

社会実験による SCM シミュレーション研究

—組織間対話と戦略がブルウィップ効果に与える影響—

日大生産工 (学部) ○織田 慎一郎 日大生産工 (学部) 森 崇
日大生産工 大江 秋津

1 はじめに

流通の重要な仕組みにサプライチェーン (SC) がある。川の流れに例えて川上のメーカーで製造されたモノが川下の卸や小売りを經由して市場に提供される一連の流れをサプライチェーン (以下SC) という。さらに、組織を超えたSCの効率化手法をサプライチェーンマネジメント (SCM) という¹⁾。SCMの難しい問題にブルウィップ効果 (Bullwhip Effect) がある。ブルウィップ効果は、SCの川下の小売りから上流のメーカーに近づくほど需要変動が増幅される現象で、需要予測が川上ほど困難となり、様々な問題を引き起こす²⁾。また、SCの別の重要な課題に、過剰在庫により生じる在庫保持費用や、在庫不足で販売機会を逃す機会損失費用の抑制がある。なお、在庫保持費用と機会損失費用の合計を在庫費用とする。

本研究は、SC内の戦略立案・見直しや組織を超えたコミュニケーションに着目して、両者がブルウィップ効果と累積在庫費用に与える影響をサプライチェーンゲームデータ³⁾により実証する。

2 理論と仮説

ブルウィップ効果は、1960年代に現象として発見され³⁾、その後も様々な形で報告されてきた²⁾⁴⁾⁵⁾。Forrester³⁾は、メーカーの需要変動は小売りに比べて大きく、多様な変動要因があるとし、複雑なSCネットワークを分析するための手法として、シミュレーションの一種であるシステムダイナミクスを提案した。さらに、Burbidge⁴⁾は、組織を超えて共有されない情報の寸断がSCMの制御を難しくすることを指摘している。そのため、組織を超えた情報の共有が有用であると考え、Lee²⁾はSC内組織が需要予測をしてから発注の意志決定をすることを一因として指摘した。

つまり、ブルウィップ効果の抑制は、川上にいくほど困難となる需要予測をしやすいとする。これにより、市場に近くて需要予測が比較的しやすい川下の小売りにとっては、川上の需要予測の失敗による商品のだぶつきや不足に翻弄されなくなる。その結果、SC全体の在庫費用の抑制が可能となる。本研究はブルウィップ効果を抑制には、情報の共有が重要と考える。なぜなら、市場の情報収集がしやすい小売りからの情報や、互いの発注量を共有により、川上のメーカーはより精度の高い需要予測ができるからである。しかし、組織を超えた情報共有やコミュニケーションは、互いの利害関係や複数の組織の正確な意思伝達の難しさから簡単には行かないことが想像できる。そのため、機会損失と在庫保持費用の双方に対する配慮は難しさが高まり、適正な在庫管理を妨げると考える。以上より次仮説を提示する。

- H1: 組織間のコミュニケーションは、ブルウィップ効果を抑制する
- H2: 組織間のコミュニケーションは、適正な在庫管理を高める
- H3: 機会損失費用と在庫保持費用の双方への配慮は適正な在庫管理を妨げる
- H4: 機会損失費用と在庫保持費用の一方への配慮は適正な在庫管理を高める

3 分析手法

(1) データと分析手法

データは、新規開発のサプライチェーンマネジメント (SCM) ゲームの社会人による結果とアンケートを利用した。利用ゲームデータはチーム対抗戦とグループ対抗戦の2回分で、合計40人が対象である。ゲームの目的は、機械損失費用と在庫保持費用の合計である在庫費用の最小化である。社会人は、基本的に2人以上で小売り、卸、メーカーに分かれて発注量を

The empirical research of SCM simulation game in social experiment
—The impact of inter-organizational communication and
strategy on Bullwhip effect—

Shinichiro ODA, Takashi MORI, and Akitsu OE

入力する。市場から小売りへの発注はシステムが担当した。事前設定のリードタイムに沿って、各組織に定期的に商品が届く仕組みである。組織間の情報共有が無い場合とある場合で条件を変えてゲームを実施した。分析ではゲームデータとゲーム前後とゲーム毎に記載してもらったアンケートデータを利用した。

分析ではゲーム途中参加者と、アンケートの無回答項目が多い人のデータを除いた。対象データは35人であり、回答に空白の部分がある場合は、故意に質問に答えなかったと捉え、その質問項目で最も値の低いものとみなした。組織間の話し合いが無いチーム対抗戦とあったグループ対抗戦の2回分のパネルデータとなり、合計件数は70件である。分析は統計パッケージであるRを用いて、負の二項分布モデル (Negative binominal model) により行った。また、以下に式に用いる記号をまとめた。

B_i : i 段階目の業者におけるブルウィップ効果。このゲームにおいては、メーカーが1段階目、卸売が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。

(2) 従属変数

従属変数はブルウィップ効果の分散と累積在庫費用の2つを用いる。

まず、ブルウィップ効果の計算はゲーム結果を用いて、業者ごとに次式 (1) ⑥によって求められる。

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

(1) 式より求めた業者ごとのブルウィップ効果だけでは1グループあたりのブルウィップ効果の大きさを表せないため、今回の実験では1グループあたりのブルウィップ効果の分散を求めるために (2) 式を利用する。

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

(1) 式と (2) 式より求めたものをブルウィップ効果の分散として従属変数とした。

累積在庫費用はゲームによって生じた在庫保持費用と機会損失費用の1期あたりの合計を用い、それを従属変数として用いた。

(3) 独立変数

独立変数は、質問項目である『適正在庫のためには、「機会損失費用」と、「在庫保持費用」のどちらをコントロールすることが重要と考えるか』を参考に、「機会損失費用ダミー」、「在庫保持費用ダミー」、「バランスダミー」を入れた。機会損失費用ダミーは、質問項目に対して機会損失費用を選んだものを1とし、そうでないものを0とした。在庫保持費用ダミーとバランスダミーも同様に、在庫保持費用または両方バランス良くの場合に1とし、そうでないものを0とおいた。

また、「チーム間話し合いダミー」として、業者間での話し合いを禁じたチーム対抗戦を0とし、業者間での話し合いを認めたグループ対抗戦を1としたものを用いた。

(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、製造業で働いた経験を表す「製造業ダミー」と過去にビールゲーム以外のSCMゲームを経験したかを表す「ゲーム経験ダミー」を作成した。

また、ゲーム後のアンケートより、発注量決定時に機会損失がどれだけ重要だと思ったかを表す「機会損失重要度」、発注量決定時に情報共有がどれだけ重要だと思ったかを表す「情報共有重要度」、自分がどれだけ受注量の予測をしたかを表す「受注量予測度」、自分がどれだけ他の意見をとりまとめたかを表す「とりまとめ度」、受注量の予測におけるミス発生回数を表す「予測ミス発生回数」、チーム単位で見た予測ミス発生回数の分散を表す「チームミス回数分散」を用いた。

さらに、ゲーム前とゲーム後の適正在庫への意見の変化として、「意見変更ダミー」、ゲーム内での業者が小売であるかを表す「小売ダミー」を作成した。

4 結果

(1) グラフによる分析結果

ゲーム結果より、多くのグループで川下の業者に比べて川上の業者の発注量が増幅するブルウィップ効果が見られた。

図1で示したものはグループ3のチーム対抗戦における業者それぞれの注文数のグラフで、示される量は全て発注量である。このグループは顕著にブルウィップ効果が見られた。第5期

で川下の業者である小売が需要量をあげ、それを追うように一つ川上の業者である卸売が第8期で発注量を増やしている。それに気づいた川上の業者であるメーカーも11期で発注量を増やしている。

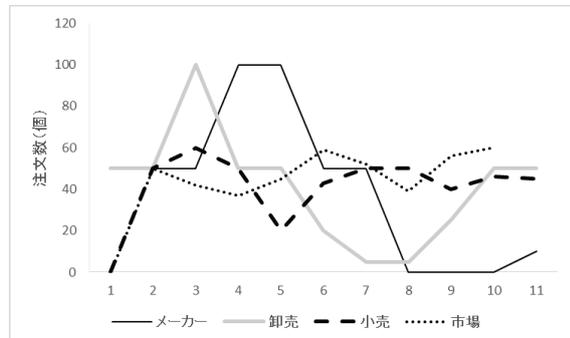


図1 グループ3のチーム対抗戦

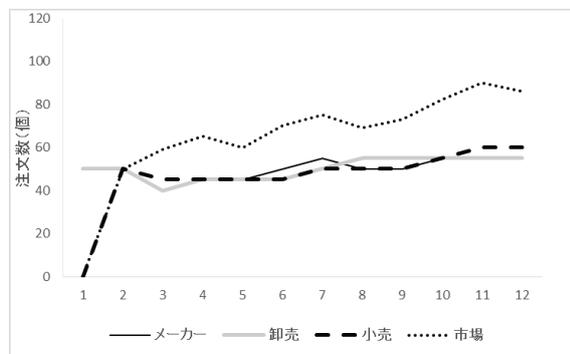


図2 グループ3のグループ対抗戦

図2はチーム対抗戦の後に行われたグループ対抗戦のもので、チーム間でコミュニケーションをとっているゲームである。いずれの業者も発注量のずれがほとんどなく、ブルウィップ効果が抑えられている。

つまり、グラフを見ただけでも、ゲームのルールが変わったことにより、何らかの要因でブルウィップ効果が明らかに抑制されていることがわかる。

(2) 仮説検定結果

表1は、仮説を検定するための負の二項分布モデルによる分析結果である。モデルIとモデルIIは従属変数をブルウィップ効果の分散にした。モデルIIIとモデルIVは従属変数を累積在庫費用にした。モデルIとIIIは独立変数を「チーム間話合いダミー」と「バランスダミー」を、モデルIIとIVは独立変数を「チーム間話合いダミー」、「機会損失ダミー」、「在庫保持ダミー」を用いた。

モデルI～IVよりチーム間話合いダミーは負の符号を示し、統計的に有意であるため、ブ

ルウィップ効果と累積在庫費用が抑制されている。また、係数はモデルIでは-3.16、モデルIIでは-3.26と他の変数に比べてかなり大きい。以上より、H1とH2は支持された。

表1 分析結果

変数名	ブルウィップ効果		累積在庫費用	
	モデルI	モデルII	モデルIII	モデルIV
1 製造業ダミー	-.88**	-.85**	-.40**	-.37**
2 ゲーム経験	-.26	-.28	-.19**	-.20**
ダミー	[.21]	[.21]	[.09]	[.09]
3 機会損失	-.18	-.21	-.08	-.09
重要度	[.15]	[.16]	[.07]	[.07]
4 情報共有	-.17**	-.17*	-.05	-.05*
重要度	[.10]	[.10]	[.04]	[.04]
5 受注量子測度	-.16	-.20	-.00	-.02
6 とりまとめ度	-.42***	-.48***	-.02	-.03
7 予測ミス	.22	.27*	.03	.04
発生回数	[.15]	[.15]	[.06]	[.06]
8 チームミス	.21*	.19	.15***	.14***
回数分散	[.13]	[.13]	[.05]	[.05]
9 意見変更	.93**	.90**	.27	.27**
ダミー	[.41]	[.41]	[.18]	[.18]
10 小売ダミー	.35	.37	.15	.18
11 グループ人数	.30	.30	.11	.12
	[.22]	[.22]	[.10]	[.10]
12 チーム間	-3.16***	-3.26***	-.64***	-.66***
話合いダミー	[.32]	[.33]	[.14]	[.14]
13 バランス	.97**		.30*	
ダミー	[.39]		[.16]	
14 機会損失		-.44		-.12
ダミー		[.56]		[.24]
15 在庫保持		-1.18***		-.36**
ダミー		[.43]		[.17]
Log likelihood	-479.95	-478.57	-1194.35	-1193.38
データ数	70	70	70	70
AIC	509.95	510.57	1224.3	1225.4

* $P < .10$ ** $P < .05$ *** $P < .01$, []は標準誤差

モデルIとIIIより、バランスダミーの係数は正であり、有意となった。つまり、機会損失と在庫保持費用の双方に配慮することは、ブルウィップ効果と累積在庫費用を増幅する。以上より、H3は支持された。

モデルIIとIVより、ブルウィップ効果と累積在庫費用に影響を与える在庫保持ダミーの符号は負であり、ブルウィップ効果と累積在庫費用を抑える傾向があることがわかった。しかし、機会損失ダミーは有意とならず、機会損失に配慮してもブルウィップ効果と累積在庫費用に影響が無いことがわかった。従って、H4は部分的に支持された。

5 考察

本研究は、SCにおいてコミュニケーションを積極的にを行い、適正在庫保持費用の指針を持

つことにより、ブルウィップ効果やサプライチェーン全体の在庫費用を抑えられることを実証した。

本研究は、主要な理論的貢献は次の3点である。まず、現実のSCで発生しているブルウィップ効果をわずか30分程度のシミュレーションゲームで再現できたことである。このことは、実務的にも企業がSCの様々な戦略構築の際に事前にシミュレーションして、その効果を検証できる可能性を示した。

次に、ブルウィップ効果抑制のためにSC内の話し合いの重要性が指摘されてきたが⁴⁾、それを実際のゲームで実証したことである。また、ブルウィップ効果の抑制に関しては、他の変数に比べて話し合いに関する変数の係数の圧倒的な大きさから、SC内で組織を超えた話し合いは、ブルウィップ効果の抑制に強く影響している。その一方で、累積在庫費用に対しては、ブルウィップ効果ほどでは無く、実務的側面から見ると、ただ話し合うだけでは、SCの最適化に必ずしもつながらないことが明らかとなった。

最後に、SCの最適化のために、在庫保持への配慮が重要であることを実証した。得てして、市場からの需要予測に熱心になることが推測できるが、受注量予測度変数は、いずれのモデルでも有意ではなく、むしろ、機会損失費用が重要であることを実証した。このことは、サプライチェーンの最適化計画に示唆を与えるものである。さらに、実務的にもあてることが困難な市場からの需要予測に過剰に傾注すべきでないことがいえる。

以上の貢献の一方で、本研究には限界もある。今後は、更に多くの人や、より様々な分野の人に調査を行い、アンケートの質問項目などの改善を行い、分析結果の信頼性をより高めるべきである。

以上の限界もあるが、シミュレーションゲームの現実世界への適応の可能性を示したことは、大きな理論的、実務的貢献と考える。

「参考文献」

- 1) 大江秋津, 河合亜矢子, and 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 63.4 (2015): 4_47-4_52.
- 2) H. L. Lee, V. Padmanabhan, S. Whang, Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect, Management Science, 43-4, pp.546- 558, 1997.

- 3) Forrester, Jay Wright. "Industrial dynamics." Journal of the Operational Research Society 48.10 (1997): 1037-1041.

- 4) Burbidge, J. (1983), "Five golden rules to avoid bankruptcy", Production Engineer, October, pp. 13 - 14. [CrossRef]

- 5) Sterman, J. D. 1984. Instructions for Running the Beer Distribution Game: MIT System Dynamics Group.

- 6) F. Chen, Z. Drezner, J. K. Ryan and D. Simchi-Levi, "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and information" Management Science, 46-3, pp.436- 443, 2000.

謝辞

本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤(C)15K03624)の支援により実施された。また、本研究は、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から提供された、SCMゲームとゲームデータを利用して行われ、両氏に謝意を表す。