

# ホームセンターにおける季節品の輸送計画について

2002MM010 長谷部 聡

2002MM106 宇佐美 浩

指導教員 鈴木 敦夫

## 1 はじめに

### 1.1 背景

今日、日本をはじめ世界の企業は互いに生き残りをかけ厳しい競争を繰り広げている。色々な企業戦略がある中でどの企業も取り組んでいるのがコスト削減による利益率の向上である。生産コストの削減、輸送費用の削減、人件費の削減などあらゆる面でコストの削減は必要とされているが、本研究で取り上げているホームセンターにおいても、同じことが言える。現在までにホームセンター側は在庫費用の削減など多くの課題に取り組みコスト削減に成功している。しかし、まだコスト削減を行うことができる部分があるのではないだろうか。我々は、ホームセンターがコストを削減できずにいる分野である季節品の在庫に注目した。季節品の販売時期のピークが過ぎた店舗の在庫に対して、まだピークに達していない店舗に商品を順次輸送することで、各店舗で余った在庫をホームセンター全体で補い合うことができると考えた。このことをORの輸送問題を用いてモデル化し在庫の費用を改善していきたいと考える。本研究は以下の手順で行った。

まず最初にホームセンターにおける季節品の特徴を説明し、取り扱いの現状とそれによるコスト削減の問題点について明らかにする。

次に定式化に際して、どのようなデータが必要なのかを考え、どの観点から数理モデルを構築していくかを述べる。その際に数式化していくための条件等の構成要素を決定して、適切なモデルを示す。このモデルを用いて実際のデータに基づいて解を求め、実行結果からモデルの性質や利点・欠点を明らかにする。

最後に解についての考察として、実行解と、研究対象の現状とを比較して、このモデルの有用性に言及する。

## 2 季節品について

### 2.1 季節品販売の特徴

今回の研究で取り上げている季節品とは「すだれ」である。季節品とは、ホームセンター等である期間に集中的に売れる商品のことで、夏に需要がある扇風機や浴衣などが当てはまる。今回扱う「すだれ」も夏の季節品の一つである。最近では海外から安く商品を仕入れるケースが増えている。すだれに関しても中国から一括で大量に仕入れることで仕入れコストを減らしている。しかし、その仕入れ量を決定するための需要予測は気温等に左右されるので、気候データの予測の難しさから困難になっている。

### 2.2 季節品の在庫管理の問題点

季節品に関しては、海外で商品を生産するなど、コスト削減を進めているが、他の一般的な商品とは異なり、実際の需要に対し、需要予測が難しい。このことから、在庫管理を行う上での季節品に関する問題点を挙げる。

- 短い期間に需要が集中する
- 需要のある時期をすぎてしまった場合、需要がほぼゼロになる
- その年の気温などにより需要量が増減するので需要予測が大きく外れる場合がある

これらの理由により、需要予測が大きく外れた場合、その年の後半には在庫過多や在庫不足が発生する。

本研究が扱う季節品は「すだれ」なので、すだれを例にこれらの問題点を考える。すだれは夏の季節品なので夏の前半7月から8月にかけて集中して売れる。9月以降はほとんど需要がなくなってしまう。また、その年の気温、つまり猛暑なのか冷夏なのかによって需要が大きく変化する。猛暑によって需要が増えた場合には商品の不足を招く恐れがある一方、冷夏によって需要が落ち込んだ場合には在庫過多になる恐れがある。この問題点により、過剰在庫のための保管費用や処分費用、在庫不足による商品の販売機会損失を引き起こす。

### 2.3 ホームセンターの現状

ホームセンターはその年の季節品の年間販売の予測量を海外（中国）から全店舗分一括購入する。商品が不足した際に海外から再度仕入れることは販売計画を変更しなければならず難しい。よって商品が不足した場合には国内の業者から高いコストで仕入れて不足分を補うことになる。季節品は短期間に集中的に売れるので各店舗は品切れを回避するため、大量の在庫を持たなくてはならない。よって各店舗で在庫が過剰となり、結果的にホームセンター全体で大量の在庫を持つ事態が起こる。過剰在庫はその年には需要がないのですべて特売または廃棄しなければならない。これを避けるため、ある程度の店舗間の輸送を行い、在庫のやり取りを行っているものの、ホームセンター全体として輸送を計画的に行っているわけではない。実際2003年度の夏の商品はその年の夏が冷夏であったため商品が余り、岐阜県の倉庫を新たにその年で余った商品を保管するために借りたという事例がある。また、前年に売れ残った商品は同じ価格で売ることができない。

以上のように季節品のコスト削減はあまり進んでおらず、ORの問題としてモデル化し、コスト削減をする余地がある。

### 3 最適な数理モデルの立案・実施

#### 3.1 目的

本研究で提案するモデルの作成は季節変動、または各々の年によって異なる気候の特徴で変化する販売量に対し、各店舗の販売時期のピークの差に注目した。販売時期のピークが早く訪れた店舗から在庫を他のまだ販売時期のピークが来てない在庫が不足している店舗へと商品の輸送を行う最適モデルを考えることである。これにより、各店舗で従来ほど大量に商品の発注をする必要をなくすることができる。

#### 3.2 モデルの説明

本研究で提案するモデルは数理計画法の中の線形計画法の問題の一種で、輸送計画モデルやネットワーク問題で使われる輸送問題の考え方をを用いている。供給量と需要量の関係から、ある店舗で余った商品を供給が不足している店舗に輸送する問題をこの輸送問題を用いてモデル化する。

また、これは多期間にわたるモデルなので、ある週での需要点となる店舗が次の週では供給点となる場合もある。

さらに、ある店舗から同じ店舗へ輸送する（例えば A 店という店舗があったらその A 店自体に商品を輸送する）という場合があり、これはその店舗自身が次の期に繰り越し在庫として保有することを示す。

#### 3.3 記号の定義

本節ではモデルの準備を行う。

$X_{ijt}$  :  $t$  期に店舗  $i$  から店舗  $j$  に流す商品の個数

$C_{ij}$  :  $i, j$  間の輸送にかかる費用

$d_{it}$  :  $t$  期における店舗  $i$  の需要

$S_i$  : 店舗  $i$  の初期配分量

$T$  : 計画期間

$N$  : 店舗の数 但し  $N$  番目は仮想店舗

$X_{ijt}$  について、 $i = j$  の場合は任意の店舗  $i$  における次の期へ持ち越す商品の在庫量とする。

$C_{ij}$  においては費用の明確なデータが得られなかったので、 $i, j$  間の距離に費用が比例すると仮定した。距離の決定には地図上の緯度、経度により直線距離を算出する。式は  $a_i$  と  $b_i$  を店舗  $i$  の各々の緯度と経度として  $\sqrt{(a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2}$  で定義した。

また、 $N$  番目の店舗は、仮想店舗とする。在庫の輸送が間に合わず需要を満たすことが難しい場合には、この仮想店舗から仕入れることとする。つまり、仮想店舗は供給のみを行う店舗である。仮想店舗からの供給は、国内の業者から商品を仕入れることと同じなので、輸送の費用を他の輸送費用より高く設定する。

#### 3.4 定式化

次に 3.3 節で定義した変数、定数を用いて問題を定式化する。目的関数は商品の計画期間内における総移動費用最小化と定義すると

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ijt} \rightarrow \min \quad (1)$$

となる。

これは、計画期間内の輸送量をなるべく少なくする、もしくは単位あたりの輸送コストが少ない経路を辿って在庫の不足している店舗へ商品を流すことを意味する。よって最終的に店舗全体で抱える余分な在庫の量を少なくする解を得ることができる。

次に制約式を示す。最初の制約式は 1 週目における店舗  $i$  の初期配分量が 1 週目に店舗  $i$  が他店舗へ輸送する商品総量よりも多いことである。これは式 (2) に示す通りである。

$$\sum_{j=1}^N X_{ij1} \leq S_i \quad (i = 1, \dots, N-1) \quad (2)$$

次の制約式の定義は  $t$  期において店舗  $j$  に流れる商品の総量が店舗  $j$  の  $t$  期における需要量と次の  $t+1$  期に店舗  $j$  が他の店舗へ流す商品の総量との和が等しくなることである。これは式 (3) にて表される。

$$\sum_{i=1}^N X_{ijt} = d_{jt} + \sum_{i=1}^{N-1} X_{ij(t+1)} \quad (j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T-1) \quad (3)$$

最後の制約式は、 $T$  期（最後の期）において店舗  $j$  に流れる商品の総量が店舗  $j$  の  $T$  期における需要量よりも多くなってはならないので、式 (4) の形となる。

$$\sum_{i=1}^N X_{ijT} \geq d_{jT} \quad (j = 1, \dots, N-1) \quad (4)$$

また、変数の制約として非負条件が挙げられる。

$$X_{ijt} \geq 0 \quad (i, j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T) \quad (5)$$

#### 3.5 解法

あるホームセンターから提供された実データを用いて計算を行う。実データは年間を週単位で集計したすだれの売上データを使用した。また、我々が独自に各店舗の総売上、売上のピークの週からそれぞれの店舗に初期の商品の割り当てを行った。さらに、輸送にかかる実際の商品単位あたり費用をデータとして得ることができなかったため、店舗間の直線距離で算出する。PC での計算は Excel 上の数理計画法の最適化ソフトウェアパッケージである What's best!7.0 を使用して計算する。

### 3.5.1 数値計算の計算時間の改善について

前の節で定式化した問題を PC 上で計算するにはメモリの関係上困難である。よって Excel のセル入力で 76 万個以上にも上る変数を減らすことを考える。全店舗共通の需要が無い週の変数及び制約式を取り除き計算時間を短くすることで、計算のやり直しを手軽に行えるようにする。

### 3.6 実行結果

必要なデータを Excel で入力して、数値計算用のソフト What's best!7.0 を用いて解を得た。

ここでは、その一部を視覚的にわかりやすく示す。

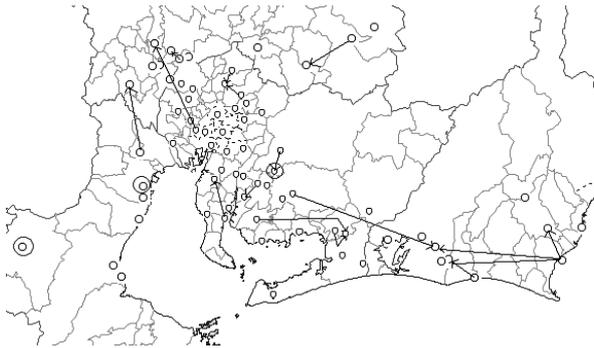


図 1 20 期の中部地方の店舗における輸送経路

図 1 では計画期間 52 週中 20 週目の中部地方の輸送経路を示している。輸送経路を見ると、なるべく店舗間の距離が短く、店舗の需要ピークが早い南の店舗から、需要のピークが遅い北の店舗へ商品が輸送されることを示している。また、仮想店舗からの輸送がある店舗数は、店舗間の輸送計画が無い状態に比べ、少なくなった。図 2 で示す

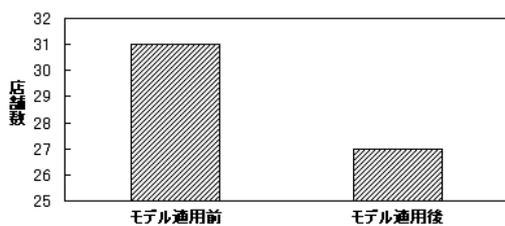


図 2 年間で仮想店舗から商品を運ぶ店舗の数の比較

ように、縦軸が仮想店舗から供給を受ける店舗の数で横軸が 2002 年度における数理モデルを適用する前と適用後のデータである。モデル適用前とは店舗間輸送を行わない場合に仮想店舗から供給を受ける店舗数を表す。適用後とは店舗間輸送によって在庫を補い合う場合に仮想店舗から供給を受ける店舗数を表す。モデル適用後には仮想店舗からの商品の供給が適用前に比べ 4 店舗分減少した。

### 3.7 考察

全体のデータを見ると、店舗の商品に対する需要が無い期までは、店舗間の移動は殆んど行われず、各店舗自身が保有する商品の在庫を次の期に持ち越す。

また、各店舗の需要のピーク時期の周辺の期 (2002 年度は大体 13~17 週目) に対して、店舗間の商品の移動により、お互いに補い合っている。しかし、店舗の持ち越す在庫の量に制限を設けなかった事、持ち越す在庫の保管費用の定義が無い事により持ち越しの費用はかからない事になっている。それにより、しばしば現実的に無理のある輸送経路での輸送に繋がった。その理由として計算機が輸送費用の安い経路を見付けて、他店舗の在庫不足を補えるよう大量に在庫を持たせ総合的な輸送費を安くする計算をしたためと考えられる。そして輸送が困難な経路だとしても、仕入れのコストが高い他業者からの輸送を行うよりもこの経路の方が安いので輸送が行われたのだと思われる。よって、このモデルに、追加の制約、変数・定数の定義をする必要があり、これによって解が改善できると思われる。

## 4 冷夏 (2003 年度データ) の数理モデル

### 4.1 目的

2003 年度は冷夏の年で、すだれのピーク時の販売量は 2002 年度に比べ、大幅に減少している。ただ 2003 年度はピーク時の販売量は減少したものの、長期にわたってピーク時期と同量の需要があったので総販売量は増えている。2003 年度の売上データを使う場合には、販売店側は需要予測を誤り、通常通りの量を発注したと考える。そのため初期配分量を多めに設定し、需要予測が大きく外れた場合を実現する。これにより 2002 年度とは異なり、在庫が豊富にある状況下で数理モデルが最適な解を求めることができるのかどうかを調べる。

### 4.2 実行結果

仮想店舗からの商品の供給を受けている店舗の数を比較すると図 3 のようになる。このグラフにおいて、縦軸は年間で仮想店舗から商品の供給を受けた店舗数を表し、横軸は数理モデルの適用前と適用後のデータを示している。図中の適用前と適用後というのは図 2 で示した内容と同じである。ここから分かる通り、仮想店舗からの商品の供給を受ける店舗は約 4 分の 1 に減っているため、コスト面での改善が確認できる。

### 4.3 考察

2003 年度のデータを使用し、冷夏を想定して行った計算では、全体として考えれば時間的な制約のある中で最適な解が求められたのではないかと考えられる。その理由として、冷夏のような特殊なケースであっても在庫の店舗間輸送を行うことができるのを確認できたことが挙げられる。本研究の数理モデルをあらかじめ使用することを想定して仕入れを行うのなら、初期に仕入れる量を現状より少なくすることが可能である。それにより冷夏のような需

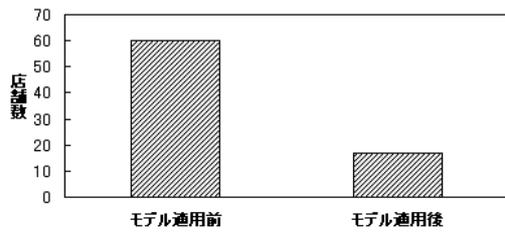


図3 年間で仮想店舗から商品を運ぶ店舗の数の比較 (2003)

要の少ないケースにもコスト削減において十分に対応できるだろう。冷夏のような特殊な状況において有効な解を得られたことは、本研究の数値モデルが2002年度のような一般的な状況のみに対応しているわけではないことを示している。2003年度の売上データにおいても本研究の数値モデルが最適な解を示すことができる。現実にこの数値モデルを適用すると、有効なコスト削減した解を得られる。また、様々な条件の下でも解を得ることができる数値モデルであることが示された。

## 5 輸送距離と輸送量を考慮したモデル

### 5.1 目的

これまでの計算結果の中には、現実的でない大量の在庫輸送や、いくつもの県をまたぐ長距離輸送が行われているなど改善点がいくつか見ついている。

第一に輸送量の問題は、現実的に輸送可能な在庫の量の上限を設定して、モデルの解をより実用的にすることで解決を目指す。

第二に距離の問題は、仮想店舗の距離データを変更することで対応する。遠距離の店舗間の場合、距離データに比べ仮想店舗からの距離データの方が小さければ、コスト最小を考える上で仮想店舗からの輸送を選択するはずである。このようにして遠距離の店舗間の輸送を無くし、現実的な輸送可能距離で輸送させることを考える。

このうち第一の問題に関してはあらたな制約式を追加し、第二の問題に関しては仮想店舗の距離データを前章までのものに比べて小さくすることで対応する。

### 5.2 定式化

#### 5.2.1 店舗毎の持ち越しの在庫量の上限の設定

改善を行った数値モデルに対して次の制約式を加える。

$$X_{ijt} \leq S \quad (i, j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T) \quad (6)$$

$S$ を決める上で店舗内の在庫保管スペースの限界を決める必要がある。そこで、初めに各店舗の初期配分量を決定しているの少なくとも一番多い初期配分量の分だけはスペースを確保できるものとする。よって  $S$  を一番多い初期配分量の値と等しい値の定数にする。

### 5.2.2 現実には輸送困難な経路への商品の輸送

現実には輸送困難な経路へ輸送する解が出てしまうのは、仮想店舗である他の業者からの輸送コストの設定が著しく高いためである。非現実的な輸送経路でも、他業者から商品を購入するよりも僻地から僻地へ輸送した方がコストが安いので、不適切な経路を選択してしまう。そこで  $M$  を輸送限界距離として新たに定義して次のような条件を加える事により、この問題点を解決する。

$$C_{Njt} = M \quad (j = 1, \dots, N - 1; t = 1, \dots, T - 1) \quad (7)$$

$M$  の値は、県をまたぐ遠方までの輸送が生じないように輸送距離を目安に定めた。

### 5.3 考察

これらの制約の増加により Excel 上で操作する最適化ソフトウェア What's best!7.0 で計算することができなかった。What's best!7.0 上で追加した制約式を表現すると変数と同数の45万個の制約が新たに追加されてしまいPCの限界処理能力を超えてしまった。今回定式化した問題をコンピュータで計算するためには制約の数を減らす工夫または What's best!7.0 以外のソフトを使うことを考えなければならない。

今回実行結果を求めることはできなかったが、仮想店舗の距離データ、輸送量の上限の値、孤立した店舗の初期配分量の調整を考える必要がある。仮想店舗の距離データの代わりに仕入れ値、輸送量の上限にトラックの輸送能力、ほかにも店舗間の距離データを輸送費用にすることや実際の道路距離を使用するなどが考えられる。

## 6 終わりに

本研究では、ホームセンターにおける季節品の輸送計画を数値モデルで表しコスト削減を考えることを目的とした。

その目的はほぼ達成されたが、いくつかの問題点がある。店舗間の直線距離をコストとして考えたので、実際には遠回りをしなければならない店舗間は正確に計算できているとは言えず改善の余地がある。今回正確なコストの削減額を示すことはできなかったが、コスト削減の効果があることは間接的に確かめられた。また、あらかじめ必要以上に商品を仕入れる必要性が緩和され、その面からもコスト削減ができるものと思われる。本研究の結果がホームセンターのコスト削減に少しでも貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 福嶋雅夫：数理計画入門，朝倉書店（1996）。
- [2] 久保幹雄：ロジスティクス工学，経営科学のニューフロンティア8，朝倉書店（2001）。