

心理的要素を考慮した投資行動モデル

The Investment Decision Making Model

Considering Psychological Factor

宮坂 純也¹ 穴田 一²

Junya Miyasaka¹, Hajime Anada²

¹ 東京都市大学大学院工学研究科

¹Tokyo City University Graduate Division , Graduate School Of Engineering

² 東京都市大学知識工学部

² Tokyo City University Under Graduate Division , Faculty Of Knowledge Engineering

Abstract: In recent years, many researchers pay attention to behavioral finance. Behavioral finance focuses on investor's irrationality. In the field of behavioral finance, researchers are trying to elucidate cause of investor's decision making by observation. Some researchers constructed mathematical model of investor's decision making considering investor's psychological factor using an artificial market. However, these researches didn't fully express the psychological factors and real investor's decision making. Therefore, we construct investor's decision making model depending on investor's loss and profit using an artificial market. And we tested efficiency of our model.

1. はじめに

従来の伝統的な経済学では効率的市場仮説に基づいて議論がなされている。効率的市場仮説では投資家は常に合理的な投資行動を取るとされており、株価に影響を与えるような情報は即座に株価に反映されるとしている。そのため、投資家は継続的に収益を上げることが出来ないと考えられている。しかし、現実の市場において継続的に収益を上げ続ける投資家が存在する。このような現象は投資家の非合理的な行動によって引き起こされていると考えられている。しかし、株式市場に対して直接的に実験を行い、検証することは不可能である。そこで、コンピュータ上に仮想的な人工市場を構築し、様々な実験及び検証が行われている[1][2][3]。

現在、常に合理的な投資行動を行う投資家を前提とせず、現実の投資家の行動を観察し、その意思決定を行う原因を心理学の面からアプローチし、解明しようとしている行動経済学に注目が集まっている[4][5][6]。また、投資家の行動の心理的な要素に着目し、人工市場を用いてアプローチした先行研究として並河らの研究がある[7]。並河らは不確実性下の実

証的意思決定論であるプロスペクト理論を投資家の行動に取り入れたモデルを構築した。プロスペクト理論とは利益と損失が同額であった場合には損失を過大に解釈する、という価値の評価における非対称性を表した理論である[8][9]。並河らのモデルでは、投資行動を購入、売却、何もしないをランダムに決定後、株価移動平均と投資家の予想価格を比較する。そして、予想価格が株価移動平均を下回って損すると予想した際には、損益を利益より過大評価するため、得をすると予想したときよりも購入量を減らし、売却量を増やすようなバイアスがかかるようにしている。このモデルではランダムに決定する投資行動の投資量を変えることでプロスペクト理論を表現している。しかし、このモデルは、投資家の重要な要素である投資行動選択を全てランダムに決定することや、投資家心理が損益予測にのみ影響を受けていると仮定していることが問題として挙げられる。

そこで、本研究では実際の市場に存在し、株価トレンドを基に投資判断を行う順張り投資家及び逆張り投資家、株価トレンドに関係なく投資行動を行うランダム投資家を導入した。また、投資家の株式投資における投資収益が、投資家の投資判断に最も大きく影響すると考え、本研究では投資家の収益性に基づいて意思決定が変化するモデルを構築した。そして、このモデルの有効性について検証した。

連絡先：宮坂純也，東京都市大学大学院工学研究科

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

g1581820@tcu.ac.jp

2. 提案手法

本研究では各投資家は現金と株式のみを保有し、取引可能な銘柄は1つとする。また、市場内には順張り投資家、逆張り投資家、ランダム投資家の3種類のみが存在するものとする。順張り投資家及び逆張り投資家はトレンドの向き、株価と株価移動平均との乖離度合いを基に投資行動を決定する。ランダム投資家は投資行動をランダムに決定する。本研究では実市場の25期間の終値を取得し、続く T 期間実験を行う。その際、初期資産として25期目の株価で100株相当分の現金及び株式100株分を投資家に持たせる。また、約定方法については取引が1期1回の板寄せ方式を用いる。これは、現実の株式市場では板寄せ方式とザラバ方式の2つが用いられているが、本研究では各期の終値を基に予想価格及び注文量を決定しているためである。

2.1. 投資行動確率の決定

順張り投資家及び逆張り投資家は始めにトレンドの向きにより購入、売却を選択する。しかし、実際に投資行動を起こすかどうかについては株価と株価移動平均との乖離度合いにより決定する。 t 期における株価と株価移動平均との乖離度合いを表す $S(t)$ は次式で表される。

$$S(t) = \frac{p(t) - MA_{25}(t)}{\sigma(t)} \quad (1)$$

ここで、 $p(t)$ は t 期における株価、 $MA_{25}(t)$ は t 期における過去25期間の株価移動平均、 $\sigma(t)$ は t 期における過去25期間の株価の標準偏差を表す。

2.1.1. 順張り投資家

順張り投資家は株価トレンドに沿った取引を行う投資家である。そのため、上昇トレンド時には購入、下落トレンド時には売却を行う。順張り投資家 i は t 期における過去 q_i 期間(q_i は順張り投資家 i のトレンド考慮期間)の株価に対してあてた回帰直線の傾きである $trend_{q_i}(t)$ が正である場合に上昇トレンドと判断し、次式で表される購入確率 $P_i^{fb}(t)$ で株を購入する。

$$P_i^{fb}(t) = \frac{1}{1 + \exp\{-a \times (S(t) - j_{buy} + b \times n_i(t))\}} \quad (2)$$

$$n_i(t) = \frac{Vsum_i^d(t) - Vsum_i(0)}{Vsum_i(0)}$$

ここで、 a は $S(t)$ が変化した場合の購入確率の立ち上がりやすさを決めるためのパラメータ、 j_{buy} は $P_i^{fb}(t)$ が0.5となる $S(t)$ の値を決めるためのパラメータ、 b は

資産が変化した場合に投資家が感じる心理的インパクトの強さを決めるためのパラメータ、 $Vsum(0)$ は投資家の初期保有総資産、 $Vsum_i^d(t)$ は t 期における投資家 i の過去 d 期間の総資産移動平均を表す。また、この時 $1 - P_i^{fb}(t)$ の確率で何もしないを選択する。

図1に t 期における、 $j_{buy} = -1.0$ の際の順張り投資家 i の購入時の行動確率 $P_i^{fb}(t)$ を掲載する。

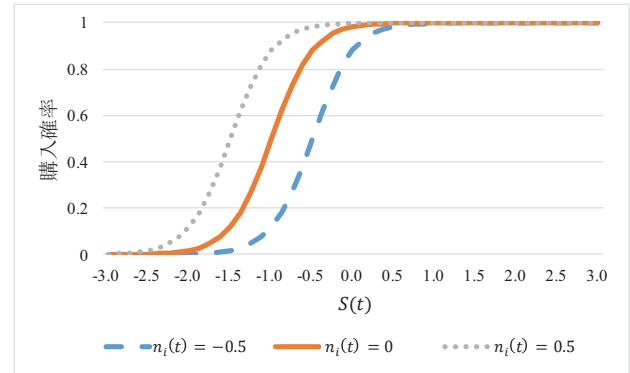


図1 順張り投資家の購入確率

順張り投資家は、上昇トレンドと判断した際に、 $S(t)$ が負から正に変化するにつれて、購入しやすくなる。そして、投資により利益を上げている投資家は自信があるため、 $n_i(t) = 0$ 時と比べて積極的に購入するようになる。損失を出している投資家は自信がなくなり慎重になっているため、 $n_i(t) = 0$ 時と比べて消極的に購入するようになる。

次に、下落トレンド時における順張り投資家の行動について記す。順張り投資家 i は $trend_{q_i}(t)$ が0以下の際に、下落トレンドと判断し、次式で表される売却確率 $P_i^{fs}(t)$ で株を売却する。

$$P_i^{fs}(t) = \frac{-1}{1 + \exp\{-a \times (S(t) - j_{sell} + b \times n_i(t))\}} + 1 \quad (3)$$

ここで、 j_{sell} は $P_i^{fs}(t)$ が0.5となる $S(t)$ の値を決めるためのパラメータを表す。また、この時 $1 - P_i^{fs}(t)$ の確率で何もしないを選択する。

図2に t 期における、 $j_{sell} = 1.0$ の際の順張り投資家 i の売却時の行動確率 $P_i^{fs}(t)$ を掲載する。

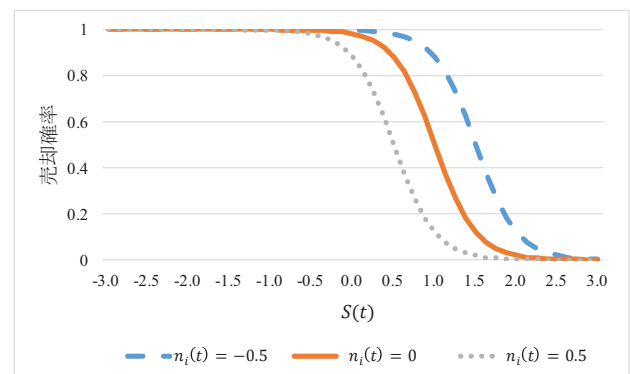


図2 順張り投資家の売却確率

順張り投資家は下落トレンドと判断した際に、 $S(t)$ が正から負に変化するにつれて、売却しやすくなる。そして、投資により利益を上げている投資家は自信があるため、 $n_i(t) = 0$ 時と比べて積極的に売却を行うようになる。損失を出している投資家は自信がなくなり慎重になっているため、 $n_i(t) = 0$ 時と比べて消極的に売却するようになる。また、 $S(t) < 0$ の際には下落トレンドであると判断し、100%に近い確率で売却を選択する。

2.1.2. 逆張り投資家

逆張り投資家とは、下落トレンド時に底値で買い、上昇トレンド時に天井値で売ることによって利益をあげようとする投資家である。逆張り投資家 i は次式で表される $P_i^c(t)$ で株を売買する。

$$P_i^c(t) = \frac{1}{1 + \exp\{-a \times (|S(t)| - g + b \times n_i(t))\}} \quad (4)$$

ここで、 g は $P_i^c(t)$ が 0.5 となる $S(t)$ の値を決めるためのパラメータを表す。逆張り投資家は $S(t) > 0$ を満たす際に上昇トレンドと判断し、 $P_i^c(t)$ の確率で売却を選択する。 $S(t) \leq 0$ を満たす際には下落トレンドと判断し、 $P_i^c(t)$ の確率で購入を選択する。また、この時逆張り投資家は購入及び売却時に $1 - P_i^c(t)$ の確率で何もしないを選択する。

図 3 に t 期における、 $g = 1.0$ の際の逆張り投資家 i の行動確率 $P_i^c(t)$ を掲載する。

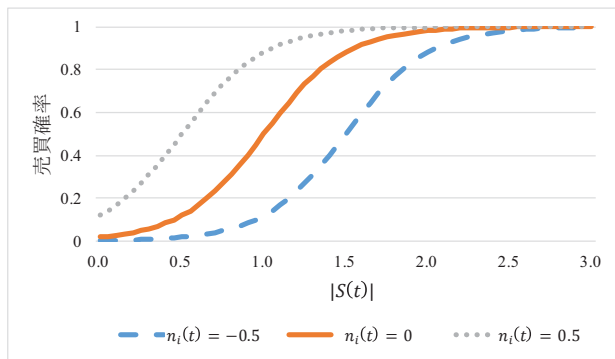


図 3 逆張り投資家の売買確率

逆張り投資家は $|S(t)|$ の値が大きくなるほど売却を行いやすくなる。そして、投資により利益を上げている投資家は自信があるため $n_i(t) = 0$ 時と比べて積極的に株の購入、売却を行うようになる。損失を出している投資家は自信がなくなり慎重になっているため、 $n_i(t) = 0$ 時と比べて消極的に株の購入、売却をするようになる。

2.1.3. ランダム投資家

ランダム投資家は株価トレンド及び損益状態に影響を受けることなく、購入、売却、そして何もしない、の 3 択を等確率でランダムに選択する。

2.2. 取引の流れ

以下に本モデルでの取引の流れを示す。Step.1 で投資家の初期設定を行い、step.2 から step.6 を T 期間繰り返す。

Step.1 初期設定

導入期間である 25 期の終値を取得する。そして、25 期の株価で全ての投資家に 100 株相当分の現金及び株式 100 株を持たせる。そして、順張り投資家のトレンド考慮期間 $q_i(t)$ を $[5, q]$ の一様乱数で決定する。

Step.2 全投資家の総資産計算

全投資家の総資産を計算する。 t 期における投資家 i の総資産 $Vsum_i(t)$ は次式で表される。

$$Vsum_i(t) = Vm_i(t) + Vs_i(t) \times p(t) \quad (5)$$

ここで、 $Vm_i(t)$ は t 期における投資家 i の保有現金、 $Vs_i(t)$ は t 期における投資家 i の保有株式を表す。

Step.3 全投資家の予想価格計算

全投資家の予想価格を計算する。 t 期における投資家 i の予想価格 $Ex_i(t)$ は次式で表される。

$$Ex_i(t+1) = p(t)(1 + \mu + \sigma_{rate}\epsilon) \quad (6)$$

ここで μ は t 期における過去 25 期の株価変化率の移動平均、 σ_{rate} は導入期間である 25 期の株価変化率の標準偏差、 ϵ は標準正規乱数を表す。

Step.4 投資行動決定

各投資家は 2.1 節に従って投資行動を決定し、予想価格で注文を行う。

Step.5 注文量計算

全投資家の注文量を計算する。 t 期における投資家 i の売却量 $Vsell$ 及び購入量 $Vbuy_i(t)$ は次式で表される。

$$Vsell = A \times Vs(0) \quad (7)$$

$$Vbuy_i(t) = A \times \frac{Vm(0)}{Ex_i(t)}$$

ここで、 A は資産の投資割合を表すパラメータ、 $Vm(0)$ は投資家の初期保有現金、 $Vs(0)$ は投資家の初期保有株式を表す。

Step.6 約定

約定は板寄方式を採用し、取引は 1 期 1 回である。

3. モデルの評価方法と結果

本研究では計算機実験を行うにあたり、東京証券取引所 1 部に上場している銘柄を使用した。その際、大きな変動が見られる銘柄では、外部要因により変動している可能性があるため、株価変化率の絶対値

の平均が 0.01 未満の銘柄を抽出し、計算機実験を行った。実験に用いた銘柄は東証 1 部において食料品に分類される銘柄でブルボン(株), 山崎製パン(株), 日東富士製粉(株), イフジ産業(株), 東洋精糖(株), 森永乳業(株)である。そして各実験では乱数の種を変えて 30 試行ずつ行った。

本実験では 2014 年 1 月 8 日から 2014 年 2 月 13 日までの 25 期間の株価の終値データを取得し、25 期間の株価移動平均, 株価変化率の標準偏差及び移動平均を求め、2014 年 2 月 14 日から 2014 年 7 月 9 日までの 100 期間で株価の生成を行った。

また、計算機実験を行う際に、投資家の人数比を決定する必要がある。そこで、投資家の人数比に関しては現実の投資家の投資行動傾向を参考にして決定した[10]。図 4 は日経平均株価と個人投資家の売買動向に関してまとめたものである。

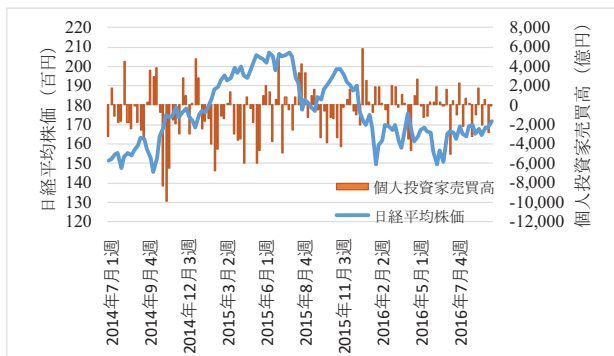


図 4 日経平均株価と個人投資家の売買動向

この図では個人投資家売買高が正であれば株式の買い越し, 負であれば売り越しを表す。個人投資家は日経平均株価が上昇している際に売り越し, 下落している際に買い越しをしており, 逆張りの投資行動をしていることが分かる。そこで, 本研究では逆張りの割合が順張りの割合に比べ, 多く設定する。そこで, 投資家 100 人のうちランダム投資家を引いた人数で順張り 4 割, 逆張り 6 割(ランダム 10:順張り 36:逆張り 54), 順張り 3 割, 逆張り 7 割(ランダム 10:順張り 27:逆張り 63), $T=100$, a を 2.0 刻みで[4.0, 8.0]の範囲, d を 5.0, 10.0, q を 15.0, 25.0, 投資家が感じる心理的インパクトの強さ b を 0.05 刻みで[1.0, 1.2]の範囲, A を 0.1, j_{buy} を 0.25 刻みで[-1.0, 1.0]の範囲, j_{sell} を 0.5, 1.0, g を 0.25 刻みで[0.5, 1.5]の範囲で実験を行った。

本研究では提案手法が実市場を再現できたかどうかを検証するために実市場と提案手法における株価変化率の自己相関, 株価変化率の 2 乗の自己相関, 株価変化率が平均 $\pm 1\sigma$ 内に収まっている割合, 株価変化率が平均 $\pm 3\sigma$ 外に外れている割合を用いた。そして, 各指標に対して現実の市場の値と, 本モデルにて計算した 30 試行の平均値を用いて平均の差の

検定(有意水準 5%)を行った。検定を行う際に, 株価変化率の自己相関及び株価変化率の 2 乗の自己相関ではラグ 1 の値のみを用いた。各統計量において 30 試行の平均値が実市場の統計量と最も差がなかった銘柄は東洋精糖, パラメータの組み合わせは $a:4.0, d:10.0, q:25.0, b:1.15, A:0.1, j_{buy}:0.0, j_{sell}:0.5, g:1.5$, 順張り 3 割, 逆張り 7 割である。

図 5 に実市場の株価変動, 上述のパラメータの組み合わせで行った計算の中の 1 試行である計算結果, 計算結果で収益により行動が変化しない場合の結果である計算結果-心理, 収益により行動が変化しない条件で行った計算の中の 1 試行である計算結果(心理なし)の結果を掲載する。また, 計算結果(心理なし)において 30 試行の平均値が実市場の統計量と最も差がなかったパラメータの組み合わせは $a:4.0, d:10.0, q:15.0, A:0.1, j_{buy}:0.0, j_{sell}:0.5, g:1.25$ である。また, -25 期から -1 期が導入期間, 0 期以降が計算期間である。

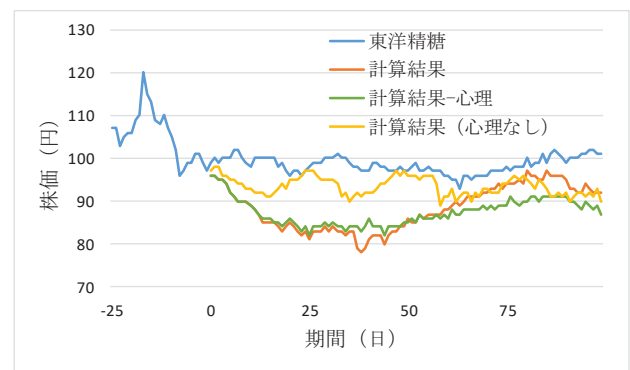


図 5 東洋精糖の株価変動

この図より, 計算結果と計算結果-心理において, 株価変動に大きな差がないことがわかる。計算結果(心理なし)では計算結果に比べて, 価格の下落が小さいことが分かる。

次に, 図 6 に株価変化率の自己相関, 図 7 に株価変化率の 2 乗の自己相関の結果を掲載する。また, 最良群は 30 試行の平均である。

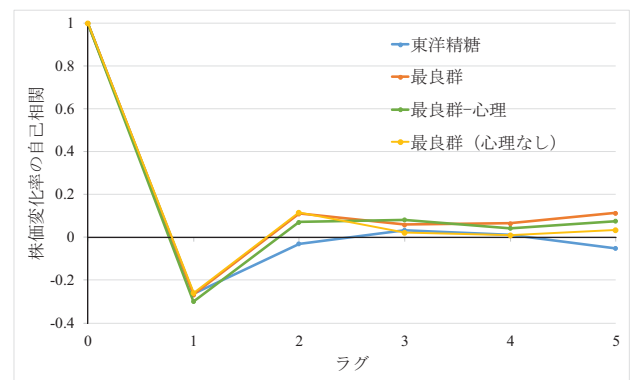


図 6 株価変化率の自己相関

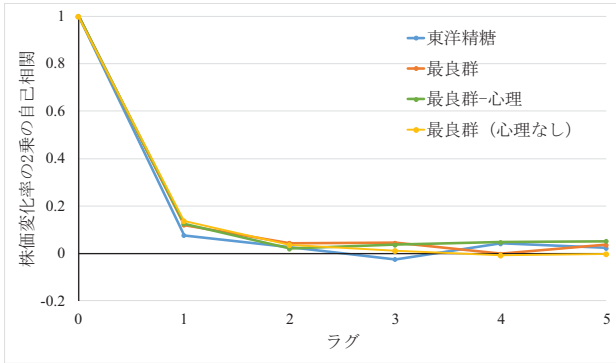


図 7 株価変化率の 2 乗の自己相関

次に、図 8 に株価変化率が平均±1σ内、平均±3σ外の割合となる割合の度数分布、表 1 に株価変化率が平均±1σ内、平均±3σ外の割合の値を掲載する。

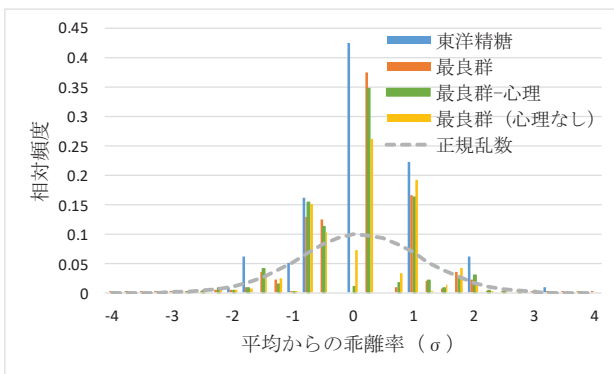


図 8 株価変化率が平均±1σ内、平均±3σの割合

表 1 株価変化率の変動幅の大きさの割合

	平均±1σ内	平均±3σ外
東洋精糖	85.9%	1.0%
最良群	80.4%	1.1%
最良群-心理	80.6%	0.7%
最良群 (心理なし)	81.5%	0.8%
正規乱数	68.0%	0.3%

図 6、図 7 より、最良群では、実市場と近い相関関係を確認することができた。図 8、表 1 より、最良群において、現実の市場の特徴である、平均±1σ内、平均±3σ外が正規乱数より高い頻度で観測されており、現実の市場の特徴を再現できていることを確認した。

次に、投資家の割合が異なる場合の株価変動を掲載する。図 9 に順張り 4 割、逆張り 6 割、図 10 に順張り 3 割、逆張り 7 割の際の株価変動の結果を掲載する。また、掲載する結果は実市場、乱数の種が異なる 5 試行の株価変動である。

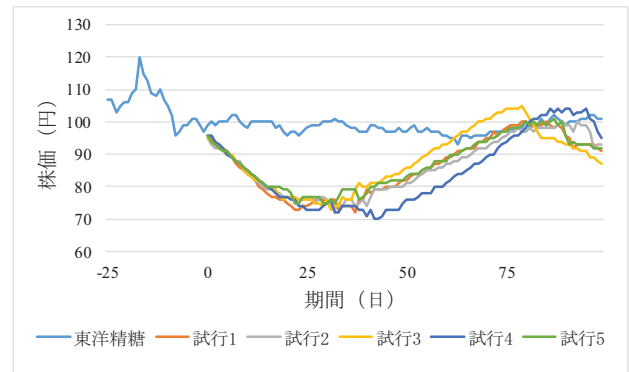


図 9 順張り 4 割、逆張り 6 割時の株価変動

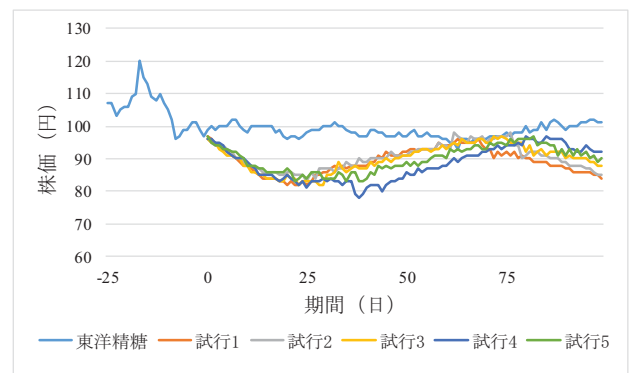


図 10 順張り 3 割、逆張り 7 割時の株価変動

図 9、図 10 より、順張り 4 割、逆張り 6 割時の株価変動の割合の方が、順張り 3 割、逆張り 7 割時の株価変動の割合に比べて株価が下落していることが確認できる。

次に、導入する銘柄の株価トレンドが異なる場合の株価変動の結果を掲載する。図 11 に導入期間が上昇トレンドであるブルボン、図 12 に導入期間が均衡気味である森永乳業、図 13 に導入期間が下落トレンドである東洋精糖の株価変動を掲載する。

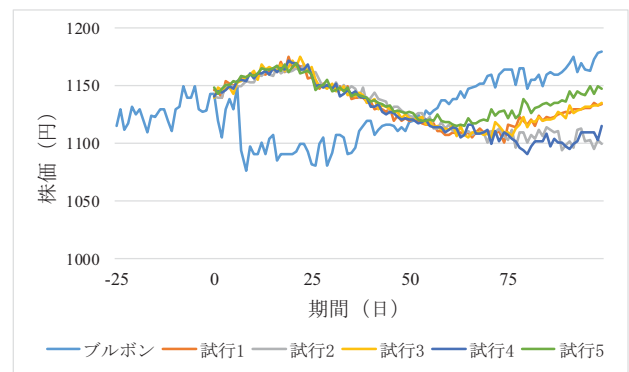


図 11 ブルボンの株価変動

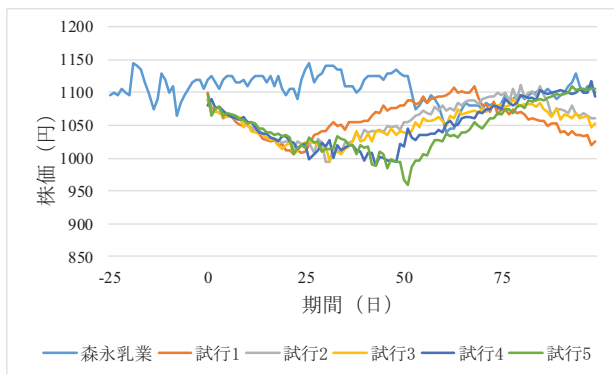


図 12 森永乳業の株価変動

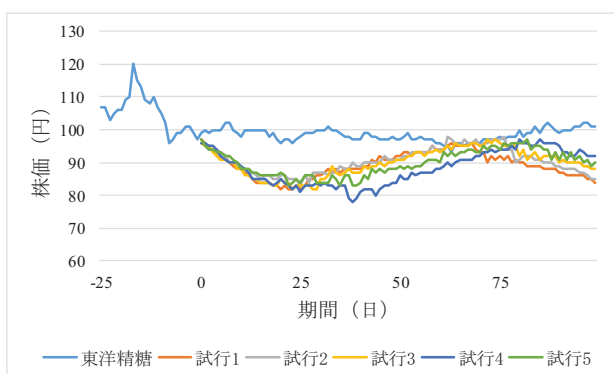


図 13 東洋精糖の株価変動

図 11 において、計算結果の株価変動は導入期間の上昇トレンドを継承し、各試行ともに株価の上昇を確認することができた。図 12 において、計算結果の株価変動は導入期間の均衡気味の株価変動を継承することができず、各試行ともに株価が下落していることを確認した。図 13 において、計算結果の株価変動は導入期間の下落トレンドを継承し、各試行ともに株価の下落を確認することができた。

4. 考察

順張り 3 割、逆張り 7 割時の株価変動は順張り 4 割、逆張り 6 割時の株価変動に比べて、株価の下落幅が小さかった。これは、下落トレンドが発生している際に、順張り投資家及びランダム投資家の売り注文を買い支える逆張り投資家が多かったためであると考えられる。この逆張り投資家の投資行動により、株価の下落幅が小さくなったと考えられる。

そして、導入期間の株価トレンドによっても株価変動に大きな差が出ることを確認した。導入期間が上昇トレンドであるブルボンでは、計算結果においても上昇トレンドが継承された。だが、導入期間の株価が均衡気味の森永乳業では株価の大きな下落がみられた。本モデルの順張り投資家は、過去の株価

をもとに株価トレンドを判断し、購入または売却を決定する。その際、順張り投資家は過去の株価に対してあてた回帰直線の傾きを基にトレンド判断を行うが、均衡気味の株価変動では正確に均衡気味と判断することができない。このような順張り投資家の行動により、森永乳業のように株価が均衡しているような銘柄では、均衡気味の株価変動を継承することができなくなったと考えられる。

そして、本研究で着目した心理的要因が株価に与える影響が小さいことが分かった。これは、本モデルの投資家がシステムティックに取引したことが影響していると考えられる。1 例として、実際の投資家は下落トレンド時に含み損が発生していると、損失を確定したくないがために、損切りをすることが出来ずに大損をしてしまうことがある。本モデルの投資家はこうした一時的な心理状態の変化により投資判断基準が大きく変わってしまうことがない。このような理由により、心理的要因が株価に与える影響が小さかったと考えられる。

5. 今後の課題

今後の課題として、順張り投資家のトレンド考慮方法の再検討が挙げられる。本モデルでは、トレンド考慮期間を一様乱数で決定している。だが、実際の投資家のトレンド考慮期間が一様分布に従っているとは考えにくい。そのため、投資家のトレンド考慮期間について再検討したい。

最後に、本モデルにて投資家の心理的要因が株価に与える影響を十分に確認することができなかった。だが、実際の市場において、損失を確定させることを嫌がるという心理が働き、損切りができない投資家が存在する。そのため、投資家の心理状態によって変化する投資行動、そして心理的要因の取り入れ方を再検討していきたい。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 塩沢 由典，中島 義裕，松井 啓之，小山 祐介，谷口 和久，橋本 文彦：知的エージェントで見る社会 3 人工市場で学ぶマーケットメカニズム-U-Mart 経済学編，立出版(2006)
- [3] 喜多 一，森 直樹，小野 功，佐藤 浩，小山 祐介，秋元 圭人：知的エージェントで見る社会 4 人工市場で学ぶマーケットメカニズム-U-Mart 工学編，共立出版(2009)
- [4] 大垣 昌夫，田中 沙織：行動経済学 伝統的

- 経済学との統合による新しい経済学を目指して, 有斐閣, (2001)
- [5] 角田 康夫: 行動ファイナンス 金融市場と投資家心理のパズル, 金融財政事情研究会, (2001)
- [6] 角田 康夫: 行動ファイナンスII 例題と用語集で読み解く非合理の謎, 金融財政事情研究会, (2004)
- [7] 並河 悠介, フェイ ザイ, カン シェン, 北栄輔: 行動ファイナンス理論に従うエージェントの市場取引の影響について, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 vol.48 No. SIG(TOM 17), p51-64, (2007)
- [8] Kahneman,D. and Tversky,A. :A prospect theory of decisions under risk, *Econometrica*, vol.47, p.263-297, (1979)
- [9] Tversky,A. and Kahneman,D. :Advances in prospect theory:Cumulative Representation of Uncertainty, *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 5, p297-323, (1992)
- [10] 日本証券所グループ : <http://www.jpx.co.jp/>.