

# 多層調整企業モデルによる複雑適応系シミュレーション\*

吉地 望†

西部 忠‡

## 1 はじめに

本稿は、多層入れ子型時間において価格調整と数量調整を典型的に行う多層的調整企業モデルと価格調整ないし数量調整のみを行う単層的調整企業モデルを構築し、両者のシミュレーションにおける挙動を1) 安定性、2) ランダムなショックにたいする適応性という観点から比較することを課題とする。このような比較により、市場経済が一般均衡理論の描くような他律集中型システムではなく、自律分散型システムであることを明らかにしたい。多層的調整企業モデルは「局所的情報」を重視し、マルチ・エージェント・システムは「自律分散型」になるように設計されている。現実の市場では各主体が近傍の諸主体と直接かつ緩やかに連結されたネットワークが形成されていると考えられるからである。本稿が特に注目するのは、1) 緩衝および情報としての在庫の役割、2) 数量調整と価格調整のための閾値の導入（限定合理性）、3) 数量調整と価格調整のための調整時間サイクルの差異、の3つである。

企業は需要を事前的に知ることができず、在庫量の増減から事後的に需要を知る。このため、稼働率は需要変化から遅れて受動的に調整される<sup>1</sup>。在庫量は不測の需要変化に対する緩衝としての役割を果たしているため、在庫量の変動の全てが稼働率調整のための情報となるのではなく、企業の設定する在庫量の上限・下限値を超えたときに初めて稼働率調整の情報として認知される。また企業は稼働率調整の回数を記憶し<sup>2</sup>、それが一定の閾値を超えると上方あるいは下方へ価格改定を行う。このような限定合理的な企業が全体としてどのような挙動を見せるかをシミュレートする。

## 2 モデル設定

時間ループ) ……多層的時間構造

短期、中期、長期の三重ループを時間構造として持つ。短期  $w$  は1週、中期  $m$  は1月、長期  $y$  は1年に相当する。企業のライフサイクルを30年と仮定して時間ループで表現すると、 $30y = 360m = 1440w$  となる。短期ループで稼働率調整、中期ループで価格調整の決定を行う。本稿では分析外となっているが、長期ループでは設備投資によるストック調整の決定を行い、さらに超長期のループとして新商品や技術革新の問題を視野に入れている。

市場) ……分散的市場

財を集中させた市場で競売を行うのではなく、企業が消費者と相対で財を販売するような市場を前提とする。各企業がマークアップ原理に基づき価格設定するために、一般的に一物多価が形成される。消費者は、一人一人市場に登場し、低価格の財から順番に購入する(逐次的購入の仮定)。売り切れの場合は、財の購入を断念する<sup>3</sup>。

財の性質)

同質財を仮定する。需要の価格弾力性パラメータを利用することにより、財を必需品、奢侈品のように大まかに分類する事ができる。また在庫費用パラメータを利用する事により、工業製

品のように保存のきく財や生鮮食料品のような腐敗がはやい財を分類できる。加えて在庫費用を大きくする事により、パソコンや電子機器などのように陳腐化のはやい財を取り扱うことも出来る。

需要関数)

需要関数は一般的な価格の関数として与えられる

$$D = \frac{b}{p^a}$$

[ $D$ : 需要量,  $p$ : 価格,  $a$ : 需要の価格弾力性,  $b$ : 需要パラメータ]

供給関数)

供給は今期の生産量に前期の在庫量を加えたものである。生産関数は以下の関係式で表される。

$$Q_i^j = u_i^{j-1} Q_{max}^j$$

[ $Q^j$ : 生産量,  $u^j$ : 稼働率,  $Q_{max}^j$ : 最大生産容量]

価格設定はマークアップ原理に基づく。各企業が異なる価格設定を行う場合、集計された供給関数は階段型の形状を持つ。

需要関数と供給関数の交点で決まる価格を指標価格と定義する。指標価格は販売された財の中で最も高い価格である。競売市場で成立する市場価格とは異なる点に留意が必要である。

多層的調整)

第1層: 数量調整——短期ループ

if ( $Z_i \geq th_i$ ) [減産]

then

$$u_i^j = u_{i-1}^j - pr(Z_i - th_i)$$

if ( $Z_i == 0$ ) [増産]

then

$$u_i^j = u_{i-1}^j + pr(th_i - Z_i)$$

s.t.  $0 \leq u \leq 1$  [ $th_i$ : 在庫上限閾値,  $Z_i$ : 在庫水準,  $pr$ : 稼働率速度パラメータ]

第2層: 価格調整——中期ループ (1m ~ 12m)<sup>4</sup>

if ( $g \geq gm$ ) [値下げ]

then

$$mp_i^j = \frac{p_{min}^{j-1} (1 - pc)}{nc} - 1$$

[ $mp_i^j$ : マークアップ率,  $nc$ : 標準原価,  $p_{min}$ : 最低価格,  $pc$ : 価格調整パラメータ]

if ( $f \geq fm$ ) [値上げ]

then

$$mp_i^j = mp_{i-1}^j (1 + pc)$$

s.t.  $mp \geq 0$

企業は在庫量が上限閾値以上の場合に短期ループで稼働率を下げ、下限閾値に達すると稼働率を上げる。このような数量調整を行っても、需要に適応できない場合には中期ループで価格調整を行う。価格調整は次のように行われる。短期ループで稼働率を上げた回数を  $f$  フラグで記憶し、このフラグが企業の設定する価格改定閾値  $fm$  を超えると企業が価格の上方改定を行うものとする。同様に短期ループで稼働率を下げた回数  $g$  フラグが企業の価格改定閾値  $gm$  以上で価格の下方改定を行うものとする。価格改定方法はマークアップ部分の変更を通じて行われる。詳しくは次節で検討する。使用されたフラグは長期ループごとに0にリセットされる。

## 3 価格設定・費用関数

価格設定は限界費用価格形成原理ではなく、フルコスト原理に基づいて行われる (Kalecki [4], Hall and Hitch [2])。企業が

<sup>4</sup>稼働率と同じように在庫と閾値の差による調整は調整の非対称性が大きい用いなかった。

\*本稿は、西部 [10] に基づき修正、拡張されている。

†北海道大学経済学部経済学研究科博士課程

‡北海道大学経済学部助教授

<sup>1</sup>数量調整には積極的な販売予測に基づく場合と在庫変動を見て受動的に行う場合が考えられる。本稿は後者を採用した。森岡 [11] 参照。

<sup>2</sup>最長1年の記憶を持つプリミティブな学習モデルと言える。

<sup>3</sup>在庫受注残を入れずに、在庫量が非負の条件を仮定したためである。

標準原価を設定し、その原価にマークアップを上乗せし価格を設定する。標準原価の計算<sup>5)</sup>には標準稼働率の設定が必要である。本モデルは、収穫が逓減する 100 % 超の稼働率を想定しない。また通説によれば、競争的部門の標準稼働率は 80 % 前後、寡占的部門の標準稼働率は 60 % 前後と言われているが、各企業の生産容量が異なる場合、各企業の標準原価が 1 になるように標準稼働率を設定している。すなわち、企業の実稼働率の大きさが標準稼働率そして標準原価を決定していると想定した。価格決定式、費用関数は以下の通りである。

$$p_i^j = nc(1 + mp_i^j) \quad [p_i^j: \text{価格}, nc: \text{標準原価} (= 1)]$$

ただし、費用関数は稼働率変化に基づく収穫逓増と生産規模に基づく収穫逓増の両方をモデル化した<sup>6)</sup>。

$$k_i^j = C_{min}^i + (1 - u_i^j) * k_0 + \frac{sc * Z_i^{j-1}}{S_i^j}$$

[ $k_i^j$ : 単位費用,  $sc$ : 在庫費用,  $S_i^j$ : 供給量 (生産量 + 在庫量),  $C_{min}^i$ : 最大稼働率単位費用,  $k_0$ : 費用パラメータ (= 1)]

稼働率水準が上昇すると、単位費用が低下する。つまり収穫逓増 (費用逓減) が成立する。加えて、大規模企業ほど、最大稼働率単位費用が低くなるようにモデル化した<sup>7)</sup>。

$$C_{min}^i = 1 - Q_{max}^i * set \quad [set: \text{標準原価設定パラメータ} (= 0.004)]$$

上式より、大規模企業は、他の小規模企業より同じ稼働率水準では単位費用が低いために、小規模企業より稼働率が低くても、同じレベルの利潤<sup>8)</sup>を生み出さう。また単位費用が低下する標準稼働率からフル稼働率までの単位費用の低下幅も大きい。稼働率が標準稼働率を上回れば単位費用は低下し、逆に下回れば単位費用は上昇する。高すぎる標準稼働率を設定した企業は倒産する可能性が高くなる。したがって、標準稼働率の決定は企業にとって重要な戦略上の決定となる。

在庫費用が正の場合、費用関数は非線形になる。図 1 は需要一定で、 $sc = 0$ ,  $sc = 1$ ,  $sc = 5$  の場合の費用関数である。在庫費用  $sc$  が大きくなるにつれて非線形性が大きくなる。 $sc = 0$  の時、右下がりの直線、 $sc = 1$  の時、在庫の発生する稼働率 0.66 付近から非線形になり、 $sc = 5$  の時、稼働率が 0.66 以上で急激に費用が逓増する。稼働率上昇に伴う費用逓減効果は、在庫費用の上昇により相対的なものとなる。図 2 は、ある週におけるこの産業の階段供給関数と需要関数である。

## 4 代表的企業モデル

まずは代表的企業で多層的調整企業の挙動を観察する。変更パラメータは在庫閾値  $th$ 、需要の価格弾力性  $a$ 、在庫費用  $sc$ 、稼働率速度  $pr$  などが挙げられる。

初期設定)

$$y = 30, mp = 0.5, nc = 1, pr = 0.01, sc = 0, a = 1, b = 80, pc = 0.1, fm = gm = 25, Q_{max} = 100$$

実験 1)

企業の在庫閾値を変化させた時に、価格や稼働率がどのように変化するかを調べた。その結果が図 3 と図 4 である。

結果 1) a) 在庫上限閾値が極めて小さいとき ( $th \leq 1$ ) には価格が高水準になる。b) 在庫上限閾値が極めて小さいときは稼働率水準が低くなり、閾値が中程度 ( $1 \leq th \leq 20$ ) の時稼働率水準は高くなり、さらに閾値水準が大きくなるにつれて稼働率水準が下方へ分散する。

閾値が生産容量に対して大きすぎると稼働率変動が大きくなり、企業活動が不安定になることが見てとれる。

閾値は在庫費用と深く関わっている。在庫閾値が大きい企業は、手持ち在庫量も多く、在庫費用を膨らませるからである。したがって、在庫閾値は在庫費用の問題とセットで分析されて初

<sup>5)</sup>伊東 [6] はフルコスト原則を採用する場合の問題を 2 点指摘している。1) マークアップ率を資本利潤率、売上利潤率のどちらかで計算するか、2) 標準稼働率の設定方法、である。本稿では売上利潤率をマークアップ率と見なして定式化した。

<sup>6)</sup>この点は収穫一定を仮定するカレツキー [4] モデルと異なる。

<sup>7)</sup>生産容量が異なっても、各企業の費用逓減率は一定である。

<sup>8)</sup> $r_i^j = \frac{p_i^j - k_i^j}{k_i^j}$   $r_i^j$ : 実現利潤率

めて意味を持つ。次の実験は在庫閾値と在庫費用の関係を生産生産量を用いて評価した。

実験 2)

$th$  と  $sc$  を変化させ、その結果、総生産量  $Q_s$  の挙動を観察した。図 5 は、1440w 回転の末尾 100w をプロットしたものである。

結果 2)

a) 図 5 より、閾値が大きいかつ在庫費用の大きな企業が倒産していることがわかる。b) 閾値が 0 に極めて近い場合、稼働率のレベルが著しく低下する傾向にある。a) の結果は、本モデルが倒産の可能性をビルドインしていることから生じている。倒産は経常赤字が信用の閾値を超えた時に生じると仮定されている。信用は最大生産容量に応じて与えられている。a), b) より閾値の大きさが課題環境への適応に深く関わることが見てとれるが、在庫費用との関係で適応度は大きく変化する。また閾値が極端に低い企業は総生産量が低く、閾値が生産容量の 1 % 以上の企業は適応度が高い。閾値が大きすぎると、在庫費用が高いときには倒産する可能性が高くなる。

## 5 マルチ・エージェント企業モデル

生産容量  $Q_{max}^i = 100$  を持つ 5 企業にそれぞれ異なる在庫上限閾値を与え 30y の期間にどのような挙動を見せるかをシミュレートする。

初期設定) … 異質在庫上限閾値

$th^1 = 20, th^2 = 21, th^3 = 22, th^4 = 23, th^5 = 24$ , 他のパラメータは代表的企業と同じとする。変更するパラメータは稼働率調整パラメータ  $pr$ 、価格調整パラメータ  $pc$  と価格改定閾値  $fm$ ,  $gm$  である。

実験 3)

稼働率調整パラメータや価格改定閾値を変え、各企業の稼働率、価格水準、および集計した生産量を比較した。

結果 3)

5 企業が共存する場合、図 6 [ $pr = 0.0001, b = 500, pc = 0.1, fm = gm = 15, sc = 0.3$ ] や、いくつかの企業が倒産する場合、図 9 [ $pr = 0.0001, b = 200, pc = 0.1, fm = gm = 15, sc = 0$ ] などが観察される。5 企業が共存するケースの産業全体の生産水準の推移を表したのが図 7 である。需要にはランダムなショックを与えていないにも関わらず、景気変動のような挙動を観察できる。共存のケースの価格変動を表したのが図 8 である。価格変動は狭い範囲内に収まっている。この共存や倒産に大きな影響を与えるパラメータが価格改定閾値  $fm$  と  $gm$  である。

実験 4)

全ての企業の  $fm, gm$  を同じように変化させ、産業全体の需給ギャップ調整の状態を比較した。

結果 4)

その結果が図 12 である。縦軸に産業全体の需給ギャップと生産量、横軸に価格改定閾値をとっている。0 に近いのが需給ギャップで上の方に描かれているのが総生産量である。需給調整がうまくいって、かつ高い稼働率水準を維持できるパラメータの範囲が図 12 より推測できる。 $fm = gm \geq 33$  で需給調整も生産量水準も良好である。同様に範囲は狭いが  $fm = gm = 4$  の時も良好である。したがって、良好な範囲は、a) 価格改定閾値が小さいケース、b) 価格改定閾値が大きなケースに分けられる。ただし、価格調整には二つのパラメータが存在し、 $pc$  パラメータを変更する場合と、 $fm, gm$  パラメータを変更する (但し範囲は  $4 \leq fm \leq 48$ ) 場合があるがここでは  $pc$  の変化は含まれていない。 $pc$  を動かした場合、良好範囲に揺れはあるが、需給調整と稼働率水準が安定的になるパターンは大方この 2 つに分かれた。このことより、多層的調整であっても、数量調整と価格調整パラメータの組み合わせによっては市場に適応できない場合が生じるため、全ての多層調整企業が単層調整よりも優れているとは一概に言えないことが理解できる。例えば数量調整のみのモデルが図 13 [ $pc = 0$ ] で価格調整のみのモデルが図 14 [ $pr = 0$ ] である。数量調整のみのモデルは適応度が非常に高い。価格調整のほうはパラメータの組み合わせによって適応に大きな差が出るが、中には優れた適応力を持つパラメータが存在することが

わかる。ただし良好なパラメータの範囲が広いのは多層的調整と数量調整であることを忘れてはならない。

ここで需要にランダムな変動を3年ごとに与え、単層的調整企業と多層的調整企業を比較する。先ほどの実験で適応度の高い  $f_m$  と  $g_m$  を選んで実験を行った。

図15 [ $f_m = g_m = 6$ ]、図16 [ $f_m = g_m = 30$ ] と図17 [ $f_m = g_m = 4$ ] から、単層的調整・価格調整よりも多層的調整の方が需要変化により円滑に適応していることが見てとれる。

## 6 モデルの意義

本稿の意義は2つある。1) 価格調整や数量調整のみの単層的調整に比べ、多層的調整を行う企業のほうが広範囲のパラメータで安定性を持ち、ランダムな需要変化に対する優れた適応力を持つ点、2) 個別企業の多層的調整行動が、産業レベルにおいて、景気循環に似た周期解(リミット・サイクル)やストレンジ・アトラクターなどの定常的な挙動を生み出す点、を示した点にある。

また、マルチ・エージェント・モデルで分析した意義は、個別企業の倒産などにより定常性が破壊されてから、次の定常性を生み出す過程を観察できることにある。マルチ・エージェント・モデルにおける倒産は、他企業のマーケットシェアの拡大、さらには利潤の拡大を生み出す。外生的なショックによらずに倒産という内生的ショックに基づき経済過程の非連続的変化を説明しうる。これは景気循環を理解、説明するための新しい視点を提供するであろう。紙幅の制約上すべての実験結果を記載する事は出来ないため、発表の際に残りの結果を報告する予定である。

## 参考文献

- [1] Marshall, A. *Principles of Economics*, 8th.ed. Macmillan, 1920 (マーシャル『経済学原理 I-IV』馬場啓之助訳、東洋経済新報社、1965-67年)
- [2] Hall, R.L. and Hitch, C.J. "Price theory and Business Behavior," Wilson, T. and Andrews, P.W.S.(eds.) *Oxford Studies in the Price Mechanism*, The Clarendon Press, 1951
- [3] Hicks, J., *A Market Theory of Money*, Oxford University Press 1989 (ヒックス『貨幣と市場経済』花輪敏哉、小川英治訳、東洋経済新報社、1993年)
- [4] Kalecki, M., *Theory of Economic Dynamics*, George Allen and Unwin Ltd., 1954 (カレツキ『経済変動の理論』宮崎 義一、伊東 光晴共訳、新評論、1958年)
- [5] Morishima M., *Capital and Credit*, Cambridge University Press, 1992 (森嶋 通夫『新しい一般均衡理論—資本と信用の経済学—』安富 歩訳、創文社、1994年)
- [6] 伊東 光晴『現代経済の理論』岩波書店、1998年
- [7] 塩沢 由典『市場の秩序学』筑摩書房、1990年
- [8] 西部 忠『市場像の系譜学』東洋経済新報社、1996年
- [9] 同上「競争と動態の概念—市場価値論の課題」北海道大学経済学部『経済学研究科』第43巻第4号、1995年
- [10] 同上「市場の多層的調整機構(上)—最短期と短期における価格・数量調整—」北海道大学経済学部『経済学研究』第45巻第4号、1996年
- [11] 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』第6巻第2号、1993年
- [12] 森嶋 通夫『無資源国の経済学』岩波書店、1984年
- [13] 吉川 洋『マクロ経済学研究』東洋経済新報社、1984年

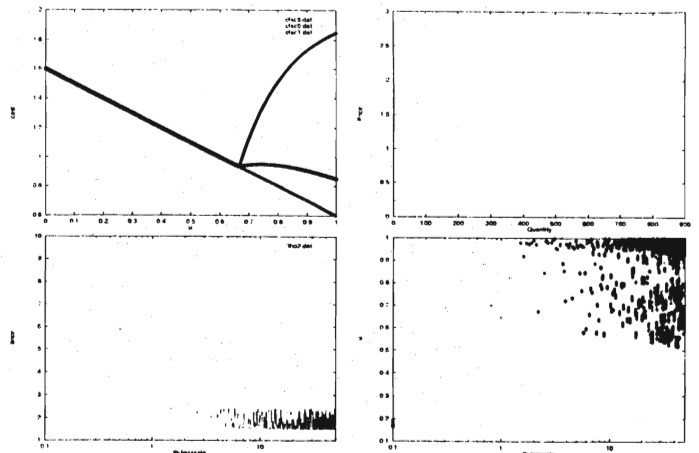


図1: 費用関数(上左)[横軸: 稼働率, 縦軸: 費用]

図2: 階段関数(上右)[横軸: 生産量, 縦軸: 価格]

図3: 閾値価格(下左)[横軸: 閾値, 縦軸: 価格]

図4: 閾値稼働率(下右)[横軸: 閾値, 縦軸: 稼働率]

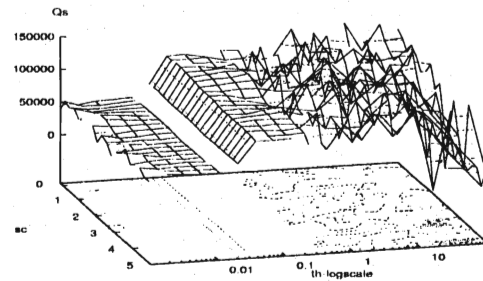


図5: 閾値・総生産量散布図

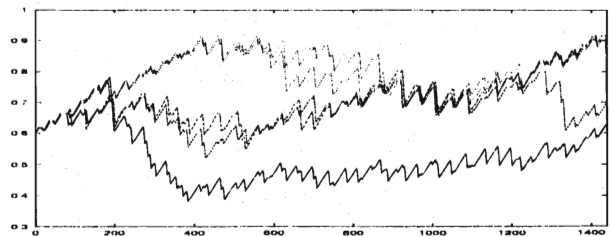


図6: 5企業の稼働率の推移(共存)

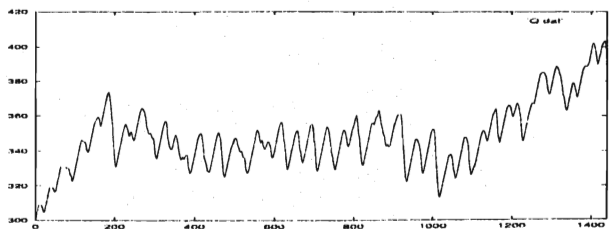


図7: 集計生産量の推移(共存)

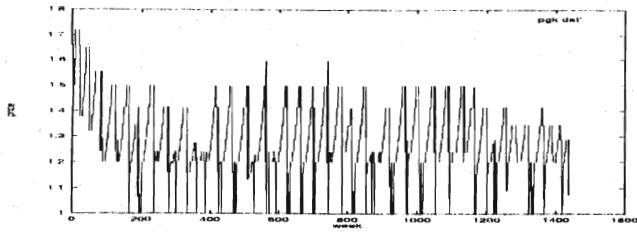


図 8: 指標価格の推移 (共存)

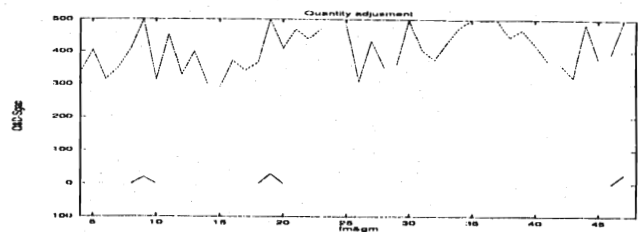


図 13: 需給ギャップと価格閾値 (数量単層調整)

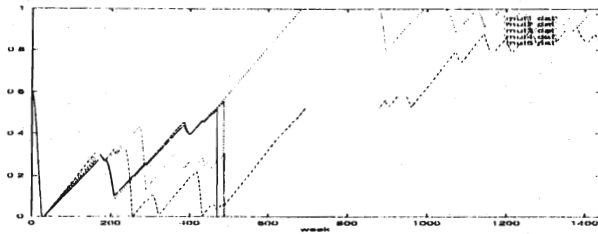


図 9: 5 企業の稼働率の推移 (倒産)

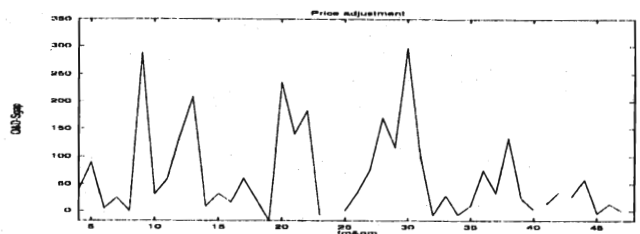


図 14: 需給ギャップと価格閾値 (価格単層調整)

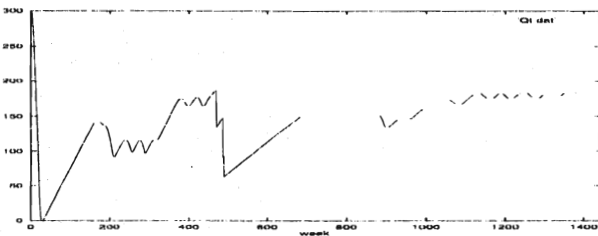


図 10: 集計生産量の推移 (倒産)

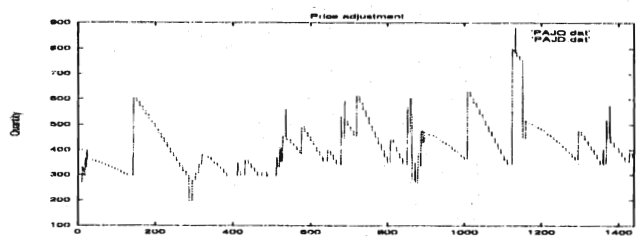


図 15: ランダム需要と価格調整

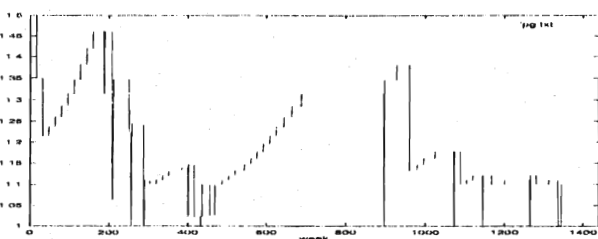


図 11: 指標価格の推移 (倒産)

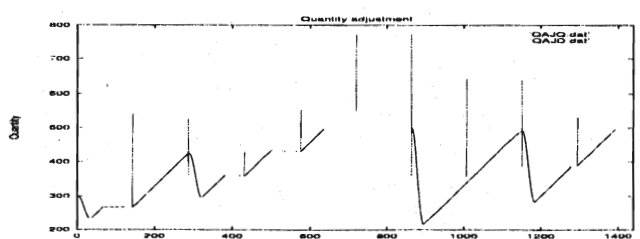


図 16: ランダム需要と数量調整

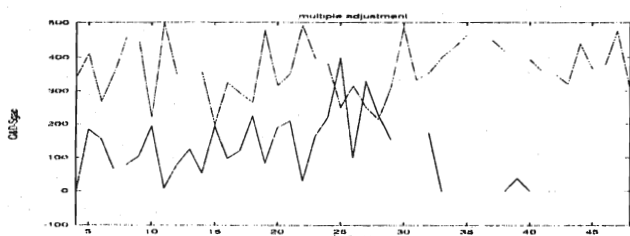


図 12: 需給ギャップと価格閾値 (多層調整)

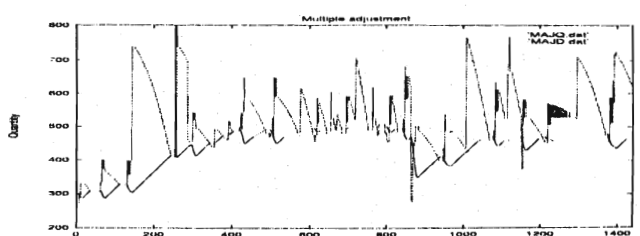


図 17: ランダム需要と多層調整