コンビニエンスストアのおにぎりにおける最適化
—発注量と値引き率—

2008MI030 畠山裕樹　2008MI167 奈須 恵梨香
指導教員：澤木勝茂

1　はじめに

コンビニエンスストアは私たちの身近にあり, 長時間営業しているので生活に密着しているといえる. そのため商品の充実とバランスは非常に重要である. コンビニエンスストアにおけるファーストフードの売上は全体の 3 割ほどを占めており, 中でもおにぎりは売上を支える重要な商品であることがうかがえる. それにも関らず発注量の決定方法は店長の経験に基づく勘という店が多いため, 予想外の廃棄や在庫不足が起きることがある.

本論文ではまず 3 章,4 章で最も売上の影響を受ける「天気」を考慮し, 利益の最大化, コスト最小化の観点で経済発注量を考察する. また 5 章では近年問題となっている 1 円廃棄[1]に着目して考察し, 最終的に最適な値引き率を求めていく.

2　度数分布表

表 1　累積度数分布表 (全体)

単位数	販売範囲	日数	割合 (%)	累積 (%)
1	89〜110	16	16.00	16.00
2	111〜132	22	22.00	38.00
3	133〜154	28	28.00	66.00
4	155〜176	13	13.00	79.00
5	177〜198	10	10.00	89.00
6	199〜220	5	5.00	94.00
7	221〜242	3	3.00	97.00
8	243〜264	0	0.00	97.00
9	265〜286	1	1.00	98.00
10	287〜308	2	2.00	100.00

表 2　晴天時 ($\theta = 1$) の累積度数分布表

単位数	販売範囲	日数	割合 (%)	累積 (%)
1	92〜112	10	23.81	23.81
2	113〜133	5	11.90	35.71
3	134〜154	11	26.19	61.90
4	155〜175	5	11.90	73.81
5	176〜196	3	7.14	80.95
6	197〜217	2	4.76	85.71
7	218〜238	2	4.76	90.48
8	239〜259	1	2.38	92.86
9	260〜280	1	2.38	95.24
10	281〜301	2	4.76	100.00

[1]廃棄寸前の商品を 1 円に値下げすることで本部へ支払うロイヤリティを大きく減らす方法.

表 3　曇天時 ($\theta = 2$) の累積度数分布表

単位数	販売範囲	日数	割合 (%)	累積 (%)
1	92〜105	1	3.13	3.13
2	106〜119	7	21.88	25.00
3	120〜133	3	9.38	34.38
4	134〜147	6	18.75	53.13
5	148〜161	5	15.63	68.75
6	162〜175	4	12.50	81.25
7	176〜189	3	9.38	90.63
8	190〜203	1	3.13	93.75
9	204〜217	1	3.13	96.88
10	218〜231	1	3.13	100.00

表 4　雨天時 ($\theta = 3$) の累積度数分布表

単位数	販売範囲	日数	割合 (%)	累積 (%)
1	89〜101	2	7.69	7.69
2	102〜114	4	15.38	23.08
3	115〜127	7	26.92	50.00
4	128〜140	6	23.08	73.08
5	141〜153	1	3.85	76.92
6	154〜166	1	3.85	80.77
7	167〜179	2	7.69	88.46
8	180〜192	1	3.85	92.31
9	193〜205	1	3.85	96.15
10	206〜218	1	3.85	100.00

3　利益最大化モデル

利益最大化を目的として最適な経済発注量を新聞売り子問題を用いて考える. 売上の高いおにぎりを 10 種類とりあげて, 異なる値段や需要量については加重平均法を用いて平均原価や平均利益を求める.

3.1　変数

a:おにぎりが 1 個売れたときの利益
b:おにぎりが 1 個売れ残ったときの損失
θ:天気 (θ=1,2,3)
$x(\theta)$:天気 θ の時の発注量
$y(\theta)$:天気 θ の時の需要量
$E(x)$:期待利得
$E(x|\theta)$:天気 θ の時の期待利得
$p(y)$:需要分布
$p(y|\theta)$:天気 θ の時の需要分布
$q(\theta)$:今後の天気の確率
c:機会損失費用
α:廃棄が出たときに割引販売する確率

d:廃棄の処分価格

3.2 モデル 1:天気が既知の場合

3.2.1 定式化

利益 $e(x(\theta), y(\theta))$ は,

$$e(x(\theta), y(\theta)) = \begin{cases} ay(\theta) - b(x(\theta) - y(\theta)) \\ +\alpha d(x(\theta) - y(\theta)) \\ \qquad\qquad (x(\theta) \geq y(\theta)) \\ ax(\theta) - c(y(\theta) - x(\theta)) \\ \qquad\qquad (x(\theta) \leq y(\theta)) \end{cases} \quad (1)$$

と与えられる.

この場合需要は確率変数であるので, 需要分布 $p(y|\theta)$ に従い, 発注量 $x(\theta)$ のときの期待利得は,

$$E(x|\theta) = \sum_{y=0}^{\infty} e(x(\theta), y(\theta)) p(y|\theta)$$

であるから, 式 (1) より

$$\begin{aligned} E(x|\theta) = &\sum_{y=0}^{x} \{ay(\theta) - (b(x(\theta) - y(\theta)) \\ &+\alpha d(x(\theta) - y(\theta))\} p(y|\theta) \\ &+ \sum_{y=x+1}^{\infty} \{ax(\theta) - c(y(\theta) - x(\theta))\} p(y|\theta) \\ = &\sum_{y=0}^{x-1} \{ay(\theta) - (b(x(\theta) - y(\theta)) \\ &+\alpha d(x(\theta) - y(\theta))\} p(y|\theta) \\ &+ \sum_{y=x}^{\infty} \{ax(\theta) - c(y(\theta) - x(\theta))\} p(y|\theta) \end{aligned}$$

となる.

また $E(x(\theta))$ を最大にする経済発注量 x_{opt} は

$$x_{opt} = \begin{cases} E(x(\theta)) - E(x(\theta) - 1) \geq 0 \\ E(x(\theta) + 1) - E(x(\theta)) \leq 0 \end{cases}$$

の解である.

a,b,c と需要分布 $p(y|\theta)$ を用いて表現すると

$$x_{opt} = \begin{cases} \sum_{y=0}^{x-1} p(y|\theta) \leq \frac{a+c}{a+b+c-\alpha d} \\ \sum_{y=0}^{x} p(y|\theta) \geq \frac{a+c}{a+b+c-\alpha d} \end{cases}$$

となる.

3.2.2 数値計算, 考察

変数に数値を代入し晴天時, 曇天時, 雨天時それぞれの経済発注量を求める. 機会損失費用 c は客観的に決定できないので利益の半分, 同値,2 倍と値を変えて計算していくこととする.

数値計算の結果, 期待利得が最大値になったのは晴天時, 曇天時, 雨天時どの場合でも値引き販売する確率が 0.8, 機会損失費用が 22.275 のときで値はそれぞれ 118.983,177.272,148.697 であり, 経済発注量はそれぞれ 197,176,167 となった.

また曇天時のときは期待利得の最大値が他の天気よりも大きくなる点や機会損失費用が変化しても期待利得の変化が少ないという点より, 他のどの天気よりも需要分布が安定していると考えられる. 逆に期待利得が最も小さい晴天時の場合は, 需要分布が安定してないといえる.

雨天時の場合は, 晴天時や曇天時の場合に比べ発注量自体が最も少ないため廃棄が出にくい. そのため廃棄が出たときに値引き販売する確率が増加しても他の天気に比べて期待利得の増加量が小さいと推測できる.

3.3 モデル 2:天気予報が利用できる場合

3.3.1 定式化

計算の結果 $q(\theta)$ は $\theta = 1$ のとき $\frac{42}{100}$, $\theta = 2$ のとき $\frac{32}{100}$,$\theta = 3$ のとき $\frac{26}{100}$ となる. 需要分布は $p(y) = \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta)$ となる.

このモデルは天気が既知の場合のモデルと違い θ に依存しない.

よって利益は

$$e(x, y) = \begin{cases} ay - b(x - y) + \alpha d(x - y) & (x \geq y) \\ ax - c(y - x) & (x \leq y) \end{cases}$$

となり, 期待利得は

$$E(x) = \sum_{y=0}^{\infty} e(x, y) p(y)$$

より

$$\begin{aligned} E(x) = &\sum_{y=0}^{x} \{ay - b(x - y) + \alpha d(x - y)\} p(y) \\ &+ \sum_{y=x+1}^{\infty} \{ax - c(y - x)\} p(y) \\ = &\sum_{y=0}^{x-1} \{ay - b(x - y) + \alpha d(x - y)\} p(y) \\ &+ \sum_{y=x}^{\infty} \{ax - c(y - x)\} p(y) \end{aligned}$$

となる.

a,b と需要分布 $\sum_{\theta}^{x} p(y|\theta)q(\theta)$ を用いた経済発注量 x_{opt} は

$$x_{opt} = \begin{cases} \sum_{y=0}^{x-1} \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta) \leq \frac{a+c}{a+b+c-\alpha d} \\ \sum_{y=0}^{x} \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta) \geq \frac{a+c}{a+b+c-\alpha d} \end{cases}$$

となる.

3.3.2 数値計算, 考察

天気が既知の場合と同様に経済発注量を求める. 機会損失費用の増加とともに, 経済発注量が増加していくが期待利得は大きく減少していく結果となった.

また廃棄商品を販売する確率の変化も同様に 0.8 までは期待利得が増加し, 期待利得の最大値は値引き販売する確率が 0.8 で, 機会損失費用が 22.275 のとき 116.718 となる. よって経済発注量は 177 となる.

4 コスト最小化モデル

3 章と同様にコスト最小化を目的として最適な経済発注量を新聞売り子問題を用いて考える.

4.1 変数

b:おにぎり 1 個の原価
c:機会損失費用
$x(\theta)$:天気 θ のときの発注量
$y(\theta)$:天気 θ のときの需要量
$p(y)$:需要分布
$p(y|\theta)$:天気 θ のときの需要分布
$T(x|\theta)$:天気 θ のときの期待コスト
$t((x(\theta), y(\theta))$:天気 θ のときのコスト
α:廃棄が出たときに割引販売する確率
d:廃棄の処分価格

4.2 モデル 1:天気が既知の場合

4.2.1 定式化

コスト $t((x(\theta), y(\theta))$ は

$$t(x(\theta), y(\theta)) = \begin{cases} (1-\alpha)bx(\theta) \\ +\alpha(bx(\theta) - d(x(\theta) - y(\theta))) \\ \qquad\qquad (x(\theta) \geq y(\theta)) \\ bx(\theta) + c(y(\theta) - x(\theta)) \\ \qquad\qquad (x(\theta) \leq y(\theta)) \end{cases} \quad (2)$$

と与えられる.

この場合需要は確率変数であるので, 需要分布 $p(y|\theta)$ に従い, 発注量 $x(\theta)$ のときの期待コストは,

$$T(x|\theta) = \sum_{y=0}^{\infty} t(x(\theta), y(\theta))p(y\ |\theta)$$

より

$$T(x|\theta) = \sum_{y=0}^{\infty} t(x(\theta), y(\theta))p(y|\theta)$$

であるから, 式 (2) より

$$\begin{aligned} T(x|\theta) &= \sum_{y=0}^{x} \bigl\{(1-\alpha)bx(\theta) \\ &\quad +\alpha(bx(\theta) - d(x(\theta) - y(\theta)))\bigr\}p(y|\theta) \\ &\quad + \sum_{y=x+1}^{\infty} \bigl\{bx(\theta) + c(y(\theta) - x(\theta))\bigr\}p(y|\theta) \\ &= \sum_{y=0}^{x-1} \bigl\{(1-\alpha)bx(\theta) \\ &\quad +\alpha(bx(\theta) - d(x(\theta) - y(\theta)))\bigr\}p(y|\theta) \\ &\quad + \sum_{y=x+1}^{\infty} \bigl\{bx(\theta) + c(y(\theta) - x(\theta))\bigr\}p(y|\theta) \end{aligned}$$

と与えられる.

x_{opt} は

$$x_{opt} = \begin{cases} T(x(\theta)) - T(x(\theta) - 1) \leq 0 \\ T(x(\theta) + 1) - T(x(\theta)) \geq 0 \end{cases}$$

の解である.

a,b と需要分布 $p(y|\theta)$ を用いると x_{opt} は

$$x_{opt} = \begin{cases} \sum_{y=0}^{x-1} p(y|\theta) \leq \frac{c-b}{c-\alpha d} \\ \sum_{y=0}^{x} p(y|\theta) \geq \frac{c-b}{c-\alpha d} \end{cases}$$

となる.

4.2.2 数値計算, 考察

3 章と同様に変数に数値を代入し, 晴天時, 曇天時, 雨天時それぞれの経済発注量を求める. また機会損失費用 c は客観的に決定できないので, 値を変えて計算していくこととする.

晴天時,$c = 120.142$,$d = 108.128$ とした場合コストが最小となり経済発注量は 113〜133 個となる. 曇天時,$c = 120.142$,$d = 84.099$ とした場合コストが最小となり経済発注量は 120〜133 個となる. 雨天時,$c = 120.142$,$d = 96.114$ とした場合コストが最小となり経済発注量は 102〜114 個となる. それぞれの結果を比較すると経済発注量は雨天時 $<$ 晴天時 $<$ 曇天時となる.

4.3 モデル 2:天気予報が利用できる場合

4.3.1 定式化

需要分布は $p(y) = \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta)$ となる.

$$t(x, y) = \begin{cases} (1-\alpha)bx + \alpha(bx - d(x - y)) & (x \geq y) \\ bx + c(y - x) & (x \leq y) \end{cases}$$

と与えられる.

$T(x)$ を最小にする経済発注量 x_{opt} は

$$x_{opt} = \begin{cases} T(x) - T(x-1) \leq 0 \\ T(x+1) - T(x) \geq 0 \end{cases}$$

の解である.

a,b と需要分布 $p(y)$ を用いると

$$x_{opt} = \begin{cases} \sum_{y=0}^{x-1} \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta) \leq \frac{c-b}{c-\alpha d} \\ \sum_{y=0}^{x} \sum_{\theta} p(y|\theta)q(\theta) \geq \frac{c-b}{c-\alpha d} \end{cases}$$

となる.

4.3.2 数値計算, 考察

$c = 120.142$,$d = 84.099$ とした場合コストが最小となった. 経済発注量が同じ場合, 値引き販売を行う際は値引き後の価格をより売価に近い価格で販売すると期待コストは下げられるという結果が確認できる. このことはそのまま廃棄にするより廃棄商品を値引きして販売できるほうが期待コストが下げられるということである.

5 最適な在庫処理モデル

このモデルでは廃棄に近づいたおにぎりに着目, 新聞売り子問題を用いてモデル化し, 利益とロイヤリティのバランスが最適となる値引き率を考察していく.

またこのモデルでは一般的なロイヤリティの算出方法とは異なり, コンビニ独自のロイヤリティ算出方法[2]で考察するものとし, 条件としてロイヤリティ率は 40% , データ計算を元に値引き率が 10% につき売上が 1 つ増えるとする.

5.1 変数

a:おにぎり 1 個の原価
b:おにぎり 1 個の売価
x:発注量
y_1:定価販売時の需要量
y_2:値引き販売時の需要量
ρ':ロイヤリティ率
$\rho(x,y_1,y_2)$:ロイヤリティ
$p(y_1)$:定価販売時の需要分布
$p(y_2)$:値引き販売時の需要分布
g:粗利
$e(x,y_1,y_2)$:利益
c:修正仕入金額
q:値引き率

5.2 定式化

発注量 x, 需要量 y のときの修正仕入金額 c は

$$c = \begin{cases} ax & (x \leq y_1) \\ ax - \bigl\{a(x - y_1 - y_2)\bigr\} & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \geq y_2) \\ ax & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \leq y_2) \end{cases} \tag{3}$$

となり, 発注量 x, 需要量 y のときの粗利 g は

$$g = \begin{cases} by_1 - ax & (x \leq y_1) \\ by_1 + b(1-q)y_2 - c & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \geq y_2) \\ by_1 + b(1-q)y_2 - ax & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \leq y_2) \end{cases} \tag{4}$$

となる.

式 (3),(4) よりロイヤリティ $\rho(x,y)$ は

$$\rho(x,y_1,y_2) = \begin{cases} \rho'(by_1 - ax) & (x \leq y_1) \\ \rho'\bigl\{by_1 + b(1-q)y_2 - c\bigr\} & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \geq y_2) \\ \rho'\bigl\{by_1 + b(1-q)y_2 - ax\bigr\} & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \leq y_2) \end{cases}$$

となり, 以上より発注量が x, 需要量が y のときの利益 $e(x,y)$ は

$$e(x,y_1,y_2) = \begin{cases} ax\rho' & (x \leq y_1) \\ (b-a)y_1 + \bigl\{(1-r)b - a\bigr\}y_2 & \\ \quad -a(x - y_1 - y_2) & \\ \quad\quad -\rho'\bigl\{by_1 + b(1-q)y_2 - c\bigr\} & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \geq y_2) \\ (b-a)y_1 + \bigl\{(1-r)b - a\bigr\}y_2 & \\ \quad -a(x - y_1 - y_2) & \\ \quad\quad -\rho'\bigl\{by_1 + b(1-q)y_2 - ax\bigr\} & \\ & (x \geq y_1 \text{かつ } y_1 \leq y_2) \end{cases}$$

で与えられる.

6 結果と考察

ロイヤリティ率が 48,49,50,51,52,53% の時に最適値引き率はそれぞれ 20〜30% ,30〜40% ,50% ,60〜70% ,80〜90% という結果を得た. このことは廃棄商品が発生した場合 1 円に値下げしてオーナーが購入するよりも, 値引き販売を行ったほうが店舗にも本部にも良い効果をもたらすということである.

7 おわりに

今回の研究で利益最大化, コスト最小化の両方が曇天時に最も良い結果がでたことは驚いた. 先入観や直感だけで経営していくことは思わぬ損害を被る可能性があるのだと感じた. またより正確なおにぎりの経済発注量を求めるためには気温や季節, 時間帯など, それらの条件を考慮する必要があると考える.

1 円廃棄問題については 1 円に値下げしてオーナーが購入するよりも, 値引き販売を行ったほうが店舗にも本部にも良い効果をもたらすという結果が得られた.

全体の結果として廃棄になった商品を販売することでコンビニエンスストアの経営を飛躍的に向上させることができるということが確認できた.

8 参考文献

[1] 小和田正, 澤木勝茂, 加藤豊: [OR 入門]. 実教出版 1974.

[2] 東原史浩, 斎藤篤志: [コンビニエンスストアにおけるおにぎりの最適発注量], 南山大学卒業論文 (2003 年度出版).

[3] 加藤友章: [コンビニのおける陳腐化商品の在庫管理], 南山大学卒業論文 (2009 年度出版).

[4] Sheldon M. Ross: *Introduction to Probability Models,Sixth Edition*, Academic Press,1997.

[5] 尾崎俊治: [確率モデル入門], 朝倉書店,1996.

[6] 勝呂隆男: [適正在庫の考え方・求め方] 日刊工業新聞社,2003.

[2] 一般:(売上-仕入れ金)*ロイヤリティ率
コンビニ:(売上-修正仕入金 (仕入金-廃棄費))*ロイヤリティ率.