

# 商品の補充作業を軽減する店舗の棚割について

三浦 英俊, 鈴木 敦夫, 松田 眞一, 芥 正裕

大学とホームセンターによる共同研究の取り組みについて紹介する。ここでは、倉庫から商品棚への商品の補充作業回数を削減するための2つの提案について述べる。第一の方法である発注方式の変更は、作業回数を軽減することは可能であるが、欠品率などが悪化する可能性が高い。しかし第二の方法である棚割のフェース数の変更によって、3割程度の作業軽減が可能であることがわかった。さらに、在庫量の削減など目的以外の効果もあった。

キーワード：店舗オペレーション、棚割、在庫

## 1. 大学から現場へつなげる OR

筆者らが所属する大学は、全国に店舗を展開するホームセンターと共同研究を行っている。研究における課題の取り組みは、筆者らにとって特集テーマである「現場とつながる OR」そのものである。

このホームセンターとの共同研究は、毎年4月から1年間を単位として、統計学の研究室と連携しつつ進められている。大学にとって、この共同研究は、直接現場の問題に触れることのできる貴重な機会である。

OR手法を実務問題へ変換する技術を学ぶ機会はそのほど多いものではない。さらに、ORの研究成果に対する実務の視点からの評価を直接もらうことができる。問題に取り組むのは主として4年生と大学院生である。彼らは、講義や演習で学んだOR手法を活用する場として、この共同研究を利用することができる。ほかでは得ることのできない実データを提供してもらい、企業の活動の一端を見て、企業で求められる研究成果とは何かを実感できる。さらに、研究成果を本社で発表する機会も与えられている。

大学にとっては受託研究であるが、研究を円滑に進めるため大学には社員が研究員として派遣されていて、彼女らは研究活動のみならず、研究進行管理、データ提供を含めた会社との調整にあたっている。

## 2. 在庫改善のための棚割

これまで、このホームセンターはオペレーションズ・

リサーチを用いてさまざまな業務改善に取り組んできた。このホームセンターを対象とする筆者の大学の過去の研究では、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や、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がなされている [3, 4]。

本研究では、欠品率と在庫量の削減を目的とした自動発注方法と棚割の問題に取り組んだ [1] を基礎として、商品の補充作業を軽減することを目的とした店舗の棚割について検討する。

在庫管理については、これまでさまざまな既往研究がある。例えば、[2] 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もとに、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た。ここで需要量の平均と分散を与えて、これらの情報のもとで在庫数量を最適化する手法を提案した。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、品切れ費用およ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およ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さまざまな視点やアプローチで研究が行われている。

さて、このホームセンターは、多くの商品について、1週間のうち曜日を固定した「定期発注方式」によって発注を行っている。発注する商品の数量は在庫量が発注点を下回ったら一定量を発注する自動発注によって定めている。

自動発注によって商品が店舗に配送されたときの店舗の作業について考えてみよう。発注した商品が店舗に配送されたとき、それらの商品を陳列棚に並べるこ

みうら ひでとし, すずき あつお, まつだ しんいち  
 南山大学情報理工学部  
 〒 489-0863 愛知県瀬戸市せいれい町 27  
 あくた まさひろ  
 株式会社トヨタコミュニケーションシステム

とができる空きスペースがあれば陳列する。しか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わなければならない。この倉庫から商品を補充するという作業は、発注した商品を陳列棚にすべて陳列が可能であれば発生しない。到着した商品を倉庫に運び、あとで倉庫から補充するという手間は、このホームセンターの従業員にとって大きな負担となっている。

本稿では商品補充の手間の軽減について、2つの方法を検討した結果について述べる。

最初に、発注方式の変更による手間の軽減について検討する。いくつかの発注方式案について実データに基づくシミュレーションを行い、作業軽減にどの程度効果があるのかを調べた。次に、商品の棚割の変動による補充格納作業の軽減について検討した。問題を棚割の変更による最適化問題として定式化し、補充格納の作業回数の削減量を最大とする棚割レイアウトを得ることができた。

### 3. 発注方式の変更による補充格納作業の軽減

先に述べたようにホームセンターは定期発注方式を採用している。発注日に、在庫量があらかじめ定めた在庫量の下限（これを発注点と呼ぶ）に達した商品について、「最大在庫量」と呼ばれる在庫量を超えるだけの発注を行う。

最大在庫量とは、発注した商品が届いたときに最低限必要な量として定められている在庫量である。在庫量の上限ではない。必ずその量を超えるように発注しなさい、という在庫量であり、直近の売れ行きによって定められている。ただし発注から商品到着までのタイムラグがあるため、発注後に商品が大量に売れた場合には、発注した商品が店舗に配送されたときに在庫量が最大在庫量を下回ることもある。

発注方式の変更によって補充格納の作業量を軽減することを試みる。

ホームセンターの陳列棚には、商品ごとに「最大陳列量」と呼ばれる、陳列棚に陳列することができる個数の最大値が決められている。発注した商品が届けたとき、まず商品を最大陳列量いっぱいとなるように並べて、残りを倉庫に保管する。その後、陳列棚の商品が少なくなったら倉庫から補充する。したがって発注量によって作業量を減らすためには、なるべく発注量を少なくすればよい。最大陳列量は、文字どおり「最大」であって、陳列量がこの値を上回ることはいない。

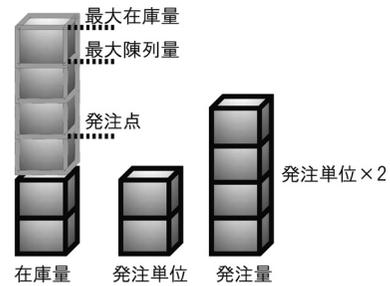


図1 発注点に基づく発注の例

この点で最大在庫量の最大とは意味が異なる。

商品の発注単位を  $k$ 、最大在庫量を  $m$ 、発注日の在庫量を  $s$  とすると、従来の発注量は  $k[(m-s)/k]$  と書くことができる。[ ] は小数点以下を切り上げて整数にする天井関数を表す。  $k[(m-s)/k]$  は商品が最大在庫を超えるように、ただし発注単位を守って発注することを表す。なお発注単位とは、例えばビールは1ケース24本が単位となるように発注することである。

図1の例を用いて説明する。図1の商品は発注点が3個、最大陳列量が5個、最大在庫量が6個である。発注単位は2個である。発注日の在庫量が2個であったので、発注量は発注単位の2倍の4個となることを示している。

ここで最大陳列量を  $d$  としたとき、補充格納の作業量を軽減するために発注量を  $\max(\min(k[(m-s)/k], k[(d-s)/k]), k)$  とすることを提案する。[ ] は小数点以下を切り捨てる床関数である。このうち  $\min(k[(m-s)/k], k[(d-s)/k])$  は、最大在庫量と在庫量を比較する従来の発注量  $k[(m-s)/k]$  と、最大陳列量と在庫量との差から計算される量  $k[(d-s)/k]$  を比べて、小さいほうを選ぶことを示しており、こうしておけばどのような場合でも在庫量が最大陳列量を超えることはない。しかし、発注単位が大きい一部の商品については、 $d$  に対して  $k$  が相対的に大きいため、  $[(d-s)/k] = 0$  となって、在庫が発注点を下回っても発注が行われない可能性がある。補充格納の手間を削減することができてはいても欠品率、すなわち全商品に対する欠品商品の比率、は大きく上昇するだろう。このような発注0の場合を回避するために、発注単位1単位分だけは必ず発注することにして、発注量を  $\max(\min(k[(m-s)/k], k[(d-s)/k]), k)$  としたわけである。なお、  $m \geq d$  であれば  $k[(d-s)/k]$  のほうが常に小さいわけだが、商品によっては  $m < d$  と設定されているものもある。

#### 4. 発注シミュレーション

商品の最大在庫量は、過去の長期的な平均販売数と直近数週間の平均販売数の組合せから決定される。さらに、最大在庫量をもとに発注点が決められる。

およそ2万点の商品種類数を扱う中規模店舗の2012年1月から6月までの168日間のレシートデータを用いて、新しい発注方法を用いた販売シミュレーションを行った。

表1は、提案する発注方式と現状の発注方式を、5つの項目について比率で比較したものである。機会損失額とは、需要に対して商品が欠品であったために売ることができなかった分の損失額である。SKUとは“Stock Keeping Unit”の略であり、商品を種類、色、サイズなどに分けたものをそれぞれSKU1つと数える、在庫管理を行う場合の最小の商品の単位である。したがって発注SKU数は発注する商品種類数のことであり、少ないほど望ましい。

補充格納は、1日1回決まった時刻に店員が店内を巡回し、最大陳列量の30%以下となった商品について補充を行うこととする。SKUごとに補充回数を数える。

表1を見ると、提案する発注方法は在庫金額と補充格納数を削減できることがわかる。特に補充格納数については、4割程度削減することが期待できる。

一方で、発注方式の変更による問題解決には欠点もあることを指摘しておかなければならない。提案する発注方法はなるべく発注量を抑えるやり方であり、補充格納数を削減するということが最大陳列量以上の在庫を保有しないようにすることと同等である。したがって、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数の増加をどのように抑えるかが課題となる。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る。

#### 5. 棚割の変更の検討

シミュレーションの結果から、いくつかの商品については陳列棚にかなり余裕があることが判明した。表2に、それらの一部を示す。フェース数とは、図2に示すように、商品陳列の最前面に並べられている商品数のことを言う。フェース数の増加は、売り上げ増加と品

表1 提案する発注方式のシミュレーション結果

	提案する発注方式の現状に対する比率
欠品率	1.22
機会損失額	1.17
在庫金額	0.95
発注SKU数	1.34
補充格納数	0.58

表2 陳列棚に余裕がある商品の例

	平均販売数(週あたり)	最大陳列数	フェース数	フェース数削減可能量
A	0.04	6	3	2
B	2.88	40	4	2
C	0.17	6	3	2
D	3.13	35	5	3

薄による販売機会損失の防止につながる。また、発注と補充格納コストを削減できる。一方でフェース数の減少は店頭の商品種類数の増加という利点がある。ただし以降の分析では商品種類数の増加については考えない。

さて表2の商品は、1週間あたりの平均販売数が少ないにもかかわらず多くのフェースが与えられているため、陳列棚にゆとりがある。すなわち、これらの商品は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のフェース数削減可能量に示す数だけフェース数を削減しても問題がない。図3は図2からフェース数を調整した例を示す。右側の商品の売れ行きが少ない場合、これに2フェースを割り当てるよりは、左の商品のフェース数を増やして2つの商品の最大陳列量を変更したほうがよい。

このことに着目して最適化問題を定式化し、従来の発注方法において補充格納作業量の削減が最大となる最適な棚割を求める。

最適化にあたり、全商品のフェース数を現状から±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・バックルーム在庫金額をシミュレーションによりあらかじめ求めておく。バックルーム在庫金額とは店舗の倉庫に存在する商品の在庫金額の平均値である。発注の頻度はフェース数とは関係なく一定なので、フェース数を増やしたとき、一般に、商品棚に並ぶ商品数が増えて棚に商品がない時間が減少する。その結果、商品の売れ行きが上昇するが、最大在庫量は数週間の販売実績によって決まるので、最大在庫量の増加が追いつくまで欠品率は高い値となる。同

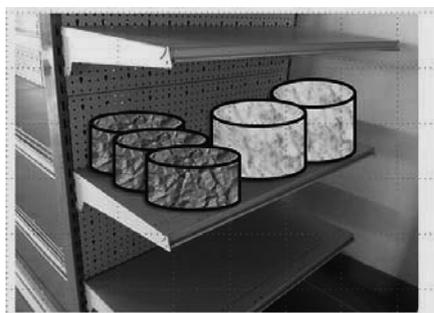


図2 フェース数が1の商品と2の商品の例

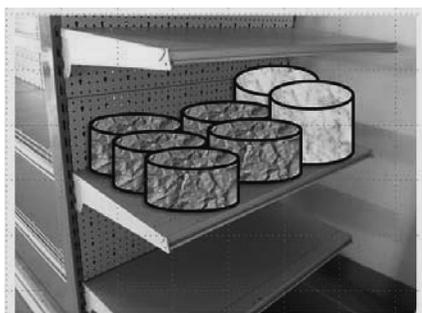


図3 フェース数を調整した例

時に、在庫金額、補充格納数、バックルーム在庫金額は減少する。機会損失額については、増加する商品と減少する商品がある。

客が商品を購入する頻度は商品ごとにレシートデータから与えられており、フェース数と関係なく決まっている。したがって、客が来店したときに商品棚が空である場合が減ることから、フェース数を増やした場合、在庫量が十分にある商品については機会損失額は低下する。しかし在庫が少ない商品は機会損失額が増加する。

この最適化では、フェース数の合計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、フェース数の合計を27種類ある商品部門ごとに現状以下とする制約を与える。フェース数を $\pm 2$ の範囲で増減することを許す。部門間のフェース数のやり取りはないものとする。また、商品にはネジからテントまで大小さまざまな大きさがあるわけだが、商品ごとのフェースの長さはシミュレーションでは考慮せず、すべて一定の大きさであると仮定した。

最適化問題に使用する変数は以下のとおりである。

$I$ : 商品を表す添字集合、

$i$ : 商品 ( $i \in I$ ),

$K = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ : フェース数の増減値の集合、

$k$ : フェース数の増減 ( $k \in K$ ),

$f_{ik}$ : フェース数を  $k$  増加させたときの商品  $i$  のフェース数、

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

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

$p_{ik}$ : 商品  $i$  のフェース数を  $k$  増加させたときの補充格納数。

バイナリ決定変数を以下のように定義する。

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{商品 } i \text{ のフェース数の増減数を } k \text{ とする,} \\ 0 & \text{商品 } i \text{ のフェース数の増減数を } k \text{ としない.} \end{cases}$$

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を商品の部門ごとに解く。目的関数と制約条件を以下のように定義する。

$$\min_{x_{ik}} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} p_{ik} x_{ik}$$

subject to

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

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} f_{ik} x_{ik} = \sum_{i \in I} f_{i0}, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} t_{ik} x_{ik} \leq \sum_{i \in I} t_{i0}, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} z_{ik} x_{ik} \leq \sum_{i \in I} z_{i0}, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1, \quad i \in I, \quad (5)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, \quad k \in K. \quad (6)$$

目的関数は補充格納数の合計を最小とする目的関数である。(1) はすべての商品にフェースを1つ以上を割り当てる制約である。(2) は全商品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。(3) は、欠品率を現状以下とする制約である。(4) は、在庫金額を現状以下とする制約である。(5) は、各商品はフェース数が現状から $\pm 2$ の範囲のいずれかの値を選択する制約である。(6) 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。

この問題を最適化ソフトウェア What'sBest! 9.0 を用いて解いた。使用したPCのCPUはIntel Core2 Duo E7500@2.93 GHz、メモリ2GB、OSはWindows XP Professionalである。いくつかの部門について実行結果と計算時間を表3に記載する。計算時間の最長は16秒であり、表に記載しなかった部門について

表 3 実行結果

	商品種類数	補充格納数削減率	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%	—

はすべて 1 秒未満で最適解が得られている。最適解では、平均販売数が大きく、かつ棚の奥方向に商品を陳列できる個数が少ない商品に多くのフェース数が割り当てる傾向が見られた。フェース数の割り当てを変更することによって、部門ごとに 30~40%の補充格納数を削減することができる。また、よく売れる商品に棚を多く割り当てることによって倉庫の在庫量は減少し、バックルーム在庫金額を 8.5%削減することができる。

計算ではこのように棚割りのフェース数の変更によって一定の有効な結果が得られた。ただしこれを実行に移すためにはいくつかの課題が残されている。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、先に述べたように、実際には商品の大きさや陳列方法が商品ごとにまちまちでフェース数の移動がすべて容易であるとは考えにくい。また、同じ部門に属している商品もさらに細かな種類に分かれるから、異なる種類の商品間のフェース数が入れ替えられるかどうかはより詳細な分析を行う必要がある。

## 6. おわりに

これら 2 つの計算結果をホームセンターに説明した

ところ、発注方法については、補充格納作業軽減だけでなくさまざまな費用の削減が可能な新しい発注について引き続き社内で検討する、棚割については継続して研究を進めてほしい、ということであった。

研究者や学生が計算して考えた結果がそのまま額面どおりクライアントに受け入れられるということはない。こちらが重要と考えていない結果がクライアントにとってうれしい結果であることもよくあることで、大学にとっては活動の行動のヒントとしてもらえれば御の字である。

ホームセンターにとって大学に研究委託をする利点がどのようなものなのか、筆者らでは推し量ることしかできないが、おそらくコンサルティング会社に依頼するよりも安価であろうと思う。価格と質が比例することがないように大学としては常に努力を続けなければならない。「現場とつながる OR」の 1 つとして、引き続き研究を進めることができれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 芥正裕, 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, 南山大学大学院 数理情報研究科 2012 年度 修士論文, 2013.
- [2] 有箇育生, 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, **51**, 53-58, 2000.
- [3] 鈴木敦夫, ホームセンターのサービスイノベーション最適店舗レイアウトとシフト作成, オペレーションズ・リサーチ, **56**, 439-444, 2011.
- [4] 鈴木敦夫, 松田真一, 三浦英俊, HC のサービスイノベーションのための最適店舗レイアウトとシフト作成, ダイヤモンド・ホームセンター, 2012 年 5 月号, 47-49, 2012.
- [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, **50**, 316-325, 1999.