

# 人工市場を用いた分散投資規制が市場に与える影響分析 ～ファンダメンタル価格急落時と急騰時における比較～

## Analysis of the Market Impact of the Rule for Investment Diversification at the Time of a Crashing Market and a Soaring Market using a Multi-Agent Simulation

丸山隼矢<sup>1\*</sup>      水田孝信<sup>2</sup>      八木勲<sup>3</sup>  
Maruyama Shunya<sup>1</sup>      Mizuta Takanobu<sup>2</sup>      Yagi Isao<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神奈川工科大学大学院工学研究科情報工学専攻

<sup>1</sup> Course of Information and Computer Sciences, Graduate School of Kanagawa Institute of  
Technology

<sup>2</sup> スパークス・アセット・マネジメント株式会社

<sup>2</sup> SPARX Asset Management Co., Ltd.

<sup>3</sup> 神奈川工科大学情報学部情報工学科

<sup>3</sup> Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology

**Abstract:** In recent years the risk of mutual funds has become difficult to assess. This is because mutual funds have come to choose various assets, some of which may have high risk, and there may be some funds whose performances depend on dangerously much those of a part of the assets that the funds hold, and so on. Companies managing mutual funds are expected to perform risk control to prevent investors from taking unforeseen risk of funds. A related revision to the investment fund legal system in Japan led to establishing what is known as “the rule for investment diversification.” Some papers discussed that the rule for investment diversification affected price formation at the time of a market crash; however, we could not find that it affects price formation at the time of a soaring market. In this paper, we investigated that the rule for investment diversification affected price formation in financial markets where two types of investors who followed the rule and did not follow it participated at the time of a soaring (crashing) market that was caused by the bulge (collapse) of an asset fundamental price using agent-based simulations and discussed the difference between these effects. As results, we found that, in two-asset markets where two types of investors who followed the rule and did not follow it participated, when one asset fundamental price soared, the rule for investment diversification prevented its price rising, and when one asset fundamental price collapsed, the rule promoted the other’s price to decline.

## 1 はじめに

投資信託（以下、投信と記す）とは、投資家から集めた資金をまとめ、資産運用の専門家が株式や債券などに投資する金融商品である。投信は利益を追求するためにさまざまな資産を組み入れ対象とする場合がある。中にはその仕組みが複雑なためリスクの大きさが把握しにくい金融商品も含まれており、それらを組み入れる投信はリスクが把握しにくくなっている。投信

を購入する投資家がそれらのリスクをすべて把握することは事実上不可能である。そのため、投資家が想定外のリスクを負うことを未然に防ぐため、投信の運用会社側でリスクをコントロールすることが求められるようになった。その結果、2013年には投資信託法制が改正され、2014年12月より分散投資規制という規制が設けられることとなった[蒲谷 14, 杉田 14]<sup>1</sup>。

分散投資規制は投信の各構成資産に対して保有上限を設ける規制である。分散投資そのものの是非につ

\*連絡先：神奈川工科大学大学院工学研究科情報工学専攻  
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030  
E-mail: s1885023@cce.kanagawa-it.ac.jp

<sup>1</sup>欧州では同様の規制が既の実施されている [The European Parliament and of the Council 09].

いては、主に運用成績のよし悪しの観点から多くの実証研究で議論されている。Cremer et al.[Cremer 09] は、高いアクティブシェア<sup>2</sup>の投信は、ベンチマークインデックスの投信より運用成績が総じてよいのに対し、低いアクティブシェアの投信は運用成績がよくないことを明らかにした。また低い手数料の高アクティブシェアの投信はインデックス投信より投資家にアルファ<sup>3</sup>を与えることを示した [Cremer 16]。Petajisto[Petajisto 13] は、高アクティブシェアかつ低ボラティリティの投信を扱う投資家の運用成績は、低アクティブシェアかつ低ボラティリティの投信を扱う投資家の運用成績よりよいことを示している。

このように実証研究では分散投資に関する運用成績についての議論は盛んに行われているが、分散投資に何らかの制約（分散投資規制等）が設けられたときの市場価格形成についての議論は行われていない。なぜなら、現実の市場には、さまざまな投資家が取引に参加しているため、分散投資の制約による取引のみが価格形成に与える影響を抽出することは困難だからである。

特定の取引が市場に与える影響を分析するような課題、つまり、実証研究では議論が困難な課題を分析する方法の1つとして、人工市場を用いる方法がある。人工市場とは、コンピュータ上に仮想的に構築されたマルチエージェントシステムの金融市場である [Chiarella 09, Chen 12, Yeh 13]。人工市場では、エージェントにそれぞれ独自の売買手法を与え、それらを投資家として金融資産の取引をさせると、市場がどのような振る舞いをするかを確認することができる。その一方で、市場側に何らかの制約（市場安定化や効率化のための制度等）をモデル化し組み込むことで、投資家がどのように振る舞うか、さらに、彼らの振る舞いによって市場にどのような影響が現れるかを検討することも可能となる。

最近では人工市場を用いて市場規制制度が金融市場に与える本質的な影響を分析する研究が盛んに行われている [Yagi 10, Yeh 13, Mizuta 15, Zhou 17]。

分散投資規制に関しては下記の研究が行われている。Yagi et al.[Yagi 17] は、2資産人工市場を用いて、一方のファンダメンタル価格が急落したときに他方の資産の価格形成に与える影響を調査し、分散投資規制が適用されている場合は他方の資産価格も連動して下落することを明らかにしている。Nozaki et al.[Nozaki 17] は、3資産人工市場においては、ある資産のファンダメンタル価格が急落すると、連動して価格下落する資産が存在する一方で、価格下落した資産から回収された資金による需要が集中することで価格が上昇する資産

が現れることも確認した。

このように、人工市場を用いて分散投資規制がファンダメンタル価格が急落したときの価格形成に与える影響は議論されてきた。しかし、一方で金融市場が活況となったときに分散投資規制が市場に与える影響を調査することも肝要である。

そこで、本研究では人工市場を用いて、分散投資規制がファンダメンタル価格が急騰したときの価格形成に与える影響について調査した。そして、ファンダメンタル価格急落時の価格形成と比較し、どのような違いがみられるか議論する。まず2節では、本研究にて使用する人工市場モデルを提案する。3節では、前節で提案した人工市場を用いてファンダメンタル価格が急騰するときと急落するときの各資産の価格推移を確認する。4節では前節で得られた結果から考察を行う。5節にはまとめと今後の課題を記す。

## 2 人工市場モデル

本研究では、水田らの人工市場モデル [Mizuta 15] を基にして、人工市場を2資産市場へと拡張し、分散投資規制モデルを構築した。

### 2.1 注文プロセス

本モデルは2つのリスク資産（以下、単に「資産」と呼ぶ）のみを取引対象とし、価格決定メカニズムは連続ダブルオークション方式（ザラバ方式）とした。本市場には $n$ 体のエージェントが取引に参加する。エージェントはエージェント番号 $j = 1$ 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、注文をただけ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） $r_{e_{j,k}}^t$ は、以下の式1から得られる。

$$r_{e_{j,k}}^t = \frac{1}{w_{1,j,k}^t + w_{2,j,k}^t + u_{j,k}^t} (w_{1,j,k}^t r_{e_{1,j,k}}^{t-1} + w_{2,j,k}^t r_{e_{2,j,k}}^{t-1} + u_{j,k}^t \epsilon_{j,k}^t) \quad (1)$$

ここで、 $w_{i,j,k}^t$ は時刻 $t$ 、エージェント $j$ 、資産 $k$ 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。この値は後述する学習過程により変化する。 $u_{j,k}$ はエージェント $j$ 、資産 $k$ の3項目の重みであり、シミュレーション開始

<sup>2</sup>アクティブシェアとは、投信がアクティブ運用されている度合いを表す指標で、投資先を集中させると上昇し、分散させると減少する。

<sup>3</sup>アルファとは、市場の平均運用成績を上回る運用成果のことを指す。

時に、それぞれ0から $u_{max}$ まで一様乱数で決められ、シミュレーション中に変化することはない。

$r_{e_{1,j,k}}^t$  は、時刻  $t$  におけるエージェント  $j$  の資産  $k$  に対するファンダメンタル投資家成分だけの場合の予想リターンで  $r_{e_{1,j,k}}^t = \log(P_{f_k}^t/P_k^t)$ 、同様に  $r_{e_{2,j,k}}^t$  はテクニカル投資家成分だけの場合の予想リターンで、 $r_{e_{2,j,k}}^t = \log(P_k^t/P_k^{t-\tau_j})$  である ( $k = 1, 2$ )。  $P_{f_k}^t$  は時間によらず一定の資産  $k$  のファンダメンタル価格である。ファンダメンタル価格とは、金融資産を発行する企業自体が持っている実態の価値に基づいた価格を指す。  $P_k^t$  は資産  $k$  の時刻  $t$  での取引価格（取引されなかった時刻では一番最近に取引された価格であり、時刻  $t = 0$  では  $P_k^t = P_{f_k}$  とする）である。  $\tau_j$  は1から  $\tau_{max}$  まで一様乱数でエージェントごとに決める。  $\epsilon_{j,k}^t$  は時刻  $t$ 、エージェント  $j$ 、資産  $k$  の乱数項で、平均0、標準偏差  $\sigma_e$  の正規分布乱数である。

式1の右辺の括弧内の第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、高ければマイナスの予想リターンを示すファンダメンタル投資家の成分である。なお、ファンダメンタル投資家は通常ファンダメンタル価値を参照して投資判断を行う投資家を指す。第2項目は過去のリターンがプラス（マイナス）であるならプラス（マイナス）の予想リターンを示す、テクニカル投資家の成分である。テクニカル投資家は過去の価格推移を参照して投資判断を行う投資家を指す。第3項目はノイズを表している。予想価格  $P_{e_{j,k}}^t$  は、予想リターン  $r_{e_{j,k}}^t$  に基づいて式2から求められる<sup>4</sup>。

$$P_{e_{j,k}}^t = P_k^{t-1} \exp(r_{e_{j,k}}^{t-1}) \quad (2)$$

注文価格  $P_{o_{j,k}}^t$  は  $P_{e_{j,k}}^t - P_d$  から  $P_{e_{j,k}}^t + P_d$  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  $\delta P$  とし、注文の売り買いは予想価格  $P_{e_{j,k}}^t$  と注文価格  $P_{o_{j,k}}^t$  の大小関係で式3のように決まる。

$$\begin{aligned} P_{e_{j,k}}^t > P_{o_{j,k}}^t &\text{なら買い} \\ P_{e_{j,k}}^t < P_{o_{j,k}}^t &\text{なら売り} \end{aligned} \quad (3)$$

注文数は常に1と一定とする。

全てのエージェントは、注文価格や注文数を決定後、レバレッジ制約に違反していないか判定を行う。さらに分散投資規制対象エージェントはその判定も行う。レバレッジ制約と分散投資規制の詳細は2.3節で説明する。

本モデルの価格決定メカニズムはザラバ方式であるため、買い（売り）注文は、その注文価格より安い（高

い）売り（買い）注文が市場に既に存在すれば、その中で最も安い（高い）売り（買い）注文と即座に取引が成立する。しかし、相対する注文が市場になければ、今回の注文は市場に残す。市場に残した注文は、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ときキャンセルされる。

## 2.2 学習プロセス

本研究では、実証研究 [Yamamoto 13] が存在を示している「投資戦略の切り替え」に焦点をあて、そのメカニズムの分析を行いやすいように比較的シンプルでパラメータの少ないモデルの構築を行った。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。すなわち、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たようにした。また、資産  $k$  の学習期間のリターン  $r_{i,k}^t$  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ようにした。学習は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。これらの予想リターン  $r_{e_{i,j,k}}^t$  が資産  $k$  の学習期間のリターン  $r_{i,k}^t = \log(P_k^{t-1}/P_k^{t-t_i})$  と比べ、同符号なら、 $w_{i,j,k}^t$  を  $w_{i,j,k}^{t-1} + k_l |r_{i,k}^t| p_j^t (w_{i,max} - w_{i,j,k}^{t-1})$  に、異符号なら、 $w_{i,j,k}^t$  を  $w_{i,j,k}^{t-1} - k_l |r_{i,k}^t| p_j^t w_{i,j,k}^{t-1}$  に更新する。ここで、 $k_l$  は定数、 $p_j^t$  は時刻  $t$ 、エージェント  $j$  に与えられる0から1までの一様乱数である。

上記学習プロセスの他に、小さい確率  $m$  で  $w_{i,j,k}^t$  を再設定する。つまり、0から  $w_{i,max}$  まで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 制度モデル

本モデルは、水田ら [Mizuta 15] では実装されていない、資産の総保有量を制限するレバレッジ制約と、各資産の保有量を制限する分散投資規制から構成される。既述のようにレバレッジ制約はすべてのエージェントが対象であるが、分散投資規制は該当するエージェントのみが対象となる。

本モデルにおいて、レバレッジ制約は、各エージェントの資産の取引高の総額を、純資産以下に規制するようにモデル化した<sup>5</sup>。レバレッジ制約は以下の式で表

<sup>4</sup>本研究では対数リターンを使用している。そのため予想リターンは現在の価格の対数と予想価格の対数の差である。すなわち、 $r_{e_{j,k}}^t = \log P_{e_{j,k}}^t - \log P_k^t = \log P_{e_{j,k}}^t / P_k^t$  であり、これより式2が導き出される。

<sup>5</sup>通常の株式投資を行う投信の場合、投資資金の借入れができないため、仕組み上、レバレッジ比率が1より大きい投資はできない。よって、本制約は外部からの規制という意味合いではなく、投信の特性を表したものである。

される。

$$\sum_{k=1}^2 |P_k^t S_{j,k}^t| \leq NAV_j^t \quad (4)$$

ここで、 $S_{j,k}^t$  は、時刻  $t$  におけるエージェント  $j$  の資産  $k$  の保有量であり、 $S_{j,k}^t > 0$  なら買い保有している状態、 $S_{j,k}^t < 0$  なら空売りしている状態を表している。

なお、時刻  $t$  におけるエージェント  $j$  のキャッシュの保有量を  $C_j^t$  とすると、エージェント  $j$  の純資産  $NAV_j^t$  は次のように定義される。

$$NAV_j^t = \sum_{k=1}^2 P_k^t S_{j,k}^t + C_j^t \quad (5)$$

$$\frac{|P_k^t S_{j,k}^t|}{NAV_j^t} \leq w_{dir} \quad (6)$$

$w_{dir}$  は、分散投資規制の規制比率（以降、規制比率と略す）であり、各エージェントの純資産に対する各資産の保有高の上限率である。

何らかの理由（例えば、 $P_k^t$  が  $P_k^{t-1}$  より大きく上昇した等）で式 6 が満たさなくなったとき、エージェントは式 6 を満たすようになるまで資産  $k$  の注文を出しつづけるようにしている。このような売買にした理由は次のとおりである。現実世界では、ある投信構成資産が上限を超えた場合、1 か月以内に上限を超えないよう資産量を減らさなければ違法となってしまう。そのため投信運用者はその資産の保有量を上限を超えなくなるまで減らし続けるからである。規制違反を解消するため時に強制的に発注される売り（買い）注文のことを、「規制違反売り（買い）注文」と呼ぶ。

これらの注文は資産保有量を減らすことが目的であるため、損益度外視で発注することになる。よって、予めそのような事態になることを防ぐため、分散投資規制が適用されたエージェントは、注文を発注する際にその注文が規制に違反しそうな場合（上記の式 6 を満たさない場合）は、それをキャンセルするよう振る舞うようにした。

### 3 シミュレーション結果と考察

水田ら [Mizuta 13] は、様々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、後述するパラメータ値を妥当性の高い値として用いている。よって、本研究でも同様のパラメータを用いる。具体的には、パラメータを以下のように設定した。  $n = 1,000$ ,  $k = 2$ ,  $w_{1,max} = 1$ ,  $w_{2,max} = 10$ ,  $u_{max} = 1$ ,  $\tau_{max} = 10,000$ ,  $\sigma_e = 0.03$ ,  $P_d = 1,000$ ,  $t_c = 10,000$ ,  $t_l = 10,000$ ,  $k_l = 4$ ,  $m = 0.01$ ,  $\delta P = 1$ ,  $w_{dir} = 0.5$ ,  $C_j^0 = 40,000$ ,

表 1:  $n_r\_ratio = 50\%$ 条件下におけるスタイライズド・ファクト

	急騰		急落	
	資産 1	資産 2	資産 1	資産 2
尖度	54.77	5.30	7.25	19.72
ラグ				
1	0.12	0.09	0.16	0.22
リターンの				
2 乗の	0.10	0.07	0.14	0.18
3	0.10	0.06	0.13	0.12
自己相関				
4	0.14	0.05	0.12	0.07
5	0.26	0.03	0.11	0.07

$S_{j,k}^0 = 48$ ,  $NAV_j^0 = 1,000,000$  とした。シミュレーション期間  $t$  は 1,000,000 とする。

本研究では、1) ファンダメンタル価格が急騰したとき ( $P_{f_2} = 10,000$ , 時刻  $t = 0$  から  $t = 100,000$  までは  $P_{f_1} = 10,000$ ,  $t = 100,001$  以降は  $P_{f_1} = 13,000$ )、2) ファンダメンタル価格が急落したとき ( $P_{f_2} = 10,000$ , 時刻  $t = 0$  から  $t = 100,000$  までは  $P_{f_1} = 10,000$ ,  $t = 100,001$  以降は  $P_{f_1} = 7,000$ ) についてシミュレーションを行う。それぞれの場合で、すべてのエージェントに対する、分散投資規制が適用されるエージェント<sup>6</sup>（以下、「規制あり」エージェントと呼ぶ）の割合を変化させる。すべてのエージェントに対する規制ありエージェントの割合を  $n_r\_ratio$  とし、 $n_r\_ratio$  が 0%, 10%, 50%, 90%, 100% の 5 パターンでシミュレーションを行う。シミュレーションは各条件の下でそれぞれ 30 回ずつ試行し、その結果をもとに議論を行った。ただし、3.1 節のスタイライズド・ファクトについては 30 回試行の平均を、3.2 節以降の議論は各シミュレーション条件の下で高い確率で発現した特徴的な結果の 1 つを抽出して行っている。

#### 3.1 人工市場モデルの妥当性

現実の市場ではファット・テイルとボラティリティ・クラスタリングが現れる、と多くの実証研究で指摘されている [Sewell 06, Cont 01]。ファット・テイルは、資産価格のリターンの分布が厚い、すなわち、尖度が正であることである。また、ボラティリティ・クラスタリングは資産価格のリターンの 2 乗が、ラグが増えても自己相関係数が有意に正であり、長期記憶性を持つことである。

本提案モデルにおいてもファット・テイルとボラティリティ・クラスタリングが再現されているか確認を行った。その結果、すべての条件下においてこれらが再現さ

<sup>6</sup>厳密には分散投資規制が適用されるのは投信構成資産であり、投信運用者ではない。しかし本論文では便宜上エージェントに対して規制が適用されているか否かで記す。

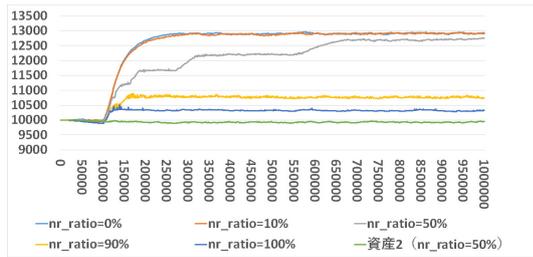


図 1: 資産 1 のファンダメンタル価格が急騰したときの資産 1 ( $n_r\text{-ratio}=0\%$ ,  $10\%$ ,  $50\%$ ,  $90\%$ ,  $100\%$ ) と資産 2 ( $n_r\text{-ratio}=50\%$ ) 価格推移

れることが確認できた。一例として、 $n_r\text{-ratio}$  が  $50\%$  のとき、かつ、ファンダメンタル価格が急騰するときと急落するときのスタイルズド・ファクトを表 1 に記す。この表からもわかるように、尖度とリターンの 2 乗の自己相関ともに正值となっている。なお、スタイルズド・ファクトはすべて 100 ステップ間隔での価格を用いて計算した。なぜならば、本モデルの時刻は注文をただけで取引が成立しない場合も時刻が進むため、時刻 1 ごとの全ての価格を用いたスタイルズド・ファクトでは、多くの価格変動がないデータによるバイアスがかかってしまうからである。

### 3.2 ファンダメンタル価格急騰時

本節では、片方の資産（資産 1）のファンダメンタル価格のみが急騰した場合についての価格形成についての分析を行った。ファンダメンタル価格は、100,000 期までは 10,000 とし、100,001 期に 13,000 に変化させる。

各パターンの価格推移を図 1 に示す。（ただし、資産 2 の価格はどのパターンでも同じような価格推移であったため、ここでは  $n_r\text{-ratio} = 50\%$  の時のみを示す。）

図 1 より、資産 1 のファンダメンタル価格が急騰すると、 $n_r\text{-ratio}$  がいずれの場合であっても、資産 1 の資産価格は上昇することがわかる。しかし、 $n_r\text{-ratio}$  が増えるごとに資産価格が収束する値が低くなり、ファンダメンタル価格まで到達しないことが確認できる。また  $n_r\text{-ratio} = 50\%$  など規制ありエージェント数と規制なしエージェント数にそれほど差がないときは資産 1 の価格は段階的に資産価格が上昇することが確認できる。

資産 1 の資産価格が上昇した理由としては、資産 1 のファンダメンタル価格急騰に伴い、資産 1 の買い注文が売り注文に対して大きく増加したためだと考えられる。また、 $n_r\text{-ratio}$  が増加するにつれ資産 1 の価格が上昇しなくなる理由としては、市場内に規制ありエージェントが存在する割合が増えると、規制による買い注文のキャンセル数が増加し、その結果買い注文の取

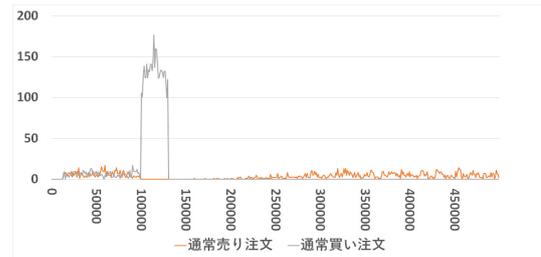


図 2:  $n_r\text{-ratio}=0\%$  のときの資産 1 の注文種別ごとの取引成立数

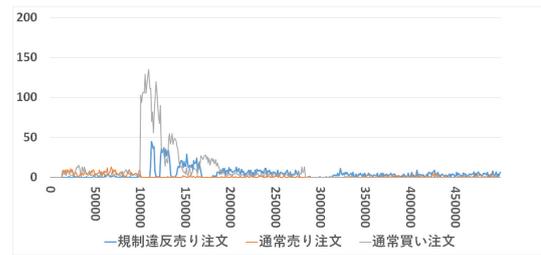


図 3:  $n_r\text{-ratio}=50\%$  のときの資産 1 の注文種別ごとの取引成立数

引成立数が減少し、価格上昇力が弱まるためだと考えられる。

以上の仮説を検証するため、資産 1 における注文種別ごとの取引成立数について調査した。その結果を、図 2,3,4 に示す。図 2,3,4 から、資産 1 のファンダメンタル価格が急騰した後（100,000 期以降）、買い注文の取引成立数が他の注文に比べて多いことが確認できる。また  $n_r\text{-ratio}$  が増えるにつれ買い注文の取引成立数が減っていることも確認できる<sup>7</sup>。

また、 $n_r\text{-ratio}$  が  $50\%$  の時に、資産 1 の価格が段階的に上昇する原因としては、規制違反時に発生する買い注文のキャンセル数と規制違反売り注文数の多寡が原因だと考えられる。買い注文のキャンセル数の推移を図 5 に示す。

図 1,5 より、資産 1 の価格が上昇するにしたがって、買い注文のキャンセル数も増加し（例えば、250,000 期から 300,000 期前後）、価格上昇が止まり安定期に入ると、買い注文のキャンセル数は漸減している（例えば、300,000 期から 550,000 期前後）ことが確認できる。

以下、このような現象が発生する理由を述べる。ファンダメンタル価格が上昇するとそれに合わせて資産 1 の取引価格も上昇しはじめる。すると分散投資規制に違反するエージェントが現れはじめ、資産 1 に対する

<sup>7</sup>図 2 以降における注文は各期に発注した注文種別ごとの注文数であり、これらと相対する注文は、以前注文されたが取引が成立せずに市場に留まっている注文である。そのため、グラフ上の各期の売り注文数と買い注文数は必ずしも一致するわけではない。

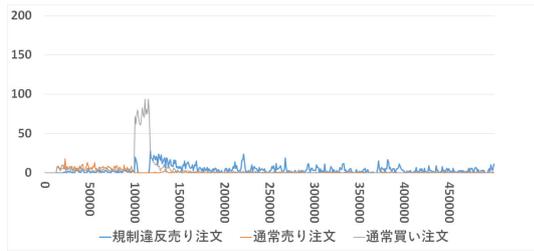


図 4:  $n_r\_ratio=100\%$  のときの資産 1 の注文種別ごとの取引成立数

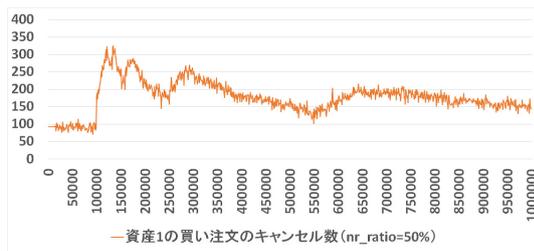


図 5:  $n_r\_ratio=50\%$  のときの資産 1 への買い注文キャンセル数

買い注文キャンセルと規制違反売り注文が現れるようになる (図 6 右)。仮に違反状態が解消されたとしても、資産 1 の保有高は高い状態がつづくため新たに追加購入すると再び規制違反となる。よって、新たに買い注文が発注されようとしてもキャンセルされるので、買い注文のキャンセル数が急増する。これにより、それまで買い注文の方が多かった状態から需給バランスが均衡する状態へと移ることで、資産 1 の価格上昇が止まり、価格推移が横ばいへと移行する。その後、規制違反売りではない通常の売り注文により、各エージェントの資産 1 の保有高が下がってくると、規制違反売り注文および買い注文のキャンセルも減少する。すると投資戦略のファンダメンタル成分の影響により、再び買い注文が増加し価格が上昇しはじめる。以上のプロセスが繰り返し起こることで段階的な価格上昇が発生していると考えられる。

### 3.3 ファンダメンタル価格急落時

本節では、片方の資産 (資産 1) のファンダメンタル価格のみが急落した場合について分析を行った。ファンダメンタル価格は、100,000 期までは 10,000 とし、100,001 期に 7,000 に変化させる。Yagi et al.[Yagi 17] も一方の資産のファンダメンタル価格が急落したときの調査をおこなっているが、規制ありエージェントのみが取引に参加したケース ( $n_r\_ratio=100\%$ ) のみ調査

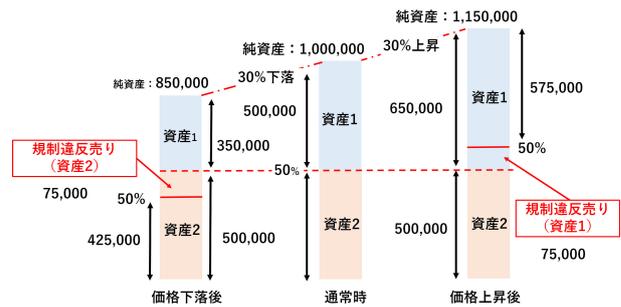


図 6: 資産価格上昇および下落時に規制違反注文を出すまでのメカニズム

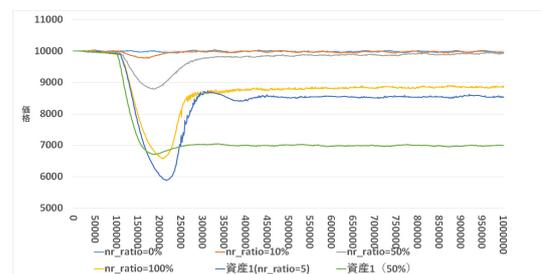


図 7: 資産 1 のファンダメンタル価格が急落したときの資産 2 ( $n_r\_ratio=0\%$ ,  $10\%$ ,  $50\%$ ,  $90\%$ ,  $100\%$ ) と資産 1 ( $n_r\_ratio=50\%$ ) 価格推移

していた。本研究では、そのほかのケースも調査した。各パターンの価格推移を図 7 に示す。(ただし、資産 1 の価格はどのパターンでも同じような価格推移であったため、ここでは  $n_r\_ratio=50\%$  の時のみを示す。)

図 7 より資産 1 の下落に伴い資産 2 の資産価格が連動して下落していることが分かる。また、 $n_r\_ratio$  が  $50\%$  を超えると、資産価格の下落の幅が大きくなること分かる。

資産 2 の価格が連動して下落した理由は以下のように考えられる。まず、資産 1 のファンダメンタル価格が急落するに伴い、資産 1 の資産価格も急落する。するとエージェントの純資産が小さくなると同時に、資産 2 の保有高が相対的に高くなり規制違反状態となる (図 6 左)。その結果、数多くの規制ありエージェントから規制違反売り注文が発注され、資産 2 の資産価格が下落する。

以上の仮説を調査するため、資産 2 における注文種別ごとの取引成立数について調査した。その結果を、図 8 に示す。図 8 より、ファンダメンタル価格が急落した直後 (100,000 期)、規制違反売り注文が増加していることが確認できる。

また、 $n_r\_ratio$  が増加するにつれ、資産 2 の資産価格の下落幅が大きくなる理由は、以下のように考えら

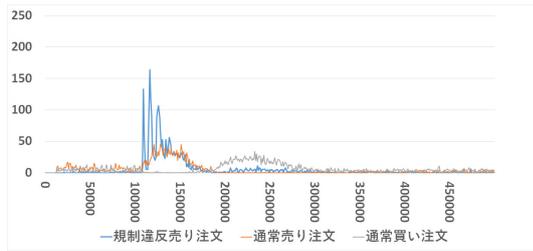


図 8:  $n_r\_ratio=50\%$  のときの資産 2 の注文種別ごとの取引成立数

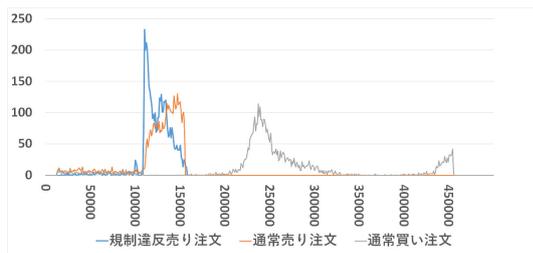


図 9:  $n_r\_ratio = 100\%$  のときの資産 2 の注文種別ごとの取引成立数

れる。まず、上記で説明した通り規制違反売り注文が発注されることで資産価格が下落する。規制ありエージェントの割合が多いほど、規制違反売り注文数も多くなる（図 8、図 9）ので、資産価格下落トレンドが一方方向に長く続くようになる。すると、エージェントの注文プロセスにおいて、テクニカル要素の影響が強くなり、さらに売り注文が多くなる。その結果、価格下落が加速し下落幅が大きくなる。

## 4 考察

本節では、ファンダメンタル価格急騰時と急落時における各資産の価格推移の違いについて議論する。

まず、3.2 節と 3.3 節より、ファンダメンタル価格が急騰するときと急落するときとは資産価格推移には対称性がないことがわかった。

その理由を以下に述べる。図 6 からわかるように、ファンダメンタル価格の急騰に伴い資産価格が上昇したときは、価格が上昇した資産（資産 1）の違反売り注文が増える。一方、ファンダメンタル価格の急落に伴い資産価格が下落したときは、価格が下落した資産とは異なる他方の資産（資産 2）の違反売り注文が増える。これがファンダメンタル価格急騰時と急落時で資産価格の推移が非対称となった原因である。

この結果から、分散投資規制は、急騰時には価格上昇を止めるという形で影響を与えているのに対し、急

落時には価格を下落させるという形で影響を与えていることがわかる。

次に、分散投資規制が価格形成に与える影響は、急騰時より急落時の方が大きくなる可能性があることが判明した。

理由は次のとおりである。急騰時は急騰した資産が規制違反売りされる一方で、規制なしエージェントは割安となったその資産を購入しようとする。急騰幅が大きいと後者の購入意欲はさらに大きくなる。その結果、急騰時において、規制なしエージェントの割合が小さいときは分散投資規制が価格形成に与える影響は限定的となる。それに対して急落時は、急落した資産とは異なる資産（資産 2）が規制違反売りされるが、資産 2 のファンダメンタル価格は一定であるため、急落直後は規制なしエージェントの注文はまちまちである。しかし規制ありエージェントによる規制違反売り圧力により資産 2 の価格が下落しはじめると、規制なしエージェントの注文プロセスにおいて、テクニカル投資家の成分の影響が大きくなり、売り注文が増加する。その結果、資産 2 の価格下落幅が大きくなる。このことから、分散投資規制が価格形成に与える影響は急騰時に比べ、急落時の方が大きいと考えられる。

## 5 まとめと今後の課題

本研究では、人工市場を用いて分散投資規制がファンダメンタル価格急騰時の価格形成にどのような影響を与えるか調査し、ファンダメンタル価格急落時のそれとの違いについて議論した。そして、ファンダメンタル価格急騰時はその資産価格の上昇を制限する働きがあることを確認した。また、分散投資規制が急騰時に比べ急落時により大きな影響を与えることを確認した。

今後の課題は以下のとおりである。本研究では、分散投資規制が価格形成に与える影響のみ調査した。しかし、価格形成以外にも運用成績、市場流動性といったさまざまな指標がある。そのため、分散投資規制がファンダメンタル価格急騰時、急落時にそれらの指標にどのような影響を与えるか調査することがあげられる。また、分散投資規制以外の要因からなる資産価格間の相互作用の要因（ファンダメンタルズ価格間の相関、ポートフォリオ投資、パッシブ投資の要因など）をモデルに反映させ、これらの要因と分散投資規制との関連を調査することが挙げられる。

## 参考文献

- [Allen 06] Allen, F., Morris, S., and Shin, H.: Beauty Contests and Iterated Expectations in Asset Markets, *The Review of Financial Studies*, Vol. 19, No. 3, pp. 719–752 (2006)

- [Chen 12] Chen, S.-H., Chang, C.-L., and Du, Y.-R.: Agent-based Economic Models and Econometrics, *Knowledge Engineering Review*, Vol. 27, No. 2, pp. 187–219 (2012)
- [Chiarella 09] Chiarella, C., Iori, G., and Perelló, J.: The Impact of Heterogeneous Trading Rules on the Limit 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)
- [Cremers 09] Cremers, M. and Petajisto, A.: How Active Is Your Fund Manager? A New Measure That Predicts Performance, *Review of Financial Studies*, Vol. 22, No. 9, pp. 3329–3365 (2009)
- [Cremers 16] Cremers, M., Ferreira, M. A., Matos, P., and Starks, L.: Indexing and Active Fund Management: International Evidence, *Journal of Financial Economics*, Vol. 120, No. 3, pp. 539–560 (2016)
- [DE LONG 90] DE LONG, J. B., SHLEIFER, A., SUMMERS, L. H., and WALDMANN, R. J.: Positive Feedback Investment Strategies and Destabilizing Rational Speculation, *The Journal of Finance*, Vol. 45, No. 2, pp. 379–395 (1990)
- [広田 09] 広田 真一：バブルはなぜ起こるのか？－ファイナンス理論からの考察－, *証券アナリストジャーナル*, Vol. 47, No. 5, pp. 6–15 (2009)
- [蒲谷 14] 蒲谷 俊介：改正投信法が投信業界に与える影響, *金融 IT フォーカス*, 野村総合研究所, pp. 12–13 (2014)
- [Mizuta 13] 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*, Vol. 3, No. 2A, pp. 15–22 (2013)
- [Mizuta 15] Mizuta, T., Izumi, K., Yagi, I., and Yoshimura, S.: Investigation of Price Variation Limits, Short Selling Regulation, and Uptick Rules and Their Optimal Design by Artificial Market Simulations, *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 98, No. 7, pp. 13–21 (2015)
- [Nozaki 17] Nozaki, A., Mizuta, T., and YAGI, I.: A Study on the Market Impact of the Rule for Investment Diversification at the Time of a Market Crash Using a Multi-Agent Simulation, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E100.D, No. 12, pp. 2878–2887 (2017)
- [Petajisto 13] Petajisto, A.: Active Share and Mutual Fund Performance, *Financial Analysts Journal*, Vol. 69, No. 4, pp. 73–93 (2013)
- [Sewell 06] Sewell, M.: Characterization of financial time series (2006)
- [Shiller 01] Shiller, R.: Bubbles, Human Judgment, and Expert Opinion, Cowles Foundation Discussion Papers 1303, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University (2001)
- [Shiller 05] Shiller, R.: *Irrational Exuberance*, Broadway Books, Currency/Doubleday (2005)
- [Soros 03] Soros, G.: *The Alchemy of Finance*, John Wiley & Sons, Inc. (2003), (青柳孝直訳：新版 ソロスの錬金術，総合法令出版 (2009))
- [杉田 14] 杉田 浩治：投資信託の 14 年改革と今後の課題, *資本市場，資本市場研究会*, No. 347, pp. 4–11 (2014)
- [The European Parliament and of the Council 09] The European Parliament and of the Council, : DIRECTIVE 2009/65/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities(UCITS) (2009)
- [Yagi 10] Yagi, I., Mizuta, T., and Izumi, K.: A Study on the Effectiveness of Short-selling Regulation in view of Regulation Period using Artificial Markets, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 7, No. 1, pp. 113–132 (2010)
- [Yagi 17] Yagi, I., Nozaki, A., and Mizuta, T.: Investigation of the rule for investment diversification at the time of a market crash using an artificial market simulation, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 14, No. 2, pp. 451–465 (2017)
- [Yamamoto 13] Yamamoto, R. and Hirata, H.: Strategy switching in the Japanese stock market, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 37, No. 10, pp. 2010–2022 (2013)
- [Yeh 13] Yeh, C.-H. and Yang, C.-Y.: Do price limits hurt the market?, *Journal of Economic Interaction and Coordination*, Vol. 8, No. 1, pp. 125–153 (2013)
- [Zhou 17] Zhou, X. and Li, H.: Buying on Margin and Short Selling in an Artificial Double Auction Market, (in press) (2017)