

在庫管理シミュレーション分析に関する一考察

— シミュレーション利用の現状にふれながら —

青木博明

A Consideration on Simulation Analysis for Inventory Control

— Referring to the Present State of Simulation Utilization —

Hiroaki AOKI

要 旨

近年、パソコン技術の発達と普及にともない経済・経営分野においてもシミュレーション分析の需要が増してきている。本稿ではまず経済・経営分野でのシミュレーション分析の利用の現状について概観する。

そして今後、経済分野のシミュレーション分析においても数式モデルだけでなく、経営工学で扱われるような手続き型モデルを含む多彩なシミュレーション分析の応用が望ましいことを主張し、その一例として昨今、巷間においてかまびすしい在庫管理問題を毎期の需要量が確率的に発生するモデルにおいてシミュレーション分析する。在庫管理シミュレーションにおいては定量発注法におけるこれまで論じてこられなかった品切率と発注点の関係による在庫管理における問題点を指摘し、その後これもこれまであまり論じられてこなかった各種費用率の変化が最適な在庫管理方法に与える影響を論じる。

1. はじめに

シミュレーション分析は、対象とするシステムに関するモデル構造と諸変数の変動のルールに関する確かな情報が与えられれば、原理的には限りなくその予測を精緻なものにする。よって、シミュレーション分析が今後も有効な分析道具であることは論を待たない。このことは自然科学に限らず、社会科学、特に経済学についても当てはまる。しかしながら、このコンピュータの発展の成果の大きな領域を占めるシミュレーションの応用において、経済学は自然科学ほどの精確な結果を得ておらず、よって有益性を示しているともいえない。この理由として、「経済学の場合、自然科学のように諸変数の動きが必ずしも原理的・理論的でない。なぜなら、

その基礎的な構成要素となる人間が多分に恣意性・移り気を帯びた各々独自の自己意志によって行動する」ということがあげられよう。しかしこのとき、では本質・理論を取り扱おうとする経済学は、最終的に何を追求しようとしているのか、単に原理・定理のみを論じ、また現実の事後的な解釈論にのみ終始し、実際の社会の現象を精緻に予測し、その結果を経済政策や経営戦略に利用しようとししないのかというジレンマにぶつかる。

経済学の新たな方途の一つとして、原理から演繹的に理論を展開するだけでなく、帰納的により多くの情報を収集し現実を予測する方法がもっと重んじられるべきではないであろうか。その一つの有り方が、経済を構造的にとらえ、そのモデル・連関に関する情報を収集する分析方法であるシミュレーションの利用にあると考える。

といったものの実際に経済社会を構成する全ての経済主体・変数の動きを網羅し、拾いあげることは難しく、また有益性を持つまでに精緻なシミュレーションを行うのに必要な諸種の経済主体・変数のデータの標本の収集さえも現状では困難、もしくは多大な費用がかかろう。しかし、それを可能にしうる社会的環境の大きな変化が各経済主体が簡単に参加できるネットワークの普及であると期待する。その代表というべきインターネットの加速度的な普及は周知のところである。そして、昨今喧伝されている社会の情報化というのはなにも個々の経済主体にとってだけでなく、経済を観察しようとする経済学者や政策立案者にとっても情報化を意味し、現在社会に普及しつつあるネットワークの有機的な利用はリアルタイムな情報獲得の簡便性を高め経済分析の有力な道具となるものと考えられる。

さて、経済問題や市場を対象とするシミュレーション分析では、マクロ的状態を表現する数式モデルが利用される例が多い。しかし、数式モデルのように単に数式を繰り返し計算するよりも、その数式モデルを含みより複雑多様な選択肢を持ち、より精緻、模写的、構造的で、非連続的なモデルにも対応でき、小回りがきき、より自由な設計が可能な手続きモデルの利用が重要になると考える。そのためには、経営工学分野に应用されているような多様なシミュレーション分析の応用が必要になる。次の節ではそのようなシミュレーションの利用の現状を紹介する。

2. 経済・経営分野でのシミュレーション分析の利用の現状

コンピュータのダウンサイジング、高性能化、低価格化による一般への普及、またシミュレーション言語、汎用言語の開発・普及等によるシミュレーション分析の方法・道具の入手の簡便化の影響を受け、経済・経営分野で応用されるシミュレーション分析の需要も増加している。

以下に、シミュレーションの利用の現状について他文献を参照しながら概観する。

まず、シミュレーションが利用される理由を次にまとめる。

1. 標準的 OR モデルが実際の問題にあわない。モデルの構築に小回りがきき自由な設計が可能。抽象的または誘導形のモデルでなく現実をそのまま模写したような構造的なモデルの構築が可能。
2. シミュレーションには難しい理論や数学がないので、素人にもとつきやすい。
3. 実際に役に立つ。

次に、シミュレーションの利用状況をまとめたものを他の文献から引用した表1、表2を示す。表1は、シミュレーションユーザーの活用する OR 手法で、表2は、シミュレーションの対象システムと目的である¹⁾。

表1 シミュレーションユーザーの活用する OR 手法

OR 手法	頻度	OR 手法	頻度
離散系シミュレーション	93	信頼性理論	14
AI	35	ネットワーク計画性	13
線形計画法	34	他のシミュレーション	13
連続系シミュレーション	33	動的計画法	10
待ち行列理論	33	マルコフモデル	10
スケジューリング理論	31	探索理論	8
PERT/CPM	27	AHP	6
在庫モデル	21	取替理論	1
非線形計画法	17	ゲーム理論	0
整数計画法	14		

表2 シミュレーションの対象システムと目的

	事 評	前 価	改善計 資 料	日常業 務の 制御	そ の 他	計
製造ライン	60		36	11	3	110
工場内物流/AGVクレーンヤード	41		6			47
物流配送輸送システム	30		13	1		44
コンピュータシステム	13		5	1	2	21
自動倉庫/倉庫	15		5			20
交通流/道路網(立体)駐車場	13		3	2	2	20
通信システムネットワーク	12		3			15
その他(化学プラント, 銀行窓口)	4		3	1	2	10
計	178		74	16	9	277

また、「OR 事典」に紹介されている 300 件に近い OR 手法の実施例について整理されたものを示すと²⁾,

1)シミュレーション	68(件)	2)線形計画	38	3)予測理論	28
4)待ち行列	19	5)確率・統計	19	6)非線形・整数計画	15
7)動的計画	14	8)スケジューリング	13	9)多変量解析	13
10)ゲーム理論	12				

となる。シミュレーションの利用度の高さが分かる。

また、経営・経済の分野においてもシミュレーション分析は、モデル構築の段階においてその構造を把握・認識する作業をとまなう。これらはシミュレーション分析の副産物とも言えるものだがそれ自体重要なアウトプットであることは言うまでもない。

次の節では、上述のような経営工学で利用されているシミュレーションの代表的なものの一つである在庫管理問題を扱い、従来文献等が言及しなかった問題についても触れる。これには経営工学で利用されるシミュレーションの経済分野への利用を示唆する意味も含む。

3. 在庫管理の問題

在庫管理問題は、古くて新しい、つまり、伝統的でありかつ経営戦略の重要な一環として、社会環境の変化、特に、最近では通信・情報の技術環境の変化に伴いそれに適応した修正が常に再考されるべき問題であるといえる。

3.1 在庫管理問題の構図

在庫は生産と消費をつなぐ緩衝・調整機能を持ち、仕入れによって増加し、販売・消費によって減少する。在庫には商品在庫の他に、原料・部品在庫が考えられる。在庫にかかわる発注・仕入れの管理は、在庫に関する諸費用である在庫維持費用、品切費用、発注費用、過剰在庫費用を問題の対象とする。

<在庫のシステム図>³⁾

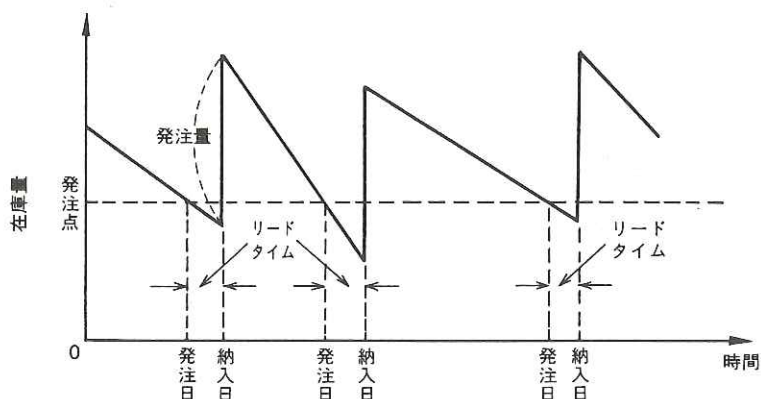


図1 発注点法による在庫変動

3.2 諸種の在庫費用

在庫に関する諸費用は次のようにまとめられ、それぞれに単位当たりの費用率が設定される。

<在庫にかかわる費用>

- 1) 在庫維持費用・・・倉庫の倉敷費用・保管料, 損耗費用, 陳腐化, 保険料
金利, 機会費用 (他の商品の販売機会を逸す)
- 2) 品切費用・・・販売機会を逸したときの費用
- 3) 発注費用・・・運搬費, 仕入れのための在庫調べ, 注文書作成
- 4) 過剰在庫費用・・・売れ残りに対する出血販売, 返品代

特に、在庫維持費用に関しては、在庫による資本の固定化の問題が最近よく言われる。また、在庫が原料在庫か商品在庫か、倉庫にあるか陳列棚にあるかによって各費用の意味あいや費用率の大きさが違ってくる。商品在庫が陳列棚にある場合、在庫維持費にその棚における他の商品の販売機会を失うという機会費用を加えると、単に物理的費用・金利費用だけの単純な計算だけではすまされず、それはかなり高額になる。現在シェアを高めているコンビニエンス・ストア等の場合商品在庫のほとんどが陳列棚にあるので在庫維持費はかなり高いものになる。このように在庫維持費をどのように扱うかも今後の課題であろう。

最近、上述の在庫費用を鑑みつつ、在庫の経営に対する悪影響を論ずる声が巷間かまびすしい。これらの議論の趨勢は、在庫を極力抑えるべきであるというものである。しかし、これに首肯するためにはさらに具体的に数量を扱った理論展開を行い、具体的な経営戦略上の方策を呈示する必要がある。以下においてその一考察を提示する。

3.3 定量発注方法

本稿では、毎期の需要量が確率的に分布する場合を扱う。この場合、需要量は不確定なのだが、その需要量の確率分布を過去のデータから作成し(=情報の収集・分析)、それを基にして毎期の需要を想定するものとする。また、ここでは調達期間(リードタイム)が導入される。調達期間とは、発注してから商品が納入されるまでの時間差である。

需要量が確率的に発生する場合、よく利用される発注方法としては、定量発注方法と定期発注方法の二つがある。本稿では、定量発注方法(特に発注点法とも呼ぶ)を採用する。その内容は次のようなものである。

<定量発注方法>

発注量は一定であるが、発注が行われるのは不定期である。発注が行われる時点は、在庫がある限界値以下になったときである。この限界値を発注点と呼ぶ。

発注量はEOQ(Economic Order Quantity)公式で決定される。このEOQの値は、需要量が確定的かつ一定の場合に解析的に計算される総費用最小化の注文量である。需要量が不確定のときにも注文量の妥当な値として一般的に使われている。EOQは(1)式から得られる。しかし、需要が確率的な場合この値は必ずしも最適とは限らない。

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times \text{年間総需要量} \times \text{1回当たり発注量}}{\text{商品単価} \times \text{年間在庫維持費率}}} \quad (1)$$

次、発注点は調達期間中の確率的な平均品切率と一意的に対応しているとし、逆にこの品切率を発注点の判断基準として利用されることが多い。各発注点に対する品切確率の見つけ方としては、調達期間中の需要の確率分布を利用するが、その確率分布の求め方は、1)過去のデータから確率分布表を作成する方法、と、2)需要の確率分布を正規分布と仮定して、その平均と標準偏差から割り出す方法がある。ここでは、2)の方法を用いる。

その方法は、単位期間中の平均在庫をD、標準偏差をSd、調達期間をLとして、発注点をOPとすれば、次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{発注点在庫} &= \text{安全在庫} + \text{調達期間の平均在庫} & (2) \\ OP &= \alpha \sqrt{L} Sd + LD \end{aligned}$$

α は安全係数と呼ばれ、 α と品切確率との関係は、正規分布の累積確率と正規分布の平均+標準偏差の倍数との関係で与えられる。表3でその関係を示す。 $\sqrt{L} Sd$ は調達期間における

需要の標準偏差であり、LD は調達期間の平均需要量である。

4. 在庫のシミュレーション分析

ここでは、在庫管理シミュレーションとして、ある期間に渡って需要が確率的に発生し、それに対して定量発注方式にしたがって発注・仕入れを行う在庫管理モデルを考え、在庫にかかわる諸費用とその合計がどのような値を取るかを分析する。

4.1 シミュレーションの手順

毎期の需要量を、まえもって決めておいた確率分布に従うように仮想的にコンピュータによって発生させ、様々な発注方法を試行することによってどれだけの費用が必要となるか、その他毎期の需要・在庫の変動、品切率等を計算する。

具体的なシミュレーションの手続きの概略は次のようなものである。つまり、毎期、平均、 μ 、標準偏差、 σ の正規分布に従う需要量、 X を発生させ、これを毎期在庫量から引く。ただし、コンピュータが発生する連続な数値を整数化するため、ヒストグラムにならない発生した数値に0.5を加えそれを越えない最大の整数を需要量とした。例として、正規分布にしたがって発生した、 $4.5 \leq X < 5.5$ の範囲の X は5となる。

在庫量が発注点以下ならば一定量の注文量を発注する。発注からリードタイムを過ぎれば仕入れが行われ、その注文量が在庫に加わる。そして発生した各期の需要量が在庫から引かれる。この一連の流れを通じて、各期の在庫量に比例して在庫維持費、発注一回につき発注費、在庫切れが生じた場合には、在庫の品切量に比例して品切費用が加算される。これらの費用が全期間に渡って合計される。

以上の手順をまとめると図2のようになる。

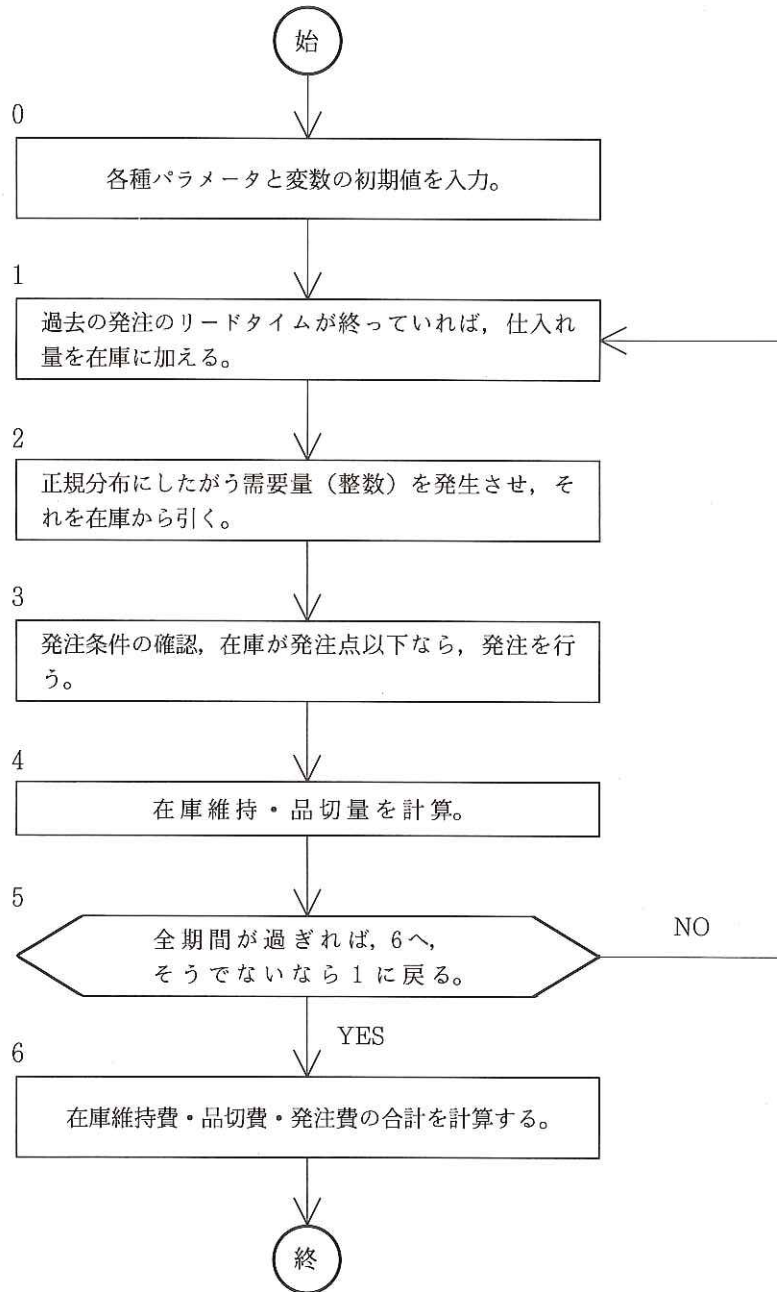


図2 シミュレーションの手順

より詳細な手続きを次に示す。

1. 初期において在庫量は発注量に等しい。
2. 仕入れは当期の最初に行われ、期首の在庫量は、前期の期末在庫量と当期の仕入れ量を加えた量となる。
3. 期末の在庫量は期首の在庫量から当期の需要を引いた量である。
4. 毎期の在庫維持費は毎期の期首と期末の在庫量の平均に、商品単価と年間在庫維持費率/365日をかけて求める。つまり、毎期の在庫維持費=在庫量×単価×年間在庫維持費率/365日、によって得られる。
5. 在庫品切費は、当期の需要が期首の在庫量よりも大きいとき、その差、当期の需要-期首の在庫量、に単価と品切費率をかけて求める。
6. 発注費は、全期間における発注回数に発注費をかけて求める。その他の費用も每期費用の合計を全期間の費用とする。
7. 調達期間中は次の発注を行わない。
8. 品切率は、品切回数を仕入れ回数で割ったもの。初期の在庫は仕入れ回数に含まない⁴⁾。

変数名を次のように設定する。()の中の値は固定された値、もしくは基準とした値である。

<シミュレーション計算のための変数名>

準備期間=T.END (1095日) 調達期間(リードタイム)=LT=(3日)

一日の需要の確率分布, 正規分布=X (平均= $\mu=5$, 標準偏差= $\sigma=1$)

在庫量=Z 発注量=OQ 発注点=OP 単価=PRICE(1000円)

年間在庫維持費率=CR1 (1.0) 品切費率=CR2 (0.2) 発注費=CR3 (1000円)

経済的発注量=EOQ

4. 2 定量発注法における安全係数と期待品切率の乖離に関する問題⁵⁾

正規分布の標準偏差の倍数と累積確率の関係を利用した安全係数と品切確率の関係である(2)式にしたがい、シミュレーション計算した結果を表3に示す。計算回数は3年間、1095回とする。1回の注文量は、年間在庫維持費率=1, 年間需要量=365*5=1825, 発注費=1000円, 商品単価=1000円として(1)式から求めたEOQ=60.41とした。

表3 安全係数と品切率

安全係数	1.001	.28	1.65	1.96	2.00	2.33
期待品切率	.1587	.1000	.0500	.0250	.0228	.0100
計算品切率A	.5682	.6023	.3820	.2697	.2697	.2111
計算品切率B	.6092	.5568	.4545	.3864	.3636	.3068
計算品切率C	.1798	.1011	.0674	.0449	.0449	.0112

表3の期待品切率は、2.3で述べた(2)式の安全係数の値と理論上対応している数値である。計算品切率Aは、(2)式にしたがって実際にシミュレーション計算した値である。それに対して計算品切率Bは、理論に精確に合致するように毎期の正規分布の需要を整数化せず連続な値としたときのものである。ともに期待品切率との大きな乖離が見られる。計算品切率Cは、この乖離を埋める目的で調達期間を3日から例として3.62日に延長したときのものである。

各安全係数に対する期待品切率と計算された品切率の間の乖離は単に乱数のゆらぎからくるだけのものとは言えない大きさである。これらの齟齬の大きな原因は、在庫管理においてリードタイムが始まる時点での在庫量を Z_r とし、それに対して、OPはリードタイムの3日間の需要の分布に対して期待した品切率を結果する量として、平均と標準偏差と安全係数から理論的に割り出されたものとする。この Z_r とOPの確率的平均が一致すれば上述の乖離はなくなるのだが、実際には Z_r は、このOPよりも小さくなる場合がある。つまり Z_r の値はリードタイムに対して期待された品切率で品切れを維持するには確率的に小さ過ぎるのである。

この理由は、在庫が発注点を切る、つまり $Z_r \leq OP$ の状態は、各期の期末において、 $Z_r = OP$ の場合だけでなく、 $Z_r < OP$ の場合をも意味し、この場合在庫、 Z_r は、OPに $OP - Z_r$ だけ足りないからである。このような一見瑣末な問題が表3のような大きな齟齬をもたらしているといえる。

次のような解釈も可能である。在庫(=Z)がちょうど発注点に等しく、 $Z = OP$ 、になるのは通常各期の途中だが、在庫が発注点切れ、 $Z \leq OP$ 、を発見する、もしくは、それにしたがって発注をかけるのが期末であるため、その時点では、在庫が発注点に等しくなってから時間が経っているので、すでに $Z_r = OP$ ではなく、 $Z_r < OP$ となる場合があり、この場合在庫量はOPに $OP - Z_r (> 0)$ 分だけ少ない、つまり、 $OP - (OP - Z_r)$ の在庫量でリードタイムの需要に応じなければいけない。したがって、品切率は(2)式の安全係数に理論的に対応する値よりも大きくなる。そしてその乖離は、上述のように無視できない大きさである。

このような状況を作らない条件というのは、発注点を増やさない限り、次のような場合に限られる。

<条件 A>

「期の途中においても常に在庫量のチェックをして、発注点との比較を行い、発注切れが生

じると、期の途中でも発注を行う。また、リードタイムは期の途中でも在庫の発注点が発見された時点から計算される。」

上記の条件は必ずしも非現実的だというわけではない。しかし、在庫シミュレーションでは、一般に、リードタイムは期末から期首の間で計算され、期の途中から計られるという設定はされない。それにもにかかわらずこの点が他の文献でも言及されているのを見ない。

本稿も、リードタイムは期の途中からでなく期首から期末の間で計っている。よって、正規分布の性質から標準偏差とその倍数としての安全係数から従来示されてきたように一意的に品切率を期待することはできない。したがって、安全係数から一意的に期待品切率を求めることをせず、直接、発注点と期待品切率の関係をシミュレーション計算で求めることを考える。しかし、この関係は安全係数と期待品切率のように、平均と標準偏差さえ分かれば一意的に得られる関係ではない。

4.3 分析1 —— 発注点と発注量の影響 ——

上述の分析方法にしたがい特定の組合せでOQ(発注量)とOP(発注点)を変化させて、シミュレーション計算を行い品切率、発注回数、在庫維持量、品切量、総費用の変化を見る。期間数は3年分、1095日とする。その他、一日の需要分布を平均 = 5, 標準偏差 = 1, 年間在庫維持費率 = 1.0, 年間需要量 = $365 * 5 = 1825$, 発注費 = 1000円, 商品単価 = 1000円とする。表4, 表5において、品切率は、全仕入れ回数に占める在庫の品切れがあった回数, 維持量, 発注回数は、全期間における在庫維持量, 発注回数であり、総費用は在庫にかかわる諸費用である発注費, 在庫維持費, 品切費の和である。

表4 発注量(OP)が在庫費用等へ与える影響

OQ	OP	品切率	発注回数	総維持量	総品切量	総費用
60	16	0.4432	87	33663	116	202426
60	17	0.3708	88	34133	73	196114
60	18	0.3034	88	34836	62	195840
60	19	0.0778	89	36039	10	189736
60	20	0.0556	89	36583	8	190826
60	21	0.0222	89	38340	2	194440
60	22	0.0222	89	39268	2	196982
60	23	0.0111	89	40039	1	198895
60	24	0.0000	89	41170	0	201793
60	25	0.0000	89	42370	0	205081

表4は、OQを60に固定し、OPを16から25まで1ずつ変化させたときの計算結果である。OPの増加に対して発注回数、在庫維持量は単調に増加し、品切率、総品切量は単調に減少する。品切率、総品切量は大きく変化するが、総在庫維持量はOP = 16からOP = 25にかけて1.26倍に増加するだけ、発注回数もごく少量87から89に増えるだけで、最後は一定の値を保ちつづける。総費用はOP = 19のとき最小になり、極小点の一つだけである。

表5 注文量(OQ)が在庫費用等へ与える影響

OQ	OP	品切率	発注回数	総維持量	総品切量	総費用
20	20	0.1760	267	13276	80	319371
22	20	0.0650	245	15519	21	291716
24	20	0.0622	225	16707	24	275571
26	20	0.0962	207	17772	28	261289
28	20	0.0570	193	18899	15	247777
30	20	0.0722	179	19677	25	237908
32	20	0.0592	168	20960	15	228423
34	20	0.0629	159	22228	12	222297
36	20	0.0467	150	23613	14	217492
38	20	0.0493	142	24386	11	211010
40	20	0.0815	135	25716	13	208053
42	20	0.1008	128	26533	19	204492
44	20	0.0732	122	27952	12	200979
46	20	0.0339	117	29049	8	198185
48	20	0.0442	112	30110	8	196092
50	20	0.0463	107	31672	10	195771
52	20	0.0577	103	32579	8	193856
54	20	0.0800	99	33500	8	192379
56	20	0.1042	96	34746	15	194193
58	20	0.0860	92	35666	15	192714
60	20	0.0556	89	36583	8	190826
62	20	0.0805	86	37733	10	191377
64	20	0.0833	84	39316	12	194114
66	20	0.0122	81	40306	2	191826
68	20	0.0759	79	41314	9	193988
70	20	0.0649	76	42570	7	194029

表5は、OPを20に固定し、OQを20から70まで2ずつ変化させたときの計算結果である。OQの増加に対して在庫維持量は単調に増加し、発注回数は単調に減少する。総品切量は全体に減少する傾向にあるがときおり増加することもあり単調な減少を示さない。品切率は増加と減少を不規則に繰り返し一定の傾向を示さない。総費用はOQ = 60のとき最小になるが、増減を繰り返し極小値は一つではない。

まとめとして、OPは各種変数、費用に一定した変化をもたらすが、OQはいささか不安定

な変化をもたらす。特に、OP は品切率と一意的な関係があると言えるが、OQ は品切率と一意的な関係があるとは言えない。

4. 4 分析 2 —— 各種費用率と最適在庫管理 ——

各種費用率の値の変化に対して最適な経営戦略、つまり発注量と発注点を選んだときの最小総費用と、そのときの最適な発注量、発注点、品切率を計算し、その結果について検討する⁶⁾。

4. 3と同様、総費用とは在庫に関する諸費用である発注費、在庫維持費、品切費の和である。

ただし、全パラメータの値を全ての範囲に渡って計算すると膨大な計算結果になるので、ここでは各種費用率の値を基準として一つの妥当な数値に固定し、個々の費用率を少しずつ変化させたときの、最小総費用とそのときの最適な発注量、発注点、品切率の計算結果を示し、そこから特に留意すべき点を拾い上げる。また、定量発注法で発注量として設定されるEOQと計算された最適発注量との比較も行う。

表6～9のM.OQ, M.OP, 品切率, 発注回数, 総費用はそれぞれ表にある各種費用率, CR2 (品切费率), CR3 (発注費), PRICE (単価), CR1 (年間在庫維持费率) の値に対して最適な、つまり総費用を最小にするようにOQ (発注量), OP (発注点) を選んだときの最適なOQ, OP, 品切率, 発注回数, 総費用の値である。またEOQは表の各種費用率から計算されている。

各種費用率は、固定させる場合、基本的に、CR1 (年間在庫維持费率) = 1.0, (注; ここで年間在庫維持费率を通常言われる値よりも少し大きく設定した。理由は3.2で述べたように商品在庫の場合、他の商品の販売機会を逸する費用を含むと比較的大きくなるとことを考慮したことにもある。) CR2 (品切费率) = 0.2, CR3 (発注費) = 1000, PRICE (単価) = 1000に設定する。

< 1. 年間在庫維持费率, CR1 の影響 >

表6は、CR2 = 0.2, CR3 = 1000, PRICE = 1000に固定し、CR1を0.2から3.0まで0.1ずつ変化させたものである。

表6 在庫維持費率が最適な在庫管理に与える影響

CR1	CR2	CR3	PRICE	EOQ	M.OQ	M.OP	品切率	発注回数	総費用
.2	.20	1000	1000	135.1	130	20	.0244	40	82965
.3	.20	1000	1000	110.3	110	19	.0204	48	101992
.4	.20	1000	1000	95.5	90	19	.0500	59	118653
.5	.20	1000	1000	85.4	84	20	.0156	63	133188
.6	.20	1000	1000	78.0	71	20	.0132	75	146463
.7	.20	1000	1000	72.2	71	20	.0132	75	158340
.8	.20	1000	1000	67.5	66	20	.0122	81	170175
.9	.20	1000	1000	63.7	60	19	.0778	89	180306
1.0	.20	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190229
1.1	.20	1000	1000	57.6	54	19	.1100	99	200033
1.2	.20	1000	1000	55.2	54	19	.1100	99	208963
1.3	.20	1000	1000	53.0	54	19	.1100	99	217894
1.4	.20	1000	1000	51.1	54	19	.1100	99	226824
1.5	.20	1000	1000	49.3	49	19	.1273	109	235106
1.6	.20	1000	1000	47.8	46	18	.2308	116	242545
1.7	.20	1000	1000	46.3	46	18	.2308	116	249904
1.8	.20	1000	1000	45.0	46	18	.2308	116	257263
1.9	.20	1000	1000	43.8	46	18	.2308	116	264622
2.0	.20	1000	1000	42.7	46	18	.2308	116	271981
2.1	.20	1000	1000	41.7	46	18	.2308	116	279340
2.2	.20	1000	1000	40.7	46	18	.2308	116	286699
2.3	.20	1000	1000	39.8	46	18	.2308	116	294058
2.4	.20	1000	1000	39.0	39	18	.2628	137	301219
2.5	.20	1000	1000	38.2	39	18	.2628	137	307553
2.6	.20	1000	1000	37.5	36	18	.2215	148	313461
2.7	.20	1000	1000	36.8	36	18	.2215	148	319363
2.8	.20	1000	1000	36.1	36	18	.2215	148	325265
2.9	.20	1000	1000	35.5	36	18	.2215	148	331168
3.0	.20	1000	1000	34.9	36	18	.2215	148	337070

表6において、CR1の増加に対してM.OQ(最適発注量)は単調に減少を続ける。M.OP(最適発注点)は18-20の値を取り全体の傾向として減少している。最適発注回数は単調に増加している。

最適品切率はOPは一定でもOQが変化するためその影響を受けて変化する。最適品切率は最初は20%以下の小さな値を取るが、その後20%~26%で不規則に推移する。これはOQの品切率に与える影響が4.3で見たように一定の方向ではないためと言える。このことをまとめると次のようになる。

「在庫維持費率の増加は単純に最適品切率の増加をもたらすとは限らない。なぜなら、在庫維持費率の増加に対して、総費用の最小化を導くべき有利な総維持量の減少やそれ代替する発注量の増減、品切率の増減は、OQとOPを変化させることによってもたらされる。しかし、

そのさいの OQ と OP の変化が品切率を減少させる保証は無い。これは、特に OQ の増減が品切量と品切率を一定の方向でなく不規則に変化させるためと考えられる。」

< 2. 品切费率, CR2 の影響 >

表 7 は, CR1 = 1, CR3 = 1000, PRICE = 1000 に固定し, CR2 を 0.20 から 0.50 まで 0.02 ずつ変化させたものである。

表 7 品切费率が最適な在庫管理に与える影響

CR1	CR2	CR3	PRICE	EOQ	M.OQ	M.OP	品切率	発注回数	総費用
1.0	.20	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190229
1.0	.22	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190429
1.0	.24	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190629
1.0	.26	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190829
1.0	.28	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	191029
1.0	.30	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	191229
1.0	.32	1000	1000	60.4	66	19	.0778	89	191429
1.0	.34	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	191629
1.0	.36	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	191829
1.0	.38	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	192029
1.0	.40	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192179
1.0	.42	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192199
1.0	.44	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192219
1.0	.46	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192239
1.0	.48	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192259
1.0	.50	1000	1000	60.4	55	20	.0102	98	192279

表 7 において, CR2 の増加に対して M.OQ は, 60 から 55 と段差をもって単調に減少する。最適発注回数は段差をもって 89, 98 と増加する。M.OP は 19, 20 と単調に増加する。最適品切率は単調に減少する。表 7 からははずれているが CR2 の 0.80 まで, M.OQ = 55, M.OP = 20 と一定を保ち続け, よって最適品切率も 1.02% という小さな値で一定のままである。総費用も品切费率の増加にともない微増するだけである。CR2 の諸変数に与える影響は他の費用率に比べ単調であり大きな変化をもたらさない。

< 3. 発注費, CR3 の影響 >

表 8 は, CR1 = 1.0, CR2 = 0.2, PRICE = 1000 に固定し, CR3 を 100 から 2000 まで 100 ずつ変化させたものである。

表 8 において, CR3 の増加に対して M.OQ は単調に増加を続ける。M.OP は一部例外を除いて 21 から 18 まで単調に減少する。最適品切率は最初は 10% を切る小さな値を取るが, その後一定の傾向を持たず推移する。最適発注回数は単調に減少する。

表 8 発注費が最適な在庫管理に与える影響

CR1	CR2	CR3	PRICE	EOQ	M.OQ	M.OP	品切率	発注回数	総費用
1.0	.20	100	1000	19.1	21	21	.0310	258	70612
1.0	.20	200	1000	27.0	27	20	.0500	200	92968
1.0	.20	300	1000	33.1	33	20	.0305	164	111042
1.0	.20	400	1000	38.2	38	20	.0493	142	126122
1.0	.20	500	1000	42.7	47	20	.0609	114	139777
1.0	.20	600	1000	46.8	49	19	.1273	109	150804
1.0	.20	700	1000	50.5	54	19	.1100	99	161403
1.0	.20	800	1000	54.0	54	19	.1100	99	171303
1.0	.20	900	1000	57.3	54	19	.1100	99	181203
1.0	.20	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190229
1.0	.20	1100	1000	63.4	60	19	.0778	89	199129
1.0	.20	1200	1000	66.2	67	18	.2125	79	207996
1.0	.20	1300	1000	68.9	67	18	.2125	79	215896
1.0	.20	1400	1000	71.5	67	18	.2125	79	223796
1.0	.20	1500	1000	74.0	71	20	.0132	75	231471
1.0	.20	1600	1000	76.4	81	18	.1364	66	238264
1.0	.20	1700	1000	78.8	81	18	.1364	66	244864
1.0	.20	1800	1000	81.1	81	18	.1364	66	251464
1.0	.20	1900	1000	83.3	81	18	.1364	66	258064
1.0	.20	2000	1000	85.4	89	18	.2833	59	264560

表 9 単価が最適な在庫管理に与える影響

CR1	CR2	CR3	PRICE	EOQ	M.OQ	M.OP	品切率	発注回数	総費用
1.0	.20	1000	200	135.1	127	17	.2619	41	82202
1.0	.20	1000	400	95.5	89	18	.2833	59	117624
1.0	.20	1000	600	78.0	81	18	.1364	66	145599
1.0	.20	1000	800	67.5	67	18	.2125	79	169557
1.0	.20	1000	1000	60.4	60	19	.0778	89	190229
1.0	.20	1000	1200	55.2	54	19	.1100	99	209523
1.0	.20	1000	1400	51.1	54	19	.1100	99	227944
1.0	.20	1000	1600	47.8	49	19	.1273	109	245647
1.0	.20	1000	1800	45.0	49	19	.1273	109	262727
1.0	.20	1000	2000	42.7	47	20	.0609	114	279553
1.0	.20	1000	2200	40.7	38	20	.0493	142	294508
1.0	.20	1000	2400	39.0	38	20	.0493	142	308373
1.0	.20	1000	2600	37.5	38	20	.0493	142	322237
1.0	.20	1000	2800	36.1	37	19	.1164	145	335926
1.0	.20	1000	3000	34.9	33	20	.0305	164	349527
1.0	.20	1000	3200	33.8	33	20	.0305	164	361896
1.0	.20	1000	3400	32.8	33	20	.0305	164	374264
1.0	.20	1000	3600	31.8	32	20	.0592	168	386471
1.0	.20	1000	3800	31.0	32	20	.0592	168	398608
1.0	.20	1000	4000	30.2	32	20	.0592	168	410745
1.0	.20	1000	4200	29.5	27	20	.0500	200	422468
1.0	.20	1000	4400	28.8	27	20	.0500	200	433061
1.0	.20	1000	4600	28.2	27	20	.0500	200	443655
1.0	.20	1000	4800	27.6	27	20	.0500	200	454249
1.0	.20	1000	5000	27.0	27	20	.0500	200	464843

< 4. 単価, PRICE の影響 >

表9は, CR1=1.0, CR2=0.2, CR3=1000に固定し, PRICEを200から5000まで200ずつ変化させたものである。

表9において, PRICEの増加に対してM.OQは単調に減少を続ける。M.OPは17から20まで少量増加する傾向がある。最適品切率は特定の傾向性を持たずに変化する。最適発注回数は単調に増加する。

その他表6~9のまとめとして以下のことが言える。

EOQとM.OQは概ね近い値を取った。M.OP(最適発注点)は一つの例外を除いて18~21の狭い範囲にあるが, M.OQ(最適発注量)は21~130の広い範囲にある。各種費用率の変化に対して最適な発注回数は常に単調な増加もしくは減少を示した。

また, 各種費用率の値の変化に対して, M.OQは単調な増加もしくは減少の傾向を示した。他方, M.OPは必ずしも単調な増加もしくは減少の傾向を示さない。一般に各種費用率の変化に対して最適な経営戦略変数として, OQ(発注量)とOP(発注点)を選択することができるし, ここではそうした。しかし, この場合従来言われてきたように, OPと品切率の一意的な関係を仮定して, 戦略変数として品切率を選ぶことはできないということが分かった。その理由として, 最適な戦略変数としてOQを加えたとき, そのOQの変動によって, OPと品切率の一意的な関係は破れるからであると言える。したがって, 品切率を最適な経営戦略として選ぶことは難しい。また, このこととは別に, 正規分布を利用した従来のOPと品切率の一意的な関係は, あるきつい条件下でしか成立しないことは, 3.3で述べた通りである。

これらの点からも, 在庫管理問題は理論的展開のみの方法に頼るだけでなく, シミュレーションによる状況に応じた分析がより実践的応用力を持つものとする。

5. おわりに

本稿はあくまでも理論的展開を行ったわけであるが, 現実の在庫管理問題においては需要が一樣の正規分布にしたがっているとは限らない。曜日, 季節, 天候等の要因によって母集団のパラメーターの値が変わる可能性が大きい。現実のデータから需要の分布を観察して確率分布の形状を確認・検証すれば実用的な応用が可能であるとする。この場合も, 理論的展開のみの方法論に頼るだけでなく, シミュレーションによる小回りがきき自由な設計が可能な分析が実践的応用力を持つものとする。

本稿では, 各種費用率の変化に対して取るべき最適な経営戦略, つまり発注量と発注点についてシミュレーション計算し, また個々の計算結果について検討を加えたわけだが, 更に検討すればより一般的な規則性をも見つけられたのではないかと考える。

また、4.2で論じたように需要の平均と標準偏差より正規分布の性質を利用した安全係数と期待品切率の関係が成立しない場合があるので今後検討を要す。

注

- 1) 参考文献14)P561～564からの引用で、1993年に行われたアンケートから集計されたものである。
- 2) 参考文献12)P242からの引用。
- 3) 参考文献10)P41からの引用。
- 4) 4.2, 4.3の計算では、一つの調達期間中に複数の品切れの日があっても品切数を1として品切率を計算した。他方、4.4では一つの調達期間中に複数の品切れの日があれば、その日数分を品切数に加え品切率を計算した。よってこの場合は一つの調達期間中に2度以上の在庫切れを認める。
- 5) 本稿でのシミュレーション計算では全てQuick Basic Ver 4.5を使用した。
- 6) 最適性については、戦略変数としてのLPとOPの値を、十分最適値を含む範囲に渡って1づつ変化させて総費用を計算し、最小の総費用を見つけた。したがって、発注量はEOQと関係なく、発注点も安全係数から得られる量とは関係ない。

参 考 文 献

- 1) 青木博明：システム・ダイナミックスのマクロ経済モデルへの応用，京都短期大学論集第22巻（1993）。
- 2) 荒川圭基：POSシステムの知識，日経文庫，日本経済新聞社（1987）。
- 3) 平野裕之：在庫管理の実際，日経文庫，日本経済新聞社（1991）。
- 4) J.H.Mize, J.G.Cox：Essentials of Simulation（秋葉他（訳）倍風館（1969））。
- 5) 水戸誠一：在庫管理の知識と実務，日本実業出版社（1980）。
- 6) 宮川公男：経営数学入門，実数理工学全書，実教出版（1974）。
- 7) 宮沢健一：高度情報化社会の流通機構，東洋経済新報社（1986）。
- 8) 守谷栄一：企業モデルとシミュレーション，マグロウヒル（1977）。
- 9) 中井久史：営業部門の生産性向上，日本能率協会マネジメントセンター（1995）。
- 10) 中西俊男：シミュレーション技術の現状と将来，オフィス・オートメーション，Vol.15, No.3,4, pp.59-64（1994）。
- 11) 崔宗喚：マクロ計量モデルによる韓国経済のシミュレーション分析，計量経済学会西部部会報告論文（1995）。
- 12) 関根，高橋，若山：シミュレーション，ORライブラリー 20，日科技連（1976）。
- 13) 高橋三雄：意志決定ツールとしてのシミュレーションの役割，オフィス・オートメーション，Vol. 15, No.3,4, pp.65-71（1994）。

- 14) 梅田, 森戸: 離散系シミュレーションを取り巻く実態と展望, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 38, No. 11, pp. 561-565 (1993).
- 15) 山口紀生: 物・情報の流れとシミュレーション, オフィス・オートメーション, Vol. 15, No. 3, 4, pp. 78-83 (1994).
- 16) 吉田茂: 経営シミュレーション; 経営情報学講座13, オーム社 (1988).

(1996年3月11日 受理)