ホームセンターの配送計画に関する研究

2007MI062 市川雄太　2008MI005 赤松真衣
2008MI047 廣田健　2008MI180 岡田直樹
指導教員：鈴木敦夫

1　はじめに

本研究では，あるホームセンターの資材配送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，経費削減・利益向上にむけて様々な問題に取り組んでいる．例を挙げると，

- 商品ごとの補充期間のばらつきを少なくし補充効率を改善する商品陳列数決定の最適化問題 [1].
- 利益が向上する商品群を整数計画法問題として選び出し陳列棚全体の利益を増加させる品揃え問題 [2].
- 各商品の粗利を確保する価格を決める最適価格決定問題 [3].
- 同時購入を考慮して，買い上げ点数を増加させる最適店舗レイアウト問題 [4].
- 来店客に目的商品以外の商品の購入を促すことで売り上げを増加させる店舗回遊路を考慮した最適レイアウト問題 [5].
- 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広告掲載商品の最適選定問題 [6].

などに取り組んでいる．

以上のような取り組みにより，現在の厳しい経済状況の中で，このホームセンターの利益は増加している．そして，現在でもより一層の経費削減・利益向上が求められている．その中で，今回は，商品の輸送費用について研究する．商品の輸送費用は商品本体の原価に上積みされるため，輸送費用が高いほど原価は高額になる．商品本体の原価と輸送費用を加えたものを，今後原価と呼ぶ．原価を減少させる 1 つの解決策として，配送用のトラックを満載にするとともに，発注回数を減らして必要なトラックの台数を減らすことを考える．そして，商品 1 個当たりにかかる原価を低減させる．さらに，配送効率を向上させるために，効率的な配送計画を自動的に求めるためのシステムを構築する．

このホームセンターにおけるこの資材の発注方法は，現在各店舗が資材販売会社に直接 FAX で発注を行っている．発注数は各店舗の担当者がトラックの積載可能容量を考慮しながら，資材販売会社と直接やり取りを行い決定する．この過程では，発注数は担当者の裁量であり，発注作業自体も手作業で行われている．結果として，発注作業が各店舗の担当者たちの大きな負担になっている．

以上のように現状では，発注作業において多くの問題がある．例えば，発注数がトラックの積載可能容量未満であるにもかかわらず配送しているケースや，在庫数の多い商品が余分に発注されているケースが見受けられる．加えて，発注が必要な商品が発注されず欠品が発生するケースもある．

さらに，各担当者の裁量により，発注数が決定される．そのため，担当者ごとに発注数が異なり，店舗・商品ごとに在庫数に大きなばらつきが生じ，担当者が欠品を恐れるあまり，在庫数が過剰傾向になっている．つまり，店舗の要求量と実際の供給量が一致していないことが分かる．そのために，データを分析して在庫状況を把握し，最適な発注数を求める必要があると考えられる．

本研究では，オペレーションズ・リサーチの手法である整数計画法を用いて，最適な発注数と輸送時期を同時に求めるモデルを作成する．このモデルを用いて，資材配送用のトラックを満載にすることで配送回数を減らし，資材の原価の総和を最小にすることを考える．

上記の結果を利用して，現場での発注作業において，最適発注数と配送方法を導き出す実用的なシステムを試作する．

本題に入る前に，ここで，ホームセンターで使われている用語について簡単に説明する．週のことを「期」と呼ぶ．例えば，1 週目のことは 1 期目，2 週目のことは 2 期目と呼ぶ．資材の配送には,「パレット」が用いられる．「パレット」とは，運搬の際にフォークリフトの爪を差し込んで持ち上げるための簀の子のことである．店舗が保有している商品の在庫数を「帳簿在庫数」と呼ぶ．ある商品が，発注を必要とする数量以下となった時に，売り場の必要数まで発注をするポイントのことを「発注点」と呼ぶ．さらに，各々の商品には，発注する際の数量単位として,「発注単位」が決められている．

2　現状

現在ホームセンターでは，物流センターに 様々な資材を保管している．その例として，4 種類の合板や 3 種類の用土がある．各店舗がそれぞれの資材を販売するために必要に応じて発注しているため，発注は各店舗ごとで行われている．しかし，この方針ではいくつかの不具合が生じる．そのため，グループ分けをして，そのグループごとに適切な発注を行い，資材を配送したいとホームセンターは考えている．ただし，合板についてのグループ分けは既に決定しているが，用土についてのグループ分けはまだ決定していない．

3　配送方法について

ここからは，グループ単位の配送方法について説明する．現在合板の配送については店舗の規模や地域によってグループ分けが決定している．グループ分けについては 3.1 節で詳しく説明する．

合板の配送方法

- 4t 車と 10t 車の 2 種類のトラックを使用し，パレット単位で発注を行う.
- 1 パレットに乗せる合板の数は，どの合板も 100 個である.
- 4t トラックは 4 パレットを運び，10t トラックは 10 パレットを運ぶ.

用土の配送方法

- 合板と同様に，4t 車と 10t 車の 2 種類のトラックを使用し，パレット単位で発注を行う.
- 1 パレットに乗せる用土の数は 120 個である.
- 4t トラックは 8 パレットを運び，10t トラック 16 パレットを運ぶ.

3.1 対象となる店舗について

合板においては，対象となる商品を取り扱っている店舗は 43 店舗存在し，これらの店舗は 20 グループに分けられている．これは，グループ内で合わせて発注することで，原価を削減できるからである．グループ分けは，近隣の 1 店舗から 3 店舗で構成されており，そのグループ内でトラックは移動可能である.

また，用土においては，現段階においては対象となる店舗およびグループの詳細が決定されていないので，実際の合板でグループ分けされているものから，グループを抽出し研究を行った.

3.2 積載方法について

積載方法については以下の 2 種類に分けられる.

- トラックに 1 種類の商品を満載にして積載する方法 (以下，単品と呼ぶ).
- 複数の商品を満載にして積載する方法 (以下混載と呼ぶ).

ただし商品を満載にして配送出来なかった場合，原価が高額になってしまうので，商品は必ず満載にする必要がある．また，同じ種類の商品であれば大きさはほぼ均一なので，積載するときにそれぞれの商品の大きさの違いは考えなくて良い．さらに，パレットの幅・奥行き・厚さも考えない.

3.3 配送する店舗数

1 台のトラックが 1 度に配送できるのは 1 店舗または 2 店舗である．したがって，3 店舗以上のグループ内であっても，どのトラックも同時に最大 2 店舗までしか配送しない.

3.4 原価について

合板における原価は，配送方法によって異なる．合板の場合には 4t トラックの使用は 10t トラックの使用よりも割高であり，さらに，配送する商品は 1 店舗配送か 2 店舗配送か，単品か混載か，によって原価が異なる．ただし満載にしないと，原価は割高になるため，必ず満載にすることにする．配送方法，トラックの種類，合板による原価の種類は表 1 のとおりである.

表 1 合板の配送方法による原価の関係

価格	トラック/積載方法/荷降し店舗数
低	10t/単品/1 店舗配送
	10t/単品/2 店舗配送
	10t/混載/1 店舗配送
	10t/混載/2 店舗配送
	4t/単品・混載/1 店舗配送
高	4t/単品・混載/2 店舗配送

4t トラックについては，単品と混載による原価の違いはない.

一方，用土における原価は，配送方法によっては変化しない．つまり，4t トラックか 10t トラックか，1 店舗配送か 2 店舗配送か，単品か混載か，によらず原価は常に同じ.

4 資材配送の最適化

資材の原価の総和を最小にするため，数理計画モデルを作成する．以下の条件を満たすように定式化を行い，最適解を導き出す.

- トラックを資材で満載にして配送すること.
- 対象となる店舗で資材が欠品しにくい発注点を設定すること.
- 店舗に置くことのできる在庫数の制限数を超えないこと.
- トラックは，4t 車と 10t 車の 2 種類を使って配送する.
- 発注単位は合板は 100，用土は 120 とする.
- 合板においては表 1 の価格順になるように価格設定を行う.
- 発注点以下となった商品は，必ず発注する.
- 合板は発注する際，売り場の必要数以上になるように発注し，用土は，明確な必要数の基準が確定していないので，今回は発注点以上となるように発注する.
- 1 期間において，1 店舗に 2 台以上のトラックで配送することを避ける.

各店舗の在庫から原価が最小となるように毎週の発注数を計算する.

4.1 データについて

研究対象である小規模店舗の 2010 年 3 月 7 日から 2011 年 2 月 27 日までの 52 期，つまり約 1 年間における資材の販売数と帳簿在庫のデータを用いる.

4.2 合板の原価設定

表 1 の配送方法による原価の関係をもとにして，合板ごとの価格を設定した．ホームセンターで実際に使用されている価格は公表できないため，こちらで表 2 に示す値に設定した.

表 2　原価設定値

	10t 単品 1 店	10t 単品 2 店	10t 混載 1 店	10t 混載 2 店	4t 単/混 1 店	4t 単/混 2 店
合板 1	600	630	650	670	700	730
合板 2	610	640	660	680	710	740
合板 3	620	650	670	690	720	750
合板 4	630	660	680	700	730	760

（単位：円）

4.3　計算するにあたって

最適化計算には，LINDO System Inc. 社の LINGO 11.0 と What's Best!9.0 を使用した．

LINGO は数理計画法によるモデルの構築および最適化を行うツールである．モデリング言語を用いて，モデルの構築を簡単に行う事が可能なので，目的関数や制約式を組み立て，最適解を迅速に求めることができる．そのため，最初に定式化したモデルが正しいかどうかを確認することに使用した．

一方，What's Best!は Microsoft 社の Excel の追加アドインであり，線形・非線形最適化問題を解く最適化ツールである．What's Best!は Excel 上で実行でき，そのホームセンターでも使用経験があるため，実際に導入するシステムはこちらで作成する．

また，計算を実行した PC の使用は次の通りである．

OS：WindowsVista

CPU：デュアルコア 2.00GHz

メモリ：2.00GB

5　定式化について

5.1　線形型の整数計画問題

今回の問題は整数計画問題である．これは，店舗へアイテムを配送する際，それぞれのアイテムはそれぞれの店舗へ 1 パレット単位で配送されなければならないためである．

また，自然な定式化では，非線形の定式化になってしまうが，線形の定式化になるように工夫した．非線形型よりも線形型にした方が，問題を解くための計算時間が短いと，考えたためである．

そのため，この問題を線形整数計画問題にすることを目指した．

5.2　2 種類の定式化

実際の問題を解くために，配送に関する 2 種類の定式化を作った．それらを複合することで，実際の問題のための定式化を考え出した．

この節では，元となったその 2 種類の定式化について記す．

5.2.1　複数の配送方法がある問題の定式化

この小節では，**配送方法**が複数存在する問題の定式化について述べる．

ここで言う「配送方法が複数ある」とは,「前もって複数の配送方法が決められていて，それ以外の配送方法で配送を行ってはならない」ということを意味する．また配送方法とは，どのトラックで，どの店舗に，どのアイテムを配送するかなどの組合せを表す．

この定式化は，例えば合板のように，配送方法ごとにアイテムのコストが異なる場合に効果的である．なぜなら，配送方法ごとにコストの値を与えることができるからである．

また，トラックが何店舗を通るか，何種類の商品を積載するかなどに，制限がある場合にも効果的である．

今回研究対象となった資材では，3.3 節で述べたように,「トラックが通る店舗数は，2 店舗以内でなければならない」という制限がある．このとき店舗の集合が店舗 1，店舗 2，店舗 3 の 3 店舗で構成される場合は，配送方法の集合を,「トラックがどの店舗を通るか」を表す店舗の組の集合とすればよい．この集合の要素は,「店舗 1」,「店舗 2」,「店舗 3」,「店舗 1 と店舗 2」,「店舗 2 と店舗 3」,「店舗 3 と店舗 1」の 6 つである．

この定式化で注意しなければならないことは，配送方法の集合が，しばしば他の集合と独立でないことがある．ここでいう「2 つの集合が独立でない」とは,「2 つの集合の直積における，いくつかの対は不要である」ということを表す．

上の例と同様に，配送方法の集合を店舗の組の集合とする．この場合，配送方法の集合は店舗の集合と独立ではない．例えば，配送方法「店舗 1 と店舗 2」について考える．(以下、配送方法「店舗 1 と店舗 2」は 12 と表す．) この配送方法 12 では，店舗 1，店舗 2 へは配送するが，店舗 3 へは配送しない．このことから，配送方法の集合と店舗の集合との対において，(12, 店舗 1)，(12, 店舗 2) という対は必要であるが，(12, 店舗 3) という対は不要である．y_{dik} (配送方法 d で店舗 k に配送するアイテム i の単位数) という変数について言えば，変数 $y_{12,i,1}$，$y_{12,i,2}$ は必要であるが，変数 $y_{12,i,3}$ は不必要である．

添字集合

- D：限定された配送方法の集合．
- I：アイテムの種類の集合．
- J：トラックの種類の集合．$j(d) \in J$．
  $j(d)$ は，配送方法 d のトラックの種類を表す．
- K：同一グループ内の店舗の集合．
- $R(i,k)$：店舗 k に商品 i を配送する，配送方法 D の部分集合．$R(i,k) \subset D$．
- $S(d)$：配送方法 d のトラックが配送する，店舗の商品の集合．$I \times K$ の部分集合．$S(d) \subset I \times K$．

集合 D と I, K は独立でないことがあるので，$R(i,k)$, $S(d)$ という集合を使う必要がある．

ちなみに，

$$d \in R(i,k) \Leftrightarrow (i,k) \in S(d)$$
$$R(i,k) = \{d|(i,k) \in S(d)\}$$
$$S(d) = \{(i,k)|d \in R(i,k)\}$$

とならなければならない．

$j(d)$，$R(i,k)$，$S(d)$ の具体的な使用例について述べる．まず，アイテムの集合は $I=\{1,2\}$，トラックの集合は $J=\{1,2\}$，店舗の集合は $K=\{1,2\}$ とする．ここで，配送方法の集合は $D=\{1,2,3\}$ であるとして，

- 配送方法 1 は,「トラック 1 で店舗 1 へアイテム 1 を配送する」という配送方法
- 配送方法 2 は,「トラック 2 で店舗 1，2 へアイテム 2 を配送する」という配送方法
- 配送方法 3 は,「トラック 2 で店舗 2 へアイテム 1，2 を配送する」という配送方法

というように配送方法を定義するならば,

$$j(1)=1,\ j(2)=j(3)=2$$

$$R(1,1)=\{1\},\ R(1,2)=\{3\},$$
$$R(2,1)=\{2\},\ R(2,2)=\{2,3\}$$

$$S(1)=\{(1,1)\},\ S(2)=\{(2,1),(2,2)\},$$
$$S(3)=\{(1,2),(2,2)\}$$

というようになる．

変数

- x_{ik}:店舗 k へ配送するアイテム i のパレット数. (変数)
- y_{dik}：配送方法 d で店舗 k に配送するアイテム i の単位数．$(i,k)\in R(d)$ でのみ定義される．(非負変数)
- z_d：配送方法 d で配送するトラックの便数．(非負整数変数)

定数

- κ_j：トラック j の容量.
- C^1_{dik}：配送方法 d で店舗 k に配送したアイテム i の 1 単位あたりのコスト.
- C^2_d：配送方法 d で配送したトラック 1 便あたりのコスト.

その他

- $\boldsymbol{x}$，$\boldsymbol{y}$，$\boldsymbol{z}$：x_{ik} を $i\in I$，$k\in K$ ごとに，y_{dik} を $d\in D$，$i\in I$，$k\in K$ ごとに，z_d を $d\in D$ ごとに並べたベクトル.
- N：発注するときの制約の集合.
- $g_n(\boldsymbol{x},\boldsymbol{z})$：発注するときの制約関数．$n\in N$.

定式化　まず，目的関数は下のようになる．

$$\min\sum_{d\in D}\sum_{(i,k)\in S(d)}C^1_{dik}y_{dik}+\sum_{d\in D}C^2_d z_d \tag{1}$$

また，制約条件は下のようになる．

- トラックの容量についての制約

$$\kappa_{j(d)}z_d\le\sum_{(i,k)\in S(d)}y_{dik},\ d\in D \tag{2}$$

  トラックを満載にしなければならない場合は，この式の不等号「$\le$」を等号「$=$」にする．

- それぞれの店舗，アイテムごとの単位数についての式

$$x_{ik}=\sum_{d\in R(i,k)}y_{dik},\ i\in I,k\in K \tag{3}$$

- その他の制約

$$f_n(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y},\boldsymbol{z})\ge 0,\ n\in N \tag{4}$$

5.2.2　発注点方式の問題の定式化

この小節では，発注点方式を使って配送を行う問題の定式化について述べる．

ここで言う発注点方式とは，以下のようになる．

- 全期間はいくつかの期に分けてある．
- それぞれの期において，ある店舗のあるアイテムが帳簿在庫数が発注点以下ならば，その期に発注を掛ける．

  それにより配送を行うときは，いくつかの制約がはたらく．
- すべての店舗のすべてのアイテムの帳簿在庫数が発注点より多いならば，その期には発注をかけない．

添字集合

- I：アイテムの種類の集合.
- K：同一グループ内の店舗の集合.
- T：期間の集合．$T=\{1,\cdots,N_T\}$．ただし，N_T は期間の数を表す定数.

変数

- w_{ikt}：t 期目における，店舗 k のアイテム i の帳簿在庫数．(非負変数)
- x_{ikt}：t 期目において，店舗 k へ配送するアイテム i のパレット数．(非負変数)
- u_{ikt}：t 期目において，店舗 k のアイテム i が発注点より多いなら 0，以下なら 1．(二値変数)
- v_t：t 期目に発注するなら 1，しないなら 0．(二値変数)

定数

- β_{ik}:1 期目における店舗 k のアイテム i の帳簿在庫数.
- π_{ik}：店舗 k のアイテム i の発注点.
- α_{ik}：店舗 k におけるアイテム i の平均販売数．(予想販売数)
- υ：1 パレット当たりのアイテム数.

その他

- $\boldsymbol{x}$，$\boldsymbol{w}$：x_{ikt}，w_{ikt} を $i\in I$，$k\in K$，$t\in T$ ごとに並べたベクトル.
- $\boldsymbol{x}_t$，$\boldsymbol{w}_t$：x_{ikt}，w_{ikt} を $i\in I$，$k\in K$ ごとに並べたベクトル.
- N：発注するときの制約の集合.
- $h(\boldsymbol{x},\boldsymbol{w})$：目的関数.
- $g_n(\boldsymbol{x}_t,\boldsymbol{z}_t)$：発注するときの制約関数．$n\in N$.

定式化　まず，目的関数は $h(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{w})$ である．この関数が抽象的なのは，目的がどのようなことでも良いからである．例えば目的を,「配送コストの最小化」や「売上の最大化」としても良い．

また，制約条件は下のようになる．

- 帳簿在庫数の表し方について式

$$w_{ik1} = \beta_{ik},\ i \in I, k \in K \tag{5}$$

$$w_{ikt} = w_{ik,t-1} + v x_{ik,t-1} - \alpha_{ik},\quad i \in I, k \in K, t \in T - \{1\} \tag{6}$$

- 発注点のための式

  下の式 (7)，(8)，(11)，(12) を合わせることで,「ある店舗のある商品の帳簿在庫数が発注点以下 ($\exists w_{ikt} \leq \pi_i$) ならば，配送を行う ($v_t = 1$)」ということを表す．

  – 発注点以下どうかについて式

    ＊「発注点より多いならば」の式

$$w_{ikt} - \pi_i \geq M(1 - u_{ikt}),\quad i \in I, k \in K, t \in T \tag{7}$$

    ＊「発注点以下ならば」の式

$$w_{ikt} - \pi_i - 1 \leq -M u_{ikt},\quad i \in I, k \in K, t \in T \tag{8}$$

  式 (7)，(8) の本来の意味は，それぞれ下の式 (9)，(10) のようになる．

$$w_{ikt} > P_i \rightarrow u_{ikt} = 0 \tag{9}$$

$$w_{ikt} \leq P_i \leftrightarrow w_{ikt} < P_i + 1 \rightarrow u_{ikt} = 1 \tag{10}$$

  – 発注するかしないかを決めるための式

    ＊「発注しない」の式

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} u_{ikt} \geq v_t,\ t \in T \tag{11}$$

    ＊「発注する」の式

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} u_{ikt} \leq M v_t,\ t \in T \tag{12}$$

  式 (11)，(12) の本来の意味は，それぞれ下の式 (13)，(14) のようになる．

  $\forall(i, k)$ において $u_{ikt} = 0$ ならば，発注しない．

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} u_{ikt} = 0 \rightarrow v_t = 0 \tag{13}$$

  $\exists(i, k)$ において $u_{ikt} = 1$ ならば，発注する．

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} u_{ikt} > 0 \rightarrow v_t = 1 \tag{14}$$

- 発注しない ($v_t = 0$) ときのための制約

$$x_{ikt} \leq M v_t,\ i \in I, k \in K, t \in T \tag{15}$$

  $v_t = 0$ ならば，式 (15) は本来の下の式 (16) と同じになる．

$$x_{ikt} \leq 0 \tag{16}$$

- 発注する ($v_t = 1$) ときのための制約

$$g_n(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{w}_t) \leq M(1 - v_t),\ t \in T, n \in N \tag{17}$$

  $v_t = 1$ ならば，式 (17) は本来の下の式 (18) と同じになる．

$$g_n(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{w}_t) \leq 0 \tag{18}$$

論理包含「→」を含む制約式の，線形型の式への変換

この定式化では，しばしば論理包含「ならば」が必要となる．なぜならば,「ある店舗のある商品の在庫数が発注点以下になった**ならば**，配送を行う」という条件があるからである．しかし，論理包含をそのまま定式化で使うと，線形の式で表しにくくなってしまう．

そこでここでは，二値変数を使い，論理包含を含む制約を，線形型の式に変換する一般的な方法について記す．

一般的な例として，

$$f(\boldsymbol{x}) \geq 0 \rightarrow g(\boldsymbol{y}) \geq 0 \tag{19}$$

という制約式について考える．ここで $\boldsymbol{x}$，$\boldsymbol{y}$ は変数ベクトルであり，$f(\boldsymbol{x})$，$g(\boldsymbol{y})$ は線形関数である．

結果から言うと，上の制約式 (19) の代わりに 2 つの制約式

$$f(\boldsymbol{x}) < M(1 - z) \tag{20}$$

$$g(\boldsymbol{y}) \geq -Mz \tag{21}$$

を使えばよい．ただし，M は十分大きな正の数であり，z は二値変数である．

その根拠は以下のようになる．

1. まず，制約式 (19) の代わりに 2 つの制約式

$$f(\boldsymbol{x}) \geq 0 \rightarrow z = 0 \tag{22}$$

$$z = 0 \rightarrow g(\boldsymbol{y}) \geq 0 \tag{23}$$

   を使う．

2. 制約式 (22) の代わりに「$f(\boldsymbol{x}) < M(1-z)$」とおく．その根拠を説明する．$f(\boldsymbol{x}) < M(1-z)$ であるとき，$f(\boldsymbol{x}) \geq 0$ と仮定する．このとき $z = 1$ とすると，$f(\boldsymbol{x}) < 0$ であるから，成り立たない．また $z = 0$ とすると，$f(\boldsymbol{x}) < M$ であるから，成り立つ．したがって，制約式 (22) 成立する．

   ちなみに $f(\boldsymbol{x}) < 0$ のとき，z の値は 0 でも 1 でも成り立つので，このとき式 (20) は無視してよい．

3. 制約式 (23) の代わりに「$g(\boldsymbol{y}) \geq -Mz$」とおく．これは，$g(\boldsymbol{y}) \geq -Mz$ であるとき，$z = 0 \rightarrow g(\boldsymbol{x}) \geq 0$ が成り立つからである．

   ちなみに $z = 1$ のとき，$g(\boldsymbol{x}) \geq -M$ だからこの制約は無視してもよい．

したがって，制約式 (19) は，式 (20)，(21) で置き換えることができる．

6　合板配送の実行にあたって

合板を配送する際の目的関数は，合板の原価の最小化とした．本研究では，3 店舗グループに対して合板を配送し，5 期間で考えた場合の最適化を行った．また，定数を次の値に設定した．

- 店舗 k における合板 i の 1 期目の帳簿在庫数は，実際の店舗の帳簿在庫数の値を使用．(以下，店舗 A，店舗 B，店舗 C とする．)
- 店舗 k における合板 i の売り場の必要量はすべて 100 とする．
- 合板 i の発注点はすべて 60 とする．
- 平均販売数は，合板 i の実際の 52 期間の平均販売数を使用する．
- 店舗 k における在庫の上限は，グループ内の大型店舗を 3000，小型店舗を 1500 とする．
- 在庫の差は 1000 とする．
- 非常に大きな数値 M は 100000 とする．

6.1　3 店舗グループ内での配送の実行結果

What's Best!を使用すると実行時間は 47 秒で解が得られ，5 期間で考えた場合，配送する合板の原価の総和は 8500 となった．

表 3　店舗 A における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	0	0	1	0
5 期目	0	0	0	0

表 4　店舗 B における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	1	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

表 5　店舗 C における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

表 3，4，5 は発注するなら 1，発注しないなら 0 とバイナリ変数で表している．3 つの表の結果から店舗 A の合板 3 が 4 期目，店舗 B の合板 2 が 1 期目に発注点以下となったことが分かる．したがって発注は 1 期目と 4 期目に起こる．

表 6　店舗 A における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	0	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	2	1	1	0	4
5 期目	0	0	0	0	0

表 7　店舗 B における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	1	2	1	0	4
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0	0

表 8　店舗 C における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	2	1	1	0	4
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0	0

以上の結果から，発注点に達した合板は必ず配送する結果になった．また，トラックを満載にしなければ合板の原価が高くなってしまうため，発注点以下になってない他の合板も配送することで，トラックを満載にして配送することができた．

6.2　考察

この結果から，店舗 A に 3 種類の合板計 4t を 4 期目に，店舗 B に 3 種類の合板計 4t を 1 期目に，店舗 C に 3 種類の合板計 4t を 1 期目に配送することが分かる．すなわち, この場合における原価の総和が最小になる配送方法は，店舗 A のみに配送する 4t トラックと，店舗 B のみに配送する 4t トラックと，店舗 C のみに配送する 4t トラックをそれぞれ 1 台ずつ用意し，配送する方法が最適であることが分かった．3 店舗グループへ配送する場合, 10t トラックを使用することはなかった．ただし配送する合板を調節して，トラックに合板を満載にして配送することができた．

合板においては 4 章に示した条件 (1 期間において，1 店舗に 2 台のトラックで配送することを避ける．) を制約式に入れなくても，原価の最小化を目的関数に設定しているので，必ず 1 期間において 1 店舗には 1 台までのトラックしか使用しなかった．以上の実行結果から，合板の原価が割安となる 10t トラックでの配送は，店舗の在庫数に制限があるので 10t トラックを使ってまとめて多くの資材を配送するのが困難であると考えられる．さらに，原価の総和を最小にすることは配送量を最小にしていることが分かった．

7 特定量発注を導入した際の 3 店舗グループ内での配送の実行結果

3 店舗グループ内での配送方法を利用し，各店舗の発注に関する要望に応えることができるように発注数を固定した．今回の一例は，店舗 A のすべての合板と店舗 B の合板 2 を，発注点以下になっていなくても，1 期目に必ず 1 パレット発注するように発注数を設定した結果を示す．What's Best!を使用すると実行時間は 12 秒で解が得られ，5 期間で考えた場合，配送する合板の原価の総和は 8650 となった．

表 9 店舗 A における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

表 10 店舗 B における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	1	0	1	0
5 期目	0	0	0	0

表 11 店舗 C における合板が発注点以下であるかどうか

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

表 9，10，11 は発注するなら 1，発注しないなら 0 とバイナリ変数で表している．3 つの表の結果から店舗 B の合板 1 と 3 が 4 期目に発注点以下となったことが分かる．

表 12 店舗 A における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	1	1	1	1	4
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0	0

表 13 店舗 B における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	0	1	0	0	1
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	2	1	1	0	4
5 期目	0	0	0	0	0

表 14 店舗 C における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	合板 1	合板 2	合板 3	合板 4	合計
1 期目	1	1	1	0	3
2 期目	0	0	0	0	0
3 期目	0	0	0	0	0
4 期目	0	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0	0

以上の結果から，表 9，10 と表 12，13 より，発注数を固定した合板は発注点に達していなくても必ず 1 パレット店舗 A と店舗 B に配送される結果となった．また，表 10 から発注点を下回った合板も必ず配送される結果となった．発注数を固定していない 3 店舗グループの配送と同様に，発注点以下になってない他の合板も同時に配送することで，トラックを満載にして配送することができた．

7.1 考察

この結果から，発注数を固定した店舗 A に 4 種類の合板計 4t を 1 期目に，店舗 B の合板 2 も 1 期目に 1 パレット配送することができた．グループ内全体の配送結果をまとめると，店舗 A に 4 種類の合板計 4t を 1 期目に配送し，店舗 B に 1 種類の合板計 1t を 1 期目に，3 種類の合板計 4t を 4 期目に配送し，店舗 C に 3 種類の合板計 3t を 1 期目に配送する結果となった．すなわち，この場合における原価の総和が最小になる配送方法は，店舗 A のみに配送する 4t トラックと，店舗 B と店舗 C に一度に配送する 4t トラックをそれぞれ 1 台ずつ 1 期目に用意し，店舗 B のみに配送する 4t トラックを 4 期目に 1 台用意し, 配送する方法が最適であることが分かった．この結果でも，4t トラックのみの使用となった．

制約を追加することにより，発注数を自由に設定することができるようになった．したがって，各店舗はそれぞれの合板を必要な週に必要な量だけ発注することができるようになった．

8 用土の配送の実行結果

用土の配送では，グループ内の店舗数が 2 店舗で，5 期間で考えた場合の最適化を行った．また，定数を次の値に設定した．

- 店舗 k における用土 i の 1 期目の帳簿在庫数は，ある 2 店舗グループの実際の値を使用した．(以下，店舗 A・店舗 B グループとする．)
- 店舗 k における用土 i の売り場の必要量は大型店舗のアイテムはすべて 600，小型・中型店舗のアイテムはすべて 480 とする．
- 用土 i の発注点は実際の値を使用する．
- 平均販売数は，用土 i の実際の 52 期間の平均販売数を使用する．
- 店舗 k における在庫の上限は，グループ内の大型店舗を 1560，小型店舗を 1200 とする．
- 非常に大きな数値 M は合板配送と同じ値である 100000 とする．

8.1 用土 2 店舗グループへの配送の実行結果

用土を配送する際の目的関数は，用土の原価は配送方法によって異なることがないため，トラックの便数の最小化とした．What's Best!を使用すると実行時間は 1 秒以内で解が得られた．5 期間で考えた場合，トラックの便数の最適値は 1 となった．合板の 3 店舗グループの配送よりもかなり短時間で解くことができたのは，目的関数の変数が少なかったからだと考える．

表 15 店舗 A における用土が発注点以下であるかどうか

	用土 1	用土 2	用土 3
1 期目	0	0	0
2 期目	0	0	0
3 期目	0	0	1
4 期目	0	0	0
5 期目	0	0	0

表 16 店舗 B における用土が発注点以下であるかどうか

	用土 1	用土 2	用土 3
1 期目	0	0	0
2 期目	0	0	0
3 期目	0	1	0
4 期目	0	0	0
5 期目	0	0	0

表 15，16 は発注するなら 1，発注しないなら 0 とバイナリ変数で表している．2 つの表の結果から店舗 A の用土 3 が 3 期目，店舗 B の用土 2 が 3 期目で発注を必要としていることが分かる．したがって発注は 3 期目に起こる．

表 17 店舗 A における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	用土 1	用土 2	用土 3	合計
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	4	1	4	9
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

表 18 店舗 B における 5 期間 (5 週間) の配送パレット数

	用土 1	用土 2	用土 3	合計
1 期目	0	0	0	0
2 期目	0	0	0	0
3 期目	2	3	2	7
4 期目	0	0	0	0
5 期目	0	0	0	0

以上の結果から, 店舗 A，店舗 B ともに発注点に達した用土を多めに配送する結果になった．また，トラックを満載にして用土を配送することができた. トラックは 3 期目に 2 店舗に配送される 10t トラックが 1 台用意される結果となった.

8.2 考察

この結果から，店舗 A に 3 種類の用土計 9t を 3 期目に配送し，店舗 B に 3 種類の用土計 7t を 3 期目に配送することが分かる．この結果では，3 期目に店舗 A と店舗 B 両方に配送する 10t トラックを 1 台用意して配送する方法が最適であることが分かった．使用するトラックの便数の最小化を目的関数に設定すると，10t トラックを使って一度に配送できる結果となった．10t トラックを使用しても，店舗やアイテムごとの上限を超えることなく配送することができた.

9 おわりに

本研究では，効率的な配送の決定方法について提案した．また，配送形態が類似していれば，他の商品でも利用できることが分かった．そして，決定システムを作成することで，従業員の作業を軽減するとともに，配送計画を素早く導き出すことが可能になった.

しかし，合板の配送において，原価の総和を最小化を目的関数としたことで，配送数が減ってしまったため，10 t トラックでの配送がされにくくなってしまった．4t トラックよりも 10 t トラックでの配送の方が，1 パレット当たりの原価が安くなるので，10t トラックでの配送を増やしたいと考える.

また，試作したシステムの入力シートが複雑になってしまった．そのため，システムへ初期値を入力する作業や，配送店舗数及び商品数の増加が発生した際にシステムを変更する作業が複雑であり，企業の方々が行うには難しい作業になってしまった.

今後は，システムの簡略化を行うこととともに，10t トラックを利用した配送を増加させることが課題である.

参考文献

[1] 堀圭二，大堀匠平：ホームセンターにおける商品棚の最適化について，2006 年度南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文，2007.

[2] 伊東尚美，梶田雅子：ホームセンターの品揃え問題について，2007 年度南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文，2008.

[3] 泉裕行，千田雄二，清水健吾：ホームセンターの最適価格決定問題について，2007 年度南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文，2008.

[4] 増田光知歌，玉田育恵，徳井真理：最適店舗レイアウト問題，2009 年度南山大学数理情報学部情報システム数理学科卒業論文，2010.

[5] 大脇由佳，社本直也：店舗回遊路を考慮した最適レイアウト，2008 年度南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文，2009.

[6] 坂井寛治，佐々祐資：広告掲載商品の最適選定問題，2009 年度南山大学数理情報学部情報システム数理学科卒業論文，2010.