

在庫を考慮した輸送問題に関する研究

01404650 法政大学工学部 西岡靖之 NISHIOKA Yasuyuki
法政大学工学部 * 茂木美恵子 MOKI Mieko

1 はじめに

現在、SCM（サプライチェーンマネジメント）では、複数の生産拠点どこで生産し、どの需要拠点にいつ輸送するかがきわめて重要な意思決定事項となっている。オペレーションズ・リサーチの分野で一般的に知られた輸送問題は、複数の生産拠点から複数の需要拠点までの最適な輸送量を計算する問題であるが、そこには在庫の概念がなく、SCMの問題にそのまま適用するには修正が必要である。

そこで本稿では、従来の輸送問題に在庫の概念を加えて拡張した在庫輸送問題 (ITP : Inventory and Transportation Problem) のモデルを提案し、現実のSCMの拠点間輸送問題への適用可能性について議論する。ここで提案する ITP モデルは、輸送コストに加えて在庫コストを評価関数に加えているところに最大の特徴がある。以下2では、本稿で用いる記号について説明し、従来の輸送問題のモデルと提案する ITP モデルをそれぞれ3と4で説明する。続く5では、提案する ITP モデルの現実問題への適用可能性を数値実験によって確認し、6で結論を述べる。

2 記号

以下に本稿で使用する記号をあらかじめ整理しておく。以下の記号の中で、 x 、 δ 、 u 、 v が変数となる。

- i : 生産拠点に対するインデックス
- j : 需要拠点に対するインデックス
- t : 時刻(期)に対するインデックス
- m : 生産拠点数
- n : 需要拠点数
- $c_{i,j}$: 輸送コスト(変動費)
- $c_{i,j}^R$: 輸送コスト(固定費)
- c_i^P : 生産拠点の在庫コスト
- c_j^D : 需要拠点の在庫コスト
- $d_{i,j}$: 輸送時間
- $M_{i,j}$: 最大輸送量
- a_i^t : 生産量
- b_j^t : 需要量
- $x_{i,j}^t$: 輸送量(生産拠点)

- $\delta_{i,j}^t$: 輸送の有無 ($\in \{0, 1\}$)
- u_i^t : 生産拠点在庫
- v_j^t : 需要拠点在庫

3 輸送問題

まず、従来の輸送問題のモデルを以下に示す。このモデルは、複数の生産拠点と複数の需要拠点を扱っているが、時間的の要素を含んでおらず、“いつ”輸送するかという意思決定を扱うことができない。

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} \leq a_i, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{i,j} \geq b_j, \quad \forall j \quad (3)$$

$$x_{i,j} \geq 0 \quad (4)$$

本稿では、このモデルをベースとして、時間軸を考慮し、さらに各期における在庫の概念を組み込んだモデルに拡張する。

4 ITP モデル

提案する ITP (在庫輸送問題) モデルでは、各生産拠点での生産計画と各需要拠点での需要予測が入力データとなる。そして、拠点間の輸送は、トラック等の手段を想定し、一回に輸送できる最大量とその際のコストを各拠点間で設定できる。したがって、在庫量をある程度考慮した上で、できるだけまとめて輸送を行うことで輸送費を削減するモデルとなっている。以下では、まず、評価関数(5)式の第一項が輸送コストを、第2項と第3項がそれぞれ生産拠点と需要拠点での在庫管理費を表す。輸送コストは変動費でなく固定費、つまりトラックの許容量内ならどれだけ運んでも同一コストとしている。(6)式と(7)式は、期をまたがる在庫

表 1: 輸送コストと輸送時間

生産\需要	福岡	大阪	東京	仙台
熊本	2,000	3,200	4,100	5,000
	0	0	1	2
新潟	5,300	4,200	2,800	3,100
	1	1	0	0
苫小牧	5,300	4,400	2,500	2,700
	2	2	1	0

(上段:コスト、下段:時間)

量の更新式であり、(10) 式、(11) 式によって各期末での在庫量が正でなければならない。(8) 式は輸送量の制約であり、(9) 式は輸送量を固定費とするための制約である。

$$\min \sum_t \sum_i \sum_j c_{i,j}^R \delta_{i,j}^t + \sum_t \sum_i c_i^P u_i^t + \sum_t \sum_j c_j^D v_j^t \quad (5)$$

s.t.

$$u_i^t = u_i^{t-1} + a_i^t - \sum_j x_{i,j}^t, \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$v_j^t = v_j^{t-1} - b_j^t + \sum_i x_{i,j}^t, \quad \forall j, t \quad (7)$$

$$M_{i,j} \delta_{i,j}^t \geq x_{i,j}^t, \quad \forall i, j, t \quad (8)$$

$$x_{i,j}^t \geq 0, \quad \forall i, j, t \quad (9)$$

$$u_i^t \geq 0, \quad \forall i, t \quad (10)$$

$$v_j^t \geq 0, \quad \forall j, t \quad (11)$$

5 数値例

前章で示した ITP モデルの実用性を検証するための予備実験として、生産拠点数 3、需要拠点数 4、期間数 7 とした数値例を作成し、市販の数値計画用ソフトウェア NUOPT を用いて計算を行った。生産拠点の一日の生産数合計および需要拠点の需要数合計は、ともに平均 1300 個、標準偏差 200 個として乱数によりデータを生成した。(ただし、需要拠点の 1 期、2 期および生産拠点の 7 期、6 期は、それぞれ平均の 0 倍、0.5 倍、生産拠点のロットサイズは 10) また、各拠点の初期在庫量 u_i^0, v_j^0 をそれぞれ 100 個、500 個とし、一回の輸送可能量は 500 個とした。さらに、生産拠点での在庫管理費を 2 円/個・期、需要拠点での在庫管理費を 3 円/個・期とし、拠点間輸送費、輸送時間を表 1 により与えた。

表 2: 出力された輸送計画

生産\期		1	2	3	4	5	6	7
熊本	F	-	-	-	1	1	-	1
	O	-	-	1	-	1	-	-
	T	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	1	-	-	-
新潟	F	-	-	-	-	-	-	-
	O	-	-	-	-	-	-	-
	T	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	-	1	-	-
苫小牧	F	-	-	-	-	-	-	-
	O	-	-	-	1	-	-	-
	T	-	-	1	1	-	1	-
	S	-	1	-	-	-	-	-

(福岡:F、大阪:O、東京:T、仙台:S)

計算結果は、PentiumIII プロセッサ 1GHz で主記憶 512MByte の環境で、約 16300 秒で得られた。結果の一例を表 2 に示す。この出力例では、輸送コストが 35100 円、生産拠点と需要拠点での在庫管理コストがそれぞれ 36202 円と 16815 円となり、すべての需要を満たすように合計 12 回の輸送が行われている。

6 まとめ

本稿では、従来の輸送問題を SCM において利用可能なように拡張した ITP モデルを提案し、その現実問題への適用について議論した。提案したモデルは、複数の生産拠点と複数の需要拠点間の輸送計画を、まとめによる輸送効率や在庫管理コストなども考慮して最適な計画を求めることができる。

筆者らが現在検討している実際の拠点間輸送問題では、生産拠点数、需要拠点数ともに数倍多くなっており、どこまでこの提案したモデルが有効かについて、今後の研究の中で明らかにしていきたい。また、現実には納期ちょうどに到着しなければならないという制約や、積載率の下限の制約など、本モデルに追加しなければならない制約の検討も必要となるだろう。

参考文献

- [1] 黒田充, 他: 生産管理, 朝倉書店, pp.41-50, (1989).
- [2] Roverta S. Russell and Bernard W. Taylor III: Operations Management, Prentice Hall, pp.415-433, (1998).