

# 人工為替市場モデルを用いた価格ダイナミクスの統計性に関する研究

理学専攻・情報科学コース  
小西幸奈

## 1 はじめに

国を超えて異なる通貨のやり取りを支えているのが外国為替市場である。外国為替とは、異なる通貨を持つ2国間の金融機関同士が資金移動するために小切手や約束手形、電子送金などを利用して安全に遠隔地にお金を輸送する手段であり、この通貨交換の際にレートを決める市場が外国為替市場である [1]。為替市場の注文情報は板と呼ばれる売買注文の集計表に記録されており、板から現時点における売買それぞれの注文分布と市場価格を知る事が出来る。図1は板の模式図を示す。横軸に値段をとり、縦軸に注文数をとる。縦軸正方向が売り注文の量であり、縦軸負方向が買い注文の量である。価格上に各売り注文 (ask, 赤丸)、買い注文 (bid, 青丸) を○で示している。買い注文の最安値を best ask、売り注文の最高値を best bid といい、この売買注文の最適値の中間値がその時刻における市場価格 (mean) である。

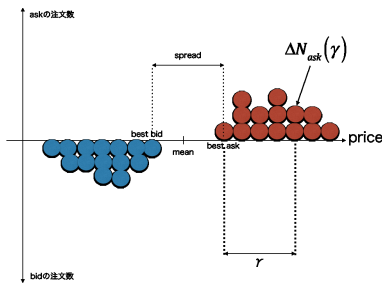


図1: 板情報の概念図

近年、外国為替市場の高精度データの解析により、金融市場における多くの経験則が明らかになってきている [2]。由良ら [3] は、市場価格の変動が浮遊するコロイド粒子の運動と良いアナロジーを持つ事を示した。この性質は、板 (注文) の統計的性質が市場価格からの距離に応じて異なることに基づくが、この板の統計性の違いを生む微視的な機構は不明である。

## 2 板モデルの構築

本研究では、トレーダーの動向を考慮した人工市場モデル [4] を構築し、戦略による板の構造の変化を調べた。板モデルとは、注文を確率的に選択していく人工市場モデルの一つである。為替取引では、指値 (数量、値段ともに指定した注文) と成行 (数量のみ指定し、値段は市場価格に従う) の2つの注文方法がある。例えば Maslov ら [5] は板モデルを用い、市場は5つの手順 (指値注文→成行注文→成行約定→指値約定→キャンセル) にのみ従い稼働するとして成行および売買はいずれも当確率で生じるとしたモデルから価格変化の分布が冪的な裾を持つことを示した。図??に我々の採用した注文のスキームを示す。各指値注文は確率  $P_{lo}$  に従って入り、そのうち確率  $P_{lobid}$  で買い注文と

なる。成行注文は  $1 - P_{lo}$  で入り、確率 0.5 で買い注文が入る。すべての注文が入った後約定が行われ、その後確率 0.1 でキャンセルされる。以下具体的なモデルについて説明する。

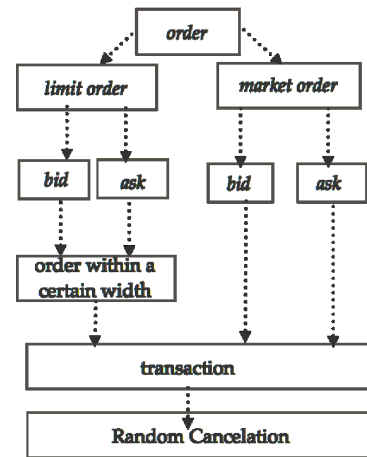


図2: 注文のスキーム

### 2.1 指値注文の分布形状

相場形成は、指値注文の注文分布の形状に強く影響を受ける。そこで本研究では、指値注文の分布形状に改良を施した板モデルを構築した。注文は最適値近傍で最も多く入ると考えられる。そこで一様分布と指数分布 [6] の2パターンで試行した。ask 注文の場合、best-bid から注文が入り、分布の幅はその時点での ask の注文分布の端までとする。bid 注文も同様にする。実際に FX 市場では注文が指数分布で入ることが示唆されている [6]。

### 2.2 トレンドフォロー

注文戦略の一つとして、相場が高くなると買い、安くなると売るというトレンドに乗せた投資手法である「順張り」という手法がある。本モデルでは「順張り」の効果を、買いの指値注文の確率  $P_{lobid}$  を価格の速度  $v$  に依存させることで取り入れた。

$$P_{lobid} = \frac{1}{2} + \alpha \frac{v}{2|v|} \quad (1)$$

価格速度  $v$  は過去5ステップ分の移動平均を用いて算出した。以下の結果はすべて  $10^6$  ステップのデータを取り、 $10^2$  ステップごとに時間平均をとったものである。また、指値注文と成行注文の割合は  $P_{lobid}=0.7$  とした。

## 3 結果

### 3.1 市場のダイナミクス

時刻  $t = 0$  で図2に示すスキームに従い注文を受け入れ約定し、市場が動き始める (図3)。この時価格は

長時間では正常拡散を示していた。また指数分布の場合には一様分布に比べてボラティリティが大きくなる(図4)。これは、best値近傍の注文密度が一様分布に比べ指数分布の方が高くなるため、一回のステップで行われる約定数が多くなり、価格がより大きく動くためである。

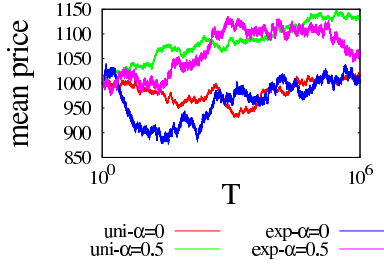


図3: 価格の時間変化

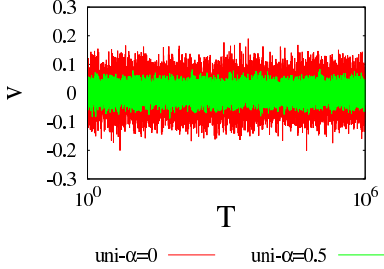


図4: 速度の時間変化 ( $\alpha = 0$ )

### 3.2 速度と注文数変化の相関

より詳細に板の構造を調べるため、best値からの距離 $\gamma$ における注文数変化と価格速度 $v$ の相関 $cor_{v\Delta n}(\gamma)$ を調べた。

$$cor_{v\Delta n}(\gamma) = \frac{\langle v\Delta n(\gamma) \rangle}{\sigma_v \sigma_{\Delta n}} \quad (2)$$

ただし、 $\sigma_v$ と $\sigma_{\Delta n}$ はそれぞれ $v$ と $\Delta n$ の標準偏差である。askの場合、 $\gamma > 0$ の領域において相関が負から正に反転することがわかる(図5,6)。bid側についても同様の構造がみられた。この形状は、由良ら[3]が解析した実データでの結果と類似している。

## 4 考察と展望

本研究では、簡単な板モデルを用いて、戦略を考慮した人工市場モデルを構築し、板の統計的性質を調べた。本モデルでは、非常に簡単な確率モデルであるにも関わらず、実データ解析から得られた実際の板の構造と一致した性質が得られた。ask側では、best値近傍では価格が上昇している場合には注文数は減少する確率が高く、そのため価格速度と注文数の相関は負になると考えられる。また、best値遠方、つまりask注文の裾付近では、約定もほぼ起こらず、キャンセルされる以外には指値注文により確率的に入った注文が残るのみである。従って、価格が上昇している場合には正の相関が誘発される。これに対して、順張りを入れると相関の反転する箇所が深くなる(右にずれる)。best値近傍で $v$ が正の時には順張りモデルの方が指値注文が少なく、成行注文がより広範囲で約定される。よって注文数変化が負となり相関が負となる。 $v$ が負の時

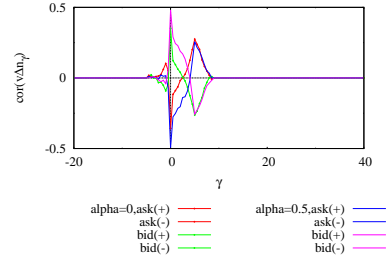


図5: 速度と注文数変化量の相関：一様分布

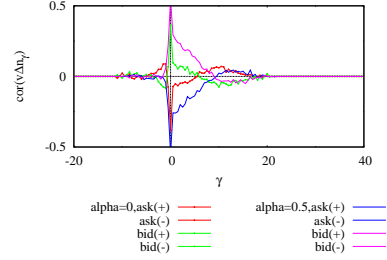


図6: 速度と注文数変化量の相関：指数分布

には順張りモデルの方が指値注文が多く入るので成行注文で約定される範囲が少なくなり、注文数変化が正となるので相関は負となる。したがって、順張りモデルでは相関が負となる範囲が広がる。今後は、より多くのトレーダーの戦略を考慮したモデルを構築し、それら戦略の影響について調べたい。

## 参考文献

- [1] 高安秀樹. 経済物理学の発見. 光文社, 2009.
- [2] Toru Ohira, Naoya Sazuka, Kouhei Marumo, Tokiko Shimizu, Misako Takayasu, and Hideki Takayasu. Predictability of currency market exchange. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 308, No. 1-4, pp. 368 – 374, 2002.
- [3] Yoshihiro Yura, Hideki Takayasu, Didier Sornette, and Misako Takayasu. Financial brownian particle in the layered order-book fluid and fluctuation-dissipation relations. *Physical review letters*, Vol. 112, No. 9, p. 098703, 2014.
- [4] 山田健太, 高安秀樹, 高安美佐子. 経済物理学的手法を用いたエージェントベースモデルによる金融市場のモデル化と応用, sig-fin-006-003 2011.
- [5] Sergei Maslov. Simple model of a limit order-driven market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 278, No. 3-4, pp. 571 – 578, 2000.
- [6] 山田健太, 高安秀樹, 高安美佐子. 金融市場における板情報の解析とモデル化. No. 327, pp. 1169(1-2), March 2014.