# 中間拠点の製造計画を加味した在庫輸送問題の定式化

02602450　法政大学工学部　＊　茂木 美恵子　MOKI　Mieko
01404650　法政大学工学部　　西岡 靖之　NISHIOKA　Yasuyuki

## 1　はじめに

SCM では、複数の生産拠点から複数の需要拠点にいつどれだけ輸送するかは重要な意思決定事項である。従来の研究で、オペレーションズ・リサーチの分野における輸送問題に在庫の概念を加え拡張した在庫輸送問題を提案し、複数の生産拠点と複数の需要拠点における拠点間輸送で提案したモデルの現実問題への適用可能性を確認した。しかし、現実には輸送間に製造工程を要す場合があり、中間拠点を加味した在庫輸送問題の応用を検討する必要がある。そこで、部品工場から製造工場を経て需要拠点まで到達する拠点間輸送に対し、それぞれの輸送計画と製造工場における製造計画を同時に与えるモデルを提案し、現実の拠点間輸送問題への適用可能性を議論する。

## 2　在庫輸送問題モデル

在庫輸送問題モデルとは生産拠点から需要拠点への輸送において、輸送を固定費とし、各拠点における在庫量の変化を加味した在庫コストと輸送コストを最小とするモデルで、混合整数計画問題に定式化できる。

$$\min \quad \sum_t\sum_i\sum_j c^R_{i,j}\delta^t_{i,j} + \sum_t\sum_i c^P_i u^t_i + \sum_t\sum_j c^D_j v^t_j \qquad (1)$$

$$s.t. \quad u^t_i = u^{t-1}_i + a^t_i - \sum_j x^t_{i,j} \quad ,\forall i,t \qquad (2)$$

$$v^t_j = v^{t-1}_j - b^t_j + \sum_j x^{t-d_{ij}}_{i,j} \quad ,\forall j,t \qquad (3)$$

$$x^t_{i,j} \le x^{\max}_{i,j} \quad ,\forall i,j,t \qquad (4)$$

$$\delta^t_{i,j} M \ge x^t_{i,j} \quad ,\forall i,j,t \qquad (5)$$

$$u^t_i \ge 0 \ ,\forall i,t \ , \ v^t_j \ge 0 \quad ,\forall j,t \qquad (6)$$

本稿では、このモデルをベースに、中間拠点で製造を行う場合の拠点間輸送問題へ応用する。

## 3　対象とする問題

複数の部品工場から複数の製造工場へ輸送を行い、そこで製造工程を経て複数の需要拠点へ輸送されるという二段階の輸送を対象とする。中間拠点である組立工場においては、その製造計画も加味し総輸送コストと総在庫コストを最小とする輸送計画と製造計画を与える統合モデルを提案する。ここで提案するモデルは、製品の部品構成を考慮した在庫管理を行うことも特徴として挙げられる。

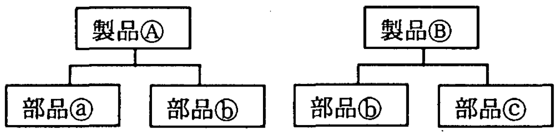


図１：　製品構成図

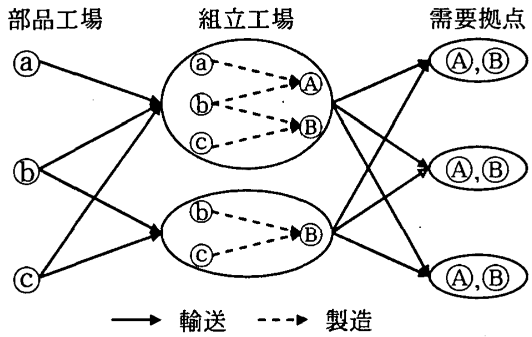


図２：　輸送・製造ネットワーク

## 4　定式化

提案するモデルでは、各部品工場での部品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する。また、製造工程においては製造にかかる費用と負荷を設定し各期における最大負荷量を設定して平準化を図る。従って、

在庫をある適度考慮した上で、できるだけまとめて輸送と製造を行うことで輸送コストと製造コストを削減するモデルになっている。

min

$$
\begin{aligned}
&\sum_{i}\sum_{j}\sum_{t} c^{P}_{i,j}\delta^{t}_{i,j} + \sum_{q}\sum_{j}\sum_{t} c^{A}_{q,j}\delta^{t}_{q,j} \\
&+ \sum_{j}\sum_{k}\sum_{t} c^{D}_{j,k}\delta^{t}_{j,k} + \sum_{p}\sum_{i}\sum_{t} c^{S}_{p,i}u^{t}_{p,i} \\
&+ \sum_{p}\sum_{j}\sum_{t} c^{AB}_{p,j}w^{t}_{p,j} + \sum_{q}\sum_{j}\sum_{t} c^{AA}_{q,j}w^{t}_{q,j} \\
&+ \sum_{q}\sum_{k}\sum_{t} c^{M}_{q,k}v^{t}_{q,k}
\end{aligned}
\tag{7}
$$

$s.t.$

$$u^{t}_{p,i} = u^{t-1}_{p,i} + d^{t}_{p,i} - \sum_{j} x^{t}_{p,i,j} \quad ,\forall p,i,t \tag{8}$$

$$w^{t}_{p,j} = w^{t-1}_{p,j} + \sum_{i} x^{t-d_{i,j}}_{p,i,j} - \sum_{q} \phi_{p,q} s^{t}_{p,q,j} \quad ,\forall p,j,t \tag{9}$$

$$w^{t}_{q,j} = w^{t-1}_{q,j} + S^{t}_{q,j} - \sum_{k} y^{t}_{q,j,k} \quad ,\forall q,j,t \tag{10}$$

$$S^{t}_{q,j} = \sum_{p} \phi_{p,q} s^{t-d_{q,j}}_{p,q,j} / \sum_{p} \phi_{p,q} \quad ,\forall q,j,t \tag{11}$$

$$v^{t}_{q,k} = v^{t-1}_{q,k} - b^{t}_{q,k} + \sum_{j} y^{t-d_{j,k}}_{q,j,k} \quad ,\forall q,k,t \tag{12}$$

$$0 \le \sum_{p} x^{t}_{p,i,j} \le \delta^{t}_{i,k} x^{\max}_{i,k} \quad ,\forall i,j.,t \tag{13}$$

$$0 \le \sum_{q} y^{t}_{q,j,k} \le \delta^{t}_{j,k} y^{\max}_{j,k} \quad ,\forall j,k,t \tag{14}$$

$$0 \le \sum_{p} s^{t}_{p,q,j} \le \delta^{t}_{q,j} M \quad ,\forall q,j,t \tag{15}$$

$$\sum_{q} \sum_{f=t}^{t+d_{q,j}} r_{q,j} S^{t}_{q,j} \le L^{\max}_{q,j} \quad ,\forall q,j \tag{16}$$

$$\phi_{p,q} \sum_{e} \phi_{e,q} s^{t-d_{q,j}}_{e,q,j} / \sum_{e} \phi_{e,q} = s^{t}_{p,q,j} ,\forall p,q,j,t \tag{17}$$

(7)式の第一・二項目が部品・組立工場間と組立・需要拠点間の輸送コスト、第三項目が製造コストを表し、第四項目が部品工場在庫管理コスト、第五・六項目が製造工場部品・製品在庫管理コスト、第七項目が需要拠点在庫管理コストを表す。(8)、(9)、(10)、(12)式は期を跨る在庫量の更新式であり、(11)式は部品から製品となる製造量を表す。(13)、(14)、(15)式は輸送費と製造費が固定費であることを示し、(16)式は製造の負荷制約を示す。(17)式は製品の部品構成の制約で、$\phi_{p,q}$ の $p$ と $q$ はそれぞれ部品と製品のインデックスで、組立製造に必要な部品情報を示している。また、各拠点の各期の在庫量については常に正である。

## 5 数値例

部品工場数 3、組立工場数 2、需要拠点数 3、期間数 7 とし、部品数 3、製品数 2 で数値例を作成し計算を行った。それぞれの輸送費と輸送日数、組立費と組立日数、組立にかかる負荷、製品の部品情報は所与とした。製品の部品情報は図 1 に従う。そして図 2 に示す通り、一つの製造工場では製品 A・B を作り、一つは製品 B のみを作るものとした。製造工場では一日に 8 時間稼動可能とし、負荷制約とした。以下に、製造に関するデータと、結果として得られた製造計画を示す。

表 1：製造コストと製造日数と製造負荷

| 製品＼製造 | 島根 | 福島 |
|---|---|---|
| 製品 A | 4000， 1，45 | －，－，－ |
| 製品 B | 5000， 1，60 | 3000， 1，57 |

(円,日,秒)

表 2：組立工場における製造計画

| 製造工場・製品＼期 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 島根 | 製品 A | 400 | | 640 | | 640 | | |
| | 製品 B | | 200 | | 464 | | | |
| 福島 | 製品 B | | 392 | | 500 | | 500 | |

数理計画ソルバーILOG を用い、PentiumⅣプロセッサ 1.6GHz で主記憶 768MGB の環境で、3.20 秒で結果が得られた。この出力例では、総コストが 282,125 円となり、すべての需要を満たして輸送と製造が行われている。

## 6 まとめ

本稿で提案したモデルは、複数の部品工場から複数の組立工場間の輸送と複数の組立工場から複数の需要拠点までの輸送を、組立工場における製造計画を加味した上で、最適な輸送計画を与えることを示した。今後は、拠点が増えた場合でも対応可能な現実的な解法を提案していきたい。

## 参考文献

[1] 西岡靖之，茂木美恵子：在庫を考慮した輸送問題に関する研究，日本 OR 学会 2001 年度 春季研究発表会 アブストラクト集，pp.192-193