

南山大学瀬戸キャンパス・コンビニの混雑緩和策

2005MM023 伊藤 裕紀 2006MI206 山崎 諭

指導教員 伏見 正則

1 はじめに

現在、南山大学瀬戸キャンパスのコンビニはお昼休みになると大変混雑する。授業を終えた学生が昼食を購入するためにコンビニへ訪れるので、お昼休み(13:05~14:00)に混雑のピークを迎える。コンビニのレジは出入口の両端に一台ずつ、合計二台設置されているが、それぞれのレジに長い行列が発生している。この行列により商品を選ぶ学生や店内に入ってくる学生の妨げになり、更なる混雑が生まれている。

本研究では、コンビニのレジについて待ち行列理論を用いて待ち行列を解析し、2つの混雑緩和策により改善を行う。そして、研究目標はレジ二台での系内人数を4人以下にすることである。この値は系内人数の最大を考慮し簡単なシミュレーションによって決定した。

2 コンビニの現状把握

2.1 使用データについて

- 使用データ：コンビニのレシートロール
- 集計データ1：到着時刻(分刻み)
- 集計データ2：値段(商品名無)
- 期間：5月19日~27日(土日水を除く)の5日分
- 時間：前半(13:00~13:29)、後半(13:30~13:59)

2.2 サービス率

サービス率は一分間に到着した人数を平均して求めた。ただし、レジの状況を見ている限り前半では20秒、後半では30秒以上かかるサービスはなかったため、一分間の到着人数が前半では3人、後半では2人以下は除外した。合成 μ は式(1)を用いた。結果は以下のようになった。

表1 サービス率の平均(人/分)

	レジ1	レジ2	合成 μ
前半	5.19	4.74	4.99
後半	3.89	3.57	3.75

2.3 到着率

到着率は到着人数を前半と後半に分けて集計し、それを平均して求めた。結果は以下のようになった。

表2 到着率の平均(人/分)

	レジ1	レジ2	合計
前半	4.55	3.59	8.14
後半	2.4	1.85	4.25
全体	3.48	2.72	6.2

2.4 コンビニ全体のレジの定式化

コンビニにはレジが二台あるため、M/M/1モデル二台を一つのモデルとして考える。

記号の説明

- λ : 全体の到着率(人/分)
- $\lambda_\alpha, \lambda_\beta$: レジ α, β の到着率(人/分)
- μ_1 : レジ二台の合成サービス率(人/分)
- μ_α, μ_β : レジ α, β のサービス率(人/分)
- ρ : 利用率
- P_n : 系内に n 人いる確率
- L_1 : M/M/1二台の系内人数

サービス率の合成

二台のレジをモデル化する場合、レジのサービス率を合成する必要がある。合成はそれぞれの到着率によって重みを付けて以下のように合成する。

$$\mu_1 = \frac{\lambda_\alpha}{\lambda_\alpha + \lambda_\beta} \mu_\alpha + \frac{\lambda_\beta}{\lambda_\alpha + \lambda_\beta} \mu_\beta \quad (1)$$

定式化

レジは二台あるので全体の到着率 λ は両方のレジに分散される。また、サービス率は合成サービス率を使用するので、 $\rho = \frac{\lambda}{\mu_1}$ として定式化を行うと以下ようになる。

$$\begin{aligned} L_1 &= 2 \sum_{n=0}^{\infty} n P_n \\ &= \frac{2\rho}{1-\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

2.5 系内人数

系内人数は分析結果のサービス率、到着率を定式化で求めた式(2)に代入し求める。結果は以下のようになった。

表3 系内人数

	レジ1		レジ2		レジ二台	
	前半	後半	前半	後半	前半	後半
λ	4.55	2.4	3.59	1.85	8.14	4.25
μ	5.19	3.89	4.74	3.57	9.98	7.5
ρ	0.88	0.62	0.76	0.52	0.82	0.57
L	7.14	1.61	3.12	1.08	8.83	2.62

2.6 系内人数の検証

レジのデータから求めた系内人数が実際の系内人数にどれだけ近いのか検証を行った。

検証方法はコンビニの入り口にて目視によりレジに並んでいる人数を二分毎に集計した。検証した期間は7月

16日(木), 17日(金), 21日(火)の三日間で, 検証時間は13:00~14:00に行った。

調査の結果, 最も込んでいる前半の系内人数はレジ二台で平均 8.75 人であることがわかった。また, 三日間それぞれの系内人数の最大は約 20 人であった。このことから到着率, サービス率それぞれによって求めた系内人数は実際の値とほぼ同じと言える。さらに平均が 8.83 人でも実際には最大で 20 人近く並ぶことも分かった。

3 混雑緩和策 1

3.1 緩和方法

混雑緩和は到着人数を分散させることで混雑緩和を行う。コンビニで販売されているカップ麺の一部を第三食堂へ移動させ, さらに現在使われていない第三食堂のレジを使用する。

3.2 第三食堂の現状把握

使用データについて

- 使用データ：第三食堂のレジのレシートロール
- 集計データ 1：到着時刻 (分刻み)
- 集計データ 2：販売商品 (集計結果のみ)
- 期間：5月1日~25日 (土日水祝日を除く) の 11 日分
- 時間：前半 (13:00~13:29), 後半 (13:30~13:59)

サービス率

サービス率は一分間の到着人数を平均して求めた。ただし, サービスに 30 秒もかかっていなかったので一分間の到着人数が 2 人以下は除外した。結果は以下ようになった。

- サービス率の平均 (前半)：3.98 (人/分)
- サービス率の平均 (後半)：3.33 (人/分)

到着率

到着率は到着時刻を前半, 後半ごとに集計して求めた。そして, 到着割合は前半の来客数を全体の来客数で割って求めた。結果は以下ようになった。

- 到着率の平均 (前半)：2.31 (人/分)
- 到着率の平均 (後半)：0.2 (人/分)
- 到着割合の平均 (前半)：0.54

系内人数

系内人数は通常の M/M/1 モデルにサービス率の平均と到着率の平均を代入して求めた。結果は以下ようになった。

- 系内人数 (前半)：1.38 人
- 系内人数 (後半)：0.064 人

販売個数

販売個数はレシートロールにその日の最後に記載される集計結果を読み取った。この集計結果は一日分なので, 一時台のデータを予測する必要がある。予測方法は, 一日の販売個数に到着割合の平均 (0.54) をかけて求めた。結果は表 4 のようになった。

表 4 一日の販売個数と前半に売れた個数の予測

商品名	一日に売れた個数	前半に売れた個数の予測
弁当	5.73	3.07
ランチ	36.55	19.56
ご飯	3.27	1.75
カレー類	52.82	28.27
麺類	33.09	17.71
合計	131.45	70.37

3.3 コンビニの商品分析

カップ麺の割合

重複している商品でお昼に売れる商品はコンビニの店員に聞いたところ 190 円のサンドウィッチのみであった。そのため, 13:00 から 14:00 までの一時間に売れたサンドウィッチの個数を調べた。その結果, この時間には 15 個のサンドウィッチが売れていることがわかった。190 円の商品は主に前半に集中しているため, 表 5 のレジ 1 での前半の 190 円の商品はサンドウィッチ分の 15 個を引いた値となっている。

表 5 カップ麺の販売個数

平均 値段	レジ 1		レジ 2		レジ全体		総数
	前半	後半	前半	後半	前半	後半	
160	2	1.2	2.6	1.6	4.6	2.8	7.4
170	21.6	2	5.8	0.6	27.4	2.6	30
190	28.6	3.6	11.8	1.2	40.4	4.8	45.2
220	8.4	1.4	7.2	2.2	15.6	3.6	19.2
240	3.2	1.2	4.8	0.8	8	2	10
270	1.2	0.6	1.2	0.8	2.4	1.4	3.8
合計	65	10	33.4	7.2	98.4	17.2	115.6

関連商品

値段による商品分類

- カップ麺：160, 170, 190, 220, 240, 270 円
- 食品：カップ麺, 飲料, その他以外の値段
- 飲料：140, 150 円
- その他：90 円以下, 380 円

400 円以上の商品はコンビニの商品にはないので, 複数の商品と考えられるためどの分類が分からない。よって, 400 円以上のものは食品扱いとした

関連数

関連数はカップ麺それぞれの値段と食品・飲料・その他との同時購入された回数を調べたものである。ただし, カップ麺と 190 円の同時購入の場合 190 円の商品は食品扱いとし, 同じ分類の複数の商品との関連は 1 とする。

表 6 関連数の平均

値段	前半			後半		
	食品	飲料	その他	食品	飲料	その他
160	1	0.4	0	1	0.2	0
170	8.2	4.4	1.2	1.2	0.6	0.2
190	16	7.2	1.6	1.2	0	0
220	7	3.8	0.6	0.8	0	0
240	3	2.6	0.2	0.4	1	0
270	0.6	0.4	0	1	0.8	0.4

3.4 移動させる人数

レジ三台では改善目標を達成できないため、第三食堂の使われていないレジを用いて、コンビニ全体のレジの系内人数が4人以下になるように移動させる人数を調べる。

現在のコンビニには前半で約244人、第三食堂には約70人、合わせると約314人となる。第三食堂とコンビニのレジのサービス率は大きく違うため、これを考慮し重みを付けてレジ四台の系内人数が等しくなるように分散させる。よって、コンビニには $314 \times \frac{5}{9} = 174.44$ 人、第三食堂には $314 \times \frac{4}{9} = 139.56$ 人が行くようにする。このとき利用率はすべてのレジで同じ0.58なのでコンビニ全体の系内人数は2.78人となる。これにより改善目標は達成され、コンビニと第三食堂の混雑は緩和される。さらには店員の仕事を等しくすることもできる。このときの第三食堂へ移動させる人数は $139 - 70 = 69$ 人となる。

3.5 移動させる商品

移動させる人数の69人に近いカップ麺の組み合わせを考える。カップ麺と食品の同時購入者は第三食堂に移動した場合ごはんを購入する確率が高い。よって、食品との同時購入者が少なくなるように移動させる商品をエクセルを使って求める。目的関数は前半のカップ麺と食品との関連個数が最小になるように、制約条件は移動する人数 x が69人に近い値になるように、 $67 \leq x \leq 71$ とした。変数はカップ麺の移動の有無をバイナリー変数で表わし、カップ麺を選択した場合1、そうでない場合を0とした。

最適化の結果、170円と190円のカップ麺を移動させ、その時の移動人数は68人、カップ麺と食品との関連人数は24人であった。

表 7 最適化結果

値段	変数	移動人数	食品	飲料	その他
160	0	4.6	1	0.4	0
170	1	27.4	8.2	4.4	1.2
190	1	40.4	16	7.2	1.6
220	0	15.6	7	3.8	0.6
240	0	8	3	2.6	0.2
270	0	2.4	0.6	0.4	0
移動	-	67.8	24.2	11.6	2.8
範囲	67	71			

3.6 第三食堂への影響

24人が第三食堂に移動したときのカウンターへの影響を考える。ごはんのサービス率は約12人/分、ランチのサービス率は約4人/分であった。また、現在ランチカウンター利用者は約25人である。移動後のランチカウンターの系内人数は移動前とほぼ同じであった。よって、移動による第三食堂への影響はないといえる。

4 混雑緩和策 2

4.1 改善方法

サービス率に着目し、電子マネーの導入によりサービス時間を短縮させ、混雑緩和を検討していく。

サービスは以下の三つのパートに分けることができる。

- 移動パート：並んでいる客が窓口に移るパート
- レジ打ちパート：商品を認識しレジを打つパート
- 清算パート：財布を出し、お金を払い、レジを打ち、おつりをもらうパート

電子マネー導入により清算時のお釣りがなくなり、清算パートでかなりの時間が短縮できると予想される。このお釣りをなくすことによるサービス時間の変化時間を t (秒)として定式化を行い、サービス時間の変化による系内人数の変化などを調べていく。

4.2 サービス時間変化量 t を考慮した待ち行列

記号説明

- t : サービス時間変化量 (秒)
- t_0 : お釣り無時の清算パート時間 (秒)
- t_1 : お釣り有時の清算パート時間 (秒)
- n_0 : お釣り無時の人数の平均
- n_1 : お釣り有時の人数の平均
- λ : 全体の到着率 (人/分)
- $\mu_1(t)$: t を考慮したサービス率 (人/分)
- $\rho(t)$: t を考慮した利用率
- $L_1(t)$: t を考慮した系内人数

お釣り有無によるサービス時間変化量 t

お釣りの有無によるサービス時間変化量 t は、お釣りの有無による清算パート時間の差にお釣りの割合をかけて求める。

$$t = (t_0 - t_1) \frac{n_1}{n_0 + n_1} \quad (3)$$

t を考慮したサービス率 $\mu(t)$

サービス時間の変化量を考慮したサービス率は、サービス時間にサービス時間の変化量を加えることで計算できる。

$$\begin{aligned} \frac{60}{\mu(t)} &= \frac{60}{\mu} + t \\ \mu(t) &= \frac{60\mu}{60 + \mu t} \end{aligned} \quad (4)$$

t を考慮した利用率 $\rho(t)$

サービス時間の变化量を考慮した利用率は、式 (4) を ρ に代入することで求めることができる。

$$\begin{aligned}\rho(t) &= \frac{\lambda}{2\mu(t)} \\ &= \rho + \frac{\lambda t}{120}\end{aligned}\quad (5)$$

t を考慮した系内人数 $L(t)$

M/M/1 のサービス時間の变化量を考慮した系内人数 $L_1(t)$ は式 (2), (5) より

$$L_1(t) = \frac{2\rho(t)}{1 - \rho(t)}\quad (6)$$

4.3 お釣りデータ

データについて

- 期間：12月9日, 11日の2日分
- 時間：前半 (13:00 ~ 13:29)
- 集計方法：コンビニにて観測
- 集計データ 1：お釣有無別の人数
- 集計データ 2：お釣有無別の清算時間 (秒)

お釣の有無の人数と割合

12月9日と11日の二日間, 前半の客のお釣の有無別の人数を集計した。結果は以下のようになった。

表 8 お釣有無の割合

	お釣有 (人)	お釣無 (人)	割合
9日	44	18	0.71
11日	89	32	0.736

お釣の有無の清算パート時間

12月9日 (水) の前半にコンビニのレジにて測定した。お客がお金を出した時点で測定を開始し、レジを去るまでの時間を計った。結果は以下のようになった。

- お釣を必要とする場合の平均：6.14 秒
- お釣を必要としない場合の平均：2.57 秒

4.4 改善度合い

実際に調べたのは2日間なので、お釣有無の割合は信頼度が低い。そのため、お釣りの有無の割合を 0% ~ 100% まで変化させ改善度合いを調べる。図 1 はお釣の時間は曜日によって変化はしないため、そのままの値を使用し $t = -3.57 \times \frac{a}{100}$ (a はお釣りの有無の割合 (%)) とし、式 (6) に代入したものである。

表 9 改善度合い

%	50	60	70	80	90	100
$\rho(t)$	0.69	0.67	0.65	0.62	0.60	0.57
L_1	4.53	4.05	3.63	3.28	2.96	2.68

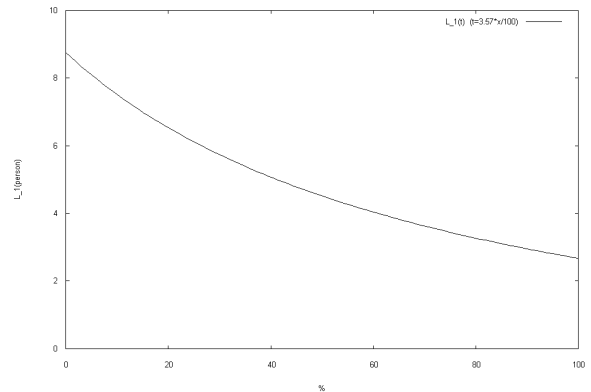


図 1 改善度合い

注:縦軸は系内人数, 横軸はお釣り有無の人数の割合 (%)

お釣りの割合が 6 割以上ある場合, 系内人数は 4.05 人以下になる。二日間の調査結果からすると, 現在のお釣りの割合は 7 割であるので, お釣りをなくすことで混雑を緩和することは可能である。

5 おわりに

本研究では緩和策 1, 2 の二つの方法で混雑緩和を検討したが, 共に改善目標が達成できることがわかった。

緩和策 1 では 170, 190 円のカップ麺を第三食堂へ移動させ, 使われていないレジを一台追加することで 4 台すべてのレジの系内人数を 1.39 人にすることができ, かなりの混雑緩和が期待できる。また, コンビニと第三食堂のレジの仕事を同じにすることもできる。しかし, 移動させたカップ麺と飲料, その他の商品との関連人数は 14 人であったので 14 人分の飲料, その他の商品の分コンビニの売上が減少してしまう恐れがある。

緩和策 2 では電子マネー導入によって混雑緩和は期待できる。現在, 学生証に IC チップを付ける大学が増えてきており, 今後南山大学で導入させた場合に混雑緩和が期待できる。

参考文献

- [1] 小和田正, 沢木勝茂, 加藤豊:OR 入門 意思決定の基礎, 実教出版, 第 25 刷, 2006.
- [2] 高橋幸雄, 森村英典:混雑と待ち, 朝倉書店, 第 2 刷, 2003.
- [3] 大石真一:待ち行列理論, コロナ社, 第 2 刷, 2004.
- [4] 尾崎俊治:確率モデル入門, 朝倉書店, 第 12 刷, 2006.
- [5] 柳沢大地 他: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.20ME-S7, 2009.