

# ポジションを考慮したディーラーモデルによる 為替市場のシミュレーション

## Simulation of foreign exchange market using the dealer model with position

松永健太<sup>1\*</sup> 山田健太<sup>1</sup> 高安秀樹<sup>2</sup> 高安美佐子<sup>1</sup>  
Kenta Matsunaga<sup>1</sup> Kenta Yamada<sup>1</sup> Hideki Takayasu<sup>2</sup> Misako Takayasu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

<sup>1</sup> School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>2</sup> ソニー CLS

<sup>2</sup> Sony Computer Science Laboratories

**Abstract:** Through intensive analysis of high frequency market data, empirical laws of the foreign exchange markets have been discovered. For examples, the power law distributions of the absolute value of price changes, abnormal diffusion of prices in the short time scale and a normal diffusion in the large time scale. The dealer model is a model that directly simulates the dealer's behavior and satisfies these empirical laws. In this study, we introduce the new quantity of position to the basic dealer model defined by the ratio of yen property and dollar property. If a dealer's position is leaned to one side he tries to balance the position to avoid potential risks even the action is less profitable. The self-interest pursuit is the effect that the dealer acts so that his position may work advantageously by changing his price. As a result we obtain a phase diagram categorizing the difference of market price dynamics. With this revised model we can simulate the effects of loss-cut and loss-limit which are actually applied to real dealers in financial institutes.

## 1 はじめに

市場で取引するディーラーには所属する金融機関に取引ルールが定められている。その一つにロスリミットがある。ロスリミットとは、ある期間に許容される損失の限度額であり、それを超えてしまうと、そのディーラーは取引に参加することができなくなる。そのため、ディーラーはロスカット（損切り）をすることで、ロスリミットを超えないようにリスク管理を行っている。しかしながら、そのようなディーラーの行動が、しばしば市場で見られるような連鎖的な暴落現象を引き起こす要因の一つになっていると考えられている。

具体的な例として、2010年5月6日にニューヨーク株式市場で、ダウ工業株30種平均はわずか15分間で約700ドルも下落して1万ドルを割り込み、その後の20分間で約600ドル戻すという「バンジージャンプのような相場」（市場関係者）となり、市場は一時パニックに陥った事例を挙げる。米メディアによると、混

乱のきっかけは米大手金融機関のトレーダーによる誤発注であった。これに加え、証券各社のコンピューターが、自動的に損失回避の売り注文を出したことも株価急落に拍車をかけたとみられる。米CNBCテレビは「機械の暴走と人的ミスが原因」と報じている。

このようなコンピューターやディーラー個人が損失を最小化するために行うロスカットが、金融システム全体のリスクを高めてしまうような現象のメカニズムを科学的に解明する研究はまだあまりなされていない。ロスリミット及びロスカットの影響を考える際に、ディーラーの資産の状況を把握する必要がある。ディーラーの行動をモデル化したディーラーモデルの既存研究では市場の統計性を満たすモデルが構築されているが、ディーラーの資産の扱いはきちんと考慮されていなかった。

そこで、本研究では、既存のディーラーモデルに資産の比率であるポジションの概念を加えたモデルを構築する。ポジションの概念を加えることにより、価格形成に与える影響についても考察を行う。

\*連絡先：東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻  
〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259  
E-mail: matsunaga@smp.dis.titech.ac.jp

## 2 ディーラーモデル

ディーラーモデルは市場のディーラーの行動をモデル化するエージェントベースモデルの一種であり、決定論的ディーラーモデルが高安(秀)らによって最初に作られた[2]。その後、佐藤らによってディーラーモデルから生み出させる価格変動の分布がベキ分布になるメカニズムが解明され[4]、最近、山田らが提案した確率論的ディーラーモデルによって主要な市場の統計的性質を全て再現するモデルが構築された[6]。

本研究では,[6]で紹介されているディーラーが過去の価格を参考に未来を先読みをするトレンドフォローの効果によって、市場の統計的性質を満たす Model-3 を用いる。

### 2.1 Model

各ディーラーは買い値と売り値をセットにした指値を市場に提示している(図. 1)。簡単化のために、 $i$ 番目のディーラーの買い値と売り値の距離  $L_i$  は各ディーラー一定とし ( $L_i = L$ )、時刻  $t$  における  $i$ 番目のディーラーの買い値と売り値の中間値を  $p_i(t)$  とし (1) 式のように時間発展を定義する。ある時刻  $t$  において各ディーラーの買い値と売り値がマッチングしない時 [図.1(a)] は、取引が成立せず以下の時間発展方程式に従って  $p_i(t)$  をランダムに変化させる [図.1(b)]。

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) + d \langle \Delta P \rangle_M \Delta t + c f_i(t), \quad (1)$$

$$f_i(t) = \begin{cases} +\Delta p & (\text{prob. } 1/2) \\ -\Delta p & (\text{prob. } 1/2) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

ここで  $f_i(t)$  はノイズであり、確率  $1/2$  で  $+\Delta p$  をとり、確率  $1/2$  で  $-\Delta p$  をとり、 $c$  はノイズの大きさを決めるパラメータである。また (1) 式の右辺の第二項はトレンドフォローの項であり、次式によって与えられる。

$$\langle \Delta P \rangle_M = \frac{2}{M(M+1)} \sum_{k=0}^{M-1} (M-k) \Delta P(n-k). \quad (2)$$

$\Delta P(n) = P(n) - P(n-1)$  は  $n$  ティック目の価格差である。 $\langle \Delta P \rangle_M$  は重みがついた過去  $M$  ティックの移動平均である。(1) 式のパラメータ  $d$  はディーラーの戦略を決めるパラメータである。 $d > 0$  の時は順張り、 $d < 0$  の時は逆張りの戦略を示す。

あるディーラーの買い値と他のディーラーの売り値がぶつくと [図.1(c)] 取引が成立し市場価格  $P(n)$  と取引間隔  $I(n)$  がそれぞれ決定する。 $n$  は取引が成立すると 1 ずつ進む時間の単位であり、市場価格と取引間隔はそれぞれ  $P(n) = \{p_1(t) + p_2(t)\}/2$ ,  $I(n) = t - t'$

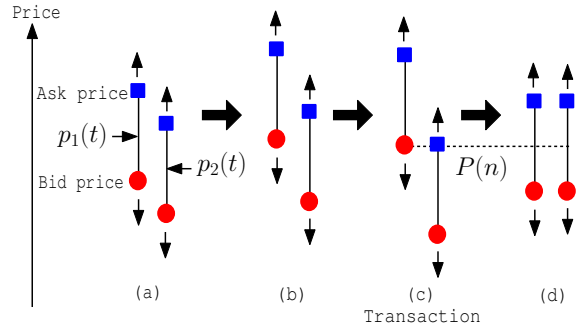


図 1:  $N = 2$  のディーラーモデルの時間発展。四角と丸はそれぞれ売り値と買い値を表す。 $i$  番目のディーラーの価格は売り値と買い値の中間値で与え、 $p_i(t)$  と書き以下のように時間発展する。(a): ディーラーの買い値はもう一人のディーラーの売り値よりも安いために取引は起きない。(b): 各ディーラーの指値はランダムウォークに従って時間発展する。(c):  $p_1(t)$  と  $p_2(t)$  の距離が  $L$  以上になると取引が発生する。市場価格は  $P(n) = \{p_1(t) + p_2(t)\}/2$  で与えられる。(d): 取引が終わった後、2人のディーラーの指値の中間値は市場価格と同じ値に設定され、再び (a) に戻る。

で与えられる。ここで、 $t'$  は一つ前の取引が成立した時刻を表す。取引成立後はディーラー全員は再び取引を行う為に指値の中間値を  $p_i(t) = P(n)$  と市場価格に設定する [図.1(d)]。本研究ではその他のパラメータは  $N = 4, L = 0.0175, \Delta p = 0.01, \Delta t = \Delta p \cdot \Delta p, M = 1$  を用いた。

## 3 追加効果

### 3.1 ポジション

初期のディーラーはドル資産と円資産を所持しており、取引を行う度にドルと円を交換する。ディーラーが持つドル資産と円資産の比率であるポジションを次式で定義する。

$$q = \frac{\text{ドル資産 (円建て)} - \text{円資産}}{\text{ドル資産 (円建て)} + \text{円資産}} \quad (3)$$

$q > 0$  の時はドル資産が多く、 $q < 0$  の時は円資産が多いことを意味する。なお、円建てとはドルを円ベースで計算を行うことである。

### 3.2 ポジション制限

ディーラーの取引に以下のポジション制限というルールを設ける。ドルを買う場合はその時の為替レート分の

円資産がなければ買うことができない。ドルを売る場合はその時の為替レート分のドル資産がなければ売ることができない。以降、既存のディーラーモデルにポジションの概念を追加したモデルを Model-p と呼ぶ。

### 3.3 妥協 (ポジションの歩み寄り) 効果

ディーラーはポジション ( $q$ ) がある閾値 ( $T$ ) を超えると、提示価格を妥協してでも強制的にポジションを減らす効果を以下の条件で設ける。ドル資産を持ちすぎている場合 ( $q > T$ )、ディーラーは次式のように提示価格を下げてでもドルを売って円を調達する。

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) - cf_i(t) \quad (\text{prob. } 1) \quad (4)$$

円資産を持ちすぎている場合 ( $-q > T$ )、ディーラーは次式のように提示価格を上げてでもドルを買ってドルを調達する。

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) + cf_i(t) \quad (\text{prob. } 1) \quad (5)$$

また、妥協の強さを次式で定義する。

$$C = 1 - T \quad (6)$$

閾値  $T$  が大きい場合、妥協の強さ  $C$  は小さくなり妥協しにくくなる。逆に閾値  $T$  が小さい場合、妥協の強さ  $C$  は大きくなり妥協しやすいことを意味する。以降、Model-p に妥協効果を追加したモデルを Model-p2 と呼ぶ。

### 3.4 自己利益追求効果

自分のポジションが得をするように、提示価格の上下確率  $1/2$  から次式で定義する  $\epsilon$  変化させる効果。

$$\epsilon = W \frac{\text{ドル資産 (円建て)} - \text{円資産}}{\text{ドル資産 (円建て)} + \text{円資産}} = Wq \quad (7)$$

$W$  は  $\epsilon$  の変化を調節する重み付けであり、正の値をとる。つまり、ドルのポジションが多い ( $q > 0$ ) 場合、ディーラーはドルの値段を上げるために提示価格の上下確率  $1/2$  から次式のように変化させる。

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) + d \langle \Delta P \rangle_M \Delta t + cf_i(t) \quad (8)$$

$$f_i(t) = \begin{cases} +\Delta p & (\text{prob. } 1/2 + \epsilon) \\ -\Delta p & (\text{prob. } 1/2 - \epsilon) \end{cases} \quad (9)$$

円のポジションが多い ( $q < 0$ ) 場合、ディーラーはドルの値段を下げるために提示価格の上下確率  $1/2$  から次式のように変化させる。

$$p_i(t + \Delta t) = p_i(t) + d \langle \Delta P \rangle_M \Delta t + cf_i(t) \quad (10)$$

$$f_i(t) = \begin{cases} +\Delta p & (\text{prob. } 1/2 - \epsilon) \\ -\Delta p & (\text{prob. } 1/2 + \epsilon) \end{cases} \quad (11)$$

以降、Model-p2 に自己利益追求効果を追加したモデルを Model2-p2 と呼ぶ。

## 4 追加効果に対するシミュレーション結果の考察

### 4.1 ポジション制限

図.2 はポジション制限のルールのもと価格変動の時系列を示したものである。図.3 はその場合の 1tick の価格差の絶対値の累積分布を示している。

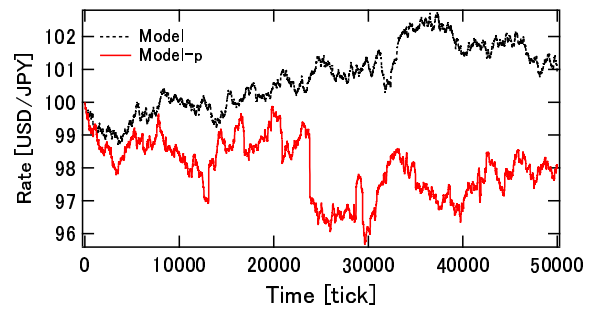


図 2: ポジション制限を加えた場合の価格の時系列

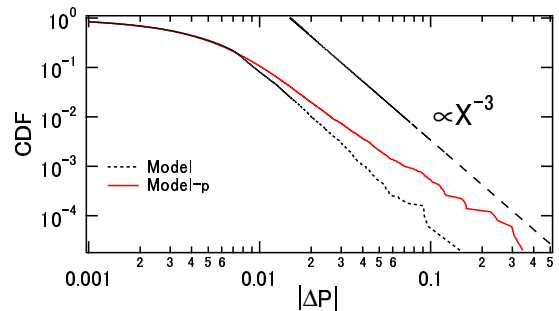


図 3: ポジション制限を加えた場合の 1tick あたりの価格差の累積分布

図.2.3 よりポジションに制限を設けることで、大きな価格変動が起きやすくなることがわかる。このメカニズムは以下の通りである。まずポジション制限にかかったディーラーは取引に参加できなくなり、取引可能なディーラーが減ってしまう。そのため取引が起きにくくなり、その間に価格が大きく動いてしまう。結果、大きな価格差が生じる。

## 4.2 妥協効果

図.4 はポジション制限かつ妥協効果を加えた場合の価格変動の時系列を示したものである. 図.5 はその場合の 1tick の価格差の絶対値の累積分布を示している.

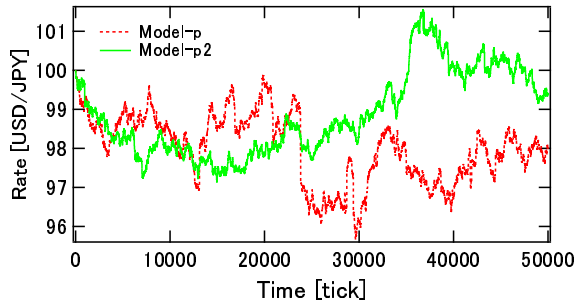


図 4: 妥協効果を加えた場合の価格の時系列

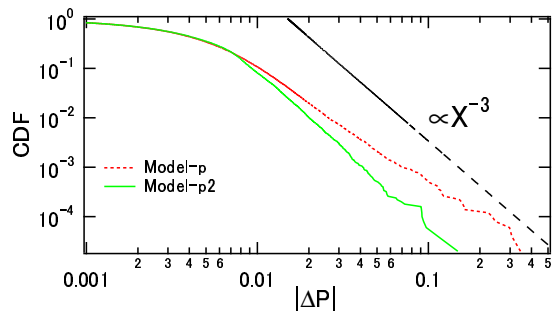


図 5: 妥協効果を加えた場合の 1tick あたりの価格差の累積分布

妥協効果を加えることで図.2.3 で見られた大きな価格変動がなくなるのが分かる. このメカニズムは以下の通りである. 大きな価格差を生み出す要因は取引可能なディーラーの減少である. ポジションの制限にかかってしまったディーラーは, すぐに妥協効果によりポジションを解消するので, 取引ができなくなるのを回避できる. 結果, 取引可能なディーラーの減少がなくなり, 大きな価格変動がなくなる.

## 4.3 自己利益追求効果

図.6 は自己利益追求の重み ( $W$ ) を変化させた場合の時系列を示しており, 重みが小さい場合 ( $W = 10^{-6}$ ) は価格変動が大きく, 重みが大きい場合 ( $W = 10^{-4}$ ) は価格変動が小さくなっている. 図.7 は価格差の絶対値の累積分布を示しており, 重みが小さい場合はベキ分布

であるが, 重みが大きい場合は正規分布に近づくのがわかる.

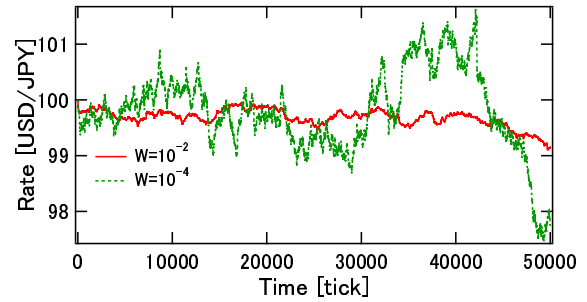


図 6: 自己利益追求効果を加えた場合の価格の時系列

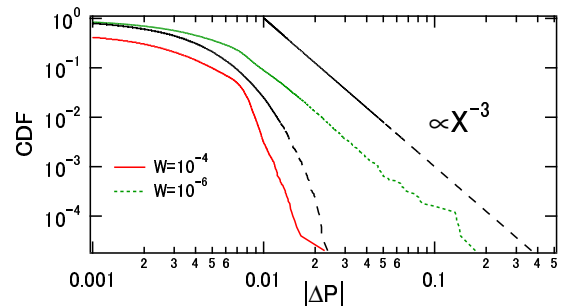


図 7: 自己利益追求効果を加えた場合の 1tick あたりの価格差の累積分布

このメカニズムは以下の通りである. 重みが小さい場合は取引にあまり影響はないが, 重みが大きいと, ポジションを増やす確率が大きくなる. そのため, すぐにポジションが閾値 ( $T$ ) を超えてしまい, ディーラーは妥協をする. ポジション追求効果の重みが大きいと, トレンドフォロワーの効果なくなる妥協による取引が頻繁に行われるために, 累積分布は正規分布に近づく.

## 5 妥協の強さと自己利益追求の重みの関係

本研究で追加した妥協効果と自己利益追求効果のパラメータで相図 (概念図) を描くことができ, 大きく 4 個の領域に分けることができる.

- 領域 1 は妥協効果が大きく自己利益追求効果が強い時であり, この場合は価格の拡散は短期的に通常拡散で長期的には異常拡散を示す.
- 領域 2 は妥協効果が小さく自己利益追求効果が強い時であり, この場合は価格が動かなくなる.

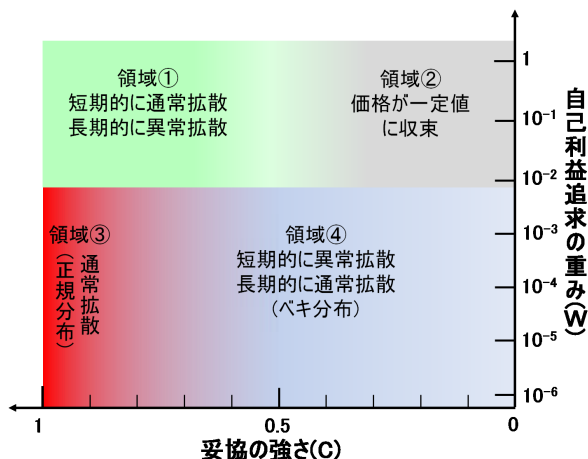


図 8: 妥協の強さ  $C$  と自己利益追求の重み  $W$  の相図

- 領域 3 は妥協効果が大きく自己利益追求効果が弱い時であり、この場合は価格の拡散は通常拡散を示す。
- 領域 4 は妥協効果が小さく自己利益追求効果が弱い時であり、この場合は価格の拡散は短期的に異常拡散で長期的に通常拡散を示す。

既存のディーラーモデルはこの領域 4 で妥協効果と自己利益追求効果が限りなく小さい場合である。

### 5.1 領域 1(妥協効果が大きく自己利益追求効果が強い時)

図.9 は自己利益追求のパラメータ  $W = 1$  とし、妥協のパラメータを  $C = 0.7, 0.8, 0.9$  の場合の価格の時系列であり、図.10 は価格の拡散を示している。

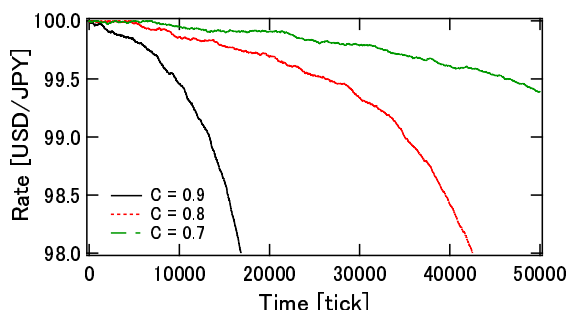


図 9: 領域 1 の価格の時系列

この領域では価格が一定方向に進んでいるのが分かる。これは妥協効果と自己利益追求効果ともに強いので自己利益追求するディーラーと妥協するディーラー

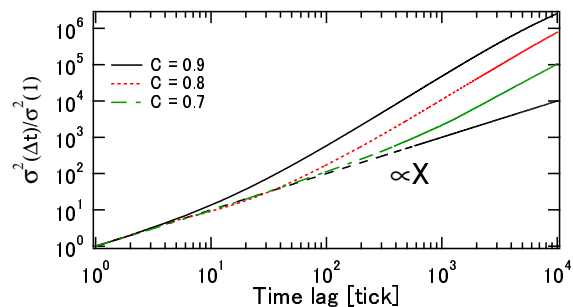


図 10: 領域 1 の価格の拡散

によって価格形成が行われるために、自己利益追求するディーラーが提示する価格に引っ張られ、価格がある一定方向に進むことになる。

### 5.2 領域 2(妥協効果が小さく自己利益追求効果が強い時)

図.11 は自己利益追求のパラメータ  $W = 1$  とし、妥協のパラメータを  $C = 0, 0.2, 0.4$  の場合の価格の時系列を示している。この領域では価格が一定値になるのがわかる。

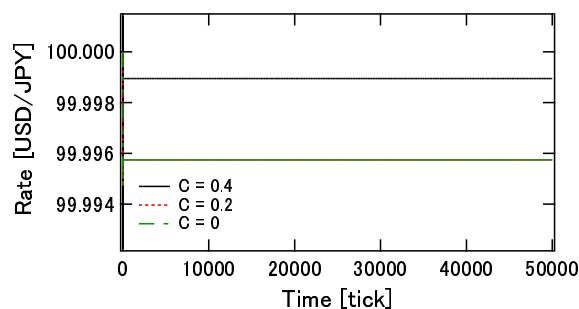


図 11: 領域 2 の時系列

これは自己利益追求の効果が大きいため、自己利益追求するディーラー同士によって価格形成が行われるために、お互いが意地の張り合いのようになり、価格が動かなくなってしまう。

### 5.3 領域 3(妥協効果が大きく自己利益追求効果が弱い時)

図.12 は妥協のパラメータ  $C = 0.8$  とし、自己利益追求のパラメータを  $W = 10^{-2}, 10^{-4}, 10^{-6}$  の場合の 1 tick の価格変動の累積分布、図.13 は価格の拡散を



示している. 図より 1 tick の価格変動の累積分布が正規分布に近いことが分かる.

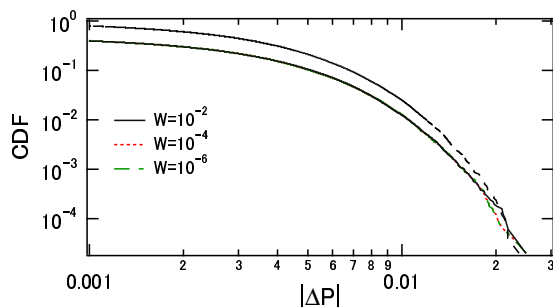


図 12: 領域 3 の 1tick あたりの価格差の累積分布

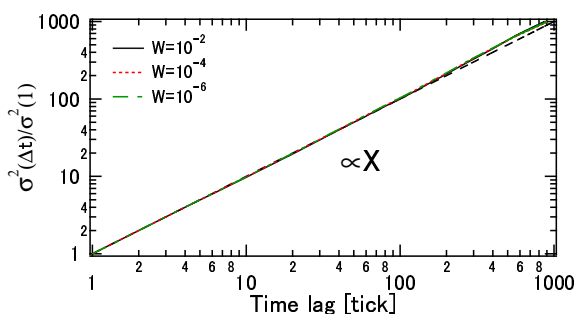


図 13: 領域 3 の価格の拡散

これは妥協効果が大きいいため, デイラーはすぐにポジションを妥協効果に従ってポジションを解消してしまう. そのため妥協するデイラー同士で価格形成が行われるため, 単純なランダムウォークの取引と同じになる. 結果, 1tick あたりの価格差の累積分布が正規分布, 価格の拡散が通常拡散を示す.

#### 5.4 領域 4(妥協効果が小さく自己利益追求効果が弱い時)

図.14 は妥協のパラメータ  $C = 0.5$  とし, 自己利益追求のパラメータを  $W = 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-6}$  の場合の 1 tick の価格差の累積分布, 図.15 は価格の拡散を示している.

図.14.15 より 1 tick の価格差の累積分布がべき分布に従い, 価格の拡散も短期的に異常拡散であり, 長期的には通常拡散に従うことが分かる. これは妥協効果と自己利益追求効果が小さいので, トレンドフォロワーの効果が効いているのが分かる.

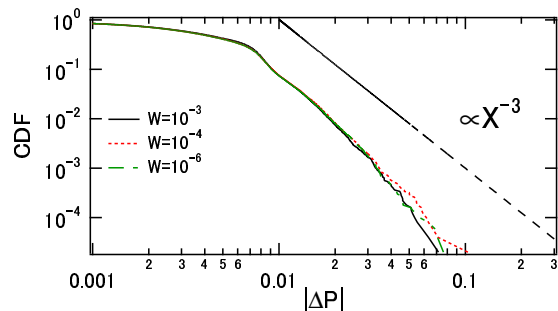


図 14: 領域 4 の 1tick あたりの価格差の累積分布

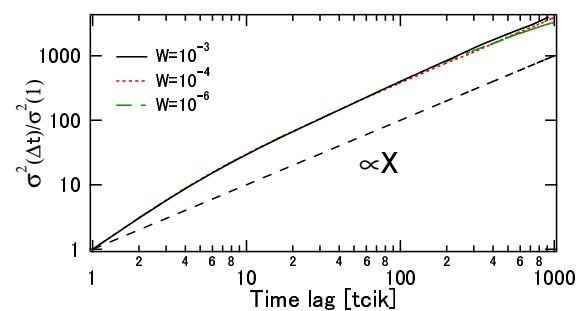


図 15: 領域 4 の価格の拡散

## 6 まとめ

本研究では既存のディーラーモデルにポジションの概念を追加し, より現実的なモデルを構築した. デイラーが自分のポジションを増やしすぎないために行う妥協効果と自分のポジションが有利になるようにポジションを増やす自己利益追求効果の 2 つのパラメータの相図を示した. 今後は, このモデルにロスリミット・ロスカットを導入することで, 連鎖的な暴落現象を再現するシミュレーションを試みる予定である.

## 参考文献

- [1] 高安秀樹, 高安美佐子, 『エコノフィジクスー市場に潜む物理法則』, 日本経済新聞社, 2001.
- [2] H. Takayasu, H. Miura, H. Hirabayashi and K. Hamada, Physica A 184, 127-134 (1992).
- [3] T. Hirabayashi, H. Takayasu, H. Miura and K. Hamada, Fractals 1, 29-37 (1993).
- [4] A. Sato and H. Takayasu, Physica A 250, 231-252 (1998).
- [5] K. Yamada, H. Takayasu and M. Takayasu, Physica A 382, 340-346 (2007).
- [6] K. Yamada, H. Takayasu and M. Takayasu, Phys. Rev. E 79, 051120 (2009).

- [7] H. Takayasu, A.-H. Sato and M. Takayasu, Phys. Rev. Lett. 79 966-969 (1997).
- [8] K. Yamada, H. Takayasu and M. Takayasu, Submitted.