

## 自律分散型サプライチェーンにおける部分的協力型モデルの設計

東京理科大学  
01015920 東京理科大学  
01308970 東京理科大学  
01405144 キヤノン ITS(株)

\*山形 大哉 YAMAGATA Daiya  
石垣 綾 ISHIGAKI Aya  
高嶋 隆太 TAKASHIMA Ryuta  
西田 大 NISHIDA Hajime

### 1. はじめに

サプライチェーンマネジメントとは、資材調達から生産、流通を経て最終消費者のもとへ届くまでの一連の繋がりの供給連鎖を統合的に管理し、全体最適化を実現させるための経営管理手法である。サプライチェーンを管理する上で、需要や在庫などの情報をすべての企業で共有することはサプライチェーンのパフォーマンスを向上させる上で非常に重要である。しかし、サプライチェーンを構成する企業間の競争が激化すると、すべての企業で情報を正確に共有することが非常に困難になる。

本研究では、サプライチェーンの各段階が自律分散して自身が最適となる選択を行う場合において、部分的協力モデルを設計し、数値実験においてその効果を検証することである。

### 2. 自律分散型サプライチェーンにおける部分的協力モデルの設計

#### 2.1 全体協力型モデル

Bhattacharya and Bandyopadhyay[1]は、サプライチェーン全体で共通の戦略を用いる場合を想定し、サプライチェーン全体のパフォーマンスを向上させる需要予測方法を特定している。Trapero ら[2]は2段階サプライチェーンモデルにおいて最終需要の共有が上流の需要予測精度に及ぼす影響を分析した。これらの研究は需要が不確実な環境下において需要予測方法の選択がサプライチェーンのパフォーマンスに及ぼす影響を調査しているが、結果が予測精度に大きく影響される。本研究では、部分的協力がサプライチェーンのパフォーマンスに及ぼす影響を調査するため、ベースとなる全体協力型モデルにおいて最終需要が全企業において既知であるとし、手持在庫と品切率が常に0であるモデルを取り扱う。ここで、以下の記号を用いて全体協力型の発注量を表現する。

$LT$ : リードタイム

$D(t)$ :  $t$ 期における最終需要

$N$ : サプライチェーンの階層数

$d_n(t)$ :  $t$ 期  $n$ 段階における需要

全体協力型モデルにおける $t$ 期の $n$ 段階における発注量 $O_n(t)$ は以下のように表される。

$$O_n(t) = d_{n+1}(t+1) = \begin{cases} D(t+LT), & (n=1) \\ D(t+LT+n-1), & (n=2, \dots, N) \end{cases} \quad (1)$$

#### 2.2 部分的協力型モデル

Dominguez ら[3]は、自律分散型の多段階サプライチェーンにおいて部分的協力型モデルを構築し、ブルウィップ効果の抑制に効果的であることを明らかにした。この研究では、部分的協力が費用削減にも一定の効果をもたらすことを示しているが、ブルウィップ効果の改善率が費用の改善率よりも大きく上回っている。本研究では、費用に重点をおき、2.1節で示された全体協力型モデルに対して部分的協力を組み込んだモデルを分析する。

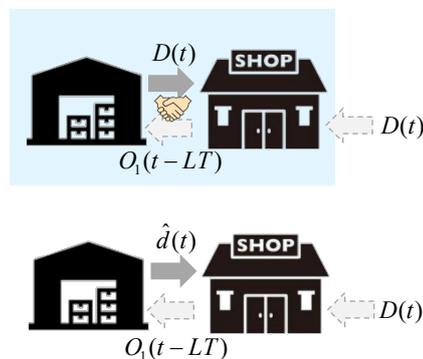


図1. 協力と非協力の違い

図1は1段階目と2段階目が協力を行った場合と行わなかった場合の違いを示している。協力を行った場合、2段階目は1段階目が直面する将来の最終需要が既知となることから、1段階から2段階への発注量も既知となる。よって、あらかじめ $LT$ 期前に必要な需要量を発注する。一方で、協力が行われない場合、2段階目は1段階目の過去の発注量をもとに予測を行い、予測需要量を発注することになる。 $n$ 段階目において需要予測を行った場合のモデル式を以下の記号を用いて示す。

$S_n(t)$  :  $t$ 期  $n$ 段階における目標在庫量  
 $a$  : 発注間隔  
 $k$  : 安全係数  
 $I_n(t)$  :  $t$ 期  $n$ 段階における手持在庫量  
 $W_n(t)$  :  $t$ 期  $n$ 段階における輸送中在庫量  
 $B_n(t)$  :  $t$ 期  $n$ 段階における受注残  
 $\hat{d}_n(t)$  :  $t$ 期  $n$ 段階における需要予測値  
 $p$  : 在庫保管費 (円/個・期)  
 $q$  : 品切費 (円/個・期)  
 $T$  : 計画期間

ここで、需要は正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従うと仮定すると、目標在庫量は $t = 0$ のとき、

$$S_n(t) = (LT + a) \times \mu_D + k\sqrt{LT + a} \times \sigma_D \quad (2)$$

$t \geq 1$ の時、

$$S_n(t) = (LT + a) \times \hat{\mu}_n + k\sqrt{LT + a} \times \hat{\sigma}_n \quad (3)$$

と表すことができる。ここで、 $(\mu_D, \sigma_D^2)$ と $(\hat{\mu}_n, \hat{\sigma}_n^2)$ は最終需要と $t$ 期までに到着した需要の平均と分散を示している。以上より、 $n$ 段階目の発注量は

$$O_n(t) = \max\{S_n(t) - (I_n(t) + W_n(t) - B_n(t)), 0\} \quad (4)$$

となる。 $n$ 段階での費用は以下の式で表される。

$$C_n = p \times \sum_{t=1}^T I(t) + q \times \sum_{t=1}^T B(t) \quad (5)$$

### 3. 数値実験

部分的協力モデルがサプライチェーンの費用に及ぼす効果を調査するために数値実験を行った。

#### 3.1 実験条件

数値実験では、 $T=10,000$ としてシミュレーションを行った。需要予測方法として移動平均法を用い、安全係数 $k=3$ に固定した。また、リードタイム $LT=2$ 、最終需要 $D_t$ を $\mu_D=100, \sigma_D^2=100$ の2次の自己回帰モデルに従うものとした。費用は、在庫保管費 $p=20$ 、品切費 $q=15$ とした。

#### 3.2 部分的協力における費用の比較

表1は1,2段階(1-2)と2,3段階(2-3)がそれぞれ部分的協力を行った場合の費用を示している。

2段階目と3段階目が部分的協力を行った場合、1段階目は最終需要に従って発注するが、2段階目は過去の1段階からの発注量を用いて需要予測を行い、3段階目へ発注することになる。よって、2段階目で発生した品切れはそのまま1段階目に伝播することになるため、1段階目で品切費用が発生している。一方で、2段階目は1段階目からの発注量を移動平均を用いて予測した結果、移動平均期間が20のときに最も費用が低くなった。よって、

移動平均期間を20として予測した結果を用いて3段階目へ発注すると同時に、予測した結果も3段階目と共有することになるため、3段階目ではほとんど費用が発生していない。

1段階目と2段階目が部分的協力を行った場合、1段階目と2段階目が最終需要に従って発注する。すなわち、3段階目が2段階目からの過去の発注量を用いて予測を行うことになるため、3段階目で発生した品切れがそのまま2段階目と1段階目に伝播することになる。一方で、3段階目は2段階目からの発注量を移動平均を用いて予測した結果、移動平均期間が20のときに最も費用が低くなった。

以上より、3段階サプライチェーンにおける部分的協力の2つのケースにおいては、下流で部分的協力を行うよりも上流が部分的協力を行う方が総費用を少なくすることができた。これは、2-3のケースでは1段階目が非協力のために品切れが多い発生しているものの、1-2のケースでは2-3のケースよりも品切れが伝播していることが原因だと考えられる。

表1. 費用と移動平均期間の関係

	$n=1$	$n=2$	$n=3$	総費用
1-2	64	64	1792	1921
2-3	80	1749	0	1829

### 4. おわりに

本研究では、自律分散型サプライチェーンの部分的協力モデルを設計し、費用に及ぼす影響をシミュレーション実験を用いて調査した。今回は3段階サプライチェーンを用いたが、さらに段階を増やしたもとで部分的協力の影響を調査することが今後の課題である。

### 参考文献

- [1] Bhattacharya, R. and Bandyopadhyay, S. "A review of the cause of bullwhip effect in a supply chain." The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 54, No. 9, pp. 1245–1261 (2011).
- [2] Trapero, J. R., Kourentzes, N. and Fildes, R. "Impact of information exchange on supplier forecasting performance." Omega, Vol. 40, No. 6, pp. 738–747 (2012).
- [3] Dominguez, R., Cannella, S., Barbosa-Pvoa, A.P. and Framinan, J. M. "OVAP : A strategy to implement partial information sharing among supply chain retailers." Transportation Review, Vol. 110, pp. 122-136(2018).