

人工市場を用いた分散投資規制が資産価格急落時の市場に与える影響分析

A Study on the Market Impact of the Rule for Investment Diversification at the Time of a Market Crash using an Multi-Agent Simulation

野崎 淳^{1*} 水田 孝信² 八木 勲³
Atsushi Nozaki¹ Takanobu Mizuta² Isao Yagi³

¹ 神奈川工科大学大学院情報工学専攻

¹ Course of Information and Computer Sciences, Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

² スパークス・アセット・マネジメント株式会社

² SPARX Asset Management Co. Ltd

³ 神奈川工科大学情報学部

³ Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology

Abstract: 投資信託の取引において、投資家が想定外のリスクを負うのを未然に防ぐため、分散投資規制が設けられた。分散投資規制は、1つの発行体への投資が過度に集中しないよう、1つの発行体への投資額を投資信託純資産の一定割合以下にするものである。これまでに、2資産市場の人工市場において分散投資規制が資産価格急落時の市場に与える影響について検証されており、資産価格が急落したとき全ての資産の保有額が純資産に対して非常に少なくなってしまうことが確認されている。一方、実際の投資信託運用者は、資産価格の変動などによって予め設定している保有額の下限を下回らないよう、保有額の少ない資産を買い増ししたりして純資産に対する全資産保有額を調整している。そこで本研究では、2資産市場の人工市場にまだ分散投資していない資産（資産3）を追加し、ある資産の価格が急落したときに分散投資規制が市場にどのような影響を与えるかを、純資産に対する全資産保有額の下限がある場合とない場合に分けて調査した。その結果、資産1のファンダメンタル価格が急落し、分散投資規制が導入されている市場において、純資産に対する資産の保有額に下限を設けた場合は、資産1と資産2の市場価格は下落する一方で、初期状態では分散投資されていなかった資産3が購入され、市場価格が上昇することが確認できた。

1 はじめに

近年金融商品の複雑化やリスクの複合化により、投資家がリスクを把握しにくくなっている。例えば、投資信託において、投資先資産のバリエーションは広がってきたが、ある特定の資産にリスクが集中しているかもしれない。また、ある投資信託の運用成績は、保有している特定の資産（例えばデリバティブ）の運用成績に大きく依存しているかもしれない。このような状況を投資家がすべて把握することは不可能である。

投資家が想定外のリスクを負うのを未然に防ぐため、

投資信託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ている。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[1][2]。

分散投資規制は、1つの発行体への投資が過度に集中しないよう、1つの発行体への投資額を投資信託純資産の一定割合以下にするもので、欧州では既に同様の規制が適用されている。例えば、ある投資信託が特定の発行体への、1) 株式、2) 株式を原資産とするオプション、3) 社債に投資していた場合、それぞれの投資額はファンド純資産の10%以下、かつ、これらの合計投資額が投資信託純資産の20%以下とすることが求められている。ここで言う発行体とは、債券の発行元のことであり、株式や債券などの有価証券を投資家に売

*連絡先：神奈川工科大学大学院情報工学専攻
神奈川県厚木市下荻野 1030
E-mail:s1585027@cco.kanagawa-it.ac.jp

る企業、政府、金融機関などがそれに当たる。

分散投資そのものの是非についてはこれまでに多くの実証研究がなされている。例えば、Cremersらは分散投資しない方がポートフォリオの運用成績はよいことを示している [3]。一方、分散投資に制約を設けることによって市場の価格形成にどのような影響を与えるかは、これまで議論されたことはない。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であるからである。

このように特定の取引が市場に与える影響を分析する方法の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 [4][5][6]。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、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である。

人工市場を用いて金融規制を分析した研究はいくつかあるが、野崎らの研究を除いて分散投資規制を取り扱った研究は確認できなかった。これまでに野崎ら [7]は、2資産市場の人工市場において分散投資規制が資産価格急落時の市場に与える影響について検証した。その結果、分散投資規制が導入された市場では、2つの資産のうち、片方の資産のファンダメンタル価格が急落すると、もう片方の資産価格も連動して下落することが判明した。しかし、野崎らの人工市場モデルでは、資産価格が急落したとき全ての資産の保有額が純資産に対して非常に少なくなってしまう。一方、実際の投資信託運用者は、資産価格の変動などによって予め設定している保有額の下限を下回らないよう、保有額の少ない資産を買い増したりして純資産に対する全資産保有額を調整している。

そこで本研究では、2資産市場の人工市場にまだ分散投資していない資産(資産3)を追加し、ある資産の価格が急落したときに分散投資規制が市場にどのような影響を与えるかを、純資産に対する全資産保有額の下限がある場合とない場合に分けて調査した。その結果、全ての資産のファンダメンタル価格が一定のときは、分散投資規制の有無に関わらず、どの資産の市場価格も安定して推移することが確認できた。次に、資産1のファンダメンタル価格が急落するとき、分散投資規制が導入されている市場では、資産1の市場価格下落と連動して資産2の市場価格も下落することが確認できたが、導入されていない市場では資産1の市場価格のみが下落した。さらに、純資産に対する資産の

保有額に下限を設けた場合は、資産1と資産2の市場価格は下落する一方で、初期状態では分散投資されていなかった資産3が購入され、市場価格が上昇することが確認できた。

本論文の構成は以下の通りである。まず、2章では、本研究で使用した人工市場モデルについて説明する。2.1節では注文プロセスを、2.2節では学習プロセスを、2.3節では分散投資規制のモデルを記す。そして、3章では、前章で提案した人工市場モデルを用いたシミュレーション結果と考察を述べる。3.1節では、2章で提案した人工市場モデルの妥当性を検証した。3.2節では全ての資産のファンダメンタル価格が一定の場合、3.3節では、資産1のファンダメンタル価格が急落した場合に、分散投資規制が市場の価格形成に与える影響を調査した。3.4節では、一方の資産のファンダメンタル価格が急落したときのそれぞれの資産価格の変動を、分散投資規制が適用された市場とそうでない市場にわけて観察し、なぜそのような価格推移になったのか理由を調査する。最後に、4章ではまとめと今後の課題を記す。

2 人工市場モデル

2.1 注文プロセス

本モデルは2つのリスク資産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。 n 体のエージェントがおり、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、

$$r_{e,j,k}^t = \frac{1}{w_{1,j,k} + w_{2,j,k} + u_{j,k}} (w_{1,j,k} \log \frac{P_{f,k}^t}{P_k^{t-1}} + w_{2,j,k} r_{h,j,k}^t + u_{j,k} \epsilon_{j,k}^t) \quad (1)$$

ここで、 $w_{i,j,k}$ は時刻 t 、エージェント j 、リスク資産 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。また、後で述べる学習過程により変化する。 $u_{j,k}$ は時刻 t 、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時に、それぞれ0から u_{max} まで一様乱数で決め、その後も一定である。 $P_{f,k}^t$ は時間によらず一定の

資産 k のファンダメンタル価格, P_k^{t-1} は資産 k の時刻 $t-1$ 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 $P_k^0 = P_{f_k}^0$ とする), $\epsilon_{j,k}^t$ 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 σ_e の正規分布乱数である. $r_{h_{j,k}}^t$ は資産 k , 時刻 t にエージェント j が計測した過去リターンで, $r_{h_{j,k}}^t = \log(P_k^{t-1}/P_k^{t-\tau_j})$ である. ここで, τ_j は 1 から τ_{max} まで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 $r_{e_{j,k}}^t$ より予想価格 $P_{e_{j,k}}^t$ は,

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

で求まる. 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 δP とし, 売り買いの別は予想価格 $P_{e_{j,k}}^t$ と注文価格 $P_{o_{j,k}}^t$ の大小関係で決まる.

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

注文数は常に 1 と一定とする.

各エージェントは, 注文価格や注文数を決定後, 分散投資規制や純資産に対する全資産保有額に下限を導入している場合はそれらに違反していないか判定を行う. 分散投資規制や純資産に対する全資産保有額の下限の詳細は 2.3 節で説明する. 規制を満たしている場合のみ注文を出し, 満たしていない場合は注文を出さない.

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, 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. また, 約定できる注文が市場に無ければ今回の注文を残す. 市場に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.

2.2 学習プロセス

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を $r_{e_{1,j,k}}^t = \log(P_{f_k}^t/P_k^t)$, テクニカルな投資家成分だけの場合の予想リターンを $r_{e_{2,j,k}}^t = r_{h_{j,k}}^t$ とする ($k = 1, 2, 3$). これら $r_{e_{i,j,k}}^t$ 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,

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

のように, $w_{i,j,k}$ を書き換える. 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.

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 $w_{i,j,k}$ 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ェイトを求める姿を客観的にモデル化している.

2.3 規制のモデル化

本モデルでは, 分散投資規制と純資産に対する資産保有額の上限・下限を実装している. 純資産に対する資産保有額の上限を次のようにモデル化する.

$$\sum_{k=1}^3 |P_k^t S_{j,k}^t| \leq v_{upper} NAV_j^t \quad (5)$$

ここで, $S_{j,k}^t$ は, 時刻 t におけるエージェント i , 資産 j 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. v_{upper} は純資産に対する全資産保有額の上限比率を表し, 今回は $v_{upper} = 1$ とする. C_j^t は時刻 t におけるエージェント j のキャッシュの保有量を表している. NAV_j^t は純資産であり,

$$NAV_j^t = \sum_{k=1}^3 (P_k^t S_{j,k}^t + C_j^t) \quad (6)$$

である.

次に, 純資産に対する資産保有額の下限を次のようにモデル化する.

$$v_{lower} NAV_j^t \leq \sum_{k=1}^3 (P_k^t S_{j,k}^t) \quad (7)$$

ここで, v_{lower} は純資産に対する全資産保有額の下限比率のことを示し, 今回は 0.8 とする. 各エージェン

表 1: パラメータ設定

parameters	value
n	1,000
$w_{1,max}$	1
$w_{2,max}$	10
u_{max}	1
τ_{max}	10,000
σ_e	0.03
P_d	1,000
t_c	13,000
t_l	10,000
k_l	4
m	0.01

トは純資産の v_{lower} 倍が全資産保有額の下限になるように設定し、資産保有額が下限を下回った場合、その状態を解消するために 1 単位の成行買い注文を出す（これ以降、上記の注文を下限違反買い注文と呼ぶ）。そして、下限違反買い注文でどの資産を買うのかは、分散投資規制に違反していない資産で最も予想リターンが高い資産を購入する。なお、純資産に対する資産保有額の下限を設けて実験を行うのは、3.4 節だけである。

次に、分散投資規制を次のようにモデル化する。

$$\frac{|P_k^t S_{j,k}^t|}{NAV_j^t} \leq w_{dir} \quad (8)$$

w_{dir} は分散投資規制の規制比率であり、今回は $w_{dir} = 0.5$ とした。各エージェントは、注文を発注する際、その注文が規制に違反する、つまり、上記の式 (8) を満たさない場合は、その注文をキャンセルする。また、すでに式 (8) に違反している場合は、規制に違反した状態を解消するために 1 単位の成行注文を出す。これ以降上記の注文を規制違反注文（買い注文の場合は規制違反買い注文、売り注文の場合は規制違反売り注文）とする。

3 シミュレーション結果

本研究では、パラメータを表 1 のように設定し、シミュレーションは $t = 1,000,000$ まで行った。また、各実験におけるエージェントの初期キャッシュ量 (C_j^0) を 100,000、資産 1 と資産 2 の初期保有量 ($S_{j,1}^0, S_{j,2}^0$) を 48、資産 3 の初期保有量 ($S_{j,3}^0$) を 0 とした。

3.1 モデルの妥当性

シミュレーション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

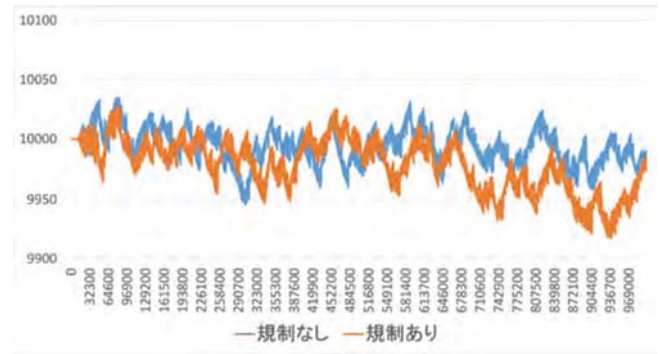


図 1: ファンダメンタル価格一定時の資産 1 の価格推移

的な stylized fact が再現できるかどうかで評価される [8][9]. fat-tail は、市場価格の騰落率の分布が正規分布ではなく裾が厚い、すなわち、尖度が正であることである。また、volatility-clustering は市場価格の騰落率の 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。本研究では、実証研究で得られた fat-tail と volatility-clustering が再現できるようにパラメータを調整した。

表 2 は各試行での stylized fact を示している。各々の場合について 100 回の試行を行い平均値をとった。Stylized fact はすべて 100 ステップ間隔での価格を用いて計算した。というのも、本モデルの時刻は注文をし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 stylized fact は多くの価格変動がないデータによりバイアスがかかってしまうため、100 ステップ間隔での測定とした。表 2 の結果より、いずれのシミュレーションでも尖度がプラスの値で fat-tail となっており、騰落率の 2 乗の自己相関もラグが増えてもプラスで 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が示された。

3.2 全ての資産のファンダメンタル価格が一定の場合

この節では、全ての資産のファンダメンタル価格が一定の場合 ($P_{f_1}^t = P_{f_2}^t = P_{f_3}^t = 10,000$) の実験とその結果を示す。図 1 には資産 1、図 2 には資産 2、図 3 には資産 3 の分散投資規制が導入されている市場と導入されていない市場の価格推移を示す。

図 1, 図 2, 図 3 から、全ての資産のファンダメンタル価格が一定のときは、分散投資規制の有無にかかわらず、どの資産の市場価格も安定して推移していることが確認できた。

表 2: 各試行における Stylized Fact

分散投資規制の有無	資産 1		資産 2		資産 3		
	規制なし	規制あり	規制なし	規制あり	規制なし	規制あり	
尖度	4.18	3.89	4.09	4.04	4.16	4.22	
価格騰落率の 2乗の 自己相関	ラグ						
	1	0.12	0.15	0.12	0.13	0.11	0.11
	2	0.09	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10
	3	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08
	4	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
	5	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05
	6	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04

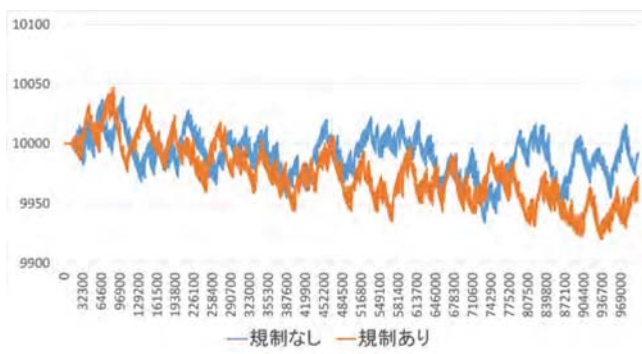


図 2: ファンダメンタル価格一定時の資産 2 の価格推移

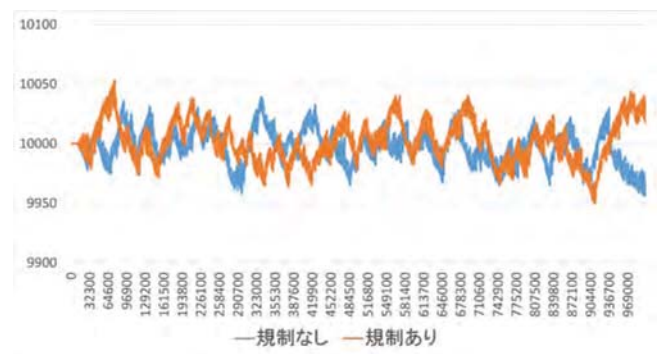


図 3: ファンダメンタル価格一定時の資産 3 の価格推移

3.3 資産 1 のファンダメンタル価格が急落する場合

本節では、資産 1 のファンダメンタル価格が急落する場合 ($P_{f_2}^t = P_{f_3}^t = 10,000$. 時刻 $t = 0$ から $t = 100,000$ までは $P_{f_1}^t = 10,000$, $t = 100,001$ 以降は $P_{f_1}^t = 7,000$) の実験とその結果を示す。図 4 には分散投資規制が導入されていない市場、図 5 には分散投資規制が導入されている市場の価格推移を示す。

図 4 と図 5 より、資産 1 と資産 3 の市場価格には大きな違いは見られない。一方、資産 2 の市場価格は、資産 1 の市場価格の下落より少し遅れて下落し、ファンダメンタル価格よりも低い価格 (今回は約 9,000) に収束している。

資産 2 の市場価格が資産 1 の市場価格に連動して下落した理由は次のように考えられる。まず、資産 1 の市場価格が急落し始めるとエージェントの純資産は小さくなるため、多くのエージェントの資産 2 の保有額が規制に違反した状態となる。すると、規制違反状態を解消するために規制違反売り注文が発生するため、資産 2 の市場価格も下落するものと考えられる。

具体例として、図 6 のような場合を考える。資産 1

の市場価格急落前の純資産は 1,000,000、資産 1 と資産 2 の保有額はそれぞれ 500,000 で、 w_{dir} は 0.5 である (図 6 左)。仮に資産 1 の市場価格が 30% 下落したとすると、純資産は 850,000 に、資産 1 の保有額は 350,000 に減少する (図 6 右)。しかし、資産 2 の保有額は変わらないため、純資産に対する資産 2 の保有額が 50% を超えてしまい、分散投資規制に違反する。よって規制違反状態を解消するため、75,000 の規制違反売り注文が発生する。これらの行動を多くのエージェントがとることにより、資産 2 の取引価格が下落すると考えられる。

資産 2 の市場価格が下落後上昇する理由は次のように考えられる。資産 1 の市場価格の下落が収まると、資産 2 の規制違反状態も次第に解消される。それに伴い、規制違反売り注文が発生しなくなり、資産 2 の価格の下落が止まる。このとき資産 2 の市場価格がファンダメンタル価格に比べて非常に低くなっているため、エージェントの多くが資産 2 を割安だと判断し、プラスの予想リターンを出すことから成行買い注文が増加する。その結果、資産 2 の市場価格が上昇する。

資産 2 の市場価格がファンダメンタル価格よりも低い価格に収束する理由は、次のように考えられる。資

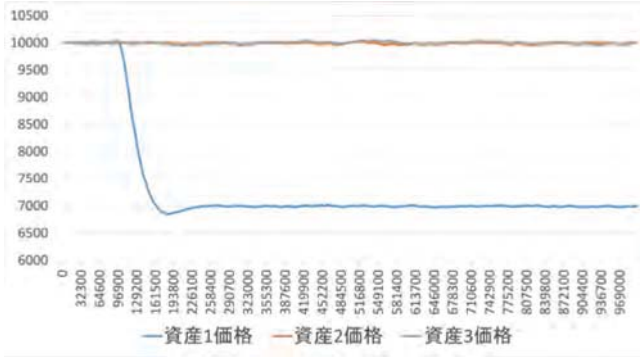


図 4: 資産 1 のファンダメンタル価格急落時における分散投資規制が導入されていない場合の価格推移

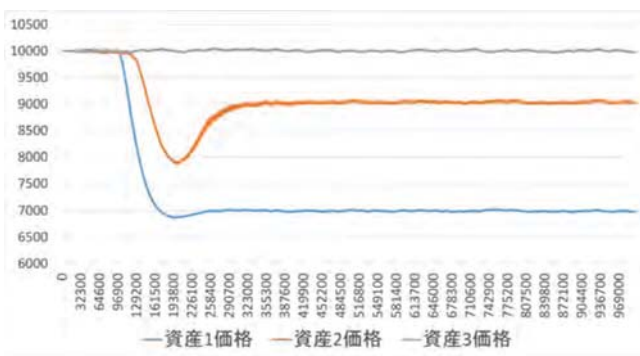


図 5: 資産 1 のファンダメンタル価格急落時における分散投資規制が導入されている場合の価格推移

資産 2 の市場価格の下落が収束後上昇することで、再び分散投資規制に違反するエージェントが増加し、規制違反売り注文と成行買い注文がほぼ同数になることで、価格が収束していると考えられる。

以上の資産 2 の価格推移についての仮説のうち、まず資産 2 の市場価格が資産 1 の市場価格に連動して下落する理由が正しいか検証する。今回は、資産 1 のファンダメンタル価格急落直後から資産 2 の価格の下落が収まるまでの期間の 3 種類の注文（規制違反売り注文、成行売り注文、成行買い注文）を調査した（図 7）。図 7 より、ファンダメンタル価格が急落した後しばらくしてから、大量の資産 2 の規制違反売り注文が発生していることが分かる。ただし、資産 2 の市場価格の下落は約 200,000 期まで続くが、規制違反売り注文は約 140,000 期をピークに減っていることも確認できる。この理由は、多くのエージェントの資産 2 の保有額の規制違反状態が、取引が進む中で解消されていくからである。規制違反売り注文が減った後も資産 2 の市場価格が下落を続けている理由は、市場価格トレンドが一定期間一方向に続くと、多くのエージェントが注文を

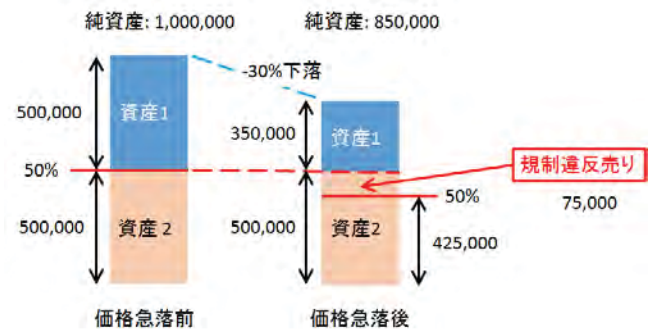


図 6: 価格急落時の規制違反注文を出すまでのメカニズム



図 7: 100,000 期から 200,000 期における資産 2 の約定注文数

決める際、テクニカル要素の影響を強く受けてマイナスの予想リターンを出すことから成行売り注文が増加するからである [10]。

次に、資産 2 の市場価格が下落後上昇し、ファンダメンタル価格よりも低い価格に収束する理由が正しいか検証するため、資産 2 の市場価格が最低になったときから価格が収束するまでの期間の 3 種類の注文（規制違反売り注文、成行売り注文、成行買い注文）を調査した（図 8）。図 8 より、資産 2 の市場価格が最低値になった時から、市場価格が安定するまでの期間（約 200,000 期～300,000 期にかけて）と、成行買い注文が売り注文と比較して多い期間が、ほぼ一致していることが確認できる。また、成行買い注文が売り注文とほぼ同数になる時期が資産 2 の市場価格が収束し始める時期とほぼ一致していることも確認できる。以上の結果より、資産 2 の価格推移についての仮説は正しいと考えられる。ただし、資産 2 の市場価格がファンダメンタル価格よりも安い価格に収束するという結果は現実では見られない可能性が高い。なぜなら、今回の実験ですべてのエージェントが分散投資規制を適用さ



図 8: 200,000 期から 500,000 期における資産 2 の約定注文数

れているが、現実の市場では分散投資規制が適用されない投資家も数多く存在するからである。

3.4 純資産に対する全資産保有額に下限を設けたとき

本人工市場モデルでは、各エージェントは保有する資産価格が最大になるよう取引を行うが、現実の市場で投資信託を運用する機関投資家が必ずしも同じような取引を行うとは限らない。なぜなら、多くの投資信託では、預かった資金のほとんどを資産の購入にあてる (full investment) ことを課せられ、キャッシュは少しの保有しか許されていないので、通常純資産に対して一定比率以上の資産を保有するような取引を行うからである。よって本節では、3.3 節の実験環境に、純資産に対する資産保有額に下限を設け、実験を行う。

図 9 に純資産に対する資産保有額に下限を設けた場合 ($v_{lower} = 0.8$) の価格推移を示す。図 5 と図 9 を比較して、図 9 の資産 1 の市場価格が図 5 の市場価格よりもファンダメンタル価格到達後大きくオーバーシュートしていることがわかる。また、図 9 における資産 2 の市場価格は、図 5 の市場価格よりも下落の幅が大きく、その後上昇して収束する価格は図 5 よりも低いことが見てとれる。そして、図 9 における資産 3 の市場価格は、図 5 とは異なり資産 2 の市場価格下落とほぼ同時に上昇している。

資産 1 の市場価格のオーバーシュート量が大きくなった理由は次のように考えられる。エージェントの資産 3 の初期保有株数は 0 であるため、資産 3 を空売りするエージェントも存在し、資産 3 の価格が上昇することでそのエージェントの純資産は小さくなる。その結果資産 1 が規制違反状態となり、規制違反売り注文が発生することで、資産 1 の市場価格がさらに下落する

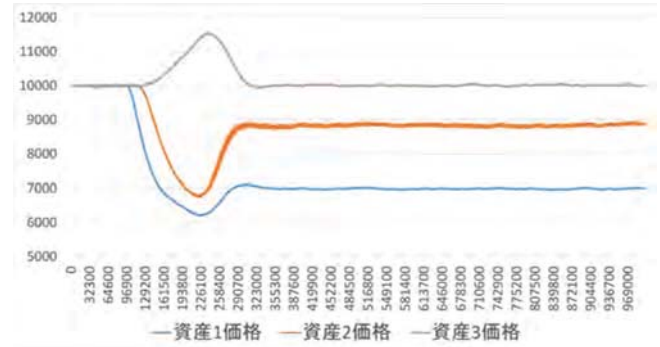


図 9: 純資産に対する資産保有額に下限を設けた場合の価格推移

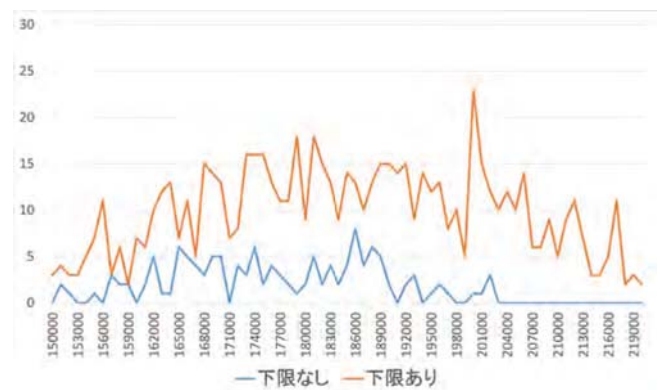


図 10: 150,000 期から 220,000 期における資産 1 の約定注文数

と考えられる。また、資産 2 の市場価格の下落幅が大きくなるのも同様の理由であると考えられる。

上記の仮説が正しいか検証するため、資産 1 のファンダメンタル価格急落直後から、資産 1 および資産 2 の市場価格の下落が収まるまでの期間の 4 種類の注文 (規制違反売り注文, 通常売り注文, 通常買い注文, 下限違反買い注文) を調査した (図 10, 図 11)。図 10 より、資産 1 の市場価格がファンダメンタル価格に到達してから価格の下落が収束するまでの期間と、規制違反売り注文が増える期間が一致していることが確認できる。図 11 より、図 7 と比較して規制違反売り注文が多く、それによりテクニカル要素の影響を強く受けて成行売り注文も増えている。以上より、資産 1 と資産 2 の市場価格の下落幅が大きくなる仮説は正しいと考えられる。

次に、資産 3 の市場価格が上昇した理由は、以下のように考えられる。資産 1 のファンダメンタル価格急落に伴い、資産 1 と資産 2 の市場価格が下落し、純資産に対する両資産の保有額の割合が低下する。すると、



図 11: 100,000 期から 230,000 期における資産 2 の約定注文数

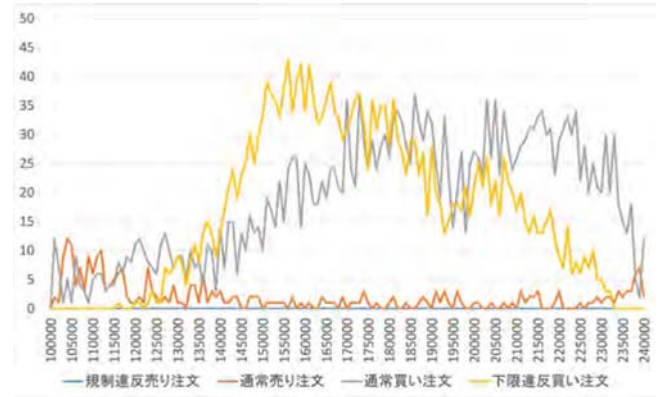


図 13: 100,000 期から 240,000 期における資産 3 の約定注文数



図 12: 価格急落時の下限違反注文を出すまでのメカニズム

純資産に対する資産保有額の下限に違反するので、下限違反買い注文が発生するが、資産 1 と資産 2 は分散投資規制に違反するため、これ以上買うことができない。よって、資産 3 の下限違反買い注文が発生するため、資産 3 の市場価格が上昇したと考えられる。

具体例として、図 12 のような場合を考える。純資産に対する資産保有額の下限比率を 0.95 とする。図 6 右の状態から規制違反売り注文が発生して資産 2 の規制違反状態が解消された場合を考える (図 12 左)。このときのエージェントの純資産は 850,000、保有キャッシュは 75,000、資産 1 の保有額は 350,000、資産 2 の保有額は 425,000 である。現在の純資産に対する資産保有額の比率は 0.91 であり、純資産に対する資産保有比率の下限に違反する。そのため、32,500 の資産 3 の下限違反買い注文が発生するので、資産 3 の市場価格が上昇すると考えられる。資産 3 の市場価格の上昇が資産 1 の市場価格の下落よりも遅れているのは、本モデルにおいて注文量は常に 1 であるため、ファンダメンタル価格急落に伴う資産の売却に時間がかかるからであると考えられる。

上記の仮説が正しいか検証するため、資産 1 のファンダメンタル価格急落直後から、資産 3 の市場価格の上昇が収まるまでの期間の 4 種類の注文 (規制違反売り注文、成行売り注文、成行買い注文、下限違反買い注文) を調査した (図 13)。図 13 より、資産 3 の市場価格が上昇し始める期間 (約 110,000 期) から下限違反買い注文が発生していることが確認できる。よって、この仮説は正しいと考えられる。下限違反買い注文は約 160,000 期をピークに減っているが資産 3 の市場価格が上昇は約 240,000 期まで続いている。この理由は、市場価格トレンドが一定期間一方方向に続くと、多くのエージェントが、テクニカル要素の影響を強く受けてプラスの予想リターンを出し、成行買い注文が発生するようになるからである [10]。

4 まとめと今後の課題

本研究では、人工市場にまだ分散投資していない資産 (資産 3) を追加設定し、全ての資産のファンダメンタル価格が一定のときと、ある資産のファンダメンタル価格が急落したときに、分散投資規制が市場にどのような影響を与えるかを調査した。さらに、分散投資規制下において、ある資産の価格が急落純資産に対する全資産保有額の下限がある場合とない場合に分けて調査した。

その結果、全ての資産のファンダメンタル価格が一定のときは、分散投資規制の有無にかかわらず、どの資産の市場価格も安定して推移することが確認できた。次に、資産 1 のファンダメンタル価格が急落するとき、分散投資規制が導入されている市場では、資産 2 の市場価格は資産 1 の市場価格に連動して下落することが確認できたが、導入されていない市場では資産 1 の市場価格のみが下落した。さらに、純資産に対する資産

の保有額に下限を設けた場合は、資産 1 と資産 2 の市場価格は下落する一方で、資産 3 の市場価格が上昇することが確認できた。

今後の課題としては、以下の通りである。本人工市場モデルは 3 資産市場であるが、現実の金融市場では取引可能な資産は数多く存在するため、さらに資産数を増やした人工市場で実験を行うことが挙げられる。さらに、エージェントの 1 回あたりの注文数は 1 に固定されているため、市場の動きが現実市場より緩やかになっている可能性がある。よって各エージェントの 1 回あたりの発注数を 1 以上にすることが挙げられる。

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。

謝辞

本研究は公益財団法人全国銀行学術研究振興財団と JSPS 科研費 15K01211 の助成を受けたものです。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Sectional Committee of the Financial System of the Financial System Council, “Final Report by ”Working Group on Review of Investment Trust and Investment Corporation Regulation”, Dec. 2009.
- [2] J. The Investment Trusts Association, “Investment Trusts in Japan 2014,” 2014.
- [3] M. Cremers and A. Petajisto, “How Active Is Your Fund Manager? A New Measure That Predicts Performance,” *Review of Financial Studies*, vol.22, no.9, 2009.
- [4] C. Chiarella, G. Iori, and J. Perelló, “The Impact of Heterogeneous Trading Rules on the Limit Order Flows,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol.33, no.3, 2009.
- [5] S.H. Chen, C.L. Chang, and Y.R. Du, “Agent-based Economic Models and Econometrics,” *Knowledge Engineering Review*, vol.27, no.2, 2012.
- [6] T. Mizuta, K. Izumi, I. Yagi, and S. Yoshimura, “Regulations’ effectiveness for market turbulence by large erroneous orders using multi agent simulation,” *Proc. IEEE Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics (CIFEr2014)*, pp.138–143, March 2014.
- [7] A. Nozaki, T. Mizuta, and I. Yagi, “Investigation of the rule for investment diversification using an artificial market,” *The 16th Workshop on JSAI Special Interest Group on Financial Informatics*, 2016. (in Japanese).
- [8] M. Sewell, “Characterization of financial time series,” 2006.
- [9] R. Cont, “Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues,” *Quantitative Finance*, vol.1, pp.223–236, 2001.
- [10] T. Mizuta, K. Izumi, I. Yagi, and S. Yoshimura, “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.