

ブルウィップ効果（鞭効果）

1. 対象とするモデル

メーカーと小売店からなるシンプルなサプライチェーン・モデル（図1 基本SCモデル）を対象に小売店とメーカー、それぞれにおける需要のバラツキを比較する。

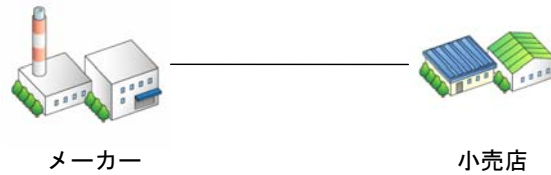


図1 基本SCモデル

2. 需要のバラツキ

メーカーにおける需要量は、小売店の発注量である。そこで、メーカーにおける需要量のバラツキ（発注量のバラツキ）について求めると次のようになる。

まず、小売店における t 期の需要量 (D_t) を（式1）で表す。

$$D_t = \mu + \varepsilon_t \text{ ----- (式1)}$$

ここで、 μ は需要の平均値で、 ε_t は t 期における変動で、平均0、標準偏差 σ の正規分布に従うとする。

次に、移動平均法を用いた t 期における需要の予測式を示す（式2）。また、このときの需要の分散を（式3）に示す。

$$\hat{d}_t = \frac{\sum_{j=1}^P D_{t-j}}{P} \text{ ----- (式2)}$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = \frac{\sum_{j=1}^P (D_{t-j} - \hat{d}_t)^2}{P} \text{ ----- (式3)}$$

これより、 t 期に必要な在庫量は（式4）によって求めることができる。

$$y_t = L \cdot \hat{d}_t + k \cdot \sqrt{L} \cdot \hat{\sigma}_t \text{ ----- (式4)}$$

また、t 期における発注量 (q_t) を、t 期の需要量に必要な在庫量の変化量を加えた値とすると、(式 5) で表せる。

$$q_t = D_t + y_{t+1} - y_t \text{ ----- (式 5)}$$

これより、(式 5) に (式 1) から (式 4) までを代入して、整理したものを (式 6) に示す。

$$q_t = \left(1 + \frac{L}{P}\right) D_t - \frac{L}{P} D_{t-P} + k\sqrt{L}(\hat{\sigma}_{t+1} - \hat{\sigma}_t) \text{ ----- (式 6)}$$

以上の理論式より、小売店における顧客需要の分散と小売店からメーカーへ発注する際の発注量の分散の関係は、(式 7) のとおりとなる。

$$\frac{Var[q_t]}{Var[D_t]} \geq 1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2} \text{ ----- (式 7)}$$

これより、次のことが分る。

- ・リードタイムが増加すると、発注量の分散は増大する。
- ・リードタイムが 0 のときは、発注量と需要のバラツキは等しい。
- ・移動平均法におけるパラメータ P を増やすと、発注量の分散は減少する。

3. 多段階モデルにおける需要のバラツキ

次に、図 1 に示す基本 SC モデルを拡張した図 2 に示す多段階のサプライチェーン・モデルの場合について理論式を示す。

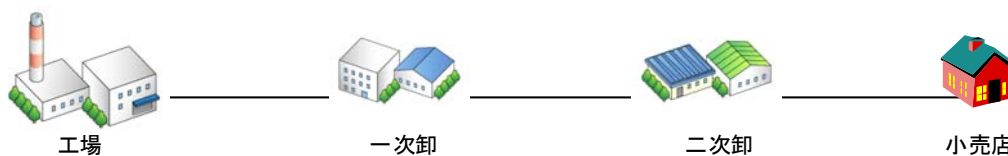


図 2 多段階モデル

顧客需要の情報がサプライチェーン全体において共有されている場合の顧客需要の分散と川上側 (i 段階) における発注量の分散との関係を (式 8) に示す。

$$\frac{\text{Var}[q_t^i]}{\text{Var}[D_t]} \geq 1 + \frac{2 \sum_{k=1}^i L_k}{P} + \frac{2 \left(\sum_{k=1}^i L_k \right)^2}{P^2} \quad \text{--- (式 8)}$$

また、情報が共有されていない場合の発注量の分散と顧客需要の分散の関係を (式 9) に示す。

$$\frac{\text{Var}[q_t^i]}{\text{Var}[D_t]} \geq \prod_{k=1}^i \left(1 + \frac{2L_k}{P} + \frac{2L_k^2}{P^2} \right) \quad \text{--- (式 9)}$$

理論式 (式 8) と (式 9) より、次のことが分る。

- ・情報が共有される場合、発注量の分散は、和の形式で増加する。
 - ・情報が共有されない場合、発注量の分散は、積の形式で急激に増加する。
 - ・従って、情報を共有する場合の方が、発注量の分散を小さくできる。
 - ・なお、理論上 (式 8) より、情報を共有する場合でも発注量の分散は増大する。
- 以上のことから情報の共有化は、需要のバラツキを小さくする在庫削減策として有効である。

4. ブルウィップ効果 (鞭効果)

サプライチェーン上の需要変動として、小売店における需要変動に比べ、川上側のセットメーカー等における需要変動が大きくなる現象が知られており、ブルウィップ効果 (鞭効果) と呼ばれている。このブルウィップ効果の原因として、次のような原因が挙げられる。

(1) 需要予測の不確定要素

小売店の店主等の意志によって、需要の予測値に修正が加えられることがある。同様なことがサプライチェーンを構成する各段階の企業において発生することにより、ブルウィップ効果を増大させる。

(2) リードタイムの存在

サプライチェーンを構成する各段階間において、リードタイムが存在するためにブルウィップ効果が生じる。

(3) バッチ発注

発注費を削減するために車単位になるまで待つて、発注することが見られる。このため川上側の企業において需要のバラツキが大きくなっている。

(4) 価格の多様性

大売出しなど、商品の価格を色々と変化させることにより、商品の販売量は大きく変化する。この変化は、発注量の変化となり、結果として、ブルウィップ効果を増大させる。

従って、上流側になるほど需要の変動が大きく、大きな安全在庫量を持つ必要があることが分る。

5. エシェロン在庫

エシェロン (echelon) とは階層を意味する。

エシェロン在庫 (echelon inventory) とは、複数階層を持つ在庫のことである。

具体的には、「製造業→卸売業→小売業」といったサプライチェーンにおいて、個々の在庫拠点の在庫ではなく、自らを含めてサプライチェーン内の川下にあるすべての在庫のことをさす。

例えば、卸売業において発注点法を用いて発注を行う場合は、このエシェロン在庫が発注点になった際、一定量発注すればよい。ちなみに、発注点は下記の (式 10) で求めることが出来る。

$$\text{発注点} = L_e \cdot \mu_{all} + k \cdot \sqrt{L_e} \cdot \sigma_{all} \text{-----} \quad (\text{式 10})$$

ここで、 L_e はエシェロンリードタイムで、製造業に発注して納品されるまでの時間に卸売業から小売業までの時間を足した時間である。そして、 μ_{all} は小売業全体の需要の平均で、 σ_{all} は小売業全体の需要の標準偏差である。