

# 効率的な在庫管理を目的としたホームセンターの発注と棚割り

M2011MM004 芥正裕

指導教員：三浦英俊

## 1 はじめに

本論文では、あるホームセンターにおいて業務改善を目的とした在庫管理問題について考える。現在、このホームセンターではオペレーションズ・リサーチを用いて様々な業務改善に取り組んでいる。このホームセンターを対象とする過去の研究では、[4]の折り込み広告の最適な選定により売り上げを増加させる研究や、[3]のシフトスケジューリングの自動作成により人件費の削減に取り組む研究がなされている。

また、在庫管理問題について、[1]は期末在庫の調整を考慮に入れた発注政策を取り扱い、品切れ時の需要に対するペナルティとバックオーダーを考慮したモデルを使用し、期末在庫の調整水準として期末在庫に制限が設けられる発注点方式の在庫管理モデルへと拡張し、需要量の分布に関して平均と分散のみを仮定し、これらの情報のもとで最適化を図る Distribution Free Approach に基づく解法について研究されている。また、[5]では、在庫管理と輸送を同時に考える統合的問題を取り扱い、在庫保管費用、品切れ費用及び輸送費用の総和の期待値を最小にする最適化問題として定式化し、費用の計算のためにシミュレーション及び線形計画法を用いる方法を展開するなど、在庫管理問題について様々な視点やアプローチで研究がおこなわれている。本研究では[2]の研究を引き継ぎ、在庫管理問題について考える。

このホームセンターは現在数多くの商品を取り扱っており、定期発注方式により発注を行っている。発注は自動発注で行われており、定期的に在庫量を集計しコンピュータで自動的に発注を行っている。自動発注は、一部例外を除き全商品一律に適用されているため、商品の欠品や在庫量に大きく影響を与える。この自動発注ロジックについて、在庫量や発注回数を抑えることが可能であれば大幅なコストの削減につながると考えられる。

また、現在のホームセンターの商品の補充の仕組みは、発注した商品が店舗に配送された時、配送された商品を陳列棚に並べることができる空きがあれば陳列し、陳列できる空きがなかった場合は店舗の倉庫に運ばれ、商品が売れて空きができたときに補充を行っている。この倉庫から商品を補充するという手間は、発注した商品を陳列棚に全て陳列が可能であれば発生しないものである。到着した商品を倉庫に運び、後日倉庫から補充するという手間は、従業員に大きな負担がかかり非効率である。

本研究における解法の枠組みを以下に説明する。[2]では、自動発注におけるパラメータを変更することで効率的な在庫量の削減が可能であることが示されている。本研究は[2]の在庫管理における商品の補充作業量の軽減に重点を置く。

## 2 用語の説明

問題解決にあたって、ホームセンターで使用される用語を説明する。「アイテム」とはホームセンターが扱う各商品を指す。アイテムには、「部門」・「パターン」・「商品」という属性が与えられている。この属性は、部門、パターン、商品の順で大きな括りである。「部門」には日用品を扱う部門やペット用品を扱う部門などがある。部門を更に分類したものが「パターン」である。パターンには、シャンプー、ペットフードなどがある。次に、在庫に関する用語の説明する。店舗が保有しているアイテムの在庫数を「帳簿在庫数」と呼ぶ。また、販売数などの条件により各アイテムに「ランク」と呼ばれる指標が存在する。ランクが高いほど販売数が多く、一度に発注する量も多くなる。アイテムを発注する際に最低限必要とする在庫数を「最大在庫数」と呼ぶ。最大在庫数を決定する際に、アイテムの販売数に掛ける「週数」と呼ばれる係数が存在する。そして最大在庫数に応じて「発注点」が決められている。「発注点」とは、あるアイテムの数がその数以下となった時に最大在庫数まで発注をするポイントのことである。更に、各アイテムには発注する際の数量単位として、「発注単位」が決まっている。「最大陳列量」は陳列棚にアイテムを並べ切れる個数を指す。この値を超過するアイテムを保有している場合、店舗の倉庫に超過分が送られる。「補充格納数」は、アイテムを倉庫から陳列棚に並べる回数を指す。

最後に、シミュレーション結果を評価する指標について説明する。「発注SKU数」とは、発注をかけるタイミングで発注を行ったアイテムの種類数を指す。「機会損失額」は、在庫があれば売れるはずであったアイテムの合計金額を、売価から計算する指標である。また、「欠品率」は、毎週ある時点での欠品状況から算出する指標である。

## 3 補充・格納数を考慮したシミュレーション

### 3.1 本章の概要

1章で述べたように、補充格納数は従業員の品出しに関する作業量であり、労働量や人件費の削減を目的とするうえで重要な値である。この章では、補充格納数を削減できるような新たな発注方式を提案することを目的とする。補充格納数を削減する主な手法として、アイテムを発注する条件を満たした際の発注量を制御する手法について考察する。また、売り場の棚割りを改善することでも補充格納数が削減できる可能性があることから、棚割りの最適化問題を作成する。

### 3.2 シミュレーションの概要

現状の発注方式では、発注条件を満たした時に帳簿在庫数が最大在庫数になるように発注を行っている。ホームセンターの陳列棚には「最大陳列量」と呼ばれるアイ

テムを陳列棚に陳列することができる個数の最大値がアイテムごとに決められており、現状の発注方式では、最大陳列量について考慮されていない。帳簿在庫数が最大陳列量を超えている場合は、ホームセンターの倉庫にアイテムを保管し、陳列棚のアイテムが少なくなったら倉庫からアイテムを補充している。この章ではまず補充格納数を削減することができると考えられる手法を2つ提案する。提案するにあたり、以下の定数を定義する。

$k_i$  : アイテム  $i$  の発注単位

$m_{it}$  : アイテム  $i$  の  $t$  期における最大在庫数

$s_{it}$  : アイテム  $i$  の  $t$  期における帳簿在庫数

$d_i$  : アイテム  $i$  の最大陳列量

まず、発注条件を満たした時に以下の(1)のように発注量を決定する手法1を考案した。

$$\min \left( k_i \left\lceil \frac{m_{it} - s_{it}}{k_i} \right\rceil, k_i \left\lceil \frac{d_i - s_{it}}{k_i} \right\rceil \right) \quad (1)$$

現状の手法では、発注単位を考慮し、最大在庫数と帳簿在庫数から必要な単位数を計算して発注数を決定しているが、最大陳列量についても同様に計算を行い、最大陳列量になるように発注したときと比較して発注量が少ない方を採るという手法である。この手法は、最大在庫数が大きい値であるために補充格納の手間がかかるアイテムについて、帳簿在庫数を考慮し最大陳列量の値になるように発注することで、補充格納の手間を軽減することを目的としている。この手法の場合、発注を行う条件を満たし場合でも最大陳列量の値が小さいために発注量が0となる場合などが考えられる。そこで以下の2つ目の手法2を考案した。

$$\max \left( \min \left( k_i \left\lceil \frac{m_{it} - s_{it}}{k_i} \right\rceil, k_i \left\lceil \frac{d_i - s_{it}}{k_i} \right\rceil \right), k_i \right) \quad (2)$$

手法1では1単位も発注を行わないというケースが考えられるが、手法2は最低でも1単位は発注を行う発注方式である。手法1と比べると補充格納数の削減幅は小さくなると考えられるが、発注量が少なすぎるため発生するアイテムの欠品はある程度抑えることができると考えられる。

これらの発注方式の手法を採った場合補充格納数や欠品率、在庫金額、発注SKU数がどのように増減するかをシミュレーションにより求める。

### 3.3 シミュレーションの設定

このホームセンターの自動発注ロジックについて説明する。あるアイテムの発注量を求めるとき、直近数週間の平均販売数とランクをもとに最大在庫数を計算し、その最大在庫数をもとに発注点を決定する。その商品の在庫量が算出された発注点以下となった場合、発注単位を考慮した発注量を求め発注を行う。平均販売数と最大在庫数の関係は以下の式(3)で表される。

$$(\text{最大在庫数}) = (\text{週数}) * (\text{平均販売数}) \quad (3)$$

(3)で求められた最大在庫数をもとにアイテムごとに発注点を決定する。最大在庫数と発注点の関係は以下の式(4)で表される。

$$(\text{発注点}) = \alpha * (\text{最大在庫数}) \quad (4)$$

$\alpha$ は定数であり全アイテム一律の値である。発注点はすべての商品において上記の式(4)で一律に定められている。

### 3.4 シミュレーション対象について

ある中規模店舗の2012年1月2日から2012年6月17日の168日間のレシートデータを用いる。アイテム数は19,941アイテムである。

シミュレーションにはMicrosoft社のExcel<sup>1</sup>を用いる。

### 3.5 実行結果

現状の発注方式を含め、各手法についてシミュレーションを行った結果が表1である。

表1 シミュレーション結果

	現状	手法1	手法2
欠品率	1.00	1.63	1.22
機会損失額	1.00	1.34	1.17
在庫金額	1.00	0.79	0.95
発注SKU数	1.00	1.26	1.34
補充格納数	1.00	0.20	0.58

表1が現状の発注方式と補充格納数の削減を目的とした発注方式のシミュレーション結果である。表中の数値は現状の値を1とした時の割合を表している。欠品率や発注SKU数は発注量を少なく抑えているため増加するが、発注量が少なくなるために在庫金額や補充格納数が大きく削減できるという結果が得られた。手法1では補充格納数が約80%削減され、補充格納数を削減するという目的は達成しているが欠品率が大きく増加している。一方手法2では補充格納数の削減幅が約40%と手法1と比較して小さいものの、欠品率や機会損失額の増加幅が手法1と比較して小さい。

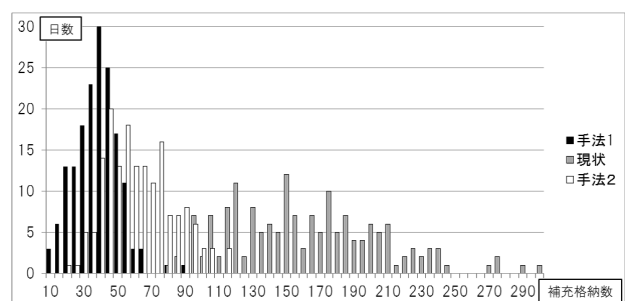


図1 補充格納数のヒストグラム

図1はシミュレーション結果における日毎の補充格納数を発注方式ごとにヒストグラムにまとめたものである。

<sup>1</sup>Microsoft, ExcelはMicrosoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標です。

このグラフから、現状の発注方式は全体的に補充格納数が多く、日毎に大きくばらついていることがわかる。手法1と手法2を現状の発注方式と比較すると、補充格納数が比較的小さい値に集中し、日毎のばらつきが小さいことがわかる。補充格納数の分散は、現状の発注方式が2160.09、手法1が177.84、手法2が425.13をそれぞれ得た。

表2 陳列棚に余裕があるアイテム

	平均販売数	最大陳列	フェース数	削減量
A	0.04	6	3	2
B	2.88	40	4	2
C	0.17	6	3	2
D	3.13	35	2	3

表2は本章のシミュレーションについて、最大陳列量までアイテムが陳列されなかったアイテムの一例である。表中の「平均販売数は」1週間あたりのアイテムの販売個数の平均値である。

これらのアイテムは、1週間あたりの平均販売数が高くなく複数のフェースを持つため、陳列棚にアイテムが陳列されない空間が存在するアイテムである。また、これらのアイテムはシミュレーション期間中に最も多く陳列されたときでも最大陳列量まで陳列されることはなく、表2の削減量までフェース数を削減しても問題がない。これから、陳列棚の棚割りを最適化することでも補充格納数の削減ができると考えられる。そこで、棚割りの変更による補充格納数最適化の定式化を行う。最適化にあたり、あらかじめ全アイテムのフェース数を±2の範囲で増減させたときの欠品率・機会損失額・在庫金額・補充格納数・BR在庫金額をシミュレーションにより求める。「BR在庫金額」とは、店舗の倉庫に存在するアイテムの在庫金額の平均値である。

この最適化では、フェース数を増加させれば補充格納数を削減できることは明らかであり、売り場の面積にも上限があるため、現状の補充格納数のフェース数で現状維持とする制約を追加する。この問題では部門内のフェース数を移動させ割り当てるものとする。今回の問題では、アイテムの大きさについては簡単のため省略する。

### 3.6 記号の定義

まず、添字と定数の設定を行う。

$i$ : アイテム ( $i \in I$ )

$I$ : アイテムの添字集合

$k$ : フェース数の増減 ( $k \in K$ )

$K$ : フェース数の増減の添字集合

$f_i$ : アイテム  $i$  の現状のフェース数

$t_{ik}$ : アイテム  $i$  のフェース数を  $k$  増加させたときの欠品率

$z_{ik}$ : アイテム  $i$  のフェース数を  $k$  増加させたときの在庫金額

$p_{ik}$ : アイテム  $i$  のフェース数を  $k$  増加させたときの補充

格納数

次に変数を以下のように定義する。

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & i, k \text{ の組合せを選択する} \\ 0 & i, k \text{ の組合せを選択しない} \end{cases}$$

### 3.7 定式化

フェース数の合計と欠品率、在庫金額を現状の値で維持し、補充格納数を最小化する問題の定式化を行う。

目的関数を以下のように定義する。

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} p_{ik} x_{ik} \quad (5)$$

制約条件を以下のように定義する。

$$\sum_{k \in K} f_{ik} x_{ik} \geq 1, \quad i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} f_{ik} x_{ik} = \sum_{i \in I} f_{i0} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} t_{ik} x_{ik} \leq \sum_{i \in I} t_{i0} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} z_{ik} x_{ik} \leq \sum_{i \in I} z_{i0} \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1, \quad i \in I \quad (10)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, k \in K \quad (11)$$

(5) 式は補充格納数を最小とする目的関数である。(6) 式は各アイテムに1フェース以上を割り当てる制約である。(7) 式は全アイテムのフェース数の合計を現状と同じフェース数とする制約である。(8) 式は、欠品率を現状維持とする制約である。(9) 式は在庫金額を現状維持とする制約である。(10) 式は、各アイテムはフェース数を1通りずつ選択する制約である。(11) 式は、決定変数のバイナリ制約である。今回は部門単位でフェース数を維持させるため、部門ごとに最適化を分割して行った。

### 3.8 実行結果

この問題を最適化ソフトウェア What's Best!<sup>2</sup>9.0 を用いて解いた。使用した PC の CPU は Intel Core<sup>3</sup>2 Duo E7500@2.93GHz、メモリ 2GB、OS は Windows XP<sup>4</sup> Professional である。実行結果と計算時間を表3に記載する。表3の実行結果は一部であり、省略している部門が存在する。計算時間について、最長で16秒であり、表中に存在しない部門については全て1秒未満で最適解が得られている。また、中規模店舗の対象アイテム数と実行結果のアイテム数の合計が異なっているのは、フェース

<sup>2</sup>What's Best!は LINDO Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

<sup>3</sup>Intel, Intel Core は Intel Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

<sup>4</sup>Windows XP は Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

数のデータが得られなかったアイテムが複数存在するためである。

表 3 実行結果

	種類数	削減幅	計算時間
部門 A	2,312	35.9%	6 秒
部門 B	1,737	34.0%	16 秒
部門 C	1,688	41.4%	5 秒
部門 D	1,436	36.7%	2 秒
全部門	18,400	30.1%	

最適解では、平均販売数が大きく、かつ棚の奥方向にアイテムを陳列できる個数が少ないアイテムに多くのフェース数が割り当てられている。また、空いている陳列棚を最適解ではよく売れるアイテムに割り当てているため、倉庫の在庫量は減少し、BR 在庫金額は全体で 8.5% の削減がされている。

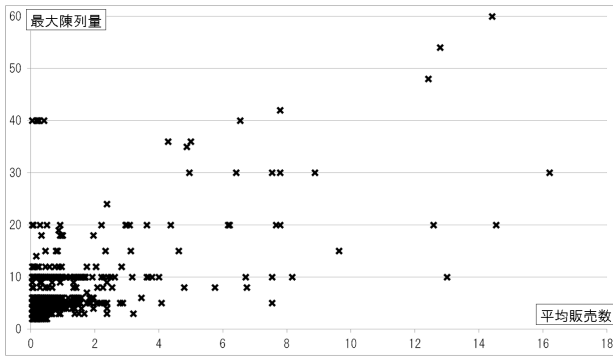


図 2 現状の平均販売数に対する最大陳列量

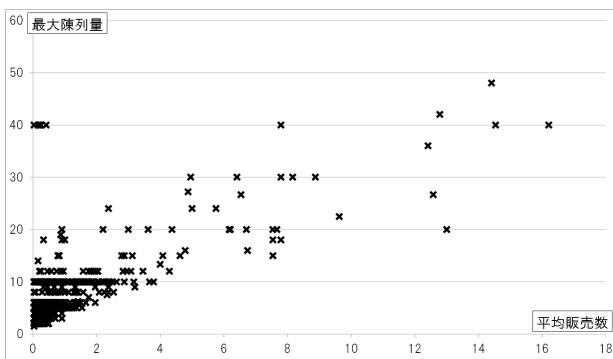


図 3 最適解の平均販売数に対する最大陳列量

図 2、図 3 はある部門の各アイテムの平均販売数に対する最大陳列量を散布図で表したものである。現状の棚割りでは平均販売数と最大陳列量の間に関連があるようには見えない。一方、最適解における平均販売数に対する最大陳列量を表した散布図では、平均販売数に対し、ある程度の最大陳列量を確保されるような棚割りに変化していることが読み取れる。平均販売数が多いアイテムにフェース数を多く割り当て、補充回数を減らすことが出来るような棚割りに変化したと考えられる。

### 3.9 考察

この章では補充格納数の削減を目的としてシミュレーションを行った。補充格納数を削減するという事は最大陳列量以上の在庫を保有しないようにすることとほぼ同等であるため、欠品率の増加や機会損失額の増加、また少ない量での発注を繰り返すことから発注 SKU 数の増加は避けられないと考えられる。補充格納数を削減することに重点を置きすぎると欠品率などが大きく上昇してしまい、かえって非効率な発注ロジックになりかねない。補充格納数を削減することは重要であるが、どこまで欠品率などの増加を許容できるかなど熟慮して経営戦略により発注方式を決定することが重要であると考えられる。

補充格納回数の最小化を目的とした最適化問題では、現状のフェース数と欠品率、在庫金額を現状の値で維持し補充格納数を最小化した。この問題は部門のなかでフェース数を移動させる制約で最適化を行ったが、実際にはアイテムの大きさや陳列方法がアイテムごとにまちまちでフェース数の移動が容易であるとは考えにくい。今回シミュレーション対象としたデータはレシートデータをもとにしたもので、アイテムが属するパターンが識別できない状態で最適化を行っている。部門内でなくパターン内でのフェースの移動により補充格納数を最小化する問題が解ければ、より現実的な解を得られると考えられる。

### 4 今後の課題

3 章について、アイテムのパターンのデータを得てパターン内でのフェースの移動を制約とする問題を解くこと、またはアイテムのサイズのデータから補充格納数を最小とするような問題を作成することが今後の課題として挙げられる。

### 参考文献

- [1] 有菌育生, 立石広治: 発注点方式における在庫管理モデルの Distribution Free Approach による解法, 日本経営工学会論文誌, 2000.
- [2] 今泉隆徳, 三浦奈津子, 齊木和弥: ローコストオペレーションのための在庫管理問題, 2010.
- [3] 鯉沼潤一郎, 栗山尚泰: ホームセンターのシフトスケジューリング自動作成について, 2007 年度南山大学数情報学部数理科学科卒業論文, 2008.
- [4] 坂井寛治, 佐々裕資: 広告掲載商品の最適選定問題, 2009 年度南山大学数情報学部情報システム数理学科卒業論文, 2010.
- [5] 横山雅夫: 配送センター間の協力がある在庫・配送システムの統合的最適化, 日本経営工学会論文誌, 1999