

経済指標の変動の解析的研究 IV

—— 株価の変動に関する変動速度依存力理論と仮想均衡価格理論 ——

香村 俊武・野澤 智

株価の変動には復元力のほかに変動速度に比例する力がはたらくと考えて、株価の変動に関する変動速度依存力理論を展開し、株価の変動方程式を求める。得られた株価変動方程式は仮想均衡理論の株価変動方程式と同形になることを示す。そして、この両理論の観点から、過去の日経平均株価の変動を解析する。

1. 経済指標の変動には変動速度依存力がはたらく

株価の変動はランダム・ウォークであり、先月における株価の上げ下げは、次月における株価の変動と独立であり、その予測の材料にならないと言われる。現に、株価の変動は揺らぎであると考えられて、確率微分方程式で扱われることがある。しかし、一般的に経済指標の値は上昇し過ぎると下降させる力がはたらし、下降し過ぎると上昇させる力がはたらく。すなわち、経済指標にはある水準値に戻す復元力がはたらし、指標の値は本質的に振動変動をする。

私達は、経済指標の例として株価を扱い、株価の毎月末値を記録して、物理学の振動論を用いて、その変動を解析して来た。その結果、株価は過去を記憶して変動することを確認した。そして、その変動の傾向を分類し、また、今後の変動の予想をした^[1-4]。

株価の変動を詳細に見ると、株価は振動変動以外に、増幅する変動や減衰する変動をしたり、また、私達が上げ傾向や下げ傾向と分類している解析関数では表されない変動もする。株価には復元力以外に、変動速度に依存する力がはたらくため、このような変動をすると考えられる。変動速度に比例する力が株価にはたらくと、株価の変動に摩擦力となって変動を減衰したり、変動の促進力となって変動を増幅したりする。

本論文においては、株価に復元力以外に変動速度に比例する力がはたらくと考えて、変動速度依存力理論を展開する。また、株価の変動を説明するため提唱されている仮想均衡価格理論と比較し、両理論の株価変動方程式が同形になることを示す。また、両理論を日経平均株価に適用して、その変動を解析した結果を検討する。

2. 株価の変動の振動論的解析

本章において、経済指標の例として株価を扱い、私達が論文 I, II, および, III^[1-4] で展開してきた株価の変動を振動論的に解析する方法を簡略に概観する。この方法で株価の変動の傾向を判定することは、今後の株価の変動を予測する際の重要な基本的作業になる。

株価は複雑に変動するが、私達は、その時々刻々の変動を下記の方法で解析して、短期的な変動の様相を、振動、上げ、下げ、上げ傾向、下げ傾向、不安定(上げ)と不安定(下げ)の七つの変動傾向に分類する。

時間 t とともに変動する株価を $x(t)$ と表す。時間間隔が Δt (第5章における日経平均株価の変動の解析においては、 $\Delta t = 1$ ヶ月とする) である四時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$ における株価 $x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t), x(3\Delta t)$ について、各時間間隔 Δt 毎のその変動量を

$$y\left(\frac{1}{2}\Delta t\right) = x(\Delta t) - x(0), \quad (1)$$

$$y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) = x(2\Delta t) - x(\Delta t), \quad (2)$$

$$y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) = x(3\Delta t) - x(2\Delta t) \quad (3)$$

と表す。また、時間間隔 Δt における二次の変動量は

$$z(\Delta t) = y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) - y\left(\frac{1}{2}\Delta t\right), \quad (4)$$

$$z(2\Delta t) = y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) \quad (5)$$

であり、三次の変動量は

$$w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) = z(2\Delta t) - z(\Delta t) \quad (6)$$

である。そして、時点 $t = \frac{3}{2}\Delta t$ における三次の変動量と一次の変動量の比 $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)/y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)$ を求める。

株価 $x(t)$ が、復元力を受けて、水準値 b を中心とする振動変動をするときには、微分方程式

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\omega^2 \{x(t) - b\} \quad (7)$$

に従い、株価の変動はこの方程式の解

$$x(t) = a \cos(\omega t + \theta) + b \quad (8)$$

で表される。株価がこのように振動変動をする場合には、時点 $t = \frac{3}{2}\Delta t$ における三次の変動量と一次の変動量の比は

$$\frac{w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)}{y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)} = -4 \sin^2\left(\frac{1}{2}\omega\Delta t\right) \quad (9)$$

であり、この比は不等式

$$-4 < \frac{w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)}{y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)} < 0 \quad (10)$$

を満たす。株価がこの不等式を満たす場合には、株価はこの四時点の期間において振動変動をしていると判定される。

株価がこの比を

$$\frac{w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)}{y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)} < -4 \quad (11)$$

とする場合がある。この場合には、株価 $x(t)$ の変動は解析関数で表されず、この不等式を満たして、かつ、 $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) > 0$ である場合には、株価は、ジグザグの折れ線を描いて、上げ傾向の変動をしていると判定する。また、 $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) < 0$ である場合には、ジグザグの折れ線を描いて、下げ傾向の変動をしていると判定する。

また、株価に働く力が復元力ではなくて、反発力であると、株価の変動を表す微分方程式は

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \omega^2 \{x(t) - b\} \quad (12)$$

となり、その解は、

$$x(t) = a \cosh(\omega t + \theta) + b, \quad (13)$$

または、

$$x(t) = a \sinh(\omega t + \theta) + b \quad (14)$$

となる。このいずれの場合にも、時点 $t = \frac{3}{2}\Delta t$ における三次変動量 $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)$ の一次変動量 $y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)$ に対する比は

$$\frac{w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)}{y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)} = 4 \sinh^2\left(\frac{1}{2}\omega\Delta t\right) \quad (15)$$

となり、この比は

$$\frac{w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)}{y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)} > 0 \quad (16)$$

になる。株価がこの不等式を満たすときは次の四つの場合に分類できる。すなわち、 $z(2\Delta t) > 0$ で $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) > 0$ である場合、この場合には、株価は次第に上昇する勢いを増しながら上昇して、上げ変動と判定される。また、 $z(2\Delta t) < 0$ で $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) < 0$ である場合には、次第に下降する勢いを増しながら下降して、下げ変動と判定される。そして、 $z(2\Delta t) > 0$ で $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) < 0$ である場合には下げ基調で変動が次第に乏しくなり、また、 $z(2\Delta t) < 0$ で $w\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) > 0$ である場合には上げ基調で変動が次第に乏しくなる。後の二つの場合は、ともに不安定な減衰変動であり、不安定(下げ)と不安定(上げ)と判定される。

私達は論文 I, II, および, IIIにおいて、以上の振動論的解析方法で過去の日経平均株価の変動を解析し、変動傾向を判定した。

3. 株価の変動の変動速度依存力理論

株価が変動してその水準値からはずれるとき、それを水準値に引き戻すための復元力がはたらくと、株価はその水準値を中心にして振動変動をする。振動変動は、時間が進む向きを逆転して考えても、やはり振動変動になるので、時間反転に関して不変であると言われる。しかし、実際の株価は理想的な振動変動をせずに、急に変動が減衰したり、増幅したりする。このような場合には、株価には復元力のほかに、変動速度に依存する力がはたらくと考えられる。株価に変動速度に依存する力がはたらくと、その変動が減衰したり、増幅したりする。株価の変動が減衰したり、増幅したりする現象を、時間が進む向きを逆転して考えると、変動の様子が逆になり、変動が減衰する現象は、増幅する現象になり、増幅する現象は、減衰する現象になる。このため、変動速度依存力は変動法則の時間反転に関する不変性を破ると言われる。

以下本章では、株価の変動には復元力のほかに変動速度に比例する力が働くと考え。すると、株価を時間間隔 Δt 毎に記録するとき、時点 $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$ において、株価は変動差分方程式

$$z(\Delta t) = k \{x(\Delta t) - b\} + c \left\{ y\left(\frac{1}{2}\Delta t\right) + y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) \right\}, \quad (17)$$

$$z(2\Delta t) = k \{x(2\Delta t) - b\} + c \left\{ y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) + y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) \right\}, \quad (18)$$

$$z(3\Delta t) = k \{x(3\Delta t) - b\} + c \left\{ y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) + y\left(\frac{7}{2}\Delta t\right) \right\} \quad (19)$$

を満たす。上三式の右辺の第一項はそれぞれ復元力を表し、第二項が変動速度に比例する力を表

す。第一項の力は、係数 $k < 0$ であるときに復元力になり、 $k > 0$ であるときには反発力になる。時間間隔を Δt とする五時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, 4\Delta t$ の期間、復元力の強さ k と変動速度に比例する力の強さ c は一定であるとする。変動速度に比例する力の係数 $c > 0$ である場合には、株価の変動を促進する力になり、また、 $c < 0$ である場合には、株価の変動を抑制する摩擦力になる。上三式について、式の両辺の辺々引き算(18) - (17)と(19) - (18)をして、株価の水準値 b を消去すると、

$$w \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) = ky \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + c \{z(\Delta t) + z(2\Delta t)\}, \quad (20)$$

$$w \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) = ky \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) + c \{z(2\Delta t) + z(3\Delta t)\} \quad (21)$$

の二式が成立する。この二式から、五時点の期間における復元力の強さ k と変動速度に比例する力の強さ c を求める：

$$k = \frac{w \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) \{z(2\Delta t) + z(3\Delta t)\} - w \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \{z(\Delta t) + z(2\Delta t)\}}{y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) \{z(2\Delta t) + z(3\Delta t)\} - y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \{z(\Delta t) + z(2\Delta t)\}}, \quad (22)$$

$$c = \frac{w \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) - w \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right)}{\{z(\Delta t) + z(2\Delta t)\} y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) - \{z(2\Delta t) + z(3\Delta t)\} y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right)}. \quad (23)$$

五時点の期間の中心である時点 $t = 2\Delta t$ において、変動速度依存力 $c \left\{ y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \right\} > 0$ である場合には、この力は株価を上昇させるようにはたらき、 $c \left\{ y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \right\} < 0$ である場合には、株価を下降させるようにはたらく。より詳細に分類分けをすると、変動速度に比例する力の係数 $c > 0$ である場合で、かつ、株価が上昇して変動速度 $v(2\Delta t) = \left\{ y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \right\} / 2 > 0$ であるときには、株価の上昇を促進し、株価が下降して変動速度 $v(2\Delta t) < 0$ であるときには、株価の下降を促進する。また、 $c < 0$ である場合で、かつ、株価が上昇して変動速度 $v(2\Delta t) > 0$ であるときには、株価の上昇を抑制し、株価が下降して変動速度 $v(2\Delta t) < 0$ であるときには、株価の下降を抑制する。

4. 仮想均衡価格理論

株価の変動を扱う理論として仮想均衡価格理論が提唱されている。この章では、仮想均衡価格理論の概要を述べ、前章で説明した変動速度依存力理論の株価変動方程式と仮想均衡価格理論の株価変動方程式が同形になることを示す。

仮想均衡価格理論では、株式が実際に市場において取引される価格 $x(t)$ と売り手と買い手の希望する価格が釣り合ったときの値と考えられる仮想均衡価格 $x^*(t)$ を扱い、次の連立式を立てる^[5]。

$$x(t+\Delta t) - x(t) = -A(t) \{x(t) - x^*(t)\} + f(t), \quad (24)$$

$$x^*(t+\Delta t) - x^*(t) = B(t) \{x(t) - x(t-\Delta t)\} + f^*(t). \quad (25)$$

上の第一式は市場取引価格 $x(t)$ が仮想均衡価格 $x^*(t)$ からの乖離を小さくするように変動することを意味し、係数 $A(t)$ はその強さを表す。また、第二式は仮想均衡価格が市場取引価格に追随して変動することを意味し、係数 $B(t)$ はその追随する強さを表す。

四時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$ における取引価格 $x(t)$ に上の二式を適用して、この四時点の期間における株価の変動を表す式を求める。揺らぎを表す項 $f(t)$ と $f^*(t)$ は、 $\Delta t = 1$ ヶ月にすると、大きく寄与することはないと考え、これを無視する。また、この四時点の期間中に、係数 $A(t)$ と $B(t)$ が大きく変化することはないと、一定であると考え、以下では A と B と表す。

時点 $t = 2\Delta t$ から $3\Delta t$ までの間と時点 $t = \Delta t$ から $2\Delta t$ までの間の取引価格 $x(t)$ の変動について、(24)式を適用して、

$$x(3\Delta t) - x(2\Delta t) = -A \{x(2\Delta t) - x^*(2\Delta t)\}, \quad (26)$$

$$x(2\Delta t) - x(\Delta t) = -A \{x(\Delta t) - x^*(\Delta t)\}. \quad (27)$$

上二式の両辺について、辺々引き算をすると、

$$\begin{aligned} x(3\Delta t) - 2x(2\Delta t) + x(\Delta t) &= -A [\{x(2\Delta t) - x(\Delta t)\} \\ &\quad - \{x^*(2\Delta t) - x^*(\Delta t)\}]. \end{aligned} \quad (28)$$

上式に(25)式を用いて、 $x^*(t)$ を消去すると、取引価格 $x(t)$ だけに関する方程式、

$$\begin{aligned} x(3\Delta t) - 2x(2\Delta t) + x(\Delta t) &= -A [\{x(2\Delta t) - x(\Delta t)\} \\ &\quad - B \{x(\Delta t) - x(0)\}] \end{aligned} \quad (29)$$

が得られる。上式を変動量 y を用いて表すと、

$$y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) = -A \left\{ y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) - By\left(\frac{1}{2}\Delta t\right) \right\} \quad (30)$$

となる。この式を用いると、

$$\left(1 - \frac{1+AB}{2}\right) y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right) = y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - \frac{1+AB}{2} y\left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - 2\left(1 - \frac{1+AB}{2}\right) y\left(\frac{3}{2}\Delta t\right)$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(1 - \frac{1+AB}{2}\right) y \left(\frac{1}{2}\Delta t\right) \\
 = & -\frac{1+AB}{2} y \left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - A(1-B) y \left(\frac{3}{2}\Delta t\right) \\
 & + \frac{1+AB}{2} y \left(\frac{1}{2}\Delta t\right)
 \end{aligned} \tag{31}$$

となる。したがって、株価の変動差分方程式は

$$w \left(\frac{3}{2}\Delta t\right) = -\frac{1+AB}{1-AB} y \left(\frac{5}{2}\Delta t\right) - \frac{2A(1-B)}{1-AB} y \left(\frac{3}{2}\Delta t\right) + \frac{1+AB}{1-AB} y \left(\frac{1}{2}\Delta t\right) \tag{32}$$

となり、この式は前章で述べた変動速度依存力理論の変動差分方程式(20)と同形であり、両変動方程式の係数の間に次の関係式が成立する。

$$\begin{aligned}
 k & = -\frac{2A(1-B)}{1-AB}, \\
 c & = -\frac{1+AB}{1-AB}.
 \end{aligned} \tag{33}$$

時間間隔を Δt とする五時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, 4\Delta t$ の期間において、変動方程式(32)、および、

$$w \left(\frac{5}{2}\Delta t\right) = -\frac{1+AB}{1-AB} y \left(\frac{7}{2}\Delta t\right) - \frac{2A(1-B)}{1-AB} y \left(\frac{5}{2}\Delta t\right) + \frac{1+AB}{1-AB} y \left(\frac{3}{2}\Delta t\right) \tag{34}$$

が成立し、係数 A と B が一定であるとすれば、両係数の値が定まる。係数 A と B を変動速度依存力理論の変動方程式の係数で表すと、

$$A = \frac{k+c+1}{c-1}, \tag{35}$$

$$B = \frac{c+1}{k+c+1} \tag{36}$$

となる。

5. 日経平均株価の解析

第3、および、4章で述べた観点から、1998年10月から2003年10月までの5年間にわたる日経平均株価の変動を解析した。

変動速度依存力に関する解析の結果を表1に示す。表には、この期間における日経平均株価の各月末値 x 、その第一次から第三次までの変動量 y, z, w を示し、また、時間間隔を $\Delta t = 1$ ヶ

月とした五時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, 4\Delta t$ の株価から決めた復元力の係数 k と変動速度依存力の係数 c の値、および、変動速度依存力 $c \left\{ y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \right\}$ と復元力 $k \{ x(t+2\Delta t) - b \}$ の値を、時点 $t = 2\Delta t$ の行に示した。

復元力の係数 k と変動速度依存力の係数 c 、復元力、および、変動速度依存力のそれぞれについてその欄の最下行に、この期間におけるその値の平均値と標準偏差を示した。変動速度依存力の係数 c の値は零でない有意な値であることが判る。復元力と変動速度依存力のそれぞれについて値の平均値の絶対値と標準偏差がそれぞれ同じ程度の大きさであることは変動速度依存力が復元力と同程度にはたらいっていることを示す。変動速度依存力の係数 c の平均値は正数であり、変動速度依存力の値の平均値は負数である。このことは、変動速度依存力は主として下降変動のときにはたらき、下降変動を増幅する傾向があることが判る。この結果が得られたのは、株価が全体として下降傾向であった5年間の日経平均株価を対象として解析したためであり、株価が上昇する期間について解析すれば、変動速度依存力が主として上昇変動のときにはたらくという逆の解析結果になるのかどうかという問題は未解明であり、今後の課題である。

時間間隔 Δt の五時点 $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, 4\Delta t$ の株価から変動速度依存力 $c \left\{ y \left(\frac{3}{2} \Delta t \right) + y \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) \right\} > 0$ を求めて、その変動速度依存力の値でもって、時刻 $t = 4\Delta t$ から $5\Delta t$ の間の株価の変動値を予想すると、表における変動速度依存力の欄の下から三番目の行に示すように、変動速度依存力の値と実際の株価の変動値との間の相関係数は 0.102 であり、正の相関があることが判る。

表 2 に、仮想均衡価格理論を用いて、同上の期間における日経平均株価を解析した結果を示す。 $x, y, AB, A, B, x^*(2\Delta t)$ 、および、 $y^* \left(\frac{5}{2} \Delta t \right) = x^*(3\Delta t) - x^*(2\Delta t)$ の値を、それぞれ、時点 $t = 2\Delta t$ と $t = \frac{5}{2} \Delta t$ の行に記した。表に示されている仮想均衡価格 $x^*(2\Delta t)$ の値はそれぞれ別々の五時点の期間における日経平均株価から得られた値であるので、均衡価格の変動量 $y^* \left(\frac{5}{2} \Delta t \right)$ がその前後の月末における均衡価格 $x^*(2\Delta t)$ の値の差に等しくはなっていない。

表 2 の A 、および、 B の欄の最下行にそれぞれこの期間におけるその値の平均値と標準偏差を記した。 A 、および、 B の値の平均値はともに正数である。 A の平均値が正数であることは株式の市場取引価格 x が仮想均衡価格 x^* からの乖離を減少するように変動する傾向があることを示し、 B の平均値が正数であることは取引価格 x の変動に追随して均衡価格 x^* が変動する傾向があることを示す。また、均衡価格の変動値 y^* の欄の下から三行目に、 y^* と実際の取引価格の変動値 y との相関係数を記した。それらは、相関係数が 0.216 である正の相関をしている。

仮想均衡価格 x^* の値が 99 年 3 月と 03 年 5 月には負数になっていて、これは非現実的である。この二つの時点を中心にする五時点期間において、それぞれ、復元力と変動速度依存力の係数の和がほぼ $k+c = -1.00$ になっていて、この場合には、取引価格が均衡価格からの乖離を小さくするように変動する強さの係数はほぼ $A = 0$ となる。仮想均衡価格理論に従って、取引価格

$x(t)$ から均衡価格 $x^*(t)$ を求めると、ほぼ $A = 0$ である場合には、一般的に均衡価格 $x^*(t)$ の値は、極めて不安定になり、負数であるような非現実的な解になることがある。

参考文献

- [1] 香村俊武, 野澤 智, 経済指標の変動の解析的研究 城西大学経済経営紀要 第21巻第1号 1-14
- [2] 香村俊武, 野澤 智, 経済指標の変動の解析的研究II 城西大学大学院研究年報 第19号 23-37
城西大学大学院経済学研究科
- [3] 香村俊武, 野澤 智, 経済指標の変動の解析的研究III 城西大学経済経営紀要 印刷中
- [4] Satoshi Nozawa and Toshitake Kohmura, A Study of the Evolution of Stock Price Indices in Terms of Oscillation Theory Part I. Statistical Properties, Josai Journal of Business Administration, 印刷中
仮想均衡価格については次の論文を参照した。
- [5] 高安秀樹, 高安美佐子, エコノフィジックス 市場に潜む物理法則 日本経済新聞

表 1 日経平均株価, 変動量, 復元力と速度依存力 (Oct-98~Oct-03)

Mon-Year	x	y	z	w	k	c	速度依存力	復元力
Oct-98	13,565		1,160		-2.37	0.33	488	672
		1,319		-3,521				
Nov-98	14,884		-2,361		-3.39	-0.79	-219	-2,142
		-1,042		4,060				
Dec-98	13,842		1,699		-3.99	0.15	-58	1,757
		657		-2,487				
Jan-99	14,499		-788		-7.46	2.65	1,394	-2,182
		-131		1,938				
Feb-99	14,368		1,150		-5.57	3.34	2,966	-1,816
		1,019		-854				
Mar-99	15,387		296		-1.29	0.32	747	-451
		1,315		-2,201				
Apr-99	16,702		-1,905		-7.46	-4.73	-3,429	1,524
		-590		3,913				
May-99	16,112		2,008		-5.69	5.40	4,471	-2,463
		1,418		-3,094				
Jun-99	17,530		-1,086		-1.85	-0.51	-893	-194
		332		329				
Jul-99	17,862		-757		-2.91	-0.70	65	-822
		-425		1,350				
Aug-99	17,437		593		-3.24	0.16	-41	634
		168		-424				
Sep-99	17,605		169		1.51	-0.89	-449	618
		337		110				
Oct-99	17,942		279		-0.90	0.92	877	-598
		616		-519				
Nov-99	18,558		-240		0.63	-23.27	-23,084	22,844
		376		470				
Dec-99	18,934		230		0.73	-19.52	-19,169	19,399
		606		-416				
Jan-00	19,540		-186		-0.57	-1.66	-1,703	1,517
		420		143				
Feb-00	19,960		-43		0.94	1.10	877	-920
		377		-2,697				
Mar-00	20,337		-2,740		-2.05	0.69	-1,370	-1,370
		-2,363		3,461				
Apr-00	17,974		721		-1.39	-0.08	320	401
		-1,642		2,000				
May-00	16,332		2,721		-5.16	-1.88	1,058	1,663
		1,079		-5,484				
Jun-00	17,411		-2,763		5.91	282.28	-170,779	168,016
		-1,684		5,581				
Jul-00	15,727		2,818		-3.38	-2.15	1,183	1,636
		1,134		-5,066				
Aug-00	16,861		-2,248		-5.26	1.58	32	-2,280
		-1,114		2,155				
Sep-00	15,747		-93		-1.42	-0.25	580	-673
		-1,207		1,409				
Oct-00	14,540		1,316		-5.99	-4.75	5,216	-3,900
		109		-2,288				
Nov-00	14,649		-972		-1.83	-6.07	4,577	-5,549
		-863		1,893				
Dec-00	13,786		921		-3.26	18.04	-14,522	15,443
		58		-1,939				
Jan-01	13,844		-1,018		-1.01	19.39	-17,490	16,472
		-960		2,094				
Feb-01	12,884		1,076		-2.18	0.00	0	1,076
		116		-258				
Mar-01	13,000		818		-2.58	0.02	21	797
		934		-2,424				
Apr-01	13,934		-1,606		-2.71	-0.13	-34	-1,572
		-672		1,985				

表1 つづき

Mon-Year	x	y	z	w	k	c	速度依存力	復元力
May-01	13,262		379		35.04	-20.81	20,082	-19,703
		-293		-1,194				
Jun-01	12,969		-815		-5.83	6.66	-9,331	8,516
		-1,108		776				
Jul-01	11,861		-39		-0.48	-0.29	654	-693
		-1,147		444				
Aug-01	10,714		405		-0.28	0.34	-642	1,047
		-742		731				
Sep-01	9,972		1,136		-1.88	-0.43	150	986
		394		-1,199				
Oct-01	10,366		-63		-1.94	-0.40	-290	227
		331		-422				
Nov-01	10,697		-485		-1.13	0.09	16	-501
		-154		94				
Dec-01	10,543		-391		-2.38	0.31	-217	-174
		-545		1,526				
Jan-02	9,998		1,135		-2.52	0.20	9	1,126
		590		-1,288				
Feb-02	10,588		-153		0.05	-1.34	-1,376	1,223
		437		184				
Mar-02	11,025		31		3.78	12.03	10,887	-10,856
		468		-228				
Apr-02	11,493		-197		-0.23	0.72	532	-729
		271		-1,216				
May-02	11,764		-1,413		-1.96	0.42	-366	-1,047
		-1,142		1,811				
Jun-02	10,622		398		-0.96	-0.71	1,339	-941
		-744		87				
Jul-02	9,878		485		-3.03	-2.45	2,457	-1,972
		-259		-462				
Aug-02	9,619		23		2.01	0.12	-59	82
		-236		-530				
Sep-02	9,383		-507		-0.82	1.50	-1,469	962
		-743		1,826				
Oct-02	8,640		1,319		-4.12	-1.52	254	1,065
		576		-2,532				
Nov-02	9,216		-1,213		-4.71	1.70	-104	-1,109
		-637		1,611				
Dec-02	8,579		398		-1.55	-0.77	675	-277
		-239		-136				
Jan-03	8,340		262		22.29	7.87	-1,700	1,962
		23		-675				
Feb-03	8,363		-413		-3.37	3.96	-1,453	1,040
		-390		661				
Mar-03	7,973		248		-1.80	0.24	-128	376
		-142		488				
Apr-03	7,831		736		-1.51	0.28	127	609
		594		-672				
May-03	8,425		64		-0.45	-0.50	-626	690
		658		-242				
Jun-03	9,083		-178		0.18	3.18	3,619	-3,797
		480		479				
Jul-03	9,563		301		0.37	2.47	3,115	-2,814
		781		-1,207				
Aug-03	10,344		-906		-3.25	-2.20	-1,443	537
		-125		1,372				
Sep-03	10,219		466		-5.29	-1.61	-348	814
		341		-1,266				
Oct-03	10,560		-800		-4.31	-0.61	72	-872
相関係数							0.11	
平均値		-50			-1.05	4.62	-3,407	3,377
標準偏差		793			6.15	36.72	22,598	22,237

表 2 日経平均株価の市場取引価格と仮想均衡価格 (Oct-98~Oct-03)

Mon-Year	x	y	AB	A	B	x^*	y^*
Oct-98	13,565		-1.99	1.55	-1.28	14,415	
		1,319					-203
Nov-98	14,884		-0.12	1.78	-0.07	14,297	
		-1,042					-87
Dec-98	13,842		-1.35	3.34	-0.41	14,039	
		657					422
Jan-99	14,499		2.21	-2.31	-0.96	14,556	
		-131					-629
Feb-99	14,368		1.86	-0.53	-3.53	12,431	
		1,019					462
Mar-99	15,387		-1.94	-0.04	44.11	-14,499	
		1,315					44,952
Apr-99	16,702		0.65	1.95	0.33	16,400	
		-590					438
May-99	16,112		1.46	0.16	9.04	24,919	
		1,418					-5,332
Jun-99	17,530		-0.33	0.90	-0.36	17,898	
		332					-512
Jul-99	17,862		-0.18	1.54	-0.12	17,585	
		-425					-38
Aug-99	17,437		-1.38	2.48	-0.56	17,505	
		168					237
Sep-99	17,605		-0.06	-0.86	0.07	17,212	
		337					11
Oct-99	17,942		-24.00	-12.75	1.88	17,894	
		616					634
Nov-99	18,558		0.92	0.89	1.03	18,980	
		376					634
Dec-99	18,934		0.90	0.87	1.04	19,632	
		606					391
Jan-00	19,540		0.25	0.46	0.54	20,449	
		420					325
Feb-00	19,960			21.00	30.40	0.69	19,972
		377					290
Mar-00	20,337		-5.45	1.16	-4.70	18,302	
		-2,363					-1,770
Apr-00	17,974		-0.85	0.44	-1.96	14,199	
		-1,642					4,629
May-00	16,332		0.31	2.10	0.15	16,847	
		1,079					-240
Jun-00	17,411		1.01	1.03	0.98	15,773	
		-1,684					1,057
Jul-00	15,727		0.37	1.44	0.25	16,516	
		1,134					-428
Aug-00	16,861		4.45	-4.62	-0.96	17,102	
		-1,114					-1,092
Sep-00	15,747		-0.60	0.54	-1.12	13,495	
		-1,207					1,247
Oct-00	14,540		0.65	1.69	0.39	14,604	
		109					-465
Nov-00	14,649		0.72	0.98	0.74	13,765	
		-863					80
Dec-00	13,786		1.12	0.93	1.21	13,849	
		58					-1,041
Jan-01	13,844		1.11	1.05	1.05	12,933	
		-960					61
Feb-01	12,884		-1.00	1.18	-0.85	12,982	
		116					813
Mar-01	13,000		-1.04	1.59	-0.65	13,587	
		934					-76
Apr-01	13,934		-0.77	1.63	-0.47	13,521	
		-672					-442

表 2 つづき

Mon-Year	x	y	AB	A	B	x^*	y^*
May-01	13,262		0.91	-0.70	-1.29	13,678	
		-293					867
Jun-01	12,969		1.35	0.32	4.18	9,549	
		-1,108					-1,224
Jul-01	11,861		-0.55	-0.18	3.09	18,305	
		-1,147					-3,424
Aug-01	10,714		-2.03	-1.61	1.26	11,176	
		-742					-1,450
Sep-01	9,972		-0.40	0.92	-0.44	10,402	
		394					324
Oct-01	10,366		-0.43	0.96	-0.45	10,712	
		331					-177
Nov-01	10,697		-1.20	0.04	-27.23	7,197	
		-154					-9,012
Dec-01	10,543		-1.90	1.55	-1.22	10,192	
		-545					188
Jan-02	9,998		-1.50	1.65	-0.91	10,356	
		590					495
Feb-02	10,588		0.15	0.12	1.17	14,112	
		437					690
Mar-02	11,025		1.18	1.52	0.78	11,332	
		468					339
Apr-02	11,493		-6.14	-5.32	1.15	11,442	
		271					540
May-02	11,764		-2.45	0.93	-2.63	10,537	
		-1,142					-712
Jun-02	10,622		-0.17	0.39	-0.43	8,724	
		-744					496
Jul-02	9,878		0.42	1.30	0.32	9,679	
		-259					-240
Aug-02	9,619		-1.27	-3.56	0.36	9,685	
		-236					-93
Sep-02	9,383		5.00	3.36	1.49	9,162	
		-743					-351
Oct-02	8,640		0.21	1.84	0.11	8,953	
		576					-83
Nov-02	9,216		3.86	-2.87	-1.34	9,438	
		-637					-774
Dec-02	8,579		-0.13	0.75	-0.17	8,259	
		-239					111
Jan-03	8,340		1.29	4.53	0.29	8,345	
		23					-68
Feb-03	8,363		1.68	0.54	3.12	7,637	
		-390					72
Mar-03	7,973		-1.63	0.74	-2.21	7,780	
		-142					863
Apr-03	7,831		-1.78	0.32	-5.57	9,693	
		594					792
May-03	8,425		-0.33	-0.03	10.09	-11,514	
		658					5,994
Jun-03	9,083		1.92	2.00	0.96	9,323	
		480					631
Jul-03	9,563		2.36	2.61	0.90	9,862	
		781					434
Aug-03	10,344		0.38	1.39	0.27	10,254	
		-125					211
Sep-03	10,219		0.23	2.26	0.10	10,370	
		341					-13
Oct-03	10,560		-0.24	2.44	-0.10	10,371	
相関係数							0.22
平均値		-50	-0.02	0.96	0.54		
標準偏差		793	4.50	4.54	7.07		