

# ビールゲームを用いたロジスティクス教育の一考察

伊 藤 秀 和

## I はじめに

近年、ロジスティクス (logistics) は企業の経営戦略上、重要な要因の 1 つとなった。従来のロジスティクス (あるいは物流活動と呼ぶ方が適切であるが) では、サプライチェーン (supply chain) 上での輸配送に力点が置かれ、大量の中間財・消費財をいかに安く生産し、そしていち早く組立工場・店舗・消費者に届けるかが重要な課題であった。すなわち、高度経済成長期においては、製品・商品の大量生産による規模の経済性 (economy of scale) を追求したプロダクト・アウト (product out) の考え方に基づく物流活動であった。企業は中間財・消費財をその消費需要に先んじて大量生産し、保管することで物流戦略が成り立った。

しかし、消費者ニーズの多様化やプロダクト・サイクル (product cycle) の短縮などにより、在庫保有は企業にとって保管費用の増大だけでなく、商品資金という機会費用 (opportunity cost) の損失、さらに商品の陳腐化による資金埋没から、在庫管理の重要性が一層増大している。すなわち、売れるものを適切に消費者に届けるというプロダクト・イン (product in) へと物流活動は変化し、在庫政策が重要な経営課題となった。

こうした部品工場・組立工場・卸売業・小売業と連なるサプライチェーン上の在庫管理を困難にさせる要因の 1 つに、例えば、鞭効果 (bullwhip effect) がある。鞭効果とは、ある商品に対する消費者の需要はさほど変化が

ないにも関わらず、サプライチェーン上の在庫や受注残（back-order：在庫切れだが受け付けた注文）の変動が激しいことを呼ぶ。しばしば用いられる鞭効果の事例<sup>1)</sup>であるが、(1)P&G（Procter & Gamble）の使い捨て紙おむつの需要動向を調査したところ、小売店の販売量は予想通りでそれほど変動がないにも関わらず、流通業者から工場への発注量は、小売店のそれとは比較にならないほどの変動が確認された。また、(2)コンピュータ・メーカーのHP（Hewlett-Packard）は、顧客需要のばらつきより製品発注のそれの方が大きいことを、さらにその部品発注で一層ばらつきが大きいことを経験した。このように、サプライチェーンの上流側（すなわち生産工場）に行くほど需要（実際には、小売店での予測顧客需要）の変動幅が拡大することを鞭効果と呼ぶ。そのため、生産工場は実需要以上に大量の生産計画を行い、損失リスクは一層高くなる。

さて上述のように、プロダクト・アウトの経済環境においては、大量在庫は品切れのリスク回避として有用であったが、プロダクト・インの経済環境においては、経営状況に大きな影響を与える。そのため、経営戦略におけるロジスティクス、あるいはロジスティクス・マネジメントの重要性は、経営学教育の分野においても一層増していると認識されている。しかし、現実の教育現場でのロジスティクスあるいはサプライチェーンに対する学生の学習意欲という点から見ると、相反しているように感じられる<sup>2)</sup>。その1つの理由として、学生（特に学部生）にとって「ロジスティクス」という用語のみならず、その活動内容について想像し難いように感じられる<sup>3)</sup>。すなわち、コンビニエンスストアでアルバイト経験のある学生は多いと思われるが、そこでのPOSシステムがどのように店舗発注に利用され、また各店に1日数

1) 久保監修（2002）、第4章を参照。

2) 同じ「ロジスティクス」という科目名であっても、理工学系学部における授業内容と社会科学系学部における授業内容とはかなりの程度異なっている。特にここでは、後者を意識して議論している。

3) 一般的に、広義のマーケティングでは、企業のロジスティクス活動は需要充足と位置付けられるため、消費者でもある学生からはその活動が見え難い。

回訪れる配送がどのようにネットワーク化されているかを意識することはほとんどないであろう<sup>4)</sup>。したがって、一層増大するロジスティクス・マネジメント、サプライチェーンの重要性と学習インセンティブにずれが生じていると思われる。

そうしたことから、上述した鞭効果などビジネスにおける複雑な現象を理論的背景のみで教示するのは困難であり、一方学生にとってもこうした現象を理解するには比較的高度な数学的知識を必要とするため、単なる用語の理解で終わってしまう。

こうした概念を実際に体験するビジネスゲームの1つとして、国内外の経営系学部・ビジネススクールで用いられているビールゲームがある。ビールゲームとは、工場・一次卸・二次卸・小売店の4在庫点（プレイヤー）が、それぞれ下流側の取引先地点からの発注情報を基に（例えば、二次卸であれば小売店からの発注量）、自身の発注情報（同じく、一次卸への発注量）を検討する仕組みで、小売店のみが顧客実需要情報を把握して行動できる。しかし、小売店が把握する顧客需要も当該期のみで、将来需要は過去のトレンドからの予測が必要となる。こうした状況の下で、各在庫点が每期変化する顧客需要を予測し、自身の在庫管理費用を最小化するように発注行動を行う場合、その発注量は実需要に対して思いがけないほど変動することが確認できる。このビジネスゲームを用いて、学生は先述した鞭効果を疑似体験することができる。

本稿の目的は、以下の2つである。1つは、理論モデルで示される鞭効果現象を、仮想の顧客需要に対してどの程度発注量が変わるかを教室実験の結果から確認することである。すなわち、学生はこの現象を疑似体験・学習することになる。もう1つは、実験結果の考察から、各在庫点でのプレイヤー（学生）がどのような心理的影響を受けて発注量を決定するかを観察する

4) 例えば、「ファミリーマート—ITを活用して店舗配送を可視化—」『月刊ロジスティクス・ビジネス』2006年1月、pp. 16-17を参照。2004年時点で1店舗1日あたりの配送車両台数は7.72台で、各店舗到着時間は予定時間に対して±15分という精度で行われている。

ことである<sup>5)</sup>。なお本稿では、伝統的な（ロジスティクス関連科目で必ず学習する）在庫管理手法を用いた場合でも鞭効果が発生することを、シミュレーション・モデルを用いて示し、教室実験による結果と比較・考察する<sup>6)</sup>。

以下、本稿の構成は、次の通りである。第2節では、鞭効果の理論的背景を解説する。第3節では、ビールゲームの概要を説明し、続く第4節では、伝統的な在庫管理手法を概説し、その後こうした在庫管理手法でも鞭効果が発生することを、簡単なシミュレーション・モデルを構築して確認する。第5節では、教室実験の実施方法・結果をまとめ、各プレイヤー（学生）の行動とその構造を考察する。最後の第6節では、本稿のまとめを行う。

## II 鞭効果の理論的背景

先に述べたように、鞭効果とは、サプライチェーン上の下流（小売店側）で顧客需要に大きな変動が見られないにもかかわらず、その上流（工場側）の発注量（予測需要）の変動幅は拡大する現象を言う。そこで、本節では需要変動拡大のメカニズムを理解するために、図1に示す単純化されたサプライチェーンを考える。ここでは、小売店、二次卸、一次卸、工場の4段階の流通チェーンを想定する。例えば、二次卸は自身の下流側にある小売店から注文（この発注量は実際の顧客需要ではなく小売店による将来の予測顧客需要）を受け、自身の上流側にある一次卸に発注を行う。この発注量を決めるため、二次卸は小売店での実需要を予測する。ここで、もし二次卸が小売店から発注量以外の情報を得られない場合、二次卸は小売店からの発注情報をもとに将来の顧客需要を予測することになる。

しかし、各在庫点は下流側在庫点の発注変動（例えば先週10ケースであった発注量が今週15ケースに増加）に対して、以下に示すいくつかの要因によ

5) 教室実験の後、プレイヤー（学生）各自に本ビールゲームの考察を課題として与え、その結果等も参考とした。

6) ビールゲームについては、多くの著書で言及されており、また学部教育等でも演習が行われているが、実験結果の考察を行っているものは少ないように思われる。本稿は、ロジスティクス教育における今後の資料としての役割も併せている。

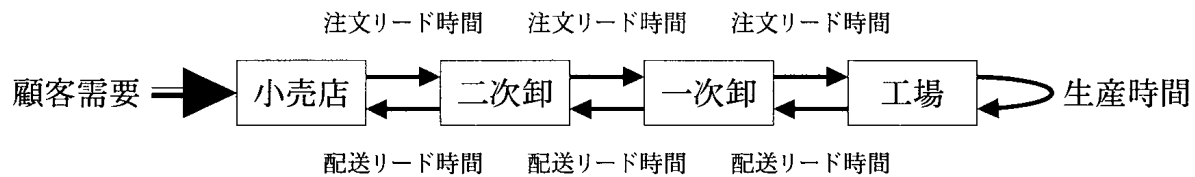


図 1：サプライチェーン

り将来の顧客需要がさらに増加することを予測して、上流側企業に対して過大に（例えば20ケース）発注するなどのように、川下企業の発注変動に対して、川上企業のそれが大きいことが鞭効果である。ここで、鞭効果の定性的な要因として、例えば、以下の5つが議論されている<sup>7)</sup>。

〔1〕 需要予測：発注者は顧客需要とその需要変動を予測する必要があるが、これらの予測は常に新たな受注データを加えることで繰り返し行われる。そのため、目標となる在庫量・発注量の変動が大きくなる。

〔2〕 リードタイム：リードタイムとは、例えば小売業が商品を卸売業に発注してから、それが手元に届くまでの時間をいい、当然リードタイムが長くなるにつれて、その間の需要変動幅も拡大する。

〔3〕 バッチ発注：バッチ発注とは、例えば小売業が数週間分の商品をまとめて発注する場合、卸売業は多めに注文を受け、その後数週間は注文がないということを繰り返す。このとき、卸売業は本来よりも変動幅が大きく歪められた注文を受けることになる。

〔4〕 価格の変動：製品価格（卸価格）が変動する場合、小売業者は価格が低いときに在庫を増やそうとするため、このとき（実際の需要を上回る）大量の発注が行われる。

〔5〕 供給不足と供給配分：品薄時期に小売業者が大量に発注を行うと、製品供給が遅れがちになる。そのため、別の小売業者や物流業者が各自の製品を確保するためにますます発注量を増やし、その結果、需要予測が大きく変

7) 久保監修（2002）、第4章を参照。鞭効果の数学的解説については、久保（2001）、第3章を参照。また経済学においては、ストック切れ防止モデルとして、在庫投資行動が議論されている。例えば、脇田（2004）、第6章を参照。

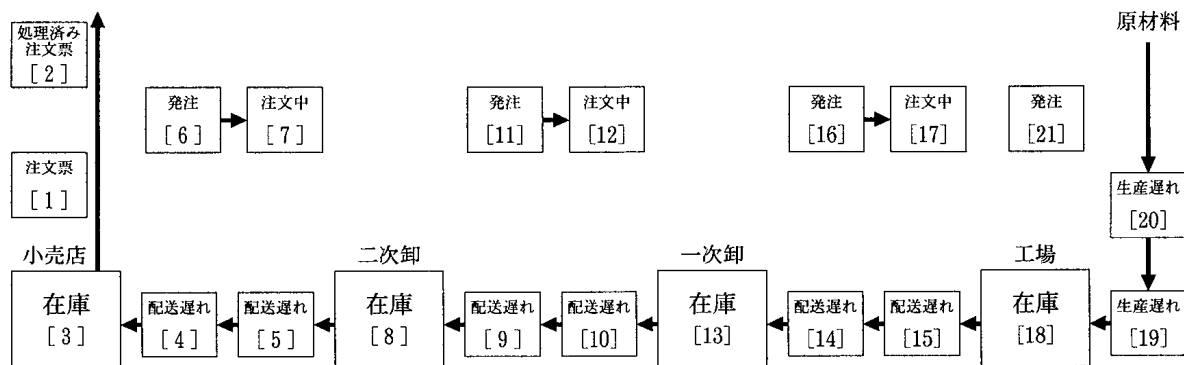
動する。

したがって、顧客需要を直接受ける小売業者から、実際にその商品を生産する工場までの注文データ・時間、そして完成品の配送作業・時間などの蓄積が、サプライチェーン上流における大きな需要変動の原因となって現れる<sup>8)9)</sup>。このように、「行動は構造から必然的に引き起こされる」という観点に立ち、時間を介在して対象変数（この場合、各在庫点が予測する顧客需要）の特徴を議論する手法をシステムダイナミクス（System Dynamics: SD）<sup>10)</sup>と呼ぶ。システムダイナミクスでは、こうした社会システム構造が導く現象を、そのプレイヤー（この場合、在庫点）に対する心理的影響などから理解するアプローチを取っている。

### III ビールゲームの概要

本節では、教室実験に先駆け、サプライチェーン・マネジメントの学習ツールとして用いるビールゲームの解説を行う。ビールゲームに関しては、これまでさまざまな研究・文献で用いられており、また本稿がこのゲームのメカニズムを議論するものではないため、厳密な説明ではなくその概念の解説に留める<sup>11)</sup>。なおビールゲームとは、マサチューセッツ工科大学（MIT）で

- 8) 小売店の特売など、マーケティング活動も鞭効果を発生させる原因である。すなわち、特売による卸売業者への大量の発注から鞭効果が発生する。これに対して、米ウォルマートの毎日低価格（everyday low price）戦略が、鞭効果を減らす重要な戦略となった。例えば、久保監修（2002）、第4章などを参照。
- 9) 例えば、かんばん方式（kanban system、トヨタ生産方式）は、下請け工場が親工場からの発注指示（かんばん）に基づき、時間ちょうど（Just In Time: JIT）に配送を行うため、在庫投資やその変動を減少させることが可能である。なお、かんばん方式は、米国のスーパーマーケットからヒントを得たとされ、導入当初はスーパーマーケット方式と呼ばれていた。トヨタ生産方式については、例えば考案者でもある大野耐一氏の著書、大野（1978）などを参照。
- 10) システムダイナミクスの詳細については、例えば島田編（1994）を参照。システムダイナミクスの概念は、Forrester（1958）によって提唱された。Forrester 博士を中心とする MIT System Dynamics Group の HP (<http://web.mit.edu/sdg/www/>、2007年3月5日確認)を参照。なお現在は、後述ビールゲームの考案者でもある Sterman 博士がグループリーダーである。
- 11) システムダイナミクス学会日本支部で「ビールゲームキット」が用意されており、本演習でもこれを用いた。詳細は、本学会の HP (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsd/>)



出所：島田編（1994）、pp. 172-173 を参考に筆者による加筆修正。

注意：図中[\*]の数字は、第3節での解説のために記した。

図2：ビールゲームの説明

勉強し過ぎの学生のために、これは勉強ではないということを印象付けるためにこのような名前が付けられたと言われている<sup>12)</sup>。

## ビールゲーム

ビールゲームは、図2と同様のゲーム盤を用いて行われる。このサプライチェーンでは、川下側から「小売店」・「二次卸」・「一次卸」・「工場」の4プレイヤー（在庫点）からなる。この4プレイヤーで、実際の顧客需要に対して総費用最小化を目指す。なお、ビール1ケースの在庫費用（storage cost）、すなわち1ケース1週間自身の倉庫に置いておくために掛かる費用は0.5ドル、また川下側需要に対して品切れを発生させた場合の費用（これを受注残費用<sup>13)</sup>（back-order cost）と呼ぶ）は1ケース1週間で1.0ドルとする。したがって、各プレイヤーにとっては、在庫として余分にビールケースを保有しておく方が、在庫切れを起こすより費用が半分で済むことになる<sup>14)</sup>。なお、ゲーム開始時点においては、図中の各ボックスにビールケースは4ケースず

index\_j.html、2007年3月5日確認）を参照。詳細な解説については、例えば島田編（1994）などを参照されたい。

12) ビールゲームに関する初期の論文は、Sternan（1984, 1989）を参照。

13) 機会費用に相当。

14) この比率を変えた場合、どのような行動を各プレイヤーが起こすのか、またサプライチェーン上のプレイヤーによってこの比率が異なる場合、どのような行動差異が起きるのかなど、興味深い実験が可能である。

つ置かれている。したがって、プレイヤーはこれまでの各週の受発注は、安定して4ケースであったと理解することができる<sup>15)</sup>。さて、顧客の各週のビール実需要に対して、各プレイヤー（在庫点）がどのような仕組み・手順で発注を行うかを解説する。なお、以下（ ）内の太字は、図2に対応している。

### 【小売店】

まず小売店は、裏返しにしてある（当期まで知ることができない）注文票（注文票[1]）をめくり、そこに書かれている今週の顧客需要を知る。もし（前週までの品切れ合計である）受注残があれば、受注残と今週の注文数を合計し、小売店は自身の在庫（在庫[3]）からその合計数だけ販売する（めくった注文票は処理済み注文票[2]へ）。ここで、もし合計を満たす在庫を持っていない場合には、持っている分を全て販売し、残りを受注残（今週までの品切れ合計）として計上する。次週、その受注残を販売することになる。また、同時に二次卸からの今週の入荷ケース（配送遅れ[4]）を自身の倉庫に入れる。そして、これまでの顧客需要（小売店にとっては川下企業に相当）に基づき、二次卸に対して発注を行う（発注[6]）<sup>16)</sup>。

### 【二次卸・一次卸】

同様に二次卸（一次卸）は、小売店（二次卸）からの発注指示（注文中[7]、一次卸の場合注文中[12]）を受ける。もし受注残があれば、受注残と

15) 教室実験の結果を見ると、例えば開始後の第1週目に4ケース以外の発注を行った在庫点が幾つか確認できる。しかし、第1週目の発注指示は、後述するように全て4ケースである。すなわち、初期均衡状態を正しく理解していなかったと考えられ、ゲーム構造の説明が不十分であったと思われる。

16) 本ゲームでは、実輸送サービスをモデル化していないため、例えば二次卸から小売店への配送（配送遅れ[5]から配送遅れ[4]）は、小売店が入荷作業と同時に行うと設定する。同様に、一次卸から二次卸（配送遅れ[10]から配送遅れ[9]）、工場から一次卸（配送遅れ[15]から配送遅れ[14]）、さらに工場での生産工程（生産遅れ[20]から生産遅れ[19]）は、それぞれ二次卸、一次卸、工場が入荷作業と同時に行うと設定。また、発注指示伝達についても同じくモデル化していないため、例えば小売店から二次卸への伝達（発注[6]から注文中[7]）は、小売店が発注作業と同時に行うと設定する。同様に、二次卸から一次卸（発注[11]から注文中[12]）、一次卸から工場（発注[16]から注文中[17]）、さらに工場での生産指示（発注[21]から生産遅れ[20]）は、それぞれ二次卸、一次卸、工場が発注作業と同時に行うと設定。



今週の注文数を合計し、二次卸（一次卸）は自身の在庫（在庫[8]、一次卸の場合在庫[13]）からその合計数だけ配送をする（配送遅れ[5]、一次卸の場合配送遅れ[10]へ）。もし、合計を満たす在庫を持っていない場合には、小売店と同様、持っている分を全て配送し、残りを受注残として計上する。また、同時に一次卸（工場）からの今週の入荷ケース（配送遅れ[9]、一次卸の場合配送遅れ[14]）を自身の倉庫に入れる。そして、二次卸（一次卸）も、これまでの小売店（二次卸）の発注情報に基づき、自身の川上企業である一次卸（工場）に対して発注を行う（発注[11]、一次卸の場合発注[16]）。

### 【工場】

工場は、一次卸からの発注指示（注文中[17]）を受ける。もし受注残があれば、受注残と今週の注文数を合計し、同じく自身の在庫（在庫[18]）からその合計数だけ配送する（配送遅れ[15]へ）。もし、合計を満たす在庫を持っていない場合には、持っている分を全て配送し、残りを受注残として計上する。また、同時に自身の生産ライン（生産遅れ[19]）から今週の完成ケースを倉庫に入れる。そして、工場も同様に、これまでの一次卸の発注情報に基づき、工場生産ラインの計画を行う（発注[21]）。

ここで、各プレイヤー（在庫点）の発注は、図2から理解できるように、発注後2週目に自身の川上企業が受け取ることになる。また、各プレイヤーの商品発送も、発送後2週目に川下企業に到着することになる。したがって、例えば小売店がある時点で発注した商品（この場合同じビールケースであるが）は、4週間後にならないと受け取れないことになる。また、工場に関しては、ある時点の生産計画はその3週間後に自身の倉庫に発送準備が整うことになる。

各在庫点（プレイヤー、この場合は学生）は、上記のサプライチェーン・メカニズムを理解した上で、それぞれ直近の川下企業の発注情報に基づき、同じく直近の川上企業に発注・生産計画を行うことになる。そのため、前節で示した要因のうち、特に[1]需要予測、[2]リードタイムによって、川上

企業における需要変動は川下企業のそれより一層拡大することになる。なお、本ビールゲームの顧客需要は、ゲーム開始後1～4週目までは（初期状態と同様）4ケース、5～8週目までは6ケース、9週目以降（ゲーム終了まで）は8ケースという状況を与えた<sup>17)</sup>。

## IV 在庫管理手法

本節では、まずビールゲームの背景にある一般的な在庫管理手法を解説する<sup>18)</sup>。そして、簡単なシミュレーション・モデルにより、こうした在庫管理手法においても鞭効果を引き起こすことを、前節で示した教室実験と同様の顧客需要を用いて確認する。

### 古典的な在庫管理手法

一拠点・単一商品に対する在庫管理での意思決定項目としては、以下大きく2つ挙げられる。1つは何時発注を行うかということ、すなわち**発注タイミング**（あるいは**発注点**）と、もう1つはどれだけ発注を行うか、すなわち**発注量**である。発注タイミングと発注量それぞれに対し、予めその時期と量を決める場合と決めない場合で4つのケースに分類することが可能で、これを示したものが表1である。以下、各管理手法の特徴を見ておく<sup>19)</sup>。

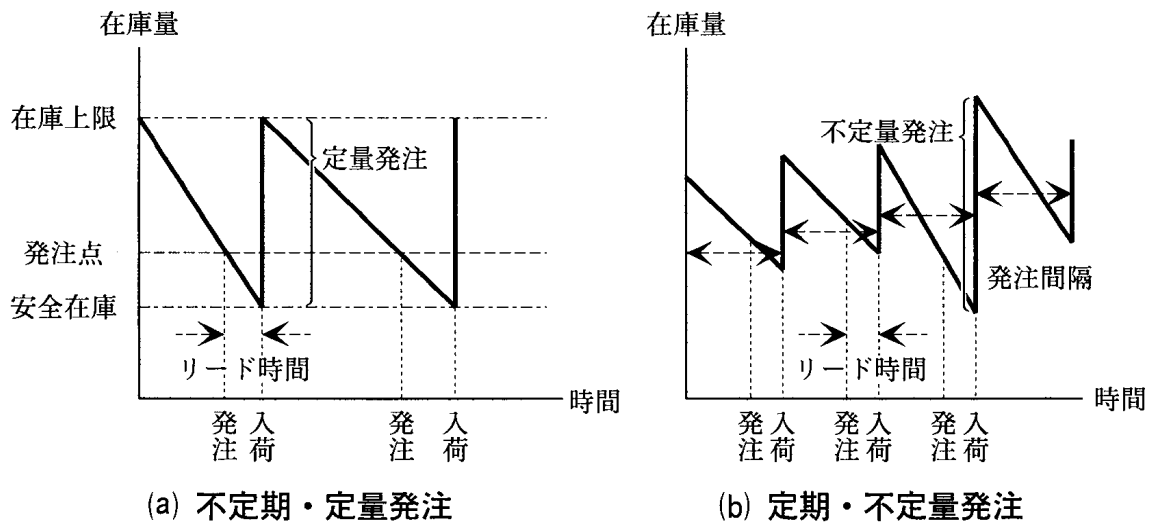
表1：在庫管理手法

		発注量	
		定量発注	不定量発注
発注点	定期発注	定期・定量	定期・不定量
	不定期発注	不定期・定量	不定期・不定量

17) 様々な顧客需要パターンを与えることで、在庫点発注行動の変化を議論することも可能である。

18) ただし、演習学生（学部1年生）に対して、事前に以下の理論的な在庫管理手法の説明はしていない。

19) 在庫管理手法については、中田他（2003）、第3章を参照。



出所：中田他（2003）、p. 61（図 3-3）を参考に筆者による加筆修正。

図 3：古典的な在庫管理手法

### 〔1〕 定期・定量発注法

理論上は存在するが、決められた期間で決められた量だけ発注するのであれば、そもそも在庫管理をする必要が無いので現実的ではない。

### 〔2〕 不定期・定量発注法

この手法は、常時在庫量をチェックし、発注すべき点（発注点）に達したら、決められた量を発注する方法である。発注量は決められているが、発注タイミングは決められていない（図 3 (a)）。ただし、出荷サイクル（顧客需要）に依存し自身の発注サイクルが不安定となるため、欠品や過剰在庫が発生する可能性がある。すなわち、いつ発注点に達するかは川下企業の発注状況に依存するため、発注時期が不定期となる。以下、具体的な管理方法を述べる。

**【不定期発注法】** 発注在庫水準である発注点は、通常以下のように計算される。

$$\begin{aligned}
 \text{発注点} &= \text{平均在庫量} + \text{安全在庫量} \\
 &= \text{リードタイム中の平均需要} \\
 &\quad + \text{リードタイム中の需要の標準偏差} \times \text{安全在庫係数} \times \sqrt{\text{リード時間}}
 \end{aligned}$$

先述のように、リードタイムとは、在庫点が発注してから手元に届

くまでの時間のことであり、今回のビールゲームでは、小売店⇒4週間、二次卸⇒4週間、一次卸⇒4週間、工場⇒3週間となる。したがって、リードタイム中に発生する平均的な需要量と、同じくリードタイム中に発生する変動需要量の関数として発注点は定義される<sup>20)</sup>。ここで、安全在庫係数とは、品切れを起こさない確率を表わし、品切れ費用（受注残費用）と在庫費用との相対的な関係（臨海率、サービスレベル）で決まる。今回の教室実験では、在庫費用と品切れ費用との関係を単純化<sup>21)</sup>から1:2としたため、臨海率は0.66（すなわち34%の確率で品切れが発生）となり、そのときの安全在庫係数は0.44となる<sup>22)</sup>。

**【定量発注法】**この時の発注量（経済発注量（Economic Ordering Quantity: EOQ））は、ハリスの公式（Harris's formula）<sup>23)</sup>により、以下のように表される。

$$EOQ(x^*) = \sqrt{\frac{2XC_m}{p_m r}}$$

ここで、 $X$ は年間需要量、 $C_m$ は1回当たり発注費（輸送費）、 $p_m$ は在庫品単位量当たりの購入費、 $r$ は年間保管費率である。上式は、1回当たりの発注量 $x$ を変数とし、発注に関わる費用と在庫管理に関わる費用の合計費用を最小化することで得られる。

以上が定量発注法の概要であるが、この発注法に対する批判として、ハリスの公式による定量発注量の算出のためには、年間需要量が明らかである必

20) 後述のように、本シミュレーションではこの安全在庫をモデル化していない。なぜなら、本ビールゲームの開始時点では、発注量、在庫量、配送遅れ等はすべて4ケースで、ここで安全在庫概念を導入すると、翌週から自動的に品切れが発生することになり、鞭効果を観察するという本来の目的が不明確になるためである。

21) 被験者である学生が損得勘定をし易いという意味での単純化であり、在庫点で異なる数値を与えることで、プレイヤー（在庫点）の心理的变化を考察することも可能である。例えば1:10（品切れ費用を在庫費用の10倍）とすれば臨海率は0.90となり、安全在庫係数は1.28へと増加する。

22) この計算方法については、例えば久保（2004）、第2章などを参照されたい。

23) 「ハリスの公式」の導出については、例えば土井・坂下（2002）、第12章を参照されたい。ただし、土井・坂下（2002）では、これを最適補充量（Optimal Ordering Quantity: OQ）と定義している。

要がある。しかし、そもそも年間需要量などの情報が明らかであれば、顧客需要変動を考慮する必要がなく、この手法はあくまで経済的な輸送回数とそ  
 の際の輸送量の議論にすぎない。

### 〔3〕 定期・不定量発注法

定められた時期に（期間で）在庫量をチェックし、ある（標準）在庫量になるように発注する方法である。発注間隔は決められているが、発注量は決められていない（図 3 (b)）。ただし、次の発注時期が既に決められているため、欠品を恐れ過剰に発注する可能性がある。そのため、重点管理品目の在庫管理で利用される。

### 〔4〕 不定期・不定量発注法

先述のように、従来は生産したものを売るというプロダクト・アウト志向であったため、例えば上述の定期・不定量発注法を用いて、重要品目の商品管理を行ってきた。しかし、商品のプロダクト・サイクル短縮により、いかに在庫費用を抑えるか、さらに商品の陳腐化による（資金である）機会費用の損失を抑えるか、そして末端の販売活動と生産をシンクロナイズして、売れるものを生産するというマーケット・イン志向の在庫政策へと物流戦略は変化した。

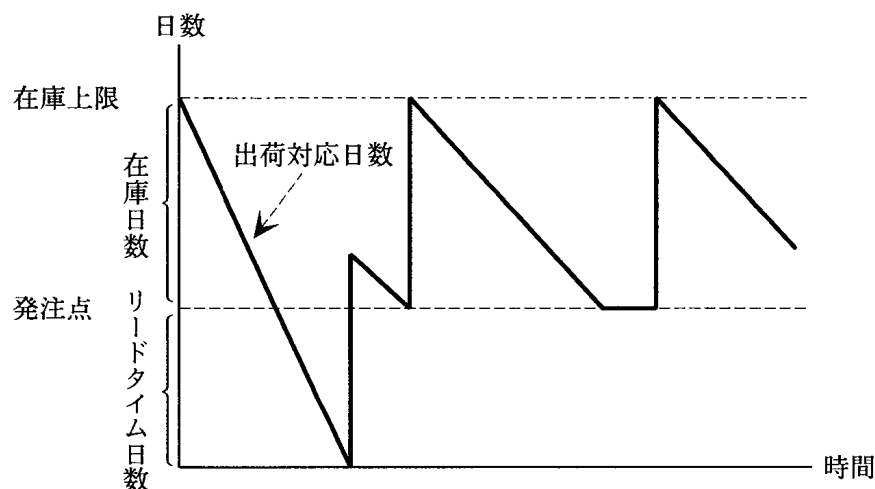
そうした社会経済環境と例えば POS システムなどに代表される情報化進展により、以下に述べる不定期・不定量発注法が近年指摘されている。以下では、湯浅（2005）による比較的簡便な不定期・不定量発注法を基に解説する。簡潔に述べれば、現在の在庫量がある水準に達したら（＝不定期）、ある量を発注する（＝不定量）という手法であり、以下のように示される。

発注点＝需要の平均×リードタイム日数（制約）

発注量＝需要の平均×在庫日数（制約）

現在の在庫量／需要の平均＝出荷対応日数

したがって、「需要の平均」（実際には、例えば標準予測平準法（standard forecast smoothing technique）などを利用）を判断基準値として、現在の在庫量との関係から発注量を決定する手法である。この定義を図示したものが、



出所：湯浅（2005）、p. 109 を参考に筆者による加筆修正。

図 4：不定期・不定量発注法

図 4 になる。後述するシミュレーションの制約条件であるリードタイム日数は発注点レベルを上げ、同じく在庫日数は在庫上限レベルを上げることそれぞれ（受注残発生による）品切れ回避を達成できる。従来の在庫管理手法が、在庫量で議論していたのに対して、本発注法では出荷対応日数で議論している点が特徴的である。

### シミュレーション分析

本項では、上述した不定期・不定量発注法を基に、教室実験と同様の顧客需要を与えた場合の発注量および在庫量・受注残量の推移を、簡単なシミュレーション・モデルを用いて確認する<sup>24)</sup>。ただし、湯浅（2005）に従った場合、受注残（品切れ状態）が発生しても、上述のように各在庫点は「需要の平均<sup>25)</sup>×在庫日数」しか発注を行わず、品切れ状態が継続され続ける。上記

24) ビールゲームに関するシミュレーションについては、例えば、東京海洋大学海洋工学部久保幹雄先生の HP (<http://www.tosho-u.ac.jp/~kubo/lecture/lecture1.htm>、2007年 3 月 5 日確認)、関東学園大学経済学部犬童健良先生の HP (<http://www.us.kanto-gakuen.ac.jp/indo/kyozai.html>、2007年 3 月 5 日確認)などを参照されたい。本シミュレーション・モデルに興味のある方は、筆者まで連絡されたい。

25) 本シミュレーションでは、「需要の平均」は移動平均 (moving average) を用いた。なお、平均期間はリードタイム日数と一致させた。第 2 節で述べたように、対象期間

モデルは安全在庫を仮定しておらず、そもそも品切れ状態を想定していないと考えられ、すなわち本ビールゲームの場合、初期状態における発注点が平均需要よりかなり高く設定されなければならない。本シミュレーションの目的は、在庫管理手法の優劣を議論することではなく、一般的な在庫管理手法でも鞭効果が発生することを確認することである。そこで、上述した不定期・不定量発注法を若干改良し、受注残が発生した場合については、在庫レベルを調整するように発注量決定を行う修正プログラムを組んだ<sup>26)</sup>。

ここで、リードタイム日数については、本ゲームにおいては前項で示したように小売店・二次卸・一次卸はそれぞれ4週間、工場は3週間となっている。しかし、通常発注方式におけるリードタイムと一般に示した場合、発注後その商品が手元に届くまでの日数を想定することになり、本ゲームでは発注翌週にも（当該発注指示によるビールではないが）受注・配送が行われている。そこで、本シミュレーションでは、制約条件であるリードタイム日数、在庫日数をそれぞれ1週間とした場合について行った<sup>27)</sup>。

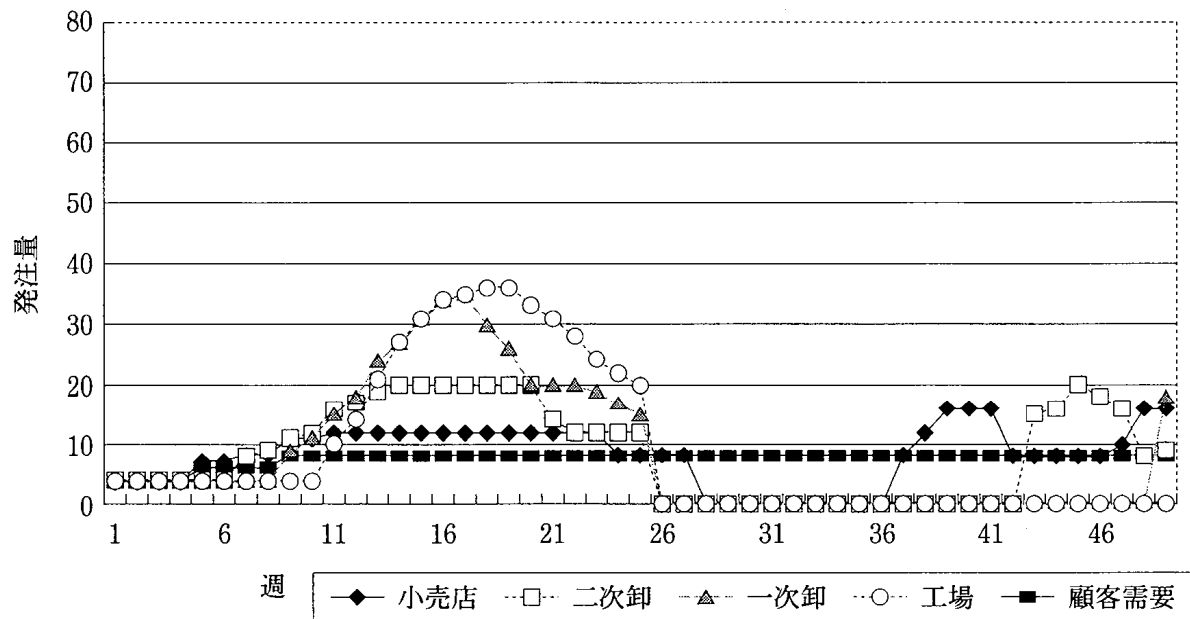
図5(a)、(b)は、各在庫点の発注量および在庫量・受注残量を図示したものである。なお、(a)発注量に関して、各在庫点の発注量と比較するため実際の顧客需要もグラフに加えた。また、(b)在庫量・受注残量に関して、受注残（品切れ）の場合は、マイナスで表示されている。

その結果、5週目以降川下企業の在庫点から受注残が順次発生したのを契機に、実際の顧客需要に対して大幅に発注量が増加する。その発注変動が、川上企業での在庫量・受注残量に次々と影響を与える様子が理解できる。一次卸の受注残は、最大92ケースに達した。さらに工場では、最大36ケースの生産計画を行った。その後、24週目以降各在庫がプラスに転じると発注量も

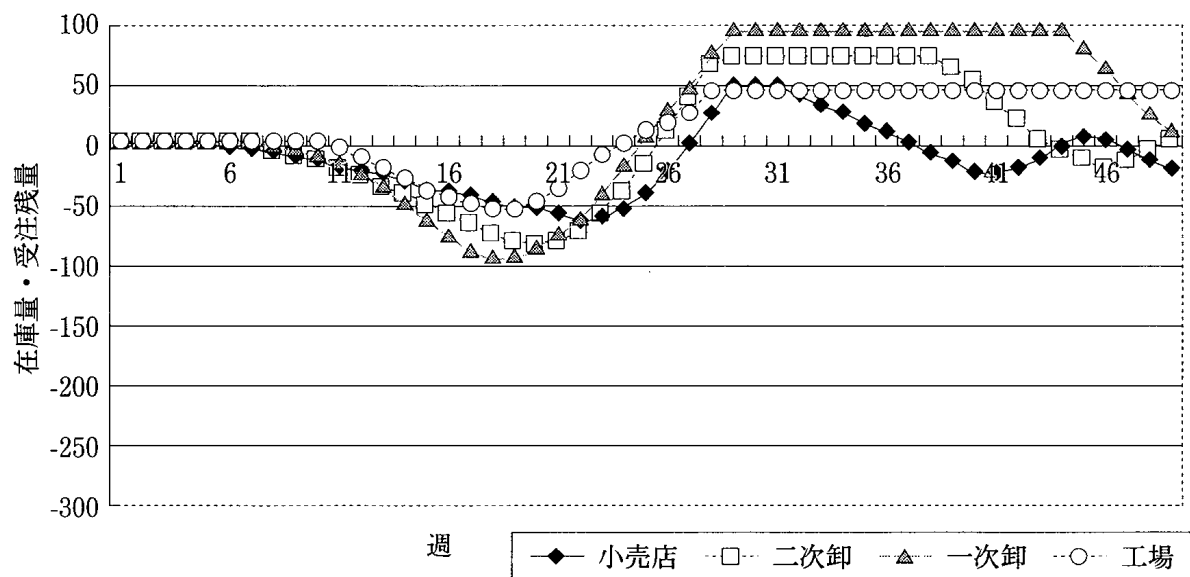
を延ばすことで、平均値は安定的になるが、需要変動幅は拡大する。

26) 具体的には、当該期において新たに増加した受注残（品切れ数）は、その週の発注量に合計することで在庫レベルの調整を行うと仮定した。

27) 本ビールゲームの顧客需要設定では、数週間後には全ての在庫点で受注残が発生するため、リードタイム日数を変更しても、シミュレーション結果にはほとんど影響しない。また、在庫日数を変更した場合、例えば2週間とすると、発注量は川下企業の発注量に対して基本的に全て2倍となり、過剰な在庫・受注残が発生することになる。



(a) 発注量



(b) 在庫量・受注残量

図5：シミュレーション結果

減少し、26週目近くになると大量の在庫が川上企業に発生したため（一次卸の在庫量は最大97ケース）、発注量ゼロという状態が続く。(a)発注量において、先に示した鞭効果を確認することができる。36週目を過ぎるとそれまでの大量在庫も底を突き始め、特に小売店で受注残が再び生じると、小売店次



いで二次卸・一次卸で顧客需要を上回る発注が確認できる。50週目近くになると過剰に生産された川上企業の在庫も減少するため、発注量、在庫量・受注残量も落ち着き始めることが理解できる。

このように、簡単なシミュレーション・モデルを用いて、各在庫点が損失・リスク回避行動を取ると仮定することで、需要変動の増大（過剰発注）が生じることを確認できる。

## V 教室実験結果と考察

### 実験方法

前節では、簡単なシミュレーション・モデルを用いて、需要変動が生じた場合、各在庫点が品切れ発生時の損失・リスク回避行動を取ることで、鞭効果が現れることを観察した。本節では、学部学生ではあるが実際に人が同様のゲームを行った場合、どのような発注行動を取るのか観察した。後述するように、今回の教室実験では、授業時間との関係から26週目までゲームを進めたが、実際にはもう少し週を延ばして検証することが望ましい<sup>28)</sup>。本ゲームの仕組み上、50週目程度まで繰り返すと、需要変化による影響が落ち着き、各プレイヤーの発注行動が安定してくる。なお、今回の教室実験では、6つのグループを設置して行った。学生らは、このゲームを行うことで、ロジスティクス教育において重要なテーマである鞭効果を体験することになる。

### 実験結果

表2は、各在庫点における26週目までの在庫量と受注残量である。同じく表3は、表2で示した実験結果を基に、各在庫点で在庫・受注残別に在庫管理費用を求め（在庫については1ケース0.5ドル、受注残については1ケース1ドルで計算）、総計としてその合計費用を算出している。なお参考として、前節のシミュレーション結果を、同じく26週目までの各数値を基に計算

28) ただし、前節で見たように、30週目前後で一旦各挙動は安定しており、学生がゲームの考察を行うのには十分であったと考える。

表 2：実験結果 在庫量および受注残量

(単位：ケース)

	数量								順位
	小売店		二次卸		一次卸		工場		
	在庫	受注残	在庫	受注残	在庫	受注残	在庫	受注残	
グループ 1	22	791	31	595	30	318	381	84	2
グループ 2	22	869	30	823	63	637	99	40	3
グループ 3	22	860	20	1824	42	1228	48	318	6
グループ 4	20	933	33	909	121	359	304	46	4
グループ 5	22	861	25	606	102	22	149	25	1
グループ 6	20	893	54	1046	61	769	466	228	5
教室実験平均	21	868	32	967	70	556	241	124	
シミュレーション	22	651	41	792	77	787	81	392	

表 3：実験結果 在庫管理費用

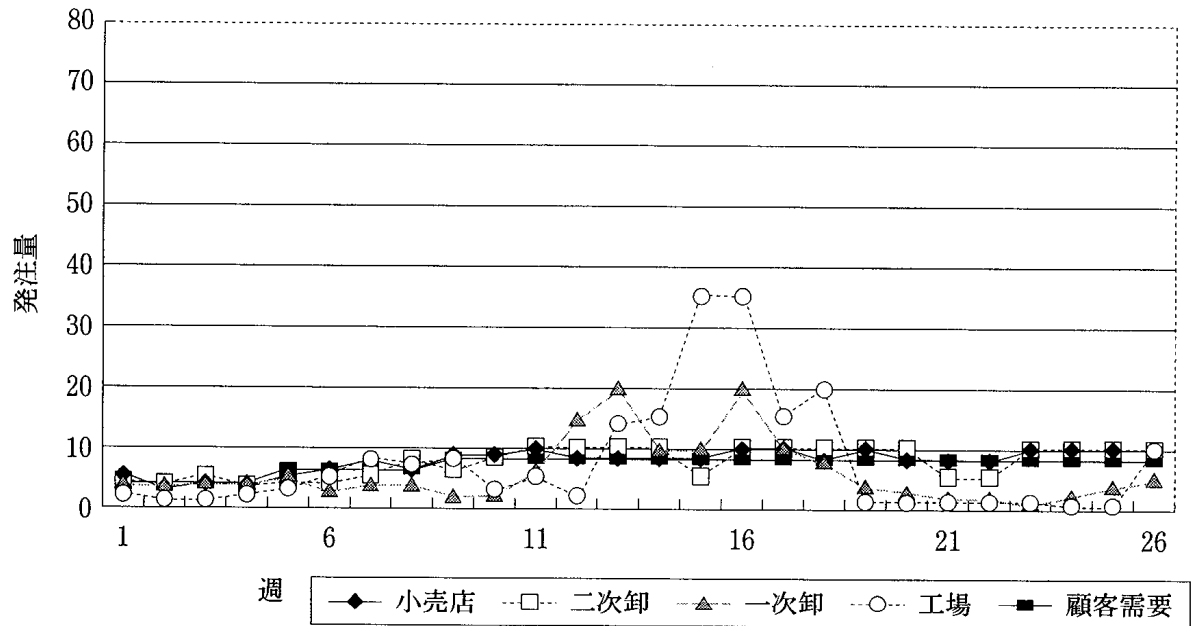
(単位：ドル)

	費用								総計
	小売店		二次卸		一次卸		工場		
	在庫	受注残	在庫	受注残	在庫	受注残	在庫	受注残	
グループ 1	11	791	16	595	15	318	191	84	2,020
グループ 2	11	869	15	823	32	637	50	40	2,476
グループ 3	11	860	10	1824	21	1228	24	318	4,296
グループ 4	10	933	17	909	61	359	152	46	2,486
グループ 5	11	861	13	606	51	22	75	25	1,663
グループ 6	10	893	27	1046	31	769	233	228	3,237
教室実験平均	11	868	16	967	35	556	121	124	2,696
シミュレーション	11	651	21	792	39	787	41	392	2,733

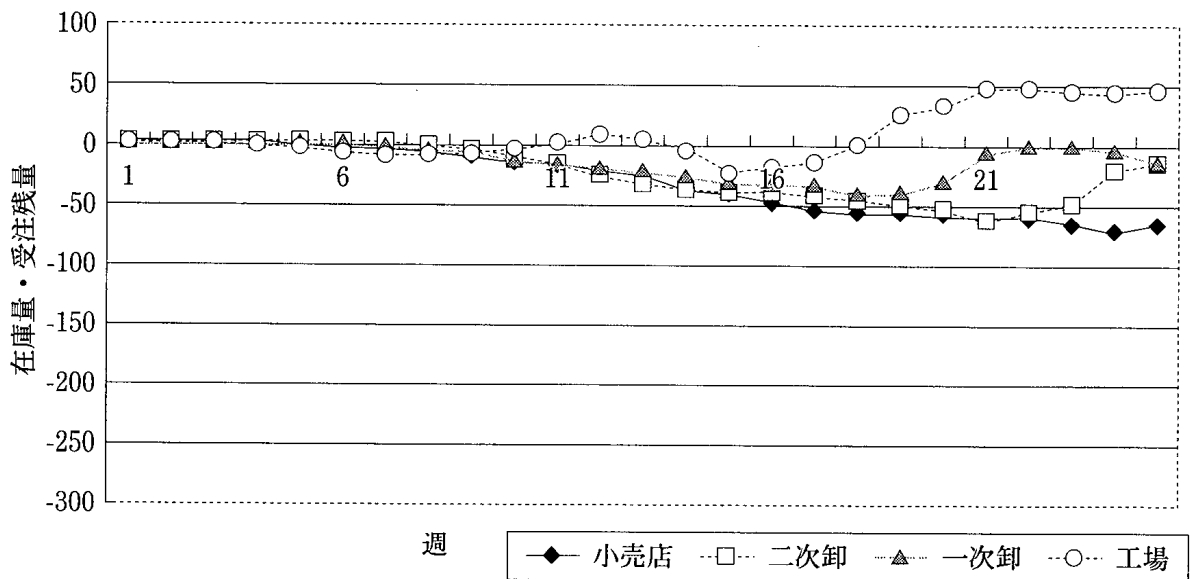
した。表 3 から明らかであるが、在庫管理手法を適用したシミュレーション結果と学生らの総計を比較しても、4 つのグループで総費用が少ないことは興味深い<sup>29)</sup>。以下では、まず各グループ・在庫点の発注行動を、シミュレーション分析と同様のグラフを通じて確認し、考察でその要因を考える。

各グループの(a)発注量と(b)在庫量・受注残量の挙動を図示したものが、各

29) 各グループの在庫・受注残集計表、および各費用計算書において、いくつか不整合な箇所があった。そのため、各グループの発注量を基に筆者によって再計算を行った。ただし、各在庫点(学生)は、自身の在庫・受注残計算が正しいものと考えて実際には発注計画を行っており、その点で注意が必要である。具体的には、いくつかのグループ・在庫点で受注残を過少に計算している。



(a) 発注量



(b) 在庫量・受注残量

図6：教室実験 グループ1

グループそれぞれ図6から図11である。これを見ると、例えばグループ1（図6）とグループ6（図11）では、発注量、在庫量・受注残量ともにシミュレーション結果に比較的近い挙動が確認できる。ただし、シミュレーション（図5）では、一旦受注残が発生すると各在庫点が直ぐに在庫レベルを調

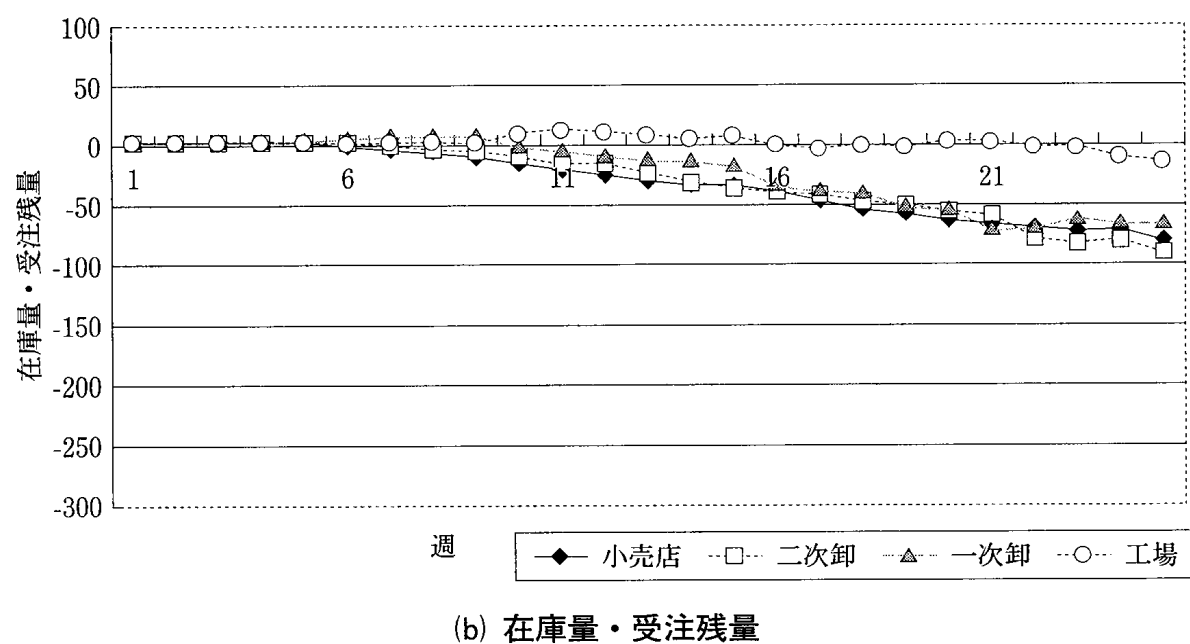
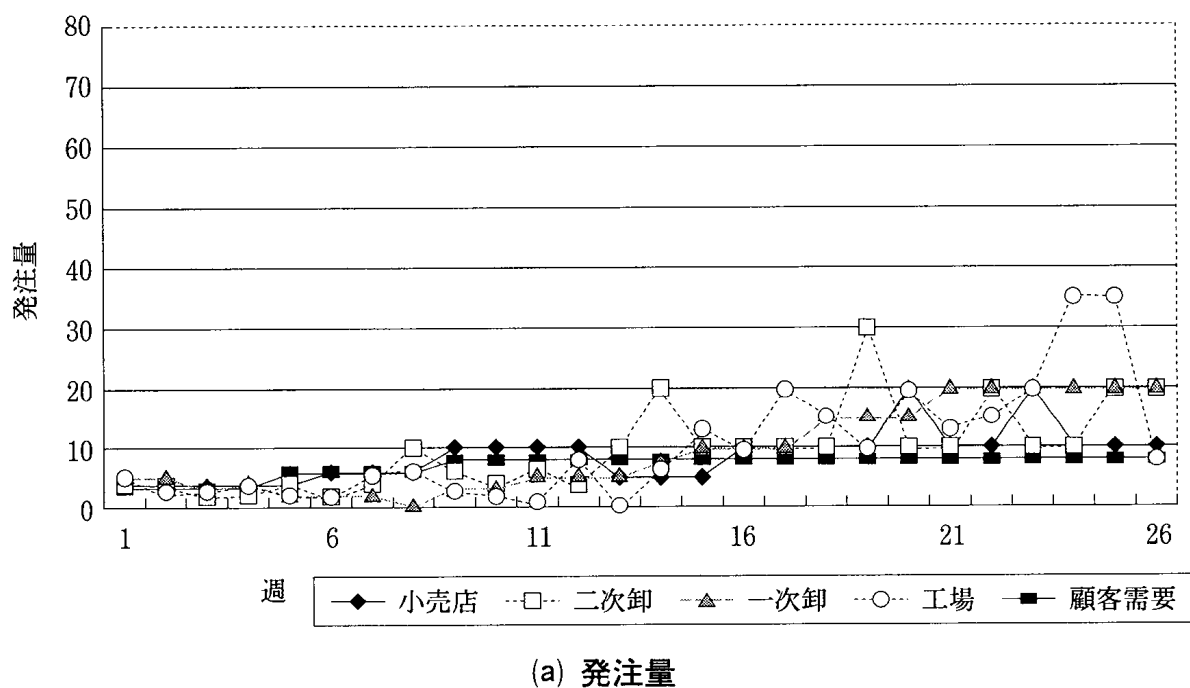


図7：教室実験 グループ2

整するように発注量を増やすため、(5週目以降で発注量を次第に上げることから) 10週目以降急激に受注残が発生する。しかし、教室実験の場合、(ゲームの構造上) 同様に最初の数週間で受注残が生じるものの、性急な需要増加(発注増)を行っていないため(あるいは川下企業の発注増が一時的

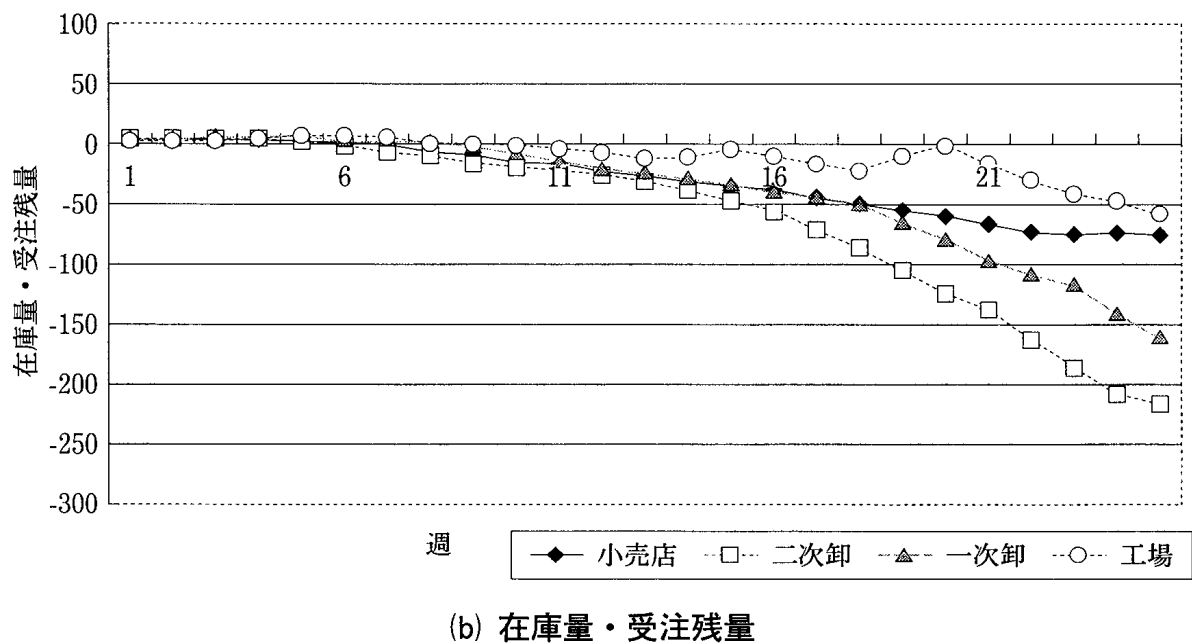
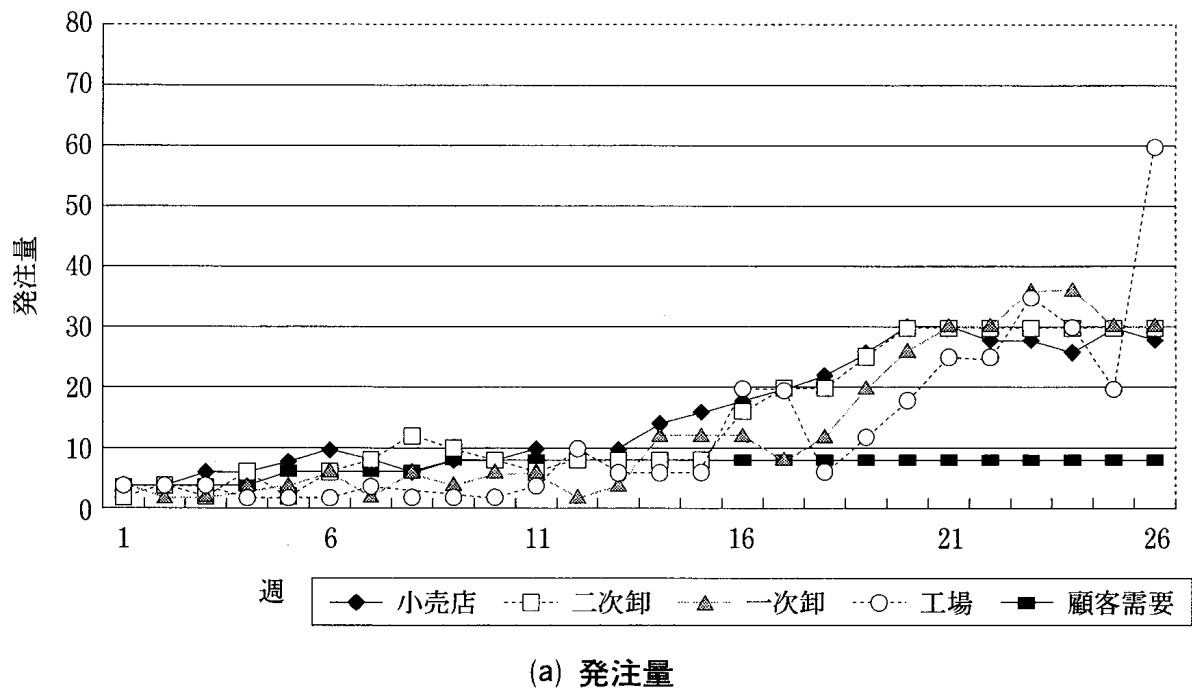


図8：教室実験 グループ3

だと考え)、発注量ピークは16週目を中心とした山型になっている。また、在庫量・受注残量に関しては、上述の両グループとも工場以外で受注残を解消するほどの発注を行っていないため、実験の最終週まで在庫がプラスに転じることはなかった。

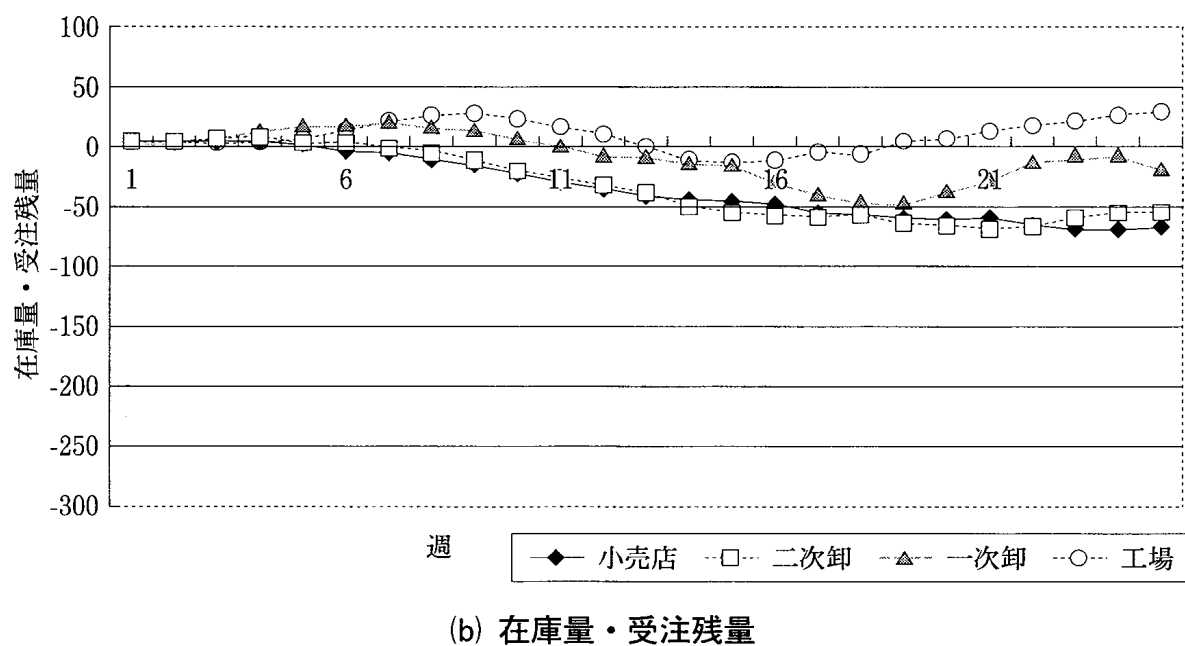
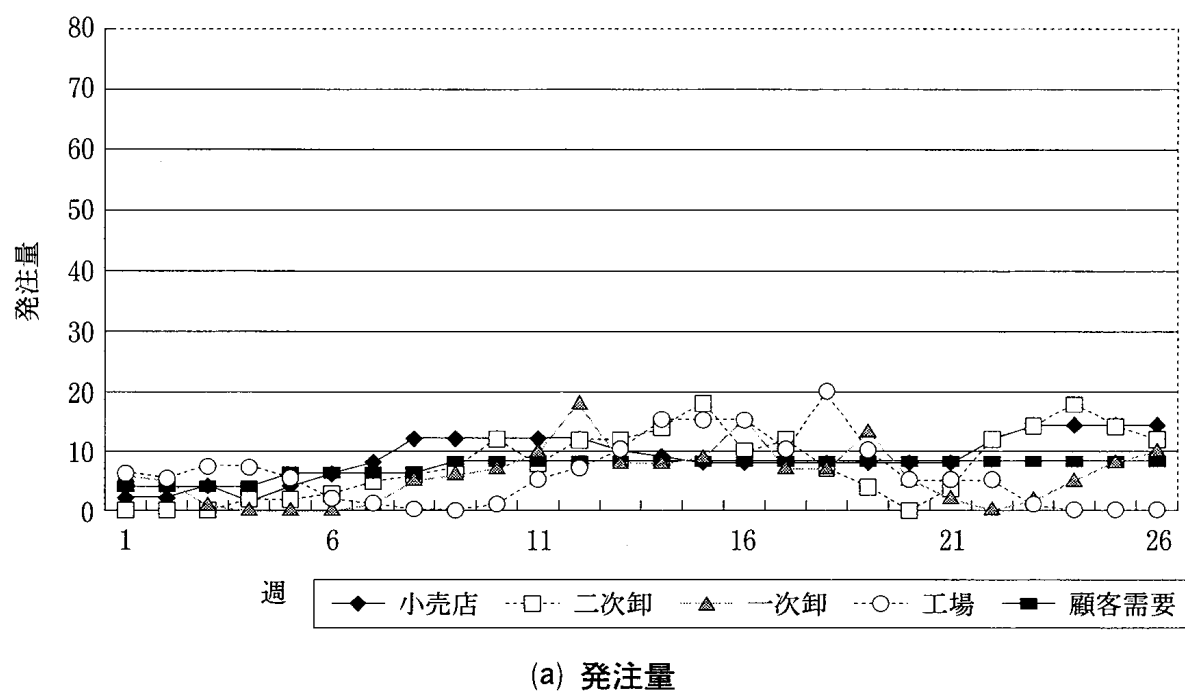


図9：教室実験 グループ4

他のグループに関しては、顕著な鞭効果は確認できなかったが、全体的には川上企業ほど発注量が増加し、また工場で多くの在庫が発生している傾向は伺える。しかし、先の両グループと同様、受注残（品切れ）を解消するほど発注量を増加させていないことがわかる。本ゲームにおいては、品切れに

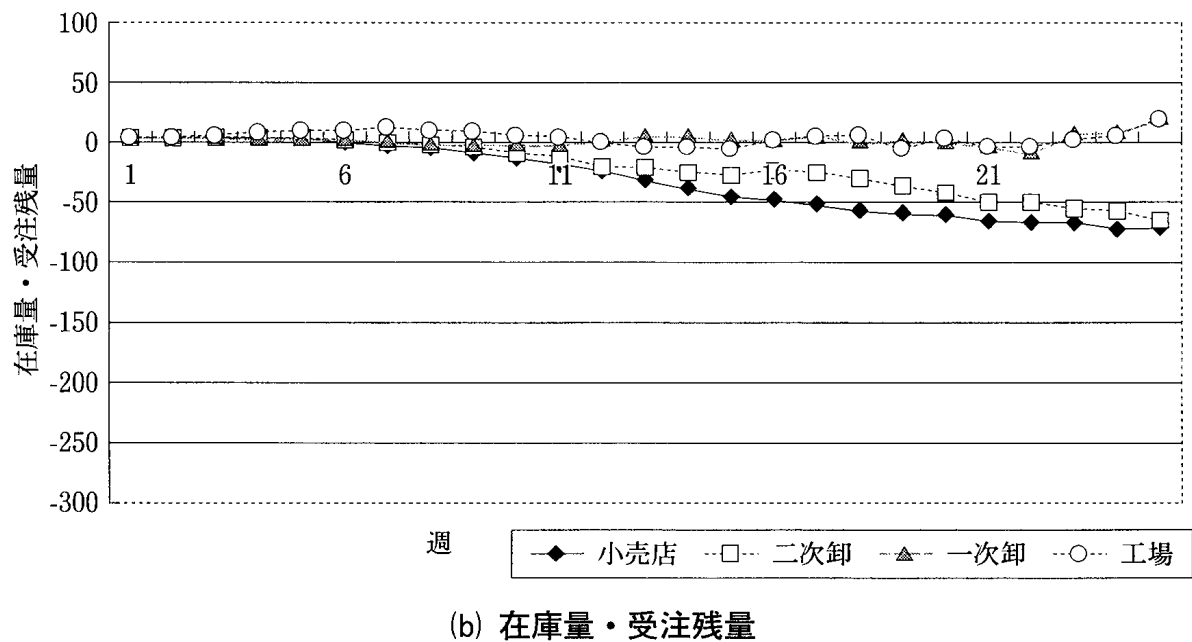
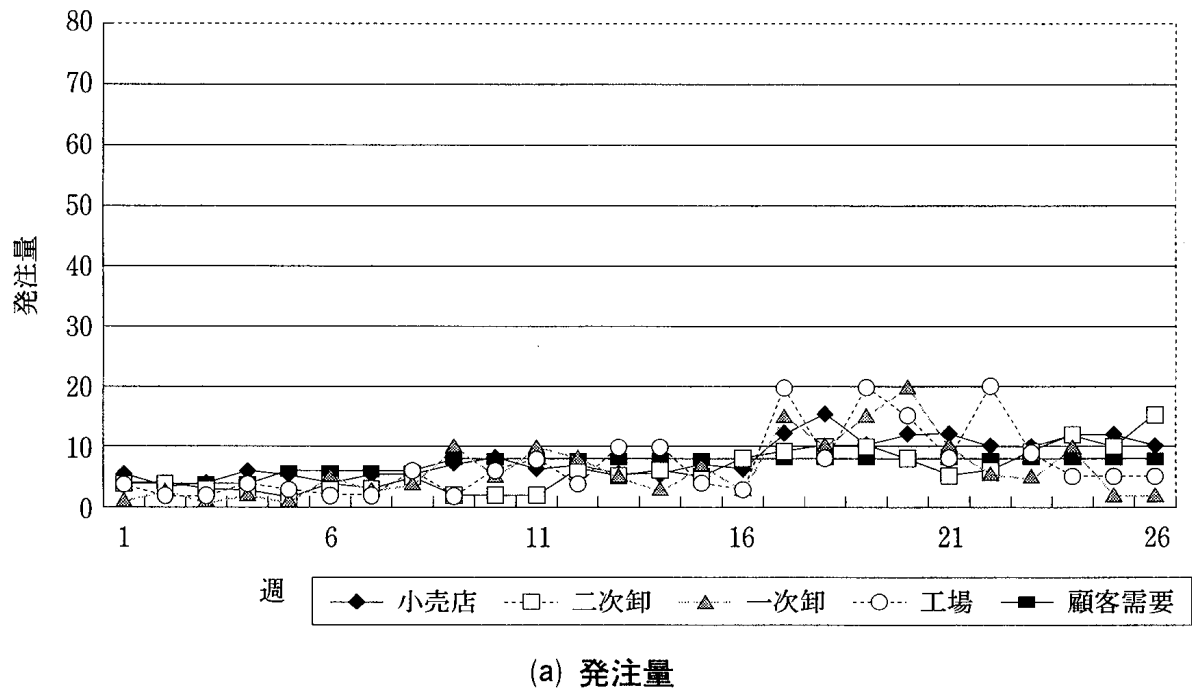
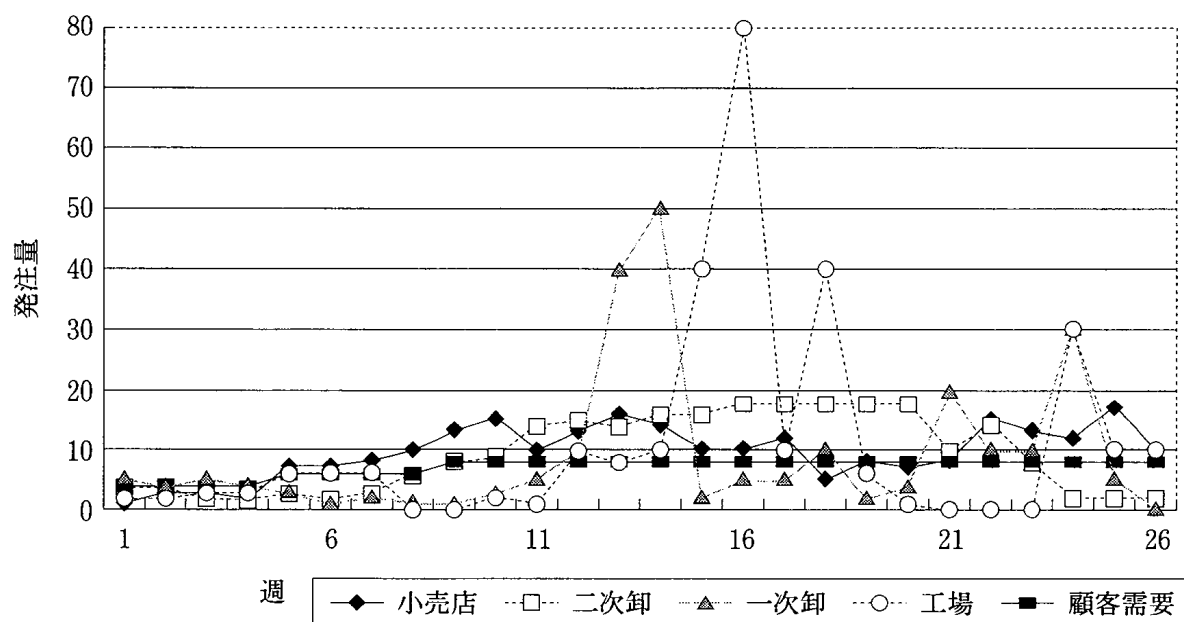
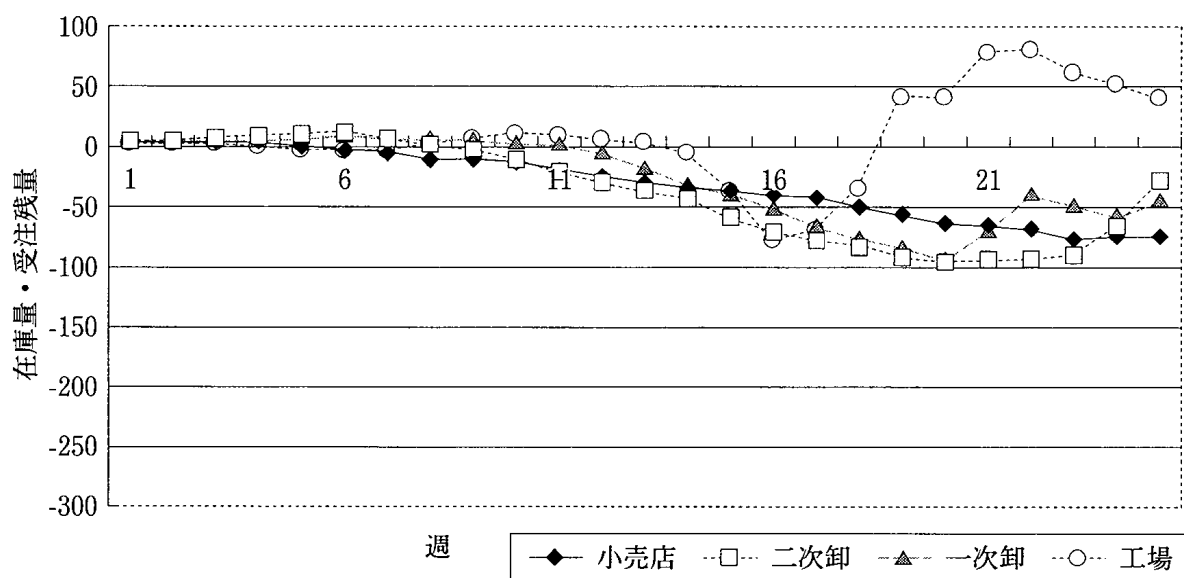


図10：教室実験 グループ 5

よる機会費用の方が在庫費用よりも2倍高いという仮定の基で行ったため、受注残を残しておくより、在庫として抱えた方がコスト削減に繋がるのであるが、その点を強調することが必要であったのではと思われる。ただし、実験後の考察においては、川下企業からの予想外の大量発注（自身が川上企業



(a) 発注量



(b) 在庫量・受注残量

図11：教室実験 グループ 6

から受ける配送量の数倍以上の発注を川下企業から受ける状況）に対して、自身が受けた（川下企業からの）発注量以上の発注・生産計画を意識して行っていることが理解できる。この意識自身が、鞭効果の原因である。



## 考察

シミュレーション結果および教室実験結果でもある程度観察できたが、各在庫点における品切れリスクを考慮することで、第2節で議論した鞭効果が発生することがわかる。例えば、高々8ケースの顧客需要に対して、教室実験において工場では最大80ケースの生産計画を行い、その後81ケースの在庫を抱えることになる（シミュレーションでも、同じく36ケースの生産計画、47ケースの在庫）。

シミュレーション結果と教室実験結果の違いを議論するため、先述の表2・表3に教室実験での各在庫点の在庫量・受注残量およびその各費用のグループ平均値を加えた。これを見ると、シミュレーション・モデルでは小売店の受注残が651ケースであるのに対して、教室実験では平均868ケースと多く、逆に川上企業に行くに従い、例えば工場では同じく392ケースに対して平均124ケースと少ない。すなわち、川下企業における受注残発生に対して、学生はあまり敏感に反応せず（シミュレーション・モデルは厳密に反応する）、比較的少ない発注行動であるため川下企業（具体的には小売店・二次卸）の受注残費用が多い。しかしその結果、川上企業へ相対的に多くの発注指示が行くことがなく、結果的に川上企業での受注残費用はシミュレーション・モデルに比べて少ない（具体的には一次卸・工場）。すなわち、学生がマイルドに反応した結果、総費用を下げることに繋がった<sup>30)</sup>。

このように、各サプライチェーン上の在庫点（意思決定者）の行動がシステム全体に影響を与えるメカニズムを、第2節で述べたシステムダイナミクスでは活動フィードバック（action feedback）<sup>31)</sup>と呼ぶ。これは、各自の意思決定が、サプライチェーン・システムそのものに影響を与え、さらにその結果をまた自身が受け取る（例えば、自身の過剰な発注行動によって、数週

30) 今回の実験では、サービスレベルを66%としたが、例えば90%（在庫費用：受注残費用＝1：10）とした場合、発注行動がどう変わるかなど興味深い。

31) この概念は、心理学における結果フィードバック（outcome feedback）とは異なる。結果フィードバックは、例えば明日の天気予報のように、予想の結果が明日の天気には全く影響を与えないことと同様である。Sterman（1994）を参照。

間後には自身の倉庫に大量の在庫を抱える)ことを示す。

こうした発注メカニズム現象(=鞭効果)を解決するには、より精巧な在庫管理手法を開発することだけではなく、如何に正確な顧客需要を川上企業である卸売業者や生産者が利用可能かにかかっている(本ゲームでは、一切利用不可能と仮定)。先述したように、製品ライフサイクルの短縮や消費者物流ニュースの高まりにより、一層需要予測は困難になっている。一方で、情報化進展により末端である店舗販売実績を様々な方法で入手・活用することが可能になっており<sup>32)</sup>、サプライチェーン全体の管理手法の理解が必要不可欠であることが理解できる<sup>33)</sup>。

## VI まとめ

本稿で示した鞭効果は、サプライチェーンあるいはロジスティクスで学ぶ単なる1つの現象である。しかし、現実の社会経済システムを管理するためには、本稿で議論したように複雑な経済現象を単純化し、その背景にある因果関係や法則を学ぶ必要がある。すなわち科学的アプローチ(science-based approach)が必要である。経営学や経済学は社会科学(social science)の範疇に含まれ、理学や工学、医学などの自然科学(natural science)と同様、科学的な学問である。このような社会経済活動に潜む因果関係や法則・体系を学ぶ社会科学においても、それに対応可能な手法・技術・作法(=科学的アプローチ)をも学ぶ必要がある。

本稿では、ビールゲームという簡単な仕組み(体系)のボードゲームを用いて、その仕組みが意思決定者(ここでは学生)の行動に影響を与える構造(因果関係)を観察した。この教室実験を通じて、あるいは本稿から、社会

32) ただし、数学的には、情報集中化(一元管理)によっても鞭効果を無くすことはできない。例えば、久保(2001)、第3章を参照。

33) 例えば、在庫管理手法に関しては、エシェロン(echelon)在庫概念が用いられる。これは、本ゲームに即して説明すれば、各在庫点は自身の在庫・受注残だけでなく、自身の川下企業(例えば、二次卸であれば小売店のそれも、一次卸であれば二次卸と小売店)の在庫・受注残も把握し管理する概念である。詳細は、例えば久保監修(2002)、第3章などを参照。

科学の面白さが伝われば幸いである。また、筆者自身こうしたサプライチェーン教育に貢献できる取組みを、引き続き行っていきたいと考えている。

(筆者は関西学院大学商学部准教授)

### 【追記】

本稿の基となった教室実験は、筆者による関西学院大学商学部での2005年度商学演習で行った。

### 参考文献

- [1] 大野耐一 (1978) 『トヨタ生産方式—脱規模の経営をめざして』ダイヤモンド社。
- [2] 久保幹雄 (2001) 『ロジスティクス工学』朝倉書店。
- [3] 久保幹雄監修・伊佐田文彦・佐藤泰現・田熊博志・宮本裕一郎訳 (2002) 『サプライ・チェーンの設計と管理—コンセプト戦略・事例—』朝倉書店、原著：David Simichi-Levi, Philip Kaminsky and Edith Simichi-Levi (2000) *Designing and Managing the Supply Chain; Concepts, Strategies, and Case Studies*, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] 久保幹雄 (2004) 『実務家のためのサプライ・チェーン最適化入門』朝倉書店。
- [5] 島田俊郎編 (1994) 『システムダイナミクス入門』日科技連出版社。
- [6] 土井正幸・坂下昇 (2002) 『交通経済学』東洋経済新報社。
- [7] 中田信哉・湯浅和夫・橋本雅隆・長峰太郎 (2003) 『現代物流システム論』有斐閣アルマ。
- [8] 湯浅和夫 (2005) 『在庫管理ハンドブック』PHP 研究所。
- [9] 脇田成 (2004) 『マクロ経済学のナビゲーター (第2版)』日本評論社。
- [10] Forrester, Jay W. (1958) "Industrial Dynamics -A Major Breakthrough for Decision Makers", *Harvard Business Review*, Vol. 36, No. 4, pp. 37-66.
- [11] Sterman, John D. (1984) "Instruction for Running the Beer Distribution Game", System Dynamics Group, MIT, D-3679, October.
- [12] Sterman, John D. (1989) "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment", *Management Science*, Vol. 35, No. 3, pp. 321-339, March.
- [13] Sterman, John D. (1994) "Learning in and about complex systems", *System Dynamics Review*, Vol. 10, No. 2-3, pp. 277-330, Summer-Fall.