f(w_3) - f(w_2) < f(w_2) - f(w_1)$	(キ, キ)	(キ, 現)	(キ, 現)
	$f(w_3) - f(w_2) < C_i < f(w_2) - f(w_1)$	(現, キ)	(キ, 現), (現, キ)	(キ, 現)
	$f(w_3) - f(w_2) < f(w_2) - f(w_1) \leq C_i$	(現, キ)	(現, キ)	(現, 現)

2.3. ポイントの影響

キャッシュレス決済を利用した人に対してポイントを与えるようなプランがキャッシュレス決済利用に与える影響を検討する。単純化のため、ポイントは定額の b であると仮定する。この場合、利得表は表 3 のように変化する。

表 3 定額キャッシュレスポイント給付時の利得表

	P_j 現金	P_j キャッシュレス決済
P_i 現金	$f(w_1), f(w_1)$	$f(w_2), f(w_2) - C_j + b$
P_i キャッシュレス決済	$f(w_2) - C_i + b, f(w_2)$	$f(w_3) - C_i + b, f(w_3) - C_j + b$

表 1 との違いは定額のポイント b だけであるため、ポイント給付でキャッシュレス決済に移行するプレイヤー P_i は、

$$f(w_3) - f(w_2) + b \geq C_i \quad (\text{条件 2})$$

であるような人になる。 b の大きさに応じてこの条件を満たす人は発生するため、(性質 1) を満たすことが分かる。

このような形式でのポイント給付では、ポイント給付を開始した直後に条件を満たす人がキャッシュレス決済に移行するが継続的にキャッシュレス決済の人を増やすことはできないと考えられる。つまり、(性質 3) も満たす。

また、この構造から考えると $b_1, b_2, b_3, \dots$ と複数回ポイント付与を行ったとしても、 $b_1 < b_2 < b_3 < \dots$ のようにポイントの額を順次増やさなければ人々は反応しないはずである。長期的にはポイントはキャッシュレス決済の手数料を原資とするため、ポイントとして付与できる額には上限が存在する。そのためポイント付与によるキャッシュレス決済促進には限界がある。

さらに、キャッシュレス決済全体にポイント付与を行うような形式の場合、 C の分布 F の形状によっては既にキャッシュレス決済を使っている人に対するボーナスにしかない可能性がある。

2.4. キャッシュレス決済専用レジの影響

ポイント付与では、ポイント b を付与することによって人々の行動を変えようとした。ここでは、現金決済でもキャッシュレス決済でも待ち時間が同じである状況、つまり、現金決済を選んだ人がキャッシュレス決済者の生み出した待ち時間短縮にフリーライドしている状況を変更することを考える。

2.2 での共通レジのセットアップでは、現金決済の人もキャッシュレス決済の人も同じレジを利用していたが、ここでは現金決済とキャッシュレス決済の混在レジと、キャッシュレス決済専用レジを分離する。レジを分離したことで現金決済とキャッシュレス決済の待ち時間に差が出るため、現金決済の人の待ち時間を w^h 、キャッシュレス決済の人の待ち時間を w^s とする。

レジの待ち時間は2人とも現金決済なら w_1^h 、どちらか1人が現金決済、もう1人がキャッシュレス決済なら、現金決済の人は w_2^h 、キャッシュレス決済の人は w_2^s 、2人ともキャッシュレス決済なら w_3^s となる。この待ち時間を用いて利得表を作成すると表4のようになる。

表 4 決済方法によって待ち時間が違う際の利得表

	P_j 現金	P_j キャッシュレス
P_i 現金	$f(w_1^h), f(w_1^h)$	$f(w_2^h), f(w_2^s) - C_j$
P_i キャッシュレス	$f(w_2^s) - C_i, f(w_2^h)$	$f(w_3^s) - C_i, f(w_3^s) - C_j$

構造的には表1と同じであるため、 P_i にキャッシュレス決済を選択させるためには、

$$C_i \leq f(w_3^s) - f(w_2^h) < f(w_2^s) - f(w_1^h) \quad (\text{条件 3})$$

となるように w^s と w^h を変化させられればよい。 w^s を小さくする($f(w^s)$ を大きくする)方向は、 $w^s \geq \underline{w}$ という制約があるため限界があるが、 w^h を大きくする($f(w^h)$ を小さくする)方向については、キャッシュレス専用レジの列数を増やすことで操作可能である。

この操作は既存レジの中にキャッシュレス決済専用レジとして使い方を限定したレジを用意するだけであるため、ポイント方式のように大量の予算を必要としないメリットがある。そのため、本論文では決済方法による待ち時間調整についてシミュレーションを行い、この方式の実行可能性を示す。

3. シミュレーションの概要

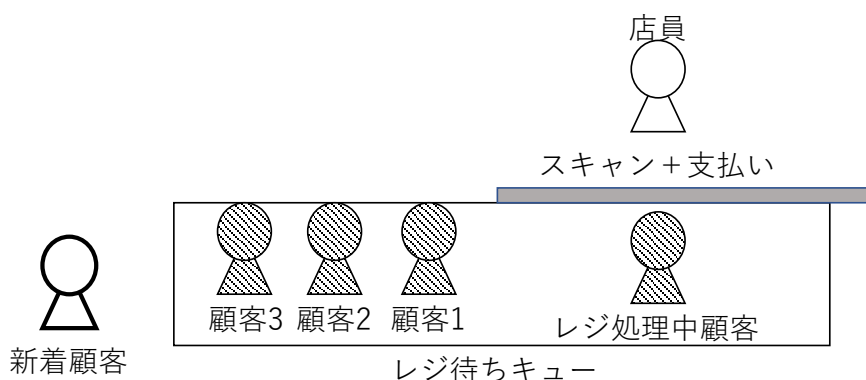
本論文でのシミュレーションの特徴は、レジでのスキャン時間や支払時間を乱数的に発生する際に実測データの分布を用いて逆関数法 [Knuth, 1981] で乱数生成している点である。多くの先行研究でスーパーマーケットのレジをシミュレーションする際には M/M/c モデルを用いており、処理時間については指数分布に従うものと仮定していることが多い³⁾。しかしながら、特に現金決済の場合は紙幣を出して釣りを受け取る、釣りが最小になるように小銭を出すなど消費者側の行動が複雑であるため、実際の分布に従った乱数生成を採用することでより実際に近い結果を得ることができると考える。

3.1. レジの構造

本論文で想定しているレジはレジ処理待ちが発生するような高速処理が必要なレジである。典型的な例としてはスーパーマーケットのレジが該当する。スーパーマーケットでは近年セルフレジやセミセルフレジを導入するスーパーマーケットは増加してきているが、本論文では追加的な投資なしで実行可能な改善を計測したいため、スキャンと支払処理は店員が行う古典的な形態を想定している（図 3）。

顧客にとっての待ち時間は到着時にレジ待ちキューに入っている先客（レジ処理中を含む）の処理時間計になる。図 3 ではレジ処理中顧客の残り処理時間 + 顧客 1~3 の処理時間である。

図 3 想定している個別レジの構造



3.2. 顧客の属性

顧客はレジ待ちキューに到着した時刻（秒単位）、購入点数と支払方法、支払時間を乱数的に付与されている。到着は Poisson 分布に従うと仮定する。購入点数と支払時間は実測データから生成しているが、乱数の性質についてはデータの項で説明する。

なお、シミュレーションでは顧客を 100 万人発生させて分析を行っている。

3.3. 複数レジへの顧客の割り付け

店舗には図 3 の構造を持っているレジが N 台設置されており、支払に来る顧客は利用可能なレジのうち、レジ待ちキューに入っている人数が一番少ない列に並ぶとする⁴⁾。シミュレーションの一部では、休止しているレジ(d 台)、キャッシュレス決済専用レジ(s 台)と、現金決済とキャッシュレス決済の両方が可能な共用レジ($N-d-s$ 台)に分割する。この場合は、顧客は自分が希望する決済方法が可能なレジから、レジ待ちキューに入っている人数が一番少ない列に並ぶ。現金決済の顧客は共用レジのみ、キャッシュレス決済の顧客は共用レジとキャッシュレス決済専用レジの両方からレジを選べることになる。

3.4. レジ待ち時間

レジを選択してレジ待ちキューに入る時刻は到着時刻と同一、レジ待ち時間は、レジ待ちキューに入った時刻から、レジでのスキャン処理開始時刻までの経過時間として定義する。図 3 であれば、顧客 1~3 のスキャン時間+支払時間、さらにレジ処理中顧客の残り処理時間の合計になる。

また、レジ待ちキュー内の人数はレジ処理中の顧客も含めて数える。図 3 であれば 4 人となる。最低人数は誰もいないレジに到着した際の 0 人である。

4. データとシミュレーションのパラメータ

4.1. レジ処理速度データの概要

本論文でのシミュレーションは、[関田, 2020]で収集したレジ処理時間データを基礎データとしている⁵⁾。このデータは 2011 年 11 月 8 日~2019 年 11 月 29 日の 12:40~13:00 に神奈川大学生協のレジで計測した実測データである。データの概要を表 5 に示す⁶⁾。

表 5 レジでのスキャン時間と支払い時間概要

支払方法	有効件数	スキャン時間 (秒)		支払時間 (秒)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
現金	304	5.60	4.06	15.18	7.09
クレジットカード	5	10.42	6.12	12.58	10.62
交通系 IC カード	40	4.41	2.05	5.76	4.48
iD	52	5.05	2.81	7.59	4.55
PayPay	42	5.01	4.00	9.66	5.27

資料：[関田, 2020]の計測データより作成

4.2. レジの台数

[（社）全国スーパーマーケット協会, 2021]における売場調査結果では売場面積の平均は 1336.4 m²、売場面積 1200 m²以上、1600 m²未満 1000 m²あたりレジ台数は平均 4.9 台であるため、小数点以下は四捨五入して 6 台を基準の台数としている。なお、シミュレーションによっては、大規模店舗でのケースも想定してより多いレジについてもシミュレーションを行っている。

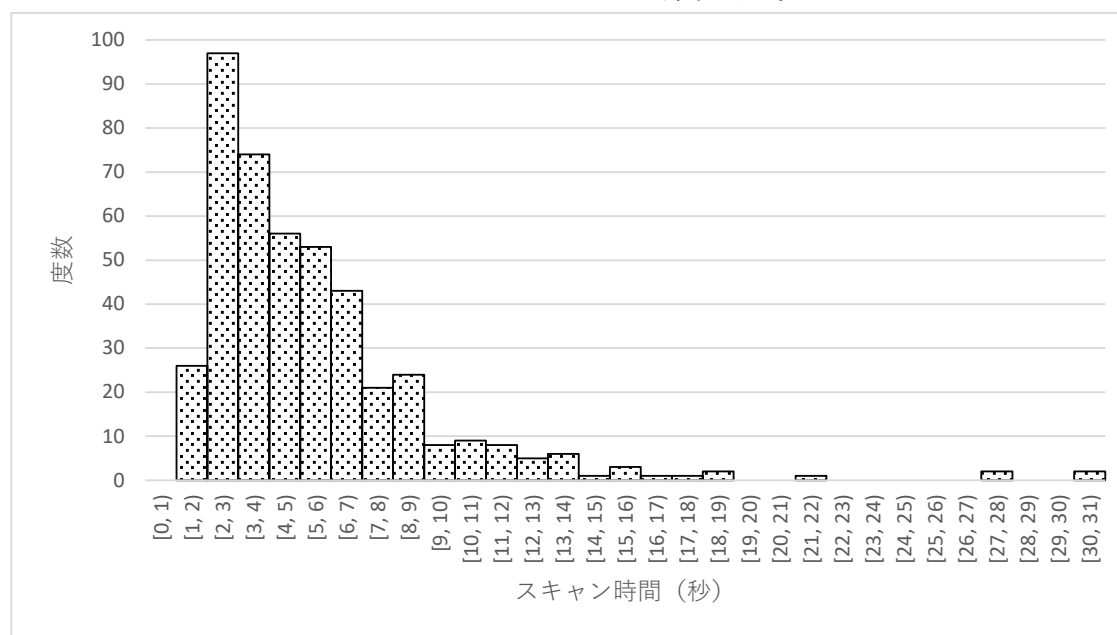
4.3. スキャン時間の分布

[関田, 2020]におけるデータ計測が大学の昼休み時間帯であるため、このデータに含まれる購入の多くは昼食である。そのため購入点数は弁当のみ、あるいは弁当+飲み物程度と全般にかなり少ないと予想されるが、データ計測時に購入点数を記録していなかったため正確な購入点数は不明である。

スキャン時間の分布は図 4 に示した通りであるが、8 秒以上 9 秒未満や、10 秒以上 11 秒未満に小さなピークがあることからわかるように購入個数によって異なるスキャン時間分布の混合分布となっているものと予想される。

商品 1 つあたりのスキャン時間は正規分布に従うと仮定し、観察されたスキャン時間を購入個数 1 点、2 点、3 点、4 点の正規分布の混合分布と仮定して近似した⁷⁾。近似結果を表 6 に示す。分布 1、分布 2 は平均が 2.74 秒、5.38 秒とほぼ 2 倍になっていることからそれぞれ購入点数 1 点、および 2 点のケースに対応するものとして扱い、以下のシミュレーションではスキャン 1 点あたりの所要時間は ($N(2.74, 0.72^2)$) で生成する。

図 4 スキャン時間の分布



資料： [関田, 2020]の計測データより筆者作成

表 6 スキャン時間分布を混合正規分布で近似

	分布 1	分布 2	分布 3	分布 4
重み	0.357	0.475	0.158	0.011
平均 (秒)	2.74	5.38	10.12	27.61
標準偏差 (秒)	0.72	1.68	3.56	2.96

資料：筆者推定による

4.4. 購入点数とスキャン時間

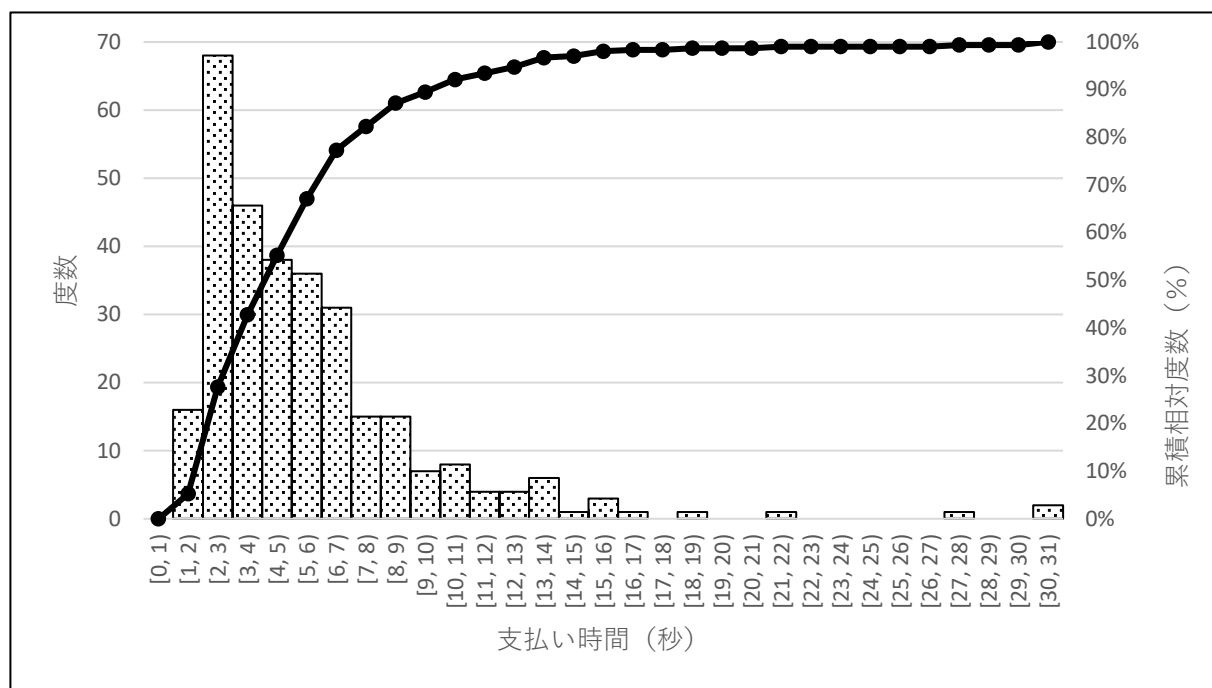
[（社）全国スーパーマーケット協会, 2021]のデータから売場面積 1200 m²以上 1600 m²未満の平均購入点数（11.5 個）となるように平均 11.5、標準偏差 $\sqrt{11.5}$ の正規乱数を生成し、四捨五入して整数化したものを購入点数としている⁸⁾。

このようにして生成した購入点数が n 個であるとき、スキャン時間は 4.3 で定義したように $N(2.74, 0.72^2)$ に従う 1 個あたりのスキャン時間を n 回生成して合計したものとして得られる。

4.5. 現金による支払い時間の分布

支払い時間は表 5 に示すように支払い方法によって平均時間が大きく異なる。特に現金は平均が大きい上に標準偏差も大きくなっている。

図 5 現金の支払い時間分布



資料： [関田, 2020]の計測データより筆者作成

現金での支払い時間分布を細かく見ると、10 秒以上支払いにかかっているケースが

10%程度あり、さらに 20 秒以上にもいくつかサンプルが分布している（図 5）。

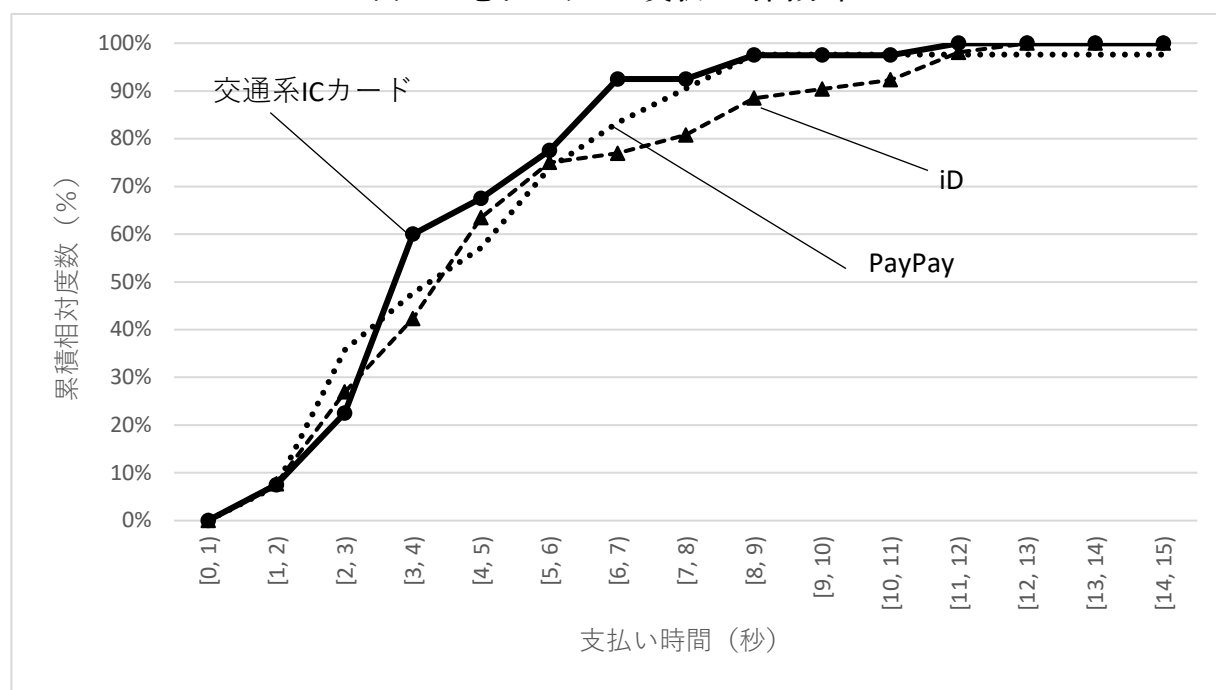
〔関田, 2020〕では「財布から小銭を探して支払いを行っている人」がこのような支払い時間が長いケースとして挙げられているが、支払い側の挙動次第で支払い時間が大きく変動することが現金払いの特徴となる。

何らかの混合分布になっていることは確かであるが、混合分布のベースとなっている個別の分布が正規分布に従うという根拠も特にないため、シミュレーションでは逆関数法で支払い時間を生成することにした⁹⁾。

4.6. 電子マネーの支払い時間の分布

〔関田, 2020〕で調査している電子マネーは、交通系 IC カード（Suica, PASMO など）、iD、PayPay の 3 種である。現金に比較すると支払い時間が全般に短くなっているが、PayPay についてはグラフ外（27～28 秒）にもデータがある（図 6）。

図 6 電子マネーの支払い時間分布



資料：〔関田, 2020〕の計測データより筆者作成

調査対象としたレジでの PayPay はユーザーの操作が多い形式（店舗の QR コードをアプリから読み取る方式）であったため、ユーザーの熟練度が大きく影響していたと考えられる。

キャッシュレス決済が速いことを利用するため、以下のシミュレーションでは支払い時間の平均と標準偏差が一番小さい交通系 IC カード支払いをキャッシュレス決済方法として用いている。

これらの分布についても何らかの混合分布になっていると思われるが、元となっている分布についての理論的な根拠がないため、シミュレーションでは現金決済と同様に逆関数法を用いて支払い時間を生成している。

4.7. 決済方法

上述の通り、現状のスーパーマーケットでの現金決済割合（ r ）が 65%程度であるため、初期値としては $r=65\%$ を採用し、シナリオとしては $0 \leq r \leq 65\%$ の区間を対象としてシミュレーションを行った。キャッシュレス決済（交通系 IC カード）での決済割合は、 $1-r$ となる。

4.8. 顧客の平均到着人数

到着は前述の通り Poisson 分布に従い生じると仮定し、毎秒の平均到着数（ μ ）から、各秒の到着数を Poisson 乱数で生成している。つまり、各顧客到着時刻は秒単位で計測されている。

本論文では、待ち時間を人々の行動を変えるパラメータとして採用しているため、レジでの待ち時間が発生することが必要である。しかしながら、スーパーのレジではキュー長が長すぎると購入を諦める顧客が生じると予想されるため、上限を設定した上で待ち時間が生じるようなシミュレーション設定が必要になる。

以下では顧客が到着した時にレジ待ちキュー内にいる人数が 3 人以内である確率が 95%以上、6 人以内である確率が 99%以上になる条件を満たすことを制約条件としている。レジで処理可能な秒あたり平均到着人数はレジの数（ N ）や現金決済の割合（ r ）などによって変わるため、上記の制約条件を満たした上で最大となるような $\mu_{N,r}$ をシミュレーションで求めた。現金決済割合については、[（社）全国スーパーマーケット協会，2021]より 65%をベースとして用いている。

表 7 レジ待ちキュー長条件を満たす最短到着間隔（レジ数別）

レジ数	6	9	12	15	18
到着間隔（秒）	7.81	5.08	3.74	2.98	2.46
平均到着人数 $\mu_{N,r}$ （人/秒）	0.13	0.20	0.27	0.34	0.41

資料： 筆者によるシミュレーション結果

5. シミュレーション結果

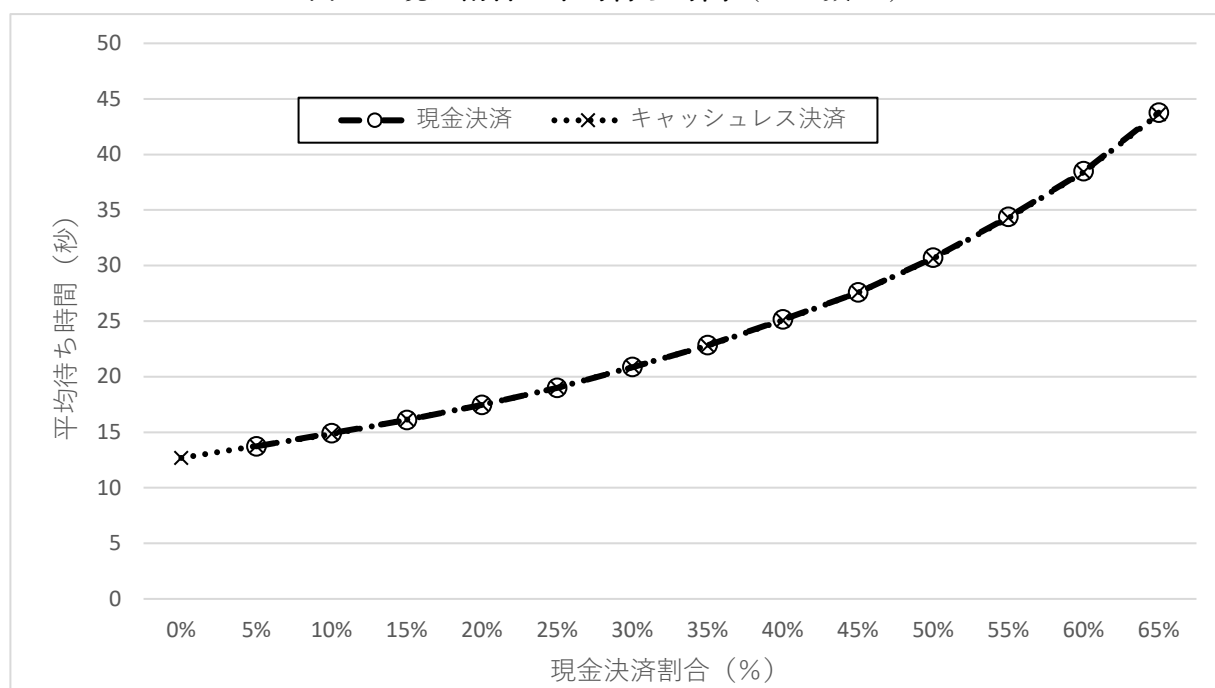
本論文では、すべてのレジが現金決済とキャッシュレス決済の共用レジであるケースと、キャッシュレス決済専用レジを設定したケースに分けてシミュレーションを行った。

5.1. レジがすべて現金決済とキャッシュレス決済の共用レジである場合

5.1.1 現金割合と平均待ち時間

顧客の単位時間あたり平均到着間隔を表 7 の値で一定にしたまま現金決済割合を初期値の 65% から減らした場合、平均待ち時間は図 7 のように変化する。現金決済割合が 65% では平均待ち時間は 44 秒程度であるが、30% まで減ると 20 秒程度まで短くなることがシミュレーションで示された。レジがすべて共用レジであることから予想されるところ、支払方法による平均待ち時間の差はほとんどない。

図 7 現金割合と平均待ち時間（レジ数=6）



資料： 筆者によるシミュレーション結果

このシミュレーションからは、（結果 1）顧客の平均到着件数が一定であれば、現金決済割合を減らすことで顧客のレジ待ち時間は減少する。（結果 2）現金決済・キャッシュレス決済の共用レジでは現金決済割合が減少したことによるレジ待ち時間減少のメリットは現金決済の人にも同じように共有される、の 2 つが得られる。

（結果 2）の現金決済の人にも同じように待ち時間減少のメリットがある点は、現金決済の人がキャッシュレス決済を選択した人にフリーライド可能であることを示している。これはキャッシュレス決済を積極的に増やしたい場合には好ましくない性質である。この点については、キャッシュレス決済専用レジを設定したシミュレーションで検討する。

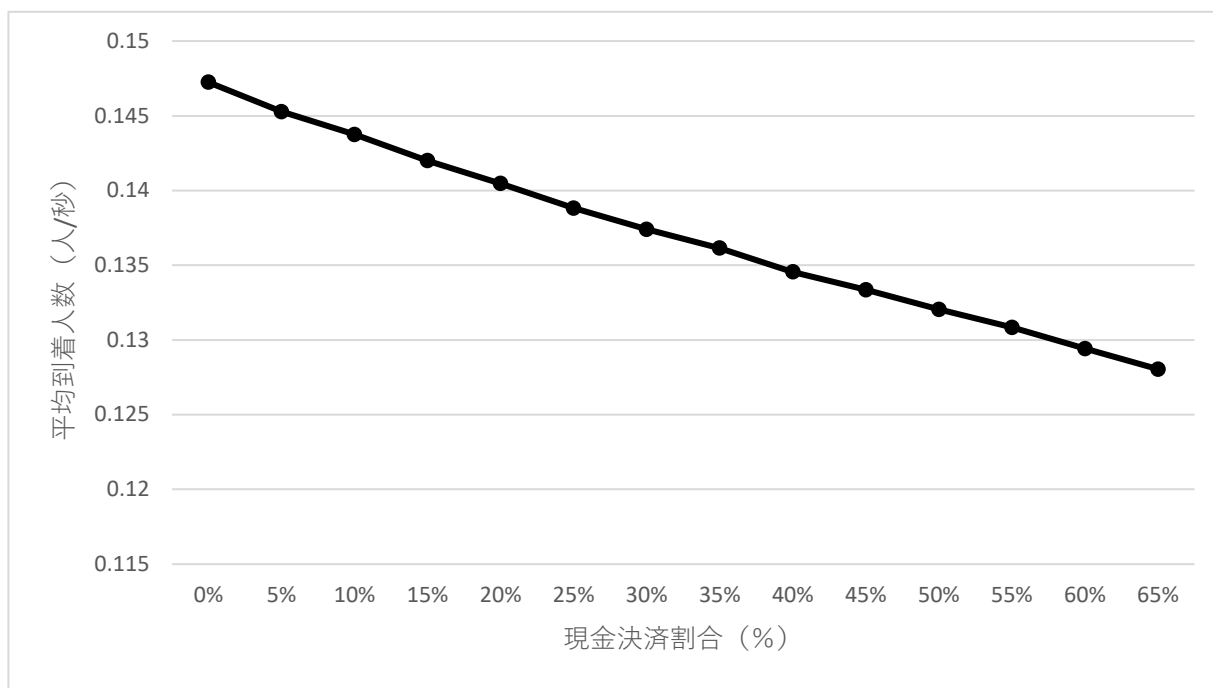
5.1.2 現金割合と最短到着間隔

5.1.1 での共通レジ分析は現金決済割合減少のメリットをすべて消費者側、すなわちキュー待ち時間の減少に振り向けたものである。しかし、キャッシュレス決済には手数料などのコスト要因もあるため、店舗側のメリットとなるような要素もあることが望ましい。

ここでは現金決済割合が減少した場合でもキューの長さが 4.7 の条件（レジ待ち人数が 3 人以下の確率が 95%以上、6 人以下の確率が 99%以上）を満たす範囲で到着間隔を短くした場合、どの程度レジで対応できる人数が増えるかを求めたものが図 8 である。

処理可能な平均到着人数は予想通り現金決済割合が減ると増え、現金決済割合が 20% 程度まで減ると毎秒 0.140 人程度の到着でも処理可能となる。これは 65%時の毎秒 0.128 人と比較して 1 割程度多く、現金決済割合の減少がレジ処理能力向上に繋がることが示せた。

図 8 現金決済割合と平均到着人数（レジ数 = 6）



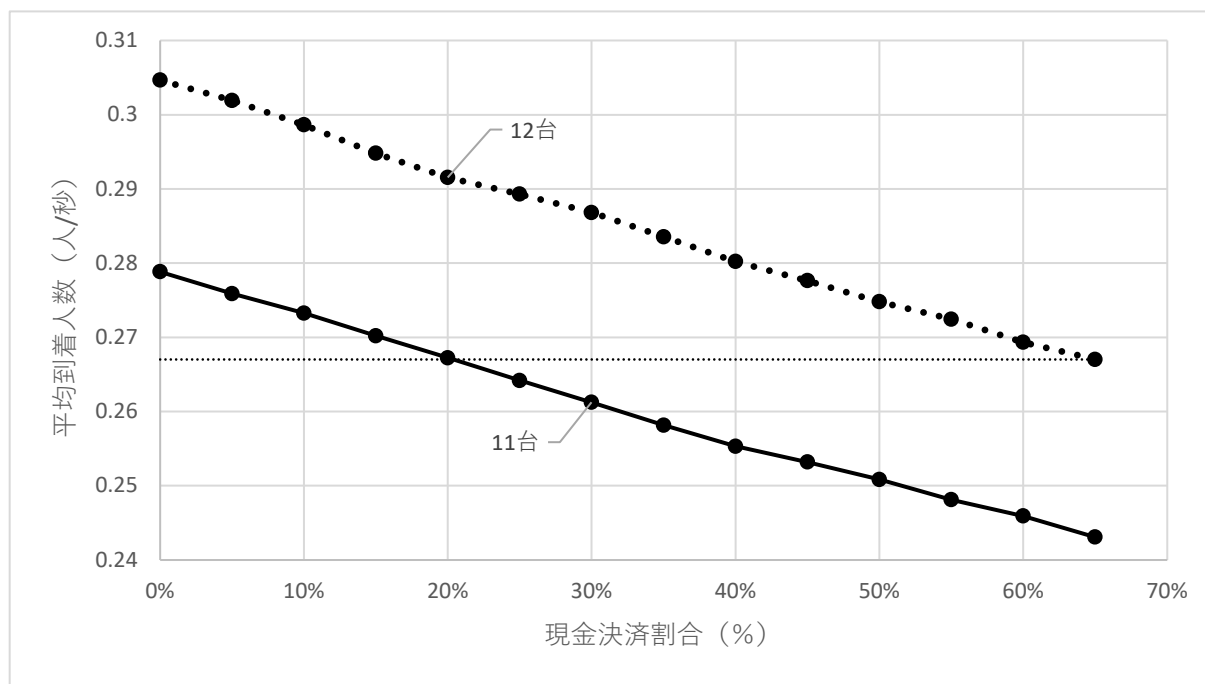
資料： 筆者によるシミュレーション結果

レジ台数が 6 台では 10%処理能力が上がってもレジを 1 台減らすことはできないが、レジ台数が増えれば処理能力上昇をレジ数の減少に使うことが可能になるはずである。この点についてレジ数 12 台とレジ数 11 台で処理可能な平均到着人数を求めた結果が図 9 となる。

図 9 の結果でも、12 台、現金決済割合 65%と同等の処理能力が、11 台、現金決済割合 20%程度で得られていることが示せている。

ここまでのシミュレーションから、現金決済割合を減らすことで店舗側、顧客側の両方にレジ処理速度向上のメリットがあることが明らかになった。特にレジ数が多い大型店舗ではレジの台数を減らす余地が大きくなるため、現金決済割合を減らすことでレジに関するコストダウンが期待できる。

図 9 現金決済割合と平均到着人数（レジ数=11 と 12）



資料： 筆者によるシミュレーション結果

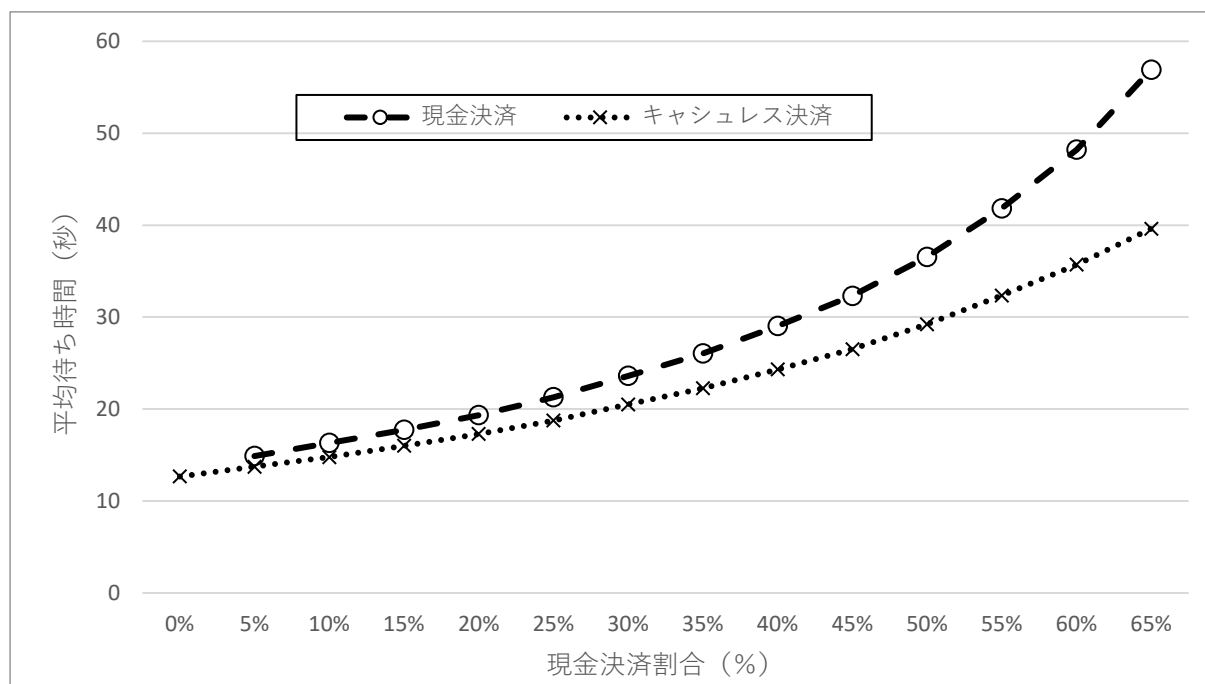
5.2. 一部のレジがキャッシュレス決済専用レジである場合

5.1 でのシミュレーションでは、すべてのレジが現金決済とキャッシュレス決済の混在レジであったため、現金決済割合減少による待ち時間減少は現金決済を選択している人にも、キャッシュレス決済を選択している人にも同様に生じた。これに対して 5.2 ではキャッシュレス決済専用レジを設定することにより、決済方法によってレジ待ち時間が異なるようにした場合を検討する。

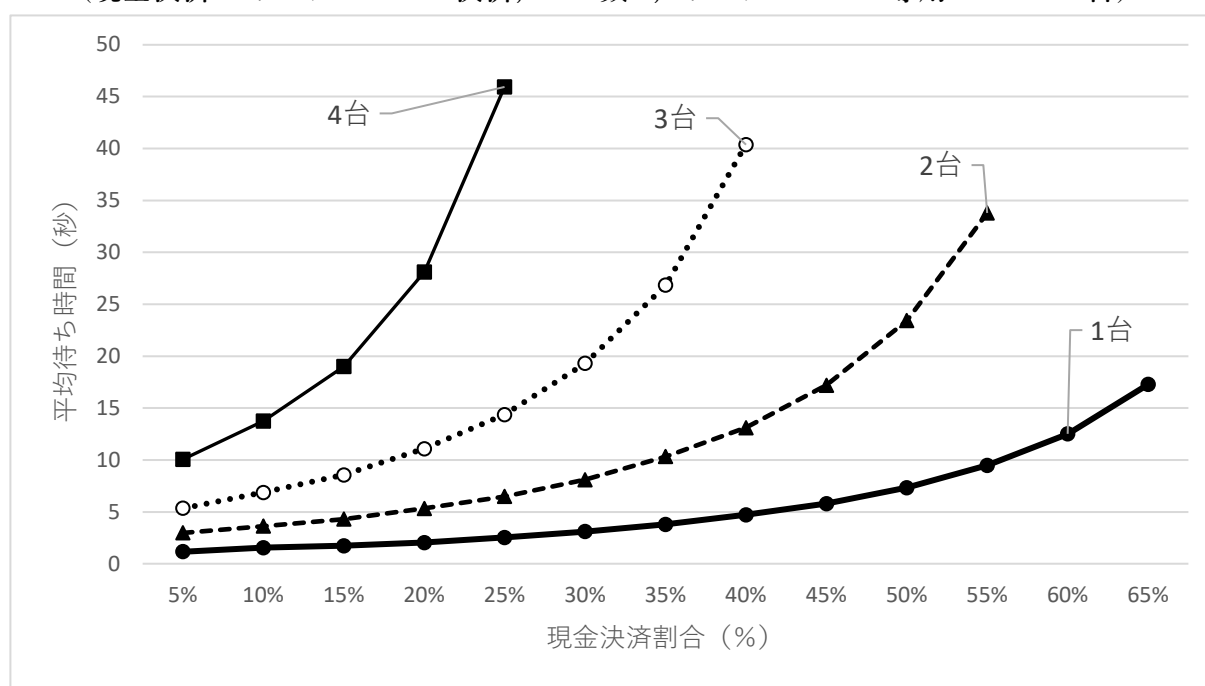
5.2.1 現金割合と平均待ち時間

顧客の単位時間あたり平均到着間隔を表 7 の値で一定にしたまま現金決済割合を初期値の 65%から減らした場合、総レジ数 6 台、うちキャッシュレス決済専用レジ 1 台での平均待ち時間は図 10 のように変化する。すべてのレジが共用レジだった図 7 と比較すると、キャッシュレス決済のレジ待ち時間 w^s は減少し、現金決済のレジ待ち時間 w^h は増加している。

図 10 現金決済割合と平均待ち時間（総レジ数 6, うちキャッシュレス専用レジ 1）



資料： 筆者によるシミュレーション結果

図 11 現金決済割合と決済方法による平均待ち時間の差
(現金決済－キャッシュレス決済, レジ数 6, キャッシュレス専用レジ 1～4 台)

資料： 筆者によるシミュレーション結果

条件 3 に示したように、 $f(w^s) - f(w^h)$ がキャッシュレス決済へ移行する際のコスト C 以上であればキャッシュレス決済が選択される。ここでのシミュレーションで示したように、キャッシュレス決済専用のレジを設定するという単純かつ低コストの方法で $f(w^s) - f(w^h)$ をコントロールすることが可能である。

図 10 に示したように現金決済割合が減少するにつれ決済方法によるレジ待ち時間の差は減少するが、現金決済割合に応じてキャッシュレス決済専用レジの台数を増やすことで、キャッシュレス決済の方が有利である状況を維持することができる（図 11）。

6. 考察

6.1. 待ちが発生する環境でのキャッシュレス決済

本論文では待ち時間が問題となるケースと実際のレジでの支払時間データを用いた待ち時間コンピュータシミュレーションを行った。その結果、（結果 1）キャッシュレス決済の割合が増えると待ち時間は短縮することが示された。また、（結果 2）現金決済とキャッシュレス決済が混在するレジでは、キャッシュレス決済による待ち時間短縮はキャッシュレス決済を選択した人だけではなく、現金決済を選択している人にも同じように生じることが分かった。

この結果は、キャッシュレス決済に漠然とした不安感を持つために避けている人たちであっても、他の人がキャッシュレス決済を選んでくれれば、レジ待ち時間短縮にフリーライドできることを示している。

この問題を解決しキャッシュレス決済をより普及させるために、本論文では（条件 3）式を満たすよう現金決済とキャッシュレス決済の待ち時間に差を付けることを提案している。図 11 に示したシミュレーション結果より分かるように、現金決済割合の割合が変わっても適切にキャッシュレス決済専用レジの列数をコントロールすることで現金決済とキャッシュレス決済の待ち時間に差を付けることができる。

このことは、ポイント付与のように実行するために多くのコストを必要とするキャッシュレス決済普及策だけではなく、キャッシュレス決済専用レジを設定するような低コスト手段も効果的であり、十分検討する意味があることを示している。

6.2. 待ちが発生しない環境でのキャッシュレス決済

本論文では待ちが発生するような環境での決済を取り上げたが、キャッシュレス決済が使われる環境の中には小さな小売店などで決済頻度が低く、決済待ちが実質的に発生しない場合も当然存在する。

このようなケースでは待ち時間は実質的に 0 に固定されるため、待ち時間に差を付けることによってキャッシュレス決済を促進することはできない。このようなケースであってもポイント付与による手法は有効であるが、ポイント付与には限界がある点に変わりはない。

6.3. キャッシュレス決済普及のために必要なこと

6.3.1 キャッシュレス決済手段の絞り込み

消費者側から見れば、待ちが発生する環境と発生しない環境で複数のキャッシュレス決済手段を使い分ける意味はない。待ちが発生する環境で使える決済手段であれば、より遅くても構わない待ちが発生しない環境でも利用可能であるため、キャッシュレス決済を広く普及させるためには、決済に必要な時間が短く、決済時間の分散も小さい方法を広く使えるようにすることが望ましい。

表 5 の範囲では交通系 IC カードが平均、標準偏差ともに小さくなっている。交通系 IC カードのベースとなっている FeliCa 技術は日本の自動改札機での利用を前提として設計されており、自動改札機では一人当たり 0.2 秒で処理可能である [大槻, 2011]。処理速度の安定した速さを優先するのであれば、交通系 IC カードが第一選択肢となる¹⁰⁾。

6.3.2 決済手数料の軽減

[経済産業省, 2022]でのコスト構造分析によると、電子マネー決済の手数料 3.25%のうち、電子マネー事業者のイシュー手数料は 1.5%である。更にイシュー手数料を分解するとポイント費用が 0.50%、チャージ関連費用が 0.55%となっている。チャージ関連費用をチャージ手段別に見ると、現金では 0.3%、銀行引落では 0.60%、クレジットカードでは 1.3%となっている。本論文での結論のようにポイントでの誘導を止めることで 0.50%、チャージ方法を「ことら送金」¹¹⁾のような低コストオンライン決済に限定することでさらに減らすことが可能であると考ええる。

謝辞 本研究での理論モデル定式化については、同僚である三浦慎太郎氏（神奈川大学経済学部准教授）からの助言が大きく役立った、ここに記して感謝の意を表する。なお、本稿の誤りなどはすべて筆者の責任に帰する。

7. 参照文献

KnuthE.Donald. (1981). 準数値算法／乱数 (第 3 巻). (渋谷政昭, 訳) サイエンス社.

LiuQun, ChenHongxu. (2022). Optimization of J Supermarket Cashier Service System Based on M/M/c Model. Proceedings of the 4th International Conference on Management Science and Industrial Engineering, 478–484.
doi:10.1145/3535782.3535846

PriyangikaJ.S.K.C, CoorayT.M.J.A. (2016). Analysis of the Sales Checkout Operation in Supermarket Using Queuing Theory. Universal Journal of Management, 4(7), 393 - 396. doi:10.13189/ujm.2016.040703

大槻知史. (2011 年 6 月). Suica システムの概要. 電気設備学会誌, 31(6), 408-411.
doi:<https://doi.org/10.14936/ieiej.31.408>

(社) キャッシュレス推進協議会. (2020 年 06 月). キャッシュレス調査の結果について.
参照日: 2020 年 09 月 15 日, 参照先: キャッシュレス・ポイント還元事業:
https://cashless.go.jp/assets/doc/200630_questionnaire_report.pdf

(社) キャッシュレス推進協議会. (2022 年 6 月). キャッシュレス・ロードマップ 2022.
参照日: 2022 年 9 月 20 日, 参照先: <https://paymentsjapan.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/roadmap2022.pdf>

経済産業省. (2022). キャッシュレス決済の中小店舗への更なる普及促進に向けた環境整備検討会 とりまとめ. 参照日: 2022 年 9 月 20 日, 参照先:
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/cashless_payment/pdf/2022_0318_1.pdf

(株) ジェーシービー. (2019 年 8 月 28 日). 決済速度に関する実証実験結果. 参照先:
JCB グローバルサイト: <https://www.global.jcb/ja/press/00000000162855.html>

関田将任. (2020). 大学生協におけるキャッシュレス決済の有効性. 神奈川大学経済学部卒業論文.

(社) 全国スーパーマーケット協会. (2020 年 6 月 29 日). スーパーマーケットにおける「キャッシュレス決済に関する実態調査」調査結果概要. 参照日: 2022 年 10 月 1 日, 参照先: 全国スーパーマーケット協会: <http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2020/06/nsaj-cashless20200629.pdf>

(社) 全国スーパーマーケット協会. (2020). スーパーマーケット年次統計調査報告書. 参照日: 2021 年 3 月 22 日, 参照先: <http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2020/10/2020nenji-tokei.pdf>

(社) 全国スーパーマーケット協会. (2021). スーパーマーケット年次統計調査報告書. 参照日: 2022 年 6 月 6 日, 参照先: <http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2021/10/2021nenji-tokei1.pdf>

外山祥平, 平山雅之. (2017 年 11 月). レジ混雑緩和システムの設計と実装. 電子情報通信学会技術研究報告, 117(273), 203-208. 参照先: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520290883209889536>

日本銀行 決済機構局. (2018). キャッシュレス決済の現状. 決済システムレポート. 参照先: <https://www.boj.or.jp/research/brp/psr/data/psrb180928a.pdf>

日本経済再生本部. (2016 年 06 月 02 日). 日本再興戦略 2016. 参照日: 2020 年 09 月 15 日, 参照先: 日本経済再生本部 これまでの成長戦略について: https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/zentaihombun_160602.pdf

¹ クレジットカード、デビットカード、電子マネーカードの合計枚数を総人口で割った平均枚数。スマートフォンアプリによる決済手段などはカウントされていないことに注意が必要。

² f_i と個人化しても結果に影響はないため、単純化のために共通の f を仮定する。

³ たとえば [Priyangika Cooray, 2016], [Liu Chen, 2022]など。

⁴ [外山 平山, 2017]で提案されているような顧客毎の所要時間を推定するシステムは前提としないため、顧客の判断基準はキュー内の人数である。そのため、人数が少なくても待ち時間が長い可能性は排除できない。待ち人数が最少のレジが複数台ある場合は、その中からランダムに並ぶレジを選択する。

⁵ 卒業論文は一般に公表された著作物とはされないため、著者の許可を得て参照している。また、基礎データは作成者の許可を得て、CC BY 4.0 ライセンス下で公開している (<https://github.com/santa-o/casher>)

⁶ 計測はレジ横での目視で商品登録、支払などのステップを確認し、GAS (Google Apps Script) を用いた計測ツールで 1/1000 秒単位で時刻を記録した。

⁷ この分解には、R の mixtools パッケージ (1.2.0) に含まれる normalmixEM 関数を用いた。初期値としては、購入点数 1 点あたりのスキャン時間を平均 2.5 秒、標準偏差 1 秒として与えた。

⁸ 乱数的に生成した購入数が 0 個以下になった場合は、購入個数を再生成している。そのため厳密には正規分布ではなく、左が切り落とされた正規分布となっている。

⁹ スキャン時間と同様に混合正規分布として分解を試みたが、初期値の与え方で結果が不安定だったため採用しなかった。

¹⁰ [(社) キャッシュレス推進協議会, 2022]で 2020 年以降のキャッシュレス全体額に占める割合の増減率を見ると、コード決済は 2020 年で 230.0%、2021 年は 66.3%の増加となっている。同じ時期の電子マネーは 4.9%、-1.1%と伸び悩んでおり、決済手段の選択は効率性だけでは決まっていない。

¹¹ [株式会社ことら \(cotra.ne.jp\)](https://www.cotra.ne.jp/) <https://www.cotra.ne.jp/>