

# 人工市場シミュレーションを用いたレバレッジドETFが原資産 価格変動に与える影響分析

## Analysis of the Impact of Leveraged ETF Rebalancing Trades on the Underlying Asset Market Using Artificial Market Simulation

八木 勲<sup>1\*</sup>                      水田 孝信<sup>2</sup>  
Isao Yagi<sup>1</sup>                      Takanobu Mizuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 神奈川工科大学情報学部

<sup>1</sup> Faculty of Information Technology, 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.

**Abstract:** Financial markets occasionally become highly volatile, as a result of a financial crisis or other factors. Previously, index futures trading and program trading have been singled out as direct causes of market destabilization, but more recently it has been suggested that leveraged ETFs (funds aimed at amplifying several-fold the movement of a price index such as the Nikkei Stock Average or underlying assets) rebalancing trades may also be a factor. This study uses a financial market simulation (artificial market) constructed virtually on a computer to assess the impact of leveraged ETF rebalancing trades on the underlying assets market. Analysis results showed that a larger amount of the managed assets of leveraged ETFs corresponds to a higher volatility of the underlying securities market. They also demonstrated that leveraged ETF trading can destroy the underlying assets market, if the leveraged ETF trading impact on the market is greater than that of ordinary volatility of the underlying assets.

### 1 はじめに

近年リーマンショックやギリシャ危機、トランプショックなどにより金融市場のボラティリティが大きくなることが度々起こっている。このとき市場を不安定にする直接的な原因として指数先物（日経平均 225 先物、S&P500 先物など）取引やプログラムによる自動売買などが挙げられてきたが、最近ではレバレッジドETF（Exchange Traded Funds）のリバランス取引も一因ではないかと言われている。

レバレッジドETFは原資産や原指数（例えば、日経平均 225 など）の収益率の何倍かの収益率を目指すETFである。これらのETFは、金融市場指数に投資するため個別株式銘柄よりもローリスクでありながら、レバレッジの恩恵により比較的高いリターンが望めるので、運用残高が飛躍的に伸びてきている。レバレッジドETFは、レバレッジを維持する（保有する原資産の純資産総額を、レバレッジドETFの純資産総額の決

められた倍数に維持する）よう、原資産が上昇すれば原資産を買い、原資産が下落すれば原資産を売るというリバランス取引を日々行わなければならない。そのため、これらの売買が原因で原資産の価格を不安定にするのではないかとされている [2]。

一例を挙げると、日経平均 225 を原指標とするレバレッジドETFでは、日経平均先物を運用することで日経平均の収益率の何倍かの収益率を得ることを目指している。このレバレッジドETFのリバランス取引は、株式市場の取引が終了した後から日経平均先物市場の取引が終了するまでの間に行われる可能性が高く、その期間ボラティリティが高くなり市場が不安定になっているのではないかと考えられている。また、日経平均 225 は日経平均先物と価格の連動性が高いため、日経平均先物が大量に売買されボラティリティが上昇すると、日経平均 225 のボラティリティも同じように上昇し市場が不安定になるのではないかと危惧されている。

レバレッジドETFが原指標の与える影響についてはこれまでにさまざまな実証研究がなされてきた。

Cheng ら [1] は、ETF の原指標が 1 日に 1% 動くと、レバレッジドETFのリバランス取引の大きさは、そ

\*連絡先：神奈川工科大学情報学部情報工学科  
〒 243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030  
E-mail: iyagi2005@gmail.com

の日の市場取引終了時点の原指標の出来高の16.8%を占める可能性があることを示唆している。また、従来より景気後退時や株価が大暴落した後は原指標のボラティリティは大きくなる傾向があり、レバレッジ取引が多いほどその傾向が強くなることが報告されている[8]。レバレッジドETFは近年盛んに取引されてきた商品であるので、原指標のボラティリティの上昇の原因がレバレッジドETFにあるとは一概に言い難い。また、Deshpandeら[3]は、レバレッジドETFによって取引される売買量は、S&P500のそれに対してわずか0.0079%であるため、市場に与えるインパクトは限定的だと結論づけている。さらに、Trainor Jr.[9]は、レバレッジドETFのリバランス取引がS&P500のボラティリティに与える影響を、前日の取引終了前のボラティリティと翌日の取引開始後のボラティリティを比較することで検証したが、明確な結果は得ることができなかったと結論づけている。

このように実証分析を主とした先行研究では、レバレッジドETFが市場に与える影響は千差万別である。また、金融市場の形成にはさまざまな事象と要因が複雑に関わってくるため、実証分析では一部の要因だけを抽出して分析することが困難である。

金融市場の分析法の1つとして人工市場を用いる方法がある。人工市場とは計算機上に仮想的に構築した金融市場マルチエージェントシステムである[4, 5, 7]。エージェントにそれぞれ独自の売買手法を与え、それらに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。しかし、これまでに人工市場を用いたレバレッジドETFに関する研究はあまり行われていない[10]。

そこで、本研究では、八木ら[11]が構築した人工市場モデルにレバレッジドETF取引モデルを実装し、レバレッジドETFのリバランス取引が原資産価格変動に与える影響について検証を行った。その結果、レバレッジドETFの運用資産が大きくなるほど、原資産のリバランス取引量が増大し、ボラティリティが大きくなることがわかった。そして、レバレッジドETFの売買が、少なくともボラティリティより大きなマーケットインパクトを市場に与えると、原資産市場を破壊してしまう可能性があることも判明した。

## 2 人工市場モデル

本研究では、八木ら[11]の人工市場モデルを基にモデルを構築した。本モデルでは原資産を想定したリスク資産1つのみを売買対象とする。以下、本モデルにおける取引価格決定法と、本モデルに参加する投資家エージェントについて述べる。

### 2.1 取引価格決定法

2.2節にて述べる一般投資家エージェントは、それぞれの手法で発注価格と発注資産数を決め注文を出す。市場では、第 $t$ 期の全てのエージェントの売り注文と買い注文をつき合わせて売買を成立させる。買い手側は高い発注価格のエージェントから、売り手側は安い発注価格のエージェントから優先的に取引に参加する。買い手側の発注価格が売り手側の発注価格を上回る、もしくは一致するとき売買が成立する。この決定法のことを一般に板寄せ方式という。

一方、レバレッジドETFを構成するために原資産を売買するレバレッジドエージェントは、上述したように、今期の収益率が原資産の収益率の何倍かになるように市場取引終了間際にリバランス取引を行う。このレバレッジドエージェントの取引法を模倣するため、上記板寄せ方式を以下のように拡張する。まず、一般投資家エージェントの注文を仮につき合わせて、今期の原資産の仮価格を求める。レバレッジドエージェントはこの仮価格に基づいて自分自身の資産保有ポジションを計算し、そのポジションと現在保有している資産数の差分を注文する。最後に、先ほどの一般投資家エージェントの注文にレバレッジドエージェントの注文をつき合わせて、今期の原資産価格を求める。

### 2.2 エージェント

取引に参加するエージェントタイプは、ファンダメンタリスト、チャートリスト、ノイズトレーダー、レバレッジドエージェントの4種類である。なお、レバレッジドエージェントを除くエージェントのことを総じて一般投資家エージェントと呼ぶ。

#### 2.2.1 ファンダメンタリスト

本市場におけるファンダメンタリストは、リスク資産の理論価格に基づいてその資産の当期価格を予想し、その予想価格において当期資産価値が最大になるようリスク資産保有数を調整する。第 $t$ 期の理論価格 $P_t$ は外部より与えられ、エージェント $i$ の第 $t$ 期の予想価格 $\tilde{P}_{i,t}$ は、平均が $(1 + \epsilon_{i,t})P_t$ で、分散が $(\alpha(1 + \epsilon_{i,t})P_t)^2$

の正規分布に従うものとする。ただし、 $P_t$  は理論価格、 $\epsilon_{i,t}$  はエージェント  $i$  の第  $t$  期における強気度<sup>1</sup>、 $\alpha$  はエージェント  $i$  の予想価格のばらつきを表す係数である。なお強気度は平均 0、分散  $\sigma_\epsilon^2$  の正規分布に従うものとする。その他、第  $t$  期の取引価格を  $P_t$ 、第  $t$  期の取引前のキャッシュを  $C_{i,t-1}$ 、第  $t$  期の取引前の資産保有数を  $q_{i,t-1}$  とすると、第  $t$  期の資産価格決定前のエージェント  $i$  の総資産  $W_{i,t-1}$  は次のように表される。

$$W_{i,t-1} = C_{i,t-1} + P_{t-1} \cdot q_{i,t-1} \quad (1)$$

その結果、条件式 (1) の下で、価格決定後の総資産量から計算される効用の主観的期待値を最大にするリスク資産保有数（最適リスク資産保有数） $\tilde{q}_{i,t}$  は、

$$\tilde{q}_{i,t} = \frac{(1 + \epsilon_{i,t})P_t - P_{t-1}}{a(\alpha(1 + \epsilon_{i,t})P_t)^2}$$

と表すことができる。ただし、 $a(>0)$  はリスク回避係数で、この値が大きいほど、リスクを回避するためファンダメンタリストは保有資産数を小さくする。

ファンダメンタリスト  $i$  は  $\tilde{q}_{i,t}$  を基に売買方針を決定する。第  $t$  期において、 $\tilde{q}_{i,t}$  が  $q_{i,t-1}$  より大きいとき、エージェント  $i$  は、価格  $\tilde{P}_{i,t}$  で資産数  $\tilde{q}_{i,t} - q_{i,t-1}$  の買い注文を出す。一方、 $\tilde{q}_{i,t}$  が  $q_{i,t-1}$  より小さいとき、エージェント  $i$  は価格  $\tilde{P}_{i,t}$  で資産数  $q_{i,t-1} - \tilde{q}_{i,t}$  の売り注文を出す。第  $t$  期において、 $\tilde{q}_{i,t}$  と  $q_{i,t-1}$  が同じとき、エージェント  $i$  は売買せずに待機する。

## 2.2.2 チャーティスト

本市場のチャーティストは移動平均に基づいた売買を行う。チャーティストには順張りとは逆張りが存在する。エージェント  $i$  が利用する、第  $t$  期における  $n_{i,t}$  期間移動平均を  $MA_{t,n_{i,t}} = \sum_{j=1}^{n_{i,t}} P_{t-j}/n_{i,t}$  とし、 $\Delta MA_{t,n_{i,t}} = MA_{t,n_{i,t}} - MA_{t-1,n_{i,t}}$  とする。

エージェント  $i$  が順張り（逆張り）のとき、次の方針で売買を行う。 $\Delta MA_{t,n_{i,t}}$  が 0 より大きいとき、価格  $(1 + \alpha_T)P_{t-1}$  で資産数  $q_{i,t}^T$  の買い（売り）注文を出す。 $\Delta MA_{t,n_{i,t}}$  が 0 より小さいとき、価格  $(1 + \alpha_T)P_{t-1}$  で資産数  $q_{i,t}^T$  の売り（買い）注文を出す。 $\Delta MA_{t,n_{i,t}}$  が 0 のときは売買せずに待機する。

なお、 $n_{i,t}$  の初期値は、 $[1, 25]$  の一様分布に従う乱数とし、 $\alpha_T$  は平均  $\mu_P^T$ 、分散  $(\sigma_P^T)^2$  の正規分布に従う乱数とする。 $q_{i,t}^T$  は平均  $\mu_V^T$ 、分散  $(\sigma_V^T)^2$  の正規分布に従う乱数とする。

<sup>1</sup>強気派ほど予想価格を理論価格より高く設定するので、正方向に大きな値を設定し、弱気派ほど予想価格を理論価格より低く設定するので、負方向に大きな値を設定する。

## 2.2.3 ノイズエージェント

ノイズエージェント  $i$  はそれぞれ 1/3 の確率で、買い、売り、待機を選択する。エージェント  $i$  は、売り買いともに、価格  $(1 + \alpha_N)P_{t-1}$  で資産数  $q_{i,t}^N$  の注文を出す。ただし、 $\alpha_N$  は平均  $\mu_P^N$ 、分散  $(\sigma_P^N)^2$  の正規分布に従う乱数とし、 $q_{i,t}^N$  は平均  $\mu_V^N$ 、分散  $(\sigma_V^N)^2$  の正規分布に従う乱数とする。

## 2.2.4 レバレッジドエージェント

レバレッジドエージェントは、原資産の収益率の  $L$  倍を目指すレバレッジド資産を運用するエージェントである。原資産価格が上昇もしくは下降すると、各エージェントのレバレッジド資産のレバレッジ<sup>2</sup>も変化する。そこでレバレッジドエージェントは、保有純資産総額の収益率が原資産の収益率の  $L$  ( $-L$ ) 倍になるよう原資産のリバランス取引を行う<sup>3</sup>。

例えば、キャッシュを 1,000 のみ保有するレバレッジドエージェントが、価格 100 の原資産をレバレッジ 2 倍で運用するとする（表 1）。はじめにレバレッジドエージェントは原資産を 20 購入する（キャッシュの不足分 1000 は借金するものとする）。このときのレバレッジドエージェントの保有純資産総額は 1,000 ( $= 100 \times 20 - 1,000$ ) で、エクスポージャーは 2,000 となり、レバレッジは 2 ( $= (100 \times 20) / (100 \times 20 - 1,000)$ ) である。第 1 期の原資産価格が 110 になると、レバレッジドエージェントの保有純資産総額は 1,200 ( $= 1,000 \times 1.2$ )、エクスポージャーは 2,200 ( $= 2,000 \times 1.1$ ) となる。このとき、必要とされるエクスポージャーは 2,400（レバレッジは 1.83 ( $= 2,400 / 1,200$ )) であるので、原資産を 1.81 ( $= (2,400 - 2,200) / 110$ ) だけ追加購入して、レバレッジを 2 倍に維持しなければならない。次に第 2 期の原資産価格が 99 になると、レバレッジドエージェントの保有純資産総額は 960 ( $= 1,200 \times 0.8$ )、エクスポージャーは 2,160 ( $= 2,400 \times 0.9$ ) となり、レバレッジは 2.25 ( $= 2,160 / 960$ ) となる。必要とされるエクスポージャーは 1,920 であるので、原資産を 2.42 ( $= |1,960 - 2,160| / 99$ ) だけ売却して、レバレッジを 2 倍に維持しなければならない。

以上のような売買を行うレバレッジドエージェントを次のようにモデル化する。

第  $t$  期の一般投資家エージェントのみの取引によって決まる原資産の仮価格を  $P_t'$  とし、第  $t$  期のエージェント  $i$  の資産保有数を  $S_{i,t}$  とする。そして、目標となるレバ

<sup>2</sup>レバレッジ = 保有原資産総額 / 保有純資産総額。ただし、保有原資産総額 = 原資産価格 × 原資産保有数、保有純資産総額 = 原資産価格 × 原資産保有数 + キャッシュ。

<sup>3</sup>原資産価格が変動するごとに、レバレッジが  $L$  倍になるよう修正していかないと、保有原資産総額の収益率が保有純資産総額の収益率の  $L$  倍にならなくなるため。

表 1: 原資産の収益率に対する 2 倍のレバレッジド ETF のリバランス取引例

期	原資産		2x 原資産		2x レバレッジド ETF			
	(1) 価格	(2) 収益率	(3) 収益率	(4) エクスポージャー (前期の (6)×(2))	(5) 純資産総額 (レバレッジ) (前期の (5)×(3) (= (4)/(5)))	(6) 必要な エクスポージャー (= (5)×2)	(7) 必要な 売買 (= (6)-(4))	(8) 必要な 原資産取引数 (= (7)/(1))
0	100			2,000	1,000 (2)	2,000		
1	110	10%	20%	2,200	1,200 (1.83)	2,400	200	1.81
2	99	-10%	-20%	2,160	960 (2.25)	1,920	-240	-2.42

レレッジ L が達成されている状態で取引を開始する。すなわち、初期資産保有数  $S_{i,0}$  は、 $S_{i,0} = L \cdot C_{i,0} / P_0$  とし、それに伴い、初期キャッシュ  $C_{i,0}$  は、 $C_{i,0} = C_{i,0} - P_0 \cdot S_{i,0}$  となる（レバレッジ分、借金をすることになる）。第  $t$  期のエージェント  $i$  の保有純資産総額  $NAV_{i,t}$ 、レバレッジ  $L_{i,t}$  はそれぞれ次のように表される。

$$NAV_{i,t} = P'_t \cdot S_{i,t} + C_{i,t}$$

$$L_{i,t} = \frac{P'_t \cdot S_{i,t}}{NAV_{i,t}}$$

第  $t$  期のエージェント  $i$  の発注数  $V_{i,t+1}$  は次のように表される<sup>4</sup>。ただし、上記のように発注数に端数が出る場合は切り捨てる。

$$V_{i,t+1} = \left\lfloor \frac{(L-1)P'_t \cdot S_{i,t} + L \cdot C_{i,t}}{P'_t} \right\rfloor$$

本エージェントの注文は可能な限り約定させないといけないので、買い注文の際の発注価格はどの一般投資家エージェントよりも高く、売り注文のときの発注価格はどの一般投資家エージェントよりも安く設定する。

$NAV_{i,t}$  が 0 以下となったとき、本エージェントは破産したものとし、一旦初期状態に戻した後、破産した次の期から再度市場に参加させる。

## 2.3 周囲の好成績投資家の投資法に影響される投資家のモデル化

エージェントの評価学習機能についても既述の人工市場モデル [11] に従う。すなわち、取引終了後、各エージェントは運用成績の評価を行い、他のエージェントと比較して相対的に成績が悪いエージェントは、成績のよいエージェントの売買ルールの模倣を行う。ファンダメンタリストは強気度を、チャーティストは移動平均の期間を模倣する。さらに、エージェントが試行錯誤的に新しい売買ルールを求める姿を客観的に表す

<sup>4</sup> $V_{i,t+1}$  は次の式から求められる。

$$L = \frac{P'_t(S_{i,t} + V_{i,t+1})}{P'_t(S_{i,t} + V_{t,i}) + (C_{i,t} - P'_t \cdot V_{i,t+1})}$$

ため、一部のエージェントの売買ルール変更 randomness をもたせた。

本市場ではエージェントの売買タイプの割合を固定しているため、エージェントが他の売買タイプに移ることはない。すなわち、成績の悪いファンダメンタリストは成績のよいファンダメンタリストの模倣を試みるが、運用成績のよいチャーティストやノイズエージェントを模倣することはない。なおノイズエージェントは、運用成績の評価と模倣は行わない。以下、各タイプにおける運用成績評価と模倣の手順について述べる。ここで、あるエージェント  $i$  の第  $t-1$  期から第  $t$  期の資産変化率を  $R_{i,t}$  ( $= W_{i,t} / W_{i,t-1}$ )、過去  $N$  期の資産変化率の平均  $\bar{R}_{i,t}$  ( $= \sum_{j=1}^N R_{i,t-(j-1)} / N$ ) とする。

### 2.3.1 ファンダメンタリスト

エージェント  $i$  の  $\bar{R}_{i,t}$  が、全てのファンダメンタリスト中の下位  $N_L\%$  に属するとき、確率  $p_i$  ( $=$  エージェント  $i$  の順位 / 全ファンダメンタリスト数) でエージェント  $i$  の強気度を変更する。すなわち、資産変化率の平均がすべてのファンダメンタリスト中の上位  $N_H\%$  に属するエージェントを 1 つランダムに抽出し、そのエージェントの強気度を  $i$  の新しい強気度  $\epsilon_{i,t+1}$  とする。

さらに、より多くの利益を期待するエージェントの売買ルール変更を実現するために、資産変化率の平均が、全てのファンダメンタリストのその上位  $N_H\%$  以外のエージェントに対し、それぞれ  $P_c$  の確率で強気度をランダムに変更する。

### 2.3.2 チャーティスト

エージェント  $i$  の  $\bar{R}_{i,t}$  が、全てのチャーティスト中の下位  $N_L\%$  に属するとき、確率  $p_i$  ( $=$  エージェント  $i$  の順位 / 全チャーティスト数) でエージェント  $i$  の移動平均の期間を変更する。すなわち、資産変化率の平均が全てのチャーティスト中の上位  $N_H\%$  に属するチャーティストを 1 つランダムに抽出し、そのエージェントの移動平均期間を  $i$  の新しい移動平均期間  $n_{i,t+1}$  とする。

さらに、より多くの利益を期待するエージェントの売買ルール変更を実現するために、資産変化率の平均が、全てのチャートリストの上位  $N_H\%$  以外のエージェントに対し、それぞれ  $P_n$  の確率で売買方針（順張りりと逆張りり）および移動平均期間  $n_{i,t+1}$  を変更する。ただし、 $1 \leq n_{i,t+1} \leq 25$  とする。

### 3 実験

本研究では、レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量を、一般投資家エージェントの1倍、10倍、100倍、500倍、1,000倍、1,500倍、1,600倍、1,700倍、1,800倍、1,900倍、2,000倍、5,000倍、10,000倍として実験を試みた。実験環境は以下のとおりである。資産価格と資産の仮価格の初期値はともに10,000とする。資産の理論価格は10,000とし試行期間中固定値とする。一般投資家エージェントの個体数は10,000とする。内訳は、ファンダメンタリストが4,500、チャートリストが4,500、ノイズトレーダーが1,000とする。これらの初期資産は1,000,000とする。レバレッジドエージェントの個体数は1とする。各エージェントタイプに関するパラメータは次のとおりである。 $\alpha = 0.02$ ,  $a = 0.001$ ,  $\sigma_\epsilon = 0.1$ ,  $\mu_P^T = 0$ ,  $\sigma_P^T = \sqrt{0.02}$ ,  $\mu_V^T = 2$ ,  $\sigma_V^T = 0.1$ ,  $\mu_P^N = 0$ ,  $\sigma_P^N = \sqrt{0.02}$ ,  $\mu_V^N = 2$ ,  $\sigma_V^N = \sqrt{0.1}$ ,  $N = 5$ ,  $N_H = N_L = 20\%$ ,  $P_\epsilon = P_n = 0.05$ 。

実験期間は10,000期だが、市場が安定した5,001期から10,000期までの5,000期を市場のボラティリティのサンプリング期間とした。なお、一般投資家エージェントの取引が安定してからレバレッジドエージェントを参入させるため、レバレッジドエージェントの取引は3,001期から開始している。

#### 3.1 モデルの妥当性

実験を始めるにあたって、本研究にて提案した人工市場モデルの妥当性を検証する。検証法として、既の実証分析 [6] で得られている代表的な統計的性質 (Stylized Facts) のうち、下記の2つを満たしているかどうかで判断した。

- 価格収益率の尖度が正である。
- 価格収益率の自己相関の2乗が正の相関関係である。

表2は、レバレッジドエージェントが未参加のとき（左から2列目）と、初期キャッシュ量が一般投資家エージェントの1倍から10,000倍（左から3列目以降）までのレバレッジドエージェントが参加したときの、5,000期から10,000期までの価格収益率に基づいた Stylized

Facts の平均（試行回数は各20回）である。表2から、レバレッジドエージェントが未参加のときと、初期キャッシュ量が一般投資家エージェントのそれに対してそれほど大きくない間は上記の2つの条件を満たしている。これらの結果から本提案モデルは Stylized Facts を満たしており、実験環境として妥当であると判断できる。

### 4 実験結果と考察

表3からわかるように、初期キャッシュ量が大きくなるほど、価格収益率のボラティリティも大きくなっている。このような結果になる理由は以下のとおりである。

レバレッジドエージェントは、仮価格  $P_t^i$  が直前の取引価格  $P_{t-1}$  より高ければ原資産保有数を増やすために買い注文を出し、低ければ原資産保有数を減らすために売り注文を出す。このときレバレッジドエージェントは目標とする保有数を確保するために、原資産を非常に高い価格で買ったり、非常に低い価格で売ったりすることがある。初期キャッシュ量が大きくなればなるほど、リバランス取引が増すため、思わぬ価格での売買を行う可能性が高くなり、マーケットへのインパクトも大きくなる。よって、初期キャッシュ量が大きくなると、一取引あたりの発注量が増大し、マーケットへのインパクトも大きくなるため、ボラティリティも大きくなると考えられる。

表3からも、レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量が大きくなるほど、1取引あたりの平均発注数も、マーケットインパクト  $MI$ （ここでは第  $t$  期のマーケットインパクト  $MI_t$  を  $MI_t = |P_t - P_t^i|/P_t$  とし、1試行あたりの平均を  $MI$  としている）も、ボラティリティもすべて大きくなっていることが見てとれる。

表2からは、初期キャッシュ量が大きくなりすぎると、市場収益率の2乗の自己相関が負になることが見てとれる（本現象は、表2からは初期キャッシュ量が一般投資家の1,700倍以上から発生しているように見えるが、正確には1,600倍から発生している。これは、本結果は試行回数20回の平均で示しているからであり、ごく数回しか本現象が発生していない1,600倍の場合は表2に顕在化していないからである）。これは現実市場では見受けられない現象であり、市場が破壊されたことを示唆している。注目すべき点は、表3において、レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量が1,600倍以上の市場の  $MI$  が、レバレッジドエージェントが未参加の市場のボラティリティより大きくなっている点である。これは、初期キャッシュ量が大きくなり、レバレッジドエージェントの取引がボラティリティより大きなマーケットインパクトを与えるようになると、市場が破壊されてしまうことを示唆しているのではない

表 2: 各試行におけるボラティリティと Stylized Facts

	一般投資家エージェントの初期キャッシュ量に対する レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量の倍率													
	未参加	×1	×10	×100	×500	×1,000	×1,500	×1,600	×1,700	×1,800	×1,900	×2000	×5000	×10000
ボラティリティ ( $\times 10^{-2}$ )	1.16	1.17	1.19	1.38	1.74	1.46	1.38	14.4	25.9	35.6	20.7	23.9	39.5	39.0
尖度	4.32	3.99	3.82	2.83	0.69	6.46	22.4	14.88	4.05	-1.31	3.88	3.06	-1.87	-1.87
ラグ														
1	0.497	0.488	0.491	0.392	0.175	0.391	0.605	0.386	-0.338	-0.769	0.089	-0.110	-0.997	-0.997
2	0.701	0.713	0.719	0.719	0.789	0.609	0.497	0.534	0.751	0.982	0.450	0.340	0.999	0.999
3	0.503	0.499	0.503	0.423	0.233	0.330	0.365	0.231	-0.421	-0.775	0.270	0.186	-0.997	-0.997
4	0.642	0.654	0.660	0.653	0.706	0.482	0.267	0.413	0.670	0.976	0.287	0.076	0.999	0.999
5	0.513	0.513	0.515	0.447	0.275	0.290	0.184	0.114	-0.479	-0.779	0.238	0.313	-0.997	-0.997

表 3: レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量とマーケットインパクトの関連性

	一般投資家エージェントの初期キャッシュ量に対する レバレッジドエージェントの初期キャッシュ量の倍率													
	未参加	×1	×10	×100	×500	×1,000	×1,500	×1,600	×1,700	×1,800	×1,900	×2,000	×5,000	×10,000
(1) レバレッジド ETF エージェント の発注数	-	0.775	7.64	70.7	186	84.9	91.0	1166	2561	2745	1149	2001	2858	2860
(2) MI( $\times 10^2$ )	-	0.000489	0.00499	0.0392	0.0842	0.0585	0.0798	4.90	10.5	14.2	7.11	8.60	16.5	16.5
(3) ボラティリティ ( $\times 10^2$ )	1.16*1	1.17	1.19	1.38	1.74	1.46	1.38	14.4	25.9	35.6	20.7	23.9	39.1	39.0
(4) レート (= (2)/(3) の*1)	-	0.000421	0.00430	0.0337	0.0725	0.0503	0.0687	4.22	9.07	12.2	6.13	7.41	14.2	14.2

かと考えられる。

個人的見解であります。

## 5 まとめ

本研究では、人工市場を用いてレバレッジド ETF のリバランス取引が原資産の価格変動に与える影響について検証した。その結果、レバレッジド ETF の初期キャッシュ量が大きくなるほど、原資産のリバランス取引が増大するとともにマーケットインパクトも大きくなり、原資産市場のボラティリティが大きくなることわかった。そして、レバレッジド ETF の売買が、少なくともボラティリティより大きなマーケットインパクトを与えると、市場を破壊してしまう可能性があることも判明した。今後の課題としては、レバレッジド ETF の売買がどの程度のマーケットインパクトを与えると市場が破壊されてしまうのか、詳細に調査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

## 謝辞

本研究は 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] M. Cheng and A. Madhavan. The Dynamics of Leveraged and Inverse Exchange-Traded Funds. *Journal of Investment Management*, 7(4), 2009.
- [2] M. Childs. Fink Says Leveraged ETFs May 'Blow Up' Industry. *Bloomberg*, May 2014.
- [3] M. Deshpande, D. Mallick, and R. Bhatia. Understanding Ultrashort ETFs. *Barclays Capital Special Report*, January 2009.
- [4] S. Kobayashi and T Hashimoto. Analysis of institutional evolution in circuit breakers using the concepts of replicator and interactor. In *The 9th*

*Asia-Pacific Complex Systems Conference*, pages 80–86, 2009.

- [5] B. LeBaron. Agent-based financial markets: Matching stylized facts with style. In *Post Walrasian Macroeconomics Beyond the Dynamic Stochastic General Equilibrium Model*, chapter 3, pages 221–238. Cambridge University Press, 2006.
- [6] S. Martinez-Jaramillo and E. P. K. Tsang. An heterogeneous, endogenous and co-evolutionary gp-based financial market. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(1):33–55, 2009.
- [7] T. Mizuta, K. Izumi, I. Yagi, and S. Yoshimura. Regulations’ effectiveness for market turbulence by large erroneous orders using multi agent simulation. In *Proc. IEEE Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics (CIFEr2014)*, pages 138–143, March 2014.
- [8] G. W. Schwert. Stock Volatility and the Crash of 87. *The Review of Financial Studies*, 3(1), 1990.
- [9] W. J. Trainor Jr. Do Leveraged ETFs Increase Volatility. *Technology and Investment*, 1, 2010.
- [10] I. Yagi and T. Mizuta. Analysis of the impact of leveraged etf rebalancing trades on the underlying asset market using artificial market simulation. In *Social Simulation Conference 2016(SSC2016)*, September 2016.
- [11] I. Yagi, T. Mizuta, and K. Izumi. A study on the effectiveness of short-selling regulation in view of regulation period using artificial markets. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 7(1):113–132, 2010.