

人工市場を用いた株式市場における空売り規制の有効性分析

A study on the effectiveness of short-selling regulation using artificial markets

八木 勲^{1*} 水田 孝信² 和泉 潔³
Isao Yagi¹ Takanobu Mizuta² Kiyoshi Izumi³

¹ 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

¹ Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Tokyo 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 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター

³ Digital Human Research Center,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: 米国発のサブプライム問題以降、株価下落を抑制するために各国の株式市場で空売り規制が発動された。しかし、この規制の効果については明らかになっていない。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、空売り可能な人工市場と空売りが禁止された人工市場を構築し、株価変動を比較したところ、前者の方が株価が安定し、後者ではバブルが形成される可能性が高いことがわかった。次に取引途中に空売り規制が発動される場合とそうでない場合の株価推移を比較検討し、規制が発動される方が株価下落抑制力が高いことがわかった。以上より、空売り規制は、短期的には株価下落を抑制し市場安定化に貢献するが、長期にわたって規制するとバブルを形成し市場安定化の阻害になることが判明した。最後に理論株価が市場株価の影響を受けたときの収益率のボラティリティを観察し、市場株価の影響が強いほど市場が不安定になることを示した。

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。株価下落を抑制する方法の1つとして空売りを禁止する規制（以降、空売り規制と呼ぶ）がある。株式における空売りとは、未保有株式を保有者（証券会社等）から借り受け売却し、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。この規制には、空売りが大量発注されることで株価が必要以上に下落することを防ぐ狙いがあるが、その効果に対する評価は必ずしも一致していない [Bris 04, Saffi 07, 宇野 09]。また、今回のアメリカにおける規制の調査結果も報告されているが [藤戸 08]、空売り規制が発動されたときの市場の内部で起きているミクロなメカニズムについては言及されていない。

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金融市場のエージェントベースモデルであり、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。その一方で、市場安定化や効率化のための制度等をモデルとして組み込むことで、市場参加者がどのように振る舞うか、さらに、市場参加者の振る舞いによって、市場にどのような影響が現れるか検討することが可能となる。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 [Arthur 97, Chen 02, Darley 07, 原 02, 和泉 03]。

そこで本研究では、空売り規制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。他にも人工市場を用いて空売り規制の影響を分析している研究はあり、そこで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

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

抑制効果があることを示している [高田 09]。

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した（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）。このとき本市場に参加する投資家（エージェント）モデルを、現実市場の投資家に沿うよう定義した。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。3.1 節では、シミュレーション結果から、規制なし市場の株価変動は比較的安定しているのに対し、規制あり市場の株価変動はバブルが形成される可能性が高いことを発見した。3.2 節では、各エージェントの挙動から規制あり市場でのバブルのメカニズムを分析した。3.3 節では、取引中に空売り規制を発動したときとそうでないときの株価変動の違いを分析した。さらに規制発動前後のエージェントの売買傾向を分析した。3.4 節では、理論株価が市場株価の影響を受けるときの市場株価変動について議論した。最後に 4 節でまとめと今後の課題について述べる。

2 人工市場の構築

構築する人工市場では、エージェントが 100 人参加し 1 つの株式を売買する。エージェントは株式（リスク資本）とキャッシュ（無リスク資本）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¹。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²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。

¹本エージェントのタイプおよび参加比率は、金融実務家と相談し、現実市場においてあり得えそうな条件を仮設定した。そして、これらのタイプおよび比率を用いたシミュレーション結果を統計的に分析したところ、現実市場と類似していたため ([Yagi 09] 参照)、これらは現実を表していると判断し、実験条件として採用した。

²株式を保有する一方で、同一株式の空売りも行うこと。

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。

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³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 $P_t + \epsilon_{i,t}$ で、分散が $(\alpha(P_t + \epsilon_{i,t}))^2$ 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⁴、 α 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、

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

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、 $\tilde{q}_{i,t} - q_{i,t-1} > 0$ 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

³企業財務状況等を基に算出された理論上の株価を指す。

⁴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。

る．一方， t 期において， $\tilde{q}_{i,t} - q_{i,t-1} < 0$ を満たすとき，エージェント i は株価 $P_{i,t}$ 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 は売買せずに待機する．

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， $1 \leq n_{i,t} \leq 25$ をみたすランダムな値とし， α_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の模倣を行う．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．

さらに，より多くの利益を上げるために，試行錯誤的に売買ルールを検討する投資家もいる．それらの投資家を表すために，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

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

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 $N_H\%$ 以外の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 $N_H\%$ 以外の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．

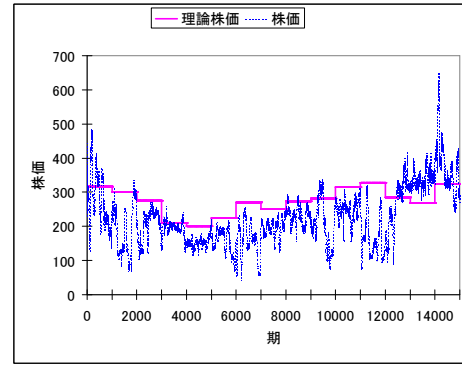


図 1: 空売り規制なしの市場の株価変動

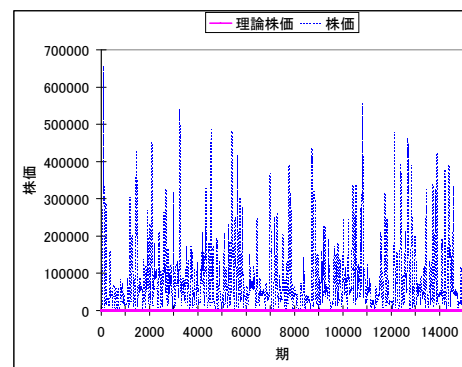


図 2: 空売り規制ありの市場の株価変動

3 シミュレーション結果の考察

3.1 各市場の株式変動

上記人工市場を用いて、規制なし市場と規制あり市場の株価変動を確認した（図 1、図 2）．これらの図から、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、規制あり市場の株価変動は、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ことがわかる．

空売り規制の分析を行う前に、本市場モデルが現実市場に即したモデルかどうか検討する必要がある．しかし、現実市場において、投資家分布の割合等、市場の構成要素を具体的に求めることは不可能に近い．よって、人工市場の個々のパラメータの妥当性判断も困難であるため、通常はモデルの挙動からそのモデルの妥当性が判断される⁵．現実市場ではいくつかの共通する特性をもつことが知られている [Martinez-Jaramillo 09]．そこで、本市場モデルがこれらの特性を満たすか確認

⁵今回は試行錯誤の結果、現実に近いパラメータの値の組み合わせを見つけるに至った

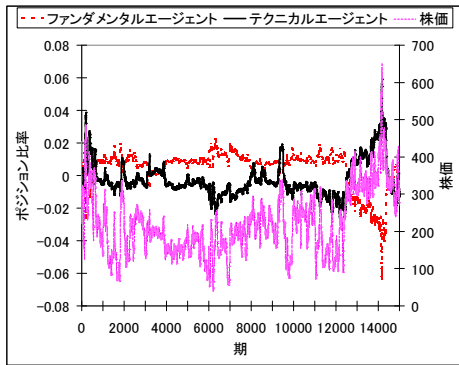


図 3: 規制なし市場におけるエージェントのポジション推移

した。現実市場に近い規制なし市場は現実市場の特性をもつものに対し、規制あり市場は一部の特性のみをもつことがわかった [Yagi 09]。

3.2 エージェントの売買動向と市場への影響

本節では、エージェントがどのような売買を行い、それが市場にどのように影響を与えているかを分析する。

図 3 は規制なし市場の株価変動と各タイプのエージェントのポジション推移を表している。規制なし市場において、ファンダメンタルエージェントとテクニカルエージェントのポジションは強い負の相関 (-0.902) がある。ファンダメンタルエージェントの売買方針が逆張りであることを考えると、テクニカルエージェントは順張りの傾向が高いことがわかる。

一方、規制あり市場では、テクニカルエージェントと株価に強い正の相関 (0.839) があるが、規制なし市場のように、ファンダメンタルエージェントとテクニカルエージェントのポジションに相関性はなかった。これは、規制あり市場ではファンダメンタルエージェントはほとんど売買に参加しないことが原因と考えられる。ファンダメンタルエージェントが売買しない理由は、ファンダメンタルエージェントはバブル形成時に保有している株式を全て手放すが、その後株価が理論株価付近まで下落することがほとんどないため、株式を買うことができないからである。

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。詳細については [Yagi 09] を参照されたい。

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してしまう。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始め、株価が下げ止まる。

なお、バブル発生メカニズムに関して、ファイナンス理論からのアプローチもあり、短期投資目的の投資家やノイズトレーダーが存在する市場ではバブルが起る可能性が十分あることが報告されている [広田 09]。さらに、株価がファンダメンタルに影響を与える場合にもバブルが生じやすいという主張もある [Soros 03]。

3.3 取引中に空売り規制が発動される場合とそうでない場合の株価変動の比較

本節では、市場がある条件を満たしたときに空売り規制が発動される場合とそうでない場合の株価変動の比較を行う。空売り規制を発動する条件（規制発動条件）は、昨秋の株価急落時の TOPIX 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、株価が上昇基調になったと判断したとき、すなわち、下記条件を満たすとき、空売り規制を解除している。

- 直近 5 期の株価騰落率が 0.97 以上、または、
- 5 期前の移動平均線が上向き、または、
- 株価と移動平均の乖離度が 0.25 以上。

図 4 は、規制発動条件を満たした後の株価変動を、規制を発動した場合とそうでない場合にわけて実験した結果の一例である。規制発動した場合、発動直後から株価が反発するが、そうでない場合はさらに株価が下落した後水準回復することがわかる。表 1 は、規制発動条件を満たした後の各種統計を、規制を発動した場合とそうでない場合に分類した結果である。これらは 10 回のシミュレーションを行ったときの平均値である。下落率とは、規制発動直後から株価が同水準に回復するまでにどれくらい下落したかを示す⁶。株価回復所要

⁶(規制発動時の株価 - 株価が同水準に回復するまでに記録した最小値)/規制発動時の株価

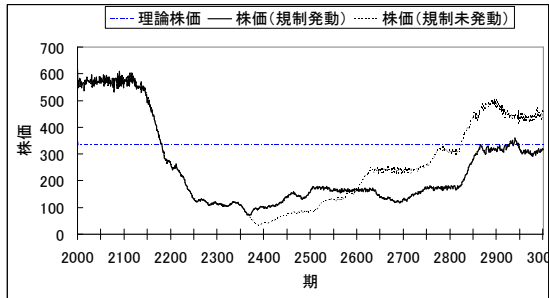


図 4: 規制発動した場合とそうでない場合の株価変動

表 1: 規制を発動した場合とそうでない場合の各統計値

	規制発動時	規制未発動時
下落率	25.073%	-56.325%
株価回復 所要期間	1	142.85
ボラティリティ	39.289%	37.806%
規制期間	11.15	-

期間とは、規制発動直後の株価が、規制発動時の株価まで回復するのに要する期間を指す。表 1 からわかるように、規制を発動した場合は、発動直後から株価が上がるため下落率は負になっているが、そうでない場合は約 56% 下落している。一方、期間はかかるが規制を発動しない場合においても、必ず規制発動時の株価水準まで株価が回復していることがわかった。規制発動条件合致後から取引終了までの収益率のボラティリティ⁷に大きな違いは見られなかった。これは規制発動期間が比較的短い（平均 11.15 期）ことが原因と考えられる。

次に空売り規制が発動されたときの売買動向について検討した。これは、空売り規制が発動するような下落が発生しているとき、どのような売買が行われているかを確認するためである。表 2 は、規制発動前後における売り注文数に対する空売り注文数の割合（空売り比率）の平均と、買い注文総数に対する買戻し注文数の割合（買戻し比率）の平均を、10 回のシミュレーションによって得たものである。図 5 はその一例で、規制発動前後の空売り比率の推移と買戻し比率の推移を表したものである。図中で空売り比率が 0 になっている期間が規制発動期間に当たる。これらから、空売り規制が発動する直前は、空売り注文数が現物売り注文数を上回っており、規制が発動されると、買戻し注文が急激に増加する傾向があることがわかる。各エージェントの売買動向を分析した結果、これらの現象のメカニズムは以下のとおりであることがわかった。

⁷ 価格変動の激しさを表す指標で、本研究では標準偏差で表している。

表 2: 規制発動前後の売買比率一覧

	規制発動前	規制終了時
空売り比率	55.978%	0
買戻し比率	23.738%	41.245%

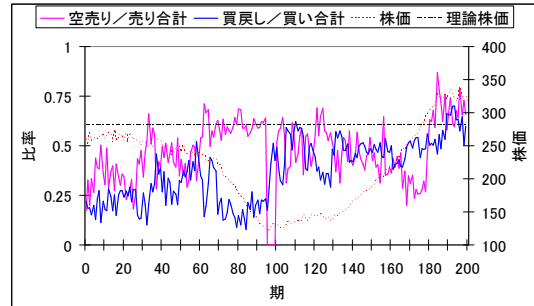


図 5: 規制発動前後の売買比率

規制が発動する直前、株価は下落傾向にあるため、テクニカルエージェントの大半が大量の順張り売りを続け、株式保有数は負（空売り）になっている。反対に、現物買いや空売りの買戻しを行うテクニカルエージェントはごく少数である。テクニカルエージェントと逆相関関係にあるファンダメンタルエージェントは大半が逆張り買い（現物）を行い、一部が順張り売り（現物）を行っている。しかし、取引ごとに市場株価と理論株価の乖離を基に最適株式保有数を調整しているため、一取引あたりの買い注文数は少ない。以上より、規制発動直前は空売り比率は高く、買戻し比率は低くなる傾向がある。規制が発動すると、それまで株価下落を支えていた空売りがなくなるので、需給バランスが崩れ、株価が下げ止まった後上昇はじめる。すると順張り売りの運用成績が悪くなるため、テクニカルエージェントが戦略を逆張り買いに変更しはじめる。テクニカルエージェントの大半は直前までの順張り売りを続けていたため、空売りの買戻しが主である。このため規制発動後に買戻し比率が急激に上昇する。

3.4 理論株価が市場株価の影響を受けるときの市場株価変動

本市場モデルでは、理論株価は市場株価の影響を受けずに決定される。しかし、現実市場において理論株価が市場株価と大きく乖離したとき、ファンダメンタリストは、ファンダメンタル要素だけではなく株式の需給関係も考慮した理論株価を用いて、発注株価および発注株式数を決めることがある。そこで本節では、理論株価が市場株価の影響を受けたときの市場の株価変動について観察する。 $t + 1$ 期の理論株価 P_t を次のよ

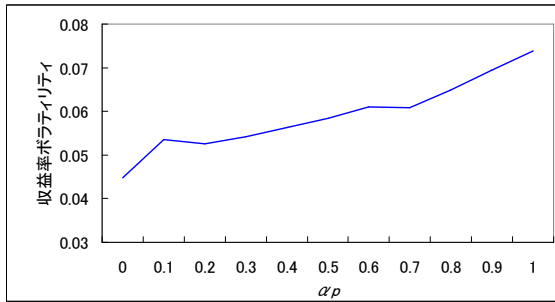


図 6: 理論株価と市場株価の関連性と株価変動の関係

うに定義する． α_p を市場株価が理論株価に与える影響度を表す係数とし， $3P_t \leq P_t$ ，または， $3P_t \leq P_t$ を満たすとき，

$$P_{t+1} = P_t + \alpha_p(P_t - P_t)$$

とする．図 6 は， α_p を 0 から 1 まで 0.1 ずつ大きくしたときの， α_p と規制なし市場における収益率のボラティリティの関係を表している．ただし，各 α_p におけるボラティリティは，10 回のシミュレーションを行ったときの平均値である．図からわかるように， α_p が大きくなるにしたがって，収益率のボラティリティも大きくなる傾向がある．この結果は，市場株価が理論株価に与える影響が大きいほど，市場は不安定になる，という Soros の見通し [Soros 03] に一致する．一方，規制あり市場においてはこのような特性を見出すことはできなかった．

4 あとがき

本研究では，空売り規制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．すなわち，空売り規制の効果を見るために，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し，人工市場のシミュレーション結果から市場の内部メカニズムについて分析した．はじめに，規制なし市場の株価変動は比較的安定しているのに対し，規制あり市場の株価変動はバブルが形成される可能性が高いことを示した．次に，取引中に空売り規制が発動したときとそうでないときの株価変動を比較し，規制が株価下落の抑止効果があることがわかった．また，規制が発動するときは空売りが主体であり，規制時には空売りの買戻しが大量に発生することが判明した．以上より，空売り規制は，短期的には株価下落を抑制し市場安定化に貢献するが，長期にわたって規制するとバブルを形成し市場安定化の阻害となることが判明した．最後に，理論株価が市場株価の影響を受けるとき，

その影響力が大きいほど市場が不安定になることもわかった．

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，本市場モデルを他の規制（レバレッジ規制等）に適用し，それらの規制の有効性について検討していくことが挙げられる．

参考文献

- [Arthur 97] Arthur, W., Holland, J., Lebaron, B., Palmer, R., and Tayler, P.: 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)
- [Bris 04] Bris, A., Goetzmann, W. N., and Zhu, N.: Efficiency and the bear: short sales and markets around the world, Yale icf working paper, Yale ICF (2004)
- [Chen 02] Chen, S.-H. and Yeh, C.-H.: 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)
- [Darley 07] Darley, V. and Outkin, A. V.: *A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems*, World Scientific Pub. Co. Inc. (2007)
- [藤戸 08] 藤戸 則弘：株式「空売り規制」の効果と限界, Technical report, 三菱 UFJ 証券 (2008)
- [原 02] 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)
- [広田 09] 広田 真一：バブルはなぜ起こるのか？ - ファイナンス理論からの考察 -, 証券アナリストジャーナル, Vol. 47, No. 5, pp. 6–15 (2009)
- [和泉 03] 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)
- [Martinez-Jaramillo 09] Martinez-Jaramillo, S. and Tsang, E. P. K.: An heterogeneous, endogenous and co-evolutionary GP-based financial market, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 13, No. 1, pp. 33–55 (2009)

- [Saffi 07] Saffi, P. A. C. and Sigurdsson, K.: Price efficiency and short-selling, AFA 2008 New Orleans Meeting Paper (2007)
- [Soros 03] Soros, G.: *The Alchemy of Finance*, John Wiley & Sons. Inc. (2003), (青柳孝直訳：新版 ソロスの錬金術，総合法令出版 (2009))
- [高田 09] 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 (2009)
- [宇野 09] 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)
- [Yagi 09] Yagi, I., Mizuta, T., and Izumi, K.: A Study on the Effectiveness of Short-selling Regulation using Artificial Markets, in *Proceedings of the 9th Asia-Pacific Complex Systems Conference (Complex'09)*, pp. 87–94 (2009)