

# 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

## Investigation of the rule for investment diversification using an artificial market

野崎 淳<sup>1\*</sup> 水田 孝信<sup>2</sup> 八木 勲<sup>3</sup>  
Atsushi Nozaki<sup>1</sup> Takanobu Mizuta<sup>2</sup> Isao Yagi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神奈川工科大学大学院情報工学専攻

<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

<sup>3</sup> 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、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。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。分散投資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が、分散投資に制約が設けられることによって市場の価格形成にどのような影響が与えられるか議論されたことはない。そこで、本研究では、分散投資規制が金融市場に与える影響を人工市場を用いて分析した。その結果、分散投資規制が導入されると、出来高が減る一方で市場の効率性は保たれ、投資家のリスクもおさえられている事が確認された。

## 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ブ

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

\*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@ccy.kanagawa-it.ac.jp

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。

本研究では分散投資規制が金融市場に与える影響を、人工市場を用いて分析した。これまでに野崎ら [7] は、分散投資規制のモデルを、各エージェントの全資産保有数に対するリスク資産の保有数の割合が一定以上になることを規制する形で実現し、分散投資規制が市場に与える影響について検証した。その結果、分散投資規制を厳しくするに従い出来高が減少していくことが確認された。しかし、このモデルは、モデルの簡素化を図るため、資産保有数の割合のみに着目し、モデル化に金額的な要素を考慮していないモデルとなっていた。実際の金融市場では、金額的な要素が結果に影響を与える可能性もあると考えられる。そのため本研究では、金額的な要素を考慮した、より現実に近い分散投資規制モデルを提案する。すなわち、分散投資規制のモデルを、各エージェントの純資産に対する、リスク資産ごとの価値の割合が一定以上になることを規制する形で実現する。そして、それを用いてシミュレーションを行い、得られた結果を分析する。

本論文の構成は以下の通りである。まず、2章にて、本研究で使用する人工市場モデルを説明する。そして、3章では、前章で提案した人工市場モデルを用いて、分散投資規制を導入した場合と導入しない場合の1) 価格推移、2) 出来高、3) 市場の非効率性、4) エージェントの資産運用成績の違いを比較する。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

本研究では、水田らの人工市場モデル [8] をベースに、モデルを構築した。

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。  $n$  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、

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

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。 $P_{f,k}$  は時間によらず一定の資産  $k$  のファンダメンタル価格、 $P_k^t$  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  $P_k^2 = P_{f,k}$  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  $\sigma_e$  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、 $r_{h,j,k}^t = \log(P_k^t/P_k^{t-\tau_j})$  である。ここで、 $\tau_j$  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。

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、

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

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  $\delta P$  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、レバレッジ制約に違反していないか判定を行い、分散投資規制を導入している場合はその判定も行う。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。制約および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の予想リターンを  $r_{e,1,j,k}^t = \log(P_k^t/P_k^t)$ 、テクニカルな投資家成分の予想リターンを  $r_{e,2,j,k}^t = r_{h,j,k}^t$  とする ( $k = 1, 2$ )。これら  $r_{e,i,j,k}^t$  が資産  $k$  の学習期間のリターン  $r_{l,k}^t = \log(P_k^t/P_k^{t-l})$  と比べ、

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

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、レバレッジ制約と分散投資規制を実装している。レバレッジ制約を次のようにモデル化する。

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^k |P_j^t \times S_{i,j}^t| &\leq v \times NAV_i^t \\ &= v \times \left( \sum_{j=1}^k P_j^t \times S_{i,j}^t + C_i^t \right) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $S_{i,j}^t$  は、時刻  $t$  にエージェント  $i$  の資産  $j$  の保有量であり、 $S_{i,j}^t > 0$  なら買い建て (資産  $j$  を買い保有している状態)、 $S_{i,j}^t < 0$  なら売り建て (資産  $j$  を空売りしている状態) を表している。 $v$  はレバレッジ比率であり、今回は  $v = 1$  とした。 $NAV_i^t$  は時刻  $t$  におけるエージェント  $i$  の純資産、 $C_i^t$  は時刻  $t$  におけるエージェント  $i$  のキャッシュの保有量、 $S_{i,j}^t$  は時刻  $t$  におけるエージェント  $i$  の資産  $j$  の保有量を表している。

次に、分散投資規制を次のようにモデル化する。

$$\frac{|P_j^t \times S_{i,j}^t|}{NAV_i^t} \leq w_{dir} \quad (6)$$

$w_{dir}$  は、分散投資規制の規制比率であり、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値である。

## 3 シミュレーション結果

本研究では、パラメータを以下のように設定した。 $n = 1000$ ,  $w_{1,max} = 1$ ,  $w_{2,max} = 10$ ,  $u_{max} = 1$ ,  $P_{f,k} = 10000$ ,  $\tau_{max} = 10000$ ,  $\sigma_e = 0.03$ ,  $P_d = 1000$ ,  $t_c = 10000$ ,  $k_l = 4$ ,  $m = 0.01$  とした。

本研究では、各エージェントのシミュレーション開始時のキャッシュの保有量を 100000 とし、分散投資規制を導入しない場合と導入した場合で実験を行う。また、平常時に相当するファンダメンタル価格一定の場合と、金融危機時に相当するファンダメンタル価格が急落した場合についても分析する。分散投資規制を導入する場合、 $w_{dir} = 0.75$ ,  $w_{dir} = 0.5$ ,  $w_{dir} = 0.25$  の 3 つの条件を考える。以上より、4 つの条件下で実験を行い、人工市場モデルの妥当性の検証と、結果の考察を行う。また、エージェントの初期キャッシュ量を、50000 と 20000 とした場合でも実験を行う。この理由は、エージェントはシミュレーション開始時に、どの資産も保有していないために、初期のキャッシュ量が純資産になる。シミュレーション開始時の各エージェントの純資産が減った場合、分散投資規制が市場などにどのような影響をもたらすのか検証するためである。

### 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 (価格の騰落率の尖度がプラス) や、volatility-clustering (価格の騰落率の標準偏差であるボラティリティの 2 乗が、ラグが増えても自己相関を持ち長期記憶性を持つこと) 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 [9]。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。各エージェントの初期のキャッシュ量を 100000、各資産の初期保有量は 0 とした。また、シミュレーションは  $t = 1000000$  まで行った。

Table 1 は各試行での stylized fact を示している。各々の場合について 10 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

Table 1: 各試行における stylized fact

		資産1				資産2			
分散投資規制比率		規制なし	0.75	0.5	0.25	規制なし	0.75	0.5	0.25
	尖度	4.72	4.91	5.12	5.87	4.71	4.82	5.42	5.40
	ラグ								
2乗自己相関	1	0.12	0.12	0.11	0.09	0.11	0.11	0.12	0.10
	2	0.09	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.08
	3	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07
	4	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06
	5	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04
	6	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04

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。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 価格推移

各試行における価格推移の一例を以下に示す。Fig.1 は、初期キャッシュ量が100000 のとき、Fig. 2 は、初期キャッシュ量が50000 のとき、Fig. 3 は、初期キャッシュ量が20000 のときの資産1の価格推移である。資産2の価格は資産1と同様の結果となったため、割愛する。

分散投資規制が導入されていない場合と分散投資規制が導入された場合の資産の価格は、ファンダメンタル価格を中心に価格が形成され、各試行の結果に大きな違いは見られない。これは、分散投資規制率が厳しくなっても同様である。その理由としては、分散投資規制はあくまで、エージェントの各資産の保有高に対する規制であり、価格に対する規制ではないため、価格推移に直接的な影響が出ないと考えられるからである。

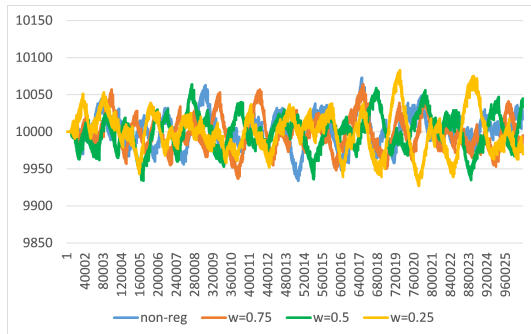


Fig. 1: 初期キャッシュ量 100000 のときの資産1の価格推移

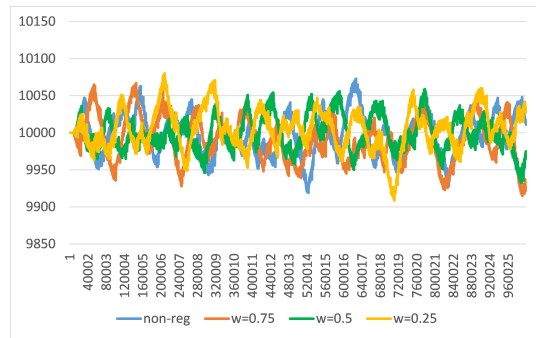


Fig. 2: 初期キャッシュ量 50000 のときの資産1の価格推移

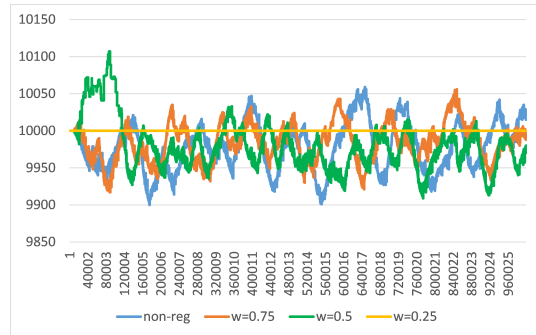


Fig. 3: 初期キャッシュ量 20000 のときの資産1の価格推移

### 3.3 出来高

各試行における資産1の出来高の値を Table 2 に示す。各エージェントの初期キャッシュ量が100000 のとき、分散投資規制率  $w_{dir}$  が小さくなるに従い、出来高が減少していることが確認できる。この結果は、各エージェントの初期キャッシュ量が異なる場合でも同じように確認できる。また、分散投資規制率が同じ場合でも、各エージェントの初期キャッシュ量が減るに従い、出来

高の値もそれぞれ減っている。なお、値が0となっているのは、分散投資規制によって発注が制限され、注文が全く約定しなかったためである。また、資産2も資産1と同様の結果が得られた。上記の結果となった理由は、次のように考えられる。まず、分散投資規制率の値が小さくなるに従い出来高の値が減少するのは、分散投資規制に違反する注文は発注できずに約定機会が減少するため、出来高が減少しているからだと考えられる。例えば、 $w_{dir}$  が0.25のときは、分散投資規制に違反する注文が多く、発注機会が減少した結果、出来高も減少しているが、 $w_{dir}$  が0.75のときは、分散投資規制に違反する注文が少ないため、分散投資規制を導入しない場合とあまり違いが出ていない。次に、初期キャッシュ量の値が小さくなると出来高の値も減少するのは、各エージェントの純資産が減少し、分散投資規制に違反する注文が増加して約定機会が減るため、出来高が減少しているからだと考えられる。

Table 2: 各試行における資産1の出来高

初期キャッシュ量	分散投資規制比率			
	なし	0.75	0.5	0.25
100000	10326	10207	9693	8671
50000	8973	9166	8622	7110
20000	5856	5755	4627	0

### 3.4 市場非効率性

金融市場には価格発見機能と流動性供給機能があり、これらによって社会に価値を提供している。株式は市場で取引されている価格(市場価格)とは別に、株式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(ファンダメンタル価格)が存在すると考えられている。金融市場は、市場参加者たちの取引を通じて実態価値であるファンダメンタル価格を発見する、価格発見機能を持つことが期待されており、ファンダメンタル価格から大きく乖離していない価格で取引されることが期待されている。それが達成された状態を効率性が高いと呼ぶ[10]。

分散投資規制は投資家の資産ごとの保有高を規制し、投資家の保有リスクを過剰にしないことを目的とするもので、市場を効率化するための規制ではない。しかし、分散投資規制の導入によって市場が非効率になることは望ましくない。そこで、分散投資規制を導入した場合に、市場が非効率にならないかを検証する。

市場の効率性を直接測定する指標として、人を用いた実験市場研究でしばしば用いられる市場非効率性  $M_{ie}$  を用いる。 $M_{ie}$  は以下の式で求める[11]。

$$M_{ie,k} = \frac{1}{P_{f,k}} \sum_{t=1}^{t_e} \frac{|P_k^t - P_{f,k}|}{t_e} \quad (7)$$

ここで、 $t_e$  は計測期間を示し、今回は1000000である。 $M_{ie}$  は0以上の値を取り、0なら完全に効率的、大きくなればなるほど非効率であることを示す。

本実験で得られた結果を以下に示す。Table 3は資産1の市場非効率性の値を示している

Table 3: 各試行における市場非効率性

初期キャッシュ量	分散投資規制比率			
	なし	0.75	0.5	0.25
100000	0.0023	0.0023	0.0021	0.0018
50000	0.0041	0.0038	0.0034	0.0032
20000	0.0067	0.0064	0.0047	0.0000

Table 3から分かるように、分散投資規制を導入しない場合と導入した場合での市場非効率性に違いは見られなかった。また、資産2も導入の結果を示した。よって、本結果からは分散投資規制によって市場が非効率的になるとは言い切れないことが分かった。

ただし、このデータは10回分の平均データであり、データ数が少ないため値に傾向が現れていない可能性もあるため、今後の課題とする。

### 3.5 エージェントの資産運用成績

本節では、エージェントの資産運用成績に関して以下の2点を議論する。

- 分散投資規制が適用されたときとそうでないときのエージェントの運用成績のばらつき
- 分散投資規制が適用されたエージェントとそうでないエージェントの運用成績の違い

まず、エージェントの資産運用成績が、分散投資規制を導入しない場合と導入した場合でどのような違いがあるのか比較する。エージェントの純資産分布を、各試行におけるシミュレーション開始時に対する終了時の純資産の増減率で表す。

Table 4から分かるように、分散投資規制が厳しくなるに従い値が小さくなっており、分散投資規制が導入された場合はリスクが抑えられていることがわかる。このような結果になった理由は、次のように考えられる。まず、純資産が変動するのは、投資家が保有するリスク資産の価格が変動するためであり、リスク資産の保有高が多ければ純資産の変動も大きくなる。そし



Table 4: 各試行における純資産の増減率の標準偏差

初期キャッシュ量	分散投資規制比率			
	なし	0.75	0.5	0.25
100000	10326	10207	9693	8671
50000	8973	9166	8622	7110
20000	5856	5755	4627	0

て、分散投資規制によって1つのリスク資産に対して各投資家の保有高が制限されると、その分純資産の変動も小さくなる。この結果から、分散投資規制は投資家にかかるリスクをコントロールするという目的を満たしていると考えられる。

次に、分散投資規制が適用されたエージェントとそうでないエージェントの運用成績の違いを比較する。市場に参加して取引を行う全てのエージェントのうち、半数は分散投資規を適用せず、残りの半数は分散投資規制を適用した。 $w_{dir}$  が 0.75, 0.5, 0.25 の3つの場合でシミュレーションを行った。

次の2つの表は、1回のシミュレーションにおける分散投資規制が適用されたエージェントとそうでないエージェントの運用成績の平均と標準偏差の値を100回分とり、その平均値を示している。

Table 5 は、分散投資規制が適用されたエージェントとそうでないエージェント、全エージェントの純資産の増減率の平均値を示し、Table 6 は、分散投資規制が適用されたエージェントとそうでないエージェント、全エージェントの純資産の増減率の標準偏差を示している。

Table 5: 各試行における純資産の増減率の平均値

分散投資規制比率	0.75	0.5	0.25
全エージェント	-0.00010%	0.00009%	-0.00004%
規制なし	-0.00144%	-0.00017%	-0.00057%
規制あり	0.00123%	0.00035%	0.00048%

Table 6: 各試行における純資産の増減率の標準偏差

分散投資規制比率	0.75	0.5	0.25
全エージェント	0.00234	0.00225	0.00210
規制なし	0.00234	0.00234	0.00237
規制あり	0.00233	0.00215	0.00178

Table 5, Table 6 から分かるように、分散投資規制を導入したエージェントは、導入しないエージェントよりも運用成績が若干良くなる傾向が見受けられる。理由については現在分析中である。

## 4 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金融市場に与える影響を分析した。

具体的には、分散投資規制を導入しない場合と導入した場合での結果を比較した。その結果、価格推移には大きな違いは見られず、出来高は分散投資規制率が小さくなるに従い、減少することが確認された。さらに市場の非効率性についても検証を行い、分散投資規制によって市場が非効率にはならない可能性が高いことを示した。また、分散投資規制によって投資家にかかるリスクが抑えられていることが確認された。

今後の課題は以下の通りである。3.5 節で分散投資規制を適用されたエージェントの方がそうでないエージェントよりも運用成績が良いという結果が得られたが、その理由を分析することが挙げられる。また、現在の人工市場モデルでは、取引対象の資産は2つで、注引量を常に1としているが、現実ではもっと多くの資産が存在し、1単位以上の注文を出すことができる。そのため、現在のモデルをより現実に近いものとするために、取引対象の資産数を3つ以上にしたり、2単位以上の注文が出せるように拡張を行い、その結果を比較することが挙げられる。また、本モデルでは水田らの人工市場モデル [8] の人工市場モデルを基にしてモデルを設計・構築したが、これとは別の人工市場モデルで分散投資規制が市場に与える影響を調査して比較することも挙げられる。

## 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 JSPS 科研費 15K01211 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 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, 5 2014.
- [2] 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, 7 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, pp.3329–3365, 2009.
- [4] C. Chiarella, G. Iori, and J. Perello: 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.
- [5] S.-H. Chen, C.-L. Chang, and Y.-R. Du: Agent-based economic models and econometrics, *Knowledge Engineering Review*, Vol. 27, No. 2, pp. 187–219, 2012.
- [6] T. Mizuta, K. Izumi, I. Yagi, and S.Yoshimura: Regulations’ Effectiveness for Market Turbulence by Large Erroneous Orders using Multi Agent Simulation, In *Proceedings of IEEE Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics 2014(CIFEr2014)*, pp.138–143, 2014.
- [7] 野崎 淳, 水田 孝信, 八木 勲: 分散投資規制が市場に与える影響についての検証, *人工知能学会論文集*, 1J4-OS-13a-4, 2015.
- [8] 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, pp.1694–1700, 2013.
- [9] R. Cont: Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues, *Quantitative Finance*, Vol.1, pp.223–236 (2001)
- [10] 水田孝信: 人工市場シミュレーションを用いた金融市場の規制・制度の分析, 博士論文, 東京大学大学院工学系研究科, 2014.
- [11] 水田 孝信, 則武 誉人, 早川聡, 和泉 潔: 人工市場シミュレーションを用いた取引システムの高速度化が価格形成に与える影響の分析, *JPX ワーキング・ペーパー*, Vol.9, 日本取引所グループ, 2015.