

外国為替市場の個々のトレーダのトラッキング解析： ミクロモデルの提案とその平均場理論

Analysis of individual traders' strategies in a foreign exchange market: microscopic modeling and corresponding mean-field theory

金澤輝代士^{1,2*} 末重拓己² 高安秀樹^{1,3} 高安美佐子^{1,2}

¹ 東京工業大学 科学技術創成研究院

² 東京工業大学 情報理工学院

³ Sony Computer Science Laboratories

Abstract: Recent technological breakthrough has enabled us to study the microstructure of financial markets using the high-frequency trading data. In this presentation, we review our recent preprint (arXiv: 1703.06739), in which individual traders's strategies are analyzed on the basis of informative order book data with anonymized trader identifications. We empirically study the trend-following behavior of individual traders on the basis of conditional statistical analysis. We then propose a microscopic model of financial markets on the basis of the empirical finding of trend-following of individual traders. We further develop a systematic theory to our microscopic model paralleling to the mathematical formulation of kinetic theory. Finally, the agreement between empirical results and our theoretical predictions are shown in terms of the order book profile and the price movement distribution.

1 導入：外国為替市場のデータ解析

近年社会現象の高頻度データが豊富に集まるようになり、社会科学分野で注目を浴びている。例えば、金融市場では価格時系列のみならず、オーダーブックデータと呼ばれる高頻度データが入手可能になった。オーダーブックデータは最終的な取引に至るまでのトレーダー達のやり取り（指値注文）を記載したデータであり、価格時系列よりもはるかに多い情報が含まれている。事実、オーダーブックの一部には将来の価格形成と強相関をもつ部分が存在することがデータからも示されている [1, 2]。また、オーダーブックを理論的にモデル化することも盛んに行われており、単なる時系列モデルを超えたより精密なモデル化の方向として着目を浴びている。

一方、より細かいスケールとしては個々のトレーダーの戦略をモデル化する方向性も考えられる。事実エージェントベースモデルの文脈では、Lux-Marchesi モデルのように個々のトレーダーの戦略の多様性を反映させたミクロモデルなどが提案されており [3]、価格時系列レベルのマクロな性質と整合的な結果を再現するこ

とに成功している。しかし、既存のミクロモデルの殆どは純理論的に構築されており、そのモデルの仮定は実証的に検証されていなかった。これはトレーダーのアカウントレベルのデータはなかなか入手が困難であり、長らく実証が困難だったことに起因する。ところが近年、高速トレーダー（HFT）が台頭することに伴い、トレーダーのミクロな性質の実証研究が少しずつ行われ始めている [4]。本講演では特に、外国為替市場における個々のトレーダーの行動分析・その理論的枠組みに関する研究結果を文献 [5] に基づいて報告する。特に、単なる個々のトレーダーの戦略分析のみにとどまらず、そういったミクロ構造からよりマクロな市場の構造（e.g., オーダーブックの形状・価格変動の分布）をも体系的に数理的手法を用いて説明することを試みた。

2 研究結果

我々は NEX 社が提供するインターバンク市場 Electronic Broking Services (EBS) のデータ解析を行い、個々のトレーダーの行動を直接トラッキングしながら戦略分析を行った。今回解析に使用したデータは、2016年6月5日から6月10日の週についての円ドル市場のデータであり、全てのトレーダーの指値注文（新規注

*連絡先：東京工業大学科学技術創成研究院 ビッグデータ数理科学研究ユニット
〒 226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 S1-3
E-mail: kanazawa.k.ae@m.titech.ac.jp

文・キャンセル注文)・成行注文の行動記録が匿名化されたトレーダー ID とともに記載されている。特に我々は HFT の指値注文に着目を行い、過去の価格時系列(約定値)に応じて個々の HFT の指値注文がどのように変化するかを条件付き統計の手法を用いて解析した。その結果、市場でも特に高速に反応する HFT は、過去の短時間での価格変化と正の相関を持ちながら指値注文を動かす傾向があることがわかった。更に、その移動量の平均値 $\langle \Delta z_i \rangle$ と直近の市場の価格差 Δp との間には普遍的な関係があり、ある単一のスケール関数(双曲線正接関数)でフィットできることがわかった。この結果は、HFT は概ねトレンド・フォローの戦略を採用しており、弱いトレンドには線形にトレンド・フォローするが、強いトレンドにはあまり反応しない戦略を採用していると解釈できる。

次に我々は、観測されたトレンド・フォローに関する経験則を取り入れることによって新たなマイクロモデルを理論的に提案した。このモデルは文献 [6, 7] を実証データに基づいて改良したモデルである。更にこのモデルを分子運動論 [8] で発達してきた平均場近似の手法を用いて、解析的に解くことに成功した。分子運動論では多体系の運動方程式を出発点に、解析力学の Liouville 方程式を経由して、少数分布関数についての Bogoliubov-Born-Green-Kirkwood-Yvon (BBGKY) 階層方程式を導く。更に BBGKY 階層方程式に平均場近似 (i.e., 分子カオスの仮定) を施すことにより、Boltzmann 方程式に到達する。我々は同種の数理テクニックを用いることで、外国為替市場のオーダーブックを記述する Boltzmann-like な方程式を導出した。更にトレーダーの人数 N が大きい極限での漸近展開を行い、解析解を導出した。その結果オーダーブックの平均的形状をフィッティングパラメータなしで説明することに成功した。更に、市場での約定価格の変化が短期では指数分布・長期ではべき分布に従うことを定性的に説明した。

外国為替市場での価格変化は長期スケールではべき分布に従うことが知られているが、我々はデータ解析を通じて、少なくとも円ドル市場では短期スケールでは指数分布に従っており、長期スケールではその重ね合わせとしてべき分布に見えることを実証的に示した。特にべき分布の裾野となるイベントが発生する時間帯は、市場が不活発でトレーダーが殆どいない時間帯とオーバーラップすることを示した。以上を通じて、個々のトレーダーの注文行動を出発点に、オーダーブックの形状・価格変動の分布といったよりマクロな性質を体系的に説明した。

3 今後の展望

現在新たに進めている研究結果・今後の展望についても、講演の時間があれば報告する予定である。具体的には次のような内容を考えている：文献 [5] では主に HFT の指値注文の超短期の時間スケールに焦点を当てて調査を行ったが、どの程度の時間スケールでトレーダーが反応を起こすかなどの、時間スケールの多様性はまだ調べられていない。今後の課題として個々のトレーダーが反応する典型的な時間スケールの多様性を研究する予定である。また、文献 [5] では指値注文に焦点を当てて研究を行ったが、次は成行注文についての統計的性質などを調べる必要があると考えている。例えば、文献 [9] では成行注文に逆張りのトレーダーが存在していることが示唆されているが、この市場のデータセットでも同様のトレーダーが存在するか、または違う傾向が見られるのか、などを体系的に調査することも課題である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、香取真理氏、早川尚男氏、一木信吾氏、柳澤大地氏、山田健太氏、小川駿氏、F. van Wijland 氏、D. Sornette 氏、佐野雅己氏、佐野友彦氏、伊藤隆敏氏との議論が参考になりました。ここで謝辞させていただきます。また、本研究は科学研究費補助金若手研究 B (No. 16K16016)、学術振興会特別研究員研究奨励費 (No. 17J10781)、戦略的国際共同研究プログラム (SICORP) からサポートを受けていることを明記させていただきます。

参考文献

- [1] Y. Yura, H. Takayasu, D. Sornette, and M. Takayasu, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 098703 (2014).
- [2] Y. Yura, H. Takayasu, D. Sornette, and M. Takayasu, *Phys. Rev. E* **92**, 042811 (2015).
- [3] F. Slanina, *Essentials of Econophysics Modelling* (Oxford, 2014).
- [4] A.J. Menkveld, *J. Financ. Mark.* **16**, 712 (2013); *Annu. Rev. Financ. Econ.* **8**, 1 (2016).
- [5] K. Kanazawa, T. Sueshige, M. Takayasu, H. Takayasu, *ArXiv: 1703.06739* (2017).
- [6] H. Takayasu, H. Miura, T. Hirabayashi, and K. Hamada, *Physica A* **184**, 127 (1992).

- [7] K. Yamada, H. Takayasu, T. Ito, and M. Takayasu, *Phys. Rev. E* **79**, 051120 (2009).
- [8] S. Chapman and T.G. Cowling, *The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases* (Cambridge University Press, Cambridge, 1970).
- [9] J.A. Brogaard, *High Frequency Trading and Its Impact on Market Quality* (Northwestern University, 2010).