

から 輸送ロットを考慮したパレットの空輸送における 必要系内数の決定

01603200 早稲田大学 * 松本 征之助 MATSUMOTO Seinosuke
早稲田大学 森戸 晋 MORITO Susumu

1 はじめに

輸送で使われる媒体(貨車、トラック、コンテナ、パレットなど)は、時間の経過とともにその存在が拠点間で偏っていく。このような偏在を是正するためには、積荷無しの媒体の移動(空輸送)をする必要がある。空輸送はコストを上昇させるのみで、収益には直接結びつかない。したがって、空輸送を最小限に押さえるために、空輸送の動きを把握することは重要である。

本研究では、空媒体を決められた輸送ロットで回送する場合に、系内媒体数(以下、系内数)と輸送要求(以下、需要)に対する品切率との間にトレードオフが存在する中で、所与の許容品切率を超えない最小の系内数を決定する。ここでは、その決定のために問題を三段階に分割したアプローチを提案し、主に確定需要下の系内数算出法の性能を数値実験によって評価する。

2 空輸送における必要系内数の決定

2.1 空輸送に関する過去の研究との比較

空輸送の研究では、空媒体の回送計画と、系内数の決定とが密接に関わる。過去には、①系内数を所与とし空媒体の回送計画を扱う研究[1]、②回送元/回送先を固定した上で系内数の決定を扱う研究[2]、③空媒体の回送計画と媒体系内数の決定を同時に扱う研究[3]などがある。いずれも空媒体は1個ずつ回送することを前提としている。

本研究では、日々の拠点ごとの在庫数と拠点間の距離から算出される最適な回送計画と、その回送計画が所与の許容品切率以下で行われるために必要な最小の系内数を決定する。また、空媒体は決められた輸送ロットごとに回送することを前提としている。この前提は、現実にはトラックや貨車を利用した媒体の空輸送の多くが、媒体をトラックや貨車に満載して(積載量に達するまで媒体を回送せずに拠点に溜めて)回送されており、そのような空輸送問題のモデル化をより現実に近いものとするために必要とされる。

2.2 本研究の前提条件

- ◆ 拠点数は n 点とする。
- ◆ 空輸送にかかるコストは、拠点間の距離とする。
- ◆ 実輸送を行うためのパレットの需要(実需要)は、季節変動などを考慮しない定常的なものとし、分布は既知であるとする。
- ◆ 拠点間の実/空輸送リードタイムは1単位時間(以下、期)とする。

- ◆ 空輸送の輸送ロットはあらかじめ決められている。
- ◆ 実需要に対する品切率が、所与の許容品切率以下になるように、系内数を定める。
- ◆ 空輸送は、毎日の各拠点での在庫数から余剰/不足量を計算し、その偏在を是正するための最小コストの回送として行われる。

2.3 三段階分割アプローチ

系内数はいつの時点でも一定であるので、たとえば各拠点の初期在庫数を算出し、その合計として系内数が求められる。各拠点の初期在庫数は、①需要が確定的で変動なし、輸送ロットごとの空輸送を前提としない(輸送最小ロット1)、品切不許可としたときの各拠点の初期在庫数であるパイプラインストック、②輸送ロット導入時のパイプラインストックへの上積み数であるシステムストック、③需要が確率的変動をするときのパイプラインストックとシステムストックの和への上積み数である確率ストック、の三段階に分けて算出される。

3 確定需要下での系内数

3.1 パイプラインストック

パイプラインストックでは、各拠点において実需要の変動に対して備えるパレットや、輸送ロットに達せずに溜まっているパレットがなくても、品切れが起きないようにすることが可能である。このときの系内数は、拠点間(パイプライン)に流れているパレット数である。

3.1.1 パイプラインストックの算出

ステップ1. 拠点 i における実パレットの流入量と流出量の差(実需要による在庫数の増減)が正(負)であれば余剰量(不足量)。これらを制約とする輸送問題を解き、空輸送量を算出。

ステップ2. 拠点 i のパイプラインストックは、拠点 i における実需要の合計と、前ステップで算出された拠点 i に向けて流れる空パレット数の合計。

3.2 システムストック

システムストックでは、輸送ロットを G としたときに品切を起こさないための、パイプラインストックへの最小の上積み数を求める。システムストックの算出は以下の整数計画問題として定式化できる。

ところで、定式化に示すような動的な数理計画問題には従来、①計画期間(t 日の範囲)の取り方と、②計画期間末の在庫数が、後に続く計画期間を無視して偏在

する(End Effects[4])、という2つの問題があった。本問題では、「系内数が品切れを起こさないに足る量であるとき、各拠点の在庫数がG日ごとに同じ値をとる(ループする)」という性質をもつ(証明略)ので、前述した問題点は①計画期間を1日~G+1日とし、②各拠点のG+1日末の在庫数を1日末の在庫数と等しくする、ことによって解消される。

決定変数

s_i : 拠点*i*のシステムストック

e_i^t : t 日に拠点*i*に向けて回送する輸送ロットの数

従属変数

I_i^0 : 計画初期の拠点*i*における在庫数

I_i^t : t 日末の拠点*i*における在庫数

定数

G : 空輸送輸送1ロット当たりの空パレット数

P_i : 拠点*i*のバイラインストック

V_i : 拠点*i*の実輸送による1期当たりの在庫数の増減

D_i : 拠点*i*における実需要

$$\text{最小化 } \sum_{i=1}^n s_i \quad \text{システムストック最小化} \quad (1)$$

$$\text{制約 } I_i^0 = P_i + s_i \quad \forall i \quad (2)$$

初期在庫数

= バイラインストック + システムストック

$$I_i^t = I_i^{t-1} + V_i - G \times e_i^t \geq D_i \quad \forall i, t \quad (3)$$

在庫推移式・品切不許可制約

$$e_i^t \leq (I_i^{t-1} + V_i - D_i) / G \quad \forall i, t \quad (4)$$

$$e_i^t \leq (I_i^{t-1} - D_i) / G \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n e_i^t = 0 \quad \forall t \quad (6)$$

(4)~(6) 輸送ロットの数算出式

$$I_i^1 = I_i^{G+1} \quad \forall i \quad \text{End Effect 除去式} \quad (7)$$

$$s_i \geq 0 \quad \forall i \quad (8)$$

$$s_i, e_i^t \text{ は整数 } \quad \forall i, t \quad (9)$$

$$t = 1 \sim (G+1) \quad \text{計画期間の定義} \quad (10)$$

(3)式は t 日末の在庫数が前日末の在庫と実/空輸送による増減の和であり、常に実需要を満たす量であるという制約である。実輸送で在庫数が増える(減る)場合 V_i は正(負)の値となるが、空輸送で増える(減る)場合(4)~(6)式で算出される e_i^t は負(正)の値となる。

(4)式右辺では、空輸送を行わないと t 日末に各拠点で余剰/不足するパレット数を輸送ロットの数として示している。不足拠点で右辺は負となり e_i^t はその値を満たす整数値となる。余剰拠点では、(5)式右辺で示す実輸送後に保有する在庫数か t 日末の余剰量か、どちらか少ない方を輸送ロットで割ったものが、余剰拠点での空輸送可能な輸送ロットの数となり e_i^t はその値を満たす整数値となる。なお、不足拠点でも(5)式は常に正であるため、不足拠点の e_i^t は常に(4)式の値が採用される。

(6)式は輸送ロットの数の合計は0となる制約である。品切れ不許可としているため輸送ロットの数の合計は0以上である必要がある。また、この合計が1以上である場合、ある拠点でパレットが空輸送もされず無駄に眠っていることになる。システムストック算出の目的は品切れの起きない最小の上積み数を求めることなので、輸送ロットの数の合計は1未満である必要がある。したがって、輸送ロットの数の合計は0となる。

4 数値実験

輸送ロット10、拠点数7点で、システムストック算出結果の一部を以下に示す。

表1においてバイラインストックは1806、システムストックは26となっている。そして各拠点の在庫数は、常に実需要以上であり品切れを起こしていない。また、1日目と11日目の在庫数が同じ値となって End Effects が除去されている。

表2において、各拠点での輸送ロットの数が算出されているが、その合計は常に0となっている。

表1: t 日末の各拠点の在庫数

需要	189	217	252	147	322	273	217
地点	A	B	C	D	E	F	G
P_i	189	252	252	147	441	273	252
s_i	6	5	8	0	1	6	0
0	195	257	260	147	442	279	252
1	223	222	288	189	323	370	217
2	221	217	286	191	324	371	222
3	219	222	284	193	325	372	217
4	217	217	282	195	326	373	222
5	225	222	280	197	327	364	217
6	223	217	288	189	328	365	222
7	221	222	286	191	329	366	217
8	219	217	284	193	330	367	222
9	217	222	282	195	331	368	217
10	225	217	280	197	322	369	222
11	223	222	288	189	323	370	217

表2: t 日の各拠点の輸送ロットの数

地点	A	B	C	D	E	F	G	合計
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	-3	3	4	-12	9	-4	0
3	3	-4	3	4	-12	9	-3	0
4	3	-3	3	4	-12	9	-4	0
5	2	-4	3	4	-12	10	-3	0
6	3	-3	2	5	-12	9	-4	0
7	3	-4	3	4	-12	9	-3	0
8	3	-3	3	4	-12	9	-4	0
9	3	-4	3	4	-12	9	-3	0
10	2	-3	3	4	-11	9	-4	0
11	3	-4	2	5	-12	9	-3	0

5 今後の課題

確率ストックの算出が今後の課題である。

参考文献

- [1] R. K. Cheung and C. Chen, A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Method for Dynamic Empty Container Allocation Problem, *Transp. Sci.*, Vol.32, No.2, pp.142-162, 1998
- [2] Y. Du and R. Hall, Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-terminal Transportation Network, *Management Sci.*, Vol.43, No.2, 1997
- [3] G. J. Beaujon and M. A. Turnquist, A Model for Fleet Sizing and Vehicle Allocation, *Transp. Sci.*, Vol.25, No.1, pp.19-45, 1991
- [4] R. Grinold, Model Building Techniques for the Correction of End Effects in Multistage Convex Programs, *Opns. Res.* Vol.31, pp.407-431, 1983