複数シナリオを用意した商品発注シミュレーション

2017SS052 新美太稀
指導教員：小市俊悟

1 はじめに

本研究は客の購入頻度や発注数などの前もって知ることができない情報が多い問題に対して，それらを様々に変えた複数のシナリオを用意し，それぞれに対してどのような結果が得られるのかをシミュレーションにより事前に明らかにしておくことで，実際に販売が開始されたときに即座に対応できるようにすることを目的とする．シミュレーションを用いたのは，いずれは複雑な状況も考えてなるべく実践に近い結果が出したかったからである [1]．研究開始当初は EC サイトを立ち上げる話があったが，コロナ禍もあり残念ながら EC サイトは完成せず，データも取れない状態となった．そこで，シミュレーションの基本設定は複雑にしないで，シミュレーションの結果から得られる平均や標準偏差などの統計量について，パラメータとの関係を理論的にも考察することを目指した．

2 シミュレーションの設定

インターンシップの経験から，インドネシアから食品 A，食品 B，衣類を輸入するにあたって，販売状況をシミュレーションし，それに対する最適な発注方法を探る．これらの商品は現在販売実績がなく，販売価格も未定である．今回，食品 A はチョコレート茶，食品 B は板チョコレートで考えている．このようなつ 3 の商品について，これまでに下記を想定したシミュレーションを行った．

1. シミュレーションの対象とする期間は，1 ヶ月もしくは 1 ヶ月半とする．
2. 客の到着は，到着率 (単位時間あたりの到着人数) が λ のポアソン過程となる．つまり，客の到着間隔 t の確率密度関数が指数分布 $\lambda e^{-\lambda t}$ となる．
3. 到着した客は，最大 3 個または 4 個の商品を購入する．各 $i = 1, 2, 3, 4$ について，客が i 個の商品を購入する確率を p_i とする．ただし，実際に購入する個数は，その時点での在庫数と購入希望数の小さい方とする．
4. シミュレーションの対象期間の開始時に (あらかじめ) 発注した商品が届いたとし，シミュレーション期間中に商品は補充されない．

複数シナリオについては，到着率 λ，顧客の購入数の確率 $p_i\,(i = 1, 2, 3, 4)$ などを変更することによって場合分けする．シミュレーションの対象期間を 1 ヶ月もしくは 1 ヶ月半としたのは，発注からの納品までのリードタイムとして，1 ヶ月もしくは 1 ヶ月半が想定されるからである．実際には，購入しない客というのも考えられるが，それは到着率の変更で表現することもできることなので，本研究では到着した客は在庫があれば 1 個以上の商品を購入するものとする．

3 シミュレーションの実行

シミュレーションでは，指数分布 $\lambda e^{-\lambda t}$ に従う乱数を発生させ，客の到着を再現した．本研究では，EC サイトの月間平均ビューと平均コンバージョン率を考慮したうえで到着率 λ を 4 種類仮定した．本研究で仮定している到着率は λ=6.0, λ=1.8, λ=9.0, λ=18.0 である．これらの λ は月間平均ビューが 10000 件でコンバージョン率をそれぞれ，1%，0.3%，1.5%，3% としたときの値である．EC サイトの平均コンバージョン率は 0.8% から 1.8% といわれており，大手企業の EC サイトでは 3% にもなる．本研究では到着率と購入数の分布を変えることによってデータを取った．

4 安全在庫と標準偏差の比較

広く一般的にも用いられる安全在庫に着目して，シナリオの一つに対して，シミュレーションを繰り返すことで得られた総販売数の平均，平均 ± 標準偏差，安全在庫を表にまとめた．

$$\text{安全在庫} = \text{安全係数} \times \sqrt[2]{(\text{計画販売期間}) \times (\text{平均日販数})}$$

表 1 にまとめたところ，標準偏差と安全在庫が似たような数値を示すことに気が付いた．他のシナリオでも同じような結果となった．

表 1 衣類コンバージョン率 1%

平均	平均 − 標準偏差	平均+標準偏差	安全在庫
149	135	163	20

5 機会損失

機会損失とは，簡単には，販売できる商品が残っていれば，販売できたのにもかかわらず，商品が売り切れていたために販売することができなかったことによる損失を意味する．しかし，実際に機会損失を見積もるには，多様な考え方があり，計算式も一通りではない．本研究では，粗利を用いて，この機会損失を評価する．すなわち，発注数を S 個，商品一つあたりの粗利を γ とするとき，仮に $k\,(k > S)$ 個商品が売れるはずであったのであれば，$\gamma(k - S)$ を機会損失とする．1000 回のシミュレーションの中で，(十分な在庫数の下で) 販売数が k 個となった回数を $f(k)$ とすれば，期待機会損失 Op は，次で与えられる．

$$Op = \sum_{k=S+1}^{\infty} \gamma(k - S)\frac{f(k)}{1000}.$$

6　在庫による損失と廃棄率

通常，在庫にはそれ自身費用がかかったり，商品が劣化することで，粗利を生むことなく廃棄しなければならない．つまり，在庫を持つことで損失が生じるのが普通であり，発注数が多いほど，また多過ぎて売れ残るほど，より大きな損失につながる．したがって，在庫による損失があることを前提にすれば，適切な発注数が存在するはずである．本研究では，在庫による損失が主に廃棄に起因する場合を考え，発注数と売れ残りの廃棄率の関係をシミュレーションの結果から明らかにする．

そのためには，廃棄による損失を見積もる．発注数が S であるとき，販売できた商品数が $k\,(k \leq S)$ とすれば，売れ残りは $S-k$ である．売れ残りの一部は，劣化し，売れ残りの $100\delta\,\%$ を廃棄することになるとする．商品 1 個を廃棄したときの損失は，単純な場合，仕入れ価格 (原価)p になると考えられるので，損失は，$\delta(S-k)p$ となる．機会損失と同様に，1000 回のシミュレーションの中で，販売数が k 個となった回数を $f(k)$ とすれば，期待廃棄損失 Dis は，次で与えられる．

$$Dis = \sum_{k=0}^{S} \delta(S-k)p\frac{f(k)}{1000}.$$

7　最適な発注数

最適な発注数を求めるには，発注数が S のときの期待利益も計算する必要がある．実際の販売数が k 個であるとき，$k \leq S$ であれば，k 個の商品分の粗利が，$k > S$ であれば，在庫していた S 個の商品分の粗利が単純には利益になると考えられるので，期待利益 Pro は次となる．

$$Pro = \sum_{k=0}^{S} \gamma k\frac{f(k)}{1000} + \sum_{k=S+1}^{\infty} \gamma S\frac{f(k)}{1000}$$

機会損失をそのまま実際の損失とすべきかは議論あると思うが，そのまま利用することを単純に考えると，最適な発注数は，$Pro-(Op+Dis)$ を最大化するはずである．図 1 は，到着率 $\lambda = 6.0$ のシミュレーション結果に対して，粗利 $\gamma = 100$，仕入れ価格 $p = 1000$ と設定した上で，発注数をそれぞれ平均，平均 $\pm$ 標準偏差の 2 分の 1，平均 $\pm$ 標準偏差とした場合に，廃棄率 δ によって，$Pro-(Op+Dis)$ がどのように変化するかを示したものである．図 1 では，横軸が廃棄率であり，縦軸が $Pro-(Op+Dis)$ である．廃棄率が低い場合は，多めに発注する「平均 + 標準偏差」が良いが，廃棄率が高くなるにつれて，徐々に少ない発注数を選択した方が良くなることがわかる．

最適な発注数を決定するには，廃棄率や上では考慮しなかった在庫費用などを明確にすることが重要であることが分かった．

8　シミュレーションの理論的分析

客の到着を，到着率 λ のポアソン過程としたので，時刻 T までに到着する客数 N_T が k である確率は，次のようなポアソン分布を用いて与えられる．

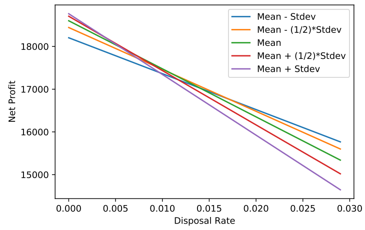

図 1　廃棄率と純利益の関係

$$P(N_T = k) = \frac{e^{-\lambda T}(\lambda T)^k}{k!}$$

ポアソン分布の期待値と分散はともに λT となることが知られている．シミュレーションは，いずれも $T = 20$ としているので，例えば，$\lambda = 6.0$ のとき，到着する客数の期待値は $\lambda T = 120$ となる．さらに，到着した客は，p_1, p_2, p_3, p_4 などを用いて定めた確率で購入数を決定する．一人の客の購入数の期待値を n とすれば，到着と購入は独立であるので，総販売数の平均は $n\lambda T$ となる．例えば，$p_1 = 0.8, p_2 = 0.15, p_3 = 0.05$ であれば，購入数の期待値 n は，$n = 1.25$ となるので，総販売数の平均は，$n\lambda T = 1.25 \times 6.0 \times 20 = 150$ となる．これらの数値を設定したシミュレーションで得られた総販売数の平均は，表 1 にあるように 149 であるので，シミュレーションが正しく行われたことが確認できた．同様にして，総販売数の分散についても考えると，到着する客数の分散はポアソン分布の性質より λT となる．購入数はその n 倍なので，購入数の分布は $n^2\lambda T$ となる．したがって標準偏差は $n\sqrt{\lambda T}$ となる．安全在庫は $\sqrt{n\lambda T}$ に安全係数をかけたものになるが，その式は標準偏差とよく似ており，2 つが近い値になったのはこのためだと考えられる．

9　おわりに

本研究では，EC サイトでの発注の最適化について考えてきた．研究を始めたころは EC サイトが完成次第，実際の販売実績との比較を行おうと思っていたがコロナ禍ということもあり EC サイトが完成せず最後まで仮定の数値での考察となった．色々調べると現代の社会では発注の際に安全在庫の計算として広く知られている式を用いて発注を行っていることも多いようだが，本研究で考察をしたように機会損失を考えると，パラメータに非常に敏感であると感じとれたので，単純な計算式だけでなく，本研究のようなシミュレーションも取り入れて広く検討することが利益を確実に上げるためには重要なのではないかと思った．

参考文献

[1] 森雅夫・松井知己『オペレーションズ・リサーチ』．朝倉書店，2004.