

サプライチェーン最適化に与える受注予測の負の影響

- オンラインサプライチェーンゲームを用いた実証研究 -

日大生産工(学部) ○西澤 直希 日大生産工(学部) 森 崇
日大生産工 大江 秋津

1 はじめに

サプライチェーン(以下 SC)の最適化のために、企業はサプライチェーンマネジメント(以下 SCM)をしているが、最適解は見つかっていない¹⁾。SCは、メーカーで製造されたものが、卸や小売などの流通企業を通じて、市場へ提供される一連の流れであり、メーカーを川上、小売を川下になぞらえる。また、企業や部門の垣根を越え、SCを効率化する手法をSCMという²⁾。SC全体の最適化のために、SC内の組織が協働する戦略的提携が行われているが、必ずしも成功していない³⁾。

本研究は、戦略的提携の共通する大前提として、SC間での信頼関係だけでなく、戦略的一致があることに着目した。戦略的一致に至るまでには様々な段階があり、本研究では①組織間の情報共有、②頻繁な話し合い、③戦略の共有、④戦略の修正と考える。つまり、この4段階ができてはじめて、当初の目的である戦略的提携が実行できる。

在庫費用とブルウィップ効果(bullwhip effect)はSCの最適化の指標である。これは、SCが川上に近づくほど、川下から川上への発注量の変動が増幅される現象である。在庫不足のために、多めに発注することも大きな要因であり、その結果、発注量の決定は市場からの需要に比べ、川上に近いほど困難となり、注文数の増加に伴うコストの増加など様々な問題を引き起こす⁴⁾。

以上の実証には、複雑で巨大なSCの取引データだけでなく、組織間学習に関するデータも必要となる。このことが組織間学習に焦点をあてた研究を困難にしており、実データを利用した実証研究は非常に少ない。本研究は、新規開発のオンラインサプライチェーンマネジメントゲーム(以下 SCMゲーム)を利用して、SCの最適化のための戦略構築時に重視すべき情報の種類を実証する。

2 理論と仮説

(1) SC内における組織間学習

組織間学習は、単一組織ではなく、他組織

との経験の共有を通じて発生する⁵⁾。組織間の相互の学習や、共に新しい知識を学習により、新たな知識を作ることができる⁶⁾。

組織間学習において、環境の変化に対応し、知識の入れ替えを促進することは、競争力の源泉である⁷⁾。それと同時に、組織パフォーマンスへ良い影響をもたらす、経験や考えを共有することで、組織間の共通の知識の入れ替えにより働きをもたらす⁸⁾。さらに、組織間学習を高めるには、互いに協調性を持ち、話し合いを行うことは大前提である。そのうえで、合意のもとに互いに実行し、形成された新たな知識は、SC内のパフォーマンスを高められると考えられる。

(2) SCMにおける最適化戦略

戦略的提携の目標は、SCの最適化であり、目指す目標を一致させる必要がある。SCの最適化とは、市場のニーズに合わせ、商品が過不足なく提供することである。そのため、在庫不足による機会損失と、在庫過剰による在庫管理費用の発生をいかに抑えるかが課題となる。この難しさの直接的な要因として、SCの川下から川上への発注量の変動が、川上に行くほど増幅される現象であるブルウィップ効果がある。90年代にブルウィップ効果に関する多くの先行研究が生まれ、現在も高い関心が持たれている⁹⁾。当初、ブルウィップ効果は、現実には存在しないという考え方もあったが、多くの先行研究でその存在が証明されている¹⁰⁾。

ブルウィップ効果が引き起こす問題には、需要予測の困難や注文数増加によるコスト増幅などがある¹¹⁾。ブルウィップ効果には、在庫不足を防ぐために過剰に注文するという心理的な問題があり、情報の非対称性から生まれる¹²⁾。先行研究において、ブルウィップ効果抑制のために、需要に関する情報共有の有効性が示唆されている¹³⁾。

(3) SCMの戦略的提携と需要予測

SC全体の最適化のため、一部の現場では

The negative influence of order forecast on optimization of supply chain

- The empirical research of online supply chain game -

Naoki NISHIZAWA, Takashi MORI and Akitsu OE

CPFR(Collaborative Planning Forecasting and Replenishment) や VMI(Vendor Managed Inventory)、3PL(Third Party Logistics)などの戦略的提携が行われている。これらの仕組みでは、SC 内で協議・決定した共通の戦略に従って SCM が行われている。CPFR は企業が共同して需要予測と補充計画を行い、VMI では小売と納入業者に在庫管理を一任し、3PL は物流業務を専門業者にアウトソースする仕組みである。CPFR を行う上で、需要予測が行われており、代表例として、移動平均法や指数平滑化法、線形回帰法などがある⁹⁾。こうした SCM における戦略の存在は、手段は異なるものの明確に SCM の最適化が目標であり、次仮説を提示する。

- H1. SC 内の戦略の存在は、ブルウィップ効果を抑制する
- H2. SC 内の戦略の存在は、在庫費用を抑制する

(4) 需要予測の困難性

戦略の存在は、SC の最適化に良い影響をもたらす可能性がある。その一方で、SCM による需要予測は、ブルウィップ効果を引き起こす要因の1つであり、市場の需要の季節性が低いときは需要予測が困難となり、需要予測を行っても、ブルウィップ効果の発生が指摘されている¹⁰⁾。また、市場の需要は株式市場の動き、メディア等の複雑な要素がからんでおり、本質的に予測そのものが困難であるとする考えがある¹⁰⁾。本稿はこの考えに基づき、SCM がより予測の精度を高めようとする試みは、かえって予測の失敗による戦略の失敗をもたらすと考え、次仮説を提示する。

- H3. SC 内の将来の在庫費用の予測を重要視するほど、ブルウィップ効果が増幅する
- H4. SC 内の将来の在庫費用の予測を重要視するほど、在庫費用が増幅する
- H5. SC 内の受注量の予測を重要視するほど、ブルウィップ効果が増幅する
- H6. SC 内の受注量の予測を重要視するほど、在庫費用が増幅する

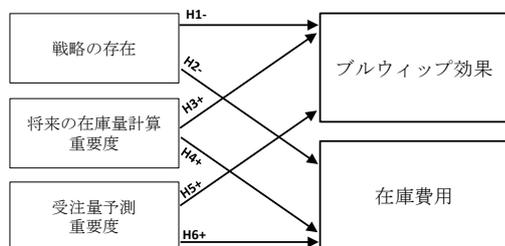


図1. 仮説

3 分析手法

(1) データと分析手法

データは、社会人を対象に行った新規開発のエレファントゲームと呼ばれる SCMゲー

ム結果と、参加者のアンケートを利用した。参加者は小売・卸・メーカー(チーム)となり、各自が発注や生産指示を行い、在庫費用が最も小さいチームや SC が勝つ。

1 つの SC 内には小売・卸・メーカーが 1 つずつのみで、直列の関係である。各チームが 0-100 個の間で発注した商品は、事前に発注や生産指示 1 回につき 1 期とする、期の概念に基づいたリードタイムに沿って届く。リードタイムが 2 期の場合は、商品の発注から入荷までに 2 期かかる。

ゲームでは「在庫保持費用」と「機会損失費用」の合計である在庫費用を期ごとに計算し、すべての期の在庫費用の合計(累積在庫費用)の最小化を競い、20-30 分程度でできる。そのためゲーム参加者は、短時間で繰り返しゲームを行い、戦略を試すことが可能である。市場からの小売に対する需要は、事前に設定をした値となっている。

本研究は、このゲームに参加した社会人の 2 回のゲーム結果と、アンケートを利用して分析した。ゲームは、1 回目が SC 内の組織間での話を禁止(情報遮断ゲーム)だが、チーム内では話合できる。2 回目は SC 全体で話合(情報共有ゲーム)を行いながら発注をしている。アンケートは、ゲーム開始前に行った事前アンケートと 2 回のゲーム後に行った。データは、40 人の 2 期にわたる 80 件のデータを用いた。分析は、負の二項分布モデルを用いた。

(2) 従属変数

$$B_i = \frac{Var[q_i]}{Var[D]} \quad (1)$$

$$Var[B_1, B_2, \dots, B_i] \quad (2)$$

B_i : i 段階目の業者におけるブルウィップ効果。本研究では、メーカーが 1 段階目、卸が 2 段階目、小売が 3 段階目とする。

q_i : i 段階目の業者が 1 段階上流へ発注する発注量。メーカーにおいては、生産量。

D : 最終需要量で、今回のゲームでは市場から得る需要量である。

$Var[]$: 分散

本研究では、従属変数を累積在庫費用とブルウィップ効果の分散とした。累積在庫費用は、ゲームの期数がゲームごとに異なることを配慮し、ゲームごとの期数で割った。

ブルウィップ効果は、チームごとに次式(1)により求められる¹¹⁾。(1)式のチームごとのブルウィップ効果だけでは、SC 全体のブルウィップ効果の大きさを表せない。そのため、(2)式を利用して、グループにおけるブルウィップ効果の分散とした。

(3) 独立変数

独立変数は、SC 内の戦略の存在を「戦略存在レベル」、SC 内の将来の在庫費用の予測を「将来在庫量計算重要レベル」、SC 内の受注量の予測を「受注量予測重要レベル」とした。戦略存在レベルは、ゲーム後のアンケートで戦略が存在した程度を聞いており、0-4 の 5 段階数値が大きくなるほど、戦略が存在する程度が高まる。他の変数でレベルと名称がつくものは同様の処理をしている。「将来在庫量計算重要レベル」は、発注量決定時に将来の在庫量計算重要視する程度、「受注量予測重要レベル」は、発注量決定時に受注量の予測を重要と思う程度である。独立変数は、係数比較のために標準化した。

(4) コントロール変数

コントロール変数は個人を説明する変数や、アンケートの質問から回答されたものを変数として入れた。個人を説明する変数として、ゲーム前のアンケートより、情報通信業での労働経験の有無を表す「情報通信業経験有ダミー」を作成した。ゲーム中の参加者の行動や考えは、「発注先在庫維持配慮レベル」と「共有価値卸需要レベル」、「組織間会話ダミー」、「戦略改善提案レベル」とした。発注先在庫維持配慮レベルは、発注先の適正在庫維持を配慮した程度、共有価値卸需要レベルは、卸の需要を SC 内で共有する重要性が高いと思う程度である。組織間会話ダミーは、戦略・話合有ダミーとし、戦略が存在したうえで話合をした場合は 1、そうでない場合は 0 とした。戦略改善提案レベルは、戦略の改善提案を行った程度である。「組織間会話ダミー」、「戦略改善提案レベル」は、戦略存在レベルと同様に係数比較のために標準化している。

4 結果

(1) ゲームの実施結果

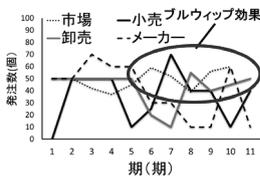


図 2. 情報遮断ゲーム

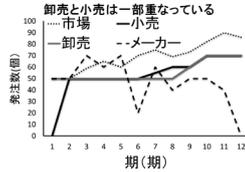


図 3. 情報共有ゲーム

図 2 と図 3 は同一の SC における発注量を期別・チーム別にグラフ化したもので、両図とも同一グループの結果である。図 2 は情報遮断ゲーム、図 3 は情報共有ゲームのものである。図 2 の 6 期から 10 期を見ると、市場からの需要に対して、小売と卸、メーカーの発注が期をずれて増大している。ところが、同一チームで話し合った場合は、小売と卸の

発注量の多くがグラフ上で重なっていることで、ブルウィップ効果が抑制されたことが分かる(図 3)。他の SC でも同様の結果がみられ、SC 内の話合がブルウィップ効果の抑制に大きな影響を与えていることが示唆された。

(2) 分析結果

表 1. 負の二項分布モデルによる分析結果

変数名	ブルウィップ効果(分散)		累積在庫費用	
	モデル I	モデル II	モデル I	モデル II
1 情報通信経験有ダミー	- 0.83**	[0.42]	- 0.28**	[0.12]
2 発注先在庫維持配慮レベル	0.08	[0.12]	0.03	[0.04]
3 共有価値卸需要レベル	0.30	[0.25]	0.12*	[0.06]
4 組織間会話ダミー#	- 0.87***	[0.17]	- 0.49***	[0.07]
5 戦略改善提案レベル#	- 0.53***	[0.17]	- 0.11*	[0.07]
6 戦略存在レベル#	- 0.42	[0.30]	- 0.14*	[0.06]
7 将来在庫量計算重要レベル#	0.37**	[0.17]	0.08	[0.05]
8 受注量予測重要レベル#	0.42**	[0.19]	0.16***	[0.06]
件数	80		80	
参加者数	40		40	
Log likelihood	- 295.81		- 509.75	
AIC	613.63		1041.49	
BIC	639.83		1067.69	

* $P < .10$ ** $P < .05$ *** $P < .01$ | は標準誤差 #標準化済み

ゲームの実施データをもとに作成した変数を利用して統計分析を行った。表 1 は負の二項分布モデルによる分析結果である。各変数間の相関係数の最大値は、「組織間会話ダミー」と「累積在庫費用」との間の 0.66 であった。念のため VIF を確認したが、最大値は 1.64 であり、閾値の 10 以下であったため、問題は無いと判断した¹²⁾。モデル I は従属変数をブルウィップ効果とし、モデル II は累積在庫費用とした。AIC と BIC はいずれもモデル I の値がより小さく、説明力が高かった。

戦略存在レベルは、ブルウィップ効果に対しては有意ではなく、累積在庫費用では負に有意($p < .10$)となった。仮説 1 は支持されなかったが、仮説 2 は支持された。将来在庫量計算レベルは、ブルウィップ効果に対して正に有意($p < .05$)となり、累積在庫費用に対しては有意とならなかった。その結果、仮説 3 は支持されたが、仮説 4 は支持されなかった。受注量予測重要レベルはブルウィップ効果に対して正に有意($p < .05$)、累積在庫費用には正に強く有意($p < .01$)であった。以上から、仮説 5 と仮説 6 は共に支持された。

5 考察

本研究では、戦略の存在だけでは、累積在庫費用は抑制できるが、ブルウィップ効果は抑制できないことを実証した。また、将来の在庫量の計算や、受注量の予測を立てるだけでは、ブルウィップ効果、在庫費用を抑制せず、むしろ増幅させることを実証した。

本研究の主要な理論的貢献は次の 3 点である。まず、複雑で巨大なため研究が困難である SC 内の組織間学習をシミュレーションゲームにより、実証したことである。

次に、戦略の存在だけではブルウィップ効果が抑えられず、累積在庫費用のみが抑えられた。このことから、累積在庫費用とブルウィップ効果を抑えるための手法は、異なるものである可能性が示唆された。つまり、それぞれを追求するのではなく、互いの案を満たす戦略を見極める必要性があることが示唆された。また表1から、戦略改善提案レベルがブルウィップ効果に負に強く有意($p < .01$)、累積在庫費用にも負に弱く有意($p < .10$)であった。このことは、戦略の改善を試行錯誤しながら行うことで、双方を満たす戦略の構築が可能であることを示唆している。

最後に、将来在庫量計算、受注量予測は、ブルウィップ効果と累積在庫費用に効果がないどころか、増幅をさせた。本研究が先行研究¹⁰⁾の指摘の通り、将来の予測が困難であることを実証したことは、大きな貢献といえる。

以上の理論的貢献はいずれも現場の管理者が把握すべきであり、実務的貢献ともいえる。

本研究の実務的貢献には、エレファントゲームが20分という短時間で、実際のSC内で発生する問題と同様の状況を体感し、戦略を試すことが可能であることが実証結果により示されたことである。

一方で本研究には、ゲーム参加者の人数が少ないという限界がある。実際には、100名以上のゲーム参加者がいるが、質問項目に対する回答の不備により有効回答数が減少した。今後は、より答えやすいアンケート項目を考えたい。本研究には以上の限界もあるが、その理論的・実務的貢献を損なうものではない。

「参考文献」

- 1) 大江秋津、河合亜矢子、野田啓一、クロスプラットフォーム開発によるSCMゲームを活用したアクティブラーニングの提案、工学教育、Vol.63, No.4, (2015) p.47-52.
- 2) Lee, H. L., Padmanabhan, V. and Whang, S., “Information Distortion in A Supply Chain: the Bullwhip Effect”, *Management Science*, Vol.43, No.4, (1997) p.546-558.
- 3) Ingram. P., “Organizational learning”, Blackwell Publishing, (2002) p.643-663.
- 4) Manuj, I., Omar, A., and Pohlen, T. L., “Inter - Organizational Learning in Supply Chains: A Focus on Logistics Service Providers and Their Customers”, *Journal of Business Logistics*, Vol.35, No.2, (2014) p.103-120.
- 5) Huber, G. P., “Organizational Learning: the Contributing Processes and the Literatures”, *Organization Science*, Vol.2, No.1, (1991) p.88-115.

6) Provan, K. and Milward, H., “A Preliminary Theory of Interorganizational Effectiveness: A Comparative Study of Four Community Mental Health Systems”, *Administrative Science Quarterly*, Vol.40, No.1, (1995) p.1-33.

7) Wang, X. and Disney, S. M., “the Bullwhip Effect: Progress, Trends and Directions”, *European Journal of Operational Research*, Vol.250, No.3, (2016) p.691-701.

8) Dai, H., Li, J., Yan, N., and Zhou, W., “Bullwhip Effect and Supply Chain Costs with Low-and High-Quality Information on Inventory Shrinkage”, *European Journal of Operational Research*, Vol.250, No.2, (2016) p.457-469.

9) Najafi, M. and Farahani, R. Z., “New Forecasting Insights on the Bullwhip Effect in A Supply Chain”, *IMA Journal of Management Mathematics*, (2013).

10) Bayraktar, E., Koh, S. L., Gunasekaran, A., Sari, K. and Tatoglu, E., “the Role of Forecasting on Bullwhip Effect for E-SCM Applications”, *International Journal of Production Economics*, Vol.113, No.1, (2008) p.193-204.

11) Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K. and Simchi-Levi, D., “Quantifying the Bullwhip Effect in A Simple Supply Chain: the Impact of Forecasting, Lead Times, and Information”, *Management Science*, Vol.46, No.3, (2000) p.436-443.

12) Belsley, D. A., Kuh, E. and Welsch, R. E., “Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity”, New York: Wiley-Interscience, (1980).

謝辞

本研究は、日本学術振興会の科学研究補助金(基盤(C)15K03624 (C)16K03890)の支援により実施された。さらに、SCMゲームを提供していただいた、高千穂大学の河合亜矢子准教授、慶應義塾大学の野田啓一氏、ゲームの開催にご尽力いただいたフレームワークスの高井英造氏と日立ソリューションズ東日本の中山健氏に感謝の意を表す。