ホームセンターにおける在庫問題
– 1 店舗における在庫スケジュールの最適化について –

2000MM047 黒田 真基　　2001MM036 木全 貴之
指導教員　鈴木 敦夫

1　はじめに

ホームセンターでは多品種の商品を扱い，何でも揃っている．そこでの費用に占める在庫管理費はかなりの比率を占める．ここでは，最近愛知県で最も店舗を増やしつつあるカーマホームセンターの現在の在庫管理の現状について調べ，改善策を提案する．

2　ホームセンターについて

2.1　ホームセンターの物流ネットワーク

現在，あるホームセンターでは各製造業者が集中センターに完成した商品を在庫しておき，各店舗が販売のために発注している．現在，大府に集中センターが 1 つある．その集中センターから送られる先の店舗は，愛知，三重，岐阜，静岡，滋賀にある 80 店舗である．送られ先の店舗数が非常に多いため適切な発注量が求められる．

2.2　ホームセンターの現状

現在，あるホームセンターが所有している集中センターでの在庫費は，各製造業者がそれぞれ負担している．よって，ホームセンター自身が集中センター内での在庫費は考える必要がない．

ホームセンターにおける各店舗の発注品方法は，過去 5 週間の売上の最大値と最小値を除き残りの値の平均 (以下 H.C 方式) を参考にして発注量を求め，週 2 回の発注を行っている．ホームセンターは，いつでもどんな商品でも店頭に置いてあることを強みにしているので，品切れを起こすことを回避したいと思っている．そのため，各店舗ごとに所有している倉庫にも常に多量の在庫を保有している．しかも，多種類の商品を扱っているために，在庫を多量に保有していると管理がたいへんになってしまう．そのために，品切れを起こさずに在庫の量を減らしたいと考えている．

2.3　研究進行上の問題

現在，ホームセンターは在庫費と発注費が明確になっていない．そのため，現在実際に持っている在庫量が適切かどうかが不明である．

ホームセンターは商品の豊富さを強みとしているので，品切れを起こさない政策を取っている．そこで，実際に品切れを起こさない対策として，多量の在庫を保持しているため，その点で無駄がある．

3　アプローチの仕方

本研究では，ホームセンターに提供された一店舗のデータについて研究することにする．頂いたデータは常備品に関する 9 万種類の商品のデータである．この 9 万種を売り上げ個数が少なく分散が小さいもの, 売り上げ個数が少なく分散が多いもの, 売り上げ個数が 400〜600 個で分散が小さいもの, 売り上げ個数が 400〜600 個で分散が大きいもの, 売り上げ個数が多くて分散が小さいもの, 売り上げ個数が多くて分散が大きいもの 6 パターンに分け, それぞれのデータについて研究する．

4　目標

本研究ではあるホームセンターの強みである品切れを起こさないスケジュールを立てることが，最大の目標とする．その上で，いままで多量に存在していた無駄な在庫を，必要最小限の在庫のみを残すことを目標とする．

5　定式化 1〜s-S 政策の在庫管理〜

5.1　定式化 1 にあたって

定式化にあたって以下のように，記号を定義した．

- i_t = t 期における在庫量 (個)
- x_t = t 期における発注量 (個)
- D_t = t 期における需要量 (個)
- $\hat{D}_t$ = t 期において $t+1$ 期の需要を予想した値 (個)
- C = 発注費 (商品を t 期に 1 個発注した時の値段)
- h = 在庫費 (在庫 1 個を 1 期保有した時の値段)
- P = 品切れ費 (t 期に商品 1 個品切れした時の値段)
- LT = リードタイム (期)
- K = 安全係数品
- t = 期 ($t = 1, 2, \ldots.52$)
- T = 計画終了時刻

5.2　定式化 1 の目的関数と制約式

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{k=1}^{T} C x_k + \sum_{k=1}^{T} h \max(i_k, 0) \\ & + \sum_{k=1}^{T} (-P) \min(i_k, 0) && (1) \\ s.t. \quad & i_t = i_0 + \sum_{k=1}^{t} x_{k-1} - \sum_{k=1}^{t} D_k && (2) \\ & x_t \geq 0 \quad , \quad x_0 = 0 && (3) \\ & x_t \geq K\sigma\sqrt{LT} + \hat{D}_t - i_t && (4) \end{aligned}$$

5.3　定式化 1 の説明

定式化 1 では発注, 在庫の一連の管理にかかる費用を最小にすることを目的とする．したがって，目的関数を

総発注費 + 総在庫費 + 総品切れ費の最小とした．在庫費を求めるためには在庫量を求めなければならないのだが，需要が多く品切れをだしてしまった期にはマイナスの値になってしまう．そこで，その期に現実としてある在庫量は i_t と 0 の最大値をとるように指示した．品切れ費は，需要が在庫を上回る場合に発生するので，その期に現実としてある在庫量と 0 との最小値をとるように指示した．また品切れ量は在庫量がマイナスの場合の値なので，1 単位あたりの品切れ費用をマイナスにしておく．

(4) の式については，在庫量と発注量を足したもの，つまり来季の始めに持っていなければならない在庫についての制約である．この値が安全在庫と需要予測値を上回っていなければならない．また x_{t-1} になるのは，LT を考慮したため $t-1$ 期に発注した商品が t 期に入荷するからである．

6　定式化 1 の実行結果

6.1　定式化 1 の実行前の準備

まず，問題点で述べたようにホームセンター自身，発注費，在庫費，品切れ費を全くわかっていない．そこで，この問題を解決するためには，発注費，在庫費，品切れ費を自分で設定しなければならない．これらの費用は商品の価格に比例するものとし，その係数をそれぞれ α,β,γ とし，

- α = 0.05 または 0.1
- β = 0.01 または 0.02
- γ = 0.1 または 0.2

と仮定した．そこで，各期における総発注費 h，総在庫費 C，総品切れ費 P は商品価格を Z とし，

- Z = 商品価格 (一個あたりの値段)
- $C = Z\alpha$
- $h = Z\beta$
- $P = Z\gamma$

となる．よって，すべての費用は商品価格に比例することとします．さらに需要予測も設定しなければならない品．そこで，売上全体の平均と，H.C 方式，過去 5 週の中央値，過去 3 週のの中央値にした. 定式化には安全在庫を加味したいので，標準偏差を求めなければならない．そこで，不偏分散を求める．不偏分散 σ は

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{T}(D_k - \bar{D})^2 \qquad (5)$$

で求めることができる．($\bar{D}$ は平均)

また，安全係数 K についても決めなくてはいけないので，

- $Pr(y > K)$ = 0.025,0.01

となる K として計算する．この式での y とは、基準化された変動のことで.$\frac{x-\text{変動の平均}}{\sqrt{\text{変動の分散}}}$ の式を満たす. 変動の分散の単位は個の 2 乗であり, 分子の単位は個である. よって y は変数となる.

6.2　定式化 1 の計算結果

最終のページ表 1 を参照

7　定式化 1 の考察

まず, 安全係数を 1.64 から 1.95 にすることによって, 品切れをおこす確率が極端に減らすことができる. しかし, 安全係数をあげるということは結果から見て分かるように, 在庫量や発注量が増えることになり. 結果的に総費用が増えてしまう. また, 安全係数が大きくなればなるほど, 需要の変動が大きいときに多くの在庫を持つようになる. 安全係数を上げることによって品切れを起こさせないようにするということなのでこれらの結果は当然である. 次に, 発注費, 在庫費, そして, 品切れ費を変えてみても総発注量, 総在庫量, 総品切れ費は変わらなかった. 費用を上げた分だけ総費用もあがるという結果になった. 需要予測については分散の大きい場合, 過去 5 周の中央値が最も良い結果になった. このことは前期に極端に売れたり, 売れなかったりしたときの値に左右され, 次の期の需要予測がうまくいかず極端に多く売れた次の期に多量の在庫を持ち, 逆に売れなかった次の期に品切れを起こしてしまうからだと考えられる. 分散が小さい場合は, 常にほぼ一定の需要なので一定の在庫を保有すれば良いので需要予測はどれでもあまり変わらない. 結果から分かるように需要予測を過去 5 周の中央値にしても品切れが起きているところがあるがこの品切れの値はすべて (1.0〜3.0)E-(10〜15) つまり限りなく 0 に近い値なので, 発注量や在庫量の値を小数点以下繰り上げることによって回避できると考えられる. このモデルはオーソドックスなもので, 実際には店頭にも倉庫にも在庫できる上限があり, 季節や特売時によって商品の陳列が変わってくる. また, 発注についてもトラックの容量や商品の大きさによって発注できる量も制限され, リードタイムも商品によってことなる. また発注費は商品一個一個にかかるのではなく, まとめて発注すれば安くなることもあるので, この結果が一番良いとは言い切れない部分もあると考えられる.

8　定式化 3〜二段階在庫管理モデル〜

8.1　定式化 3 にあたって

定式化にあたって以下のように, 記号を定義しました.

- y_t^n = n 週 t 期に店頭においておく在庫量
- z_t^n = n 週 t 期に倉庫においておく在庫量
- p^n = 倉庫から店頭に補充する量
- q_t^n = n 週 t 期における発注量
- V_t^n = n 週 t 期に店頭における品切れ量
- W_t^n = n 週 t 期に倉庫における品切れ量
- D^n = 需要予測値
- λ_t = 品切れ補助発注量
- safe = 安全在庫量

- α = 店頭摩耗係数
- β = 在庫摩耗係数
- δ = 補充費
- ε = 店頭における品切れ金
- B = 倉庫における品切れ金
- L = 倉庫の上限容量
- l = 店頭の上限容量
- lc = 倉庫から店頭までの上限補充量
- N = 十分大きな値 (10000)
- C = 商品単価
- h = 店頭における在庫費
- H = 倉庫における在庫費
- r = 発注費

8.2 定式化 3 の目的関数と制約式

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{n=1}^{52}(r_1 q_1^{(n)} + r_5 q_5^{(n)}) + 7\sum_{n=1}^{52}\delta p^{(n)} \\
& + \sum_{t=1}^{7}\sum_{n=1}^{52}\varepsilon V_t^{(n)} + \sum_{t=1}^{7}\sum_{n=1}^{52} BW_t^{(n)} \\
& + \sum_{t=1}^{7}\sum_{n=1}^{52} B(\lambda_t + \text{safe})u_t^{(n)} \\
& + \sum_{t=1}^{7}\sum_{n=1}^{52} hy_t^{(n)} + \sum_{t=1}^{7}\sum_{n=1}^{52} HZ_t^{(n)} && (6) \\
s.t. \quad & y_t^{(n)} = \alpha y_{t-1}^{(n)} + p^{(n)} - \nu_t D^{(n)} + V_t^{(n)} && (7) \\
& z_t^{(n)} = \beta z_{t-1}^{(n)} - p^{(n)} - V_t^{(n)} \\
& \qquad + W_t^{(n)} + u_t^{(n)}\lambda_t && (8) \\
& t = 1 \\
& z_t^{(n)} = \beta z_t^{(n-1)} - p^{(n)} - V_t^{(n)} \\
& \qquad + W_t^{(n)} + u_t^{(n)}(\lambda_t + \text{safe}) + q_t^{(n)} && (9) \\
& t = 4 \\
& z_t^{(n)} = \beta z_t^{(n)} - p^{(n)} - V_t^{(n)} \\
& \qquad + W_t^{(n)} + u_t^{(n)}(\lambda_t + \text{safe}) + q_t^{(n)} && (10) \\
& u_t^{(n)} \in \{0,1\} && (11) \\
& z_t^{(n)} \le L && (12) \\
& y_t^{(n)} \le l && (13) \\
& p^{(n)} \le lc && (14) \\
& \text{safe} \le z_t^{(n)} && (15) \\
& W_t^{(n)} \le N u_t^{(n)} && (16) \\
\text{非負条件} \quad & z_t^{(n)} \ge 0 \qquad y_t^{(n)} \ge 0 \\
& V_t^{(n)} \ge 0 \qquad p^{(n)} \ge 0 \\
& q_t^{(n)} \ge 0 \qquad W_t^{(n)} \ge 0
\end{aligned}
$$

8.3 定式化 3 の定式化の説明

本研究では発注, 在庫, 品切れの一連の費用を最小にする目的とする. ここでは店頭と倉庫の二段階に分けて定式化を行った. したがって, 目的関数を総補充費 + 総発注量 + 総店頭在庫費 + 総倉庫在庫費 + 店頭品切れ費 + 倉庫品切れ費を最小にした.
(11) の式については発注が月曜日と木曜日なので, それ以外の曜日に倉庫在庫が品切れを起こしたときに 1 となり, それ以外は 0 となる. そこで月曜日に倉庫の在庫が 0 になってしまったら火曜日と水曜日の需要予測分を入れなくてはならない. その分の発注量つまり品切れ補助発注量 λ_t で表されている.

9 定式化 3 の実行結果

9.1 定式化 3 の実行前の準備

まず, 問題点で述べたようにこのホームセンター自身, 補充費, 発注費, 店頭における在庫費, 倉庫における在庫費, 店頭における品切れ費, 在庫における品切れ費を全くわかっていない. そこで, この問題を解決するためには, 発注費, 在庫費, 品切れ費を自分で設定しなければならない. これらの費用は商品価格に比例するものとしそれぞれ,$rate(1)$,$rate(2)$,$rate(3)$,$rate(4)$, $rate(5)$,$rate(6)$ とした.

- $rate(1)$ = 0.01
- $rate(2)$ = 0.04
- $rate(3)$ = 0.03
- $rate(4)$ = 0.02
- $rate(5)$ = 0.1 または 0.25
- $rate(6)$ = 0.5

と仮定した. そこで, 各期における補充費 δ, 発注費 r, 店頭における在庫費 h, 倉庫における在庫費 H, 店頭における品切れ費 ε, 倉庫における品切れ費 B は

- C = 商品価格 (一個あたりの値段)
- $\delta = Crate(1)$
- $r = Crate(2)$
- $h = Crate(3)$
- $H = Crate(4)$
- $\varepsilon = Crate(5)$
- $B = Crate(6)$

となる. よって, すべての費用は商品価格に比例することとする.

さらに需要予測も設定しなければならない. そこで, 売上全体の平均と, H.C 方式, 過去 5 週の中央値, 過去 3 週のの中央値にした.

定式化には安全在庫が加味したいので, 標準偏差を求めなければならない. そこで, 不偏分散を求める. 不偏分散 σ は

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{T}(D_k - \bar{D})^2 \qquad (17)$$

で求めることができる. ($\bar{D}$ は平均)

また, 安全係数 K についても決めなくてはいけないので,

- $Pr(y > K)$ = 0.025,0.01

— となる K として計算する.

また, 店頭における上限容量, 倉庫における上限容量, 倉庫から店頭における上限補充量も設定しなければならない. そこで以下のように仮定した.

- $l = 2\bar{D}$
- $L = 4\bar{D}$
- $lc = 3\bar{D}$

摩耗係数については

- $\alpha = 0.95$
- $\beta = 0.99$

最後に, 提供されたデータには週ごとの売上データしかないので日ごとの需要量を以下のようにした.

- $v_t = \frac{1}{9}$(平日)
- $v_t = \frac{2}{9}$(土日) ※祝祭日は考慮しない.

9.2　定式化 3 の計算結果

最後のページ表 2 を参照

10　定式化 3 の考察

結果から見て分かるように店頭在庫の品切れはすべて起こってしまった. しかし店頭在庫費を上げることによってこの品切れを回避できることが分かる. なぜなら, このモデルは費用を最小にしているのでこのような結果が得られる. しかも, このモデルでは一日の終わりにしか補充をしないために品切れを起こしてしまうが実際は営業中でも補充することができるので, ある程度の品切れは回避できる. 次に, 本来安全係数を上げることによって品切れを減らすことができるのだが, 今回は値を変えても店頭在庫の品切れ量はほとんど変わらない. これは安全係数つまり安全在庫は倉庫在庫にかかるのでこのような結果が得られる. このモデルは店頭と倉庫の二段階に分けているため, 週ごとのデータではなく, 日ごとのデータが必要である. しかし, 今回頂いたデータは週ごとのしかなかったのでその週の日ごとの需要は月曜日から金曜日までと土曜日から日曜日までは一定の需要量としたので, 正しい解とはいえない可能性はあるが扱った商品が常備品なのでそこまで解に影響はないと考えられる. 需要予測については分散の大きい場合, 過去 5 周の中央値が最も良い結果になった. このことは前期に極端に売れたり, 売れなかったりしたときの値に左右され, 次の期の需要予測がうまくいかず極端に多く売れた次の期に多量の在庫を持ち, 逆に売れなかった次の期に品切れを起こしてしまうからだと考えられる. 分散が小さい場合は, 常にほぼ一定の需品要なので一定の在庫を保有すれば良いので需要予測はどれでもあまり変わらない. 需要予測を売上全体の平均にする際, 今回は一年分のデータしかなかったので, その年に売れた需要量の平均を求めたために, 需要予測を売上全体の平均で設定したときに良い結果が得られることが多かったが, 実際は過去何年分のデータを基にする必要がある.

11　まとめ

定式化 1 については発注費，在庫費，品切れ費を自分で決め，定式化した．定式化 3 については補充費，発注費, 店頭における在庫費, 倉庫における在庫費，店頭における品切れ費, 在庫における品切れ費を自分で決め、定式化した．定式化 1，3 ともに What's best7.0 を用い最適な在庫スケジュールを求めることができた．需要予測値は売上全体の平均または過去 5 周の中央値が最も良いが売上全体の平均は上で述べたように正しくない可能性があるので過去 5 周の中央値が最も良い.

12　参考文献

参考文献

[1] 広津千尋, 実験データの解析 (分散分析を越えて), 共立出版 (1992)

[2] 伊藤謙治 : 生産マネジメントの手法, 朝倉書店 (1996)

[3] H.M. ワグナー　著/ 森村英典, 伊理正夫　監訳/ 反町典子, 前島信　共訳 : オペレーションズリサーチ入門 6, 培風館 (1975)

[4] H.M. ワグナー：Principles of Operations Research with applications to Managerial Decisions, McKinsey & Company,Inc(1975)

表 1　売上個数が少なく分散が小さい場合

K=1.95	総発注費	総在庫費	総品切費	合計
全体平均	516	133	0	649
H.C 方式	515	131	0	646
5 週中央値	515	128	0	643
3 週中央値	515	138	*	653

表 2　売上個数が少なく分散が小さい場合

K=1.95	総発注費	総在庫費	総品切費	合計
全体平均 (倉庫)	2279	2983	0	11518
全体平均 (店頭)	573	5216	464	
H.C 方式 (倉庫)	2220	2940	0	11402
H.C 方式 (店頭)	554	5215	471	
5 週中央値 (倉庫)	2142	2893	0	11199
5 週中央値 (店頭)	538	5185	437	
3 週中央値 (倉庫)	2223	2945	0	11389
3 週中央値 (店頭)	558	5205	456	