



February 12, 2019

サプライチェーンにおける ブルウィップ効果への需要予測の影響と ASEP による表現

横井 稜

富山県立大学 情報基盤工学講座

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 渋滞学とブルウィップ効果の関係
4. 数値実験ならびに考察
5. おわりに

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに



背景

サプライチェーンの課題の一つとして、取引する人の心的要因やサプライチェーンの上流から下流への情報伝達の遅れなどの様々な要因が重なり合って、サプライチェーンの下位に行くほど需要量のばらつきが増大する課題がある。その現象をブルウィップ効果といい、変動に対応するために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、経営課題が多い。

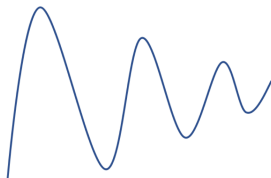
目的

本研究では、内示生産システムを用いたサプライチェーンにおけるブルウィップ効果の需要予測の影響について明らかにするために、実際の商品の取引を模したシミュレーターを作成する。また渋滞のモデルである ASEP によるブルウィップ効果の表現を行う。



ブルウィップ効果について

3/13



- 自動車業界
- パソコン製造業
- 食品製造業
- 電気部品製造業
- 他にも多数

需要に鞭のようなバラツキが発生

$$B = \frac{\text{Var}[q_t]}{\text{Var}[D_t]} = \frac{\text{発注量の分散}}{\text{需要量の分散}}$$

はじめに
サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに

3/13



ブルウィップ効果の

4/13

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、各論文は、一部のみの定式化、モデルにより解析しており部分的な知見となっている。また、実データから直接分散を求めた論文もあるが、どの要因がどれだけ影響しているか分らない。そこで、シミュレーターを開発する。

4/13

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに



渋滞学との関係

5/13

車や人，アリや体内の分子モーターなど世の中の様々な自己駆動粒子の「流れ」を，数学や物理を中心とする理論を用いて統一的に扱う学問として世に広まってきた．

ブルウィップ効果は，サプライチェーン上流に行くほど在庫が増えていく



モノの渋滞として捉えられるのではないか



そこで，渋滞学のモデルの一つである ASEP で表現する

5/13

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに



[定理] ASEP の遷移確率 p の設計法

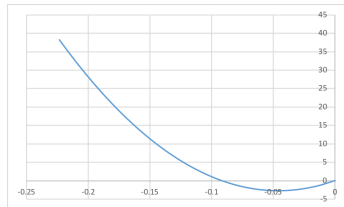
ASEP の遷移確率 p は、生産管理の安全在庫係数 z 、需要変動の標準偏差 σ_t 、需要予測値 u_t より以下のように与えることができる。

$$p = 1 - \left(1 - \frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2, (0 < z\sigma_t < 4u_t) \quad (1)$$

[証明]

目標在庫量 y_t の式を変形する。

$$\begin{aligned} y_t &= Lu_t + z\sqrt{L}\sigma_t \\ &= u_t\left(L + \frac{z\sigma_t}{u_t}\sqrt{L}\right) \\ &= u_t\left\{\left(\sqrt{L} + \frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2 - \left(\frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2\right\} \\ y_t + \frac{z^2\sigma_t^2}{4u_t} &= u_t\left(\sqrt{L} + \frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2 \end{aligned}$$



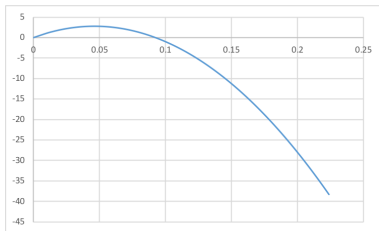
上式は、右の図のような二次関数となる。



次に、ASEP と同じ形にしたいので、二次関数の式を原点对称する.

$$\begin{aligned} -y_t + \frac{z^2 \sigma_t^2}{4u_t} &= u_t \left(-\sqrt{L} + \frac{z\sigma_t}{2u_t} \right)^2 \\ y_t - \frac{z^2 \sigma_t^2}{4u_t} &= -u_t \left(\sqrt{L} - \frac{z\sigma_t}{2u_t} \right)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

上式は、下図のようになる.





次に, $X = \sqrt{L}$, $Y = y_t$ として, 式を簡略化すると下式となる.

$$Y - \beta = -u_t(X - \alpha)^2 \begin{cases} \alpha = \frac{z\sigma_t}{2u_t} \\ \beta = \frac{z^2\sigma_t^2}{4u_t} \end{cases} \quad (3)$$

ここで, ASEP における軸の幅と目標在庫とリードタイムの軸の幅を合わせるために, 下式とする.

$$z\sigma_t Y - \beta = -u_t(2\alpha X - \alpha)^2 \begin{cases} X \leftarrow 2\alpha X \\ Y \leftarrow z\sigma_t Y \end{cases} \quad (4)$$

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに

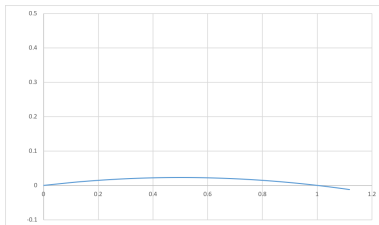


ASEP への変換

9/13

最終的に、 α, β を用いずに ASEP に当てはまる式を求めると式 (7) となり、下図のようなグラフとなる。

$$\begin{aligned} z\sigma_t Y - \beta &= -4\alpha^2 u_t \left(X - \frac{1}{2}\right)^2 \\ &= -\frac{z^2 \sigma_t^2}{u_t} \left(X - \frac{1}{2}\right)^2 \\ Y - \frac{z\sigma_t}{4u_t} &= -\frac{z\sigma_t}{u_t} \left(X - \frac{1}{2}\right)^2 \end{aligned} \quad (5)$$



9/13

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに



下図の式から、確率 p を求める式は式 (6) となる.

$$\begin{aligned}\frac{z\sigma_t}{4u_t} &= \frac{1 - \sqrt{1-p}}{2} \\ \sqrt{1-p} &= 1 - \frac{z\sigma_t}{2u_t} \\ 1-p &= \left(1 - \frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2 \\ p &= 1 - \left(1 - \frac{z\sigma_t}{2u_t}\right)^2, (0 < z\sigma_t < 4u_t)\end{aligned}\tag{6}$$

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



シミュレーターの説明

11/13

内示，基準搬入量，工場使用量，安全在庫目標，繰越在庫の初期値のパラメータを与えると 1000 日分のブルウィップ効果を含む様々な結果を表示

はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに

| 内示 σ | 1600 80 | 安目 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 |
| ② | 基準搬入量 | - | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 |
| | 追加搬入量 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 搬入量合計 | - | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 | 1360 |
| ③ | 工場使用量 | - | 1792 | 1630 | 1484 | 1635 | 1679 | 1530 | 1611 | 1652 | 1652 |
| ④ | 安全在庫目標 | - | 4833 | 2410 | 2408 | 2413 | 2411 | 2400 | 2409 | 2403 | 2403 |
| 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 | 1652 |

| ○ | □ | × | × | × | 平均在庫 | 搬入回数 | 追加搬入 | 在庫切れ回 | 充足率 |
|---|-----|-----|----|----|------|------|--------|-------|------|
| 7 | 619 | 359 | 15 | 15 | 1385 | 140 | 242051 | 15 | 100% |

| 平均 | 標準偏差 |
|---------|--------|
| 1605.66 | 78.57 |
| 242.05 | 625.99 |

| BULLWHIP効果 |
|------------|
| 7.97 |

11/13



数値実験ならびに考察

12/13

複数の発注方式で、1000 日間のシミュレーションを 10 回ずつ行った。

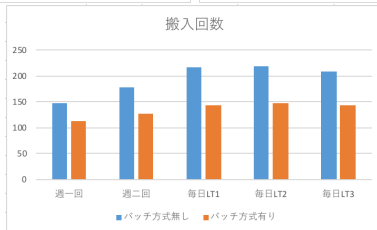
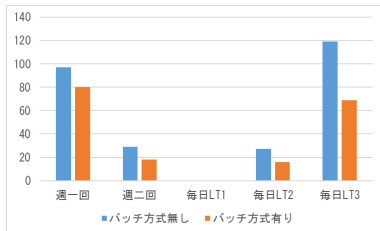
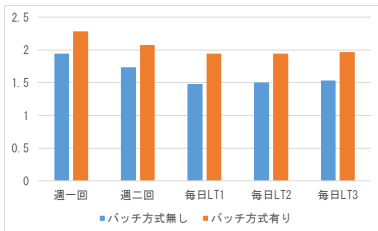
はじめに

サプライチェーン
における
ブルウィップ効果

渋滞学と
ブルウィップ効果
の関係

数値実験ならびに
考察

おわりに



12/13



まとめ

- ① 開発したシミュレーターによりブルウィップ効果の要因ごとの影響の度合いを明らかにした.
- ② モノの渋滞として捉えるために ASEP の移動確率 p を導出した.

今後の課題

- 1 ASEP によるブルウィップ効果の表現と開発したシミュレーターとの有効性の比較・検証