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 Yagi[1]　Takanobu Mizuta[2]　Kiyoshi Izumi[3]

[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: Since the subprime mortgage crisis in the United Sates, stock markets around the world have crashed, revealing their instability. To stem the decline in stock prices, short-selling regulations have been implemented in many markets. However, their effectiveness remains unclear. In this paper, we discuss the effectiveness of short-selling regulation using artificial markets. An artificial market is an agent-based model of financial markets. We constructed an artificial market that allows short-selling and an artificial market with short-selling regulation and have observed the stock prices in both of these markets. We found that the market in which short-selling was allowed was more stable than the market with short-selling regulation, and a bubble emerged in the regulated market. We evaluated the values of assets of agents who used three trading strategies, specifically, these agents were fundamentalists, chartists, and noise traders. The fundamentalists had the best performance among the three types of agents.

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．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 [2, 5, 11]．また，今回のアメリカにおける規制の調査結果 [7] も報告されているが，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 [1, 3, 4, 9, 10]．

そこで本稿では，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可能性があるかを人工市場を用いて検討した．今回は空売り規制の効果を見るために，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，単に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)．このとき市場に参加する投資家（エージェント）モデル

*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

を 2.1，2.2 節にて定義した．3 節では，構築した人工市場のシミュレーション結果から市場メカニズムについて分析した．まず，3.1 節において人工市場のマクロ的動向を議論した．すなわち，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．さらに，本市場の株価推移と実データである TOPIX の推移とを統計的に比較し，本市場モデルが現実の市場の特徴を反映していることを示した．次に，3.2.1 節にてエージェントの運用成績等人工市場のミクロ的動向を議論し，市場に参加しているエージェント（ファンダメンタル，テクニカル，ノイズ）の中で，ファンダメンタルエージェントが最も安定した運用成績を収めていることを発見した．また，エージェントの売買動向から，規制あり市場で発生するバブルの原因について検討した．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とキャッシュを保有する．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．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，$-S_{min}$ ($S_{min} < 0$) 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．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

売買方針　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が最大になるよう株式保有量を調整する．

理論株価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を 300 とし，1000 期ごとに平均 1，分散 0.1^2 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 $\mathcal{P}_t + \epsilon_{i,t}$ で，分散が $(\alpha(\mathcal{P}_t + \epsilon_{i,t}))^2$ [1]の正規分布に従うものとし，100 期ごとに更新する．ただし，$\mathcal{P}_t$ 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[2]，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．

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

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量 $\tilde{q}_{i,t}$ は，

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

と表すことができる．この値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 $\tilde{P}_{i,t}$ 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 は売買せずに待機する．

2.1.2　テクニカルエージェント

売買方針　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 期間移動平均を

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

[1]エージェントの約 95% が，理論株価の -2α から 2α の間で予想株価を設定することを想定．

[2]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．

とし，$\Delta MA_{t,n_i} = MA_{t,n_i} - MA_{t-1,n_i}$ 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．

- $\Delta MA_{t,n_i} > 0$ のとき，株価 $(1+\alpha_t)P_{t-1}$，株式数 $q^T_{i,t}$ の買い注文を出す．
- $\Delta MA_{t,n_i} < 0$ のとき，株価 $(1+\alpha_t)P_{t-1}$，株式数 $q'^T_{i,t}$ の売り注文を出す．
- $\Delta MA_{t,n_i} = 0$ のとき，待機する．

一方，逆張り派に属するときは，

- $\Delta MA_{t,n_i} > 0$ のとき，株価 $(1+\alpha_t)P_{t-1}$，株式数 $q'^T_{i,t}$ の売り注文を出す．
- $\Delta MA_{t,n_i} < 0$ のとき，株価 $(1+\alpha_t)P_{t-1}$，株式数 $q^T_{i,t}$ の買い注文を出す．
- $\Delta MA_{t,n_i} = 0$ のとき，待機する．

なお，n_i の初期値は，$1 \leq n_i \leq 25$ をみたすランダムな値とし，α_t は平均 P_{t-1}，分散 0.1^2 の正規分布に従う乱数とする．$q^T_{i,t}$ は，平均 10，分散 0.1^2 の正規分布に従う乱数で，$0 < q^T_{i,t} \leq S_{max} - q_{i,t-1}$ を満たす．$q'^T_{i,t}$ は，平均 10，分散 0.1^2 の正規分布に従う乱数で，規制なし市場においては，$0 < q'^T_{i,t} \leq q_{i,t-1} - S_{min}$ を，規制あり市場においては，$0 < q'^T_{i,t} \leq q_{i,t-1}$ を満たす．

2.1.3 ノイズエージェント

売買方針 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 $q^N_{i,t}$ の買い注文を出す．ただし，$q^N_{i,t}$ は，平均 10，分散 0.1^2 の正規分布に従う乱数で，$0 < q^N_{i,t} \leq S_{max} - q_{i,t-1}$ を満たす．一方，売りの場合，株価 $(1+\alpha_t)P_{t-1}$ で株式数 $q'^N_{i,t}$ の売り注文を出す．ただし，$q'^N_{i,t}$ は，平均 10，分散 0.1^2 の正規分布に従う乱数で，規制なし市場においては，$0 < q'^N_{i,t} \leq q_{i,t-1} - S_{min}$ を，規制あり市場においては，$0 < q'^N_{i,t} \leq q_{i,t-1}$ 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

取引が終了すると，各エージェントは運用成績の評価を行う．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試みる．また，成績は悪くないが更なる成績向上を狙うエージェントは自発的に売買ルールの変更を行う．ただし，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

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

が，全てのファンダメンタルエージェント中のそれの下位 N_L%（今回は $N_L = 20$ とする）に該当するとき，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，変化率の平均が上位 N_H% 中のエージェントを 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

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

を，$\epsilon_{i,t+1}$ とする．なお，今回は $N_H = 20$ とする．

さらに，更なる成績向上を狙うエージェントの売買ルール変更を実現するために，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

過去 N 期の変化率の平均

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

が，全てのテクニカルエージェント中のそれの下位 N_L% に該当するとき，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' の移動平均の値を変更する．すなわち，変化率の平均が上位 N_H% 中のテクニカルエージェントをラ

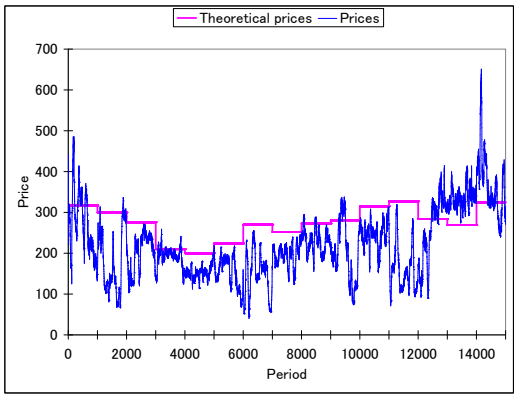

図 1: 空売り規制なしの市場の株価変動

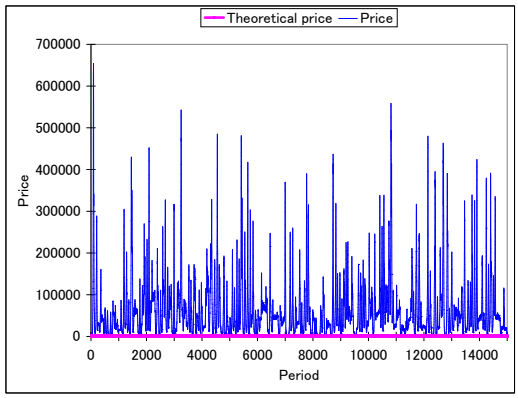

図 2: 空売り規制ありの市場の株価変動

ンダムに抽出し（エージェント i' とする），i' の移動平均 $MA_{t,n_{i'}}$ を，新しい移動平均 MA_{t+1,n_i} とする．

さらに，更なる成績向上を狙うエージェントの売買ルール変更を実現するために，さらに，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（順張りと逆張り）および移動平均 MA_{t+1,n_i} を変更する．MA_{t+1,n_i} は $1 \leq MA_{t+1,n_i} \leq 25$ をみたす乱数とする．

2.3 株価決定法

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

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 1，2)．

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．さらに一旦株価が暴騰するとその後下落しても理論株価付近まで下落することはほとんどない．

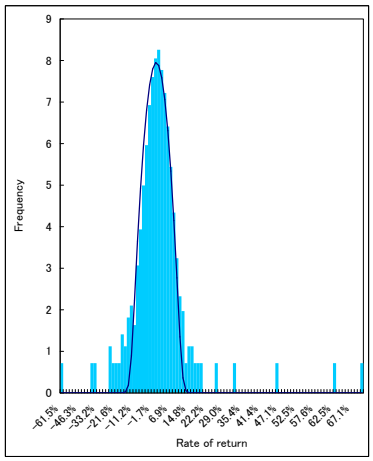

図 3: 規制なし市場の株価収益率のヒストグラム

本市場の株価変動は以上のような特徴をもつが，まず本市場モデルが妥当かどうかを検討する必要がある．そこで，これら株価変動の統計値を求め，本市場と現実世界の株価変動を比較した．現実世界の株価として，1949 年 5 月 16 日から 2009 年 6 月 16 日までの 14,926 日間の TOPIX 終値を用いた．表 1 はこれらの株価収益率を統計的にまとめたものであり，図 3，4，5 はそれぞれ規制なし市場，規制あり市場，TOPIX の収益率のヒストグラムである．現実のデータではヒストグラムの裾の部分が正規分布より厚くなることが知られている（TOPIX の尖度は 11.673）．規制なし市場と規制あり市場の尖度はそれぞれ 128.65，0.50732 と正値となっていることから，現実の金融市場と同様に，正規分布から外れたファットテイル形の分布をもつことがわかった．また，現実世界では空売り規制が発動される機会は少ないため，規制なし市場のヒストグラムの形状が，規制あり市場のヒストグラムに比べて TOPIX に近い形状になっている点もモデルが現実を反映している証拠と考えることができる．

	規制なし市場	規制あり市場	TOPIX
平均	0.00045	0.00317	0.00031
標準偏差	0.03098	0.07745	0.01064
尖度	128.65	0.50732	11.673
歪度	3.8347	0.10937	-0.13232

表 1: 株価収益率に関するパラメータ

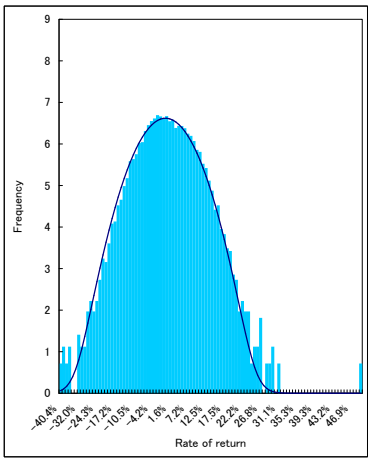

図 4: 規制あり市場の株価収益率のヒストグラム

次に TOPIX および本市場の収益率の自己相関と 2 乗収益率の自己相関について検討した（図 6 と図 7）．TOPIX の収益率の自己相関係数は 0 に収束し，2 乗収益率の自己相関係数は大きくかつ長期間減衰していない．一方，規制なし市場における 2 乗収益率の自己相関係数は，TOPIX よりも早く 8 期程度で 0 に収束するが，収益率の自己相関係数よりは長く持続しており，現実のデータの特性と同じような傾向を表している．これらに対して，規制あり市場の収益率の自己相関係数は減少がなだらかで，長期間過去の収益率を記憶していることがわかる．これにより規制あり市場の収益率のボラティリティが増加したと考えられる．

3.2 エージェントの売買動向

本節では本市場におけるエージェントの売買動向について具体的にみていく．はじめに，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．次に，各タイプのエージェントの運用成績が規制の有無でどのように変化するかを分析する．

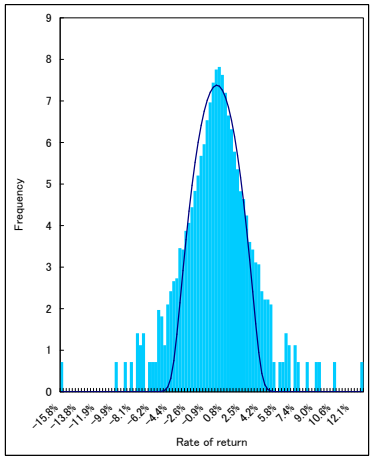

図 5: TOPIX の収益率のヒストグラム

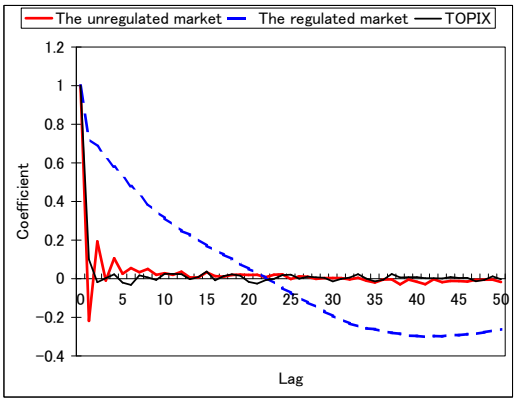

図 6: 株価収益率の自己相関

3.2.1 エージェントの売買傾向

図 8 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は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．これは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．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．なぜならば，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．

なお本稿では空売り規制が入るだけで理論株価から乖離した状態が恒常化する原因を突き止めることができなかった．

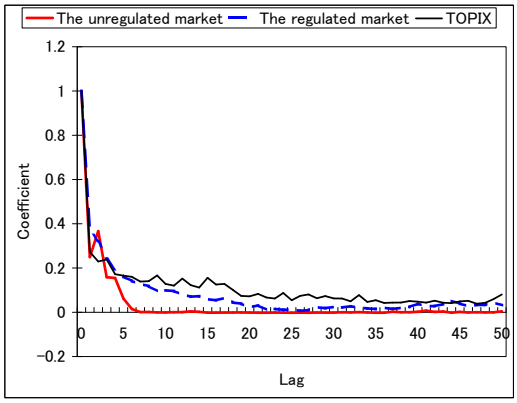

図 7: 2 乗収益率の自己相関

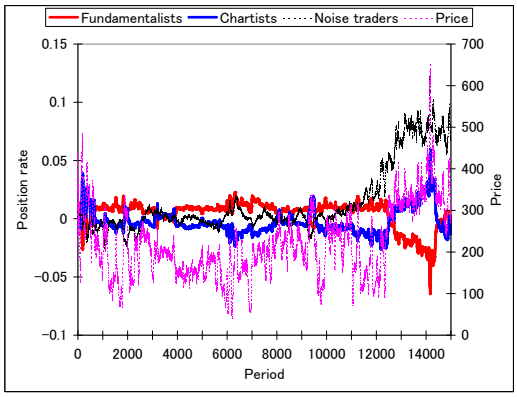

図 8: 規制なし市場におけるエージェントのポジション推移

規制あり市場におけるバブル発生崩壊の原因　以上のことをまとめると，規制あり市場におけるバブル発生，崩壊のメカニズムは，次のように考えることができる．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．規制がない市場であれば，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が負の相関関係になる．すると，基本的に逆張りであるファンダメンタルエージェントの空売りを含めた売りが，テクニカルエージェントによる買い上げ圧力を抑えることになり，株価の暴騰を防ぐ．しかし，規制のある市場だと，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ため，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が暴騰してしまう．

テクニカルエージェントの順張り買いにより一定期間株価は上がり続けるが，株価が上がりすぎると次第にキャッシュ不足により買い注文が出せなくなるエージェントが増える．すると，市場全体の買い注文数が

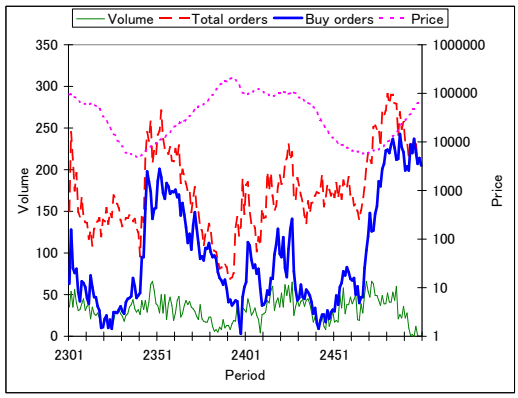

図 9: 規制あり市場におけるエージェントの売買比率（2301 期から 2500 期抜粋）

少なくなり，一部の割安な買い注文と売り注文で取引が成立し株価が下がり出す．図 9 は，規制あり市場における 2301 期から 2500 期までの全エージェントの売買傾向を抜粋したものである．この図から，株価が上がるに従い買い注文数が減少し，株価が下げ止まる前後から買い注文が増加する傾向があることがわかる．

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出始め，株価が下げ止まりに入る．図 10 からは，株価が下げ止まる時点でノイズエージェントが株式を買い，ノイズエージェントのポジションが上がっていることが確認できる．

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こる可能性が十分あることが報告されている [8]．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 [6]．しかし，本市場モデルでは，理論株価は市場株価から影響を受けないので，本件の実証はできなかった．本件については今後の課題としたい．

3.2.2　エージェントの運用成績

表 2 は，規制なし市場と規制あり市場の各タイプのエージェントの運用成績を示している．なお，この運用成績は各市場において試行を 10 回繰り返した結果の平均である．規制なし市場では，ファンダメンタルエージェントとノイズエージェントがテクニカルエージェントから利益を受けていることがわかる．よって，

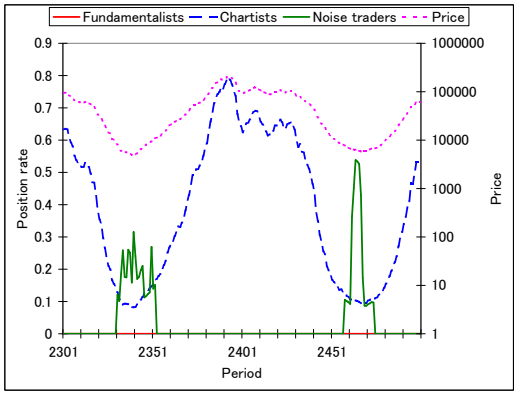

図 10: 規制あり市場におけるエージェントのポジション推移（2301 期から 2500 期抜粋）

	規制なし市場	規制あり市場
ファンダメンタル エージェント	14.670%	0.03906%
テクニカル エージェント	-15.077%	187.54%
ノイズ エージェント	1.1808%	-99.752%

表 2: エージェントのタイプ別収益率

規制なし市場では，ファンダメンタルに基づいた売買が成績のよいことがわかる．

一方，規制あり市場では，ファンダメンタルエージェントの運用成績がほとんど上がっていないのに対し，テクニカルエージェントが大きく利益をあげている．そして，ノイズエージェントが大きな損失を出している．表 3 は損益が大きくなったテクニカルエージェントとノイズエージェントの成績上位者と下位者を示しているが，全てのテクニカルエージェントが成績が良いわけではないことがわかる．また，ノイズエージェントは全エージェントが大きな損失を出している．よって，規制あり市場では，テクニカルに基づいた売買はハイリスクハイリターンであることがわかる．

以上より，空売り規制が発生するような市場においては，ファンダメンタルが最も安定した運用が可能であることがわかった．

4 あとがき

本稿では，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．今回は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た．はじめに，構築した人工市場のシミュレーション

	テクニカルエージェント		ノイズエージェント	
	上位	下位	上位	下位
1	1604.8%	−99.238%	−99.602%	−99.921%
2	492.37%	−98.742%	−99.718%	−99.915%
3	389.51%	−98.524%	−99.789%	−99.889%
4	378.98%	−97.864%	−99.806%	−99.873%
5	264.84%	−96.644%	−99.830%	−99.832%

表 3: 規制あり市場におけるテクニカルエージェントとノイズエージェントの収益率ランキング

結果から市場の内部メカニズムについて分析した．まず，人工市場のマクロ的動向について述べた．すなわち，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．さらに，本市場の株価推移と実データである TOPIX の推移とを統計的に比較し，本市場モデルが現実の市場の特徴を反映していることを示した．次に，エージェントの運用成績等人工市場のミクロ的動向を議論した．そして，市場に参加しているエージェント（ファンダメンタル，テクニカル，ノイズ）の中で，ファンダメンタルエージェントが最も安定した運用成績を収めていることを発見した．また，エージェントの売買動向から，規制あり市場で発生するバブルの原因について検討した．

今後の課題として以下の項目が考えられる．

- 空売り規制がない市場では株価は理論株価付近で推移するが，空売り規制がある市場では株価が理論株価から恒常的に乖離する理由を明確にする．
- 今回はエージェントの 3 タイプ（ファンダメンタル，テクニカル，ノイズ）の割合を固定していたが，これを変動させたとき市場がどう変化するかを調査する．
- 理論株価は市場株価から影響を受けないモデルとなっているが，市場株価が理論株価に影響を与える場合の調査を行う．
- 本市場モデルを他の規制（サーキットブレーカー等）に適用し，それらの規制の有効性についても検討していく．

参考文献

[1] Arthur, W., Holland, J., LeBaron, B., Palmer, R. and Tayler, P.: Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market, *The Economy as an Evolving Complex System II*, pp.15-44, Addison-Wesley (1997).

[2] Arturo, B., Goetzmann, W. N., and Zhu, N. : Efficiency and the bear: short sales and markets around the world, Yale ICF Working Paper No.02-45 (2004).

[3] Chen, S.-H. and Yeh, C.-H.: On the emergent properties of artificial stock markets: the efficient market hypothesis and the rational expectations hypothesis, *J. Economic Behavior & Organization*, Vol.49, No.2, pp.217-239 (2002).

[4] 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).

[5] Saffi, P. A. C. and Sigurdsson, K.: Price efficiency and short-selling, AFA 2008 New Orleans Meeting Paper (2007).

[6] 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)）.

[7] 藤戸 則弘：株式「空売り規制」の効果と限界，三菱 UFJ 証券，2008 年 7 月.

[8] 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).

[9] 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).

[10] 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).

[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).