

複合要因を考慮した内示生産システムのブルウィップ効果

富山県立大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻
1955016 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特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ともできるが、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。

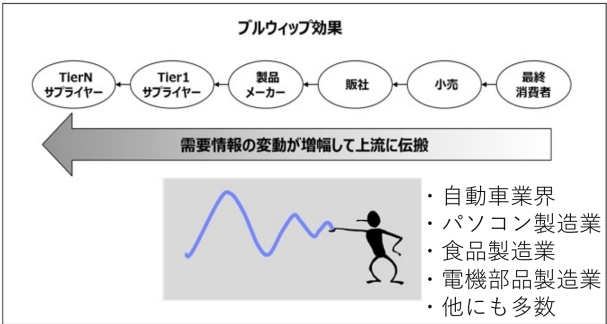


図1 ブルウィップ効果

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 直交表

直交表とは、任意の2因子（列）について、その水準のすべての組合せが同数回ずつ現れるという性質をもつ実験のための割り付け表である[4]。図2が、4因子3水準の L_9 直交表の例である。

$L_9(3^4)$

実験No.	因子列			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

図2 $L_9(3^4)$ 直交表

4 シミュレーター

4.1 EXCEL 版シミュレーター

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3に示す。

内示 σ		1600 安目		150 1M									
		80	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	1600	16
②	基準搬入量	-	1360	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	0
	搬入量合計	-	1360	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		
○	□	x	x x	平均在庫搬入回数		追加搬入在庫切れ回		充足率					
7	619	359	15	1385	140	242051	15	100%					
平均		標準偏差		BULLWHIP効果									
1605.66		78.57		7.97									
242.05		625.99											

図3 EXCEL 版シミュレーター

内示は、需要予測値 $\hat{D}_t$ を表し、今回は、一様乱数で実データが入る。基準搬入量 B_t は、最小レベルの工場使用量で、 $\hat{D}_t - 3\sigma$ 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 を表す。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 N_t は、繰越在庫の平均値を表す。よって、 $N_t = \sum_{i=1}^{1000} S_t$ である。搬入回数は、緊急発注の回数である。充足率 R_t 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。よって、 $R_t = 100 \times \frac{\sum_{t=1}^{1000} J_t}{\sum_{t=1}^{1000} D_t} [\%]$ である。目標在庫 y_t は、検討中である。 $y_t = L\hat{d}_t + z\sqrt{L}\sigma$ である。 L はリードタイム、 $\hat{d}_t$ は需要予測値、 z は安全在庫係数である。

4.2 C 言語版シミュレーター

4.1節で述べたEXCEL版シミュレーターを参考に、C言語でシミュレーターを作成した。このシミュレーターは、1000日分の取引を100

回行い、100 回分のブルウィップ効果などの平均値を出力する。追加した機能は、リードタイムなどの要因の水準を 0 と 1 にして作成した直交表を読み込み、その直交表にしたがってシミュレーションする。図 4 が入力する直交表の例である。

リードタイム						最小ロット						倍率ロット						需要のばらつき					
1	2	3	5	10	15	30	1500	2000	2500	3000	3500	4000	800	1000	1200	1500	2000	10	50	100	200	300	
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

図 4 入力する直交表の例

5 結果

図 4 の直交表を入力として C 言語シミュレーターを用いてシミュレーションした。その結果の一部が図 5、図 6、図 7 である。図 5 は、100 回実験する中の初めの 1000 日分の取引の結果である。図 6 は、実験 1 回毎の判定の数や平均在庫などの結果を表す。図 7 は、実験 1 回毎のブルウィップ効果などの結果を表す。

	A	B	C	D
1	1200	0 0 0 0	0 0 1000	0 0 0
2	1200	1170	0 1170	1208 1796 962 0 2 1208
3	1200	1170	0 1170	1211 1796 921 0 2 1211
4	1200	1170	0 1170	1196 1796 895 1500 1 1196
5	1200	1170	1500 2670	1181 1795 2384 0 3 1181
6	1200	1170	0 1170	1209 1797 2345 0 3 1209
7	1200	1170	0 1170	1179 1797 2336 0 3 1179
8	1200	1170	0 1170	1200 1799 2306 0 3 1200
9	1200	1170	0 1170	1222 1798 2254 0 3 1222
10	1200	1170	0 1170	1200 1798 2224 0 3 1200
11	1200	1170	0 1170	1208 1798 2186 0 3 1208
12	1200	1170	0 1170	1207 1797 2149 0 3 1207
13	1200	1170	0 1170	1195 1797 2124 0 3 1195
14	1200	1170	0 1170	1209 1797 2085 0 3 1209
15	1200	1170	0 1170	1186 1796 2069 0 3 1186
16	1200	1170	0 1170	1196 1797 2043 0 3 1196
17	1200	1170	0 1170	1207 1797 2006 0 3 1207

図 5 シミュレーション結果の一部（1）

	A	B	C	D
1	395 585 20 0	1632.216000	20 30000 0	1.000000
2	383 597 20 0	1626.987000	20 30000 0	1.000000
3	385 595 20 0	1620.748000	20 30000 0	1.000000
4	383 597 20 0	1615.721000	20 30000 0	1.000000
5	387 593 20 0	1626.418000	20 30000 0	1.000000
6	369 611 20 0	1614.478000	20 30000 0	1.000000
7	394 586 20 0	1633.610000	20 30000 0	1.000000
8	390 590 20 0	1629.659000	20 30000 0	1.000000
9	397 583 20 0	1633.119000	20 30000 0	1.000000
10	379 601 20 0	1618.253000	20 30000 0	1.000000
11	385 595 20 0	1623.909000	20 30000 0	1.000000
12	398 582 20 0	1634.973000	20 30000 0	1.000000
13	404 576 20 0	1633.907000	20 30000 0	1.000000
14	392 588 20 0	1624.937000	20 30000 0	1.000000
15	388 592 20 0	1614.948000	20 30000 0	1.000000
16	392 588 20 0	1628.990000	20 30000 0	1.000000
17	383 597 20 0	1617.575000	20 30000 0	1.000000
18	386 594 20 0	1622.131000	20 30000 0	1.000000

図 6 シミュレーション結果の一部（2）

	A	B	C	D	E
1	1199.475000	30.000000	110.845375	44100.000000	19.946215
2	1199.597000	30.000000	102.890591	44100.000000	20.702913
3	1199.551000	30.000000	98.655399	44100.000000	21.142623
4	1198.683000	30.000000	108.294511	44100.000000	20.179764
5	1199.702000	30.000000	94.815196	44100.000000	21.566532
6	1199.926000	30.000000	104.484524	44100.000000	20.544393
7	1199.776000	30.000000	100.341824	44100.000000	20.964200
8	1199.804000	30.000000	95.835584	44100.000000	21.451413
9	1199.467000	30.000000	96.578911	44100.000000	21.368702
10	1199.756000	30.000000	99.904464	44100.000000	21.010038
11	1199.575000	30.000000	102.476375	44100.000000	20.744712
12	1199.369000	30.000000	99.780839	44100.000000	21.023050
13	1199.315000	30.000000	103.479775	44100.000000	20.643891
14	1199.658000	30.000000	94.803036	44100.000000	21.567915
15	1199.189000	30.000000	102.227279	44100.000000	20.769971
16	1199.397000	30.000000	89.649391	44100.000000	22.179187
17	1198.975000	30.000000	97.906375	44100.000000	21.223344
18	1199.704000	30.000000	100.212384	44100.000000	20.977735

図 7 シミュレーション結果の一部（3）

また、このシミュレーターをラズパイクラス上で並列処理を行った。その時の、並列化に用いる台数の違いによる処理時間の変化は図 8 のようになった。この結果から、台数を増やすほど処理時間が短くなっていることから、並列化できていることがわかる。

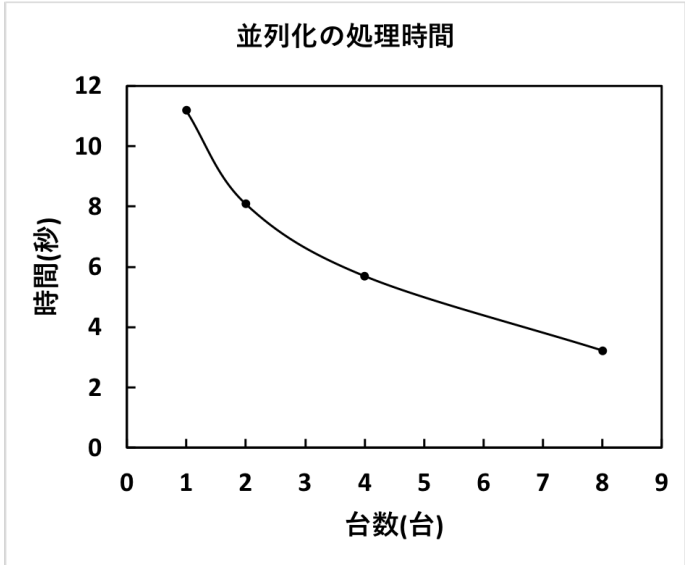


図 8 並列化に用いる台数の変化による処理時間の変化

6 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。C 言語版シミュレーターを作成した。今後の課題は、直交表を自動で作成し、要因を追加し、新しい出力結果を追加することである。

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)
- [4] (株) 日科技研：直交表とは（実験計画法） | 製品案内 - 日本科学技術研修所, <https://www.i-juse.co.jp/statistics/product/>