情報入手時間の差異がある市場の振る舞いに値幅制限が与える影響：人工市場によるアプローチ

How Price Limits Effect the Behaviors of a Market with Differences on Speed of Information Acquisition: An Approach with Artificial Market(An Agent-based Model for Financial Market)

謝 凡

Fan Xie

筑波大学大学院システム情報工学研究科

Graduate school of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.

xf2611503@gmail.com

秋山 英三

Eizo Akiyama

筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba.

akiyama.eizo.kf@u.tsukuba.ac.jp

keywords: price limits, information, fundamental value, volatility, artificial market

Summary

To enhance the stability of the financial markets, price limits have been implemented in numerous financial markets. The effects to markets' stability and traders' profitability of price limits have been discussed by previous research. But it has not been discussed when there is difference between traders on speed of information acquisition. The asymmetry of information acquisition between traders can be observed in many situations, e.g., overseas investors and domestic investors, insiders and outsiders. Because methods, languages, etc. they use to get information are different, they obtain information about the fundamental values of financial commodities with different speeds. We used a double-auction artificial market to simulate when difference on speed of information acquisition exists, how price limits effect the stability of the financial market, and the profitability of traders who has different speeds to obtain the information about fundamental value. We found if there is difference of speed for getting information between traders, price limits do not always enhance the stability of market. When the band of price limits is loose, the volatility of market price will rise if the ratio of traders with fast speed of information acquisition is relatively large. And when the band of price limits is loose, some traders who has slower speed of information acquisition may be hurt by price limits. Our work shows it is necessary to consider the difference on speed of information acquisition when designing some market institutions like price limits.

1 序論

本論文は、謝らの研究成果をもとに、投稿を行ったものである[謝 21].

金融市場では、しばしば急激な価格変動^{*1}が発生する。急激な価格変動で、金融市場が機能不全に陥り、単一の金融市場に限らず広く波及し、金融システム全体ひいては実体経済にも大きな打撃を与える可能性がある[小林 06, 水田 13].

現実の金融市場では、急激な価格変動時に金融市場を安定化させることを意図して値幅制限が導入されている^{*2}。値幅制限とは、一定期間内の市場価格変動を一定幅(制限幅)以内に抑える措置である。

値幅制限のような価格安定措置の政策的な目的が、(1)過激な価格変動の緩和(2)投資家と市場の保護とされる[Brady 88]。また、値幅制限は投資家に資産の「真の

価値」(Fundamental Value)の変化を認識する時間を与えることが一つの目的とされる[Chan 05]。政策側が、金融商品の価値に変化が生じる時、値幅制限は非合理的な投資家の群集行動により市場価格が価値変化を超えて変動する現象を緩和する作用があると主張している[Li 14].

1.1 値幅制限と市場安定性

値幅制限が金融市場の安定性にもたらす影響について、先行研究では両論が分かれている。

値幅制限による価格変動の安定化を認めた実証研究を挙げると、Dabbou らはチュニジア証券市場の 2008 年の一年間の市場価格データを分析し、期待しない副作用が伴わずに値幅制限は市場価格急落時に市場価格を安定化させたことを観察した[Dabbou 13]。Maghyereh らは 1962 年～2004 年の台湾証券取引所のデータを用いて、11 種類の値幅制限それぞれの下、値幅制限がボラティリ

^{*1} 1990 年代初期に日本で発生した不動産バブル崩壊に伴う株式市場暴落、2015 年に中国で起きた株式市場暴落などがある。

^{*2} 中国(SSE, SZSE)、スペイン(BMEX)、スウェーデン(XSTO)等に値幅制限が導入されている。また、金融市場の一部または全体を一時停止させる制度とし

てサーキットブレーカーがある(アメリカ(NYSE, NASDAQ)、フランス(XPAR)等)。値幅制限とサーキットブレーカーどちらも導入されている国も存在する(日本(TSE)、インド(BSE, NSE)、イギリス(XLON, AQXE, BXE)等)[Sifat 19]。

ティに与える影響を分析した[Maghyereh 07]. その結果, 狭い制限幅は緩い制限幅より市場を安定化させることが観察され, 値幅制限の市場安定化効果を認めた.

値幅制限は市場を安定化させないまたは逆に不安定化させるとした実証研究もある. Kim は 1975 年から 1996 までの台湾証券取引所の市場価格データを分析し, その期間中値幅制限の制限幅が 5 回調整されていたが, 値幅制限の制限幅がより狭くなることがボラティリティにもたらす変化を観察できなかった[Kim 01]. Kim らは東京証券取引所の 1989 年~1992 年の時系列を対象に分析した. 急激な価格変動の発生時に, 制限幅に抵触した商品は制限幅に抵触しなかった商品よりもボラティリティが平常時の水準に戻ることに遅かったことが観察され, Kim らは値幅制限のボラティリティ抑制効果を疑問視した[Kim 97]. Gan らは同時期のアメリカ(値幅制限なし)と日本(値幅制限あり)の 2 つの株式市場で取引された同じ金融商品(ADRs)の市場価格ボラティリティを分析し, 2 つの株式市場の間に顕著な差異は認めなかった[Gan 01].

また, 人工市場を用いた研究もあった. 人工市場とは, 計算機上で構造された架空的な市場を用いた実験的研究手法である.

Yeh らは人工市場モデルを用いて, 値幅制限がボラティリティの削減に寄与すると主張した[Yeh 10]. 水田らは値幅制限が平常時に市場価格に大きな影響を与えず, 急激な価格変動時に投資家の過度な反応によるオーバーシュートの発生を阻止し, 市場価格を安定させる有効な制度であると結論づけた[水田 13]. Westerhoff は値幅制限のボラティリティ軽減効果を確認した[Westerhoff 08].

上記と逆に, Zhang らは人工市場で値幅制限ありと値幅制限なしの場合を比較分析した結果, 市場価格に急激な変動が生じた場合, 値幅制限ありのグループは値幅制限なしのグループ(対照群)よりも, ボラティリティが平常時レベルに回復するまでかかる時間が長いと観察し, 値幅制限が逆に市場を不安定にさせたとの結論に至った[Zhang 16].

1.2 値幅制限と投資家損益

市場制度を議論するには, それらが投資家の収益性に与える影響が無視できない. 値幅制限が投資家間の収益性に対する影響を分析したゲーム理論的研究と人工市場研究がある.

Kodres らは信用取引に基づく先物市場の数理モデルを構築し, 売買の価格差で利益を稼ぐ「Speculator」と, リスクヘッジを目的に先物市場で取引する「Hedger」それぞれの収益性に値幅制限が与える影響を分析した. その結果, 値幅制限は Speculator に損失を与え, 代わりに Hedger に利益をもたらすことがわかった[Kodres 94].

また, Ma らは金融商品の基本的価値(Fundamental Value, 以下 FV)に関する情報を持つ投資家と持たない投

資家が混在する数理モデルを構築し, 値幅制限がある場合, FV 情報を持つ投資家が制限抵触時に注文を小規模な注文に分散させることによって, FV 情報を持たない投資家の取引コストが増加すると結論づけた[Gan 01].

Yeh らは人工市場でのシミュレーション結果から, 値幅制限が投資家資産のジニ係数を縮め, 社会的福祉を高める効果があるとの結論に至った[Yeh 10].

1.3 投資家間の情報入手速度の異質性

以上の先行研究で十分に考慮されていない点として, 情報入手速度に関する市場参加者(投資家)の異質性がある. 実際の市場では, 情報を入手する速さが市場参加者によって異なる. 例えば, Dvořák はインドネシアの国内投資家と海外投資家がインドネシアの金融市場における収益性を比べ, 国内投資家の収益性がより高いと結論づけた[Dvořák 05]. またその原因の一つは, 情報は物理的, 言語的, 文化的な距離を経ず国内投資家が早めに入手することだと言及した. より極端な例を挙げると, 金融商品の価値変化に関する情報が市場に公表される前に違法に入手する「インサイダー」があり, 情報的な優位性から一般投資家よりも高い収益性を持つ[Kyle 85].

本研究では金融商品の FV 情報の入手速度が比較的に速い投資家を TIA(Traders with Informational Advantage)といい, FV 情報を TIA より遅れて入手する投資家を NT(Normal Traders)と定義する.

値幅制限は, TIA の情報優位的な取引行動を一定程度抑制すると同時に, TIA が持つ FV に関する情報が市場価格に反映する過程も抑制すると考える. そのため, これらの作用の帰結として, TIA と NT が混在する金融市場にどのような影響が与えられるかについて, 考察する必要がある.

本研究では, 情報入手速度に関して市場参加者に異質性があるケースで, 値幅制限が市場価格の安定化に効果があるかを検証する.

また, 情報取得時間に異質性が存在する投資家それぞれの収益性に値幅制限が与える影響を分析する.

具体的には, 人工市場モデルを構築し, 値幅制限が存在しない, または異なる程度で存在する市場のボラティリティ及び投資家の収益性を比較分析する.

人工市場研究で広く使われている Chiarella らのモデル[Chiarella 02]から拡張した水田モデルをベースモデルとして使用した[水田 13]. さらに, 水田モデルに投資家間の FV 情報入手速度の異質性の設定を加えた.

2. 人工市場モデル

2.1 基本モデル

本研究では, 投資家間に情報入手時間の差異が存在する場合に値幅制限が市場安定性に与える影響を調べるため, 人工市場モデルを構築した.

市場では1つの金融商品のみ扱われ、市場価格の決定はダブルオークション方式(ザラ場方式)で行われる。

市場には n 体のエージェントがあり、時刻 t ごとにランダムに1体のエージェント j が選ばれ、注文を出す。エージェントが注文を出すと、当時刻 t での約定の有無にかかわらず、時刻は $t+1$ へ進む。一試行のシミュレーションは t_{max} まで行われる。時刻 t において、エージェント j は注文価格、および注文の売り買いの別を以下の方式で決める。

時刻 t に、エージェント j が以下の予想収益率を持つ：

$$r_{e,j}^t = \frac{w_{1,j} \log \frac{P_{f,j}^t}{P^t} + w_{2,j} r_{h,j}^t + w_{3,j} \epsilon_j^t}{\sum_{i=1}^3 w_{i,j}} \quad (1)$$

エージェントの戦略は3つの成分によって構成される。式(1)の右辺、 $w_{1,j}, w_{2,j}, w_{3,j}$ は3つの項目に対するエージェント j が持つウェイトであり、シミュレーション開始時に $[0, w_{1,max}], [0, w_{2,max}], [0, w_{3,max}]$ の範囲で一様乱数で決める。分子の第1項はFVを参照するファンダメンタリストの成分であり、市場価格がFVより安ければ上がる予想、高ければ下がる予想を持つ。第2項は過去の価格変化から予想するチャートリストの成分であり、過去の参照時点より現在の市場価格が高ければ上がり予想、安ければ下がり予想を持つ。第3項はノイズトレーダーの項である。 $P_{f,j}^t$ は時刻 t 、エージェント j が観察するFVであり、 P^t は時刻 t の市場価格である(取引が成立すれば取引価格になり、取引がなければ時刻 $t-1$ の価格になる。なお、時刻 $t=0$ で $P^t = P_f$ になる)。 ϵ_j^t は時刻 t でエージェント j が持つ乱数項で、期待値0、標準偏差 σ_ϵ である。

次の $r_{h,j}^t$ はエージェント j が時刻 t でチャートリスト成分の予想したリターンであり、過去の参照時点からの価格変化がプラスであればプラスの予測を、マイナスであればマイナスの予測になる(「順張り」戦略)：

$$r_{h,j}^t = \log \frac{P^t}{P^{t-\tau_j}} \quad (2)$$

τ_j はエージェント j のチャートリスト成分の視野であり、シミュレーション開始時に $[1, \tau_{max}]$ の間で一様乱数で決める。

エージェント j の予想した収益率 $r_{e,j}^t$ からエージェント j の予想価格 $P_{e,j}^t$ は次のように算出される：

$$P_{e,j}^t = P^t \exp(r_{e,j}^t) \quad (3)$$

エージェント j は、 $[P_{e,j}^t - P_d, P_{e,j}^t + P_d]$ の間で一様乱数で、注文価格 $P_{o,j}^t$ を決める。注文価格の最小の単位(tick size)は δ_p であり、それより小さい端数は切り捨てる。なお、 P_d は定数である。

また、売り買いの区分は：

$$P_{e,j}^t > P_{o,j}^t \text{ なら 1 単位の買い}$$

$$P_{e,j}^t < P_{o,j}^t \text{ なら 1 単位の売り}$$

とする。

注文の決済方法はダブルオークション方式であり、取引は価格優先、時間優先の原則に沿って約定される。つ

まり、安い(高い)売り(買い)注文から決済され、複数の注文の価格が同様であれば先に出された注文から決済される。買い(売り)注文の場合、板にすでに注文価格 $P_{o,j}^t$ より安い売り(高い買い)注文が存在すれば直ちに決済される。決済価格はすでに存在する注文の価格であり、成行注文とみなす。そのような注文がない場合、注文はそのまま指値注文として板に残され、 t_c 期を経過しても決済されないとキャンセルされる。

エージェントは融資することができ(資金がマイナスになれる)、また空売りも自由にできる(持ち株数がマイナスになれる)。なお、計算の便宜上、エージェント j の初期資金は α_j 、持ち株数は s_j とする。

各エージェントは注文を出す直前に、学習を行う。ファンダメンタルな投資家成分だけの予想リターンは $r_{e,1,j}^t = \log(P_f/P^t)$ 、テクニカルな投資家成分だけの予想リターンは $r_{e,2,j}^t = r_{h,j}^t$ とする。これらそれぞれが学習期間のリターン $r_i^t = \log(P^t/P^{t-t_i})$ に比べ、

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} + k_i r_j^t \rho_j^t (w_{i,max} - w_{i,j}) \quad (4)$$

異符号なら：

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} - k_i r_j^t \rho_j^t w_{i,j} \quad (5)$$

と書き換える。 k_i は定数、 ρ_j^t は時刻ごと、エージェントごとに与える、範囲が $[0, 1]$ の一様変数である。これで、当たった戦略のウェイトが上がり、外れた戦略のウェイトが下がる。

さらに、上記の学習プロセスとは別に、確率 m で $w_{i,j}$ を $[0, w_{i,max}]$ の区間で再設定する。

2.2 エージェント間の情報入手速度の異質性のモデル化

本研究では、水田モデルに加え、投資家間の情報入手時間の差異を以下のように定義した：

金融資産のFVは時刻ごとに変化することが可能である。市場に存在するエージェントは、FVを即時に観察できるTIAと、FVを即時に観察できず、一定時間間隔をおいてしか観察できないNTの2種類がある。TIAとNTそれぞれがエージェント総数に占める割合は per_{TIA} 、 $per_{NT} = 100\% - per_{TIA}$ である。

時刻 t のFVは P_f^t であり、式(1)の $P_{f,j}^t$ について、エージェント j はTIAであれば $P_{f,j}^t = P_f^t$ で、NTであれば $P_{f,j}^t = P_f^{t-\tau_i}$ となる。なお、 τ_i はNTとTIAの情報取得のタイムラグと定義する。つまり、TIAは即時のFV、NTは τ_i 時刻先のFVを観察する。

2.3 値幅制限のモデル化

本研究では、水田モデルに従い、以下のように値幅制限をモデル化した。

値幅制限では、時刻 t から tpr 期前の価格 P^{t-tpr} を基準とし、 $[P^{t-tpr} - \Delta P_{pr}, P^{t-tpr} + \Delta P_{pr}]$ の間において、自由に注文を出せる。 $P^{t-tpr} + \Delta P_{pr}$ より高い買い注文は強制的に

$P^{t-tp_r} + \Delta P_{pr}$ とし, $P^{t-tp_r} - \Delta P_{pr}$ より安い売り注文は強制的に $P^{t-tp_r} - \Delta P_{pr}$ とする. これですべての注文が $[P^{t-tp_r} - \Delta P_{pr}, P^{t-tp_r} + \Delta P_{pr}]$ の外側で取引が行われない. なお, $\pm \Delta P_{pr}$ は制限幅, $P^{t-tp_r} - \Delta P_{pr}$ はストップ安, $P^{t-tp_r} + \Delta P_{pr}$ はストップ高と定義する.

2.4 パラメータ設定

各パラメータの設定値を表 1 のように決めた*3.

本研究では, FV が $t = 100000$ まで $P_f^t = 10000$, $t = 100000$ に $P_f^t = 10000$ から $P_f^t = 7000$ に急落するファンダメンタル価値急落の場面を想定してシミュレーションを行った. なお, $t = 10000$ までは板形成の期間であり, エージェントが注文することができるが, 板に存在する注文は決済されない. 一回の試行は 600000 ステップまでで, 各設定で 25 試行ずつ行い, 各指標の分析では 25 試行の平均値を扱った.

表 1 パラメータ設定

Parameter	Meaning	Value
n	エージェント総数	1000
t_{max}	終了時刻	600000
$w_{1,max}$	第 1 項目の最大値	1
$w_{2,max}$	第 2 項目の最大値	10
$w_{3,max}$	第 3 項目の最大値	1
σ_ϵ	乱数項の標準偏差	0.03
τ_{max}	エージェント視野の最大値	10000
P_d	注文価格の区間を定める定数	1000
δ_p	注文価格の最小単位	1
t_c	注文の保留時間	10000
α_j	エージェントの初期資金	10000
s_j	エージェントの初期持ち株数	5
tp_r	市場規制の基準時間長	50000
ΔP_{pr}	値幅制限の制限幅	250,500,750,1000,1500,2000
τ_i	投資家間の情報取得時間のタイムラグ	100000
τ_l	学習期間の長さ	10000
m	ランダム学習の発生率	0.01
k_l	投資家の学習速度	1.5
per_{TIA}	先に FV 情報を入力する投資家の比率	10%,20%,30%,40%,50%

2.5 ヒストリカル・ボラティリティの計算方法

本研究では, 市場安定性の逆指標としてヒストリカル・ボラティリティを用いた*4. 小林らの計算方法でヒストリカル・ボラティリティ V を算出した[小林 06]:

$$V = \sqrt{\frac{1}{t_{max} - 1} \sum_{t=1}^{t_{max}} (r_t - r_{avg})^2} \quad (6)$$

$$r_t = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (7)$$

$$r_{avg} = \frac{1}{t_{max}} \sum_{t=1}^{t_{max}} r_t \quad (8)$$

なお, 式(7)の r_t は時刻 t の市場価格の変化率であり, 前

の時刻からの価格変化を測るものである. 式(8)の r_{avg} はシミュレーション全期間の市場価格変化率 r_t の平均値である. この指標で, 値幅制限が市場安定性に与える影響を計測する.

3 シミュレーション結果に対する考察

本研究では, 情報入手速度に関して市場参加者に異質性があるケースで, 1. 値幅制限が価格変動の安定化に効果があるかどうか, 2. 値幅制限が情報入手時間に異質性の存在する投資家グループそれぞれの収益性にどのような影響を与えるかを検証する. そのため, (1) 情報入手が速い投資家の割合が大きい市場と (2) 情報入手が速い投資家の割合が小さい市場に着目して分析を行う.

3.1 モデルの妥当性(Stylized Fact 分析を通じて)

モデルの妥当性を Stylized Fact を通じて分析する. Stylized Fact は実際の金融市場から得られた実証的な統計性質であり, 人工市場はこれらの性質をいかに再現できるかによって妥当性が評価される[水田 13]. Volatility-Clustering とは, 式(7)の市場価格の変化率 r_t の 2 乗 r_t^2 の自己相関係数が, 大きなラグ(lag)でも正になることである. Fat-tail とは, r_t の分布が正規分布よりも裾が厚い分布になる, つまり尖度(kurtosis)が正になることである. 表 2 は制限なしの時, 各 TIA 比率の場合, r_t^2 の自己相関係数(lag=1~6)と r_t の分布の尖度を示した(25 試行平均). すべての設定において各値が正であり, つまりすべての設定において市場価格の時系列が Stylized Fact が再現されたことを確認できる(他の設定は表 3~表 8 に示す).

表 2 Stylized Fact(値幅制限なしの場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	18.974	0.370	0.318	0.306	0.289	0.275	0.267
20%	48.133	0.384	0.282	0.255	0.236	0.253	0.246
30%	60.479	0.373	0.239	0.225	0.191	0.190	0.176
40%	32.716	0.391	0.240	0.216	0.206	0.220	0.200
50%	18.929	0.413	0.301	0.296	0.286	0.285	0.277

3.2 市場安定性

具体的に, 値幅制限の制限幅をある程度以上大きくすると, 値幅制限がない場合よりかえって価格変動のボラティリティが上がってしまうことが分かった.

§ 1 情報入手の速い投資家の割合が大きい市場(制限幅が比較的大きい場合)

図 1 は TIA 比率, 制限幅ごとに, ヒストリカル・ボラティリティをプロットしたものである. TIA 比率が相対的に大きい場合, 比較的緩い制限幅の値幅制限では市場

*3 先に FV 情報を入力する投資家の割合 $per_{TIA} = 0\%, 100\%$ の場合, 価格時系列にタイムラグが生じる点を除いて水田モデルと同様の設定になる.

*4 水田モデルで使った市場安定性指標はオーバーシュートの度合いであったが, 本研究は, 指標においてヒストリカル・ボラティリティを扱った.

が制限なしの場合よりも不安定になる。

$per_{TIA} = 50\%$ の場合を例に、上記の事象の原因を考察する。

図 2 は $per_{TIA} = 50\%$ の場合の市場価格時系列の一例を示した。市場時間約 $t = 150000 \sim 200000$ の区間、 $\Delta P_{pr} = 2000$ (青線) では価格時系列の小刻みの振動が観察できる。

値幅制限が投資家の戦略構成に与える影響を分析する。図 3 で NT, TIA それぞれのファンダメンタル戦略の重みがファンダメンタル戦略の重みとテクニカル戦略の重みの合計に占める割合の平均値、つまり $w_{1,j}/(w_{1,j} + w_{2,j})$ の平均値の変化を時系列にプロットした (振動が発生した区間 $t = 150000 \sim 200000$)。制限ありの場合、NT が正確な FV 情報を入手するまで ($t = 200000$ まで)、制限抵触後に TIA のファンダメンタル戦略が占める割合が高まったことが読み取れる。TIA が観察する FV が市場価格より低いことから、NT が正確な FV 情報を入手する前に TIA のファンダメンタル戦略の割合が高まることによって、TIA の場合、期待価格は低くなる。結果として、TIA の売り注文が割安になり成立しやすくなるので、市場価格が上下に振動することになり、結果としてボラティリティが高まった。

図 1 制限幅とボラティリティ

比較的に緩やかな値幅制限で、制限抵触が発生する期間が短く、上記のボラティリティ増加が制限抵触時のボラティリティ抑制効果よりも上回るため、総じてボラティリティが高まったと考えられる。

§ 2 情報入手の速い投資家の割合が大きい市場 (制限幅が比較的小さい場合)

一方、制限幅を小さくすると市場は安定化することが分かった。図 1 から、 $per_{TIA} = 30\%, 40\%, 50\%$ で $\Delta P_{pr} = 500$ の場合、ボラティリティが制限なしの場合より低下することが読み取れる。つまり、比較的に狭い制限幅ではボラティリティを抑制できる。

図 3 から、 $\Delta P_{pr} = 500$ の場合も、NT が正確な FV 情報を入手するまで ($t = 200000$ まで)、制限抵触後に TIA のファンダメンタル戦略が占める割合が高まったことが読み

取れる。しかし、図 2 の市場価格時系列から、 $\Delta P_{pr} = 500$ の場合、次の制限抵触が迅速に発生するため、3.2 節 § 1 で説明した TIA の売り注文が制限幅以内に規制され、NT が正確な FV 情報を入手するまで ($t = 200000$ まで)、市場価格の振動が発生しにくい。

図 2 市場価格の時系列 ($per_{TIA}=50\%$)

図 3 エージェントのファンダメンタル戦略割合の変化 ($per_{TIA}=50\%$)

トレーダー間の情報入手時間の差異は、主観的なファンダメンタル価格に異質性をもたらし、結果的に、市場の安定性の直接の要因となる。

情報入手が速い投資家の割合が大きい市場では、制限幅がより厳しい値幅制限ではボラティリティが抑制されるが、緩やかな制限幅では値幅制限未導入時よりボラティリティが高まる可能性があると考えられる。

図 4 制限幅と取引総数

ただし、図 4 の約定総数からわかるように、制限幅を小さくしすぎると、市場流動性が大きく失われるので、注意が必要となる。

§ 3 情報入手の速い投資家の割合が小さい市場

情報入手が速い投資家の割合が少ない市場では、値幅制限は市場の安定化にあまり寄与しない。

図 1 から、 $per_{TIA} = 10\%$ の場合、極端に狭い制限幅 $\Delta P_{pr} = 250$ 以外、制限幅の変化によってボラティリティがほとんど変わらないことが読み取れる。また、 $per_{TIA} = 20\%$ の場合、狭い制限幅 $\Delta P_{pr} = 250, 500, 750$ 以外、値幅制限がボラティリティに与える影響があまり読み取れない。

$per_{TIA} = 10\%$ を例に上記の原因を分析する。図 5 は $per_{TIA} = 10\%$ の場合の市場価格時系列の例である。NT が正確な FV 情報を入手するまで ($t = 200000$ まで)、市場価格の下落幅が低く、いずれの制限幅でも制限抵触がほぼ発生しなかった。それはエージェントの大多数を占める NT が遅延した FV 情報を観察するため、市場価格が NT の取引によって一定程度維持されていたと考えられる。

図 5 市場価格の時系列($per_{TIA}=10\%$)

もちろん、制限幅を極端に狭くすれば ($\Delta P_{pr} = 250$ など) ボラティリティが低下するが、その場合図 4 で示したように、市場安定化効果を得るために、情報入手が速い投資家の割合が比較的に大きい市場よりも大きく流動

性を損ない、決済システムが成り立たないリスクがあるので、市場安定措置としての合理性が問われる。

値幅制限が市場安定性に与える効果について、実証研究をはじめ多くの先行研究が行われたが、今も議論が続いている。値幅制限による市場安定化効果を唱える実証研究、または値幅制限が市場安定性に影響しない実証研究が多数あるが、本研究では人工市場シミュレーションの手法を採用し、それらの先行研究で議論してこなかった投資家間の情報入手速度の異質性に着目し、情報入手速度が異なる投資家グループ間の注文行動およびその決済を分析した結果、情報入手速度に関する異質性が市場参加者にある場合、値幅制限が必ずしも市場安定性に寄与しないと結論に至った。

また、情報入手速度の速い投資家が比較的に大きい割合で存在する市場で、比較的に緩やかな制限幅では制限幅抵触後のボラティリティ増加を情報入手速度の異なる市場参加者の戦略構成の変化を用いて説明し、実証研究で観察された制限幅抵触後のボラティリティ増加の 1 つの可能性を示した[Bildik 06, Kim 97]。

3.3 投資家損益

分析の結果、値幅制限は情報入手速度の遅い投資家に損失を与える場合があると分かった。

§ 1 情報入手の速い投資家の割合が大きい市場(制限幅が比較的大きい場合)

具体的には、値幅制限の制限幅が比較的に大きい場合、値幅制限は制限なしの場合よりも、FV 情報を遅れて入手する投資家に損失を与えると同時に、FV 情報を先に入手する投資家に利益を与えることがシミュレーション結果から分かった。

図 6 は制限幅ごとに TIA と NT の平均最終資産を示した図である。値幅制限なしの場合を含め、全ての設定においてシミュレーション終了時に平均的に TIA は初期 (50000) よりも資産が増え、NT は初期よりも資産が減ることが読み取れる。

図 6 制限幅と投資家最終資産

$per_{TIA} = 30\%, 40\%, 50\%$ の場合、 $\Delta P_{pr} = 750$ まで制限幅が狭くなるにつれ TIA の最終平均資産が増え、NT の平均最終資産が減少することが図 6 から読み取れる。つまり、値幅制限の存在で NT が制限なしの場合よりも損失を受ける。制限幅がさらに狭くなると ($\Delta P_{pr} = 500$)、TIA と NT の平均最終資産が $\Delta P_{pr} = 1500$ に近い水準に戻った。

その原因について、3.2 節 §1 で図 3 を用いて分析した結論と同じく、値幅制限がある場合、TIA の売り注文が割安になり、NT の買い注文と成立しやすくなる。結果として、取引に通じて将来に市場価格が低下する金融資産が TIA から NT へ移転され、最終的に NT の損失と繋がる。

§2 情報入手の速い投資家の割合が大きい市場(制限幅が比較的小さい場合)

一方、値幅制限の制限幅が比較的に小さい場合、値幅制限が FV 情報を遅れて入手する投資家に与える損失は、制限幅が比較的に大きい場合より小さい。

3.2 節 §1 の結論と同様に、制限幅が狭くなると、制限抵触が頻繁に発生し、TIA の売り注文価格が制限幅以内に制限され、注文の約定自体がなりにくくなり、将来に市場価格が低下する金融資産が TIA から NT への移転が少なくなるので、制限幅が比較的に狭い場合、値幅制限が NT に与える損失が制限幅の比較的に大きい場合より小さいと考えられる。

§3 情報入手の速い投資家の割合が小さい市場

情報入手速度の速い投資家の割合が比較的に少ない市場では、値幅制限は投資家の収益にあまり影響しない。

図 6 から、 $per_{TIA} = 10\%, 20\%$ の場合、制限幅が極端に狭い場合 ($\Delta P_{pr} = 250$) を除き、いずれの制限幅においても値幅制限が TIA と NT の平均最終資産にほとんど影響しない。

3.2 節 §2 から、情報入手速度の速い投資家の割合が比較的に少ない市場では、NT が正確な FV 情報を取得するまで制限抵触が発生しにくく、制限幅が極端に狭い場合を除き TIA と NT の間の取引成立にあまり作用しないため、投資家間の収益性に与える影響が小さい。

先行研究では、投資家間に情報入手速度の差異性が存在する市場における投資家の収益性が十分に議論されていなかった。本研究では、情報入手速度の速い投資家グループと情報入手速度の遅い投資家グループそれぞれの損益に焦点を当て、値幅制限がそれぞれの損益にどのような影響をもたらすかを分析した。先行研究の中には、値幅制限の投資家保護策としての有効性を唱えた研究がある [Brady 88, Yeh 10]。本研究はそれらの研究と異なり、値幅制限の導入によって一部の投資家が損失を受ける可能性があることを示し、値幅制限は必ずしも投資家保護に有効ではないと示唆した。

4・ 議論

本研究の結果から、例えば国内投資家と海外投資家、インサイダーとアウトサイダーが混在するような、情報入手速度に関する異質性が市場参加者に存在する場合、政策側が市場の安定化のため値幅制限の導入あるいは変更を考慮する時、投資家間の情報入手速度の差異を十分に考慮する必要性が示された。

具体的に、情報を先に入手する投資家が比較的大きい割合で存在する場合、市場の安定化を促進するため、制限幅を過度に緩やかにせず、適度に狭い制限幅を採用すべきである。その時、市場流動性が過度に損なわれないように注意する必要がある。

また、情報を先に入手する投資家が比較的大きい割合で存在する場合、一定以上に広い制限幅では海外投資家など、情報入手速度の遅い投資家に損失を与える可能性がある。投資家の大規模な破産が発生しないよう、政策側として十分に注意を払う必要がある。また、そのような場合、例えばサーキットブレーカーの導入で制度の見直しを図り、あるいは他の施策で投資家の損失を和らげるなど、政策側として十分に議論する必要がある。

値幅制限に関する先行研究では、投資家間に存在する情報入手速度の異質性があまり議論の対象とならなかった。特に値幅制限に関する人工市場研究では、本研究は初めて投資家間の情報入手時間の異質性をモデル化した研究となる。値幅制限のみならず、人工市場研究、特に本研究のベースモデルとなった水田モデルは各種の市場制度の研究に用いられている [Mizuta 14]。市場参加者の情報取得速度の異質性を視野に入れると、既存研究に有益な議論を加えることができる。

本研究はあくまでもモデル研究であり、例えば現実の市場では FV に関する情報が必ず 1 つでなく多数存在し、それらの情報を入手する速度で分けると、必ずしも本研究のような 2 グループになるわけではない。ただし、本研究は市場制度が市場安定性等に与える影響を議論する際、投資家間の情報入手速度の異質性を十分に考慮すべきことを強く示唆している。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K04979, 19H02376A の助成を受けたものです。

◇ 参考文献 ◇

- [Bildik 06] Bildik, R., Gülay, G.: Are price limits effective? Evidence from the Istanbul Stock Exchange[J]. Journal of Financial Research, 2006, 29(3): 383-403.
- [Brady 88] Brady, N. F.: Report of the Presidential Task Force on Market Mechanisms: Submitted to the President of the United States, the Secretary of the Treasury, and the Chairman of the Federal Reserve Board[M]. Task Force, 1988.
- [Chan 05] Chan, S. H., Kim, K. A., Rhee, S. G.: Price limit performance: evidence from transactions data and the limit order book[J]. Journal of Empirical Finance, 2005, 12(2): 269-290.

[Chiarella 02] Chiarella, C., Iori, G.: A simulation analysis of the microstructure of double auction markets. *Quantitative finance*, 2(5): 346-353, 2002.

[Dabbou 13] Dabbou, H., Silem, A.: Price limit and financial contagion: Protection or illusion? the tunisian stock exchange case. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 4(1): 54-70, 2013.

[Dvořák 05] Dvořák, T.: Do domestic investors have an information advantage? Evidence from Indonesia. *The Journal of Finance*, 60(2): 817-839, 2005.

[Gan 01] Gan, L., Li, D.: Using American Depository Receipts to identify the effect of price limits[J]. Unpublished paper, 2001.

[Kim 01] Kim, K. A.: Price limits and stock market volatility[J]. *Economics Letters*, 2001, 71(1): 131-136.

[Kim 97] Kim, K. A., Rhee, S. G.: Price limit performance: evidence from the Tokyo Stock Exchange[J]. *the Journal of Finance*, 1997, 52(2): 885-901.

[小林 06] 小林重人, 橋本敬: サーキットブレーカー制度の有効性とその限界: 人工市場シミュレーションによる検討. 数理モデル化と問題解決シンポジウム論文集, 2006(10): 29-36, 2006.

[Kodres 94] Kodres, L. E., O'Brien, D. P.: The existence of Pareto- superior price limits. *The American economic review*, 1994: 919-932, 1994.

[Kyle 85] Kyle, A. S.: Continuous auctions and Insider trading. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1985: 1315-1335, 1985.

[Li 14] Li, H., Zheng, D., Chen, J.: Effectiveness, cause and impact of price limit—Evidence from China's cross-listed stocks. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 29: 217-241, 2014

[Maghyreh 07] Maghyreh, A.I., Al Zoubi, H. A., Nobanee, H.: Price limit and volatility in Taiwan stock exchange: Some additional evidence from the extreme value approach[J]. *Review of Pacific Basin Financial Markets and Policies*, 2007, 10(01): 51-61.

[水田 13] 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 C (電子・情報・システム部門誌), 133(9): 1694-1700, 2013.

[Mizuta 14] Mizuta, T., Matsumoto, W., Kosugi, S., Izumi, K., Kusumoto, T., Yoshimura, S.: Do dark pools stabilize markets and reduce market impacts? investigations using multi-agent simulations. *Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics*, 2104 IEEE Conference on.IEEE, 2014: 71-76, 2014.

[西村 12] 西村友作, 孫便霞, 門明: 金融危機における米中株式市場間情報伝達の考察. 金融経済研究, 2012 (34): 44-63, 2012.

[Westerhoff 08] Westerhoff, F. H.: The use of agent-based financial market models to test the effectiveness of regulatory policies. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 228(2-3): 195-227, 2008.

[Sifat 19] Sifat, I. M., Mohamad, A.: Circuit breakers as market stability levers: A survey of research, praxis, and challenges[J]. *International Journal of Finance & Economics*, 2019, 24(3): 1130-1169.

[謝 21] 謝凡, 秋山英三: 情報入手時間の非対称性がある市場の振る舞いに値幅制限が与える影響: 人工市場によるアプローチ. 筑波大学大学院システム情報研究科修士論文(未公表), 2021.

[Yeh 10] Yeh, C. H., Yang, C. Y.: Examining the effectiveness of price limits in an artificial stock market[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2010, 34(10): 2089-2108.

[Zhang 16] Zhang, X., Ping, J., Zhu, T., Li, Y., Xiong, X.: Are price limits effective? An examination of an artificial stock market[J]. *PLoS one*, 2016, 11(8): e0160406.

表 5 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 1000$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	35.786	0.328	0.261	0.231	0.237	0.216	0.232
20%	58.776	0.423	0.317	0.283	0.251	0.226	0.227
30%	61.134	0.442	0.166	0.149	0.142	0.147	0.128
40%	48.560	0.443	0.186	0.169	0.167	0.185	0.177
50%	37.623	0.457	0.294	0.293	0.285	0.281	0.287

表 6 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 750$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	34.972	0.315	0.274	0.245	0.228	0.231	0.229
20%	53.284	0.320	0.241	0.201	0.188	0.180	0.187
30%	64.438	0.376	0.109	0.096	0.085	0.076	0.081
40%	45.273	0.391	0.193	0.180	0.176	0.181	0.173
50%	28.590	0.414	0.308	0.306	0.310	0.309	0.297

表 7 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 500$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	38.375	0.298	0.240	0.215	0.200	0.207	0.203
20%	68.885	0.160	0.081	0.065	0.057	0.053	0.050
30%	64.524	0.249	0.072	0.062	0.068	0.068	0.062
40%	49.276	0.206	0.131	0.122	0.124	0.121	0.125
50%	35.371	0.232	0.217	0.219	0.225	0.217	0.215

表 8 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 250$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	77.745	0.094	0.062	0.048	0.045	0.052	0.039
20%	128.151	0.059	0.009	0.007	0.004	0.007	0.007
30%	134.102	0.073	0.035	0.022	0.025	0.026	0.028
40%	152.731	0.050	0.025	0.031	0.037	0.030	0.026
50%	123.937	0.066	0.043	0.055	0.053	0.068	0.065

〔担当委員: 櫻井 祐子〕

2021 年 1 月 12 日 受理

著者紹介

謝 凡

2017 年学習院大学経済学部経済学科卒業. 同年より筑波大学大学院システム情報工学研究科. 現在, 同研究科社会工学専攻博士前期課程在学. 2019 年より株式会社 CLIS 社員.

秋山 英三 (正会員)

1998 年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了. 博士 (学術). 1998 年より日本学術振興会特別研究員, 1999 年より慶応義塾大学大学院理工学部助手, 2000 年より米国サンタフェ研究所研究員. 2001 年に筑波大学社会工学系に着任. 現在, 筑波大学システム情報系 教授. 専門は進化ゲーム理論・被験者経済実験.

付録 Stylized Fact 分析についての補足

表 3 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 2000$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	29.007	0.357	0.298	0.296	0.279	0.260	0.261
20%	54.259	0.364	0.285	0.274	0.248	0.242	0.243
30%	58.392	0.355	0.243	0.240	0.235	0.203	0.199
40%	52.183	0.375	0.278	0.232	0.221	0.225	0.222
50%	51.978	0.396	0.241	0.223	0.205	0.197	0.199

表 4 Stylized Fact ($\Delta P_{pr} = 1500$ の場合)

TIA(%)	r_t 分布の尖度	r_t^2 の自己相関					
		lag=1	lag=2	lag=3	lag=4	lag=5	lag=6
10%	29.056	0.349	0.287	0.270	0.260	0.261	0.243
20%	58.294	0.398	0.299	0.268	0.260	0.250	0.238
30%	57.519	0.421	0.298	0.271	0.246	0.241	0.227
40%	57.989	0.453	0.179	0.170	0.150	0.140	0.134
50%	52.350	0.445	0.188	0.156	0.152	0.152	0.132