

ホームセンターにおける在庫削減を目的とした発注と棚割り

M2012MM012 加藤勇輝

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

本研究では、共同研究を行っているあるホームセンターの業務改善を目的として、在庫管理の問題について研究する。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、業務上の問題を改善すべく取り組んでいる。本研究以外でも、これまでに様々な研究が行われており、過去に行われた研究として[3]では、廃棄や輸送費、人件費が多く割かれている芝生について、店舗ごとの需要を満たし、かつトラックの積載効率を上げるような効率的な発注、配送の問題に取り組んでいる。また、[2]では、必要量以上の在庫を削減し、ホームセンターが保有すべき最適な在庫量を求めるために、棚割りの最適化を行った。

このホームセンターでは、取り扱う全ての商品について、定期発注方式という方法を用いて発注を行っている。定期的に商品の在庫量を数え、発注すべき量を計算する。これについて、3節で詳しく説明する。定期発注方式を採用することによって、発注の手間を省くことができ、多くの商品について適切な数だけ発注することができるという利点が存在する。しかし、中には定期発注を行うことによって、必要以上の発注を行ってしまい、在庫の増加の一因となっている商品も存在する。在庫があれば、商品の欠品や機会損失を抑えることはできるが、商品の在庫が多量に存在することによって、在庫管理が困難になることや、補充作業による店舗オペレーションの増加、在庫の増加による利回りの悪化、商品管理が困難になる等の問題が挙げられる。店舗の規模、立地、顧客などによって在庫の状況は異なるが、店舗の運営において在庫の管理は重要である。よって、在庫量の調節が店舗に与える影響は大きく、在庫を削減することができれば、コストを大幅に削減することができると考えられる。しかし、「在庫数」と「機会損失、欠品率」はトレードオフの関係にあることから、在庫を少なくすることによって機会損失、欠品率が悪化することが分かる。

先行研究[1]では、比較的一般的な規模の店舗での自動発注において、新たな発注方法を提案すると同時に、補充格納数を最小限に抑える棚割りを考えることによって、効率的な在庫管理を目指した。本研究においては、[1]を引き継いだ上で、発注頻度が少ない小規模店舗において、シミュレーションを用いながら、機会損失、欠品率を悪化させずに在庫を削減する事を目的とする。小規模店舗は、取り扱う商品数が少ないことから、在庫削減が与える影響が他の規模の店舗に比べて非常に大きいことが想像できる。そのために、小規模店舗の販売の特徴に合った発注方式や、コストを抑えられる棚割りを提案し、その評価をシミュレーションを用いて行っていく。

2 用語の説明

ホームセンターで用いられている用語について説明する。

- アイテム：店舗で取り扱う商品。以降、本論文では「アイテム」を用いる。
- JAN：アイテムに与えられているコード。1アイテムにつき1つ与えられ、JANによってアイテムを区別する。
- 部門：アイテムが属する種類。部門には、日用消耗品や植物、ペット用品を扱う部門などがあり、20以上の種類がある。
- BR 在庫：「バックルーム在庫」といい、店舗が保有しているアイテムの内、売り場の陳列棚に並べることができず、BRに保管されるアイテム。売り場のアイテムが購入されることによって陳列棚のアイテムが少なくなった時、BR 在庫を確認し、アイテムがあれば陳列棚に補充する。
- 帳簿在庫数：店舗が保有しているアイテムの総数。帳簿在庫数は、陳列するアイテムとBR 在庫となるアイテムに分けられる。
- 最大陳列量：売り場の陳列棚に並べることができるアイテムの総数。
- フェース：アイテムが通路に面している数。一般に、売れ筋のアイテムにはフェースが多く割り当てられやすい。
- 販売売価：アイテムに設定された価格。
- 粗利：アイテムの販売売価のうち、ホームセンターが得ることができる純利益。
- ランク：各アイテムに定められた指標。この指標によってアイテムの発注、在庫数等が決定される。一定期間ごとに計算し±1ずつ更新される。
- 最大在庫：ホームセンターによって定義された、店舗が保有する適切な在庫数。ランクによって決定する方法が異なる。
- 発注点：最大在庫とランクによって決定される値。アイテムが購入され、在庫が少なくなった際に「発注すべき」と判断される在庫数。
- 発注単位：アイテムを発注する単位。箱詰めなどの関係によって変更することができず、発注単位が4となっているアイテムは必ず4個ずつ発注しなければならない。
- リードタイム：アイテムを発注してから、そのアイテムが店舗に到着するまでの期間。
- 機会損失：需要が発生したにもかかわらず、在庫不足から販売することができないこと。

3 販売シミュレーション

消費者は、陳列棚に陳列されているアイテムのみを目にし、必要なアイテムを必要なだけ購入していく。BR在庫にアイテムが存在していても、そのアイテムが陳列されていなければ購入することはできず、機会損失となってしまう。店舗の販売シミュレーションを行うことで、アイテムの欠品率、帳簿在庫数、機会損失の有無を調べることができる。また、これらの値は、発注方式を変更することによって異なる値となるので、ホームセンターの特徴に合った適切な発注方式を考えることができる。

3.1 対象店舗・期間・データ

シミュレーションを行う店舗は、規模が小さい店舗で、対象期間は2012年2月27日～2013年2月24日の、計364日間である。シミュレーションで取り扱うアイテム数は、一部のアイテムを除いた18401種類である。

3.2 発注方式

研究対象のホームセンターでは、自動発注ロジックを用いて発注を行っている。アイテムの帳簿在庫数が発注点以下となったとき、発注が発生する。発注は自動発注ロジックを用いて行われ、何単位発注するかを決定する。現在採用されているホームセンターの発注数は、記号の定義を

- m_i : アイテム i の最大在庫
- s_i : アイテム i の帳簿在庫数
- k_i : アイテム i の発注単位

としたとき、

$$k_i \left\lceil \frac{m_i - s_i}{k_i} \right\rceil \quad (1)$$

と定義されており、アイテムの帳簿在庫数を最大在庫まで引き上げる発注方式である。また、発注点は定数 α を用いて $m_i \times \alpha$ という式を用いている。式(1)を見ると、発注数が最大陳列量の要素を考慮しておらず、最大陳列量を超えて発注が行われるアイテムが存在し、BR在庫を保有する可能性が高いことがわかる。そこで、最大陳列量を考慮した発注方式を2つ提案した。

1つめの発注方式は、アイテムを発注する際、最大陳列量と最大在庫のうち、小さい方の値まで引き上げる発注方式である。これを発注方式①とする。発注数の計算式は、前述の記号の定義に、

$$d_i : \text{アイテム } i \text{ の最大陳列量} \\ \text{を追加して、} \\ \min(m_i, d_i) \times \alpha \quad (2)$$

と表せる。また、発注数の計算式は、

$$k_i \left\lceil \frac{\min(m_i, d_i) - s_i}{k_i} \right\rceil \quad (3)$$

となっている。発注方式①は、必要以上の発注を行うことがなく、過剰在庫を防ぐことができると考えられる。

2つめの発注方式は、アイテムの発注数の計算式を変更する発注方式である。これを発注方式②とする。発注数の計算式は、前述の記号の定義に、

L_i : アイテム i の、リードタイムにおいて発生する需要数を追加して、

$$(d_i \bmod k_i) + L_i \quad (4)$$

と表せる。また、発注数の計算式は、

$$k_i \left\lceil \frac{d_i - (d_i \bmod k_i)}{k_i} \right\rceil \quad (5)$$

となっている。発注方式②は、発注点と発注単位、最大陳列量の間数値的な関係を作る発注方式である。また、リードタイムの需要を考慮することで、欠品を防止することができると考えられる。これにより、発注した際、アイテムの帳簿在庫数を最大陳列量にすることができ、BR在庫削減が期待できる。リードタイムに発生する需要 L_i は、過去に発生した需要数を用いて計算している。しかし、アイテムの中には、発注単位が最大陳列量よりも大きい値となっているものもある。それらは例外的に、発注点： $1 + L_i$ 、発注数： k_i として計算する。

対象店舗におけるシミュレーションを、各発注方式を用いて行い、結果を比較する。

3.3 シミュレーションの評価

設定した発注方式でのシミュレーション結果を評価するために、4つの指標を考えた。

- 欠品率：営業日1週間当たりの、欠品しているアイテムの全体に対する割合の平均
- BR在庫金額：日曜日当たりに、BR在庫に存在しているアイテムの金額の合計
- 機会損失粗利：機会損失が発生したアイテムの粗利の合計
- 作業コスト：「発注」と「BRからの補充」にかかる人件費

3.4 シミュレーションの結果

現状の発注方式と、今回提案する発注方式の合計3つにおいてシミュレーションを行った結果を表1に示す。

表1 シミュレーションの結果(単位は%)

| 指標 | 現状の発注方式 | 提案する発注方式① | 提案する発注方式② |
|--------|---------|-----------|-----------|
| 欠品率 | 100 | 125 | 103 |
| BR在庫金額 | 100 | 24 | 58 |
| 機会損失粗利 | 100 | 125 | 123 |
| 作業コスト | 100 | 81 | 58 |

現状の方式での結果を基準の100%とし、提案する方式がどの程度の結果になるのかを比べた。表1を見ると、BR在庫金額と作業コストは大きく削減できているが、機会

損損失粗利を見ると、どちらも 25% ほど悪化してしまっている。欠品率は、提案する方式②ではほぼ現状維持ができていて、提案する方式①では、25% ほど悪化している。

3.5 コストを抱えるアイテム

シミュレーションの結果、BR 在庫を少しでも保有したアイテムは 20% 程存在した。また、機会損失が 1 度でも発生していたアイテムも 20% 程存在した。中には、BR 在庫と機会損失がどちらも発生したアイテムも存在し、コスト増加の一因になっている。これらのアイテムの共通の問題点として、最大陳列量が少ないことが挙げられる。そこで、コスト削減のため、フェースを変更し、最大陳列量を適切な値にする問題を考える。

4 定式化

シミュレーションの結果を用いて、フェースを変更してコストを削減する問題を考える。

4.1 記号の定義

添字集合

I : アイテムの添字集合

T : フェースの変更量の添字集合

定数

i : アイテム ($i \in I$)

t : フェースの変更量 ($t \in T, t \leq 5$)

s_i : アイテム i のフェースの初期値

B_{it} : アイテム i のフェースを t だけ変更したときの BR 在庫金額

L_{it} : アイテム i のフェースを t だけ変更したときの機会損失粗利

この内、 B_{it} と L_{it} はシミュレーションの結果より求めた。また、フェースを追加できる上限は、1 アイテムにつき 5 つまでとした。次に、決定変数を以下のように定義する。

$$x_{it} = \begin{cases} 1 & \text{アイテム } i \text{ のフェースを } t \text{ だけ変更する} \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases}$$

4.2 目的関数・制約条件

目的関数を 2 種類考える。1 つめは、BR 在庫金額の最小化である。目的関数は、

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} B_{it} x_{it} \quad (6)$$

と定義される。2 つめは、機会損失粗利の最小化である。目的関数は、

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} L_{it} x_{it} \quad (7)$$

と定義される。2 種類の目的関数において最適化計算を行う。次に、制約条件を定義する。

$$\sum_{t \in T} x_{it} = 1, i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{t \in T} (s_i + t) x_{it} > 0, i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (s_i + t) x_{it} = \sum_{i \in I} s_i \quad (10)$$

$$x_{it} \in \{0, 1\}, i \in I, t \in T \quad (11)$$

目的関数は、式 (6) を BR 在庫金額の最小化、式 (7) を機会損失粗利の最小化としている。制約条件について、式 (8) は、1 つのアイテムにフェースを必ず割り当てる制約で、式 (9) は、フェースの非負制約である。式 (10) は、フェース変更後の全アイテムのフェースの合計を、変更前と同じ値にする制約、式 (11) は決定変数のバイナリ変数制約である。

その他、考慮する条件として、フェースの削減にも上限を設定することを考える。設定する場合、フェースの変更量 t の値の範囲は、 $(-5 \leq t \leq 5)$ となる。設定せずに最適化を行うことも考える。また、式 (6) と式 (7) はトレードオフの関係にあるため、どちらか一方を目的関数としたときに、もう一方が悪化することを防ぐ制約条件を考える。

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} B_{it} x_{it} \leq \sum_{i \in I} B_{i0} s_i \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} L_{it} x_{it} \leq \sum_{i \in I} L_{i0} s_i \quad (13)$$

式 (12) は BR 在庫金額を現状維持とする制約、式 (13) は機会損失粗利を現状維持とする制約である。この制約条件を設定する場合としない場合の両方において最適化計算を行う。

5 実行結果

この問題を最適化ソフトウェア What's Best! 9.0¹を用いて解いた。使用した PC の OS は Windows 7 Home Premium²、CPU は Intel³Core i-2320 CPU @ 3.00GHz、メモリは 8GB である。シミュレーションの結果をもとに、4 節で定式化した問題を解いた。

3 つの発注方式と 8 通りの制約条件の、全 24 パターンで最適化を行い、得られたフェースデータを用いてシミュレーションを行った。その結果の一部を示す。ただし、表 1 の現状の発注方式かつ初期フェースでのシミュレーションの結果を基準とする。

表 2 と表 3 の結果は、それぞれの発注方式において、「フェース削減限界の設定」「トレードオフを防ぐための現状維持制約」を適用し、機会損失粗利を最小化した結果である。表 2 を見ると、初期フェースでの結果に比べ、各指標において現状維持ができていて、少ない値となっている。表 3 を見ると、提案する発注方式①では、BR

¹What'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。

²Windows 7 Home Premium は Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

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

表 2 現状の発注方式での結果 (単位は%)

| 指標 | 初期 フェース (表 1) | 現状の 発注方式 |
|---------|---------------------|-------------|
| 欠品率 | 100 | 93 |
| BR 在庫金額 | 100 | 100 |
| 機会損失粗利 | 100 | 52 |
| 作業コスト | 100 | 100 |

表 3 提案する発注方式での結果 (単位は%)

| 指標 | 提案する 発注方式① | 提案する 発注方式② |
|---------|---------------|---------------|
| 欠品率 | 113 | 75 |
| BR 在庫金額 | 24 | 58 |
| 機会損失粗利 | 58 | 37 |
| 作業コスト | 81 | 56 |

在庫金額が大きく削減できているが、欠品率が若干悪化してしまっている。提案する発注方式②では、全ての指標が 100% 未満となっていて、今回求めた結果の中で最も良い結果となった。

6 全体の考察

全 24 パターンでの結果のうち、BR 在庫金額と機会損失粗利を散布図に表す。

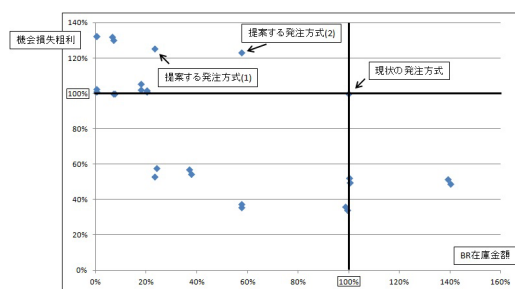


図 1 全パターンでのシミュレーションの結果

図 1 は、各最適化フェースでのシミュレーションの結果を、縦軸に機会損失粗利、横軸に BR 在庫金額として散布図にしたものである。黒い線は 100% であることを示し、黒い縦線と横線の交点が現状の発注方式でのシミュレーションの結果である。図 1 の左下に行くほど良い結果となる。全シミュレーションの中で、良い結果となったものはいくつかあり、ホームセンターへの在庫削減ができるフェースの提案として、

- 現状の発注方式において、フェース削減限界設定、現

状維持制約設定ともによりとして機会損失粗利を最小化するようなフェース

- 提案する発注方式②において、機会損失を最小化するようなフェース

が挙げられる。また、BR 在庫金額の最小化を行うと、BR 在庫の大幅な削減が見込めるが、欠品率が悪化してしまう問題点が存在する。

次に、フェースを変更したアイテムの全体に対する割合を調べる。最適化した 24 通りのフェースの初期フェースとの違いは、最小で 16.1%、最大で 18.1%、平均では 17.07% であり、少ない変更数で在庫削減を行うことができると考えられる。

最適化を行ったアイテムの中には、「全ての場合において、最適化を通してフェースが追加されたアイテム」が存在した。これらのアイテムは、フェースの追加を行うことによる BR 在庫金額や機会損失粗利の削減の効果が大きく、売り場を拡大すべきではないか、という提案をすることができる。反対に、「全ての場合において、最適化を通してフェースが削減されたアイテム」も存在した。これらのアイテムは、フェースを削減してもコスト増加に繋がりにくく、売り場を縮小すべきではないか、という提案ができる。

7 おわりに

本研究では、先行研究 [1] を引き継ぎ、あるホームセンターについて、在庫削減のための販売シミュレーションを行った。その結果、BR 在庫を保有する可能性が高いことが分かった。そこで、発注方式を 2 つ考案しシミュレーションを行った結果、BR 在庫金額削減の効果は見られたが、機会損失粗利が悪化してしまった。よって、BR 在庫金額や機会損失粗利を最小にするような最適なフェースの割り当てを、いくつかの条件と 3 つの発注方式において行った。得られたフェースと発注方式を用いて再度シミュレーションを行った結果、コストを大きく削減できる現実的なフェースを得ることができ、提案を行うことができた。また、最適化されたフェースから、売り場を拡大すべきと考えられるアイテムと、売り場を縮小すべきと考えられるアイテムの提案も行うことができた。

今後は、アイテムの大きさ、欠品率も考慮したフェースの最適化をする。また、限られたアイテムに限定して最適化を行えるようにしていく。

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] 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』、南山大学 数理情報学部 情報システム数理学科 2010 年度 卒業論文、2011。
- [3] 小木曾匠：『ホームセンターにおける芝生の発注・配送問題について』、南山大学大学院 数理情報研究科 2012 年度 修士論文、2013。