



はじめに

ブルウィップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

## ブルウィップ効果の要因

横井 稜

2018年12月7日  
富山県立大学 情報基盤工学講座

December 7, 2018



# はじめに

## 発表の流れ

- I はじめに
- II ブルウイップ効果とその要因
- III シミュレーション及び結果
- IV おわりに

## まえがき

- 1 サプライチェーンには、ブルウイップ効果と呼ばれるものがあり悪影響を及ぼす。
- 2 また、ブルウイップ効果を増加・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イップ効果を求めることもできるが、要因がわからない。
- 3 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イ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。
- 4 また、渋滞学と関連があるか従来モデルと提案モデルを比較する。



# サプライチェーンとブルウイップ効果

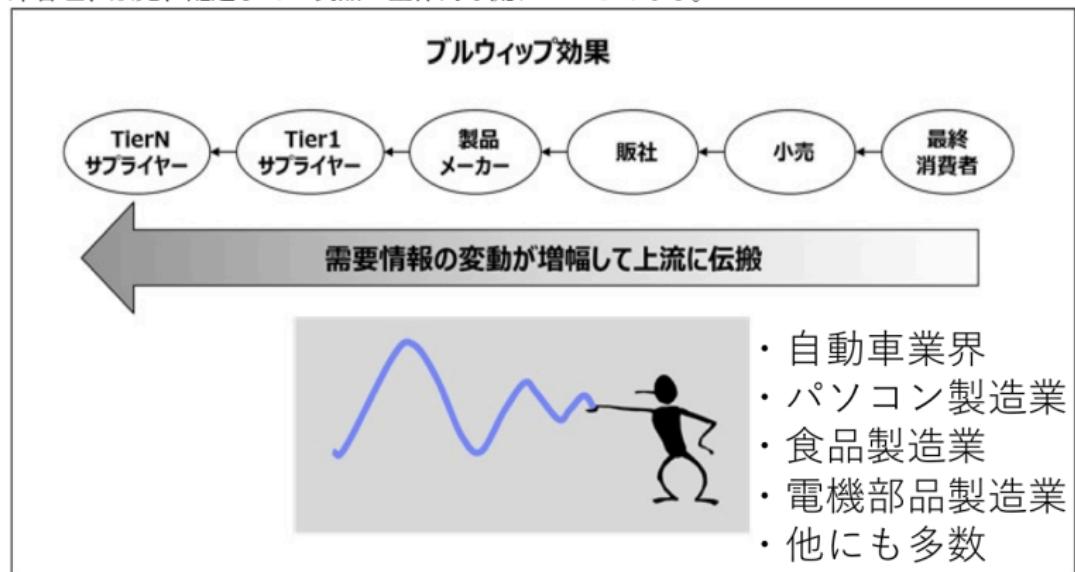
サプライチェーンとは、企業の経営・管理で使用する用語で、原材料・部品の調達から、製造、在庫管理、販売、配送までの製品の全体的な流れのことである。

はじめに

ブルウイップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに





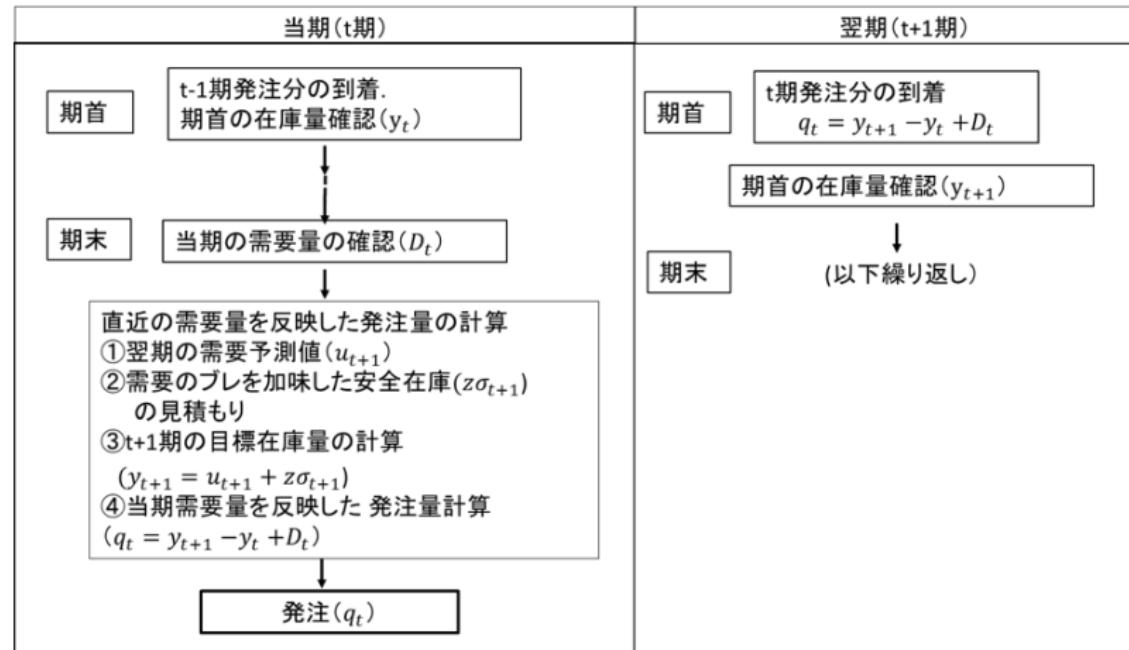
# 小売業の発注業務

はじめに

ブルウップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに





# 小売業のブルウィップ効果

はじめに

ブルウィップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

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。

$t$  期,  $t+1$  期における目標在庫量  $y_t = u_t + z\sigma_t$  から、発注量  $q_t$  を求めると、

$$q_t = u_{t+1} + z\sigma_{t+1} - (u_t + z\sigma_t) + D_t \text{ となる。}$$

ここで、 $z$  は安全在庫係数で欠品率の許容範囲を規定する係数である。

先行研究では、 $D_t$  の挙動については、平均を表すパラメータ  $d$ , 前期の需要量との相関を表すパラメータ  $\rho$ , ならびに  $t$  期における需要予測値の誤差（プレ）を表す  $\varepsilon_t$  を用いて、自己回帰型の式により規定されると考える。

また、 $u_t$  は  $t$  期の需要予測値であり、過去の需要の履歴をもとに算出する。 $L$  は、リードタイムであり、 $p$  期の移動平均法を用いた場合は、 $t$  期の需要予測値は、下図のようになる。

ブルウィップ効果	自己回帰型の式
$q_t = y_{t+1} - y_t + D_t \quad t:\text{期 } D_t:t\text{期における需要量}$ $B = \frac{Var[q_t]}{Var[D_t]} \quad y_t:t\text{期における目標在庫量}$ $q_t:t\text{期における発注量}$	$D_t = d + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t \quad Var[\varepsilon_t] = \sigma_t^2, \forall t$ $E[\varepsilon_t] = 0, \forall t \quad E[\varepsilon_t \varepsilon_{t+j}] = 0, \forall t, \forall j > 0$ $\sigma_t:t\text{期における需要予測誤差の標準偏差の推定量}$

小売業のブルウィップ効果
$u_t = \frac{\sum_{j=1}^p D_{t-j}}{p}$ $B = \frac{Var[q_t]}{Var[D_t]} \geq 1 + \left( \frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - \rho^p)$



# 小売業のブルウィップ効果導出の前提条件

## 前提条件

はじめに

ブルウィップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

- 1 需要  $D_t$  の動特性を明示的に記述できるとし、それは自己回帰型であるとの仮定している。
- 2  $\rho = 0$  のときは、 $D_t = d + \varepsilon_t$  となり、需要  $D_t$  の平均は、期ごとに変化せず、一定値をとると限定している。
- 3  $t$  期の需要予測値  $u_t$  は過去の需要の履歴をもとに算出するとし、その方法は移動平均法を用いている。過去のデータを使う需要予測手法により効果が大きく依存していることがわかる。また、 $p = 1$  の時は、 $u_t = D_{t-1}$  となり、1期前の需要量実績をそのまま使っている。

## 内示生産システムでは

- 1 需要  $D_t$  の動特性が明示的に記述できない。かつ、自己回帰型であるとは言えない。
- 2 需要量は期ごとに変化する。
- 3 内示を需要予測値として採用できる可能性がある。



# 内示生産システム

はじめに

ブルウップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

	M0				M1				M2				M3			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
月次内示	▽ 金				日別/週別/月別(～M4) ※直近は日量、期間によって過量、月量となる				日別/週別(～M2) ※直近は日量、期間によって過量となる							
週次内示	▽ 金															
納入指示(日)	▽ 金 ▽ 金				3日前先1日確定 3日前先1日確定											

内示は、生産対象週・日に近づくにつれ、月次内示から週次内示に置き換えられる。最終的には、確定注文情報に基づいて、サプライヤーは、欠品することなく納品しなければならない。

## 発注業務

当期 ( $t$  期) の発注においては、翌期 ( $t+1$  期) の目標在庫量 ( $y_{t+1}$ ) が確保されるように、当期の目標在庫量との差を調整し、当期に使った量 (需要量) を補充して、発注量 ( $q_t$ ) を決めることである。発注量は、 $q_t = y_{t+1} - y_t + D_t$  となる。

また、翌期の目標在庫量  $y_{t+1}$  は、翌期の需要予測値  $u_{t+1}$  と需要予測値からのプレに対応する安全在庫  $z_{t+1}$  の和として見積もる。すなわち、 $y_{t+1} = u_{t+1} + z\sigma_{t+1}$  である。



# 週次内示と月次内示のブルウィップ効果

はじめに

ブルウィップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

目標在庫量に変化がない場合は、ブルウィップ効果  $B = 1$  となり、ブルウィップ効果は発生しない。実際は、内示が期別に変動したり、安全在庫量目標が変化したりすることから、目標在庫量は、期別に変化すると考える方が妥当であるので、 $y_{t+1} \neq y_t, \forall t$  とする。週次内示  $\widehat{D}_t$  と確定注文  $D_t$  の差を  $\varepsilon_t$  とすると、 $D_t = \widehat{D}_t + \varepsilon_t$  となる。また、 $Var[\varepsilon_t] = (\widehat{\sigma}_t)^2 \equiv M$  とすると、ブルウィップ効果  $B$  は以下のようになる。

## 週次内示のブルウィップ効果

$$q_t = D_t + (\widehat{D}_{t+1} - \widehat{D}_t) + (z\widehat{\sigma}_{t+1} - z\widehat{\sigma}_t)$$

$$B = \frac{M + z^2 Var[(\widehat{\sigma}_{t+1} - \widehat{\sigma}_t)])}{M}$$

生産計画が翌々週の1週間分をたてるとする場合は、月次内示を使うことになる。月次内示は、1期後には、変化して週次内示に代わる。このことから、月次内示と週次内示の間の差を  $\delta_t$  とすると、 $\overline{D}_t = \widehat{D}_t + \delta_t$  となる。また、 $Var[\delta_t] = (\overline{\sigma}_t)^2 \equiv N$  である。よって、ブルウィップ効果  $B$  は以下のようになる。

## 月次内示のブルウィップ効果

$$q_t = D_t + D_{t+1} + (\overline{D}_{t+2} - \widehat{D}_{t+1} - \widehat{D}_t) + (z\overline{\sigma}_{t+2} - z\widehat{\sigma}_{t+1} - z\widehat{\sigma}_t)$$

$$B = \frac{2M + N + z^2 Var[(\overline{\sigma}_{t+2} - \widehat{\sigma}_{t+1} - \widehat{\sigma}_t)])}{M}$$



# ブルウィップ効果の要因

## ブルウィップ効果の要因

- ① 発注から納入までのリードタイム
- ② 緊急発注量のバッチ単位の注文方式
- ③ サプライヤーの生産計画手法
- ④ 意思決定者のオーバーアクション
- ⑤ 複数の要因を考慮した発注方式
- ⑥ 週単位計画から日単位計画
- ⑦ 上流に行くほど製造ロットが大きい
- ⑧ サプライヤー間の情報共有
- ⑨ 價格割引
- ⑩ 内示変動のときのトレンドやばらつきの変動
- ⑪ 安全在庫目標の決め方
- ⑫ 判定の部分のアルゴリズム

これらを、シミュレーターに組み込んで、様々なパターンでシミュレーションしてどの値を変えると、ブルウィップ効果の低減が期待できるか調査する。



# 正規乱数

次のような、確率分布関数に従う乱数を正規乱数という。

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

$\mu$ :平均値,  $\sigma$ :標準偏差,  $x$ :標準正規分布に従う乱数

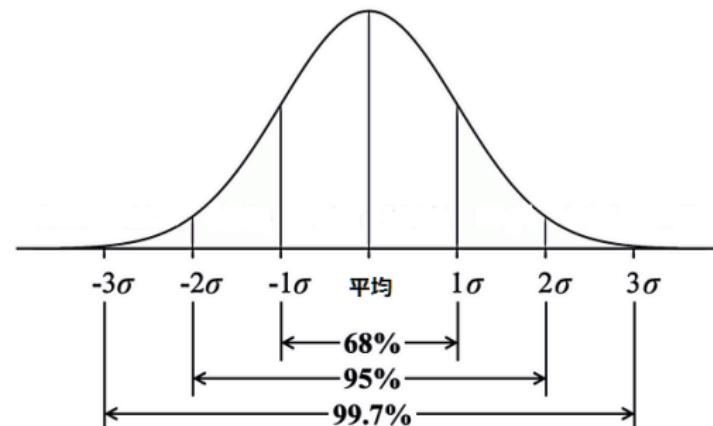


図 3 正規分布



# シミュレーター

はじめに

ブルウイップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

内示 $\sigma$	1600 安目		150		1M											
	80															
			初期	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
①	内示	月	火	水	木	金	月	火	水	木						
②	基準搬入量	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	13	
③	追加搬入量	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
④	搬入量合計	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	13	
⑤	工場使用量	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16					
⑥	安全在庫目標	-	4833	2410	2408	2413	2411	2400	2409	2403	23					
⑦	緑越在庫	4800	4368	4098	3974	3699	3380	3210	2959	2667	23					
⑧	緊急発注量	-					0									
	判定	-	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	□	
	充足量	-	1792	1630	1484	1635	1679	1530	1611	1652	16					
		○	□	×	× ×	平均在庫搬入回数	追加搬入在庫切れ回数	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 2 EXCEL 版シミュレーター



# シミュレーター

はじめに

ブルウップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

## シミュレータの内容

- 1 内示は、需要予測値  $u_t$  を表し、今回は、一定としていて 1600 である。
- 2 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。
- 3 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 ( $q_t = K_{t-1}$ )。
- 4 搬入量合計  $M_t$  は、 $M_t = B_t + q_t$  である。
- 5 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。 $D_t = \sigma x + \mu$
- 6 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。
- 7 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。
- 8 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。
- 9 判定は、安全在庫目標を達成できているかを表す。
- 10 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
- 11 平均在庫は、繰越在庫の平均値を表す。
- 12 搬入回数は、緊急発注の回数である。
- 13 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。



# 結果

緊急発注可能日を変えてシミュレーションしてみた結果は、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。

はじめに

ブルウィップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

平均	標準偏差	BULLWHIP効果
1605.66	78.57	7.97
242.05	625.99	

図 4 週一回発注方式

平均	標準偏差	BULLWHIP効果
1600.76	78.36	7.08
237.44	554.66	

図 5 週二回発注方式

平均	標準偏差	BULLWHIP効果
1602.32	81.12	6.37
238.79	516.86	

図 6 毎日発注方式

はじめに

ブルウイップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに

このような関係のブルウイップ効果の特徴量を見つければ当てはめられる

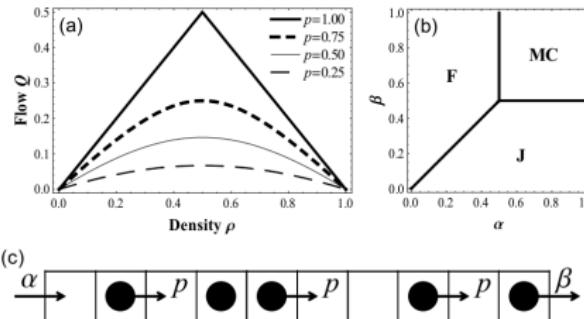


図 2 (a) 周期系 ASEP の基本図。臨界密度は  $\rho = 0.5$  であり、移動確率  $p$  の減少と共に流量が下がっていることが分かる。曲線の式は、表 1 の「周期系」の行に記載されている。(b) 開放系 ASEP ( $p = 3/4$ ) の相図。F は自由相、J は渋滞相、MC は最大流量相を表す。(c) 開放系 ASEP の模式図。(図 (a), (b), (c) は全てパラレルアップデートの場合のものである。)

表 1 ASEP の流量の式と開放系の場合の相図の三重点の座標。連続時間の場合の流量の式は、ランダムアップデートの式の確率  $p$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  をレートと考えたものに等しくなる。

アップデート方法	パラレル	ランダム
流量 (周期系)	$1 - \sqrt{1 - 4p\rho(1 - \rho)}$	$p\rho(1 - \rho)$
流量 (開放系, 自由相)	$\frac{2}{\alpha - \alpha^2}$	$\alpha(1 - \alpha/p)$
流量 (開放系, 渋滞相)	$\frac{\beta}{\beta - \beta^2}$	$\beta(1 - \beta/p)$
流量 (開放系, 最大流量相)	$\frac{1 - \sqrt{1 - p}}{2}$	$\frac{p}{4}$
三重点の座標 (開放系)	$(1 - \sqrt{1 - p}, 1 - \sqrt{1 - p})$	$\left(\frac{p}{2}, \frac{p}{2}\right)$



# 今後の課題

## 今後の課題

- 1 ブルウェイップ効果の特徴量から何かしらの基本図を出力
- 2 渋滞学とブルウェイップ効果の関係性を導く
- 3 様々な要因を組み込んだシミュレーターの作成及び解析
- 4 統一的なモデルの作成

はじめに

ブルウェイップ効果  
とその要因

シミュレーション  
及び結果

おわりに