

---

# 課題解決型(PBL)演習 A「科学の力で世の中をモデル化しよう」 川内の杜ダイニング行列解消に関する提案書

---

## 現状の課題

---

東北大学川内北キャンパスの杜ダイニング(杜ダイ)は日々たくさんの利用者数を誇り、日々東北大学の学生で賑わっている。そのような杜ダイには一つ、解決したい課題がある。それは、ランチタイムの待ち時間の長さだ。多くの学生が杜ダイで昼食を摂ろうとしているのに、食事にありつけるまで数十分待つこともしばしばである。

そこで今回、課題解決型PBL演習Aの授業では、杜ダイにおける現状の問題の要因を探り出し、シミュレーション等を使い定量的に評価することで、低コストで効果的な解決策を検討した。解決策により、総合的に学生の満足度は上昇し、さらに魅力ある憩いの場となるだろうと考えた。

具体的な達成目標としては、ピーク時間における最大待ち時間を低コストに改善する、各レーンごとの人数の最低分配を促す、そして最終的に学生にも最適化に協力してもらうことである。

## 調査内容および結果

---

**調査日時:** 2018年5月23日

**調査方法:** 授業履修中の学生4人、田中先生、TA1人の合計6人による観察と記録を行い、それに伴いビデオの撮影も行った。後日、撮影したビデオを基に現金を使う人とプリペイドカードを使う人の割合を手作業で分析した。

**調査項目:** 列に並びに来る人数(流入量)と、レジが処理する人数(処理量)を、それぞれ1分毎に記録した。

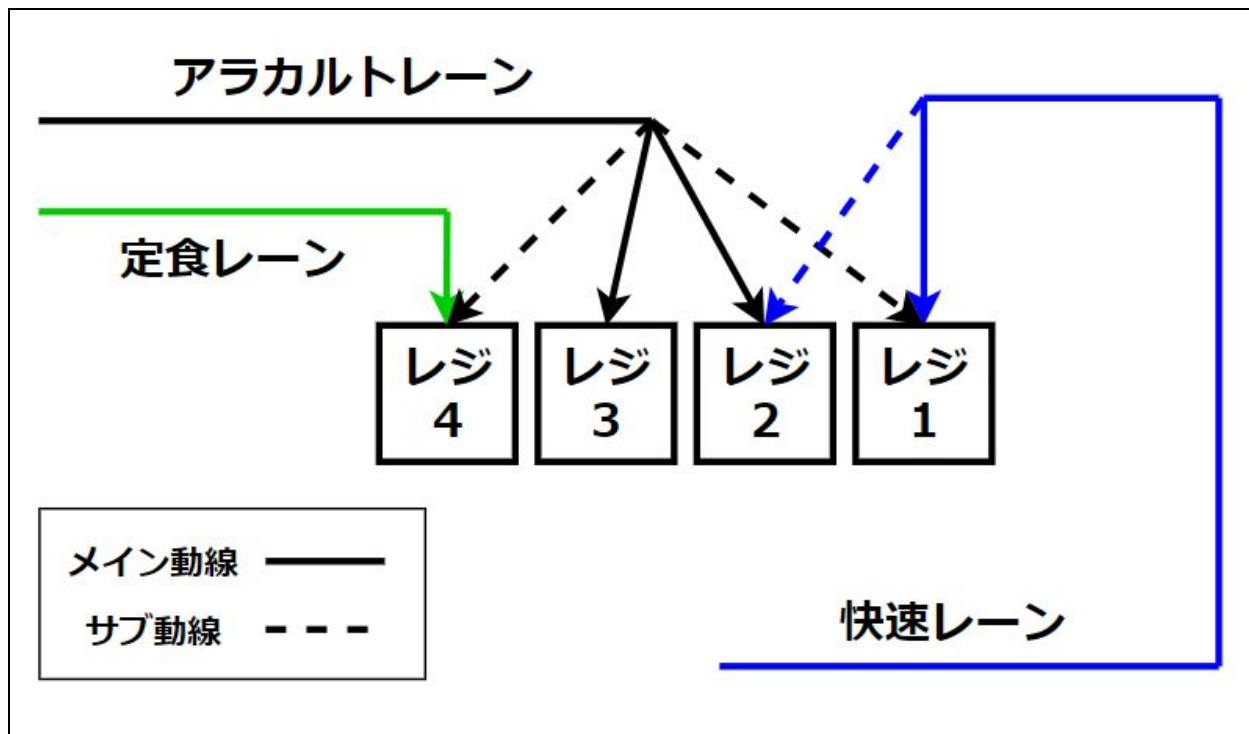
**結果:**

行列はアラカルトレーン、定食レーン、快速レーンの3つに分かれていた。このうち、定食レーンと快速レーンの行列はそれほど長くなかった反面、アラカルトレーンはその行列が食堂の外にまで並ぶほどその問題は深刻であった。

レジは合計4つあった。食堂の番号は食堂の奥の方(快速レーンの方)から4, 3, 2, 1の順に付与されていたが、本稿では奥の方を1とし、1, 2, 3, 4の順にする。調査を始めた時は1番と3番のレジのみ開かれていたが、11時47分に4番レジ、12時9分に2番レジが開かれた。定食レーンの顧客はほぼ4番レジ

に集中した。快速レーンの顧客は1番レジに集中したが、1番レジで渋滞が発生している場合は2番レジも利用することが確認できた。アラカルトレーンの場合、主に2番と3番レジを利用したが、1番や4番レジが空いている場合、それを利用する傾向が見られた。以上の様子を概略図にまとめると以下の通りである。

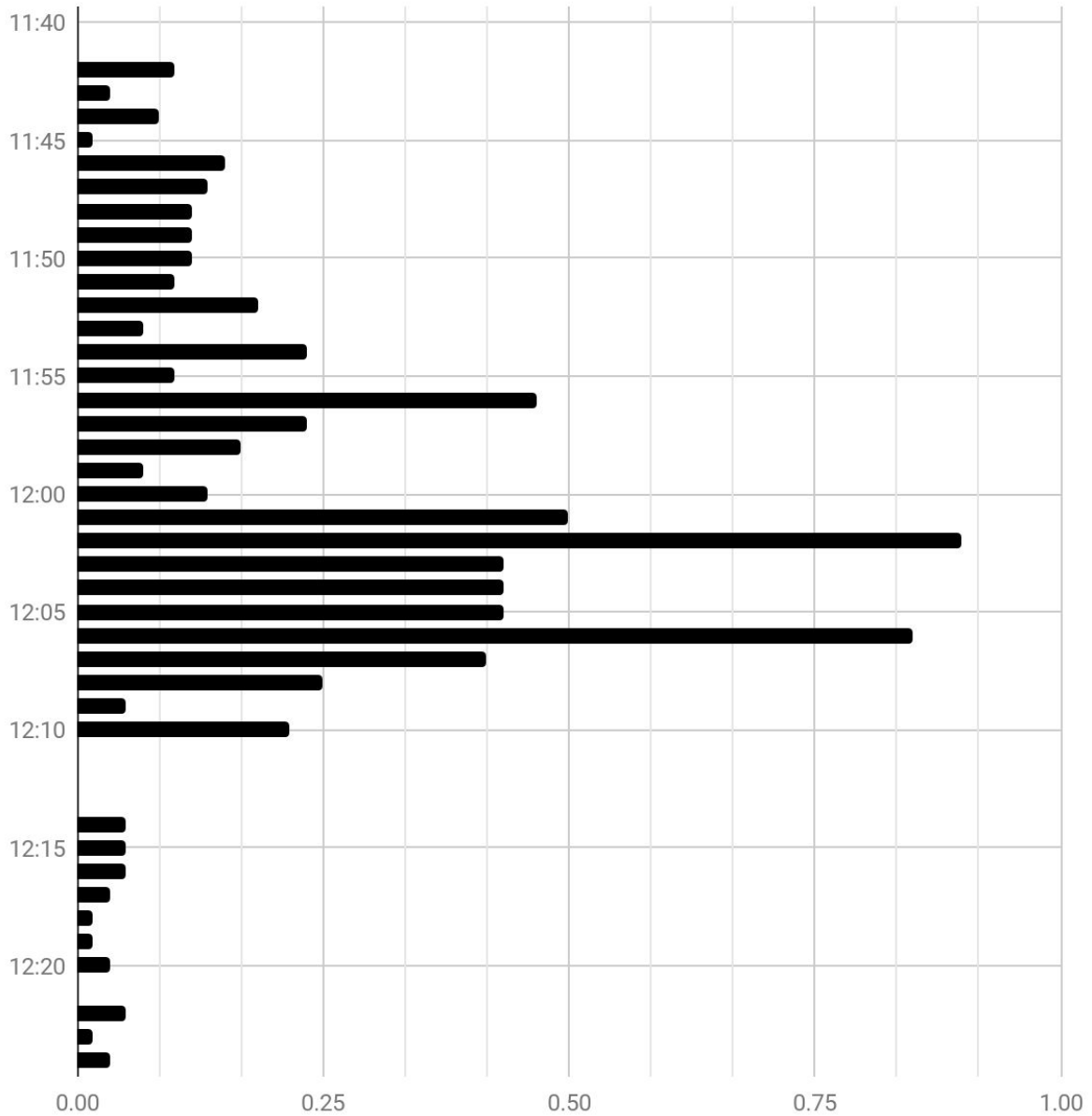
図1 杜ダイのレーンの動線とその概略図(4つ開かれている場合)



行列に並ぶ平均到着率( $\lambda$ 、1秒あたり並ぶ人数)は11時51分から12時9分まで集中する傾向が見られた。特に12時定刻から12時6分の間には、調査時間に並んだ448人の内、半分以上である238人の顧客が並んだ。グラフに表すと以下の通りになる。

# 1秒あたり列に並ぶ人数

アラカルトレーン

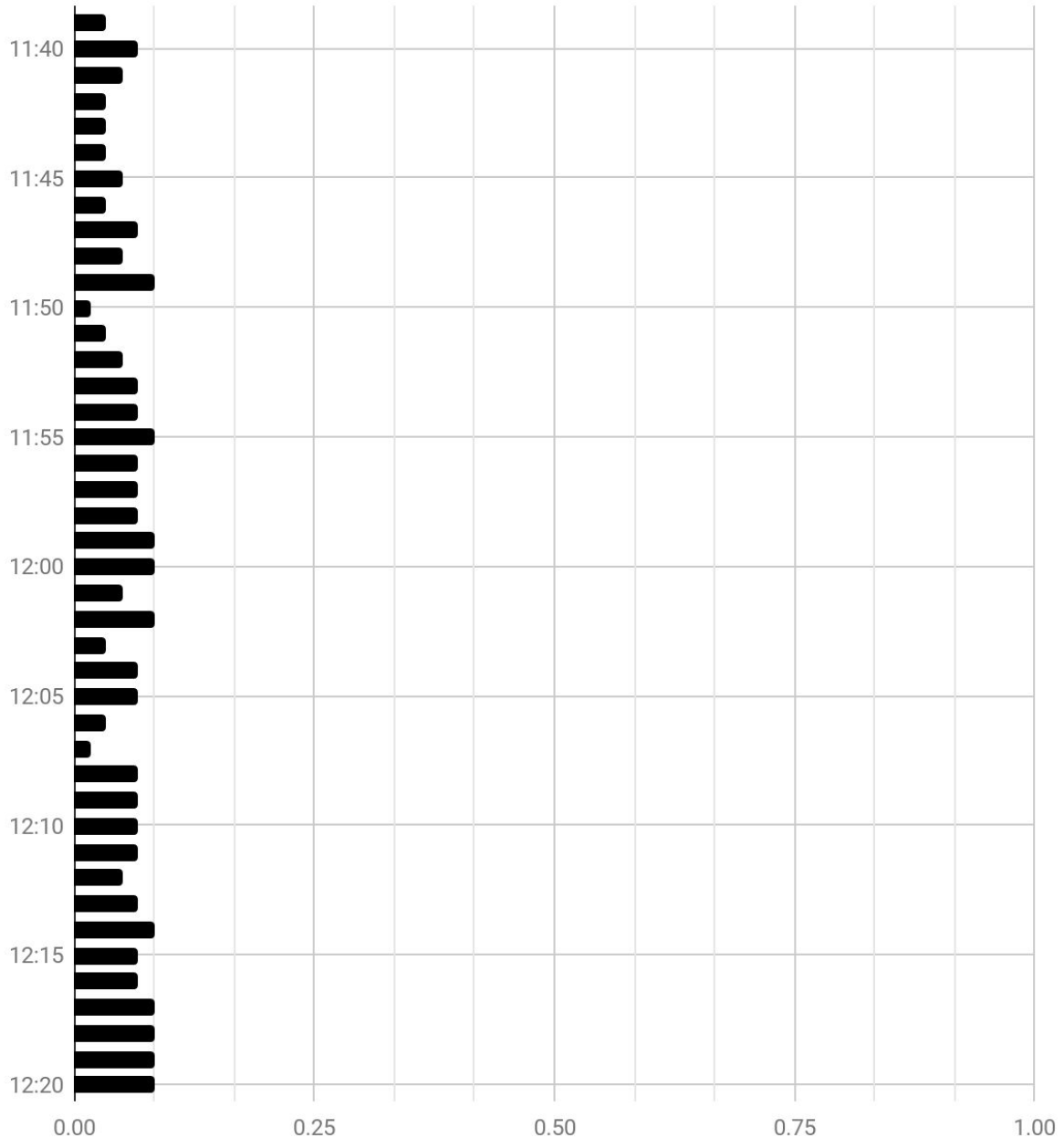


グラフ1 単位時間別流入率(アラカルトレーン)

顧客の会計の処理速度を表すレジの平均サービス率( $\mu$ 、1秒当たり処理する人数)は、時間にかかわらず一定な傾向が見られた。しかし、現金を使用する顧客や、財布から支払い手段を予め用意していない顧客がいる場合は、流出率が低下することが確認できた。

# 1秒あたりの処理人数

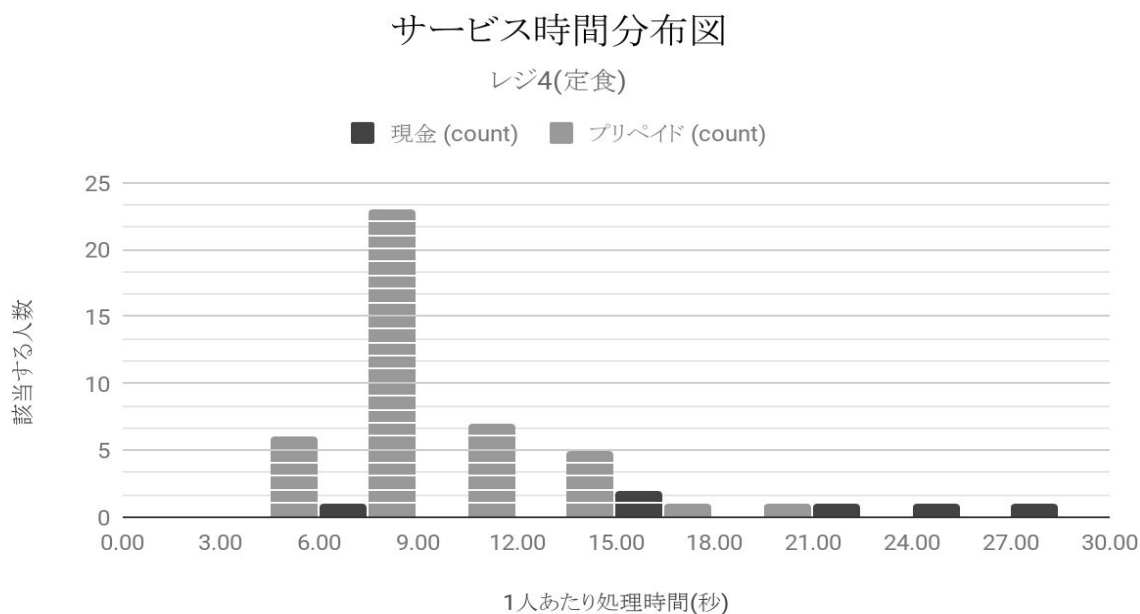
レジ3(アラカルトレーン)



グラフ2 単位時間別流出率(レジ3)

後日動画分析で現金・プリペイドカードのサービス時間を確認してみた所、大きな差があることが後日動画分析で明らかになった。動画分析では、4番レジ(定食レーン)を撮った動画の内、最初の49人を対象とし、支払方法によるサービス時間を手作業で分析した。その結果、現金支払いのサービス時間は平均19.3秒で、プリペイドカード支払の平均サービス時間8.7秒を上回った。また、現金を使う顧客の

割合は約12%で、プリペイドカードを使う割合の約88%を下回った。動画分析の結果は次の通りである。



グラフ3 サービス時間分布図

## 提案・期待される効果

そこで私たちが提案する解決策は2つである。

まず1つは、**混雑が始まる前に4つ目のレジを開けておくことである**。後にシミュレーション結果を示すが、少し早めることによって行列の長さが大きく変わり、ひとりひとりの待ち時間も短縮される。

2つ目に、**具体的な数字を用いて学生への働きかけを図ることである**。具体的には、SNSやポスターによって混雑の現状を提示し、また財布をあらかじめ出すように告知しておく。この際に私たちのシミュレーションしたデータを用いることによって、より明確に混雑度合いを提示することが出来る。これらによって、学生は並ぶ時間をずらそうと考えることもあるだろうし、レジにかける時間を短くすることもでき、結果的に待ち時間が短くなるだろう。

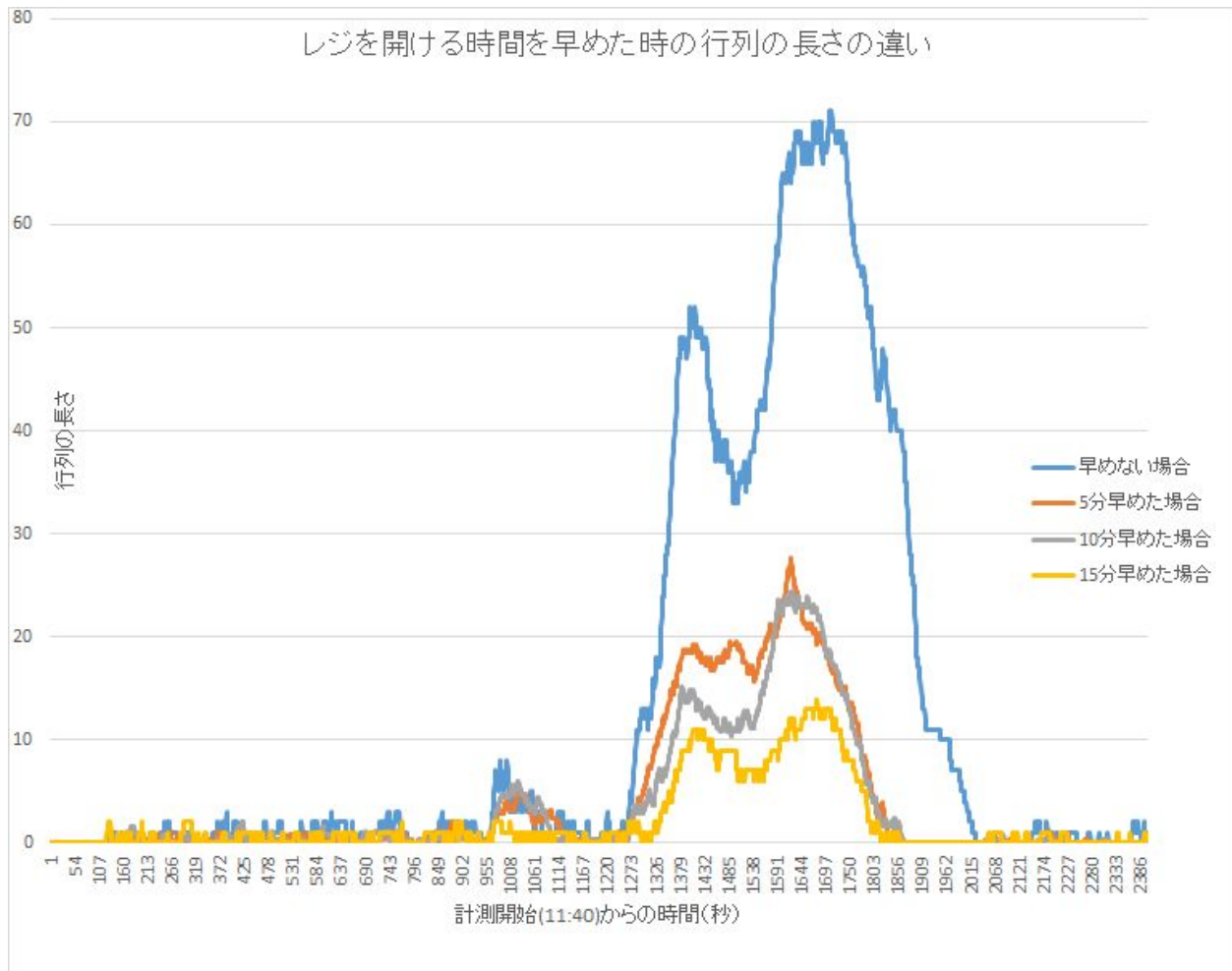
・期待される定量的な効果

以上の提案の有効性を裏付けるために、私たちは待ち行列モデルを用いてシミュレーションを行った。はじめに、このシミュレーションについて説明する。待ち行列モデルとは、顧客がサービスを受けるために行列に並ぶ際の混雑状況を解析するためのものである。私たちは、レジの処理速度はプリペイ

ド支払いと現金支払いそれぞれで一定であるという仮定をもとに、レジに並ぶ人の数、レジの処理速度、プリペイドカードを使う割合 という変数を組み込んだ。このうち、レジに並ぶ人の数と、レジの処理速度というパラメータは実測値に基づくが、プリペイドカードを使う割合はおおよその推測に基づいている。また、これらはたった一度の計測に基づいているため、統計的なばらつきは大きくなる。

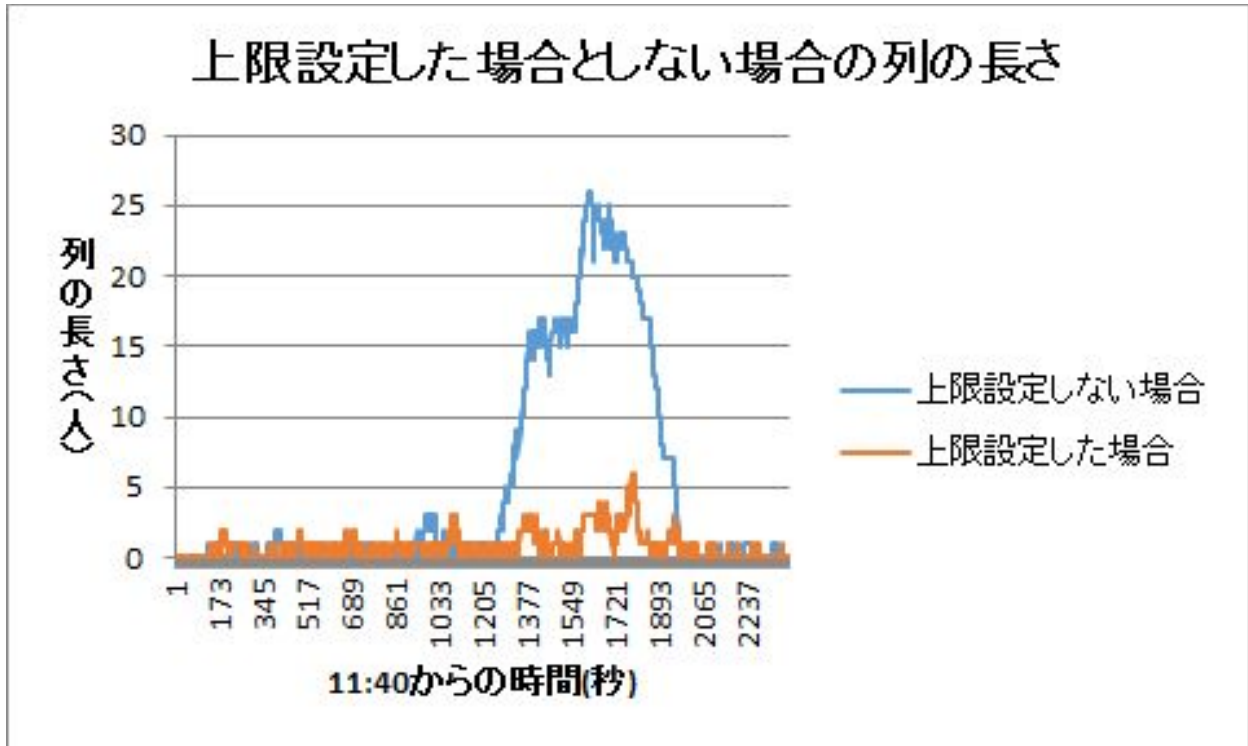
第一の提案について、4つ目のレジを開ける時間を早めたときのグラフは以下の通りである。レジを開ける時間を5分早めただけで行列の長さが大きく変わる

。

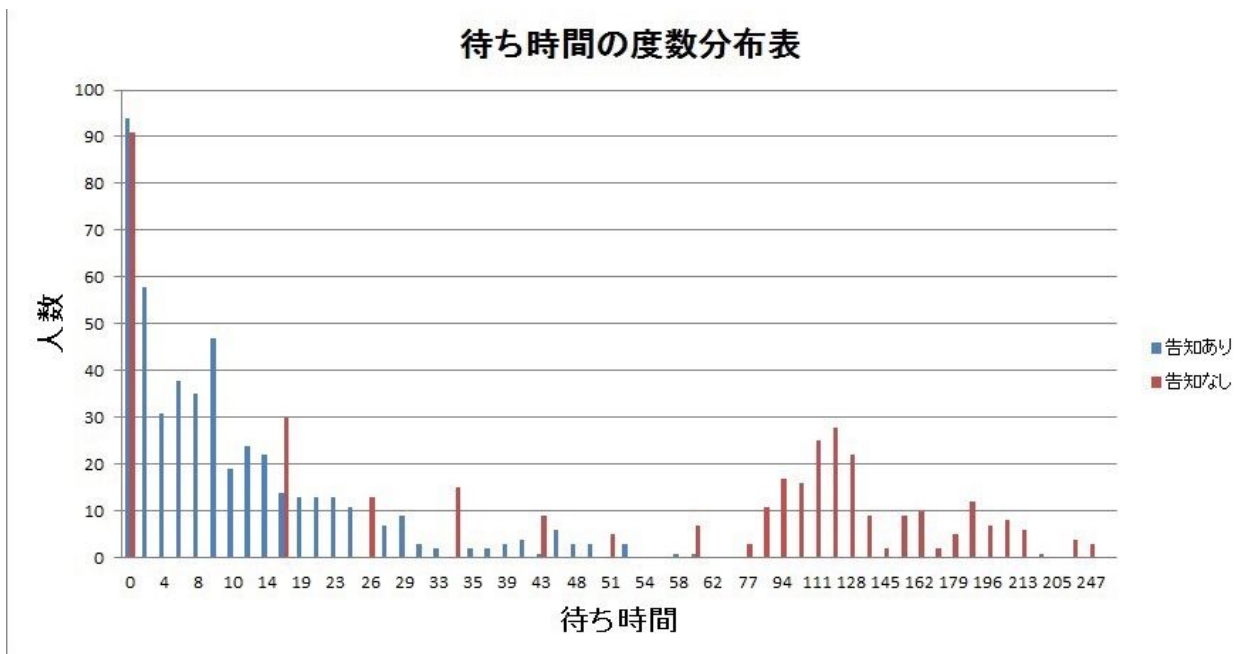


ことがわかる

次に第二の提案について、「一分間あたりに並ぶ人数に上限を決め、それを超える人数は繰り越して次の時間に並ぶ」という形で、「並ぶ時間をずらす」ことをモデル化した。すると、上限を一分間あたり20人に設定した場合、並ぶ時間の最大値は1/4程度まで減少した。



▼待ち時間の度数分布表



告知した場合には、告知しなかった場合に比べて待ち時間が少なくなる傾向があることがわかる。

表1: 11:39~12:25におけるレジ1~4の単位分当たりの流出量・流入量

|       | レジ1(アラカルト・快速) |               |                   | レジ2(アラカルト) |               |                   | レジ3(アラカルト) |               |                   | レジ4(定食) |               |                   |
|-------|---------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-------------------|---------|---------------|-------------------|
|       | 流出量           | 単位時間別流出率(人/秒) | 累積流出率 $\mu$ (人/秒) | 流出量        | 単位時間別流出率(人/秒) | 累積流出率 $\mu$ (人/秒) | 流出量        | 単位時間別流出率(人/秒) | 累積流出率 $\mu$ (人/秒) | 流出量     | 単位時間別流出率(人/秒) | 累積流出率 $\mu$ (人/秒) |
| 11:39 | 2             | 0.03          | 0.03              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.03              |         |               |                   |
| 11:40 | 8             | 0.13          | 0.08              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              |         |               |                   |
| 11:41 | 3             | 0.05          | 0.07              |            |               |                   | 3          | 0.05          | 0.05              |         |               |                   |
| 11:42 | 0             | 0.00          | 0.05              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.05              |         |               |                   |
| 11:43 | 0             | 0.00          | 0.04              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.04              |         |               |                   |
| 11:44 | 0             | 0.00          | 0.04              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.04              |         |               |                   |
| 11:45 | 3             | 0.05          | 0.04              |            |               |                   | 3          | 0.05          | 0.04              |         |               |                   |
| 11:46 | 3             | 0.05          | 0.04              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.04              |         |               |                   |
| 11:47 | 4             | 0.07          | 0.04              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.04              | 1       | 0.02          | 0.02              |
| 11:48 | 6             | 0.10          | 0.05              |            |               |                   | 3          | 0.05          | 0.05              | 4       | 0.07          | 0.04              |
| 11:49 | 5             | 0.08          | 0.05              |            |               |                   | 5          | 0.08          | 0.05              | 2       | 0.03          | 0.04              |
| 11:50 | 6             | 0.10          | 0.06              |            |               |                   | 1          | 0.02          | 0.05              | 4       | 0.07          | 0.05              |
| 11:51 | 3             | 0.05          | 0.06              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.04              | 2       | 0.03          | 0.04              |
| 11:52 | 6             | 0.10          | 0.06              |            |               |                   | 3          | 0.05          | 0.05              | 2       | 0.03          | 0.04              |
| 11:53 | 7             | 0.12          | 0.06              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 5       | 0.08          | 0.05              |
| 11:54 | 7             | 0.12          | 0.07              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 5       | 0.08          | 0.05              |
| 11:55 | 6             | 0.10          | 0.07              |            |               |                   | 5          | 0.08          | 0.05              | 7       | 0.12          | 0.06              |
| 11:56 | 7             | 0.12          | 0.07              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 5       | 0.08          | 0.06              |
| 11:57 | 6             | 0.10          | 0.07              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 5       | 0.08          | 0.06              |
| 11:58 | 5             | 0.08          | 0.07              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 4       | 0.07          | 0.06              |
| 11:59 | 9             | 0.15          | 0.08              |            |               |                   | 5          | 0.08          | 0.05              | 3       | 0.05          | 0.06              |
| 12:00 | 7             | 0.12          | 0.08              |            |               |                   | 5          | 0.08          | 0.06              | 4       | 0.07          | 0.06              |
| 12:01 | 8             | 0.13          | 0.08              |            |               |                   | 3          | 0.05          | 0.06              | 6       | 0.10          | 0.07              |
| 12:02 | 3             | 0.05          | 0.08              |            |               |                   | 5          | 0.08          | 0.06              | 5       | 0.08          | 0.07              |
| 12:03 | 4             | 0.07          | 0.08              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.06              | 6       | 0.10          | 0.07              |
| 12:04 | 6             | 0.10          | 0.08              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.06              | 6       | 0.10          | 0.07              |
| 12:05 | 7             | 0.12          | 0.08              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.06              | 4       | 0.07          | 0.07              |
| 12:06 | 4             | 0.07          | 0.08              |            |               |                   | 2          | 0.03          | 0.06              | 5       | 0.08          | 0.07              |
| 12:07 | 6             | 0.10          | 0.08              |            |               |                   | 1          | 0.02          | 0.05              | 7       | 0.12          | 0.07              |
| 12:08 | 5             | 0.08          | 0.08              |            |               |                   | 4          | 0.07          | 0.05              | 6       | 0.10          | 0.07              |
| 12:09 | 4             | 0.07          | 0.08              | 2          | 0.03          | 0.03              | 4          | 0.07          | 0.05              | 5       | 0.08          | 0.07              |
| 12:10 | 6             | 0.10          | 0.08              | 0          | 0.00          | 0.02              | 4          | 0.07          | 0.06              | 5       | 0.08          | 0.08              |
| 12:11 | 16            | 0.27          | 0.09              | 1          | 0.02          | 0.02              | 4          | 0.07          | 0.06              | 7       | 0.12          | 0.08              |
| 12:12 | 14            | 0.23          | 0.09              | 5          | 0.08          | 0.03              | 3          | 0.05          | 0.06              | 5       | 0.08          | 0.08              |



|       |   |      |      |   |      |      |   |      |      |   |      |      |
|-------|---|------|------|---|------|------|---|------|------|---|------|------|
| 12:13 | 6 | 0.10 | 0.09 | 8 | 0.13 | 0.05 | 4 | 0.07 | 0.06 | 5 | 0.08 | 0.08 |
| 12:14 | 5 | 0.08 | 0.09 |   |      |      | 5 | 0.08 | 0.06 | 1 | 0.02 | 0.08 |
| 12:15 | 5 | 0.08 | 0.09 |   |      |      | 4 | 0.07 | 0.06 | 3 | 0.05 | 0.07 |
| 12:16 | 2 | 0.03 | 0.09 |   |      |      | 4 | 0.07 | 0.06 | 5 | 0.08 | 0.07 |
| 12:17 | 5 | 0.08 | 0.09 |   |      |      | 5 | 0.08 | 0.06 | 4 | 0.07 | 0.07 |
| 12:18 | 2 | 0.03 | 0.09 |   |      |      | 5 | 0.08 | 0.06 | 4 | 0.07 | 0.07 |
| 12:19 | 5 | 0.08 | 0.09 |   |      |      | 5 | 0.08 | 0.06 | 2 | 0.03 | 0.07 |
| 12:20 | 0 | 0.00 | 0.09 |   |      |      | 5 | 0.08 | 0.06 |   |      |      |
| 12:21 | 5 | 0.08 | 0.09 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |
| 12:22 | 3 | 0.05 | 0.08 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |
| 12:23 | 4 | 0.07 | 0.08 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |
| 12:24 | 5 | 0.08 | 0.08 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |
| 12:25 | 4 | 0.07 | 0.08 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |

## 実験結果

---

・実施した問題解決策

1. 列が混雑する前にレジを開ける。

実際に行った手段:11:44に四つ目のレジを開けてもらった。(混雑が出来る前に開いている。)前回は12:09に四つ目のレジが開いている。(混雑が出来た後)

2. 具体的な数字を用いて学生への働きかけを図る。

実際に行った手段:学生に前回計測したデータをポスターにして、生協前の電子掲示板に掲示。

#### ・観測した感想

1. 一度に人がたくさん来た際には列が形成されるが、その列はすぐに解消された。11:52～11:55の4分間と12:02～12:07の6分間、この二つの時間にはアラカルト列に1分につき10人を超える客が来たが、すぐに列は解消された。そのときの列の様子は別紙に画像を添付する。

2. 今回の計測は、前回(5月23日)の計測と比較するとピーク時の人数がおおよそ20人も少なかった。その代わりに、長時間にわたって1分当たり10人以下の少ない人数が列に加わり続けた。前回はピーク時には1分当たり50人を超える人数が列に加わったものの、ピークを過ぎた後には、ほとんど列に加わる人はいなかった。以上のことにより、学生への働きかけによるオフピーク運動は成功したといえるのではないだろうか。

#### ・計測についての反省・改善点

今回の計測は、大学のテスト期間中に行われたため学生の動きも変則的だったのではないだろうか。前回は通常授業期間に行われた計測であるため、単純に比較することは出来ないように思われる。11:40から12:19までの計測時間の間にアラカルト列に並んだ客数の合計は、一回目の計測が441人、二回目の計測が317人である。解決策1の効果については、この合計の違いにより根拠が薄いように思う。

次に、同様の計測を行う際には、どちらの計測もテスト期間に入っていないことが望ましい。

しかし、解決策2については前回と違い。ピーク後も列に並ぶ人がいることから、時間をずらして並ぼうとする学生がポスターによって増えたのではないかと推測できる。テスト期間には、テストが授業時間より早く終わることはあっても、授業時間を大幅に超えることはないことから、テスト期間である影響は少ないように思う。そのため、解決策2には効果があったと推察できる。

今回行った働きかけによって、食堂がより快適な空間になることを願っている。

#### ・次回計測の際に気を付けて欲しい点

来年度以降も授業でこの取り組みをするかもしれないという話があった。その時のために、私たちが観測を経て気づいた注意点を、以下に記しておく。

1. 杜ダイでは、快速レーンに並ぶ人と、ただ中に入るだけの人との区別が難しい。ここは慎重に行うべきである。

2. 2回目の計測では大丈夫だったが、ピーク時に大量の人が押し寄せるので、その心構えと、計測の準備をしておくこと。レーン毎に行列の増え方が全く異なるので、この点にも注意を払うべきである。

3. 「何のために調べるか」という目的意識を持った上で調査を行うと、やることが明確になって良い。
4. 行列計測の際は、計測係とメモ係に分かれて行うとスムーズである。私たちは二人で行列を見たが、一人が計測、もう一人がメモという形だった。3つに分けてカウントできるアプリがあるので活用すると良い。
5. 行列計測の際、1分毎の流入量だけでなく、合計もその場でカウントするとレジでの流出量との関係で行列の長さがその場でわかるので、良いと思う(当然後から計算でも求められるが)。