

人工市場を用いた 大規模誤発注による市場混乱を防ぐ制度・規制の検証 ～ トリガー式アップティック・ルールを中心に ～

Investigation of Regulations' Effectiveness for Market Turbulence
by Large Mistaken Orders using Agent-Based Simulation

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
CREST, JST

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

人工市場モデルを用いて、大規模誤発注が価格変動に与える影響の分析を詳細に行い、値幅制限およびトリガー式アップティック・ルールが市場混乱を抑える効果があるかどうかを分析した。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。さらに、空売りの価格規制の一種であるアップティック・ルールについても、誤発注時の効果を分析した。その結果、時間解除方式の場合、誤発注期間と解除時間が大きくは変わらない場合のみ有効であることが分かった。また、騰落率解除方式が有効であることが分かった。これらの分析結果が、実際の市場の制度・規制に対してどのようなことを示唆しているかを最後に議論する。

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[SEC 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]。

大規模誤発注による市場混乱を抑えると期待される制度・規制として、ある時間内での価格変動が一定以上を超えた取引を禁止する値幅制限制度や、直近のもっとも高い買い注文価格以下で空売り(保有していない証券を他者から借りてきて売却すること)することを禁じるアップティック・ルールなどがある。

日本においては、アップティック・ルールは常時採用されていた。しかし、価格上昇時にその上昇を助長するなどといった研究結果[大塚 12, 水田 13b, Mizuta 13e]もあり、2013年11月より価格急落時のみアップティック・ルールが適応されるというトリガー式へ移行する見込みである[金融庁 13]。しかしながら、トリガー式アップティック・ルールが大規模誤発注による市場混乱を抑えられるかどうかは調べられていない。

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[LeBaron 06, Chen 09]。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,

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

水田 13b, 水田 13c, Mizuta 13d, Mizuta 13e, Mizuta 13f]. [水田 13a] では, [Chiarella 09, Mizuta 13f] 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, 誤発注時の値幅制限の効果を分析した。

本研究では[水田 13a]をさらに発展させ, 大規模誤発注が価格変動に与える影響の分析を詳細に行い, 値幅制限およびトリガー式アップティック・ルールが市場混乱を抑える効果があるかどうかを分析した。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節でまとめと実市場への示唆を述べる。

2. 人工市場モデル

本研究では[Chiarella 09, Mizuta 13f]の人工市場モデルをベースにモデルを構築した。[Chiarella 09]では、シンプルでありながら、実証分析で得られた長期間に存在する価格変動の統計的性質を再現できるエージェントモデルの構築に成功している。[Mizuta 13f]では、[Chiarella 09]のモデルには実装されていなかった学習プロセスを加えた検証を行い、一部の期間にしか発生しない大規模誤発注による市場混乱のような大きな価格変動を再現するには学習プロセスが必要であることを示した。

人工市場モデルを用いたシミュレーション研究は、実際の市場にみられる多くの統計的性質(stylized fact)を再現したり規制の効果を検証したりと、多くの成果をあげている[Cont 01, LeBaron 06, Chen 09]。一方で、多くの人工市場モデルがパラメータが多すぎて不必要に複雑すぎるという指摘もされている[Chen 09]。なぜなら、モデルの妥当性は実証分析で得られているfat-tail(価格の騰落率の尖度がプラスであること)やvolatility-clustering(価格の騰落率の標準偏差が自己相関を持つこと)といった代表的なstylized factが再現できるかどうかで評価されるが、モデルを複雑にしても多くの場合は、再現できるstylized factの種類が増えたり再現の精度が上がったり

表 1: 誤発注がない場合とある場合の統計量.

尖度	lag	誤発注 なし	誤発注 あり
		5.39	5.54
騰落率の 2乗の 自己相関	1	0.13	0.49
	2	0.11	0.42
	3	0.09	0.40
	4	0.07	0.40
	5	0.06	0.38
	6	0.05	0.38
ハザード レート	1	55%	55%
	2	53%	48%
	3	49%	42%
	4	47%	36%
	5	44%	30%
	6	44%	25%

しないからである. そのため, できるだけシンプルなモデルで stylized fact を再現できた方がよいという主張がなされている [Chen 09]. というのもパラメータが多く複雑なモデルほど, モデルや計算結果の評価が難しくなるからである. そのため本研究においても, 分析目的を果たせる範囲内でなるべくシンプルなモデルの構築を行った. 実際の市場を完全に再現することを目的としておらず, 実際には存在するであろう投資家をすべて網羅することはあえて行っていない.

2.1 注文プロセス

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, 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, 連続ダブルオークション方式 (ザラバ方式) とした [Friedman 93, TSE 12].

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,

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

ここで, $w_{i,j}$ は時刻 t , 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. また, 後で述べる学習過程により変化する. u_j はエージェント j の 3 項目の重みであり, シミュレーション開始時に 0 から u_{max} まで一様乱数で決め, その後も一定である. \log は自然対数である. 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. 残した注文がキャンセル時間 t_c だけ経過しても取引が成立しなかった場合は, 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). 空売りに関しては自由に出来る場合と, 価格規制の一種であるアップティック・ルールがある場合とに分けて検討する.

2.2 学習プロセス

大規模誤発注などによる市場混乱の再現に必要である, 戦略を状況に応じて切り替えるという学習プロセスを, 以下のようにモデル化した. 学習は各エージェントごとに, 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エイトを引き上げ, 外れている戦略のウエイトを引き下げる. 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エイトが増減しない.

このような過去の実績から学習するプロセスとは別に, 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. これはランダム学習を意味しており, 実績からの学習と組み合わせることにより, エージェントが試行錯誤的により良い戦略のウエイトを求める姿を客観的にモデル化している.

2.3 誤発注のモデル化

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 300,000 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, 最も高い買

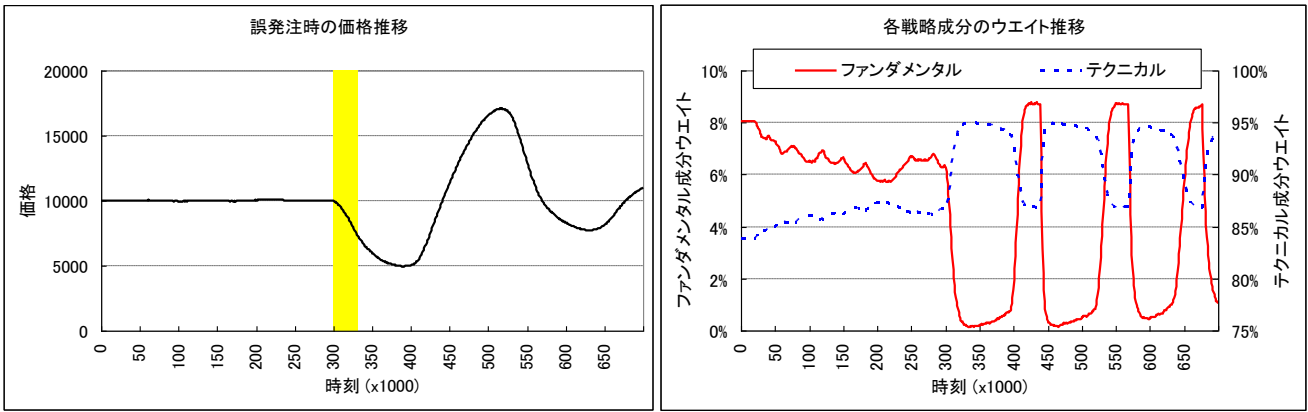


図 1: 誤発注時の価格推移 (左) と各戦略成分のウェイト推移 (右).

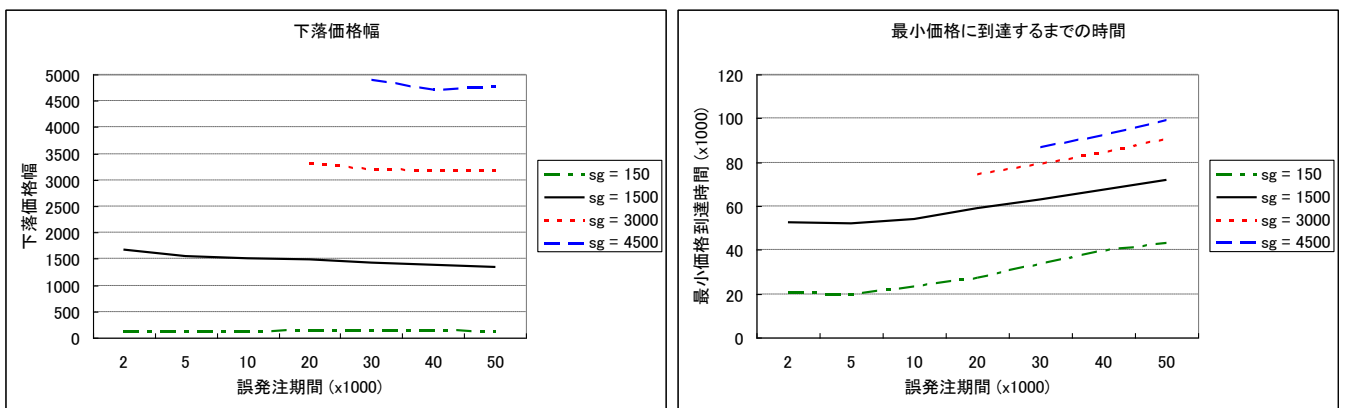


図 2: 総誤発注数量ごとの下落価格の大きさ (左) と最小価格に到達するまでの時間 (右).

い注文より安い価格での 1 単位の売り注文へと、強制的に変更させられる。この注文は、2.1 節で述べたように、即座に取引が成立する。

2.4 制度・規制のモデル化

本研究では、値幅制限制度およびアップティック・ルールが存在する場合を比較した。

値幅制限は以下のようにモデル化した。本モデルの値幅制限は、制限時間 t_{pl} 、制限値幅 ΔP_{pl} の 2 つのパラメータがある。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。

アップティック・ルールは、リスク資産の保有数量が 0 のときに、最も高い買い注文 P^{bb} 以下の売り注文した場合、注文価格を強制的に $P^{bb} + \delta P$ に変更させることでモデル化した。すべてのエージェントの初期に保有しているリスク資産は 1 単位である。本研究では、トリガー式アップティック・ルールについて調べる。トリガー式では、通常はアップティック・ルールを採用しないが、ある価格以下に下落するとアップティック・ルールが発動し、一定期間 (t_{ut}) が経過するか、ある価格 (p_{ut}) まで回復すると、アップティック・ルールが解除される方式である。本研究では、一定期間 (t_{ut}) で解除する方式を時間解除方式とよび、ある価格 (p_{ut}) まで回復すると解除する方式を騰落率解除方式とよび、両方の場合について調べる。

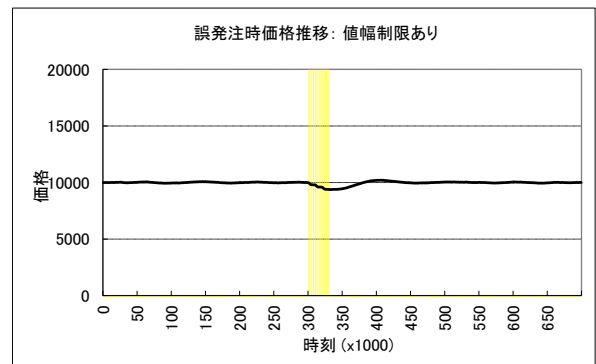


図 3: 値幅制限がある場合の誤発注時の価格推移

3. シミュレーション結果

本研究では、さまざまなパラメータを検討し 3.1 節で述べる妥当性検証を行った結果、妥当性の高い以下のパラメータを探して用いた。例えば、テクニカル投資家の成分が十分多くないと fat-tail と volatility-clustering が再現されることが知られているため、これらが十分再現されるようテクニカル投資家成分の最大値 $w_{2,max}$ をファンダメンタル投資家のそれ $w_{1,max}$ より大きくし、調整した [Yamada 09]。そして、エージェント数 n はそれ以上増加させても結果がほとんど変わらない水準とした。具体的には、 $n = 1,000, P_f = 10,000, w_{1,max} =$

表 2: 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 (sg = 1,500)							
		2,000	5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	
		75%	30%	15%	7.5%	5.0%	3.75%	3.00%	
時間 t _{pl}	誤発注時間 t _g 誤発注密度 p _g 値幅 / P _{pl}								
値幅 制限	1,000	15	92	158	241	370	497	616	719
	2,000	30	95	175	243	380	513	638	751
	5,000	75	147	152	222	368	515	654	784
	10,000	150	174	175	181	339	502	666	795
	20,000	300	317	317	315	321	615	642	788
	30,000	450	457	468	467	463	470	664	850
	40,000	600	610	618	614	617	615	619	755
	50,000	750	765	770	760	766	760	765	770
	100,000	1,500	1,494	1,454	1,447	1,393	1,375	1,345	1,326
		なし	1,656	1,594	1,526	1,437	1,398	1,390	1,331

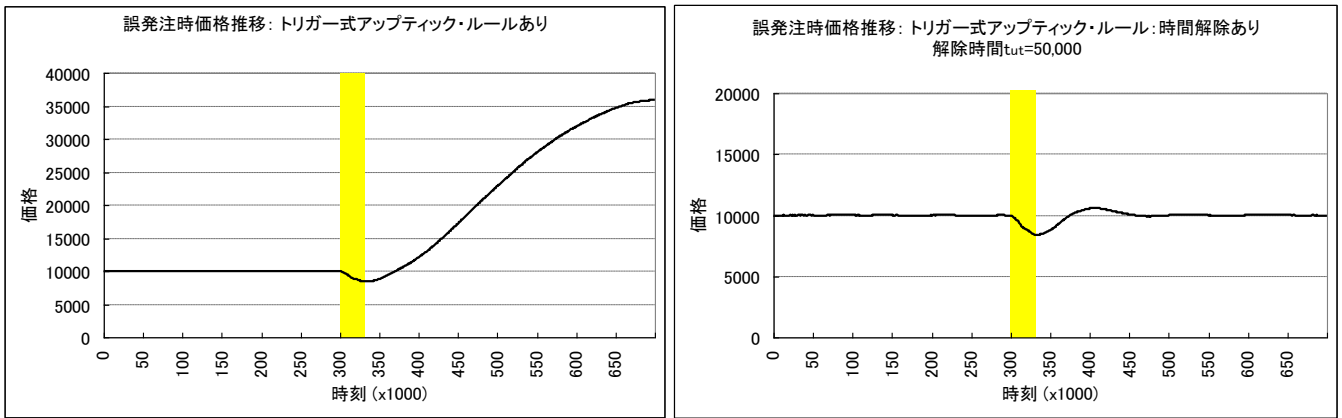


図 4: トリガー式アップティック・ルールがある場合の価格推移。解除なしの場合 (左), 時間解除ありの場合 (右)。価格が 9,000 になるとアップティック・ルールが発動する。

1, $w_{2,max} = 10$, $w_{3,max} = 1$, $\tau_{max} = 10,000$, $\sigma_\epsilon = 0.03$, $P_d = 1,000$, $t_c = 10,000$, $\delta P = 1$, $t_l = 10,000$, $k_l = 4$, $m = 0.01$ とした。またシミュレーションは $t = 1,000,000$ まで行った。

3.1 妥当性検証

表 1 は、誤発注がない場合とあった場合 ($t_g = 30,000$, $p_g = 0.15$) の統計量を示した。統計量は 100 回の試行の平均値を用いた。人工市場モデルの妥当性は実証分析で得られている fat-tail や volatility-clustering といった代表的な stylized fact が再現できるかどうかで評価される [Cont 01, LeBaron 06, Chen 09]。表 1 では、100 期間ごとの騰落率を用いて計算した尖度と騰落率の 2 乗の自己相関も示している。いずれのシミュレーションでも尖度がプラスで fat-tail となっており、騰落率の 2 乗の自己相関もラグがあってもプラスで volatility-clustering も再現されている。これらにより長期に観測される価格変動の統計的な性質を再現していることを示された。

また、本研究では、大規模誤発注による市場混乱があるときに効果が期待される制度・規制を検証するため、これらの現象も再現できる必要がある。市場混乱のような大きな価格変動が発生しているかどうかを定量的に測る手法としてハザードレート (H_q) を用いた手法がある [Mizuta 13f, McQueen 94, Chan 98]。 H_q はある測定期間 (1 日や 1 週間) の価格の騰落率が q 回連続でプラス (マイナス) だった場合、次の測定期間の騰落率がマイナス (プラス) になった割合を示す。測定期間内に市場混乱のような大きな価格変動が含まれている場合、 q の増加により H_q が減少することが知られている [Mizuta 13f, McQueen 94, Chan 98]。

つまり、市場混乱のような大きな価格変動の期間は騰落率が連続でプラス (またはマイナス) になりやすく、その連続が続けば続くほど、その後プラス (またはマイナス) が続きやすくなることを示している。

表 1 では、騰落率が q 回連続でマイナスだったときにプラスになった割合を示した。測定期間は 100 ステップ間隔とした。 q が増えるに連れて H_q が減少する場合は、大規模誤発注による市場混乱のような大きな価格推移が発生したことを示している。いずれの場合も H_q が q が増えるにつれ減少しているが、誤発注があった場合は特に顕著である。このため、誤発注がある場合、実証分析で見られる市場混乱による大きな価格変動の性質を再現できていると言える。これらにより大規模誤発注による市場混乱も再現できるモデルであることが示され、本研究の目的である値幅制限やアップティック・ルールによる市場混乱の抑止効果検証を行うのに妥当なモデルであることが示された。

3.2 誤発注による市場混乱の特性

図 1 左は誤発注があった場合 ($t_g = 30,000$, $p_g = 0.15$) 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 *1。図 1 右は各戦略成分

*1 [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妥当性の高さを示していると考えている。

表 3: トリガー式アップティック・ルールがある場合の、解除方式ごとの、価格の最大・最小値。価格が 9,000 になるとアップティック・ルールが発動する。

	アップティック・ルール														
	規制なし	解除なし	時間解除方式 (解除時間 t_{ut})										騰落率解除方式 (解除価格 p_{ut})		
			5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	100,000	9,000	9,500	10,000
最大価格	15,251	35,955	14,626	13,337	10,653	10,653	10,683	10,788	11,220	11,884	12,774	14,654	10,694	10,793	11,027
最小価格	5,104	8,418	5,540	6,315	8,396	8,412	8,419	8,422	8,417	8,418	8,417	8,332	8,419	8,409	8,426

の合計ウエイト,

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sum_{j=1}^n (w_{1,j} + w_{2,j} + u_j)}, \quad (5)$$

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。誤発注がなくなればばらくは、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*2。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 ($s_g = 3,000, 4,500$ 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。

3.3 値幅制限による市場混乱の抑制効果

図 3 は $t_g = 30,000, p_g = 0.15$ の場合で、値幅制限 (制限期間 $t_{pl} = 1,000$ 、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 2 は $s_g = t_g \times p_g = 1,500$ 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。各々の場合について 100 回の試行を行い平均値をとった。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 [水田 13b, Mizuta 13e, Mizuta 13f]。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。

*2 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。

3.4 アップティック・ルールによる市場混乱の抑制効果

図 4 は $t_g = 30,000, p_g = 0.15$ の場合で、トリガー式アップティック・ルールがある場合の価格推移であり、解除なしの場合 (左)、時間解除ありの場合 (右、解除時間 $t_{ut} = 50,000$) を示した。いずれの場合も、価格が 9,000 になるとアップティック・ルールが発動する。誤発注が発生する前の価格は、 $P_f = 10,000$ 付近であるため、10% の下落で発動することとなる。いずれの場合も、アップティック・ルールの発動価格である 9,000 を下回った後は、大幅下落を抑えていることができています。しかし、解除なしの場合 (左)、価格がもとの水準に戻った後も上昇を続けてしまっている。これは常にアップティック・ルールが存在する場合を検証した先行研究 [水田 13b, Mizuta 13e] と整合的である。一方、時間解除あり (解除時間 $t_{ut} = 50,000$) の場合 (右)、価格回復中にアップティック・ルールが解除され、上昇を助長するという副作用を回避できたことから、もとの水準を大きく上回るという市場混乱を回避することが出来た。

表 3 は、トリガー式アップティック・ルール (価格 9,000 で発動) がある場合の、解除方式ごとの、価格の最大・最小値をまとめたものである。各々の場合について 100 回の試行を行い平均値をとった。最大価格は 11,000 以下に、最小価格は 8,000 以上に影をつけた。両方に影がついている試行では比較的、市場混乱を避けることが出来たといえる。先に述べたように、規制がない場合は大きな下落と、大きな上昇の両方が見られる。また、解除なしの場合は下落は抑えられるものの、大きな上昇を引き起こしてしまっている。時間解除方式の場合、誤発注期間 $t_g = 30,000$ と解除時間 t_{ut} が大きくは変わらない場合、すなわち、

$$t_{ut} \sim t_g, \quad (7)$$

の場合は、下落・上昇ともに抑えられている。騰落率解除方式の場合は、いずれの場合も、下落・上昇ともに抑えられている。

4. まとめと実市場への示唆

本研究では [Chiarella 09, Mizuta 13f] 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。さらに、空売りの価格規制の一種であるアップティック・ルールについても、誤発注時の効果を分析した。その結果、時間解除方式の場合、誤発注期間 t_g と解除時間 t_{ut} が大きくは変わらない場合のみ有効であることが分かった。また、騰落率解除方式が有効であることが分かった。

実際の市場の制度・規制への示唆を最後に述べる。実際の市場では誤発注期間はあらかじめ分からず、さまざまな誤発注に対応できるようにする必要がある。値幅制限制度では、複数の

制限期間の値幅制限を用意する必要がある可能性を示唆している。東京証券取引所の値幅制限 [TSE 12] は、特別気配 (3 分) とストップ高・安 (1 営業日, 5 時間) の 2 種類存在するが、高頻度取引の出現などを考えると、もう 1 つ短い制限期間の値幅制限があったほうが良い可能性を指摘できる。また、現在日本で導入が検討されているトリガー式アップティック・ルールは、”発動してから翌々営業日に解除”という時間解除方式である [金融庁 13]。誤発注期間が 1 営業日程度の場合のみ有効である可能性がある。また、騰落率解除方式であれば、どのような誤発注期間でも対応できる可能性があり、詳細な調査は今後の課題である。

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。本研究の一部は、科学技術振興機構 CREST 研究領域「ポストバタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」の研究課題「超大並列計算機による社会現象シミュレーションの管理・実行フレームワーク」の支援を受けている。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [Chan 98] Chan, K., McQueen, G., and Thorley, S.: Are there rational speculative bubbles in Asian stock markets?, *Pacific-Basin Finance Journal*, Vol. 6, No. 1-2, pp. 125–151 (1998)
- [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)
- [Cont 01] Cont, R.: Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues, *Quantitative Finance*, Vol. 1, pp. 223–236 (2001)
- [Friedman 93] Friedman, D.: The double auction market institution: A survey, *The Double Auction Market: Institutions, Theories, and Evidence*, pp. 3–25 (1993)
- [金融庁 13] 金融庁: 空売り規制の総合的な見直しについて (案), <http://www.fsa.go.jp/news/24/syouken/20130307-1.html> (2013)
- [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)
- [McQueen 94] McQueen, G. and Thorley, S.: Bubbles, stock returns, and duration dependence, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 29, No. 3 (1994)
- [水田 13a] 水田 孝信, 和泉 潔, 八木 勲, 吉村 忍: 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, 第 27 回人工知能学会全国大会論文集 人工知能学会 (2013)
- [水田 13b] 水田 孝信, 和泉 潔, 八木 勲, 吉村 忍: 人工市場を用いた値幅制限・空売り規制・アップティックルールの検証と最適な制度の設計, 電気学会論文誌 論文誌 C, Vol. 133, No. 9 (2013)
- [水田 13c] 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 13d] Mizuta, T., Hayakawa, S., Izumi, K., and Yoshimura, S.: Simulation Study on Effects of Tick Size Difference in Stock Markets Competition, in *The 8th International Workshop on Agent-based Approach in Economic and Social Complex Systems (AESCS2013)*, pp. 235–246 (2013)
- [Mizuta 13e] 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 13f] 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), 2013 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence on* (2013)
- [大墳 12] 大墳 剛士: 東証市場における空売りの実態及び空売り規制の影響, 東証ワーキングペーパー, No. 1, 東京証券取引所 (2012)
- [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)
- [TSE 12] Tokyo Stock Exchange, : Guide to TSE Trading Methodology, http://www.tse.or.jp/about/books/b7gje6000004q31-att/trading_methodology.pdf (2012)
- [SEC 10] U.S. Commodity Futures Trading Commission, and U.S. Securities Exchange Commission, : 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)
- [Yamada 09] Yamada, K., Takayasu, H., Ito, T., and Takayasu, M.: Solvable stochastic dealer models for financial markets, *Physical Review E*, Vol. 79, No. 5, p. 051120 (2009)
- [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)