

(s, S) 法による在庫管理経済の数値解析*

A Numerical Analysis of an Inventory Control Economic System

谷口和久

TANIGUCHI Kazuhisa

1 はじめに

本論文は在庫を需要変動への緩衝装置とする多数企業モデルにおいて、外生的な衝撃を受けた経済が、どのような変動を経て全体として収束あるいは発散するのか、その振る舞いを数値解析によって調べることを目的とする。

在庫量の決定方法は、原材料在庫・製品在庫を問わず、定期発注方式と定量発注方式に二分できる¹。定期発注方式は発注時点の間隔が周期的に決まっています、発注量は将来の需要予想に基づく。その予想方法には、外挿的、適応的、移動平均、指数平滑等がある。定量発注方式は在庫量があらかじめ決められた水準以下に落ち込んだときに、前もって決めておいた量を発注する。発注時点に周期的間隔は無く、需要予測を行う必要も無い。定期発注方式は様々な手間を要し、定量発注方式は簡便である。さて、発注後の在庫量を一定に保ついわゆる (s, S) 法は、定量発注方式の一種の変形であるが、ある一定の需要分布のもとで最適在庫になることが既に知られている²。この Arrow [1] による最適在庫論の焦点は、在庫水準の決定そのものにある。水準決定の指標は、様々な費用の最小化、あるいは収入と費用の差の最大化にあって、静学モデルでも二期間動学モデルでもこの事情は変わらない。

本論文はモデル企業の在庫決定方式としてこの (s, S) 法を採用するが、問題意識は最適在庫水準の決定方法、あるいは最適在庫量の水準を検証することにあるのでは無い。例えば、最適在庫理論では在庫が不足し需要に応じることが出来ないときには、当該企業に罰金が課せられる。この時、理論の焦点は罰金を含めた費用の最小化に絞られている。だが、経済全体から見れば、その罰金を当該企業が支払ったところで在庫不足は解消しない³。生産面からはそれを原材料として必要とする企業の生産活動の低下あるいは停止を引き起こす。ひいてはその生産面が隘路になって、全体の活動水準は低下するであろう。また、その帰結として生じる需要分布は、初めに前提にされた需要分布とは異なっているであろう。本論文の焦点はここにある。最適な水準に在庫が管理される個別企業に外生的衝撃が加わったとき、経済全体はどのように運行可能で、かつどのような振る舞いをするであろうか。この意味で本

*本論文は「非線形問題研究会」(94年12月22日早稲田大学)で発表され、席上有益なコメントを諸先生方より頂いた。感謝の意を表わしたい。なお、本研究は平成6年度大阪産業大学産業研究所個人研究特別助成(「短期数量調整経済における複雑適応系の研究」改題)を受けたものである。

¹ 定量発注方式は発注点方式とも呼ばれる。

² 在庫が水準 s 以下になった時に、発注後の水準を S になるように在庫決定を行う。Arrow[1]、[2]参照。

³ 近年の在庫モデルでも負の在庫は未処理の受注残とされる。問題はこの受注残が次期の生産活動にどのような影響を及ぼすかである。例えば Naish[9]等。

*平成7年4月 原稿受理

大阪産業大学 経済学部

論文は、先に発表した需要予測をとまなう定期発注方式によるモデル分析⁴に続くものである。

次に、近年発表されている在庫を組み込んだマクロ・モデルとの関係についても述べておこう。元来、在庫理論は景気変動を説明するためのマクロ・モデル⁵に登場したが、その後あまり展開は無かった⁶。しかし、1980年代に入って再び在庫変動から景気変動をとらえるマクロ・モデルが発表されている⁷。これら80年代に登場するマクロ・モデルでは、経済主体は代表的生産者と代表的消費者の登場する二主体モデルであり、合理的期待形成を組み込んだモデルでは、さらに各主体の主観的予想がはじめから客観的事実に一致している。決定は分権的に行われるが、主体の持っている知識は全体に及んでいるのである。

これに対して、本モデルは多数の企業が登場し、知ることのできるのは自社の在庫量だけという部分的情報である。他企業の生産水準や全体の産出水準は分からない。意思決定はあらかじめ定められた水準に在庫量を調節するだけの単純なものである。ただし、その操作は再帰的にくり返し行われる。さらに多数の企業が登場しているから、それらの活動は部分的情報に基づいた分権的意思決定のもとで、一斉に並行的に行われることになる。このような構造は「複雑系」といわれる⁸。

また、最適在庫論や先のマクロ・モデルにおいては、在庫量の決定にあたっては各期ごとに価格が参照される。しかし、ここでは問題とする期間においては、価格変化は考慮されない。 s と S の水準が決定される時には価格が参照されても構わないが、いったん決められたその水準は問題とする期間は改定されないとしている。これは、 s と S の水準改定の単位期間と生産・販売の単位期間が異なっているという認識に立っているからである⁹。調整は数量で行われるのである。さらに、問題とする期間では生産容量や労働力の上限に突きあたらないとする。消費需要も一定とする。

なお、本モデルは在庫量の上限と下限が押さえられて非線形になっている。このため数値解析によってその振る舞いは解明された。

2 モデル構築

本モデルでは N 個の財と N 個の企業が登場する。結合生産は考えていない。これらの企業は生産技術によって相互に網の目のように関連しており、この依存関係は投入係数行列 A によって規定されている¹⁰。定量発注方式であるから発注の時点に周期は無く、ここでの一期間とは単位生産期間のことである。財の種類によって生産期間の長さは異なるが、それらは同期化されているものとする。他社の製品が自社の投入財であることを明示的に表現するために、他社製品の購入に要する期間とそれらを用いて実行される生産期間に一期間の遅れ

⁵ Metzler [7] 参照。

⁶ Blinder [3] によれば、「1950年代頃までは熱い話題であったが、1960年代には流行遅れとなり、1970年代には捨てられてしまった。

⁷ 合理的期待形成を組み込んだ Honkapohja [6]、Simonovits [11] のマクロ・モデル、あるいは Ecklbar [5] 等、ミクロ分野の在庫理論は谷口 [12] 参照。

⁸ 「複数次系」については Day [4] 等。

⁹ 生産現場において毎期問題になるのは、最適在庫量の決定ではなく在庫精度である。在庫の最適水準が決められても、毎期それが改定されると在庫精度が下がり生産に支障が生じる。吉川 [13] 参照。

¹⁰ 投入係数行列 $A = [a_{ij}]$ 、投入係数 $a_{ij} \geq 0$ 、 $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ である。

を考える。即ち、 t 期首に立てられた生産計画に基づいて、 t 期間内に原材料の購入が行われ、 $t+1$ 期にて生産が実行される。したがって財の完成は $t+1$ 期末である。また、これによって発注残あるいは在庫予定の財を明示的にモデルに組み込むことができる。

さて、モデル経済内の一企業の生産活動の過程を述べる。第 i 企業は t 期首において、 $t+1$ 期に実行される生産の量 $y_i(t+1)$ を計画する¹¹。このとき判明しているのは、 $t-1$ 期末に産出された製品 $y_i(t-1)$ と在庫 $z_i(t-1)$ 、および $t-1$ 期首に立てられた計画に基づく生産 $y_i(t)$ である。この $y_i(t)$ は t 期首から生産が開始され t 期末に完成するから、 t 期間内では仕掛かり品である。第 i 企業は、これらの $z_i(t-1)$ と $y_i(t-1)$ と在庫予定の $y_i(t)$ を在庫の下限 s_i と比較して、次のような生産計画を立てる。

$$y_i(t-1) + y_i(t) + z_i(t-1) > s_i \quad \text{ならば} \quad y_i(t+1) = 0 \quad (1)$$

$$y_i(t-1) + y_i(t) + z_i(t-1) \leq s_i \quad \text{ならば} \quad y_i(t+1) = S_i - \{y_i(t-1) + y_i(t) + z_i(t-1)\} \quad (2)$$

但し、 S_i は最大在庫量である。 t 期首においては、立てられた各企業の生産計画がまだ実行されていないから、第 i 企業には t 期間内の出庫量 $x_i(t)$ が分からない。しかし、経済全体で上のように計画が立てられ生産が一斉に開始されると、財の購入が開始される。購入される量は、第 i 企業にとっては出庫量であるが、次式で定まる。

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n y_j(t+1) a_j^i + f_i \quad (3)$$

これで第 i 企業によせられる需要 $x_i(t)$ が確定した。 $y_i(t)$ の完成は t 期末であったから、 t 期中の出庫には間にあわない。よって、 t 期末に第 i 企業に生ずる在庫 $z_i(t)$ は、 t 期首に出庫可能な量 $y_i(t-1) + z_i(t-1)$ から $x_i(t)$ を差し引いたものとなり、次のように表わせる。

$$z_i(t) = \max \{y_i(t-1) + z_i(t-1) - x_i(t), 0\} \quad (4)$$

t 期末には $y_i(t)$ が完成し、この在庫 $z_i(t)$ と合わせて、 $t+1$ 期首には生産計画 $y_i(t+2)$ が立てられる。新しい期の始まりである。

3 利用した資料と前提にした数値

第一に、利用した基礎資料は1990年産業連関表である¹²。統合大分類32部門表からモデル企業として、製造業に属する化学製品、石油・石炭製品、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、一般産業機械、電気機械、輸送機械、精密機械の9産業を選び出し、それらの産業を本モデルの企業とした、本モデルの投入係数行列 A はここから得た。

第二に、初期定常状態での最終需要を与える f は、1990年産業連関表から国内最終需要に輸出を加えた額(表1のA欄)とした。

第三に、モデルに加わる外生的衝撃 g は建設産業の突然の生産量の変動とした。この建設産業はモデル内の内生変数を担う9産業の外にある。一例として、建設産業の生産変動が公的固定資本投資の変動から来ると想定すれば次のようになる。まず、公的固定資本投資額

¹¹以下、販売量 x 、生産量 y 、在庫量 z 、最終需要量 f 、外生的衝撃 g とし、それぞれ n 次元非負縦ベクトルである。また、 z_i 、 y_i 、 z_i 、 f_i 、 g_i はそれぞれのベクトルの第 i 要素で第 i 財を表わす。()内は当該期を表わす。

¹²財団法人通称産業調査会経済統計情報センターより「産業連関表の磁気テープ等」が提供されている。

については1990年産業連関表付帯表の「固定資本マトリックス」を利用できる。公的固定資本投資の投資先は「固定資本マトリックス資本機能分類項目」の「その他」にあたる「道路・住宅・環境衛生・国土保全・土地造成」が最も多く、11兆3618億円であり、この内11兆1649億円が建設産業へ1次的に直接向かう。これは公的固定資本投資総額31兆7352億円の35.2%にあたる。建設産業の国内生産額は1990年で89兆1989億44百万円であるから、またこれは12.5%になる。本論文では、建設産業の国内生産額が1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0%、10.0%増加した場合を数値実験したが、これは公的固定資本投資額のそれぞれ2.8%、5.6%、8.4%、11.2%、14.1%、28.1%の増加にあたる。但し、本論文ではこの建設産業生産変動の原因は問わないから、突然の自然災害等が原因であっても構わない。表1には、初期定常状態での生産額（A欄）に建設産業の国内生産額（B欄）のそれぞれの百分率での増加分を加えた額で記した（C欄）～（H欄）。また、図1にこれらの一部を棒グラフで表わした。

表1. 産業別最終需要額および建設産業需要額 (単位 百万円)

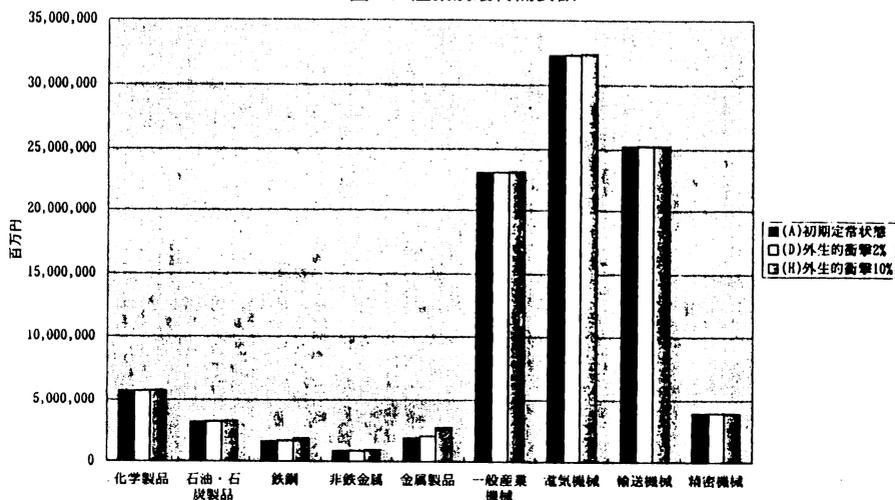
	(A)初期定常状態	(B)建設産業投入額	(C)外生的衝撃1%	(D)外生的衝撃2%
化学製品	5,717,939	457,273	5,722,512	5,727,085
石油・石炭製品	3,183,315	656,282	3,189,878	3,196,441
鉄鋼	1,621,048	2,372,124	1,644,769	1,668,491
非鉄金属	847,052	788,911	854,941	862,830
金属製品	1,873,753	8,696,617	1,960,719	2,047,685
一般産業機械	23,015,662	786,183	23,023,520	23,031,390
電気機械	32,295,387	1,104,282	32,306,430	32,317,470
輸送機械	25,226,908	0	25,226,910	25,226,910
精密機械	3,938,627	322	3,938,630	3,938,634

	(E)外生的衝撃3%	(F)外生的衝撃4%	(G)外生的衝撃5%	(H)外生的衝撃10%
化学製品	5,731,657	5,736,230	5,740,803	5,763,667
石油・石炭製品	3,203,004	3,209,566	3,216,129	3,248,943
鉄鋼	1,692,212	1,715,933	1,739,654	1,858,260
非鉄金属	870,719	878,608	886,498	925,943
金属製品	2,134,652	2,221,618	2,308,584	2,743,415
一般産業機械	23,039,250	23,047,110	23,054,970	23,094,280
電気機械	32,328,520	32,339,560	32,350,600	32,405,820
輸送機械	25,226,910	25,226,910	25,226,910	25,226,910
精密機械	3,938,637	3,938,640	3,938,643	3,938,659

1) 初期定常状態(A)とは国内最終需要に輸出を加えたもの。

2) 外生的衝撃n%とは初期定常状態(A)に建設産業需要額(B)のn%を加えたもの。

図1. 産業別最終需要額



第四に、衝撃の加わる前の定常状態での産出水準と在庫水準として、次の不動点を前提にした。即ち、定常状態では在庫の不足や過多のために生産の停止することが無いものとし、(s, S) 法による在庫管理によって、これが実現していると仮定するならば、モデルは3n本の連立方程式体系で次のように書ける。

$$\begin{aligned}y(t+1) &= S - \{y(t-1) + y(t) + z(t-1)\} \\x(t) &= Ay(t+1) + f \\z(t) &= y(t-1) + z(t-1) - x(t)\end{aligned}$$

従って、不動点を、 y^* 、 z^* とおけば、

$$y^* = (E - A)^{-1}f \quad (5)$$

$$z^* = -3(E - A)^{-1}f + S \quad (6)$$

を得る¹³。故に、先の最終需要 f による波及効果を求めて¹⁴、これをはじめの定常状態における生産量 y^* にすることができる。なお、この y^* を1990年連関表の国内生産額と比較すると、非鉄金属、一般産業機械、電気機械、輸送機械、精密機械の産業は殆ど変わらないが、化学製品、石油・石炭製品、鉄鋼、金属製品の産業は半分程度である¹⁵。これはここで問題としている産業以外からの波及が強く作用しているからである。表2の連関表の値 (I欄) と (J欄) である。

さて、経済がこの衝撃 g をうまく吸収しつつ、新しい定常状態に移行したとすれば、そこでの産出水準 $y^\#$ と在庫水準 $z^\#$ は

$$y^\# = (E - A)^{-1}(f + g) \quad (7)$$

$$z^\# = -3(E - A)^{-1}(f + g) + S \quad (8)$$

となる。表2の (K欄) ~ (P欄) である。また図2にこれらの一部をグラフ化した。

第五に、在庫水準は、経済統計年報、商業動態統計月報、通算統計、法人企業動向調査報告、日本統計月報等の資料から多くの事例を知ることができる。一例として、通産省の「通算統計」1994年8月号からは、平成5年計の生産量に対する在庫量の比として、塩化アンモニウム0.063、分析機器0.1555、電気冷蔵庫0.1255、金属工作機0.1338、汎用内燃機関0.0427等々が分かる。本論文では、初期値として与える在庫量 z^* には、先の生産量 y^* を0.1倍、0.3倍、0.5倍したものをうい、3種類の初期在庫量で数値実験を行った。

第六には在庫の下限水準 s_i の値は、初期定常状態から(1)式を参照して、

$$s_i = y_i^* + y_i^* + z^* = (2 + \alpha)y_i^* \quad (9)$$

で与えた。この係数 α は、初期在庫量の与え方から、0.1、0.3、0.5となる。また、在庫の上限 S_i についても初期定常状態から、

$$S_i = (3 + \beta \cdot \alpha)y_i^* \quad (10)$$

¹³ E は n 次元単位行列、 S は S_i を要素にもつ n 次元非負縦ベクトル。

¹⁴ 波及効果は $(E - A)^{-1}f$ で得られる。

¹⁵ 非鉄金属と精密機械はわずかに y^* の方が大きい。これは輸入によるものである。

と与えた。係数 β は在庫の下限と上限の差の及ぼす影響を調べるためのパラメータとして導入したもので、本数値実験では、0.8、1.0、1.2の三種類である。本論文においては、在庫の上限 S_i と下限 s_i の値は各企業によって異なるが、 α と β の値は各企業に共通している。これは数値実験上パラメータとして動かすときの簡単化のためである。だが、注目しているモデル構造の複雑性は失われていない。また、(9)、(10)式内に2と3の整数が現われているのは、生産計画期と産出期にタイム・ラグを設けたことが効いているからである。

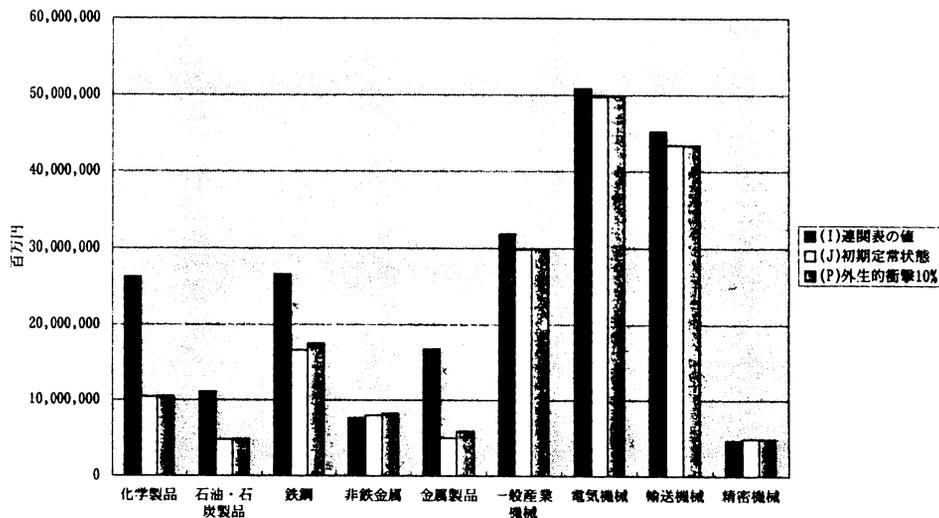
表2. 各総生産額 (単位 百万円)

	(I)連関表の値	(J)初期定常状態	(K)外生的衝撃1%	(L)外生的衝撃2%
化学製品	26,348,492	10,419,880	10,429,370	10,438,860
石油・石炭製品	11,087,614	4,743,550	4,754,968	4,766,386
鉄鋼	26,679,224	16,601,530	16,692,160	16,782,790
非鉄金属	7,614,576	7,942,619	7,968,159	7,993,699
金属製品	16,748,016	4,953,361	5,046,525	5,139,690
一般産業機械	31,839,020	29,799,560	29,809,760	29,819,970
電気機械	50,826,492	49,677,390	49,693,780	49,710,170
輸送機械	45,195,852	43,384,020	43,384,030	43,384,030
精密機械	4,691,959	4,877,228	4,877,311	4,877,394

	(M)外生的衝撃3%	(N)外生的衝撃4%	(O)外生的衝撃5%	(P)外生的衝撃10%
化学製品	10,448,350	10,457,840	10,467,340	10,514,800
石油・石炭製品	4,777,804	4,789,221	4,800,638	4,857,727
鉄鋼	16,873,420	16,964,050	17,054,680	17,507,840
非鉄金属	8,019,240	8,044,780	8,070,320	8,198,022
金属製品	5,232,855	5,326,019	5,419,183	5,885,006
一般産業機械	29,830,170	29,840,370	29,850,570	29,901,580
電気機械	49,726,560	49,742,950	49,759,330	49,841,280
輸送機械	43,384,030	43,384,030	43,384,030	43,384,030
精密機械	4,877,477	4,877,559	4,877,642	4,878,055

* (K)~(P)欄はそれぞれ外生的衝撃n%が加わった時の総生産額。

図2. 産業別総生産額



4 数値実験の前提

本論文の焦点は、定常状態 y^* 、 z^* から新しい定常状態 $y^\#$ 、 $z^\#$ への移行過程にある。この過程上では、定常状態には影響を及ぼさないが、在庫不足や滞貨の原因になるパラメータがある。例えば、初期在庫水準、在庫の下限パラメータ α がそれであり、これらは不動点を表わす(5)~(8)式中には現われない。また、収束する移行過程の経路上にあっても、衝撃の大きさ、投入係数、初期在庫水準、在庫の上限と下限のパラメータに依存して不足や滞貨が生じ、移行は不能になる。これらの内、衝撃の大きさ、在庫の上限と下限のパラメータに関して調べた。投入係数については動かしていない¹⁶。初期在庫は下限パラメータと連結している。さて、本モデルには(4)式から負の在庫は現われない。そこで負の在庫に対しては、次のような前提を設けてプログラムを組み数値実験を行った¹⁷。

1. どの企業にあっても在庫に負値が現われたとき、数値実験を止める。

初めの定常状態を第0期、衝撃の受ける期を第1期として、負の在庫が出現するまで期間を延ばしてシミュレーションを続けた。負の在庫が出現した場合はその期と当該産業を調べた。負の在庫が出現しない場合はシミュレーションを100期まで続けた。また、収束速度を測るために各産業の産出水準を集計し、連続する2期の生産量の比から全体の産出水準を新しい定常状態の産出水準 $y^\#$ に対して、 $(1 \pm 1/100)y^\#$ と $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲内に入る時期を調べた。

2. 在庫に負値が現われたとき、その需要量にあわせて出庫量を比例配分し、在庫が負の値を取らないようにして、数値実験を続ける。

初めの定常状態を第0期、衝撃の受ける期を第1期として、数値実験を100期までくり返した。収束速度の測定にあたっては、集計した経済全体が $(1 \pm 1/100)y^\#$ と $(1 \pm 1/10000)y^\#$ に入る時期に加えて $(1 \pm 1/10)y^\#$ 水準に入る時期もあわせて利用した。100期間をくりかえしても、 $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲に入らない場合は、この期間内には収束しないことは言えるが、そこから先のことは不明である。発散か振動の可能性が高いが、カオスの可能性もある。また、逆に $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲に入っても収束するか否か厳密には分からない。 $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲に入った場合は遅いもので17期間を要し、しかもすべての場合において $(1 \pm 1/10)y^\#$ と $(1 \pm 1/100)y^\#$ に、順に期を追って入っているから飛び出す可能性は低い。だがこれは集計された経済の産出水準であり、一部の企業が振動している可能性も捨てられない。本プログラムはすべて単精度で作成したから有効数字の桁数は7~8桁である。収束を測る精度はあと2~3桁程度を上げることはできるが、初期値には6桁のものがあるから、誤差の範囲にはいる可能性が高い。結果はこれらのことを念頭において読まねばならない。

これら以外に、在庫不足に直面したときあらかじめ定めておいた優先順位にしたがって配分したり、相手企業に待ってもらい期間が遅れて供給する等の方法も考えられるがここでは採

¹⁶定期発注移動平均型予想モデルでは、その収束速度は投入係数の最大固有値にあまり依存しない。谷口[12]参照。なお、本モデルの投入係数の最大固有値は0.503であった。

¹⁷プログラム言語にはFORTRANを使用した。

用しなかった。なお、本分析の目的からモデル経済では、在庫不足の壁にぶつかったり、そうでなかったりすることが必要である。第1、第2ともに、そのような不足の状態が時として生じるようパラメータを動かした。

5 結果と考察

5.1 結果

1. 在庫に負値が現われて数値実験を止めた場合

結果は外生的衝撃の大きさ、在庫の上限と下限のパラメータにしたがって表3にまとめた。なお、同時に複数の産業で負の在庫が出た場合は、表1にある左端の産業の上位から1産業のみを記した。結果は54種類のシミュレーションうち46種類までに負の在庫が現われ、それらは第3期と第4期に出現した。収束した場合は8種類である。収束した場合、 $(1 \pm 1/100)y^{\#}$ の範囲に入るのに3期間～6期間、 $(1 \pm 1/10000)y^{\#}$ の範囲に入るのに8期間～12期間を要した。各パラメータごとに見ると次の通りである。

表3. 在庫に負値が現われたときに実験を止めた場合

外生的 衝撃 %	下 限 パ ラ メ ー タ α	上 限 パ ラ メ ー タ β	負 の 在 庫 の 出 現 期	左 欄 の 当 該 産 業	百 分 の 一 注1	一 万 分 の 一 注2
1.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
1.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
1.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
1.0	0.3	0.8	3	一般産業機械		
1.0	0.3	1.0	3	一般産業機械		
1.0	0.3	1.2	3	一般産業機械		
1.0	0.5	0.8	無		6	12
1.0	0.5	1.0	4	精密機械		
1.0	0.5	1.2	4	化学製品		
2.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
2.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
2.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
2.0	0.3	0.8	3	一般産業機械		
2.0	0.3	1.0	3	一般産業機械		
2.0	0.3	1.2	3	一般産業機械		
2.0	0.5	0.8	無		6	12
2.0	0.5	1.0	4	精密機械		
2.0	0.5	1.2	4	化学製品		
3.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
3.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
3.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
3.0	0.3	0.8	3	一般産業機械		
3.0	0.3	1.0	3	一般産業機械		
3.0	0.3	1.2	3	一般産業機械		
3.0	0.5	0.8	無		6	12
3.0	0.5	1.0	無		3	8
3.0	0.5	1.2	4	化学製品		
4.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
4.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
4.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
4.0	0.3	0.8	3	一般産業機械		
4.0	0.3	1.0	3	一般産業機械		
4.0	0.3	1.2	3	一般産業機械		
4.0	0.5	0.8	無		6	12
4.0	0.5	1.0	無		3	8
4.0	0.5	1.2	4	化学製品		
5.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
5.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
5.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
5.0	0.3	0.8	3	一般産業機械		
5.0	0.3	1.0	3	一般産業機械		
5.0	0.3	1.2	3	一般産業機械		
5.0	0.5	0.8	無		6	12
5.0	0.5	1.0	無		3	8
5.0	0.5	1.2	4	化学製品		
10.0	0.1	0.8	3	非鉄金属		
10.0	0.1	1.0	3	非鉄金属		
10.0	0.1	1.2	3	非鉄金属		
10.0	0.3	0.8	3	金属製品		
10.0	0.3	1.0	3	金属製品		
10.0	0.3	1.2	3	金属製品		
10.0	0.5	0.8	3	金属製品		
10.0	0.5	1.0	3	金属製品		
10.0	0.5	1.2	4	化学製品		

(注1)新しい定常状態の $\pm 1/100$ の範囲に入るのに要した期間。

(注2)新しい定常状態の $\pm 1/10000$ の範囲に入るのに要した期間。

- (a) 衝撃の大きさについて。衝撃が1.0%、2.0%のとき各1種類、3.0%、4.0%、5.0%のとき各2種類が収束している。10.0%のときはすべてに負の在庫が現われる。ここから衝撃の小さい1.0%、2.0%よりも、3.0%、4.0%、5.0%の方が収束する範囲が広いことが分かる。衝撃の小さいことが経済の収束を容易にするとはいえないのである。
- (b) 在庫の下限パラメータ α について。負値の現われない8種類のすべてが0.5%の場合

であり、0.1と0.3の場合はすべてに負値が現われた。

- (c) 在庫の上限パラメータ β について。負の在庫は0.8の場合に5種類、1.0の場合には3種類が出現しなかった。1.2の場合はすべてに現われた。また、収束速度は1.0の方が0.8より速かった。

2. 需要量にあわせて出庫量を比例配分し、在庫が負にならないようにして数値実験を続けた場合

結果は表4にまとめた。表中のAは100期間をくりかえしても、 $(1 \pm 1/100)y^\#$ の範囲に入らない場合で、当然 $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲には入っていない。また、経済全体の生産量に零の値が出現し、除法が実行出来なかった場合が1種類あり、これにはZを記した。生産量が零であっても、シミュレーションは続けたが速度の測定からは外した。収束は54種類のうち21種類に見られ、それらは収束の速い8種類のグループと、遅い13種類のグループに二分される。収束速度の速い8種類のグループは、先のシミュレーションに於いて収束した表3に見られる種類とすべて同一である。収束速度の遅い13種類のグループを見ると $(1 \pm 1/100)y^\#$ の範囲に11~12期間で、また $(1 \pm 1/10000)y^\#$ の範囲にすべて17期間で入った。

表4. 需要を比例配分した場合

外 生 的 衝 撃 %	下 限 パ ラ メ ー タ α	上 限 パ ラ メ ー タ β	十分の一・注			百分の一・注			一万分の一・注		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.0	0.1	0.8	3	12	17						
1.0	0.1	1.0	3	12	17						
1.0	0.1	1.2	14	A	A						
1.0	0.3	0.8	10	11	17						
1.0	0.3	1.0	10	11	17						
1.0	0.3	1.2	26	A	A						
1.0	0.5	0.8	3	6	12						
1.0	0.5	1.0	3	11	17						
1.0	0.5	1.2	Z	Z	Z						
2.0	0.1	0.8	3	A	A						
2.0	0.1	1.0	3	A	A						
2.0	0.1	1.2	11	A	A						
2.0	0.3	0.8	10	11	17						
2.0	0.3	1.0	10	11	17						
2.0	0.3	1.2	12	A	A						
2.0	0.5	0.8	3	6	12						
2.0	0.5	1.0	3	11	17						
2.0	0.5	1.2	Z	Z	Z						
3.0	0.1	0.8	3	A	A						
3.0	0.1	1.0	3	A	A						
3.0	0.1	1.2	11	A	A						
3.0	0.3	0.8	10	11	17						
3.0	0.3	1.0	10	11	17						
3.0	0.3	1.2	13	A	A						
3.0	0.5	0.8	3	6	12						
3.0	0.5	1.0	3	11	17						
3.0	0.5	1.2	19	A	A						
4.0	0.1	0.8	3	A	A						
4.0	0.1	1.0	3	A	A						
4.0	0.1	1.2	11	A	A						
4.0	0.3	0.8	10	12	17						
4.0	0.3	1.0	10	11	17						
4.0	0.3	1.2	10	A	A						
4.0	0.5	0.8	3	6	12						
4.0	0.5	1.0	3	3	8						
4.0	0.5	1.2	41	A	A						
5.0	0.1	0.8	3	A	A						
5.0	0.1	1.0	3	A	A						
5.0	0.1	1.2	11	A	A						
5.0	0.3	0.8	10	A	A						
5.0	0.3	1.0	10	12	17						
5.0	0.3	1.2	10	A	A						
5.0	0.5	0.8	3	6	12						
5.0	0.5	1.0	3	3	8						
5.0	0.5	1.2	10	A	A						
10.0	0.1	0.8	3	A	A						
10.0	0.1	1.0	3	A	A						
10.0	0.1	1.2	24	A	A						
10.0	0.3	0.8	A	A	A						
10.0	0.3	1.0	A	A	A						
10.0	0.3	1.2	12	A	A						
10.0	0.5	0.8	3	A	A						
10.0	0.5	1.0	3	A	A						
10.0	0.5	1.2	9	A	A						

(注1)新しい定常状態の $\pm 1/10$ の範囲に入るのに要した期間。

(注2)新しい定常状態の $\pm 1/100$ の範囲に入るのに要した期間。

(注3)新しい定常状態の $\pm 1/10000$ の範囲に入るのに要した期間。

(注4)表中記号Aは100期間内では、 $\pm 1/100$ の範囲に入らなかったことを表わす。

(注5)表中記号Zは生産量に零が現われ、除法が実行できなかったことを表わす。

- (a) 衝撃の大きさについて。収束したのは最も小さい1.0%で6種類、2%、3%、4%では各4種類、5%では3種類であった。10.0%ではすべて収束しなかった。したがっ

て、衝撃の小さい方が収束する範囲は広がっている。

- (b) 下限パラメータ α について。収束したのは α が 0.1 で 2 種類、0.3 で 9 種類、0.5 で 10 種類であった。 α が大きいほど収束は容易であった。
- (c) 上限パラメータ β について。収束したのは β が 0.8 で 10 種類、1.0 で 11 種類、1.2 では無かった。

5. 2 考察

それぞれのパラメータのモデルに与える影響を知るには、シミュレーション結果の表と図を詳細に見なければならぬ。なお、表と図の期はすべて期末を表わす。

まず、衝撃が 1.0%、2.0% 増の比較的小さい方に負の在庫が多く現われ、移行が実行不能になる原因を考察する。在庫の下限パラメータ α が 0.5 で、2% 増の衝撃が加わった化学製品産業¹⁸を取り上げるよう (表 5, 図 3)。第 1 期首に立つ我が化学製品産業は第 0 期の産出量 $y_c(0)$ と在庫量 $z_c(0)$ および入庫予定の第 1 期の産出量 $y_c(1)$ のみを知って、第 2 期末に産出される財の生産計画 $y_c(2)$ を立てる。第 1 期首では衝撃をまだ知覚できないから、生産量は在庫パラメータの α と β 、および初期値 $y_c(0)$ に依存する。(9)、(10)式を(1)、(2)式に用いれば、

$$y_c(2) = \{1 + (\beta - 1)\alpha\} y_c(0)$$

となる。 α は固定しているから、 β が 0.8 の場合は生産量を減らし、1.0 の場合は同じ生産量を維持し、1.2 の場合は生産量を増やす計画が立てられる。これは表 5 の第 2 期に現われている。(3)式から、衝撃はまず第 1 期間内の販売量 $x_c(1)$ に登場し、これは第 1 期末の在庫量 $z_c(1)$ に現われて知覚される。第 1 期末の産出量 $y_c(1)$ がすべて第 0 期の産出量 $y_c(0)$ に等しいのは、財の購入から完成までに 2 期間を必要としたからである。さて、第 1 期に衝撃 g が加わり、初期定常状態よりも最終需要は増加する。しかし、 β が 0.8 の場合、第 1 期末の在庫はむしろ増加する (表 5 の $\beta = 0.8$ の欄と図 3)。これは最終需要の増加よりも、中間需要 $A_y(2)$ の減少が効いているからである。第 1 期末の在庫変動を生産計画に反映できるのは第 2 期首であり、その生産結果は第 3 期に現われる。そこで、負の在庫の現われない 5% 増の衝撃にしておいて、 β が 0.8 と 1.0 の場合の生産変動を比べると、このことがよく見られる。図 4 と図 5 である。あるいは、 β を同じ 0.8 にして、衝撃の異なる 2%、5% の第 1 期末の在庫の比較からも確かめられる (表 5)。

衝撃の小さい場合に負の在庫が出現しやすく、衝撃がある程度の大きさを持つと収束範囲が広がる原因がここにある。即ち、最終需要の増加が第 1 期末に在庫減として効かない場合、第 2 期首において企業は生産を増大させず、さらには、在庫が下限値 s を上回って生産を停止させてしまうからである。 α が 0.5、 β が 1.0 の場合、2.0% 増加の衝撃を受けた経済は、精密産業に最も早く負の在庫が現われ、また 5.0% では負の在庫が現われずに収束する (表 3)。したがって、2% と 5% 増の衝撃を受けている精密産業で確かめよう (表 6)。2.0% 増の衝撃時では、第 1 期末の在庫 $z_p(1)$ が下限値より大きくなり、第 2 期首に立てる生産量が零となる。これが第 3 期末の生産量の零となって現われ、その結果第 4 期の需要には応じきれず、第 4 期末の在庫に負値が現われる (表 6, 図 7)。5.0% 増の衝撃のときは第 1 期末の在庫が

¹⁸本節の右下添字 c は化学製品産業を、 p は精密機械産業を表わす。

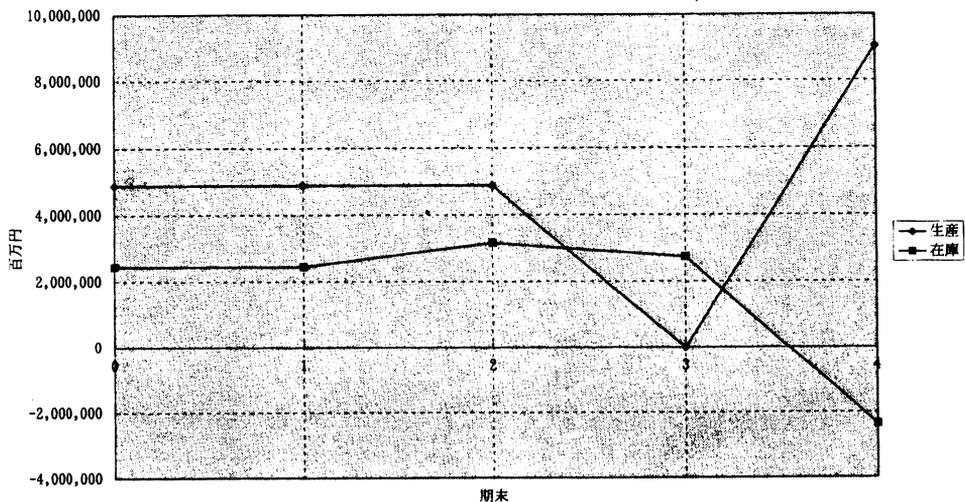
少し減少し、うまく移行過程にのっていく (表 6、図 7)¹⁹。

表 5. 化学製品産業の変動 (百万円), $\alpha=0.5$

期	2%の衝撃増加					
	$\beta=0.8$		$\beta=1.0$		$\beta=1.2$	
	生産	在庫	生産	在庫	生産	在庫
0	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940
1	10,419,880	5,670,982	10,419,880	5,200,788	10,419,880	4,730,593
2	9,377,892	5,866,192	10,419,880	5,222,076	11,461,870	9,423,388
3	9,958,838	4,900,719	10,429,030	9,258,210	0	7,630,368
4	10,224,670	4,463,530	0	6,868,992	16,626,310	-4,064,591
5	10,343,360	4,268,725				
6	10,396,030	4,182,088				
7	10,419,480	4,143,341				
8	10,430,000	4,125,854				
9	10,434,780	4,117,879				
10	10,436,960	4,114,207				
11	10,437,980	4,112,499				
12	10,438,450	4,111,700				
13	10,438,670	4,111,322				
14	10,438,780	4,111,140				
15	10,438,830	4,111,054				

期	5%の衝撃増加					
	$\beta=0.8$		$\beta=1.0$		$\beta=1.2$	
	生産	在庫	生産	在庫	生産	在庫
0	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940
1	10,419,880	5,657,264	10,419,880	5,187,070	10,419,880	4,716,875
2	9,377,892	5,830,867	10,419,880	5,151,050	11,461,870	9,344,908
3	9,972,556	4,840,100	10,442,750	5,108,883	0	7,566,102
4	10,246,280	4,389,637	10,455,900	5,086,757	16,704,790	-4,152,575
5	10,368,660	4,188,662	10,462,050	5,076,473		
6	10,423,020	4,099,179	10,464,880	5,071,726		
7	10,447,250	4,059,109	10,466,180	5,069,520		
8	10,458,140	4,041,000	10,466,790	5,068,485		
9	10,463,090	4,032,732	10,467,080	5,067,993		
10	10,465,360	4,028,916	10,467,220	5,067,758		
11	10,466,410	4,027,140	10,467,280	5,067,645		
12	10,466,900	4,026,306	10,467,320	5,067,589		
13	10,467,140	4,025,911	10,467,330	5,067,563		
14	10,467,250	4,025,723	10,467,340	5,067,549		
15	10,467,300	4,025,633	10,467,340	5,067,541		

図 3. 化学製品産業の変動, 2%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=0.8$



¹⁹ 衝撃が適当な大きさを持ち、その外的変化を知覚できる方がシステムとして耐性を持つことになる。これは生物の免疫を思わせる。

図4. 化学製品産業生産額の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=0.8$

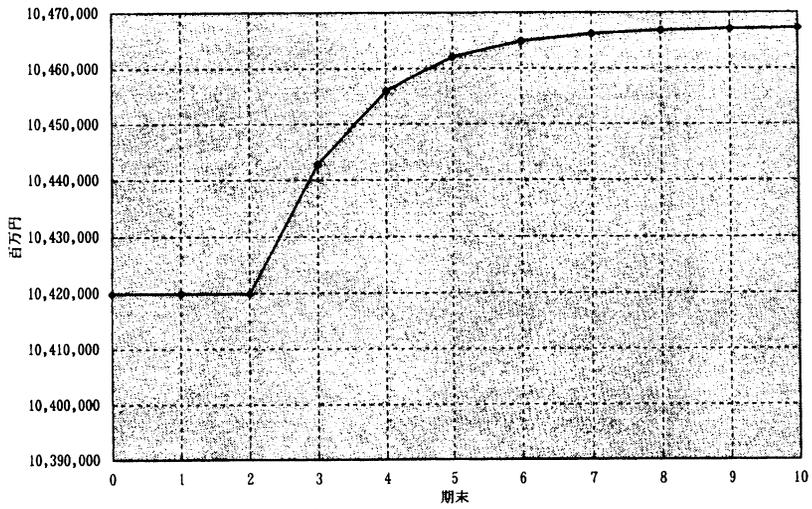


図5. 化学製品産業生産額の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=1.0$

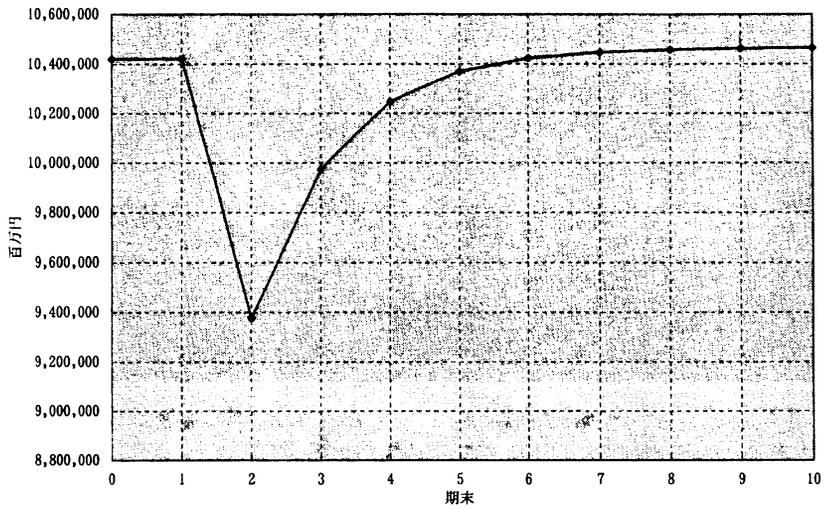


図6. 精密機械産業の変動, 2%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=1.0$

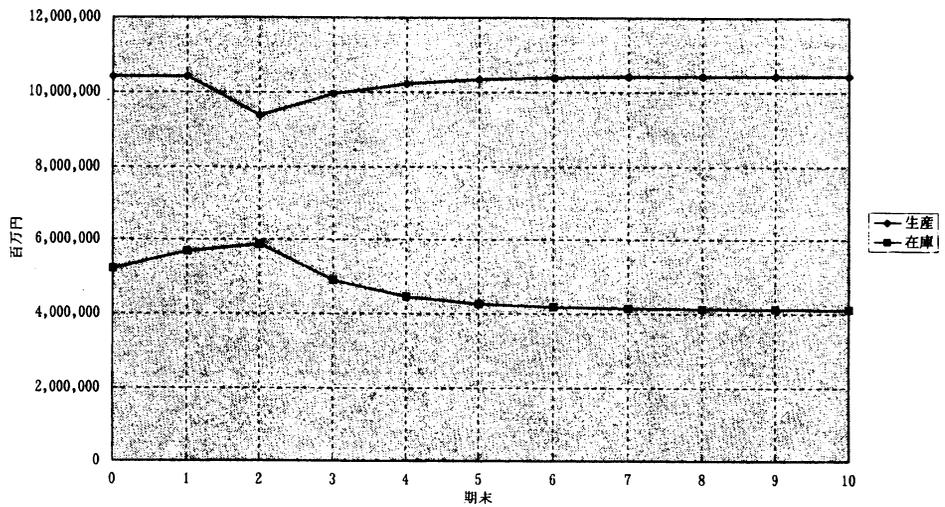
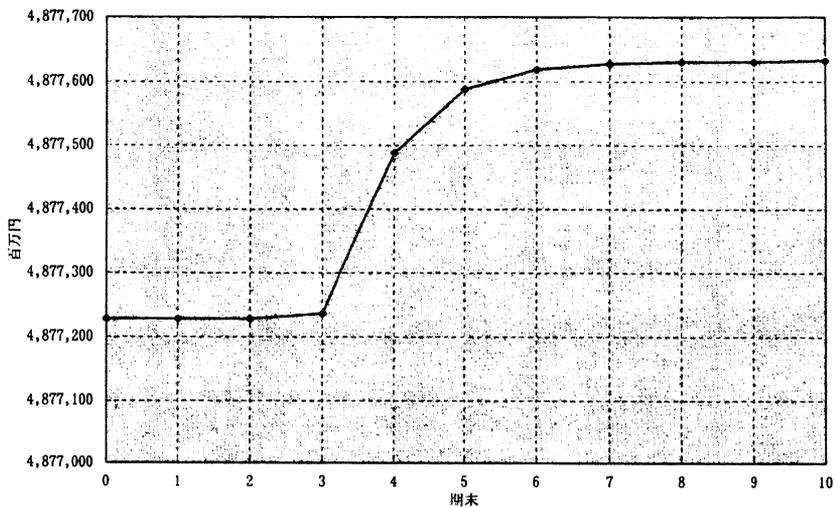


表 6. 精密機械産業の変動 (百万円), ($\alpha=0.5$)

2%の衝撃増加						
期	$\beta=0.8$		$\beta=1.0$		$\beta=1.2$	
	生産	在庫	生産	在庫	生産	在庫
0	4,877,228	2,438,614	4,877,228	2,438,614	4,877,228	2,438,614
1	4,877,228	2,532,475	4,877,228	2,438,616	4,877,228	2,344,757
2	4,389,506	2,552,452	4,877,228	3,158,512	5,364,950	3,283,351
3	4,783,368	2,069,524	0	2,732,494	0	3,012,970
4	4,857,250	1,976,923	9,034,558	-2,351,557	8,909,720	-2,020,808
5	4,872,434	1,957,250				
6	4,875,970	1,952,466				
7	4,876,922	1,951,116				
8	4,877,218	1,950,679				
9	4,877,320	1,950,524				
10	4,877,359	1,950,464				
11	4,877,374	1,950,441				
12	4,877,379	1,950,432				
13	4,877,382	1,950,428				
14	4,877,383	1,950,426				
15	4,877,384	1,950,425				

5%の衝撃増加						
期	$\beta=0.8$		$\beta=1.0$		$\beta=1.2$	
	生産	在庫	生産	在庫	生産	在庫
0	4,877,228	2,438,614	4,877,228	2,438,614	4,877,228	2,438,614
1	4,877,228	2,532,466	4,877,228	2,438,607	4,877,228	2,344,748
2	4,389,506	2,552,282	4,877,228	2,438,347	5,364,950	3,283,150
3	4,783,376	2,069,133	4,877,236	2,437,987	0	3,012,598
4	4,857,412	1,976,301	4,877,488	2,437,604	8,909,920	-2,021,412
5	4,872,655	1,956,546	4,877,588	2,437,465		
6	4,876,208	1,951,736	4,877,618	2,437,423		
7	4,877,168	1,950,377	4,877,627	2,437,411		
8	4,877,464	1,949,940	4,877,630	2,437,407		
9	4,877,567	1,949,783	4,877,630	2,437,406		
10	4,877,606	1,949,724	4,877,632	2,437,405		
11	4,877,620	1,949,701	4,877,630	2,437,406		
12	4,877,626	1,949,690	4,877,632	2,437,405		
13	4,877,630	1,949,686	4,877,630	2,437,406		
14	4,877,630	1,949,685	4,877,632	2,437,405		
15	4,877,630	1,949,684	4,877,630	2,437,406		

図 7. 精密機械産業生産額の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=1.0$



在庫不足の壁にあたったとき、比例配分という方法を取った場合は収束する場合が増える。衝撃の小さい場合に、収束範囲は他のパラメータに対して広がるのである。しかし、収束範囲の拡大は収束の高速化を意味しない。不足の壁にあたる時、速度は在庫パラメータに依存している。一例として、 α が0.5のとき、衝撃が5%増加した場合の化学製品産業(表7、

図8, 9)と、集計した経済全体の変動(表8, 図10)を記した。図9, 10からは β が1.2の場合に激しく無周期的に振動しているのが見てとれよう。

次に α について、収束する範囲が α の大きい方に広がるのは、在庫の下限が小さいと衝撃に耐えられないからである本数値実験では、54種類の内46種類までに負の在庫が出現したが、 α の値を大きくとれば収束する範囲は当然増える。したがって、 α を十分大きく取っておけば在庫不足の壁にあらず、この時は収束速度に衝撃の大きさが効いてくる。その一例として図11に、 α が1.5の化学製品産業の在庫変動を示した。

表7. 化学製品産業の変動(百万円), 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, 在庫比例配分

期	$\beta=0.8$		$\beta=1.0$		$\beta=1.2$	
	生産	在庫	生産	在庫	生産	在庫
0	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940	10,419,880	5,209,940
1	10,419,880	5,657,264	10,419,880	5,187,070	10,419,880	4,716,875
2	9,377,892	5,830,867	10,419,880	5,151,050	11,461,870	9,344,908
3	9,972,556	4,840,100	10,442,750	5,108,883	0	7,566,102
4	10,246,280	4,389,637	10,455,900	5,086,757	16,704,790	558,323
5	10,368,660	4,188,662	10,462,050	5,076,473	7,917,935	6,986,574
6	10,423,020	4,099,179	10,464,880	5,071,726	11,464,950	8,606,382
7	10,447,250	4,059,109	10,466,180	5,069,520	0	12,293,080
8	10,458,140	4,041,000	10,466,790	5,068,485	10,188,640	1,727,479
9	10,463,090	4,032,732	10,467,080	5,067,993	13,038,610	2,453,817
10	10,465,360	4,028,916	10,467,220	5,067,758	10,314,400	7,009,402
11	10,466,410	4,027,140	10,467,280	5,067,645	9,517,857	10,483,980
12	10,466,900	4,026,306	10,467,320	5,067,589	0	10,455,870
13	10,467,140	4,025,911	10,467,330	5,067,563	12,700,600	2,800,618
14	10,467,250	4,025,723	10,467,340	5,067,549	9,597,267	3,906,939
15	10,467,300	4,025,633	10,467,340	5,067,541	12,413,090	4,891,901
16	10,467,320	4,025,591	10,467,350	5,067,537	9,700,438	10,451,340
17	10,467,340	4,025,571	10,467,350	5,067,537	0	10,806,200
18	10,467,340	4,025,561	10,467,350	5,067,537	12,216,940	2,189,717
19	10,467,340	4,025,553	10,467,350	5,067,537	10,510,260	3,417,420
20	10,467,350	4,025,549	10,467,350	5,067,537	12,594,660	8,269,118

図8. 化学製品産業の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=0.8$, 在庫比例配分

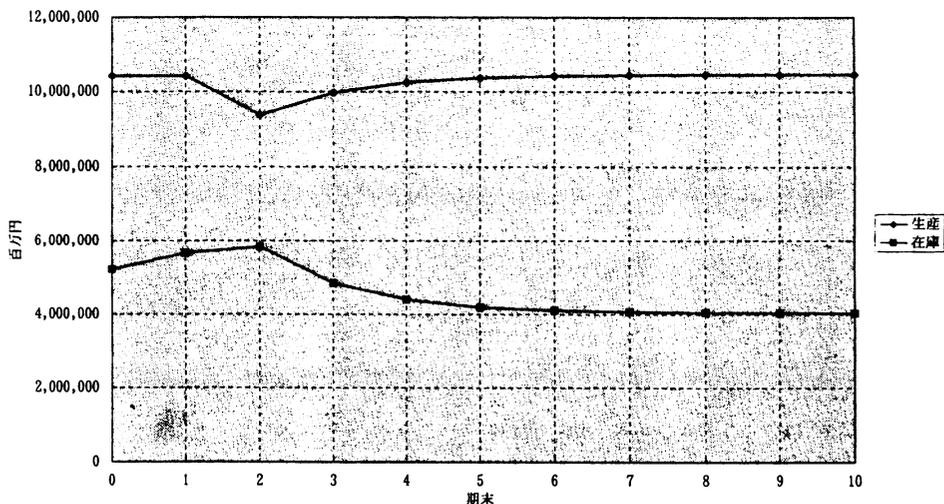


図9. 化学製品産業の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, $\beta=1.2$, 在庫比例配分

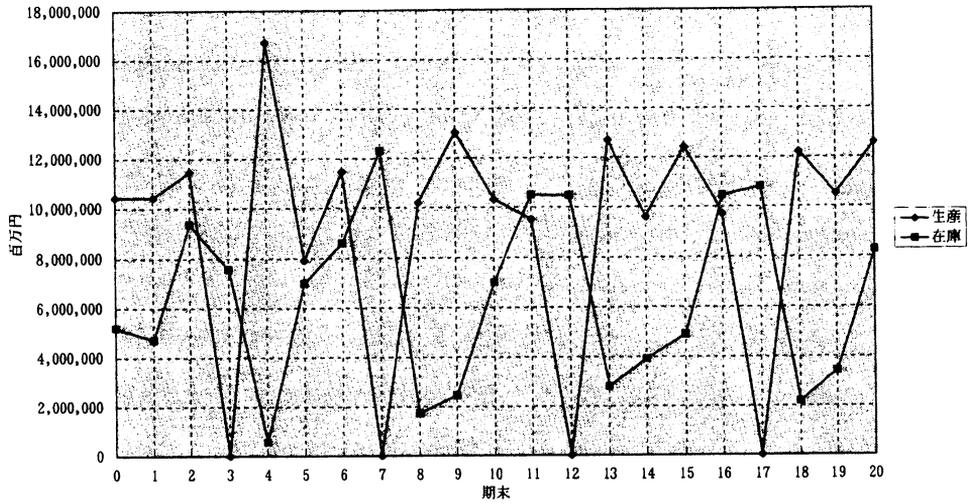


表8. 集計した経済全体の生産額変動 (百万円), 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, 在庫比例配分

期	$\beta=0.8$	$\beta=1.0$	$\beta=1.2$
0	172,399,100	172,399,100	172,399,100
1	172,399,100	172,399,100	172,399,100
2	155,159,200	172,399,200	189,639,100
3	165,674,300	173,142,200	5,696,177
4	170,024,700	173,424,200	272,752,900
5	171,968,100	173,557,600	130,644,200
6	172,866,700	173,621,900	153,845,200
7	173,290,500	173,653,300	73,406,000
8	173,493,100	173,668,700	150,356,200
9	173,590,800	173,676,200	171,903,300
10	173,638,200	173,680,000	185,906,700
11	173,661,300	173,681,900	115,137,600
12	173,672,700	173,682,800	112,869,900
13	173,678,300	173,683,300	167,508,800
14	173,681,000	173,683,500	114,326,900
15	173,682,400	173,683,600	228,657,000
16	173,683,100	173,683,700	90,138,710
17	173,683,400	173,683,700	137,147,000
18	173,683,600	173,683,700	172,595,200
19	173,683,600	173,683,700	133,597,500
20	173,683,700	173,683,700	170,818,200

図10. 集計した総生産額の変動, 5%衝撃増, $\alpha=0.5$, 在庫比例配分

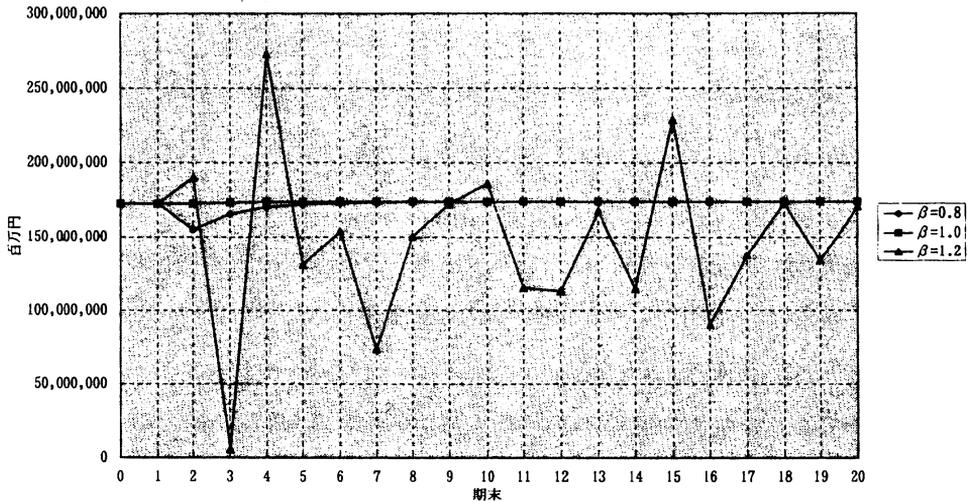


図11. 化学製品産業在庫変動, 5.0%衝撃増, $\alpha=1.5$

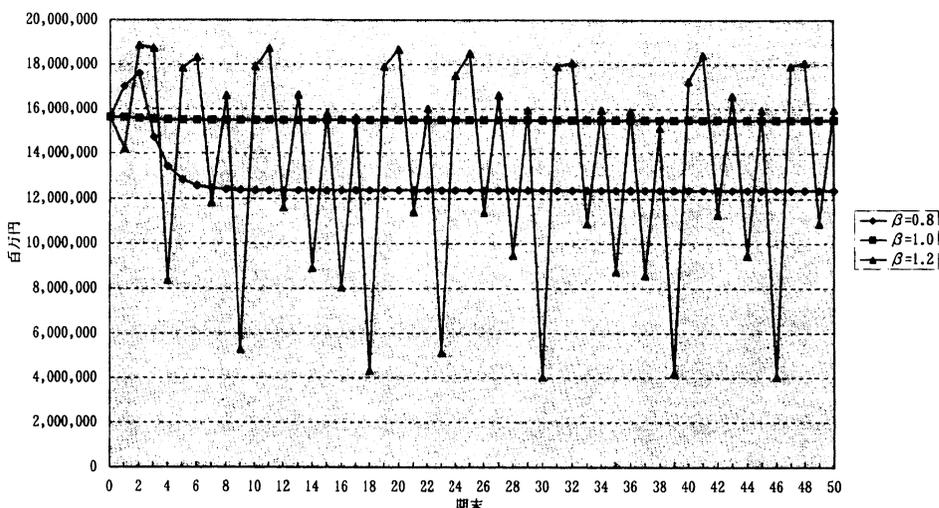
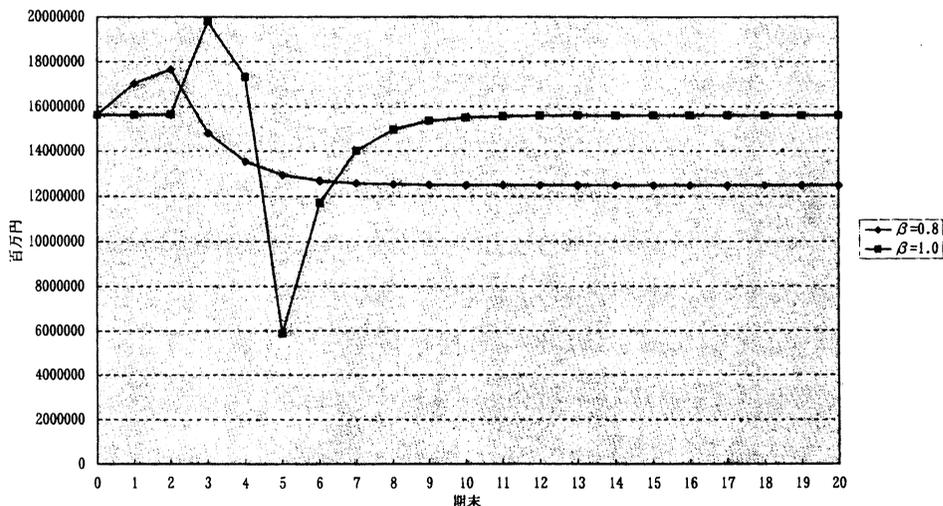


図12. 化学製品産業の在庫変動, 1.0%衝撃増, $\alpha=1.5$



最後に β については、 β が大きいと過剰生産となって滞貨が累積し、いずれ生産を停止させる期が出現する。過剰生産による揺れ戻しである。本モデルでは每期一定の最終需要が生じているから、過剰在庫が累積して在庫の下限値 s を越えて生産を停止すると、その直後に不足が発生する。なお、 β が1.0の方が0.8よりも速く収束するのは初めに生産水準を落とさないからである。衝撃が十分小さいときは1.0でも過剰生産となり、0.8の方が速く収束する。図12には1.0%増の衝撃で α が1.5とし、 β が0.8と1.0の時の化学製品産業の在庫変動を例示した。なお、図11や図12の結果は表3、4の範囲外である。数値の表は省略した。

6 まとめ

本論文ではモデル企業を9種の産業において分析した。企業と産業のレベルを区別できなかったのであるが、これは計算機のメモリ上の制限が一因である。この上限が無くなれば、もっと大規模な産業連関表を用いた企業の水準に近い分析も可能であり、そこでは在庫管理方法の異なる企業が混在しているモデル分析もできるであろう。

本数値実験から、パラメータに関しては次のことが言える。第一に、負の在庫の出現しない事例は54種類のうち8種類と、その収束する範囲は狭かった。この収束の事例数から、 (s, S) 法による定量在庫管理モデルの構造が衝撃に対して脆弱であるとは言えない。実際、 α を大きく取れば負の在庫は出てこないから、在庫の下限水準を高くすれば、モデルの衝撃に対する耐性は強くなる²⁰。第二に、在庫の上限を大きく取るとは、過剰生産に揺れ戻しが生じる。従って、 (s, S) 法による在庫管理では、在庫をたくさん持つことは安定するが、そのために生産し過ぎるとかえって不安定になる。第三に、移行過程に乗る際に、衝撃が小さいと在庫不足の生じる場合があり、適度の大きさのある方が収束範囲が広がる。だが、過去の何期かの在庫量の平均を取って、それと下限値を比べるような在庫管理をすれば、結果は異なるかもしれない。

最後に、数値実験の収束速度に注目しなければならない。生産変動が定常状態の $\pm 1/100$ や $1/10000$ の範囲内にあることを、経済現象としてほとんど収束した状態に近いと見なすならば、移行過程に乗った経済は単位生産期間の10倍もあれば収束する。需要を比例配分した遅いものでも、15期間程度でこの状態に到達する。これは定期発注方式のモデル分析結果と比較してやや速いと言える²¹。過去の実績から将来の需要を予測し生産量を決定するという複雑な手間を要する定期発注型よりも、自分の箱の中身しか見ていない簡便な定期発注型の方がより速く収束するのである。

衝撃に対して個々の主体が分権的決定を行うとき、それが部分的情報に基づいた予想形成の無い単純な意思決定でも、複雑な系全体は衝撃を吸収し安定化しうることが分かった。

参考文献

- [1] Arrow, K. J., T. Harris, and J. Marschak, "Optimal Inventory Policy," *Econometrica*, Vol.19, 1951, pp. 250-272
- [2] Arrow, K. J., S. Karlin, and H. Scarf, ed., *Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production*, Stanford University Press, 1958.
- [3] Blinder, A. S., "Retail Inventory Behavior and Business Fluctuations," *Brooking Papers on Economic Activity*, 1981, pp. 443-520.
- [4] Day, R. H., *Complex Economic Dynamics*, MIT Press, 1994.
- [5] Eckalbar, J. C., "Inventory Fluctuations in a Disequilibrium Macro Model," *Economic Journal*, Vol. 95, No. 380, 1985, pp. 976-991.
- [6] Honkapohja, S. and Ito, T., "Inventory Dynamics in a Simple Disequilibrium Macroeconomic Model," *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 82, No. 2, 1980, pp. 184-198.
- [7] Metzler, L. A., "The Nature and Stability of Inventory Cycles," *Review of Economic Statistics*, Vol. 23, 1941, pp. 113-129.

²⁰だが、 α を大きく取りすぎて在庫不足の壁に全く衝突せず、かつ在庫の上限にもあたらない場合には、代数的に解析可能な線形モデルになり、本分析の意義は半減する。この場合には系全体の収束速度は投入係数 A にのみ依存する（未発表）。

²¹谷川[12]では移動平均型予想の場合は、パラメータにもよるが、系全体の最大固有値から、せいぜいその収束は10期間繰り返した場合で $0.90^{10}=0.349$ 、15期間繰り返した場合、 $0.90^{15}=0.206$ 程度である。

- [8] 森岡真史「多部門在庫調整過程の安定分析」『立命館国際研究』, Vol. 6, No. 2, 立命館大学, 1993, pp. 37-70.
- [9] Naish, H. F., "Production Smoothing in the Linear Quadratic Inventory Model," *Economic Journal*, Vol. 104, No. 425, 1994, pp. 864-875.
- [10] 塩沢由典「カーン・ケインズ過程の微細構造」『経済学雑誌』第84巻、第3号、大阪市立大学経済学会、1983年。
- [11] Simonovits, A., "Buffer Stocks and Naive Expectations in a Non-Walrasian Dynamic Macromodel: Stability, Cyclicity and Chaos," *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 84, No.4, 1982, pp. 571-581.
- [12] 谷口和久「数量調整経済における移行過程について」『経済学雑誌』第91巻、第5号、大阪市立大学経済学会、1991年。
- [13] 吉川英夫『在庫管理の実際』日科技連、1983年。
- [14] 通商産業大臣官房調査統計部『通産統計』第47巻、第8号、1994年。
- [15] 総務庁『平成2年産業連関表』1994年。