日用品の輸送経路決定問題に対するメタヒューリスティック解法

石原良晃[*1]　徐祝淇[*2]　宿元明[*3]

A Metaheuristics on an Inventory Routing Problem of Daily Necessities

Yoshiaki ISHIHARA, Zhuqi XU and Yuanming SU

Abstract

This paper aims to propose an inventory routing problem for a transportation system of daily necessities. Recently, daily demand can be forecast by big data analysis. Daily delivery according to forecast demand increases transportation cost, and mass transportation increases inventory cost at each shop. In this paper, we propose a metaheuristics on an inventory routing problem for a transportation system of daily necessities and clarified the characteristics of this heuristics.

Keywords: Inventory routing problem, Big data, Daily necessities

1　はじめに

本研究では、物流センターから各販売店への日用品の輸送の効率化を図るため、一定期間の輸送経路を決定することを目的とする。日々の販売量に関するデータが入手可能となり、ビッグデータ解析により、各販売店の日々の販売量が予測可能となっている [1)]。そこで、各販売店の需要に合わせて輸送することが可能となるが、多頻度納入は輸送コストの増大を招き、また大量輸送は各販売店の在庫スペースを圧迫する。この種の問題は、在庫運搬経路問題として分類されており、様々な解法が提案されている [2)]。本研究では、販売店の在庫量と輸送コストの削減することを目的としてその輸送経路を決定する問題についてメタヒューリスティック解法を提案する。

2　日用品の輸送経路決定モデルの構築

2．1　日用品の輸送経路

本研究では、日用品を物流センターから各販売店へ輸送するための輸送経路の決定について検討する。図 1 に本研究で対象とする日用品の輸送経路の概念図を示すこの図は 3 期間の輸送経路を示している。毎期各拠点に商品を輸送すると輸送効率が悪くなる。また一度に大量に輸送すると各販売店の在庫量を圧迫してしまう。そのため、この輸送経路では 3 期間で訪れた回数が 1 回のところは 3 期分、2 回のところは 3 期分を 2 回に分けて輸送している。これにより、各販売店の在庫量の減少し、輸送機器の積載効率が上がると考えられる。

2．2　前提条件

日用品の輸送経路決定モデルを構築するに当たり、以下の前提条件を設定する。

(1) 各販売店の計画期間中の需要は予測可能である。
(2) 各輸送機器は各期にデポを出発し、同期にデポに戻る。
(3) 各販売店には毎期時間枠が設定されている。
(4) 計画期間の期首と期末で各販売店の在庫は等しいものとする。
(5) 各輸送機器の積載量は同一とする。
(6) 各販売店の在庫スペースは十分大きいものとする。
(7) 輸送された商品は輸送された期の次の期に使用可能とする。
(8) 各期に各販売店を訪問する輸送機器は一台のみとする。

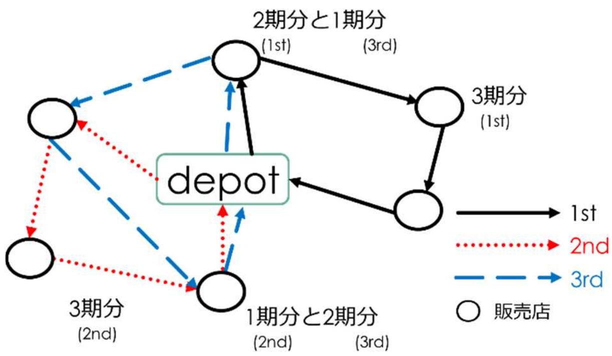

図 1　日用品の輸送経路の概念図

2．3　記号の説明

日用品の輸送経路決定モデルを構築するに当たり、以下の記号を設定する。

TL　：計画期数

n　：拠点の数

N, N_0, N_1 ：拠点の集合。ここで、$\{0\}, \{n+1\}$ はデポを示す。

$$N \in \{1, \cdots, n\} \tag{1}$$

$$N_0 \in \{0, \cdots, n\} \tag{2}$$

＊１　情報工学科　＊２愛媛大学　＊３別府大学

$$N_1 \in \{1,\cdots,n+1\} \tag{3}$$

S_{ij} ：拠点 i から拠点 j へ移動時間

k_t ： t 期に利用可能な輸送機器の台数

K_t ： t 期に利用可能な輸送機器の集合。ここで、

$$K_t \in \{1,\cdots,k_t\} \tag{4}$$

C ：輸送機器の積載可能量

E_t^i ：拠点 i の t 期の最早開始時刻

L_t^i ：拠点 i の t 期の最遅開始時刻

D_t^i ：拠点 i の t 期中の需要予測量

d^i ：拠点 i での作業時間

I_t^i ：拠点 i の t 期末の在庫量

IM^i ：拠点 i の計画期間中の平均在庫量

$Q_t^{k,i}$:輸送機器 k が拠点 i に t 期中の輸送する輸送量

$T_i^{k,t}$ ：輸送機器 k が拠点 i に t 期中に到着した時間

Y^t ： t 期に使用される輸送機器の台数

$X_{ij}^{k,t}$ ： t 期に輸送機器 k が拠点 i から拠点 j へ移動するかどうかを示す 0-1 変数

上記の記号を用いて、日用品の輸送経路決定モデルを定式化する。

２．４　日用品の輸送経路決定モデルの定式化

販売店の在庫量と輸送コストの削減するため、各販売店の平均在庫量の最小化と使用する輸送機器数の最小化を目的とした多目的数理計画問題として、日用品の輸送経路決定モデルを定式化する [3)-5)]。

（１）使用する輸送機器数の最小化

$$F_1 = \sum_{l=1}^{TL} Y^l \longrightarrow \min \tag{5}$$

式(5)は、各期で使用する輸送機器の総和を最小にすることを示す目的関数である。

（２）平均在庫量の最小化

$$F_2 = \sum_{j \in N} IM^j \longrightarrow \min \tag{6}$$

式(6)は、各拠点の平均在庫量の総和を最小にすることを示す目的関数である。

（３）各拠点の在庫量に関する制約条件

$$I_{t+1}^j = I_t^j + \sum_{k \in K_t} Q_t^{k,j} - D_{t+1}^j \tag{7}$$

$$(t = 1,\cdots,TL,\ j \in N)$$

$$IM^j = \sum_{t=1}^{TL} I_t^j / TL \qquad (j \in N) \tag{8}$$

式(7)は、各拠点の期末在庫量に関する制約条件であり、式(8)は、各拠点の平均在庫量を求める計算式である。

（４）輸送機器の移動経路に関する制約条件

$$\sum_{j \in N_1} X_{ij}^{k,t} - \sum_{j \in N_0} X_{ji}^{k,t} = 0 \tag{9}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, i \in N, k \in K_t)$$

$$\sum_{j \in N_1} X_{0j}^{k,t} = 1 \tag{10}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, k \in K_t)$$

$$\sum_{j \in N_0} X_{j,n+1}^{k,t} = 1 \tag{11}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, k \in K_t)$$

式(9) - (11)は、各輸送機器の移動経路に関する制約条件を示す。

（５）使用する輸送機器数に関する制約条件

$$Y^t = \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N} X_{0j}^{k,t} \tag{12}$$

$$(t = 1,\cdots,TL)$$

式(12)は、 t 期にデポを出発する輸送機器数を示す。

（６）各輸送機器の積載可能量に関する制約条件

$$\sum_{j \in N} Q_t^{k,j} \le C \tag{13}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, k \in K_t)$$

式(13)は、積載量は積載可能量以下であることを示す。

（７）輸送経路と輸送量に関する制約条件

$$\sum_{i \in N_0} X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow Q_t^{k,j} \ge 0 \tag{14}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(14)は、拠点 j へ t 期に移動する輸送機器がある場合は、拠点 j への輸送が可能であることを示す。

（８）各拠点の到着時間に関する制約条件

$$X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow T_i^{k,t} + d_i + S_{ij} \le T_j^{k,t} \tag{15}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, i \in N_0, j \in N_1, k \in K_t)$$

式(15)は、拠点 i から拠点 j へ輸送機器 k が移動した場合の拠点 i への到着時間と拠点 j への到着時間の関係を示す。

$$\sum_{i \in N_0} X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow E_t^j \le T_j^{k,t} \le L_t^j \tag{16}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(16)は、輸送機器 k の拠点 j への到着時間が時間枠内にあることを示す。

（９）0-1 変数

$$X_{ij}^{k,t} \in \{0,1\} \tag{17}$$

$$(t = 1,\cdots,TL, i \in N_0, j \in N_1, k \in K_t)$$

（10）整数変数

$$Y^t \in \{0,1,\cdots,k_t\} \quad (18)$$

$$(t=1,\cdots,TL)$$

（11）変数の非負条件

$$I_t^j \geq 0 \quad (19)$$

$$(j \in N, t=1,\cdots,TL)$$

$$IM^j \geq 0 \quad (20)$$

$$(j \in N)$$

$$Q_t^{k,j} \geq 0 \quad (21)$$

$$(t=1,\cdots,TL, j \in N, k \in K_t)$$

$$T_j^{k,t} \geq 0 \quad (22)$$

$$(t=1,\cdots,TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(7)-(22)を制約条件として、式(5),(6)を最小化する多目的数理計画問題を日用品の輸送経路決定モデルと呼ぶ。

３　日用品の輸送経路決定モデルの近似解法

２で定式化した日用品の輸送経路決定モデルは、多目的数理計画問題である。どちらか一方の目的関数を制約条件化してパレート最適解を求めることは可能であると考えられるが、計算時間が非常に膨大になり、数理計画ソフトウェアを用いても困難になる。また、本研究で用いた数値例においても計算時間が膨大となり､1 つのパレート解を求めるために 2 時間以上必要となることが分かった。そこで、本研究では Ant Colony Optimization (ACO)を用いた解法を提案する。ACO で用いる記号を以下のように設定する。

$Ph_{i,j}^k$ ：輸送機器 k が拠点 i から拠点 j へ移動することに対応するフェロモン量

$\eta_{i,j}$ ：輸送機器 k が拠点 i から拠点 j へ移動することに対応するヒューリスティック値

$\mathrm{Pr}_{i,j}^k$ ：輸送機器 k が拠点 i から拠点 j へ移動することを選択する確率

W_k ：輸送機器 k の移動時間

γ ：蒸発係数

本研究では、下記のような近似解法を用いることを提案する。

(手順1) 平均在庫量が最小になる輸送量を決定する。

(手順2) 与えられた各期の輸送量に対応した輸送経路を ACO で求め､必要な輸送機器数を求める。

(手順2-1)　フェロモン表とヒューリスティック表の初期設定

(手順2-2)　次式を使用して確率を計算し、現在の拠点から次に移動する拠点を決定する。

$$\mathrm{Pr}_{i,j}^k = \frac{(Ph_{i,j}^k)^\alpha \cdot (\eta_{i,j})^\beta}{\sum_{(m_1,m_2)\notin Tabu} (Ph_{m1,m2}^k)^\alpha \cdot (\eta_{m1,m2})^\beta} \quad (23)$$

$$\eta_{i,j} = 1/TN_{i,j} \quad (24)$$

ここで、$TN_{i,j}$ は、トレーラーが現在いる拠点から拠点へ移動するために必要な時間を表す。

(手順2-3)　各配送車両には積載量があり,容量を超えないように次の配送先 j を選択する。すべての車両の配送ルートが決定するまで（手順 2）繰り返す。

(手順2-4)　すべての車両の配送経路が決定したら,フェロモン表の更新を行う。

$$Ph_{i,j} \leftarrow (1-\gamma)\cdot Ph_{i,j}^k + \frac{1}{F_1} \quad (25)$$

(手順2-5)　予め定められた基準に達するまで(手順 2-2）～（手順 2-4）を繰り返す。また目的関数が任意の回数変化しなくなれば，収束したものとみなし計算を終了する。

(手順3) 各拠点への輸送量をランダムに選択し、その前の期に輸送を振り替える。振り替えることができなくなれば、終了。そうでなければ、手順 2 に戻る。

４　数値例

本研究で提案した日用品の輸送経路決定モデルの特徴性を明らかにするため、数値例を示す。

本研究で対象とする輸送経路決定モデルを解くために使用したパーソナルコンピュータは、Intel Core　i7 -3820(3.60GHz)、RAM (64GB)である。

４．１　入力データ

(1)計画期数　$TL = 7$

(2)拠点数　$n = 5$

(3)毎期の使用可能輸送機器台数　$k_t = 3$

(4)輸送機器の積載可能量　$C = 200$

(5)最早開始時刻および最遅開始時刻

$$E_t^j = 8, L_t^j = 17$$

(6)各拠点での作業時間　$d_j = 0.5$

(7)各拠点の需要予測量　D_t^i

表 1 に各拠点の需要予測量を示す。

(8)拠点間の移動時間　S_{ij}

表 2 に各拠点間の移動時間を示す。

(9) 手順 2－5 の収束判定回数 1000 回

４．２　実行結果

４．１で設定した入力データをもとに、日用品の輸送経路決定モデルを本研究で提案した手法を用いて解いた。計算時間は、40 秒程度であり、数理計画ソフトウェアを用いた場合に比べ、大幅に短縮できた。

図２に輸送機器台数と平均在庫量の関係を示す。これは計算手順により用いたすべての計算結果を示

している。また、図３に輸送機器台数と最小となる平均在庫量の関係を示す。

３で提案した解法により、それぞれの輸送量に対応した輸送経路が決定され、その時の輸送機器台数が求められた。同じ輸送機器数で平均在庫量の小さい解がパレート解となる。このパレート解の中から、輸送計画を選択することで運用するが可能と考えられる。

表１　各拠点の需要予測量

期	1	2	3	4	5	6	7
拠点 1	10	10	10	10	10	10	10
拠点 2	20	20	20	20	20	20	20
拠点 3	10	10	10	10	10	10	10
拠点 4	20	20	10	10	20	10	20
拠点 5	20	10	20	10	20	10	20

表２　各拠点間の移動時間

拠点	1	2	3	4	5	6
0	1.1	2.1	1.0	1.1	1.3	0.0
1	0.0	1.8	2.0	1.8	1.1	1.1
2	1.8	0.0	2.3	3.2	2.9	2.1
3	2.0	2.3	0.0	1.7	2.3	1.0
4	1.8	3.2	1.7	0.0	1.1	1.1
5	1.1	2.9	2.3	1.1	0.0	1.3

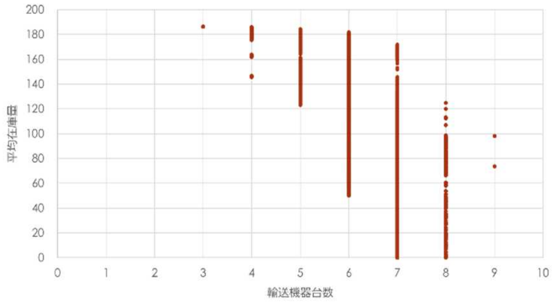

図２　輸送機器台数と平均在庫量の関係

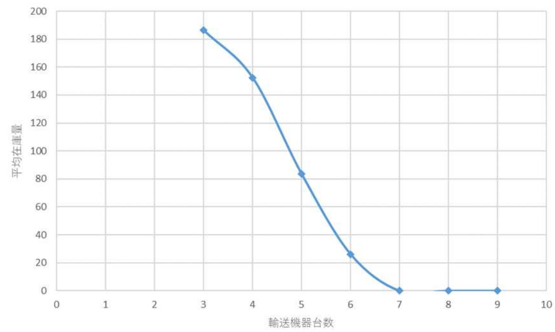

図３　輸送機器台数と最小の平均在庫量の関係

５　まとめ

本研究では、以下のことを明らかにした。

(1) 日用品の輸送経路決定モデルを多目的数理計画問題の近似解法を提案した。

(2) 数値例を用いて、本研究で提案した近似解法の有効性を明らかにした。

参考文献

1) 鈴木良介,「ビッグデータビジネス」, 日本経済新聞出版社 (2012)

2) Bertazzi, L. and Speranza M. G., “Inventory routing problems: an introduction”, EURO Journal on Transportation and Logistics, Vol. 1, Issue 4, pp 307-326 (2012)

3) 石原良晃, 平木秀作, 徐祝淇, 宿元明, 新谷浩一, “トレーラーによる完成車の配送計画の立案”, 日本ロジスティクスシステム学会第 15 回全国大会予稿集, pp.49 -52 (2012)

4) 石原良晃, 若林啓造, 鈴木邦成, 徐祝淇, 宿元明, “日用品の輸送経路決定問題に関する一考察”, 日本ロジスティクスシステム学会第 20 回全国大会予稿集, pp.89 -92 (2017)

5) 石原良晃, 若林啓造, 鈴木邦成, 徐祝旗, 宿元明, “日用品の輸送経路決定問題に対するヒューリスティック解法”, 日本ロジスティクスシステム学会第 21 回全国大会予稿集, pp.9 -12 (2018)