

外国為替レートに潜む時間の矢

^a 東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム専攻

^b ソニー・コンピュータ・サイエンス研究所

水野貴之^a, 高安秀樹^b, 高安美佐子^a

アブストラクト

金融市場での価格の動きは、時間反転させても統計性は変わらないと仮定されることがあるが、実際には異なっている。我々は、時間方向の正しい外国為替レートと時間を反転させたレートを用いて、金融市場に潜む時間の矢の存在を示す。正しい時間方向のレートでは、急激な変動後に揺らぎが増加するが、時間反転したレートでは揺らぎが減少するという、統計性の違いを見出すことができる。

1. はじめに

外国為替レートなどの市場価格を物理学の視点から見る場合、その時間の矢が存在するかどうかは大きな興味を引く。熱いお湯は自然と冷えるが、逆に一度さめてしまったお湯は勝手には熱くはならないように、一般的に、物理現象は時間の矢を持つ不可逆過程である。よく知られているように、物理学ではエントロピーという、乱雑さ・無秩序さ・不規則さの度合を表す量を導入することによって、この時間の矢を議論する。市場価格を物理学の視点から、本格的に研究されるようになって約10年がたつが、これまでの多くの研究では、市場価格変動を可逆と仮定してしまっている。これは、市場価格変動はランダムであると仮定して理論を展開する金融工学の影響を強く受けているためである。最近、市場には時間の矢が存在するという経験則が、取引数の変化や他の市場からの影響などを解析することにより、徐々に明らかになってきた[1-6]。これにより、市場のエントロピーに該当する量が、何であることを明らかにし、時間の矢を持つ価格変動のモデルの構築が望まれている。

今回、我々は円とドルの外国為替レートに注目し、時間方向が正しいレートと時間方向を反転したレートで、変動の統計性が異なることを示し、市場価格変動にも時間の矢が存在することを示す。本論文の解析では、CQG社によって提供された1996年から2002年3月までの円ドル為替レートを用いる。

2. 現象：外国為替レートで観測される時間の矢

市場価格の変動を見ると、不可逆性は明白ではない。Fig.1(a)は標準的な1日の円ドルレ-

トを表している。そして、Fig.1(b)(c)は、それぞれ、この1日のある4時間のレートを、(b)は正しい時間方向で、(c)は時間を反転してプロットをしている。もし、横軸に目盛りが付いていなかったら、我々は、この2つの内、どちらが正しい時間方向のレートかを見分けられることが出来ないであろう。このように、通常、市場価格の変動は時間反転に対して対称に見える。しかし、時間の方向性が明確に観測できる場合も存在する。Fig.2(a)は、大きな変動が、何度も起きている2001年9月のレートである。(b)は、このレートの揺らぎの大きさを表す Volatility の時系列である。揺らぎが小さく、安定していたレートが、暴落により揺らぎが急に大きくなり、暴落が収まった後でも、レートは以前のように穏やかには変化せず大きく揺らぐことが読みとれる。このような特徴から、我々は、(b)から容易に時間の方向性を見出すことができる。この特徴は、レートが元に戻ると考えるディーラーや、逆に、このままトレンドを形成してレートが変動すると考えるディーラーなど、ディーラーたちの思惑がバラバラになったために、引き起こされたと考えられる。

3. 統計性：時間の矢を引き起こすレート変動

我々は大きなレート変動の前後で、時間の方向性が観測されることを紹介した。ここでは、この現象の統計性について明らかにする。はじめに、レートの揺らぎを定量化するために、次式によって定義される“Volatility” $V(t)$ と呼ばれる量を導入する。

$$V(t) = |P(t+1\text{minute}) - P(t)|, \quad (1)$$

ここで、 $P(t)$ は時刻 t におけるレートである。この Volatility には 24 時間の周期があるため、我々は、Volatility を各時刻の平均的な Volatility で割った、Volatility $\bar{V}$ に注目する。

我々は、大きくレートが変動した前後の時刻の、規格化 Volatility $\bar{V}$ を調べる。次のように、このレート変動以前の規格化 Volatility と、時刻 $t+dt$ の規格化 Volatility を比較する。

$$\langle V^*(dt) \rangle \equiv \left\langle \frac{\left(\prod_{T=0}^{t-1} \bar{V}(t+T+dt) \right)^{\frac{1}{t}}}{\left(\prod_{T=1}^t \bar{V}(t-T) \right)^{\frac{1}{t}}} C_1 \leq |P(t+\tau) - P(t)| < C_2 \right\rangle, \quad (2)$$

ここで、 $\langle \dots \rangle$ は、条件 $C_1 \leq |P(t+\tau) - P(t)| < C_2$ を満たす、すべての時刻 t についての相乗平均である。Fig.3 の実線は、 $\tau=10$ 分間のレート変動 $|P(t+\tau) - P(t)|$ が $C_1=0.5$ 円/ドルから $C_2=1.5$ 円/ドルの場合について、(2)式で定義されるレート変動前後の平均 Volatility $\langle V^*(dt) \rangle$ を示す。我々は、この急激なレート変動によって Volatility が上昇し、そして、その後も急激な変動が起きる前に比べて、Volatility の高い状態が数時間続くことを、統計的に見出すことができる。急激なレート変動の前後で、統計性が異なるということは、時間の方向性が Volatility にあることを意味する。我々は同じ解析を、時間反転を施したレートに対しておこなうことによって、より明確に、時間の方向性の存在を明らかにすることができる。Fig.3 の

破線は、時間反転をしたレートでの解析結果を示している。このレートでは、大きなレート変動による Volatility の上昇の後、急激に Volatility が変動前の Volatility 以下に下降している。この統計性は、時間が順方向の結果とは明らかに異なっている[7]。

4. まとめ

我々は、市場価格に、時間の矢（時間の方向性）が存在することを示すために、金融市場における大きな価格の変動に注目した。通常の市場価格が安定している場合、市場参加者の思惑はほぼ一致しており、価格の揺らぎは小さい。しかしながら、短時間に大きな価格変動が起こると、将来、価格がこの大きな変動に追随すると考える参加者や、変動以前の市場価格に戻ると考える参加者などが生まれるため、市場参加者の思惑が急にバラバラになり、その結果、大きな価格の揺らぎが発生する。この大きな価格の揺らぎは長時間持続することから、一度、バラバラになった思惑が急に一致することはなく、思惑が揃うには時間がかかると考えられる。この市場参加者の思惑のパラツキ具合が、物理で言うエントロピーに対応し、この市場参加者の性質が市場価格に時間の矢を生み出していると考えられる。

謝辞

我々は、オックスフォード・ファイナンシャル・エデュケーションの森谷博之氏より CQG 社の円ドル為替データの提供を受けました。感謝いたします。水野貴之は日本学術振興会特別研究員制度により支援を受けています。高安美佐子は本研究に関して部分的に、日本学術振興会の科学研究費補助金(#16540346)の助成を受けた。

参考文献

- [1] M. Takayasu, H. Takayasu, and M. P. Okazaki, Transaction Interval Analysis of High Resolution Foreign Exchange Data, in *Empirical Science of Financial Fluctuations – The Advent of Econophysics*, (Springer Verlag, Tokyo, 2002), 18-25.
- [2] M. Takayasu, Self-modulation processes in financial markets, in *The Application of Econophysics – Proceedings of the Second Nikkei Econophysics Symposium*, (Springer Verlag, Tokyo, 2003), 155-160.
- [3] 高安美佐子, 人間と社会の時間の矢, 数理科学 2004 年 7 月号, 49-54.
- [4] T. Mizuno, H. Takayasu, M. Takayasu, Correlation Networks Among Currencies, *Physica A* (印刷待ち).
- [5] T. Mizuno, S. Kurihara, M. Takayasu, H. Takayasu, Time-scale dependence of correlations among foreign currencies, in *The Application of Econophysics - Proceedings of the Second Nikkei Econophysics Symposium*, (Springer Verlag, Tokyo, 2003) 24-29.
- [6] R. N. Mantegna, H. E. Stanley, An Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance, Cambridge University Press, Cambridge, MA, 2000.
- [7] T. Mizuno, H. Takayasu, M. Takayasu, Time's arrow in financial markets, (投稿準備中).

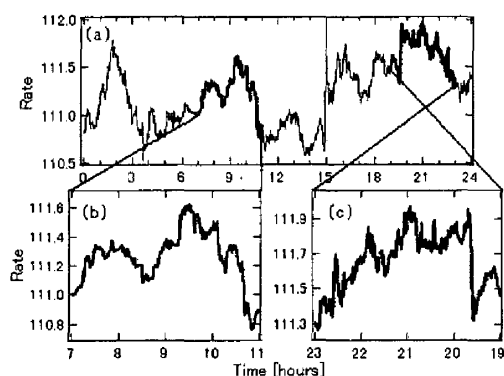


Fig.1 (a)標準的な1日の外国為替レート(1999/01/08), (b) 7時から11時のレート, (c)19時から23時のレートの時間反転.

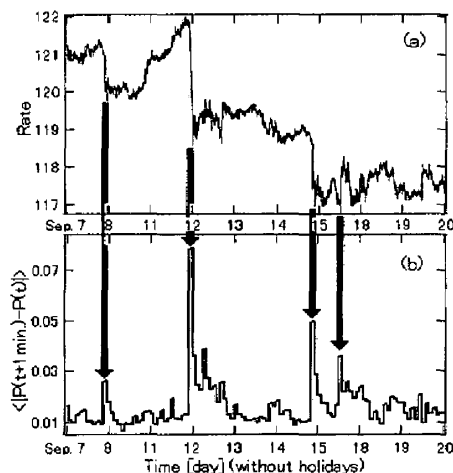


Fig.2 (a)2001年9月7日から19日までの円ドルレート, (b)その期間の2時間の平均 Volatility(1分間のレート差の絶対値)の時系列.

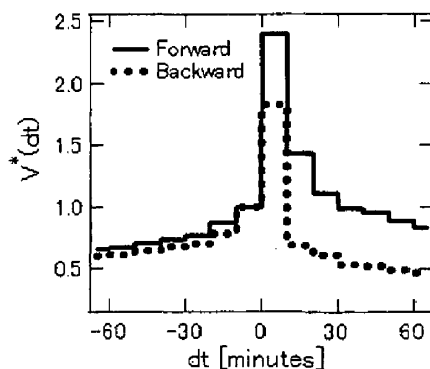


Fig.3 10分間のレート変動 $|P(t+10 \text{ min.}) - P(t)|$ が0.5 円/ドルから1.5 円/ドルの場合について、このレート変動前後の(2)式で定義される平均 Volatility $\langle V^*(dt) \rangle$ を示す. 実線は時間方向の正しい円ドルレートを解析した結果, 破線は時間方向を反転した円ドルレートを解析した結果を表す.[7]