

人工市場を用いた分散投資規制が投資家の運用成績に与える影響分析

Analysis of the Impact of the Rule for Investment Diversification on Investment Performance using a Multi-Agent Simulation

八木 勲^{*1}

Isao Yagi

水田 孝信^{*2}

Takanobu Mizuta

^{*1} 神奈川工科大学

Kanagawa Institute of Technology

^{*2} スパークス・アセット・マネジメント株式会社

SPARX Asset Management Co., Ltd.

In recent years the risk of mutual funds has become difficult to assess. Therefore the rule for investment diversification for mutual funds was established to prevent assumption of unforeseen risk by investors. Some papers discussed that the rule for investment diversification affected price formation at the time of a market crash and at the time of a soaring market. However, we cannot find that it affects investment performances of investor in such situations. In this paper, we investigated that the rule for investment diversification affected investment performance of investors in financial markets where two types of investors who followed the rule and did not follow it participated at the time of stable, crashing, and soaring markets using agent-based simulations. As results, we found that the investment performances of investors who followed the rule were worse than those of investors who did not follow it in the soaring market.

1. はじめに

近年投資信託(以下、投信)の組み入れ対象となる金融商品の仕組みが複雑になるとともに、投信そのもののリスクの大きさも把握しにくくなってきた。しかし、投資家にすべてのリスク管理を求めるのは困難なため、投信運用会社側でリスクコントロールさせることを目的とした分散投資規制が設けられた[蒲谷 14, 杉田 14]。

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。これまでにいくつかの先行研究にて分散投資規制が市場に与える影響について議論されている[Yagi 17, 丸山 18]。これらは調査目的を達成するために人工市場を用いている。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[Chen 12, Mizuta 14]。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が可能となる。

上述の先行研究の調査対象は市場価格形成についてであったため、本研究では、分散投資規制が投資家の運用成績に与える影響について人工市場を用いて調査した。

2. 人工市場モデル

本研究では、以下に示す丸山らが提案したモデル[丸山 18]を利用する。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ている。

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)である。よって、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。価格の変化幅の最小単位を δP とする。

本市場では n 体の投資家を想定したエージェントが取引に参加する。以下、エージェントの資産の注文プロセス、および、注文戦略の学習法を示す。

2.1 注文プロセス

エージェントはエージェント番号 $j = 1$ から順番に注文を出す。最後のエージェント $j = n$ が注文を出すと、次の時刻にはまた最初のエージェント $j=1$ から注文を出すことを繰り返す。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。注文をし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 は注文の価格と売り買いの種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。

$$r_{e,j,k}^t = \frac{1}{w_{1,j,k}^t + w_{2,j,k}^t + u_{j,k}} (w_{1,j,k}^t r_{e1,j,k}^t + w_{2,j,k}^t r_{e2,j,k}^t + u_{j,k} \epsilon_{j,k}^t) \quad (1)$$

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。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。ファンダメンタル価格とは、金融資産を発行する企業自身が持っている実態の価値に基づいた価格を指す。 $r_{e1,j,k}^t$ 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 $r_{e1,j,k}^t = \log(P_{f,k}/P_k^{t-1})$ 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。 $P_{f,k}$ 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、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。 $r_{e2,j,k}^t$ はテクニカル投資家成分だけの場合の予想リターンで、 $r_{e2,j,k}^t = \log(P_k^{t-1}/P_k^{t-1-\tau_j})$ である($k = 1, 2$)。 τ_j は 1 から τ_{max} まで一

連絡先: 八木勲, 神奈川工科大学, 神奈川県厚木市下荻野
1030, iyagi2005@gmail.com

様乱数でエージェントごとに決まる。 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。第 3 項目はノイズを表している。 $\epsilon_{j,k}^t$ 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_ϵ の正規分布乱数である。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。

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

注文価格 $P_{o,j,k}^t$ は、 $P_{e,j,k}^t - P_d$ (P_d は定数) から $P_{e,j,k}^t + P_d$ までの一様乱数で決める。注文の売り買いの種別は予想価格 $P_{e,j,k}^t$ 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分散投資規制違反の判定も行う。

2.2 学習プロセス

本研究では、実証研究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ェイトを引き上げ、外れている戦略のウェイトを引き下げることとした。また、資産 k の学習期間のリターン r_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ェ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。予想リターン $r_{e,i,j,k}^t$ と資産 k の学習期間のリターン $r_k^t = \log(P_k^{t-1}/P_k^{t-1-t_l})$ と比べ、符号の違いによって $w_{i,j,k}^t$ を式(4)のように書き換える。

$$\begin{aligned} \text{同符号なら,} \quad w_{i,j,k}^t &\leftarrow w_{i,j,k}^{t-1} + k_l |r_k^t| q_j^t (w_{i,max} - w_{i,j,k}^{t-1}) \\ \text{異符号なら,} \quad w_{i,j,k}^t &\leftarrow w_{i,j,k}^{t-1} - k_l |r_k^t| q_j^t w_{i,j,k}^{t-1} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 k_l は定数、 q_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。上記式(4)での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ェ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

制度モデルは、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。レバレッジ制約は以下の式で表される。

$$\sum_{k=1}^K |P_k^t S_{j,k}^t| \leq NAV_i^t \quad (5)$$

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_i^t は次のように定義される。

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

分散投資規制は次のとおり定義される。

$$\frac{|P_k^t S_{j,k}^t|}{NAV_j^t} \leq w_{dir} \quad (7)$$

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 (7) が満たさなくなったとき、エージェントは式 (7) 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。この規制違反を解消するために強制的に発注される売り注文のことを「規制違反売り注文」という。また、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 (7) 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. 実験とその結果

本研究では、次のようにパラメータを設定し実験を行った。

$n = 1,000$, $w_{1,max} = 1$, $w_{2,max} = 10$, $u_{max} = 1$, $\tau_{max} = 10,000$, $\sigma_\epsilon = 0.03$, $P_d = 1,000$, $t_c = 13,000$, $t_l = 10,000$, $k_l = 4$, $m = 0.01$, $\delta P = 1$. 実験の回数は、各条件において 30 回試行し、価格推移については代表的なものを、運用成績については試行開始時に対する試行終了時の純資産増減率の平均で表す。

前章で述べた人工市場を用いて、分散投資規制が導入された市場において、ファンダメンタル価格が急騰した場合と急落した場合のエージェントの運用成績を調査した。分散投資規制比率は 50% と 25% の 2 パターンとし、分散投資規制を受けるエージェント (以下、規制ありエージェント) の割合を 90%, 70%, 50%, 30%, 10% の 5 パターンとし、これらを組み合わせて検証を行う。エージェントの初期保有資産数は、分散投資規制の規制比率に対してそれぞれ 48, 24 とする。初期キャッシュ保有量はそれぞれ 40,000, 520,000 とする。

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[Cont 01]。よって、本モデルもこれらが再現できるようパラメータ設定を行った。ファット・テイルは、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。

表 1 規制比率 25% におけるスタイライズド・ファクト

	資産 1			資産 2		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%
規制ありエージェントの割合						
尖度	3.94	4.14	5.11	3.80	4.20	5.26
ラグ						
価格騰落率の						
1	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11	0.10
2	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
2 乗の自己						
3	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
相関						
4	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
5	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

また、ボラティリティ・クラスタリング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。調査の結果、すべてのシミュレーション条件下でスタイライズド・ファクトが再現されていることを確認した。表1にその一例を示す。

3.2 市場価格安定時の価格推移と投資家の運用成績

安定した市場を想定するため、ファンダメンタル価格は常に10,000として実験を行った。1000期毎の資産1と資産2の市場価格推移を図1に示す。ただし、両資産の市場価格はどの条件下でもほぼ同様の推移であったので、規制比率50%、規制ありエージェントの割合50%の市場価格推移のみを記載している。ファンダメンタル価格一定時には、市場価格は最初は多少下落するが、その後ファンダメンタル価格の付近で推移することが見てとれる。

次に各シミュレーション条件における規制ありエージェントと規制を受けないエージェント(以下、規制なしエージェント)の運用

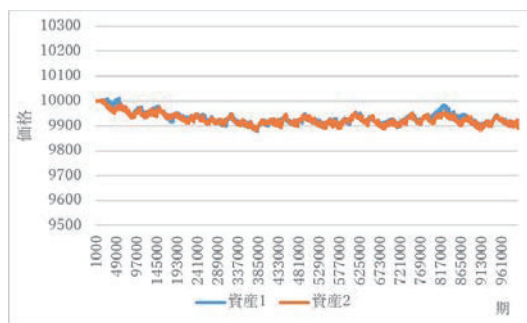


図1 ファンダメンタル価格一定時の市場価格推移

成績を表2に示す。実験の結果、安定した市場においては、どの条件においても規制ありエージェントと規制なしエージェントの最終的な運用成績に大きな差は見られなかった。よって、安定した市場においては、分散投資規制は投資家の投資活動を阻害することはないと考えられる。

表2 ファンダメンタル価格一定時の運用成績

規制比率		25%		50%	
エージェント種別		規制あり	規制なし	規制あり	規制なし
規制ありエージェントの割合	10%	0.9999	0.9999	0.9960	0.9960
	30%	0.9992	0.9993	0.9940	0.9941
	50%	0.9988	0.9989	0.9918	0.9919
	70%	0.9982	0.9983	0.9887	0.9886
	90%	0.9965	0.9966	0.9874	0.9875

3.3 市場価格急落時の価格推移と投資家の運用成績

価格急落時の市場を想定して、ファンダメンタル価格は100,000期に10,000から7,000に急落させる。規制ありエージェントの割合が50%と25%における資産1と資産2の市場価格推移を、それぞれ図2と図3に示す。ただし、資産1の市場価格は、それぞれの規制比率において、どの条件下においてもほぼ同様の推移をしたため、規制ありエージェントが50%のときの価格推移を示している。

規制比率50%の場合は、丸山ら[丸山18]の結果と同様に、資産1の市場価格の急落と連動して資産2の市場価格も下落していく傾向が見られた。規制ありエージェントの割合が増えるにつれ、資産2の市場価格の下落幅は大きくなり、収束する価格はファンダメンタル価格より低い価格になっていった。一方、規制比率25%の場合には、規制比率50%

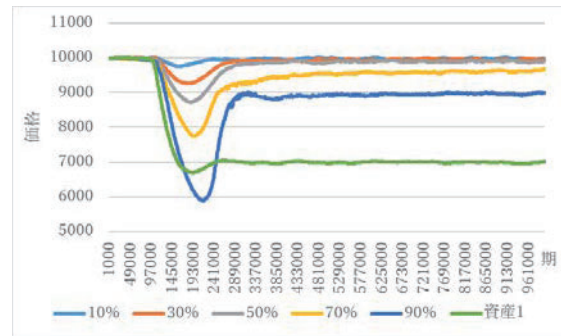


図2 ファンダメンタル価格急落時の規制ありエージェントの割合別市場価格推移(規制比率50%)

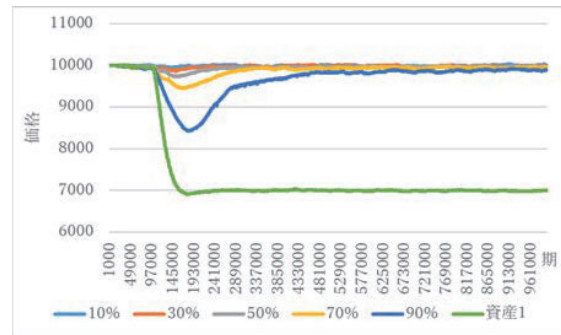


図3 ファンダメンタル価格急落時の規制ありエージェントの割合別市場価格推移(規制比率25%)

の場合に比べて下落幅が小さくなり、資産2の市場価格は、規制ありエージェントの割合が変化してもほぼファンダメンタル価格に収束した。各シミュレーション条件における規制ありエージェントと規制なしエージェントの運用成績を表3に示す。

表3 ファンダメンタル価格急落時の運用成績

規制比率		25%		50%	
エージェント種別		規制あり	規制なし	規制あり	規制なし
規制ありエージェントの割合	10%	0.9322	0.9275	0.8555	0.8545
	30%	0.9311	0.9263	0.8529	0.8538
	50%	0.9297	0.9251	0.8493	0.8521
	70%	0.9280	0.9240	0.8374	0.8411
	90%	0.9251	0.9271	0.8021	0.8008

規制比率50%のときよりも規制比率25%のときの方が運用成績は総じてよい。規制比率別に見ていくと、規制比率が50%のときは、規制ありエージェントの割合に関係なく、規制ありエージェントと規制なしエージェントの最終的な運用成績に大きな差は見られなかった。しかし、規制ありエージェントの割合が増えていくにつれ、規制ありエージェントと規制なしエージェントともに運用成績が悪化した。一方、規制比率が25%のときは、規制ありエージェントの割合が増加するにつれ、規制ありエージェントの運用成績のみ悪化した。そして、規制ありエージェントの割合が90%のとき、規制なしエージェントの方が若干ではあるが運用成績がよい結果となった。

3.4 市場価格急騰時の価格推移と投資家の運用成績

価格急騰時の市場を想定して、ファンダメンタル価格は100,000期に10,000から13,000に急騰させる。規制ありエージェントの割合が50%と25%における資産1と資産2の市場価格推移を、それぞれ図4と図5に示す。ただし、資

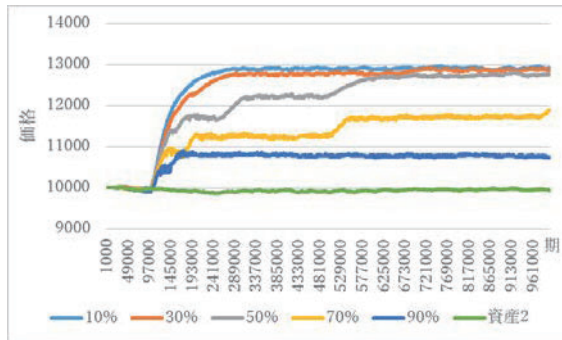


図 4 ファンダメンタル価格急騰時の規制ありエージェントの割合別市場価格推移（規制比率 50%）

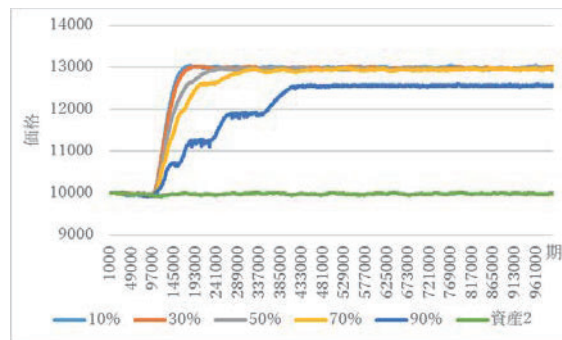


図 5 ファンダメンタル価格急騰時の規制ありエージェントの割合別市場価格推移（規制比率 25%）

産 2 の市場価格は、それぞれの規制比率において、どの条件下においてもほぼ同様の推移をしたため、規制ありエージェントが 50% のときの価格推移を示している。

規制比率 50% のときは、丸山ら[丸山 18]の結果同様、規制ありエージェントが増えるにつれ、資産 1 の市場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くなる。一方で、規制比率 25% のときは、規制ありエージェントの割合が増加しても規制ありエージェントが 90% の場合を除いて市場価格はファンダメンタル価格に収束している。各シミュレーション条件における規制ありエージェントと規制なしエージェントの運用成績を表 4 に示す。

表 4 ファンダメンタル価格急騰時の運用成績

規制比率		25%		50%	
エージェント種別		規制あり	規制なし	規制あり	規制なし
規制ありエージェントの割合	10%	1.0614	1.0731	1.1296	1.1380
	30%	1.0617	1.0758	1.1278	1.1376
	50%	1.0619	1.0801	1.1228	1.1347
	70%	1.0623	1.0888	1.0896	1.0987
	90%	1.0549	1.1055	1.0322	1.0333

規制比率 25%、50% ともにすべての条件下で規制なしエージェントの方が運用成績は良い結果となった。規制比率別に見ていくと、規制比率 25% のとき、規制ありエージェントの運用成績は規制ありエージェントの割合が増えても変化することなく維持されたが、規制なしエージェントの方は運用成績が上昇している。しかし、規制比率 50% のときは、規制ありエージェントが増えると、規制ありエージェントと規制なしエージェント共に運用成績が下降していく傾向が見られた。特に、規制ありエージェントの割合が 70% の時と 90% の時は運用成績が大きく減少している。

以上より、ファンダメンタル価格急騰時、分散投資規制はエージェントの利益獲得の機会損失を生み、エージェントの運用成績の向上を妨げてしまうと考えられる。また、規制ありエージェントが多い市場ほど、エージェント全体にマイナスの影響を与えてしまう可能性があることも示唆している。

4. まとめと今後の課題

本研究では、人工市場を用いて、1) 価格が安定した市場、2) 価格が急落した市場、3) 価格が急騰した市場において、分散投資規制が投資家の運用成績にどのような影響を与えるかを調査した。その結果、価格が安定した市場および急落した市場においては、分散投資規制の対象となる投資家とそうでない投資家の間に運用成績に大きな違いは見られなかった。しかし、価格が急騰した市場では、規制が厳しいほど投資家の利益獲得の機会損失を生み、運用成績の向上を妨げてしまう結果となった。以上より分散投資規制は、市場価格が上昇している市場においては、分散投資規制対象となる投資家たちの取引の障害になりえることが示唆された。また、規制対象となる投資家が多くなると、市場参加者全体の利益獲得を妨げてしまう可能性があることも示唆された。

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す。

謝辞

本研究は、公益財団法人日本証券奨学財団 (Japan Securities Scholarship Foundation) の助成を受けました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [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)
- [杉田 14] 杉田 浩治:投資信託の 14 年改革と今後の課題, 資本市場研究会, No. 347, pp. 4--11 (2014)
- [Chen 12] 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)
- [Mizuta 14] 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)
- [Yagi 17] I. Yagi, A. Nozaki, and T. Mizuta: 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).
- [丸山 18] 丸山隼矢, 水田孝信, 八木勲: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～, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2018 (JAWS2018) (2018).
- [Cont 01] R. Cont: Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues, Quantitative Finance, Vol. 1, pp.223--236(2001)