

# サプライチェーンにおけるブルウィップ効果に対する 需要予測の影響の定量評価

富山県立大学工学部電子・情報工学科  
1515051 横井稜

指導教員：奥原浩之

## 1 はじめに

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」[1]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[2]。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[3]。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。

また、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知見である。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どもできるが、要因がわからない。

そこで、本研究では、シミュレーションにより、どのような要因がブルウィップ効果を増加させているのか調査し、それをもとにした、統一的なモデルを作成をする。

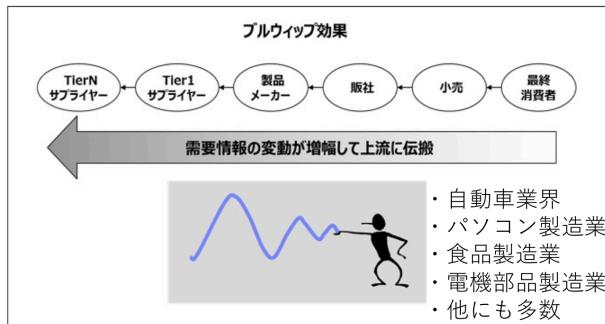


図1 ブルウィップ効果

## 2 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、次のようになる。

$$q_t = y_{t+1} - y_t + D_t \quad (1)$$

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。

$$B = \frac{Var[q_t]}{Var[D_t]} \quad (2)$$

## 3 ブルウィップ効果の増減の要因

ブルウィップ効果を増加または減少させる要因を述べる。発注から納入までのリードタイム、緊急発注量のバッチ単位の注文方式、サプライヤーの生産計画手法、意思決定者のオーバーアクション、複数の要因を考慮した発注方式、週単位計画から日単位計画、上流に行くほど製造ロットが大きい、サプライヤー間の情報共有、価格割引、内示変動のときのトレンドやばらつきの変動、安全在庫目標の決め方、判定の部分のアルゴリズムである。リードタイムは、発注の何日後に納入されるかを表す。バッチ単位は、1000 単位ずつ発注することを表す。例えば、1600 必要

なら発注量は 2000 となる。価格割引は、月によって部品が安いことがある等で起きる。

## 4 シミュレーション及び結果

現状の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	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9
①	-	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	16
②	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	13
③	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
④	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16	
⑤	-	4833	2410	2408	2413	2411	2400	2409	2403	23	
⑥	-	4800	4368	4098	3974	3699	3380	3210	2959	2667	23
⑦	-	□	○	○	○	○	○	○	○	○	
⑧	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16	
<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
平均		619	359	15	1385	140	242051	15	100%		
平均		1605.66	78.57				BULLWHIP効果	7.97			
		242.05	625.99								

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が正規分布を表す。よって、 $D_t = \sigma x + \mu$  である。

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (E(x) = \mu, V(x) = \sigma) \quad (3)$$

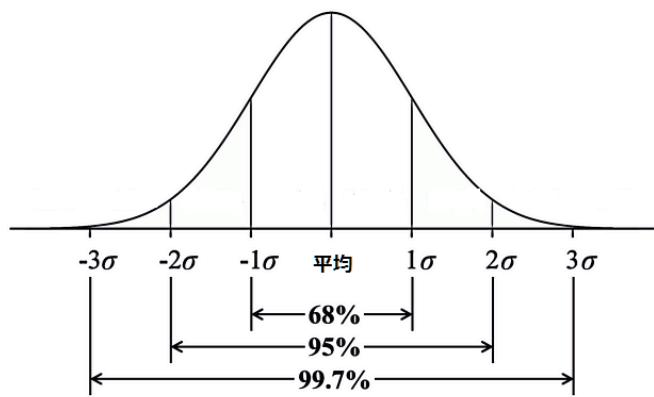


図3 正規分布

安全在庫目標  $z_t$  は、自由に決めることができ、今回は、 $(D_t + D_{t+1} + \dots + D_{t+29}) / 30 \times 1.5$  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。

シミュレーターの動作の確認のため、週一回発注方式、週二回発注方式および毎日発注方式におけるブルウィップ効果を求めた。図4、図5、図6、にその結果を示す。結果は、ブルウィップ効果を比較すると緊急発注の可能な回数の多い、毎日発注方式が最も低かった。したがって、発注可能な日を制限しないことが、ブルウィップ効果の低減に繋がると考えられる。

平均	標準偏差
1605.66	78.57
242.05	625.99

BULLWHIP効果
7.97

図4 週一回発注方式

平均	標準偏差
1600.76	78.36
237.44	554.66

BULLWHIP効果
7.08

図5 週二回発注方式

平均	標準偏差
1602.32	81.12
238.79	516.86

BULLWHIP効果
6.37

図6 毎日発注方式

また、C言語によるシミュレーターを作成中であるが、バグを取り除けていない。

## 5 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ことを確認した。今後の課題は、まず、ブルウィップ効果の指標の再定義が必要か考慮し、増減の要因をパラメータとして、様々なパターンでシミュレーションをし結果を解析する。また、有意性の確認が必要である。最終的には、前提条件の少ない統一的なモデルを作成することである。

## 参考文献

- [1] David Simchi-Levi, Xin Chen, Jullien Bramel, “The Logic of Logistics -Theory, Algorithm, and Application for Logistics and Supply Chain Management(2nd ed.)”, Springer, 2004
- [2] F. Chen, Z. Drezer, J. K. Ryan and D. Simchi-Levi, “Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information”, Management Science, Vol. 46, No. 3, pp. 436-443 (2000)
- [3] 上野信行, 内示情報と生産計画-持続可能な社会における先行需要情報の活用-, 朝倉書店 (2011)