

株式市場における委託保証金率変更による影響の一考察

A study on the effectiveness of margin requirement using an artificial stock market

八木 勲^{1*} 杉田 駿¹
Isao Yagi¹ Syun Sugita¹

¹ 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科

¹ Department of Information and Computer Sciences,
Kanagawa Institute of Technology

Abstract:

リーマンショックや欧州危機など近年世界中の金融市場が不安定化している。金融市場の安定化を図るためにこれまでさまざまな対策がとられてきた。その方法の1つとして空売り規制やレバレッジ規制といった市場規制が挙げられる。本研究では、人工市場を用いてレバレッジ規制を行う際の鍵となる委託保証金率に変更された際株式市場にどのような影響を与えるのか検証を試みる。

1 まえがき

米国発のリーマンショック以降、欧州危機など世界中の金融市場で不安定感が増している。株価の急騰や暴落を抑制するために各国の株式市場で様々な規制が行われているが、その一つに空売り規制がある。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、取引そのものを規制するため、アメリカ等では取引上自由性に欠けるという意見もある。一方、信用取引で導入されている委託保証金率¹を制限することで、過熱した市場ボラティリティを鎮静化させ市場安定化を図る方法（レバレッジ規制、増担保規制等）が存在する。空売り規制と異なり、この方法は取引そのものを規制しないため取引上の自由性を損なうことはないと考えられている。

これまでも人工市場（現実の金融市場を模倣して計算機上に構築した仮想的な金融市場）を用いた委託保証金に関する研究 [2] は存在するが、規制が市場に与える影響を評価するのみで、エージェントの振る舞いが市場にどのような影響を与えたかは分析されていない。

そこで、本研究では、人工市場を用いて委託保証金率に変更された場合、株式市場にどのような影響をもたらすかを、エージェントの振る舞いから検証することを目的とした。その手始めとして、本稿では、取引

株価上昇時に委託保証金率を引き上げた場合、株価がどのように推移するかを確認した。株価上昇は、急騰する場合と段階的に上昇する場合の2通りのパターンを検討対象とした。実験の結果、株価が急激に変化したとき発生するリバーサル現象 [1],[3],[5] が委託保証金率を上げると発生しにくくなることがわかった。さらに委託保証金率を上げると適正株価に収束しない場合があることも判明した。

なお、本実験においては、実験結果が分析しやすくなるよう問題の本質が損なわれない程度に委託保証金の定義を簡素化している（2.1節を参照のこと）。

2 人工市場の構築

本研究では、以前報告した人工市場モデル [4, 5] を用いた。本モデルは、取引株価の変動を検証した結果、収益率や収益率ボラティリティの分布が現実の市場と共通する性質を持っていることが明らかになっている。

本市場では、1つの株式を100のエージェントが売買する。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。このキャッシュを委託保証金に充てる。

本市場には下記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) =

*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

¹取引する金額に対していくらかの割合を担保として預ける資産のことを委託保証金といい、その割合のことを委託保証金率という。株価の変動により保有資産価値が減少し、最低委託保証金率を割り込むと、追加保証金（追証）が必要となることがある。

45 : 45 : 10 である。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。空売りは最大 $-S_{min}$ ($S_{min} < 0$) まで可能とする。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。よって、エージェントの保有株式数 S は、 $-1000 \leq S \leq 1000$ 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（委託保証金）をそれぞれ 0 と 20000 とした。委託保証金はすべてキャッシュとし、有価証券による代用はないものとする。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 委託保証金率の導入

今回の実験では、各期の取引成立後にすべてのエージェントに対して、以下の条件式 (1) を満たすかどうか調査し、満たす場合は次期取引において強制的に建玉²を 0 にする（エージェントは追証を預けないものとする）。

$$M_{i,t} + UL_{i,t} < P_t \cdot q_{i,t} \cdot \text{margin_rate}_t \quad (1)$$

ただし、 $M_{i,t}$ をエージェント i の第 t 期の委託保証金、 $UL_{i,t}$ をエージェント i の第 t 期の建玉評価損、 P_t を第 t 期の株価、 $q_{i,t}$ をエージェント i の第 t 期の株式保有数、 margin_rate_t を第 t 期の最低委託保証金率とする。初期最低委託保証金率は 30% とした。また委託保証金率が引き上げられた場合、すべての建玉に新しい委託保証金率が適用されるものとする³。未決済の建玉が複数存在するときは古い建玉から順に弁済されるものとし、弁済法は反対売買のみとする。

2.2 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。

2.2.1 ファンダメンタルエージェント

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数を調整する。

第 t 期の理論株価 P_t は外部より与えられ、初期値 P_0 は 500 とした。

エージェント i の第 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 の第 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

²建玉とは未決済株式の契約総数を指す。

³通常の増担保規制では、規制前の建玉は規制対象外である。

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。

係数で、今回は $\alpha = 0.05$ とした。その他、第 t 期の取引前の委託保証金を $M_{i,t-1}$ 、第 t 期の取引前の株式保有数を $q_{i,t-1}$ とすると、第 t 期の株価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。

$$W_{i,t-1} = M_{i,t-1} + P_{t-1} \cdot q_{i,t-1} \quad (2)$$

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 (2) 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。今回は $a = 0.001$ とした。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。

第 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。一方、第 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。第 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。

2.2.2 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、第 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、

- $\Delta MA_{t,n_{i,t}} > 0$ 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 1、分散 $(0.1)^2$ の正規分布に従う乱数とする。 $q_{i,t}^T$ と $q_{i,t}^T$ はともに平均 2、分散 1 の正規分布に従う乱数とする。

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。

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。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、 $q_{i,t}^N$ と $q_{i,t}^N$ はともに平均 2、分散 1 の正規分布に従う乱数とする。

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 [4, 5] 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、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。

2.3.1 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 $R_{i,t} = W_{i,t}/W_{i,t-1}$ 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 $N_L\%$ 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

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

を、 $\epsilon_{i,t+1}$ とする。本研究では N_L と N_H はともに 20 とした。

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。

2.3.2 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 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。

2.4 取引株価決定法

各エージェントはそれぞれの手法で発注株価と発注株式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株価のエージェントから、売り手側は安い発注株価のエージェントから優先的に取引に参加する。買い手側の発注株価が売り手側の発注株価を上回る、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。

3 実験

本章では、上記人工市場において、株価上昇時に委託保証金率を引き上げると取引株価がその後どのように推移するか分析する。本実験では株価を急騰させるために理論株価を意図的に上昇させる。理論株価の上昇手段は以下のように 2 通り用意した、1 つは、一度に急騰させる方法で、元の理論株価から 30% 上昇させる (条件 1)。もう 1 つは段階的に上昇させる方法で、元の理論株価から 10% ずつ 5 回に分けて上昇させる (条件 2)。理論株価上昇後に委託保証金率も引き上げる。条件 1 では理論株価急騰後の翌期に委託保証金率を引き上げ、条件 2 では 4 回目の理論株価上昇の翌期に委託保証金率を引き上げた。なお、引き上げ後の委託保証金率は 60% とする。実験期間は 500 期とした。

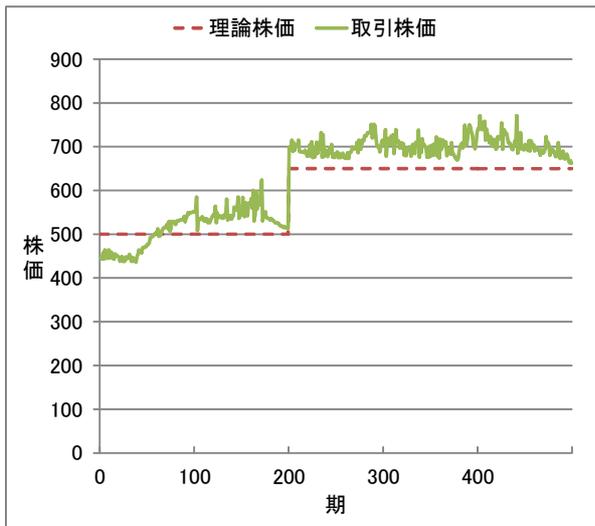


図 1: 理論株価が一度に急騰したときの取引株価推移

条件 1 の下で実験を行った結果を図 1 と図 2 に示す。これらは、それぞれ条件 1 の下での取引株価推移と、委託保証金率引き上げ前後の取引株価推移を表している。

一方、条件 2 の下で実験を行った結果を図 3 と図 4 に示す。これらは、それぞれ条件 2 の下での取引株価推移と、委託保証金率引き上げ前後の取引株価推移を表している。

4 考察

本章では、前章にて行った 2 つの実験の結果がどのように発生したかを、エージェントの売買動向から分析する。

まず、条件 1 の下での取引株価推移について分析する。第 200 期の取引前に理論株価が一度に急騰すると、理論株価とそれまでの取引株価が大きく乖離するので、株式が非常に割安となる。その結果、大半のファンダメンタルエージェントが大量の買い注文を発注する。するとそれまで均衡していた売り注文と買い注文の需給バランスが崩れ、第 200 期の取引株価はオーバーシュートし理論株価よりかなり高くなる。通常であれば、株式は一転して割高となるので、第 201 期発注時には大半のファンダメンタルエージェントは売り注文を発注し、第 201 期の取引株価は理論株価より低くなる（この現象のことをリバーサル現象という）。しかし、本実験では株価上昇に合わせて委託保証金率を引き上げたため、空売りしていた一部のエージェントの信用余力が最低委託保証金率を下回ってしまい、強制買い決済が発生する。その結果、通常であれば崩れていた売り注文と買い注文の需給バランスが拮抗し、後者が多い場合は割高のまま取引株価が推移することになる（図

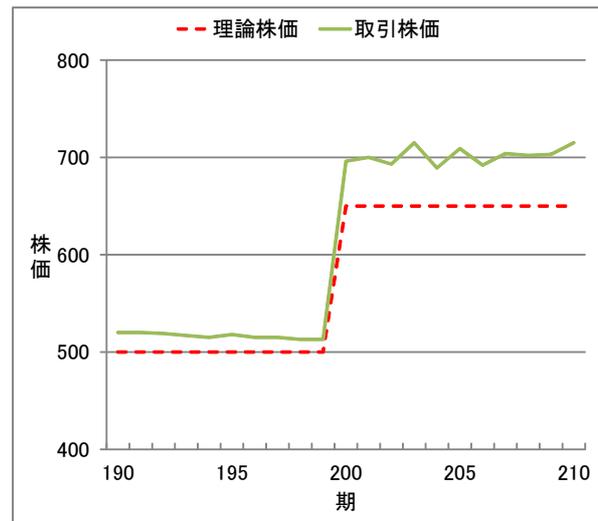


図 2: 理論株価が一度に急騰したときの委託保証金率引き上げ前後の取引株価推移

2)。

次に、条件 2 の下での取引株価推移について分析する。理論株価が段階的に上昇したときも条件 1 のときと同様の原理が働く。ただし、上昇した理論株価と直近の取引株価はそれほど大きく乖離してないので、第 600 期の取引株価はそれほど割高にならない。そのため、第 601 期におけるファンダメンタルエージェントの売り注文数は多くないので、取引株価も理論株価に対してそれほど割安にならないはずである。条件 1 の下での実験と異なる点は、理論株価と取引株価の乖離度が小さくなった分、ファンダメンタルエージェントの発注数が総じて少なくなるため、強制買い決済の影響が増す点である。条件 2 においても、株価上昇に合わせて委託保証金率を引き上げたため、一部の空売りエージェントの強制買い決済が発生している。その結果、第 601 期で決済しきれなかった株式が数期にわたって発注され、いわゆる踏み上げ現象が発生している（図 4）。

以上のように条件 1 と条件 2 と異なる結果が得られたが、どちらも株価が理論株価から乖離したままで適正株価に安定させる結果は得られなかった。

5 あとがき

本研究では、委託保証金率が引き上げられたとき、株式市場にどのような影響を与えるかを人工市場を用いて検証した。その結果、株価が上昇した際に委託保証金率を引き上げると、通常起きるリバーサル現象が発生せず、株価が適正株価に収束しないことがわかった。特に株価が段階的に上昇するときはいわゆる踏み上げ現象が発生することがわかった。今後の課題は、まず

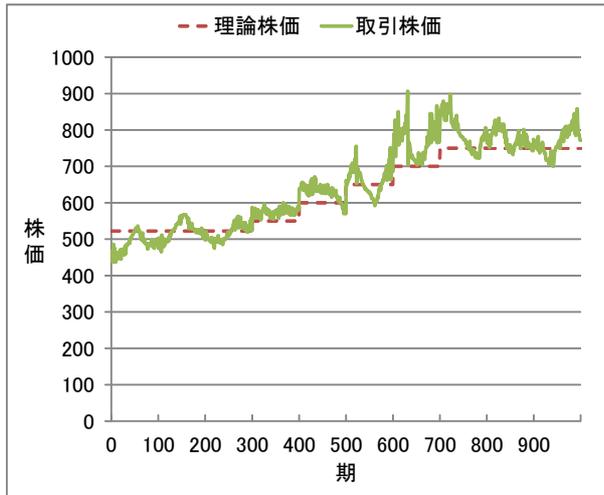


図 3: 理論株価が段階的に上昇したときの取引株価推移

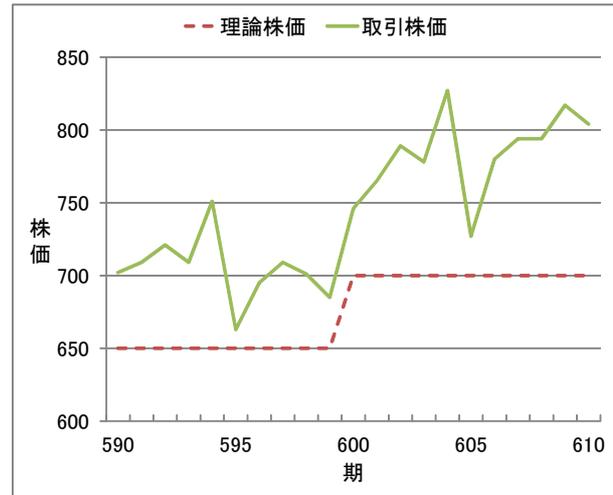


図 4: 理論株価が段階的に上昇したときの委託保証金率引き上げ前後の取引株価推移

株価が下落し委託保証金率が変更になったときの株価推移についての検証が挙げられる。次に信用余力が最低委託保証金率を割り込んだときに追証を預けるモデルを追加することが挙げられる。さらに増担保規制のように規制前の建玉は委託保証金率が変更になったとしても対象外にすることが挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24510209 の助成を受けたものです。また、スパークス・アセット・マネジメント株式会社 水田孝信氏からは多大な助言をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] M. M. Carhart. On persistence of mutual fund performance. *Journal of Finance*, Vol. 52, No. 1, pp. 57–82, 1997.
- [2] T. Feldman. Leverage regulation: An agent-based simulation. *Journal of Economics and Business*, Vol. 63, No. 5, pp. 431–440, 2011.
- [3] T. Mizuta, K. Izumi, and S. Yoshimura. Price variation limits and financial market bubbles: Artificial market simulations with agents' learning process. In to be presented at *Computational Intelligence for Financial Engineering Economics (CIFER), 2013 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence on*, April 2013.
- [4] 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, Vol. 7, No. 1, pp. 113–132, 2010.

- [5] 八木勲, 水田孝信, 和泉潔. 人工市場を用いた市場暴落後における反発メカニズムの分析. *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 11, pp. 2388–2398, 2012.