

# 人工市場を用いた株式市場における空売り規制期間と 市場安定性の相関性分析

## A study on the effectiveness of short-selling regulation in view of regulation period using artificial markets

八木 勲<sup>1\*</sup> 水田 孝信<sup>2</sup> 和泉 潔<sup>3</sup>  
Isao Yagi<sup>1</sup> Takanobu Mizuta<sup>2</sup> Kiyoshi Izumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

<sup>1</sup> Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,  
Tokyo 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> 東京大学大学院 工学系研究科

<sup>3</sup> School of Engineering, The University of Tokyo

**Abstract:** 株価急落による市場不安定化を抑止するために、金融当局により空売りが規制されることがある。これまでに空売り規制が市場に与える影響を分析した研究は多々行われてきたが、その結果は賛否両論である。そこで本研究では、現実の金融市場を計算機上で模倣した市場（人工市場）を用いて、空売り規制が株式市場安定化にどのような効果をもたらすかを検証した。はじめに、空売り規制期間と市場の安定性の関係について分析し、規制期間が長くなればなるほど、バブル発生回数が増加し、市場が不安定になることを示した。次に、リスク資産率と市場効率性、安定性の関係について議論した。その結果、リスク資産率が小さいとき、規制なし市場は安定的となるのに対し、規制あり市場は不安定となることを示した。一方、リスク資産率が大きいとき、規制なし市場では市場が非効率となるのに対し、規制あり市場では市場が効率的となることを示した。

## 1 まえがき

米国から端を発したサブプライム問題やリーマン・ショックの影響で、世界中の金融市場が不安定感を増している。株式市場が不安定なとき、株価が少しでも下落すると、投資家は資産確保のため保有株式を売却しキャッシュに戻す傾向がある。それが株価下落要因となり、投資家の更なる株式売却（投売り）を誘い、結果的に株価が急落すると言われている。このような事態を防ぐために、金融当局は株価安定化の施策を行う。一方、株式投資法の1つとして空売りがある。空売りとは、保有していない株式を保有者（証券会社等）から借り受けて売却し、株価が下落した時に買い戻すことで利益を得る投資法である。金融当局は、株価不安定時の空売りは株価急落要因になり得ると考え、空売りを禁止すること（以降、空売り規制と呼ぶ）がある

が、その効果に対する評価は必ずしも一致していない。

これまでに空売り規制効果に関するさまざまな研究が行われている [2, 8, 9, 11]。Brisら [2] は、株価時系列データを実証分析することで、空売りを制限している株式市場はそうでない株式市場に比べて非効率的<sup>1</sup>であると指摘している。また、Saffiら [9] は、株式市場の貸株在庫残高や貸株料を実証分析することにより、空売り規制が市場の効率性を下落させていると主張している。これらの研究は、市場効率性の面から空売りを規制することに否定的な結果を与えている。一方、Lamont [8] は、空売りが株価を押し下げ、価格形成を不安定にしていることを主張している。この研究は、市場安定性の面から空売りを規制することに肯定的な結果を与えている。本研究は、Lamont [8] と同じく空売り規制の有効性を市場安定性の面から検証するが、Lamont [8] では空売りが規制される期間と市場安定性の関係については議論されていない。さらに、従来の実証研究では、

\*連絡先：東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻

〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 J2-52

E-mail: yagi@trn.dis.titech.ac.jp

URL: <http://iyagi2005.cocolog-nifty.com/blog/>

<sup>1</sup> 株式市場の効率性とは、株価に影響を与えるような情報が市場に現れたとき、その情報は瞬時に市場全体に伝達され、正しく株価に反映されることを指す。

市場内部メカニズム（各投資家の売買動向等）についても議論されていない。

市場の内部メカニズムを検討する方法の1つとして、人工市場が挙げられる。人工市場とは、計算機上に仮想的に構築されたエージェントベースモデルの金融市場であり、市場参加者の行動と価格変動の関連性を分析するのに有効である。市場参加者の現実的な特性をモデルに組み込んで、その集合としての市場の振る舞いを再現することが可能である。これまでに人工市場を利用して金融市場の分析を行った研究が数多く報告されている [1, 3, 5, 6]。さらに、市場安定化や効率化のための制度等をモデル化し人工市場に組み込むことで、市場参加者がどのように振る舞うか、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。Darley ら [4] は、株価の最小値幅を増減させると、市場株価と理論株価の乖離がどのように変化するかを人工市場を用いて分析し、最小値幅が大きすぎても小さすぎても乖離が大きくなることを示している。小林ら [7] は、株式市場の取引を緊急に停止するサーキットブレーカーが市場にどのような影響を与えるかを人工市場を用いて分析し、取引量は減少するものの価格変動を抑制することを主張している。

人工市場を利用した空売り規制に関する研究も行われている [10, 12]。高田ら [10] は、理論株価が急落した市場に対して空売り規制したときとそうでないときの株価推移について分析し、前者の方が株価下落抑制効果があることを示している。一方、我々 [12] は、取引株価が急落した市場に対して空売りを規制したときと規制しないときの株価変動を分析し、前者の方が市場が不安定になることを示した。しかし、これらの研究では、Lamont [8] と同様、空売り規制期間は考慮しておらず、規制期間が市場に与える影響については検討されていない。そこで、本研究では、いくつかの規制期間の異なる市場を比較し、規制期間が市場安定化に与える影響について検討する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、2 節にて、空売り可能な人工市場と空売りが禁止された人工市場を構築する（以降、空売り可能な人工市場のことを「規制なし市場」と呼び、空売りが禁止された市場のことを「規制あり市場」と呼ぶ）。3 節では、構築した人工市場のシミュレーション結果とそれを基に分析した市場メカニズムを報告する。まず、3.1 節では、規制なし市場と規制あり市場の株価変動を観察し、規制あり市場におけるバブルメカニズムについて概説する。次に、3.2 節では、規制期間の異なる空売り規制が発動された市場の株価変動を観察し、それらを統計的に分析する。そして、規制期間が長くなればなるほど、市場が不安定になることを示す。3.3 節では、初期キャッシュ量を変更し、レバレッジ率の異なる市場を想定したときの市場効率性と安定性について議論する。そして、リス

ク資産率が小さいとき、規制なし市場は安定的になるのに対し、規制あり市場は不安定となり、リスク資産率が大きいとき、規制なし市場では市場が非効率となるのに対し、規制あり市場では市場が効率的となることを示す。最後に 4 節でまとめと今後の課題について述べる。

## 2 人工市場

本研究では [12] にて提案した人工市場<sup>2</sup>を利用する。本人工市場では、1 つの株式を 100 のエージェントが売買する<sup>3</sup>。エージェントは株式（リスク資産）とキャッシュ（無リスク資産）を保有する。本人工市場には下記 3 タイプのエージェントが存在する。各エージェントは各自の投資ルールに基づいて取引を行う。

1. ファンダメンタルエージェント
2. テクニカルエージェント
3. ノイズエージェント

エージェントのタイプ別参加比率は、(1) : (2) : (3) = 45 : 45 : 10 とする<sup>4</sup>。各エージェントは、株式を最大  $S_{max}$  まで保有することができる。今回は  $S_{max} = 1000$  とする。規制のない市場に限り、最大  $-S_{min}$  ( $S_{min} < 0$ ) まで空売りが可能とする。今回は  $S_{min} = -1000$  とする。両建て<sup>5</sup>はしないものとし、空売りは保有株がないとき行うものとする。よって、規制なし市場におけるエージェントの保有株式数  $S$  は、 $-1000 \leq S \leq 1000$  となる。一方、規制あり市場では空売りが禁止されているので、エージェントの保有株式数は、 $0 \leq S \leq 1000$  となる。取引開始時、すなわち、第 0 期のエージェントの株式およびキャッシュ保有量をそれぞれ、10 と 1,000,000 とした。ただし、保有キャッシュが 0 になったエージェントは破産とみなし、それ以降の取引には参加しない。

### 2.1 エージェントモデル

既に述べたように本市場には 3 タイプのエージェントが存在する。本節では各モデルの詳細な説明を行う。

<sup>2</sup>本人工市場は以下の要領にて試行錯誤的に構築した。まず、金融実務家と相談し現実市場においてあり得そうな条件をいくつか用意した。次に、それらの条件を満たすモデルを構築し、実験を行った。そして、実験結果を統計的に分析し、最も現実市場を反映した妥当なモデルを正式に採用した。

<sup>3</sup>本研究におけるエージェントは、同じ売買ルールで投資を行う投資家グループを表す。その他のエージェント数 (10, 1000, 10000 など) についても実験したが、100 が最も現実市場に沿った特性を示したので、今回は 100 を採用した。

<sup>4</sup>参加比率は以下のパターンについても検討したが、上記比率が最も現実市場に即した特性を示したので、この比率を採用した。1) 34 : 34 : 32, 2) 90 : 0 : 10, 3) 0 : 90 : 10, 4) 0 : 0 : 100。

<sup>5</sup>株式を保有する一方で、同一株式の空売りも行うこと。

### 2.1.1 ファンダメンタルエージェントモデル

本市場におけるファンダメンタルエージェントは、理論株価<sup>6</sup>に基づいて当期株価を予想し、その予想株価において当期資産価値 (= 予想株価 × 保有株式数 + キャッシュ) が最大になるよう株式保有数を調整する。

$t$  期の理論株価  $P_t$  は外部より与えられ、一定期間ごとに見直されるものとする。今回は理論株価の初期値  $P_0$  を 300 とし、1000 期ごとに平均  $P_{t-1000}$ 、分散  $(0.1P_{t-1000})^2$  の正規分布に従って見直されるものとした。

エージェント  $i$  の  $t$  期の予想株価  $\tilde{P}_{i,t}$  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し、100 期ごとに更新する。ただし、 $P_t$  は理論株価、 $\epsilon_{i,t}$  はエージェント  $i$  の  $t$  期における強気度<sup>7</sup>、 $\alpha$  はエージェント  $i$  の予想株価のばらつきを表す係数で、今回は  $\alpha = 0.1$  とした。その他、第  $t$  期の取引前のキャッシュを  $Q_{i,t-1}$ 、第  $t$  期の取引前の株式保有数を  $q_{i,t-1}$ 、第  $t-1$  期の株価を  $P_{t-1}$  とすると、第  $t$  期の株価決定前のエージェント  $t$  の総資産  $W_{i,t-1}$  は次のように表される。

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

その結果、株価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条件式 (1) の下で最大化する株式保有数  $\tilde{q}_{i,t}$  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ルエージェントは保有株式数を小さくする。ファンダメンタルエージェント  $i$  は  $\tilde{q}_{i,t}$  を基に売買方針を決定する。

$t$  期において、 $\tilde{q}_{i,t} > q_{i,t-1}$  を満たすとき、エージェント  $i$  は、株価  $\tilde{P}_{i,t}$  で株式数  $\tilde{q}_{i,t} - q_{i,t-1}$  の買い注文を出す。ただし、 $S_{max} - q_{i,t-1}$  を買い付け限度とする。一方、 $t$  期において、 $\tilde{q}_{i,t} < q_{i,t-1}$  を満たすとき、エージェント  $i$  は株価  $\tilde{P}_{i,t}$  で株式数  $q_{i,t-1} - \tilde{q}_{i,t}$  の売り注文を出す。ただし、規制なし市場の最大売り注文数は  $q_{i,t-1} - S_{min}$ 、規制あり市場の最大売り注文数は  $q_{i,t-1}$  とする。 $t$  期において、 $\tilde{q}_{i,t} = q_{i,t-1}$  を満たすとき、エージェント  $i$  は売買せず待機する。

### 2.1.2 テクニカルエージェント

本市場のテクニカルエージェントは移動平均に基づいた株式売買を行う。テクニカルエージェントには順

<sup>6</sup>企業財務状況等を基に算出された理論上の株価を指す。

<sup>7</sup>強気派ほど予想株価を理論株価より高く設定するので、正方向に大きな値を設定し、弱気派ほど予想株価を理論株価より低く設定するので、負方向に大きな値を設定する。

張り派と逆張り派が存在する。エージェント  $i$  が利用する、 $t$  期における  $n_{i,t}$  期間移動平均を

$$MA_{t,n_{i,t}} = \frac{1}{n_{i,t}} \sum_{j=1}^{n_{i,t}} P_{t-j}$$

とし、 $\Delta MA_{t,n_{i,t}} = MA_{t,n_{i,t}} - MA_{t-1,n_{i,t}}$  とする。そして、エージェント  $i$  が順張り派に属するとき、以下の方針で売買を行う。

- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} > 0$  のとき、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$ 、株式数  $q_{i,t}^T$  の買い注文を出す。
- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} < 0$  のとき、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$ 、株式数  $q_{i,t}^T$  の売り注文を出す。
- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} = 0$  のとき、待機する。

一方、逆張り派に属するときは、

- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} > 0$  のとき、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$ 、株式数  $q_{i,t}^T$  の売り注文を出す。
- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} < 0$  のとき、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$ 、株式数  $q_{i,t}^T$  の買い注文を出す。
- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} = 0$  のとき、待機する。

なお、 $n_{i,t}$  の初期値は、 $1 \leq n_{i,t} \leq 25$  をみたくランダムな値とし、 $\alpha_t$  は平均  $P_{t-1}$ 、分散  $(0.1P_{t-1})^2$  の正規分布に従う乱数とする。 $q_{i,t}^T$  は、平均 10、分散 1 の正規分布に従う乱数で、 $0 < q_{i,t}^T \leq S_{max} - q_{i,t-1}$  を満たす。 $q_{i,t}^T$  は、平均 10、分散 1 の正規分布に従う乱数で、規制なし市場においては、 $0 < q_{i,t}^T \leq q_{i,t-1} - S_{min}$  を、規制あり市場においては、 $0 < q_{i,t}^T \leq q_{i,t-1}$  を満たす。

### 2.1.3 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。

買いの場合、エージェント  $i$  は、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$  で、株式数  $q_{i,t}^N$  の買い注文を出す。ただし、 $q_{i,t}^N$  は、平均 10、分散 1 の正規分布に従う乱数で、 $0 < q_{i,t}^N \leq S_{max} - q_{i,t-1}$  を満たす。一方、売りの場合、株価  $(1 + \alpha_t)P_{t-1}$  で株式数  $q_{i,t}^N$  の売り注文を出す。ただし、 $q_{i,t}^N$  は、平均 10、分散 1 の正規分布に従う乱数で、規制なし市場においては、 $0 < q_{i,t}^N \leq q_{i,t-1} - S_{min}$  を、規制あり市場においては、 $0 < q_{i,t}^N \leq q_{i,t-1}$  を満たす。

## 2.2 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

現実の機関投資家らは、社内での株式運用成績や、証券会社のアナリストから報告される目標株価を基に相場の強弱に関する議論を行い、運用成績の向上を図っ

ている。一方、テクニカル分析を利用する投資家らは、過去の値動きから、他の投資家が利用している運用成績のよい移動平均の期間を求め、成績向上を図っている。これらの行為を実現するために、エージェントの評価学習機能を次のように設定した。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を模倣する。ファンダメンタルエージェントは強気度を、テクニカルエージェントは移動平均の期間を模倣する<sup>8</sup>。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ため、一部のエージェントの売買ルール変更ランダム性をもたせた。

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ルエージェントは成績のよいファンダメンタルエージェントの模倣を試みるが、運用成績のよいテクニカルエージェン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。

### 2.2.1 ファンダメンタルエージェント

あるエージェント  $i$  の  $t-1$  期から  $t$  期の資産変化率を  $R_{i,t} = W_{i,t}/W_{i,t-1}$  とする。そして、過去  $N$  (今回は  $N = 5$  とする) 期の変化率の平均

$$\bar{R}_{i,t} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_{i,t-(j-1)}$$

が、全てのファンダメンタルエージェント中のその下位  $N_L\%$  (今回は  $N_L = 20$  とする) 以内に属するとき、確率

$$p_i = \frac{\text{エージェント } i \text{ の順位}}{\text{全ファンダメンタルエージェント数}}$$

で、強気度  $\epsilon_{i,t}$  の値を変更する。すなわち、変化率の平均が、全てのファンダメンタルエージェント中のその上位  $N_H\%$  以内のエージェントを 1 つランダムに抽出し (これをエージェント  $i'$  とする)、 $i'$  の過去  $N$  期分の強気度の平均

$$\bar{\epsilon}_{i',N} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N \epsilon_{i',t-j}$$

<sup>8</sup> ファンダメンタルエージェントは機関投資家を想定しており、彼らは企業の予想利益をどれくらいに設定するかを互いに情報交換することで、間接的に他の機関投資家の強気度を知ることができる。一方、テクニカルエージェントは、チャート情報を通じて他の投資家が利用している移動平均の期間を推定することができる。

を、 $\epsilon_{i,t+1}$  とする。なお、今回は  $N_H = 20$  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ルエージェントのその上位  $N_H\%$  以外エージェントに対し、それぞれ 5% の確率で強気度をランダムに変更する。

### 2.2.2 テクニカルエージェント

$\bar{R}_{i,t}$  が、全てのテクニカルエージェント中のその下位  $N_L\%$  以内に属するとき、確率

$$p_i = \frac{\text{エージェント } i \text{ の順位}}{\text{全テクニカルエージェント数}}$$

で、 $i$  の移動平均の期間  $n_{i,t}$  を変更する。すなわち、変化率の平均が、全てのテクニカルエージェント中のその上位  $N_H\%$  以内のテクニカルエージェントをランダムに抽出し (エージェント  $i'$  とする)、 $i'$  の移動平均期間  $n_{i',t}$  の値を、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、全てのテクニカルエージェントの上位  $N_H\%$  以外エージェントに対し、それぞれ 5% の確率で売買方針 (順張りとは逆張り) 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。

## 2.3 株価決定法

株価決定法には、株式市場で一般的な板寄せ方式を採用した。板寄せ方式とは以下の要領で株価を決定していく方法である。各エージェントはそれぞれの手法で発注価格と発注株式数を決め注文を出す。市場では、 $t$  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。

## 3 シミュレーション結果の考察

### 3.1 各市場の株式変動

これまでの研究 [12] で、上記人工市場に基づいた規制なし市場と規制あり市場の株価変動は以下になることが判明した。規制なし市場の株価変動は、理論株価からそれほど乖離することなく、比較的安定した変動となっているが (図 1)、規制あり市場の株価変

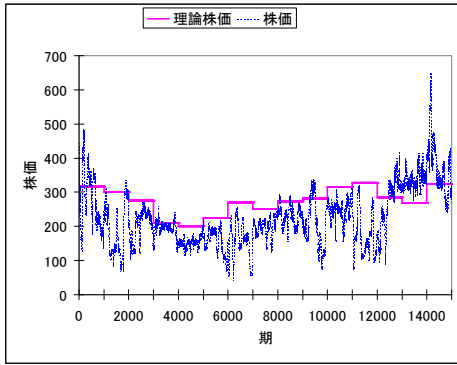


図 1: 空売り規制なしの市場の株価変動

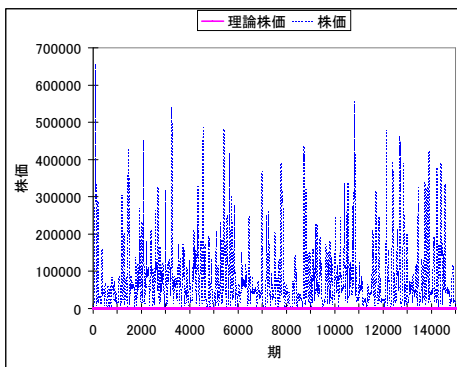


図 2: 空売り規制ありの市場の株価変動

動は、理論株価から大きく乖離し周期的に株価の暴騰暴落を繰り返している（図 2）。

規制あり市場におけるバブル発生、崩壊のメカニズムの概要は以下のとおりである [12]。

はじめに株価が上がり始めると、テクニカルエージェントの運用成績上位者は順張り買いとなるため、テクニカルエージェントの大半が順張り買いになる。一方、ファンダメンタルエージェントは保有株を売り切ってしまうと空売りができずに待機する。そのため需給バランスが崩れ、テクニカルエージェントの順張り買いの買い圧力により株価上昇が加速しバブルが発生する。株価が上がりすぎると、キャッシュ不足で買い注文が出せないエージェントが増加するので、次第に株価が上げ止まる。株価が下落を始めると、一部の順張り売りのテクニカルエージェントの運用成績が上がり、次第にテクニカルエージェントの大半が順張り売りになり、株価が暴落する。株価がある程度下がると資金不足で買い注文が出せなかったエージェントの買い注文が開始、株価が下げ止まる。

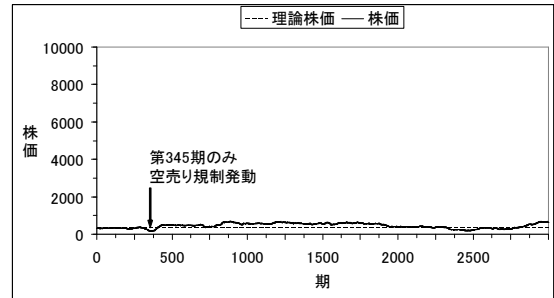


図 3: 1 期間空売り規制した市場の株価変動

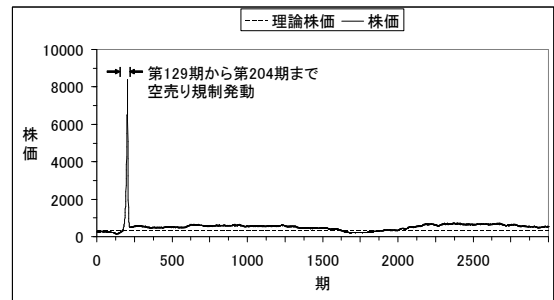


図 4: 75 期間空売り規制した市場の株価変動

### 3.2 空売り規制期間と市場安定性の関係

本節では、空売り規制期間と市場安定性について議論する。まず、3.2.1 節にていくつかの規制期間における株価変動を示し、空売り規制期間と株価変動の関係を観察する。次に、3.2.2 節にて空売り規制期間と市場安定性について統計的に分析する。

#### 3.2.1 空売り規制期間と株価変動

本節では、空売り規制期間と株価変動の関係を観察する。以下にいくつかの規制期間（1 期間，75 期間，300 期間，無期限）における株価変動を示す。なお、空売り規制を発動する条件（規制発動条件）は、2009 年秋の株価急落時の TOPIX の変動を参考に以下のように設定した。

- 直近 5 期の株価騰落率 ( $t$  期の株価/ $t-1$  期の株価) が 0.97 未満、かつ、
- 5 期前の 25 期移動平均線が下向き、かつ、
- 株価と 25 期移動平均の乖離度が -0.25 以下。

一方、空売り規制は規制発動後予め設定した期間を経過すると解除される。

図 3 は、1 期間（第 345 期のみ）空売りを規制したときの株価変動を示している。このときは株価変動に大きな変化はなかった。図 4 は、75 期間（第 129 期か

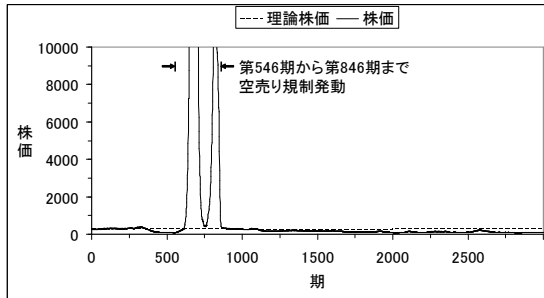


図 5: 300 期間空売り規制した市場の株価変動

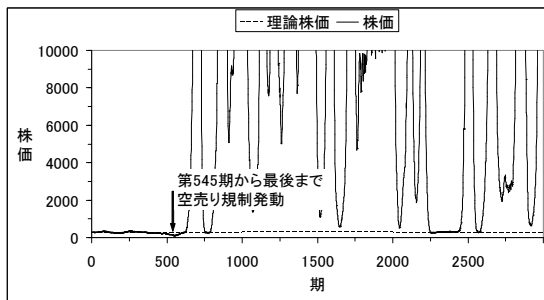


図 6: 無制限に空売り規制した市場の株価変動

ら第 204 期まで) 空売りを規制したときの株価変動を示している。空売りが規制されている間にバブルが発生するが、規制が解除された途端株価は急落し、その後は規制なし市場と同じように安定推移していることがわかる。図 5 は、300 期間(第 546 期から第 846 期まで) 空売りを規制したときの株価変動を示している。図 4 より規制期間が長い場合、規制期間中のバブル発生回数は多くなっている。しかし、図 4 と同様、規制が解除されると株価は急落し、その後は安定推移する。図 6 は、規制発動後(第 545 期)シミュレーションが終わるまで解除しないとときの株価変動を示している。規制発動後は規制あり市場と同じくバブルの発生と崩壊を繰り返している。以上より、規制期間が長くなればなるほど、市場が不安定になっているように見える。

次に、これらの株価変動のメカニズムを以下に記す。空売りが規制され空売り注文がなくなると、買い注文総数<sup>9</sup>が売り注文総数<sup>10</sup>を上回るようになり、株価が上昇し始める。規制期間が非常に短いとき(1 期間など)は、株価が急騰する前に規制が解除され需給関係が元通りになるため、バブルは発生しない。一方、図 4 のように規制期間がある程度長くなると、バブルメカニズムにしたがって株価が急騰する。規制が解除されると、株価と理論株価の乖離が大きいため、ファンダメ

<sup>9</sup> 現物買い注文数と買戻し注文数の和

<sup>10</sup> 現物売り注文数と空売り注文数の和

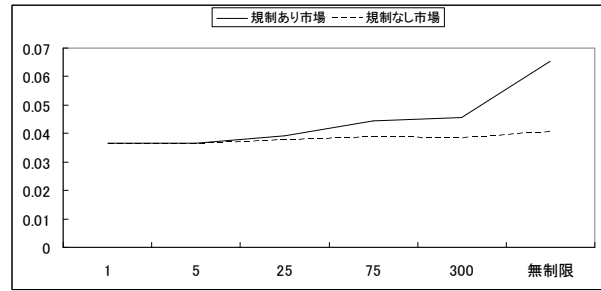


図 7: 空売り規制期間と収益率ボラティリティの相関性

ンタルエージェントが一度に大量に空売りを注文すると、売り注文総数が買い注文総数を大幅に上回り、需給関係が崩れ、株価が急落する。株価が十分下がると空売り注文数が減少し、需給関係が改善され、株価が安定するようになる。図 5 や図 6 のように規制期間が長期化すると、規制期間中はバブルメカニズムに従ってバブルの発生と崩壊が繰り返される。

### 3.2.2 空売り規制期間と市場安定性の相関性

本節では、空売り規制期間と市場安定性について統計的に分析する。図 7 は空売り規制期間が 1, 5, 25, 75, 300<sup>11</sup>、無制限のときの株価収益率のボラティリティ(標準偏差)を表している。この図から、空売り規制期間が長くなるに従い、株価収益率のボラティリティが大きくなっていることがわかる。これは規制期間が長くなればなるほど、市場が不安定になることを示している。

### 3.3 リスク資産量と市場効率性の関係

これまでの実験は初期キャッシュ量を固定していたが、本節では初期キャッシュ量を変更し、初期リスク資産率<sup>12</sup>の異なる市場の動向を、市場効率性、安定性の面から分析する。

リスク資産率の異なる市場を分析することは、レバレッジ率の異なる市場の特性分析につながると考えられる。なぜなら、初期キャッシュ量が大きな市場は、多量の借金による投資が可能(レバレッジ率の大きい)市場とみなすことができ、初期キャッシュ量を少ない市場は、少量の借金もしくは手持ち資金でのみ投資が可能(レバレッジ率の小さい)市場とみなすことができるからである。

本節では市場の効率性を以下の項目から判断する。

<sup>11</sup> それぞれ 1 日, 1 週間, 1 ヶ月, 3 ヶ月, 1 年を想定している。

<sup>12</sup> 初期リスク資産率 = 初期リスク資産 (= 初期株価 × 初期株式保有数) / (初期リスク資産 + 初期無リスク資産 (初期キャッシュ量))

表 1: リスク資産率と市場パラメータ

リスク資産率		0.01%	0.1%	1%	10%	50%	67%
規制なし市場	最大株価	789	732	602	294	230	84
	最小株価	71	86	62	15	6	6
	理論株価	268	278	285	284	273	280
	収益率ボラティリティ	2.89%	2.85%	2.73%	4.45%	5.79%	5.76%
	理論株価からの乖離	108	80	76	203	239	256
規制あり市場	最大株価	13950814	2028062	190077	10654	349	346
	最小株価	434	610	255	233	209	163
	理論株価	288	321	283	336	295	301
	収益率ボラティリティ	6.67%	7.89%	7.65%	7.37%	3.57%	3.62%
	理論株価からの乖離	5186177	161516	15280	932	32	41

- 理論株価との乖離度が小さい。
- 株価の最大値と最小値の間に理論株価がある。
- 収益率ボラティリティ（標準偏差）が小さい（安定的である）。

表 1 はリスク資産率と規制なし市場と規制あり市場のパラメータを表している<sup>13</sup>。規制なし市場では、リスク資産率が大きいほど市場は安定しているのに対し、規制あり市場では、リスク資産率が小さいほど市場は安定していることがわかる。一方、市場効率性に関しては、どちらの市場もリスク資産率が両極端にならない比率（規制なし：1%，規制あり：50%）で効率的になることがわかる。

これらの理由は以下のように考えられる。まず、規制なし市場について説明する。初期リスク資産率が小さいときは、需給関係が保たれるため市場は安定的である。しかし、初期リスク資産率が大きくなると、リスク資産が割安であっても、無リスク資産が少ないためにリスク資産が購入できなくなる。そのため、リスク資産は割安のまま放置され、市場が非効率となる。次に、規制あり市場について説明する。初期リスク資産率が小さいときは、リスク資産に対して多すぎる無リスク資産が投機的にリスク資産を買い付ける。一方、空売りが規制されているため、リスク資産は割高に放置される。そのため、バブルが発生し、市場は不安定になる。しかし、初期リスク資産が大きいときは、バブルが発生する前にリスク資産を購入するための無リスク資産が尽きてしまう。それ故、リスク資産が割高になりすぎず、市場は効率的になる。

<sup>13</sup> リスク資産率 100%のときは両市場とも売買が成立しなかったため除外した。

## 4 あとがき

本研究では、空売り規制期間が金融市場安定化に対してどのような効果をもたらすかを人工市場を用いて検討した。はじめに、空売り規制あり市場と空売り規制なし市場を構築し、両市場における株価推移を概観し、空売り規制ありのバブルメカニズムを概説した。次に、空売り規制期間と市場の安定性の関係について議論し、規制期間が長くなればなるほど、バブル発生回数が増加し、市場が不安定になることを示した。最後に、リスク資産率と市場効率性、安定性の関係について議論した。その結果、リスク資産率が小さいとき、規制なし市場は安定的であるが、規制あり市場は不安定となることを示した。一方、リスク資産率が大きいとき、規制なし市場では市場が非効率となるのに対し、規制あり市場では市場が効率的となることを示した。

今後の課題としては、本研究で利用した人工市場モデルのエージェント参加比率やパラメータ値のほかに、市場と同じ特性をもつ設定がないか網羅的に調査することが挙げられる。

## 参考文献

- [1] W. Arthur, J. Holland, B. Lebaron, R. Palmer, and P. Tayler. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. In *The Economy as an Evolving Complex System II*, pp. 15–44. Addison-Wesley, 1997.
- [2] A. Bris, W. N. Goetzmann, and N. Zhu. Efficiency and the bear: short sales and markets around the world. Yale icf working paper, Yale ICF, 2004.
- [3] S.-H. Chen and C.-H. Yeh. On the emergent properties of artificial stock markets: the efficient

market hypothesis and the rational expectations hypothesis. *Economic Behavior & Organization*, Vol. 49, No. 2, pp. 217–239, 2002.

- [4] V. Darley and A. V. Outkin. *A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems*. World Scientific Pub. Co. Inc., 2007.
- [5] 原章, 長尾智晴. 自動グループ構成手法 adg による人工株式市場の構築と解析. *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 7, pp. 2292–2299, 2002.
- [6] 和泉潔. *人工市場：市場分析の複雑系アプローチ*. 森北出版, 2003.
- [7] 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*, pp. 80–86, 2009.
- [8] O. Lamont. The long and short of hedge funds: Effects of strategies for managing market risk. Technical report, U.S. House of Representatives-Committee of Financial Services, Sub-committee on Capital Markets, Insurance, and Government Sponsored Enterprises, 2003.
- [9] P. A. C. Saffi and K. Sigurdsson. Price efficiency and short-selling. AFA 2008 New Orleans Meeting Paper, 2007.
- [10] 高田悠矢, 橋本康弘, 陳 , 大橋弘忠. 金融市場のモデル化と空売り規制の効果についてエージェントベースシミュレーションによるアプローチ. システム創成学 第二回 学術講演会 リソースの創成と流動, pp. 56–60, December 2009.
- [11] 宇野淳, 梅野淳也, 室井理沙. 日本株レンディング市場の実証分析 - 株券貸借モデルによる空売り規制効果の測定 - . *証券アナリストジャーナル*, Vol. 47, No. 6, pp. 19–33, 2009.
- [12] 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*, forthcoming.