

チェーンストアにおける商品配送計画

2019SS032 亀山和哉

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

配送計画問題 [1] は多くの企業が抱えている問題であり、配送コストは企業の総コストに占める割合が高いため、配送費の削減による企業業務への貢献度は高い。とあるスポーツ用品店では、在庫調整のために毎日店舗間で商品をダンボールに梱包して輸送している。この時、梱包に使用する箱のサイズは、熟練したスタッフ（社員や勤務年数の長いアルバイト）が決めている。しかし、1日の出荷量は最大でダンボール 50 個分もあり、梱包作業にかかる作業時間は 3~4 時間かかることもある。したがって、梱包作業を担当する熟練スタッフの負担は大きく、梱包作業中は接客業務ができないという問題も発生している。梱包作業における負担の大幅な軽減を実現するためには、経験の浅いスタッフが担当する場合であっても、短時間でミスのないダンボールの割り当てが可能となる体制を作ることが重要である。その解決策の 1 つが、配送計画の自動化である。

2 商品配送計画の実際と問題点

対象とするスポーツ用品店では、本社の商品部の社員が全国にある各店舗の商品の在庫を商品ごとにチェックしている。在庫数が少ない店舗がある場合は、ほかの店舗やメーカーに商品の出庫を依頼し在庫調整を行うことで、店舗によって在庫の偏りがないようにしている。各店舗は本社からの在庫調整の指示を受けたら、その指示に従い商品をダンボールに梱包して出庫する。梱包時に使用するダンボールのサイズは小、中、大と 3 種類ある。また、配送に佐川急便 [2] を利用しており、各サイズによって容量と送料が異なる。梱包する時は、出庫する商品を全部集めてから図 1 のように種類別にダンボールに入れる。この時、送る商品が数個しかなく、ダンボールの容量に空きがある状態で梱包することがある。配送時の送料はダンボール 1 個あたりにかかるため、商品を種類別に分けることで使用するダンボールの数が増えて、送料が高くなっている可能性が考えられる。

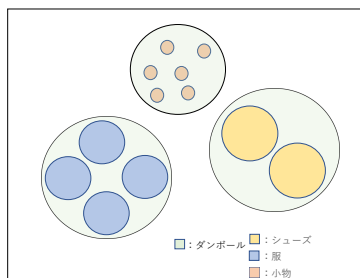


図 1 梱包作業の実例

3 問題の一般化

前節で説明した問題を一般化し、モデル化を行う。送料はダンボールのサイズと、配送する店舗間の距離の 2 点で決定する。ダンボールのサイズについては、実例と同じように 3 種類とし、容量はサイズによって異なる。また、容量は体積で表し、ダンボールの容量以下で商品を梱包する。梱包する時、商品は種類ごとに分ける事はせず、図 2 のようにまとめて梱包する。したがって本研究は、問題を 2 段階に分けて、第 1 段階では本社が意思決定者であり、各店舗から各店舗へどの商品をどれだけ出庫するのかを決定する。そして、第 2 段階では第 1 段階での結果をもとに、各店舗が商品を出庫する際に使用するダンボールの割り当てを決定する。

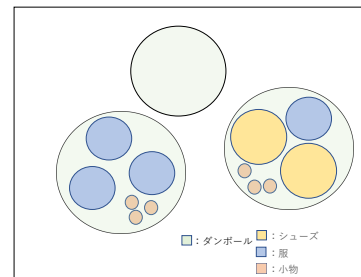


図 2 本モデルの梱包方法

4 定式化

4.1 モデル 2-1. 本社が行う商品の配送計画問題

以下のように記号を定義する。

I : 出庫元の集合。

J : 出庫先の集合。

K : 商品の集合。

s_{ik} : 店舗 $i \in I$ における商品 $k \in K$ の供給量。

d_{jk} : 店舗 $j \in J$ における商品 $k \in K$ の需要量。

c_{ij} : 店舗 $i \in I$ から店舗 $j \in J$ に輸送するときのコスト。

x_{ijk} : 店舗 $i \in I$ から店舗 $j \in J$ へ送る商品 $k \in K$ の数

配送計画問題は以下のように定式化できる。

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq s_{ik}, \quad i \in I, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \geq d_{jk}, \quad j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i \in I, j \in J, k \in K, \quad (4)$$

目的 (1) は、輸送コストの最小化を示す。(2) は、店舗

$i \in I$ から送る商品 $k \in K$ の数は、店舗 $i \in I$ における商品 $k \in K$ の供給量以下であることを示す制約である。(3) は、店舗 $j \in J$ が受け取る商品 $k \in K$ の数は、店舗 $j \in J$ における商品 $k \in K$ の需要量以上であることを示す制約である。(4) は、 x_{ijk} の非負制約である。

4.2 モデル 2-2. 店舗が行うダンボールの割り当て問題

モデル 1 の問題を解くことにより、各店舗から各店舗への商品ごとの出庫数が求められる。以下では、店舗 $i \in I$ ごとのダンボールの割り当て問題について説明する。

B : 箱の集合。

s_{jk} : 店舗 $j \in J$ に送る商品 $k \in K$ の数 (=モデル 1 の最適解 x_{ijk}^*)。

c_{jl} : 箱 $l \in B$ で店舗 $j \in J$ に輸送するときのコスト。

u_l : 箱 $l \in B$ の容量。

w_k : 商品 $k \in K$ の体積。

x_{jkl} : 店舗 $j \in J$ へ箱 $l \in B$ で送る商品 $k \in K$ の数

$$y_{jl} = \begin{cases} 1: \text{店舗 } j \in J \text{ に箱 } l \in B \text{ を使う。} \\ 0: \text{上記以外。} \end{cases}$$

ダンボールの割り当て問題は以下のように定式化できる。

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{l \in B} c_{jl} y_{jl} \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} y_{jl} \leq 1, \quad l \in B \quad (6)$$

$$\sum_{l \in B} x_{jkl} = s_{jk}, \quad j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} w_k x_{jkl} \leq u_l y_{jl}, \quad i \in I, j \in J, l \in B \quad (8)$$

$$x_{jkl} \geq 0, \quad j \in J, k \in K, l \in B \quad (9)$$

$$y_{jl} \in \{0, 1\}, \quad j \in J, l \in B \quad (10)$$

目的 (5) は、輸送コストの最小化である。(6) は、各箱は一度しか使えないことを示す制約である。(7) は、店舗 $j \in J$ に送る商品 $k \in K$ の数は、モデル 1 で導出された x_{ijk} と等しいことを示す制約である。(8) は、箱 $l \in B$ に入れる商品の体積の総和は、箱の容量以下であることを示す制約である。(9) は、 x_{jkl} の非負制約である。(10) は、 y_{jl} のバイナリ制約である。

5 計算結果

Gurobi Optimizer 9.5.1 を用いて計算実験を行った。計算環境は (プロセッサ: Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz, 実装メモリ: 32GB) である。愛知県の 10 店舗を対象とし、2022 年 12 月のある日に実施した出庫データを参考にして作成した、仮想のデータを用いる。扱うデータは、出庫元の店舗数は 143、出庫先の店舗数は 20、商品の種類は 200、箱の数は 90 (小 30 中 30 大 30) とし、各商品の需要量は小物 0~20、服 0~5、シューズ 0~2 でランダムに定めることにする。各ダンボールの体積 (L) は小が 35、中が 71、大が 143 である。また各商品の体積を、

表 1 に示す。

表 1 商品カテゴリーの体積

| 商品のカテゴリー | 商品の体積 (L) |
|-----------|-----------|
| 小物 | 2 |
| トップス, パンツ | 3 |
| アウター | 8 |
| スニーカー | 12 |
| 競技用シューズ | 13 |

モデル 2 の計算結果を表 2, 表 3 に示す。表 2 は種類別に分けた場合の計算結果、表 3 に種類別に分けずまとめた場合の計算結果である。

表 2 種類別に分けて梱包した場合

| 出庫元 | 出庫数 | 出庫先数 | 小 | 中 | 大 | 配送費 (円) |
|------|--------|------|---|---|----|---------|
| 東郷 | 21 | 6 | 6 | 1 | 0 | 10164 |
| 岐阜 | 323 | 9 | 8 | 2 | 6 | 27192 |
| 山形 | 403 | 8 | 9 | 3 | 17 | 53174 |
| 婦中 | 681 | 4 | 1 | 3 | 32 | 71038 |
| 総配送費 | 161568 | | | | | |

表 3 種類別に分けずまとめて梱包した場合

| 出庫元 | 小 | 中 | 大 | 配送費 (円) | 削減率 (%) |
|------|--------|---|----|---------|---------|
| 東郷 | 5 | 1 | 0 | 8778 | 13.7 |
| 岐阜 | 6 | 0 | 7 | 22792 | 16.3 |
| 山形 | 5 | 2 | 14 | 39578 | 26.6 |
| 婦中 | 1 | 1 | 30 | 65274 | 8.1 |
| 総配送費 | 136422 | | | 削減率: | 15.6 |

結果から、種類別に分けるという制約を外した結果、全店舗で使用するダンボールの数を減らすことができた。そして、箱の数が減ったことで配送費用を削減することができている。

6 おわりに

本研究では、梱包資材のサイズを考慮した配送計画の自動化を提案し、最適化ソフトウェア Gurobi Optimizer 9.5.1 を用いて計算実験を行った。現在店舗で実施している梱包方法を変更することで、従業員の負担と配送費用の削減ができることがわかった。今後の課題として、商品の形を考慮し、パッキング方法を提案するプログラムに改善することが挙げられる。

参考文献

- [1] 西田大, 中川賀津也, 相田剛, 熊本和浩, 小西伸之. 最適輸配送計画問題への数理計画法の適用. オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol. 47, No. 1, pp. 22-26, 2002.
- [2] 佐川急便株式会社. 【佐川急便】輸送料金 | 荷物を送る・受け取る. <https://www2.sagawa-exp.co.jp/send/fare/input/>. (Accessed on 12/20/2022).