



はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

渋滞学とブルウ  
ップ効果の関係

おわりに

# 渋滞学とブルウップ効果の関係

横井 稜

2018年11月16日  
富山県立大学 情報基盤工学講座

November 16, 2018



# はじめに

## 発表の流れ

- I はじめに
- II サプライチェーンにおけるブルウイップ効果
- III 渋滞学とブルウイップ効果の関係
- 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 また渋滞学という学問があり、それとブルウイップ効果は関係している可能性がある。
- 3 そこで、ブルウイップ効果の従来のモデルと提案するモデルが一致するか確かめる。



# サプライチェーンとブルウップ効果

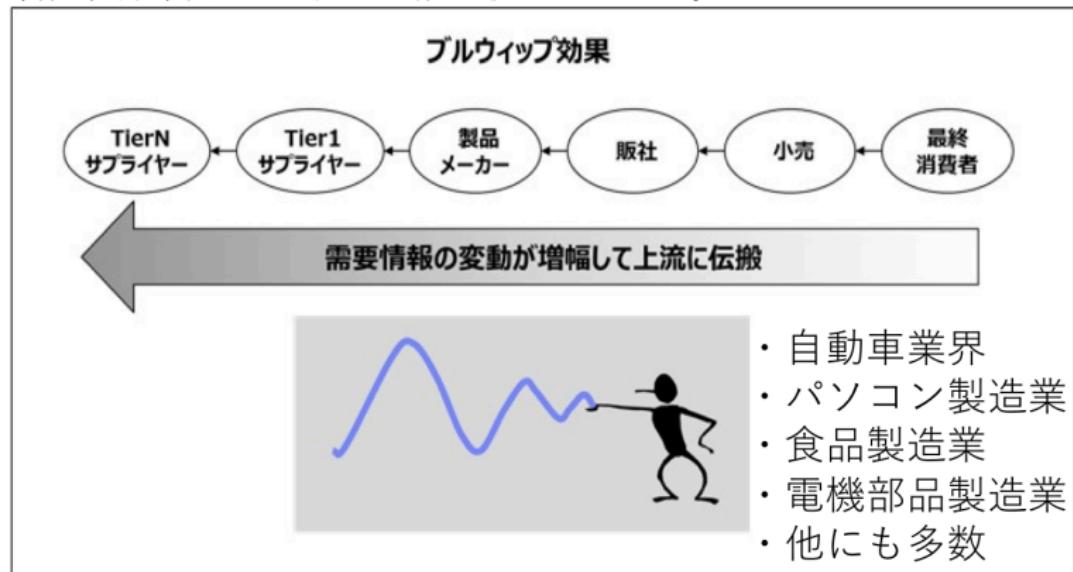
サプライチェーンとは、企業の経営・管理で使用する用語で、原材料・部品の調達から、製造、在庫管理、販売、配送までの製品の全体的な流れのことである。

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

波瀬学とブルウップ効果の関係

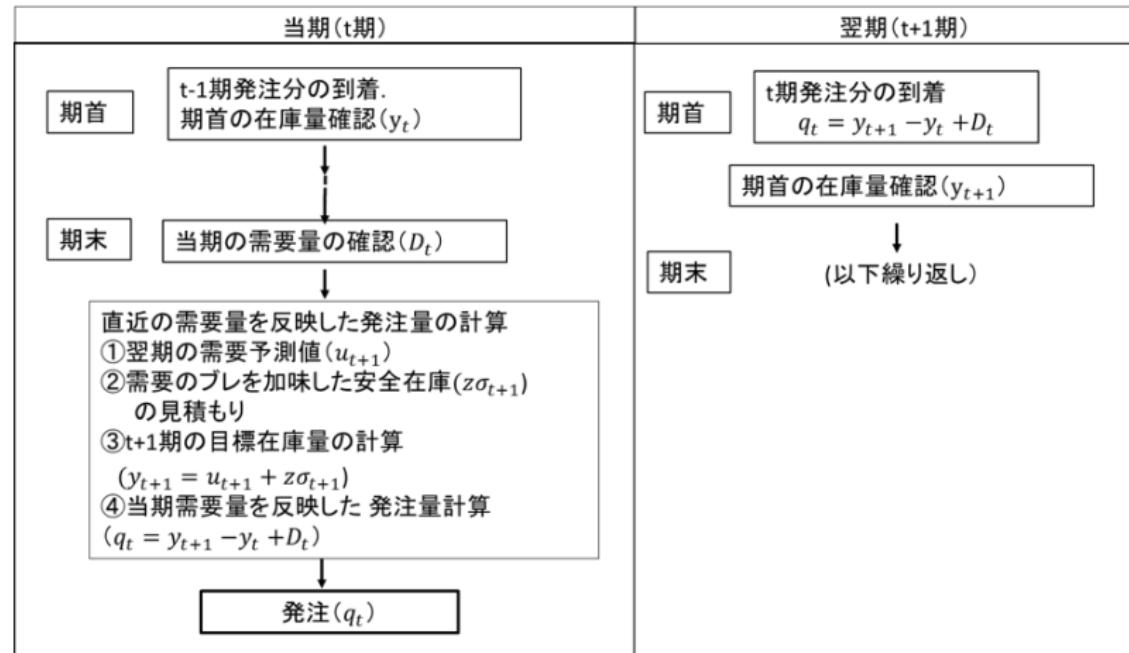
おわりに





# 小売業の発注業務

はじめに  
サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果  
波瀬学とブルウ  
ップ効果の関係  
おわりに





# 小売業のブルウィップ効果

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウィップ効果

波瀬学とブル  
ウップ効果の関係

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、

$q_t = u_{t+1} + z\sigma_{t+1} - (u_t + z\sigma_t) + D_t$  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
$q_t = y_{t+1} - y_t + D_t \quad t:\text{期 } D_t:\text{t期における需要量}$ $B = \frac{Var[q_t]}{Var[D_t]} \quad y_t:\text{t期における目標在庫量}$ $q_t:\text{t期における発注量}$	$D_t = d + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t \quad Var[\varepsilon_t] = \sigma_t^2, \forall t$ $E[\varepsilon_t] = 0, \forall t \quad E[\varepsilon_t \varepsilon_{t+j}] = 0, \forall t, \forall j > 0$ $\sigma_t:\text{t期における需要予測誤差の標準偏差の推定量}$

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



# 小売業のブルウェイップ効果導出の前提条件

## 前提条件

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウェイップ効果

波瀾学とブルウェイップ効果の関係

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

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

波瀬学とブルウッ  
ップ効果の関係

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				3日前先1日確定											
	▽ 金				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

サプライチェーン  
における  
ブルウィップ効果

波瀬学とブルウィップ効果の関係

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

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

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



# 渋滞学

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウェイプ効果

渋滞学とブルウェイプ効果の関係

おわりに

## 渋滞学

様々な場所に現れる「渋滞」現象のメカニズムを物理学的な視点から研究しています。対象は車だけに限らず、細胞内蛋白質やアリ、人間の群集や物流など多岐に渡ります。



## サプライチェーンにおける渋滞

不安や期待による生産量の上乗せや、道路のサグのように知覚できない程度の販売数量の減少によって起こる余剰在庫

$$\text{実需} = 50 \text{ 台} \times 5 \text{ 店舗} \times 5 \text{ 卸業者} = 1250 \text{ 台}$$

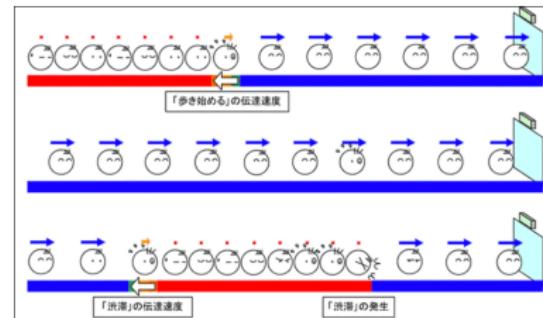
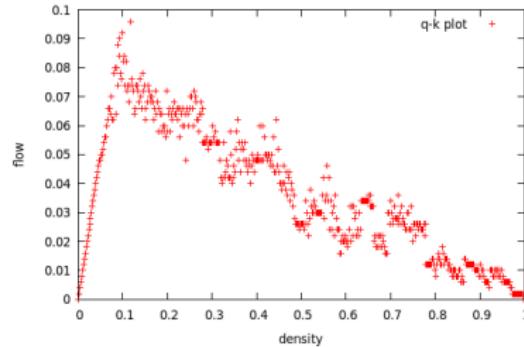
$$\text{生産量} = [65 \text{ 台} \times 5 \text{ 店舗} + 25 \text{ 台} (\text{卸業社上乗せ分})] \times 5 \text{ 卸売業者} + 250 \text{ 台} (\text{メーカー上乗せ分}) = 2000 \text{ 台}$$

$$\text{余剰在庫} = \text{生産量} - \text{実需} = 750 \text{ 台}$$

今回は、ブルウェイプ効果をバラツキの伝搬と仮定する

# 基本図と衝撃波とバーガース方程式

交通流の解析で最も重要な図として基本図というものがある。速度密度図や流量密度図等がある。



ブルウイップ効果が衝撃波と似ているので、ブルウイップ効果の基本図を表せると解ける。  
不安定な減少を安定化させる数学上の工夫を拡散項の導入によってしているものをバーガース方程式という。



# 超離散法

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

渋滞学とブルウ  
ップ効果の関係

おわりに

## 超離散化

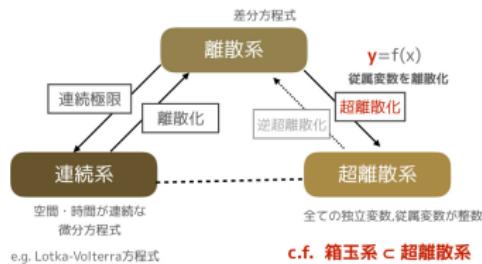
離散化の拡張版で、セルオートマトンと微分方程式をつなぐために使う。つまり差分化で微分方程式における独立変数の離散化を行い、超離散化によって従属変数の離散化を行うことで、あらゆる変数の離散化ができる。このような究極的な離散化という意味で「離散化」に「超」をつけて「超離散化」と呼ぶ。

	微分方程式	差分方程式	超離散方程式 (セルオートマトン)
独立変数 (時間、位置)	連続	離散	離散
従属変数	連続	連続	離散

### 3. 超離散化

超離散化は、離散化の手法の一つ

but ただの離散化じゃない。従属変数の離散化。

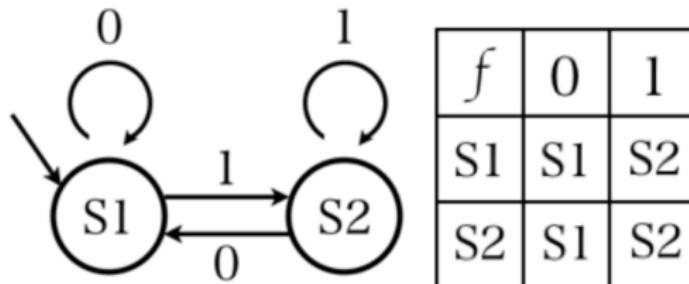




# オートマトン

## オートマトン

オートマトンとは初期状態から開始され、ある内部状態に対してある値が入力されると、どのような状態に遷移するかというシステムである。図に簡単なオートマトンの例を示す。





# 一次元セルオートマトン

## 一次元セルオートマトン

セルオートマトンとは、例えば、格子状のマス目が白と黒の2種類の状態を持っているものとして、「周りのマスが2つ黒ければ、次のステップでそのマスは黒くなり、そうでなければ白くなる」といったような単純なルールを考える。ここに適当な初期状態を置くと、ステップ経過とともに、白黒の分布は様々な姿を取ることになる。そうやって変化してゆくさまが「オートマトン（自動装置）」であり、「セル」を使っているので「セル・オートマトン」という名前になっている。



# ルール 184 と非対称単純排他過程 (ASEP)

セル状オートマトンの 256 通りあるルールのうちで、wolfram のルール 184 が交通流の自然渋滞モデルとして広く知られているものである。

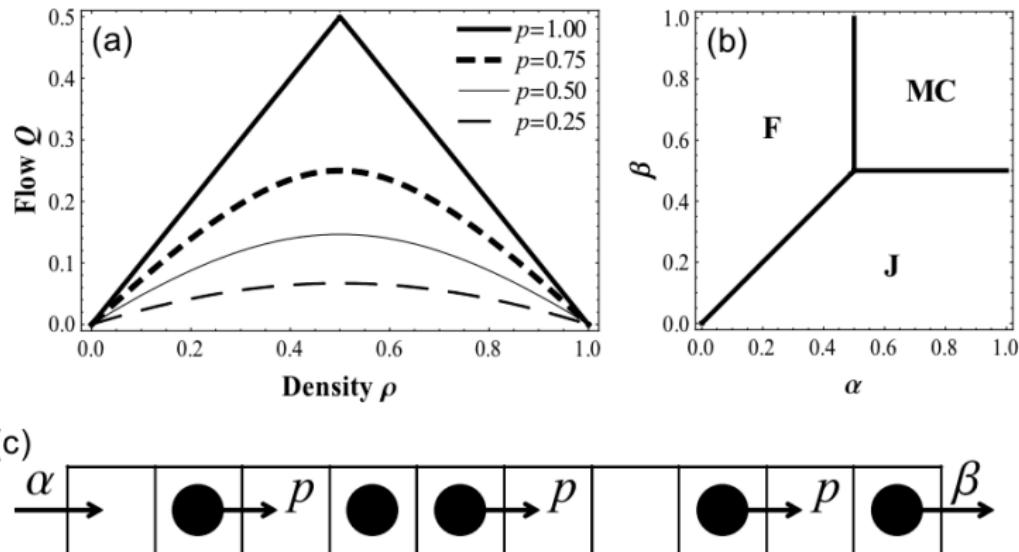
前方に空きがあればある確率で車を進めるものを ASEP という

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

渋滞学とブルウ  
ップ効果の関係

おわりに





# 解き方

最後に、流れをまとめると、

## 解き方の流れ

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

渋滞学とブルウ  
ップ効果の関係

おわりに

ブルウップ効果をバラツキの伝搬と仮定し基本図を作る



その、バラツキの伝搬を衝撃波として見て、バーガース方程式にする



その、衝撃波のようなものを超離散化を用いてバーガース方程式から ASEP にする



ASEP をマスター方程式や連続極限を用いることにより解くことができる



最終的に、従来のモデルで解いた結果と比較し一致しているか確かめる



# 結果と今後の課題

## 今後の課題

- 内容の理解と提案するモデルの構築
- シミュレーションの進行

はじめに

サプライチェーン  
における  
ブルウップ効果

波瀬学とブルウップ効果の関係

おわりに

内示 $\sigma$	1600 80	安目		150		1M	初期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
		月	火	水	木			月	火	水	木	金	月	火	水	木	金	月	火	水	木	金	月	火	水		
①	内示	-	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600		
②	基準搬入量	-	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360		
	追加搬入量	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360		
③	工場使用量	-	1635	1575	1522	1526	1654	1634	1603	1648	1635	1597	1453	1689	1671	1489	1486	1538	1625	1595							
④	安全在庫目標	-	4823	2409	2407	2406	2413	2410	2407	2404	2408	2407	2404	2410	2406	2405	2410	2414	2415	2409							
⑤	越在庫	4800	4525	4310	4148	3982	3688	3414	3171	2883	2608	2371	2278	1949	1638	1509	1383	1205	940	705							
⑥	緊急発注量	-																									
⑦	判定	-	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	×	×	×	×	
⑧	充足量	-	1635	1575	1522	1526	1654	1634	1603	1648	1635	1597	1453	1689	1671	1489	1486	1538	1625	1595							

### 【参考】

越在庫の $\sigma$	
ロバ	1164
月max	4525
月min	184
月平均	2120
max-min	4341
平均max	2120
min	1072
フレ1	1048
フレ2	589
フレ3 $\sigma$	597
フレ2 $\sigma$	597
触れ1 $\sigma$	258
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0