

安全在庫を考慮したサプライ・チェーン・ネットワーク最適化モデル

02991970 東京商船大学 *呂 国勇 RO Kokuyu
01108010 東京商船大学 久保幹雄 KUBO Mikio

1 はじめに

サプライ・チェーン・ネットワーク (SCN) 最適化モデル (SCNOM) は, 原料の供給点から需要点 (顧客) までの物 (および情報) の流れを数理的に最適化を行うことを目的としている。

一般的に SCNOM を構築する際には, 多品種多段階のモデルが要請されている。従来の SCNOM では, 実務上重要な安全在庫を陽的に考慮されていなかった。そこで本研究は SCNOM における安全在庫の計算方法を提案して, 多段階多品種のストラテジックモデルを構築した。そして単体分枝限定法を用いて問題の厳密解を求めてみた。

2 従来の研究

従来は顧客需要の不確実性に備える安全在庫を考慮する SCNOM が少ない。安全在庫コストを明確的に配慮するモデルは Daskin ら [3] の施設配置モデルがある。そのモデルは, 在庫のリスクプール効果を利用し, 小売店の需要を満たしながら, 費用を最小化になるような配送センター (DC) の配置と製品の在庫量を決定するモデルである。しかし, このモデルにある安全在庫費用の計算方法は単一品種で二段階の SCN に限られている。

3 本研究のモデル

3.1 安全在庫計算式

需要が不確実性を持つ場合では, リードタイム内の需要変動に備える在庫が安全在庫だと言われている。小売店 (N 個, 添え字 i) の需要は独立正規分布 (μ_i, σ_i^2) に従うと仮定する。 N 個の小売店の需要をすべて一つの DC で処理すると仮定すると, DC における製品の通過量も正規分布 (μ_j, σ_j^2) に従う。その平均

と分散は:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^N \mu_i, \quad \sigma_j^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2$$

サービスレベル (品切れ起こらない確率) が α_j , これに対する安全在庫係数が Z_{α_j} , DC (添え字 j) のリードタイムが L_j と表すと, DC における安全在庫 SS_j は以下ようになる:

$$SS_j = Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \sigma_j^2} = Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \sum_{i=1}^N \sigma_i^2}$$

さらに小売店需要の分散対平均率 $\frac{\sigma_i^2}{\mu_i}$ が一定であると仮定する。これを γ とすると, DC の安全在庫 SS_j は以下のように変形する:

$$SS_j = Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \gamma \sum_{i=1}^N \mu_i} = Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \gamma \mu_j} \quad (1)$$

3.2 SCNOM における安全在庫計算式

N : ノードの集合。サプライヤー, 工場, 配送センター, 顧客などを指す。

ARC : アークの集合。ノードペア (i, j) で表す。工場の場合は生産ラインがアークとしてみて, 生産アークと呼ぶ。

$PROD$: 製品の集合。

L_{ij} : アーク $(i, j) \in ARC$ 上のリードタイム。

x_{ij}^p 変数 : アーク $(i, j) \in ARC$ 上の製品 $p \in PROD$ のフロー量。

サプライ・チェーン・ネットワークにおいて, 各ノード $j \in N$ の製品 $p \in PROD$ の通過量 μ_j^p はネットワー

クフロー条件により、そのノードに入る製品のフロー量と等しい。即ち：

$$\mu_j^p = \sum_{(i,j) \in \text{ARC}} x_{ij}^p \quad \forall j \in N, p \in \text{PROD} \quad (2)$$

ノード j と繋がる上流アーク (i, j) のリードタイムが異なっているため、そのうち最も長いものをノード j のリードタイムとする。即ち、 $L_j = \max\{L_{ij} : (i, j) \in \text{ARC}\}$ 。故に、SCNOMにおける安全在庫計算式は以下のようになる：

$$\begin{aligned} SS_j^p &= Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \gamma \mu_j^p} \\ &= Z_{\alpha_j} \sqrt{L_j \gamma} \sqrt{\sum_{(i,j) \in \text{ARC}} x_{ij}^p} \\ &\quad \forall j \in N, p \in \text{PROD} \end{aligned} \quad (3)$$

3.3 ストラテジック SCNOM

入力パラメータ：

変動費用：単位調達費用，単位生産費用，単位輸配送（関税含む）費用，単位在庫費用。

固定費用：維持費用，新規開設費用，閉鎖費用

変動費用はフロー量の関数である。在庫費用を計算する際に、サイクル在庫費用と安全在庫費用に分ける必要がある。安全在庫費用は式 (3) によって、フロー量の凹関数である。その他の費用はフロー量の線形関数となる。

変数はフロー量を表す実数変数とノードを使用するかどうかを表すノード状態 0-1 変数がある。

目的関数：最小化

$$\begin{aligned} \text{SCN 総費用} &= \text{調達費用} + \text{生産費用} + \\ &\quad \text{配送費用} + \text{在庫費用} + \\ &\quad \text{維持費用} + \text{新規開設費用} + \text{閉鎖費用} \end{aligned}$$

制約条件：

1. **需要満足条件** 顧客の平均需要をすべて満足する。需要変動の分は一定のサービスレベルで安全在庫がカバーする。
2. **ネットワーク条件** ノードに入る製品がそこから出ることを表す。工場の場合は、製品をアセンブルするので、製品の部品展開図を用いて計算する。

3. **容量上下限** ノードの生産能力，保管能力が上下限がある。この条件がフロー量実数変数とノード状態 0-1 変数をつながる。即ち、ノードが使われないとき、そのノードを通過する製品量がゼロとならなければならない。

3.4 解法について

本モデルの在庫費用は変数の非減少凹費用問題 ($F(x) = f(x) + \sqrt{x}$) とである。厳密解を求めるには、単体分枝限定アルゴリズムが有効である。このアルゴリズムでは問題の実行可能領域を一つの単体とみなし、それを複数の単体に分割し、各子問題を線形緩和によって解く。その結果を調べて、最適解が含まない単体を削除する。これを再帰的に繰り返し、最適解を求める。

詳しいアルゴリズムと実験結果は、当日に発表させていただきます。

4 まとめと今後の課題

サプライ・チェーン・ネットワークモデルを構築する際には、一定のサービスレベルを満たして需要の変動に備える安全在庫を考えなければならない。本稿では安全在庫凹費用を考慮して、モデルを作成した。

今後の課題としては、リードタイムを考慮し、輸送モードの選択をモデルに入れることや製品価格を変数として捉えるモデル（移転価格，収益管理）を考える必要がある。

参考文献

- [1] 久保幹雄. ロジスティクス工学. 朝倉書店, 2001.
- [2] 永井秀稔, 久野誉人. 凹費用生産輸送問題に対する単体分枝限定法. 2003年度日本オペレーションズ・リサーチ学会, 春季研究発表会予稿集.
- [3] M. S. Daskin, C. R. Coullard and Z. J. Shen. An Inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithm and Computational Results. *Annals of Operations Research*, 110:83-106, 2002.
- [4] J. F. Shapiro. Approaches for integrating inventory with other supply chain decisions. *SLIM Technologies, LLC*, 2002.