

# サプライチェーンにおけるブルウィップ効果に対する需要予測の定量評価

富山県立大学工学部電子情報工学科  
1615052 山元悠貴

指導教員：奥原浩之

## 1 はじめに

### ブルウィップ効果について

メーカーは1次サプライヤーへ発注し、2次サプライヤーは3次サプライヤーへ発注するなど、大規模かつ多段のサプライチェーンを形成している。その取引システムは、事前に「内示」と呼ばれる確定注文情報の参考値が提示される。しかし、参考情報であり、最終的に確定注文（納入指示）が提示された時には、変更されることが多く、不確実性を有しているといえる。この変動は図1のように下位のサプライヤーにいくほど大きくなる傾向にある。この現象を「ブルウィップ効果」といい、下位のサプライヤーほど在庫を多く保有する傾向にあり、サプライチェーンの非効率性をもたらす。

一方、ブルウィップ効果については、小売業などを対象に、その発生要因と解決方法についていくつかの研究が進められてきた。しかし、内示生産システムは独自の需要予測通知法と発注法を持つ。以前から、ブルウィップ効果について認識されていたが、内示生産システムを前提とした研究は十分に行われてこなかった。

ブルウィップ効果を増加・減少させる要因は多く挙げられている。しかし、一部のみの定式化、またはモデルにより解析しており部分的な見である。また、実データから直接分散を求めてブルウィップ効果を求めることもできるが、要因がわからない。そこでシミュレーターを用いてブルウィップ効果に影響を与える要因から影響度の大きい要因を探る。

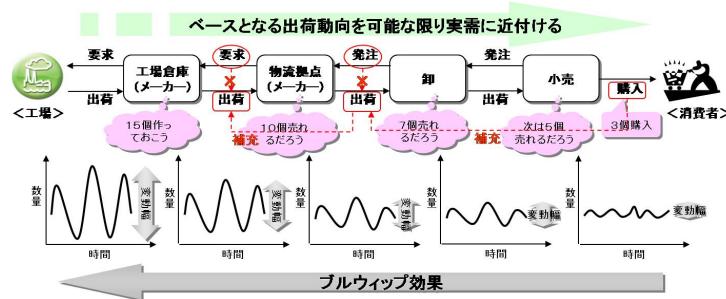


図1: ブルウィップ効果

### ブルウィップ効果

【記号】 $t$ : 期  $D_t$ :  $t$  期における需要量  $y_t$ :  $t$  期における目標在庫量  $q_t$ :  $t$  期における発注量;  $t$  期の期末に、 $t$  期の需要量 ( $D_t$ )、当期と翌期の目標在庫量レベルとの差によって決まる。すなわち、次のような。

$$q_t = y_{t+1} - y_t + D_t$$

ブルウィップ効果 B は、需要の分散に対する発注量（発注者の需要量）の分散の比で表す。

$$B = \frac{Var[q_t]}{Var[D_t]}$$

以下にブルウィップ効果に影響を与えると考えられる要因の例を示す。

### 1. 発注から納入までのリードタイム

### 2. バッチ単位の注文方式

3. サプライヤーの生産計画手法（生産計画サイクル、生産制約条件の考慮など）供給不足に対するポリシー供給のバラツキ、すなわち機械のトラブルと製品品質のバラツキ、設備能力制限による供給不足などにより、前の期で供給不足が起これば、挽回の為に今期は不足分も加味して発注する。

4. 需要の変化に対して意思決定者はオーバーアクションを行う傾向にある。

5. ロットまとめ、リードタイムを考慮した発注方式等を挙げている。
6. 週単位計画から日単位計画化
7. 上流にいくほど製造ロットが大きくなり、上流と下流のマッチングが難しくなる。
8. サプライヤー間の情報共有
9. 価格割引

今回は1と2と6についてのシミュレーションを行う。

## 2 シミュレーション

使用するシミュレーターについて説明する。まず、EXCELのシミュレーターの例を図2に示す。

内示 $\sigma$	1600 安目		150 1M								
	初期	1 月	2 火	3 水	4 木	5 金	6 月	7 火	8 水	9 木	
① 内示	-	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	16
② 基準搬入量	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	13
追加搬入量	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
搬入量合計	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	13
③ 工場使用量	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16	
④ 安全在庫目標	-	4833	2410	2408	2413	2411	2400	2409	2403	23	
⑤ 繰越在庫	4800	4368	4098	3974	3699	3380	3210	2959	2667	23	
⑥ 緊急発注量	-						0				
⑦ 判定	-	□	○	○	○	○	○	○	○	□	
⑧ 充足量	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16	
○ 平均	7 619	359	15 1385	140	242051	15	100%				
平均	1605.66	78.57									
	242.05	625.99									
BULLWHIP効果											
7.97											

図2: EXCEL版シミュレーター

内示は、需要予測値  $u_t$  を表し、一定としていて、今回は 1600 である。基準搬入量  $B_t$  は、最小レベルの工場使用量で、 $u_t - 3\sigma$  が入る。追加搬入量は、発注量  $q_t$  を表し、前日の緊急発注量と同値である ( $q_t = K_{t-1}$ )。搬入量合計  $M_t$  は、 $M_t = B_t + q_t$  である。工場使用量は、需要量  $D_t$  を表し、平均  $\mu = 1600$ 、標準偏差  $\sigma = 80$  の正規乱数で表す。式(3)が確率分布関数で  $x$  は乱数であり、図3に正規分布を表す。よって、 $D_t = \sigma x + \mu$  である。

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (E(x) = \mu, V(x) = \sigma^2)$$

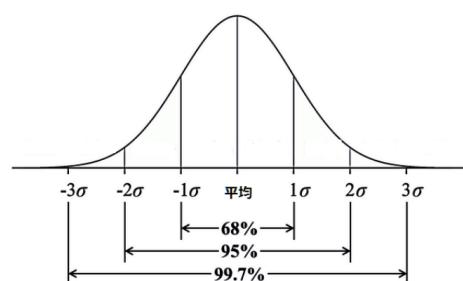


図3: 正規分布

安全在庫目標  $z_t$  は、自由に決めることができ、今回は、 $(D_t + D_{t+1} + \dots + D_{t+29}) \div 30 \times 1.5$  とする。繰越在庫  $S_t$  は、翌日に繰り越される在庫であり、自由に初期値を決めることができる。今回は、初期値を 4800 とする。また  $S_t = S_{t-1} + B_t - D_t$  である。緊急発注量  $K_t$  は、繰越在庫が安全在庫目標の半分以下の場合に値が入り、 $K_t = z_t - S_t$  である。判定は、安全在庫目標を達成できているかを表す。充足量  $J_t$  は、当日の工場使用量へ充当できる部品の数量を表す。 $J_t = D_t + S_t (S_t < 0), J_t = D_t (S_t \geq 0)$  である。平均在庫は、繰越在

庫の平均値を表す。搬入回数は、緊急発注の回数である。充足率は、充足量合計と工場使用量合計の商に 100 をかけたものである。

### シミュレーション結果

発注について、週 1 回、週 2 回、毎日、毎日リードタイム 2、毎日リードタイム 3、毎日リードタイム 2A、毎日リードタイム 3A のときのそれぞれについてのブルウィップ効果のシミュレーションを行った。それぞれ 10 回ずつを行い、その平均のブルウィップ効果を次に示す。

発注	bullwhip
週1回	1.944
週2回	1.752
毎日	1.49
毎日リードタイム2	1.509
毎日リードタイム3	1.563
毎日リードタイム2A	1.652
毎日リードタイム3A	1.73

図 4: シミュレーション結果

### 3 シミュレーション結果からの比較と考察

週 1 回、週 2 回、毎日の比較をすると、週 1 回から週 2 回、週 2 回から毎日になるとブルウィップ効果は小さくなることがわかる。また、毎日は週 7 回と同じであるので、週 1 回から週 2 回より週 2 回から毎日のほうがブルウィップ効果の減少が見られた。

毎日、毎日リードタイム 2、毎日リードタイム 3 の比較をすると、毎日はリードタイム 1 と同じであることをふまえると、リードタイムが短い方がブルウィップ効果が小さくなることがわかる。毎日と毎日リードタイム 2 は 0.02 しか差がなかったが、毎日リードタイム 2 と毎日リードタイム 3 は 0.05 以上の差があった。リードタイムを時間ごと比較したり、シミュレーションの試行回数を増やすことでリードタイムによるブルウィップ効果の影響を考察できるだろう。以上のことについて毎日、毎日リードタイム 2A、毎日リードタイム 3A の比較にも同じ事がいえる。

### シミュレーション 2

実際の発注量は 1 つ単位ではないので、発注量を 1000 単位で切り上げにしてシミュレーションした

以下に 10 回シミュレーションしたときの、ブルウィップ効果の平均値を示す

発注	1つ単位	1000単位
週1回	1.944	2.265
週2回	1.752	2.1
毎日	1.49	1.955
毎日リードタイム2	1.509	1.978
毎日リードタイム3	1.563	1.952
毎日リードタイム2A	1.652	2.062
毎日リードタイム3A	1.73	2.162

図 5: シミュレーション結果 2

### 3 シミュレーション結果 2 からの比較と考察

1000 単位にするとブルウィップ効果は大きくなった

リードタイム 2 とリードタイム 3 のブルウィップ効果が逆転したが、これはシミュレーションの回数を増やすことでリードタイム 2 の方がリードタイム 3 より小さくなると思われる。ただし、1000 単位の場合、リードタイムがブルウィップ効果における影響は少ないと考えられる。

### 4 おわりに

一般的なブルウィップ効果について説明し、先行研究での、ブルウィップ効果について述べた。そして、ブルウィップ効果の増減の要因についていくつか例を挙げた。また、実際のシミュレーションの方法について述べた。発注方式の変更による、ブルウィップ効果の比較し、発注回数を増やすことで、ブルウィップ効果を低減することができる事を確認した。また、リードタイムによるブルウィップ効果への影響を確認した。

### 参考文献

- [1] 需要予測ソフトについて  
<http://jbccon.blog72.fc2.com/blog-date-201001.html>