

人工市場を用いた大規模誤発注が価格変動に与える影響の分析

Investigation of Large Mistaken Orders Impact to Price Formation in an Artificial Market

水田 孝信^{*1*2} 和泉 潔 ^{*2*3} 八木 勲 ^{*4} 吉村 忍^{*2}
 Takanobu Mizuta Kiyoshi Izumi Isao Yagi Shinobu Yoshimura

^{*1}スパークス・アセット・マネジメント株式会社
 SPARX Asset Management Co. Ltd.

^{*2}東京大学大学院 工学系研究科
 School of Engineering, The University of Tokyo

^{*3}科学技術振興機構 CREST & さきがけ
 CREST & PRESTO, JST

^{*4}神奈川工科大学情報学部
 Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology

We built an artificial market model and investigated for large mistaken orders impact to price formations. Comparing the case of consented large mistaken orders in short term with continuous small mistaken orders in long term, if amounts of orders are same, we found that the orders induced almost same price fall range. We also analyzed effects of price variation limits for mistaken orders and found that price variation limits which employ a shorter limitation term than the term existing mistaken orders were effective to prevent a large price fluctuation.

1. はじめに

金融市場では、しばしば、大規模な誤発注が原因と考えられる価格の急騰・急落が発生する。このような価格の乱高下は金融市場全体への混乱要因になる。例えば、2010年5月に米国市場で発生したフラッシュ・クラッシュは、誤発注も原因であると言われており、金融市場全体を大きく混乱させた [U.S.CommodityFuturesTradingCommission 10]。また誤発注は、それを行ってしまった金融機関が大きな損失を出したり破綻する場合もあるなど大きな問題である。そのため、大規模な誤発注に対してどのような規制・制度で対応するかが大きな議論となっている [清水 12]。

大規模な誤発注は多くの事例があるわけではなく、価格形成にはさまざまな要因が複雑に関わっているため、実証研究では誤発注の効果だけを取り出すことが困難である。そのため、実証研究だけで誤発注にどのような規制・制度で対応するかを議論するのは難しい。このような議論をするためには、人工市場シミュレーションが有効である^{*1}。人工市場シミュレーションは金融市場における各種の制度や規制の検証に多くの成果をあげてきた [Westerhoff 08, Yagi 10a, Yagi 10b, Yeh 10, Kobayashi 11, Thurner 12, 水田 13a, Mizuta 13b, Mizuta 13c]。しかしながら、大規模誤発注に対する値幅制限の効果は、人工市場シミュレーションを用いた詳しい調査は行われていない。

本研究では [Chiarella 09, Mizuta 13b, Mizuta 13c] の人工市場モデルをベースにモデルを構築し、大規模誤発注が価格変動に与える影響の分析を分析した。大量の誤発注が短時間に集中する場合と、少量の誤発注が長期にわたる場合を比較すると、総誤発注株数が同一であるならば、両者は同程度の価格下落を導くことが分かった。また、誤発注時の値幅制限の効果を分析した結果、誤発注が続く期間より短い期間の騰落率を制限する値幅制限が有効であることが分かった。以後2節では本研究で用いた人工市場モデルを説明する。3節ではシミュレーション結果を示し、4節で結果と今後の課題を述べる。

2. 人工市場モデル

本研究では [Chiarella 09, Mizuta 13c, Mizuta 13b] の人工市場モデルをベースにモデルを構築した。本モデルは1つの証券のみを取引対象として、価格決定メカニズムは、連続ダブルオークション方式^{*2}(ザラバ方式)とした。 n 体のエージェントがあり、エージェント番号 $j = 1$ から順番に $j = 2, 3, 4, \dots$ と注文を出す。最後のエージェント $j = n$ が注文を出すと、次の時刻にはまた初めのエージェント $j = 1$ から注文を出し繰り返される。時刻 t は1体のエージェントが注文を出すごとに1増える。つまり、注文をただで取引が成立しない場合も1ステップ進む。エージェント j は注文価格、売り買いの別を以下のように決める。時刻 t にエージェント j が予想する価格の変化率(予想リターン) $r_{e,j}^t$ は、

$$r_{e,j}^t = \left(w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^t} + w_{2,j} r_{h,j}^t + w_{3,j} \epsilon_j^t \right) / \sum_{i=1}^3 w_{i,j}. \quad (1)$$

ここで、 $w_{i,j}$ はエージェント j の i 項目の重みであり、シミュレーション開始時に、それぞれ0から $w_{i,max}$ まで一様乱数で決める。 P_f は時間によらず一定のファンダメンタル価格、 P^t は時刻 t での取引価格(取引されなかった時刻では最も最近取引された価格であり、時刻 $t=0$ では $P^t = P_f$ とする)、 ϵ_j^t は時刻 t 、エージェント j の乱数項であり、平均0、標準偏差 σ_ϵ の正規分布乱数である。 $r_{h,j}^t$ は時刻 t にエージェント j が計測した過去リターンであり、 $r_{h,j}^t = \log(P^t/P^{t-\tau_j})$ である。ここで τ_j はシミュレーション開始時に1から τ_{max} までの一様乱数でエージェントごとに決める。式(1)の第1項目はファンダメンタル価格と比較して安ければプラスの予想リターンを高めればマイナスの予想リターンを示す、ファンダメンタル価値を参照して投資判断を行うファンダメンタル投資家の成分である。第2項目は過去のリターンがプラス(マイナス)ならプラス(マイナス)の予想リターンを示す、過去の価格推移を参照して投資判断を行うテクニカル投資家の成分であり、第3項目

連絡先: 水田 孝信, スパークス・アセット・マネジメント株式会社, mizutata@gmail.com

^{*1} 優れたレビューとして [LeBaron 06, Chen 09]。

^{*2} 売り手と買い手の双方が価格を提示し、売り手と買い手の提示価格が合致するとその価格で直ちに取引が成立する方式 [Friedman 93, TokyoStockExchange 12]。

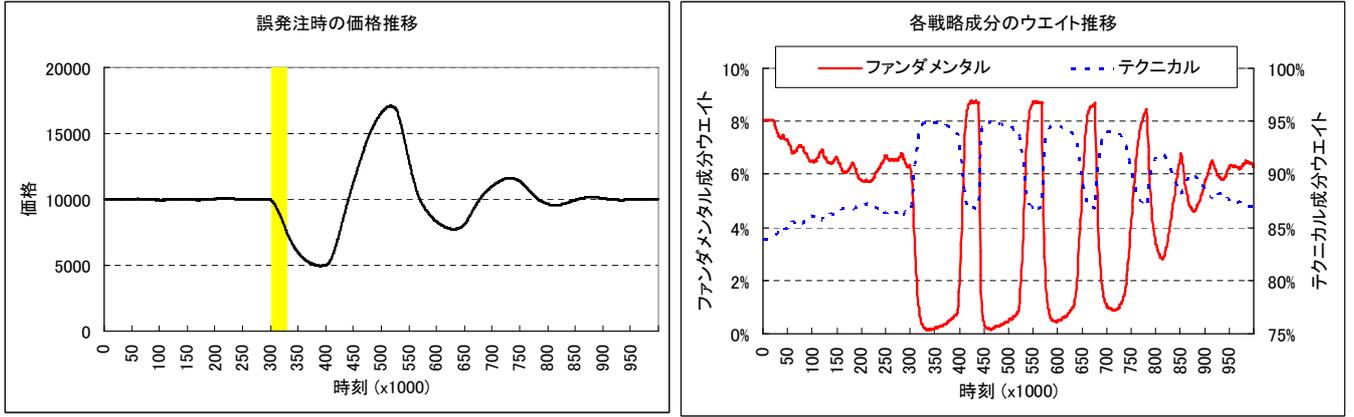


図 1: 誤発注時の価格推移 (左) と各戦略成分のウェイト推移。

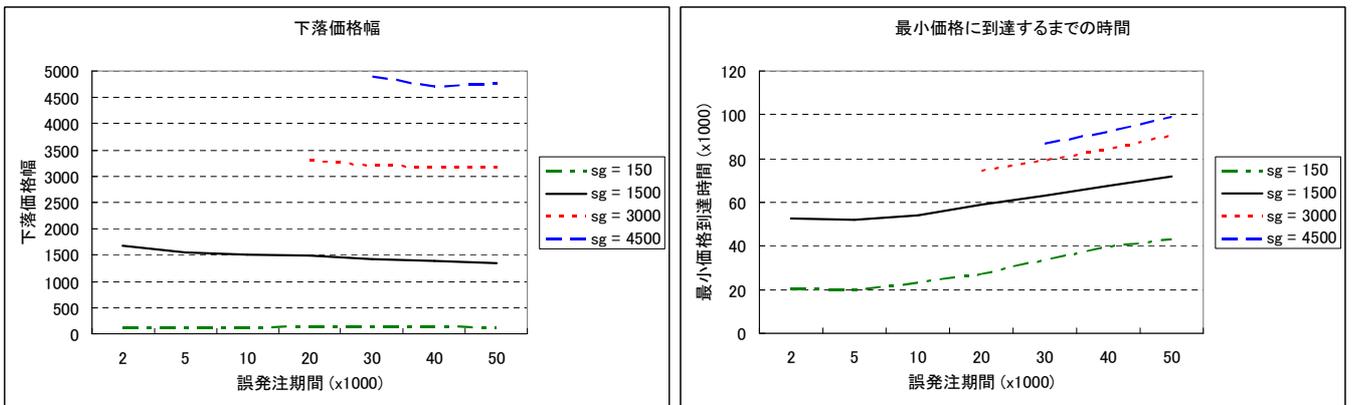


図 2: 総誤発注数量ごとの下落価格の大きさ (左) と最小価格に到達するまでの時間 (右)。

はノイズを表している。予想リターン $r_{e,j}^t$ より予想価格 $P_{e,j}^t$ は、

$$P_{e,j}^t = P^t \exp(r_{e,j}^t) \quad (2)$$

で求まる。注文価格 $P_{o,j}^t$ は $P_{e,j}^t - P_d$ から $P_{e,j}^t + P_d$ までの一様乱数で決める。ここで、 P_d は定数である。価格の変化幅の最小単位は δP とし、それより小さい端数は切り捨てる。そして、売り買いの別は予想価格 $P_{e,j}^t$ と注文価格 $P_{o,j}^t$ の大小関係で決める。すなわち、

$$\begin{aligned} P_{e,j}^t > P_{o,j}^t &\text{なら 1 単位の買い} \\ P_{e,j}^t < P_{o,j}^t &\text{なら 1 単位の売り,} \end{aligned} \quad (3)$$

とし、注文数量は常に 1 と一定とする。本モデルの価格決定メカニズムは連続ダブルオークションであるため、買い(売り)注文は、注文価格より安い(高い)注文が既に存在すれば、最も安い(高い)売り(買い)注文と即座に取引が成立する。そのような注文がなければ注文を残す。残した注文が時刻 t_c 経過してもマッチングされなかった場合は、キャンセルされる。なお、資産は何単位でも買うことができる(キャッシュが無制限)が、空売りに関しては自由に出来る場合と、制約がある場合とに分けて検討する。

各エージェントは学習を行う。学習は各エージェントが注文を出す直前に行われる。ファンダメンタルな投資家成分だけの場合の予想リターン $r_{e,1,j}^t = \log(P_f/P^t)$ 、テクニカルな投資家成分だけの場合の予想リターン $r_{e,2,j}^t = r_{h,j}^t$ とする。これ

ら $r_{e,i,j}^t$ が学習期間のリターン $r_i^t = \log(P^t/P^{t-t_i})$ と比べ、

$$\begin{aligned} \text{同符号なら, } w_{i,j} &\leftarrow w_{i,j} + k_l r_i^t \rho_j^t (w_{i,max} - w_{i,j}) \\ \text{異符号なら, } w_{i,j} &\leftarrow w_{i,j} - k_l r_i^t \rho_j^t w_{i,j}, \end{aligned} \quad (4)$$

のように $w_{i,j}$ を書き換える。ここで k_l は定数、 ρ_j^t は時刻ごと、エージェントごとに与えられる 0 から 1 までの一様乱数である。価格変化の方向を当てている戦略のウェイトを引き上げ、外れている戦略のウェイトを引き下げる。また、 r_i^t をかけることにより、小さい価格変動を当てたり外したりしても大きくウェイトが増減しない。これとは別に、小さい確率 m で $w_{i,j}$ を再設定する。つまり、0 から $w_{i,max}$ の一様乱数で決めなおす。

本研究では、誤発注があった場合の価格変動を分析する。誤発注は以下のようにモデル化した。時刻 300000 から誤発注期間 t_g のみ、各エージェントは確率 p_g で、注文を価格 1 の売りに、強制的に変更させられる。本研究では、さらに、値幅制限制度が存在する場合も比較する。値幅制限は以下のようにモデル化した。時刻 t から t_{pl} 前の価格 $P^{t-t_{pl}}$ を基準とし、 $P^{t-t_{pl}} - \Delta P_{pl}$ から $P^{t-t_{pl}} + \Delta P_{pl}$ の間は、自由に注文を出せる。 $P^{t-t_{pl}} + \Delta P_{pl}$ より高い買い注文は強制的に $P^{t-t_{pl}} + \Delta P_{pl}$ とし、 $P^{t-t_{pl}} - \Delta P_{pl}$ より安い売り注文は強制的に $P^{t-t_{pl}} - \Delta P_{pl}$ とする。これにより、 $P^{t-t_{pl}} \pm \Delta P_{pl}$ の外側では、取引は行われない。

3. シミュレーション結果

本研究では、以下のパラメータで固定した。 $n = 1000$, $P_f = 10000$, $w_{1,max} = 1$, $w_{2,max} = 10$, $w_{3,max} = 1$, $\tau_{max} = 10000$, $\sigma_\epsilon = 0.03$, $P_d = 1000$, $t_c = 10000$, $\delta P = 1$, $t_l = 10000$, $k_l = 4$, $m = 0.01$ とした。またシミュレーションは $t = 1000000$ まで行った。

図1左は誤発注があった場合 ($t_g = 30000$, $p_g = 0.15$) の価格推移である。影の部分が誤発注があった期間である。誤発注があった期間のみならず、誤発注がなくなってからしばらく価格が下落し続けていることが分かる*3。図1右は各戦略成分の合計ウェイト、

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sum_{i'=1}^3 \sum_{j=1}^n w_{i',j}}, \quad (5)$$

の時系列を示した。 $i = 1$ の場合がファンダメンタル成分であり、 $i = 2$ の場合がテクニカル成分である。ファンダメンタル成分が極端に少なくなる時期が存在する。これは、誤発注によりファンダメンタル価格から下落しているとき、ファンダメンタル投資が有効でなくなるため、テクニカル投資に切り替えるからである。ファンダメンタル成分が減少することによりファンダメンタルへ向かうと予想するエージェントが減り、下落がますます起きやすくなっている。誤発注がなくなってしばらくは、テクニカル投資の成分が多いため、下落し続けている。

図2は、 t_g, p_g をさまざまに変更した場合の下落価格の大きさ(左)、最小価格に到達するまでの時間(右)を示した。横軸は誤発注期間 t_g 、各線は総誤発注数量 $s_g = t_g \times p_g$ を一定にしている*4。各々の場合について100回の試行を行い平均値をとった。結果が安定しなかったパラメータ ($s_g = 3000, 4500$ のときの t_g が小さいとき)の結果は省いた。図2左が示すように、総誤発注数量 s_g が一定なら、下落価格幅はおおむね一定となり、 s_g が大きくなれば下落価格幅は大きくなる。また、図2右が示すように、 s_g が一定なら t_g が長くなっても最小価格に到達する時間は t_g ほどには伸びていない。 s_g が大きくなると、長期間下落が続く。すなわち、 s_g は価格形成に大きな影響を与えるが、 s_g が同じなら、誤発注期間 t_g や誤発注の密度である p_g は比較的大きな影響を与えないことが分かる。

図3は $t_g = 30000$, $p_g = 0.15$ の場合で、値幅制限(制限期間 $t_{pl} = 1000$, 制限値幅 $\Delta P_{pl} = 200$)がある場合の価格の推移を示している。図1の場合と比べ大幅に下落をおさえることが出来ている。表1は $s_g = t_g \times p_g = 1500$ および $\Delta P_{pl}/t_{pl} = 0.015$ を一定として、誤発注のパラメータ t_g, p_g および値幅制限のパラメータ $\Delta P_{pl}, t_{pl}$ をさまざまに変えた場合の下落価格幅を示した。先に示したように s_g が一定なら同じような価格形成を示す。また、先行研究により $\Delta P_{pl}/t_{pl}$ が同じなら値幅制限は同じような効果を示すことが分かっている[Mizuta 13c, Mizuta 13b]。不等式、

$$t_{pl} \leq t_g, \quad (6)$$

を満たす領域に影をつけた。この領域では特に下落をおさえることが出来ている。すなわち、値幅制限期間は誤発注期間よりも短い必要があることを示唆している。

*3 [八木 12a, Yagi 12b] のモデルにおいても同様の実験を行うと、定性的には同様の結果が得られる。[八木 12a, Yagi 12b] とではモデルが大きく異なるにも関わらず同一の結果が出たことは、人工市場を用いた分析結果の頑健性の高さを示していると考えている。

*4 本研究の時刻はティック時刻であり、時刻1で1エージェントしか注文を出さない。さらに、本研究では各エージェントが一度に出す注文は必ず1単位であるため、時間と総発注数量が一致する。

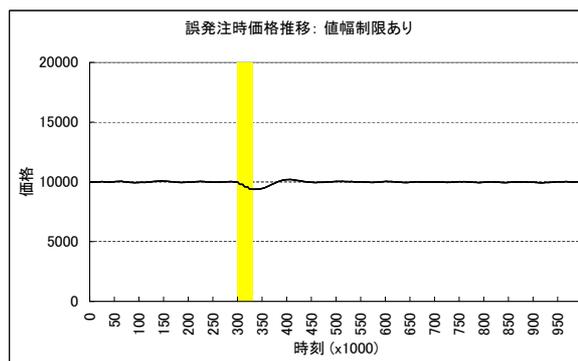


図3: 値幅制限がある場合の誤発注時の価格推移

4. まとめと今後の課題

本研究では [Chiarella 09, Mizuta 13b, Mizuta 13c] の人工市場モデルをベースにモデルを構築し、大規模誤発注が価格変動に与える影響の分析を分析した。大量の誤発注が短時間に集中する場合と、少量の誤発注が長期にわたる場合を比較すると、総誤発注株数が同一であるならば、両者は同程度の価格下落を導くことが分かった。また、誤発注時の値幅制限の効果を分析した結果、誤発注が続く期間より短い期間の騰落率を制限する値幅制限が有効であることが分かった。今後の課題は、誤発注に対応できる値幅制限のパラメータに関して、さらに詳細な調査が必要である。また値幅制限以外の空売り規制やアップティックルールなどの効果も検証が必要である。また、各種規制がある市場とない市場が同時に存在する場合にどのような価格形成がありえるか、検証する必要がある。

留意事項

本論文はスパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。すべては個人的見解であります。

参考文献

- [Chen 09] Chen, S., Chang, C., and Du, Y.: Agent-based economic models and econometrics, *Knowledge Engineering Review* (2009)
- [Chiarella 09] Chiarella, C., Iori, G., and Perelló, J.: The impact of heterogeneous trading rules on the limit order book and order flows, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 33, No. 3, pp. 525–537 (2009)
- [Friedman 93] Friedman, D.: The double auction market institution: A survey, *The Double Auction Market: Institutions, Theories, and Evidence*, pp. 3–25 (1993)
- [Kobayashi 11] Kobayashi, S. and Hashimoto, T.: Benefits and Limits of Circuit Breaker: Institutional Design Using Artificial Futures Market, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 7, No. 2, pp. 355–372 (2011)
- [LeBaron 06] LeBaron, B.: Agent-based computational finance, *Handbook of computational economics*, Vol. 2, pp. 1187–1233 (2006)
- [水田 13a] 水田 孝信, 早川 聡, 和泉 潔, 吉村 忍: 人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係性分析, JPX ワーキング・ペーパー, No. 2, 日本取引所グループ (2013)
- [Mizuta 13b] Mizuta, T., Izumi, K., Yagi, I., and Yoshimura, S.: Design of Financial Market Regulations against Large Price Fluctuations using by Artificial Market Simulations, *Journal of Mathematical Finance* (2013)
- [Mizuta 13c] Mizuta, T., Izumi, K., and Yoshimura, S.: Price Variation Limits and Financial Market Bubbles: Artificial Market Simulations with Agents' Learning Process, in *Computational Intelligence for Financial Engineering Economics (CIFER)*,

表 1: 誤発注および値幅制限のパラメータを変化させた場合の下落価格の大きさ.

誤発注時間 (x1000) 誤発注密度		誤発注 (sg = 1500)							
		2 75%	5 30%	10 15%	20 7.5%	30 5.0%	40 3.75%	50 3.00%	
時間 (x1000)	値幅								
値幅 制限	1	15	92	158	241	370	497	616	719
	2	30	95	175	243	380	513	638	751
	5	75	147	152	222	368	515	654	784
	10	150	174	175	181	339	502	666	795
	20	300	317	317	315	321	615	642	788
	30	450	457	468	467	463	470	664	850
	40	600	610	618	614	617	615	619	755
	50	750	765	770	760	766	760	765	770
	100	1500	1494	1454	1447	1393	1375	1345	1326
		なし		1656	1594	1526	1437	1398	1390

2013 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence on (2013)

[清水 12] 清水 葉子: 米国株式市場における代替市場と規制の現状, http://www.gmac.jp/fix2012/agenda/pdf/jpn/1325_Yoko_Shimizu_J.pdf (2012)

[Thurner 12] Thurner, S., Farmer, J., and Geanakoplos, J.: Leverage causes fat tails and clustered volatility, *Quantitative Finance*, Vol. 12, No. 5, pp. 695–707 (2012)

[TokyoStockExchange 12] TokyoStockExchange, : Guide to TSE Trading Methodology, http://www.tse.or.jp/about/books/b7gje6000004q31-att/trading_methodology.pdf (2012)

[U.S.CommodityFuturesTradingCommission 10] U.S.CommodityFuturesTradingCommission, and U.S.SecuritiesExchangeCommission, : Findings Regarding the Market Events of May 6, 2010, *Report of the Staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issues*. Retrieved May, Vol. 10, p. 2012 (2010)

[Westerhoff 08] Westerhoff, F.: The use of agent-based financial market models to test the effectiveness of regulatory policies, *Jahrbucher Fur Nationalokonomie Und Statistik*, Vol. 228, No. 2, p. 195 (2008)

[Yagi 10a] Yagi, I., Mizuta, T., and Izumi, K.: A Study on the Effectiveness of Short-selling Regulation using Artificial Markets, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 7, No. 1, pp. 113–132 (2010)

[Yagi 10b] Yagi, I., Mizuta, T., and Izumi, K.: A Study on the Market Impact of Short-Selling Regulation Using Artificial Markets, *Advances in Practical Multi-Agent Systems*, Vol. 325, p. 217 (2010)

[八木 12a] 八木 勲, 水田 孝信, 和泉 潔: 人工市場を用いた市場暴落後における反発メカニズムの分析, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 11, pp. 2388–2398 (2012)

[Yagi 12b] Yagi, I., Mizuta, T., and Izumi, K.: A study on the reversal mechanism for large stock price declines using artificial markets, in *Computational Intelligence for Financial Engineering Economics (CIFEr)*, 2012 IEEE Conference on, pp. 1–7 (2012)

[Yeh 10] Yeh, C. and Yang, C.: Examining the effectiveness of price limits in an artificial stock market, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 34, No. 10, pp. 2089–2108 (2010)