

容量制約付き出荷スケジューリング問題

2018SS036 河野磨優

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

近年、スマートフォンの保有率の上昇により、インターネット利用率も上昇している。それにより、インターネット通信販売（以下、ネット通販）市場が拡大し、ネット通販の利用者が増えている。2020年以降、新型コロナウイルスの影響による外出自粛により、ネット通販の需要は高まっている。ネット通販による支出額も増加を続けており、緊急事態宣言が発出された2020年4月以降、さらに増加を続けている。高齢者のネット通販利用率も上昇しており、ネット通販が当たり前の時代になりつつある [1]。

ネット通販は基本的にオンライン決済が可能で、手元に現金がない場合や、銀行やコンビニエンスストアに支払に行く時間がない場合にも簡単に商品を購入することができる。また、指定した日に自宅まで届けてくれるサービスもあり、便利な点も多い。最近では、宅配ボックスの利用や置き配サービスも普及しているが、対面で受け取る場合は自宅で数時間の待機が必要となり、何度も注文した場合や、一度に注文した商品が複数の発送元から送られてきた場合、受け取りの手間がかかる。また、何度も配達員と接触することになり、新型コロナウイルスが蔓延している今日において、懸念される。発送元が同じ注文者から複数回にわたり受注した商品をまとめて送ることができれば、注文者は受け取り回数を減らすことができる。これにより、発送元は商品の梱包に使用する箱を減らすことができ、発送する際にかかる送料を抑えることができる。本研究では、注文者にも発送元にもメリットが生じるように、計画的に商品を出荷するスケジュールを立てるため、ある期間の商品の注文情報を所与として最適な配送スケジュールを求める問題を考える。

2 問題の説明

本研究では、1つの発送元が複数の注文者に商品を送る出荷スケジュールを1週間単位で立てる。発送元は毎日発送期限日が決まった注文を受け、商品を送る。各注文に対する発送先は1箇所だが、同じ発送先から複数の注文を受ける場合がある。同じ発送先からの注文は、まとめて送ることができるものとする。注文される商品は複数種類があり、注文ごとに各商品の注文個数は異なる。1日に送ることができる箱の総量は物流会社から上限が与えられており、上限を1単位超えるごとに超過料金がかかる。商品を送る際に用いる箱は複数種類があり、種類によって送料は異なる。商品の梱包にかかる費用は、送料に含まれているものとする。受けた注文はそれぞれ、発送する日を確定する。注文は発送期限日を過ぎてからも発送できるが、1日遅れるごとに発送元にペナルティが発生する。

発送元が商品を送る際にかかる費用は、各日それぞれにかかる送料・超過料金・ペナルティの和とし、これを最小化することで、費用を抑えるための出荷スケジュールを求める。

3 定式化

はじめに、以下の記号を定義する。

I : 注文の集合。

J : 発送先の集合。

M : 商品の集合。

K : 箱の集合。

T : 日の集合。

a_{im} : 注文 $i \in I$ の商品 $m \in M$ の数。

s_m : 商品 $m \in M$ の大きさ。

f_k : 箱 $k \in K$ の容量。

c_k : 箱 $k \in K$ の送料。

l : 1日に発送できる箱の総量の上限。

b_i : 注文 $i \in I$ の発送可能期間の初日。

d_i : 注文 $i \in I$ の発送期限日。

P : 発送期限日を1日遅れるごとに発生するペナルティ。

e : 1日に発送できる箱の総量の上限を超えて発送する場合の超過料金。

$$r_{ij} = \begin{cases} 1: \text{注文 } i \in I \text{ を発送先 } j \in J \text{ に送る.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

以下に変数を定義する。

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1: \text{注文 } i \in I \text{ を発送先 } j \in J \text{ に } t \in T \text{ 日に送る.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$z_{ijkt} = \begin{cases} 1: t \in T \text{ 日に注文 } i \in I \text{ を発送先 } j \in J \\ \text{に送るのに箱 } k \in K \text{ を使う.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

y_i : 注文 $i \in I$ の発送が発送期限日から遅れた日数。

$$v_i = \begin{cases} 1: \text{注文 } i \in I \text{ は発送可能期間内に発送された.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

u_t : $t \in T$ 日に発送できる箱の総量の上限を超えた量。

$$q_t = \begin{cases} 1: t \in T \text{ 日に発送できる箱の総量の上限を} \\ \text{超えなかった.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

出荷スケジューリング問題は以下のように定式化できる。

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} c_k z_{ijkt} + P \sum_{i \in I} y_i + e \sum_{t \in T} u_t \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} z_{ijkt} \leq \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} a_{im} x_{ijt}, \quad i \in I, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} z_{ijkt} \geq 1, \quad j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} a_{im} s_m x_{ijt} \leq \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} f_k z_{ijk t}, \quad j \in J, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} = 1, \quad i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} t x_{ijt} \geq b_i, \quad i \in I \quad (6)$$

$$y_i - \left(\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ijt} - d_i \right) \geq 0, \quad i \in I \quad (7)$$

$$y_i \leq N(1 - v_i), \quad i \in I \quad (8)$$

$$y_i - \left(\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} t x_{ijt} - d_i \right) \leq N v_i, \quad i \in I \quad (9)$$

$$u_t - \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_k z_{ijk t} - l \right) \geq 0, \quad t \in T \quad (10)$$

$$u_t \leq N(1 - q_t), \quad t \in T \quad (11)$$

$$u_t - \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_k z_{ijk t} - l \right) \leq N q_t, \quad t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} r_{ij} x_{ijt} = 1, \quad i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{t \in T} z_{ijk t} \leq \sum_{t \in T} x_{ijt}, \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (14)$$

$$y_i \geq 0, \quad i \in I \quad (15)$$

$$u_t \geq 0, \quad t \in T \quad (16)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, t \in T \quad (17)$$

$$z_{ijk t} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K, t \in T \quad (18)$$

$$v_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I \quad (19)$$

$$q_t \in \{0, 1\}, \quad t \in T \quad (20)$$

(1)の第1項は送料の総和であり、第2項はペナルティの総和、第3項は超過料金の総和である。これらの最小化を目的とする。(2)は商品を発送する際に用いる箱の数の上限制約である。(3)は商品を発送する際に用いる箱の数の下限制約である。(4)は商品を発送する際に用いる箱の容量の下限制約である。(5)はどの注文も必ず1度に発送するという制約である。(6)は注文 $i \in I$ は発送可能期間の初日以降に送る制約である。(7)–(9)は、注文 $i \in I$ を発送期限日を過ぎてから発送する場合、1日遅れるごとに発送元にペナルティが発生する制約である。(10)–(12)は、 $t \in T$ 日に送る箱の総量が1日に発送できる総量の上限を超えた場合、超えた量1単位につき超過料金がかかる制約である。(13)、(14)は注文 $i \in I$ に対する発送先は1箇所であることを示す制約である。(15)は y_i の非負制約である。(16)は u_t の非負制約である。(17)は x_{ijt} のバイナリ制約である。(18)は $z_{ijk t}$ のバイナリ制約である。(19)は v_i のバイナリ制約である。(20)は q_t のバイナリ制約である。

4 計算実験

Gurobi Optimizer 9.5.0 を用いて最適解を求めるプログラムを Python で作成し、計算実験を行った。計算環境は(プロセッサ: Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU@2.50GHz 2.70GHz, 実装メモリ: 8GB)である。

実験に用いたデータは、注文数は10件、商品は5種類、発送先は5箇所のデータである。箱の種類を5種類、1日に発送できる箱の総量の上限を530、上限を超えた場合の超過料金を1単位あたり10円、ペナルティを10000円とした計算結果を表1、2に示す。表1が同じ発送先に送る注文をまとめない場合、表2がまとめて送ることができる場合である。

表1 計算結果1

日	1	2	3	4	5	6	7	合計
注文	A B	C	J	D	I	E G	F H	10
箱の総量	420	520	380	320	260	460	480	2840
送料(円)	5760	6920	5070	4370	3460	6240	6480	38300
超過量	0	0	0	0	0	0	0	0
超過料金(円)	0	0	0	0	0	0	0	0
ペナルティ(円)	0	0	0	0	0	0	0	0
費用(円)	5760	6920	5070	4370	3460	6240	6480	38300

表2 計算結果2

日	1	2	3	4	5	6	7	合計
注文		C	B D	J	A E I	G	F H	10
箱の総量	0	520	520	380	540	400	460	2820
送料(円)	0	6920	6920	5070	7160	5310	6220	37600
超過量	0	0	0	0	10	0	0	10
超過料金(円)	0	0	0	0	100	0	0	100
ペナルティ(円)	0	0	0	0	0	0	0	0
費用(円)	0	6920	6920	5070	7260	5310	6220	37700

結果から、同じ発送先に送る注文をまとめることができる場合、1日に送ることができる箱の総量の上限を超えてしまうが、まとめない場合と比べて費用の合計が抑えられることが分かった。同じ発送先に送る注文をできるだけまとめることで、発送元が商品を出荷する際にかかる費用を抑えたスケジュールを立てることができた。

5 おわりに

本研究では容量制約付きの出荷スケジュールを立てることを提案し、最適化ソフトウェア Gurobi Optimizer 9.5.0 を用いて計算実験を行った。ある期間の商品の出荷スケジュールを立て、注文者の受け取り回数を減らすこと、また、発送元の商品の出荷にかかる費用を抑えることができた。今後の課題として、1つの商品を分割せずに発送できるように、プログラムを改善することが挙げられる。

参考文献

- [1] 総務省統計局統計調査部消費統計課消費指標調整官 石原秀男. 統計 Today No.162 新型コロナウイルス感染症で変わるネットショッピング - 家計消費状況調査の結果から -. <https://www.stat.go.jp/info/today/162.html>. 2021年9月28日閲覧。