

金融市場におけるミクロマクロリンクの解明： 自信過剰な投資家の出現

高橋大志[†] 寺野隆雄^{††}

本研究は、エージェントベースモデルにより、金融市場における投資家行動と価格変動の間のミクロマクロリンクの解明を行ったものである。本分析では、投資家の自信過剰が市場において果たす役割に焦点を当て分析を行った。分析の結果、自信過剰な投資家が、市場においてボトムアップに発生することを見出した。さらに、自信過剰な投資家が、ファンダメンタルバリュを適切に反映する市場の達成に貢献しうる可能性のあることも見出した。

Emergence of Overconfidence Investor in Financial Markets

HIROSHI TAKAHASHI[†] and TAKAO TERANO^{††}

This article analyzes Micro-Macro Link in Financial Markets via Agent-based Model. In this research, we focus on the role of investor's overconfidence in Financial Markets. As a result of intensive experiments, we find that overconfident investors emerges in the market from the bottom up. We also find that overconfident investors can contribute to efficient financial market.

1. はじめに

エージェントベースモデルは、コンピュータサイエンス分野において進展してきた手法であり、ミクロな挙動とマクロな挙動の関連性の探索において、有効な分析手法である^{2),17),28),32)}。エージェントベースモデルは、様々な領域において応用が行われているが、金融市場に関する分野は、有望な領域の1つであり、これまで数多くの報告が行われている^{1),25),35) - 37)}。

金融市場に関する研究は、ファイナンスの分野においてさかんに研究が行われているが、伝統的なファイナンスの多くでは、投資家は、つねに首尾一貫した意思決定を行うとの仮定のもと、資産価格に関する議論が行われてきた^{13),19),26)}。それに対し、近年関心を集めている行動ファイナンスにおいては、意思決定の合理性からの乖離に焦点を当て、必ずしも合理的でない投資家行動が価格変動に与える影響について議論が行われている^{15),22),30)}。たとえば、意思決定に関しては、Kahnemanらは、人間の意思決定は期待効用最大化

ではなく価値関数最大化に基づき意思決定を行うことや、問題の提示の仕方により異なる意思決定を行うことなど数多くの重要な指摘を行っている^{15),16)}。また、Shleifer²²⁾は、理論的なアプローチにより研究を行っており、その中で合理的でない投資家行動が資産価格に対し与える影響について分析を行っている。これらの研究をはじめとして数多くの分析が行われているものの、行動ファイナンスを背景とした分析は伝統的な議論と比較して条件などが複雑になる傾向にあるため、解析的な手法で取り扱うことが困難な場合が多くみられる。そのため、従来より行われてきた解析的な手法に加え、新たな手法の必要性は高まっていると考えられるが、そのような中、エージェントベースモデルは有効な分析手法の1つを提示するものである^{3),34)}。

行動ファイナンスにおいては、意思決定におけるい

行動ファイナンスに関する実証分析も数多く行われている。たとえば、日本を対象とした実証分析としては、株式市場と天候の関連性を分析した加藤ら³⁰⁾の研究などが広く知られたものとしてあげられる。

エージェントベースモデルにより、行動ファイナンスを背景とした分析も行われており、たとえば、トレンド予測を行う投資家に焦点を当てたものや、損失を大きく見積もる行動に焦点を当てたものなどの分析が報告されている³⁶⁾。また、Chiarellaらは、ファンダメンタリストやチャートストを取り扱ったシミュレーション分析により多様な挙動が現れるとの記述を行っている⁷⁾。本研究では、自信過剰な投資行動に焦点を当てた分析を行っており、本研究の特長の1つとなっている。

[†] 岡山大学大学院社会文化科学研究科
Graduate School of Humanities and Social Sciences,
Okayama University

^{††} 東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻
Department of Computational Intelligence and Systems
Science, Interdisciplinary Graduate School of Science
and Engineering, Tokyo Institute of Technology

くつかのバイアスに焦点を当て議論が行われているが、とりわけ自信過剰の果たす役割については、数多くの議論が行われており、金融市場における投資家の意思決定に加え、経営者の意思決定など、幅広い領域において関心を集めている。たとえば、Bazerman は、経営の意思決定において陥りやすいバイアスの 1 つに自信過剰をあげており、その中で、「我々はたいてい自分の推定能力に自信過剰になっていて、現実に存在している不確実性を認めようとしなない」との記述を行っている⁵⁾。さらに Stein は、経営者の自信過剰な意思決定は自分自身でバイアスを認識することが困難なため、たやすく問題は解消されないとの議論を行っている²³⁾。金融市場に関する研究としては、たとえば、Shleifer は、リスクを誤って見積もる自信過剰なノイズトレーダが資産価格に対し影響を与えることを示している²²⁾。また、Barber らは、米国株式市場を対象とした分析を行い、その中で、個人投資家の自信過剰な投資行動と整合的な結果を実証分析により示している⁴⁾。このように、自信過剰などの意思決定のバイアスを取り扱った研究は行動ファイナンスの分野などにおいて数多く報告されている。しかし、このような行動ファイナンスにおける議論の多くは、投資における意思決定のバイアスを、外生的に与えるものであり、そのため、場合によっては、金融市場における特定の現象を説明するために、都合の良い意思決定のバイアスを持ち込んでいただけのアドホックなものであるとの批判が行われたりする場合もある。

このような議論を背景とし、本分析では、エージェントベースモデルにより、行動ファイナンスにおいて取り扱われる意思決定のバイアスが、金融市場においてボトムアップに出現することを示すことを目的とする。本分析ではとりわけ、広く関心を集めている意思決定の自信過剰について焦点を当て、分析を行う²⁾。さらに、本研究では、取引価格がファンダメンタルバリューを反映するための条件についても、探索を行う

¹ これを、投資の意思決定にあてはめると、資産の収益率の予測精度を実際以上に良く見積もるなどの行動としてとらえることができる。たとえば、適切な株式収益率およびリスクの見積りが、10% ± 30% のとき、自信過剰な投資家は、株式収益率およびリスクを 10% ± 20% のように見積もる。

² 自信過剰を取り扱った他の分析としては、Gervais らの研究などがあげられる¹⁰⁾。Gervais らは、2 種類の投資家が存在し、配当が 0 と 1 の離散的な値をとる簡略化した条件において分析を行っているのに対し、本研究においては、配当は連続的な値をとる条件下において、9 種類の多様な投資家を対象とした分析を行っている。これらの点は本研究の特長としてあげられる。さらに逆シミュレーション分析によりファンダメンタルバリューを反映した市場が達成されるための条件探索を行っている点も本研究の特長の 1 つとしてあげられる。

ものとする。

本論文の構成は、次章において本分析において用いるモデルの説明を行った後、3 章において分析結果を示す。4 章でまとめを記す。

2. モデル

本研究に用いたモデルは 1,000 人の投資家からなるコンピュータ上の金融市場であり、株式と無リスク資産の 2 資産が取引可能である。市場には複数のタイプの投資家が存在し、各自の株式予測に基づき取引を行う。本市場は、大きく 3 つのステップより構成され、(1) 企業利益の発生、(2) 投資家予測の形成、(3) 取引価格の決定、各ステップが繰り返されることにより、市場が進展していく^{35),36)}。次節以降において、市場において取引可能な資産、投資家行動のモデル化、取引価格の決定、市場における自然選択のルールについて説明を行う。

2.1 市場において取引可能な資産

本市場には、無リスク資産とリスク資産の 2 種類が存在し、リスク資産としては、得られた利益のすべてを株主に対し毎期配当として支払う証券が 1 つ存在する。企業の利益 (y_t) は、 $y_t = y_{t-1} \cdot (1 + \varepsilon_t)$ 、ただし、 $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_y^2)$ の過程に従い発生し¹⁸⁾、株式取引は当期利益公表後に行われる。投資家は、原則として無限に貸借が可能であり³⁾、初期の保有資産はすべての投資家について共通である(無リスク資産 1,000、株式 1,000 からなるポートフォリオを保有)。なお、当ポートフォリオのバイアードホールドをベンチマークとして採用するものとする。また、投資家は、1 期間モデルにより投資の意思決定を行うものとする。

2.2 投資家行動のモデル化

市場の投資家は、自らの相場観に基づき株式価格の予測を行い、リスクと収益率の両者を勘案して投資の意思決定を行う。各投資家は、 $f(w_t^i) = r_{t+1}^{int,i} \cdot w_t^i + r_f \cdot (1 - w_t^i) - \lambda(\sigma_{t-1}^{s,i})^2 \cdot (w_t^i)^2$ の目的関数最大化に基づき、株式への投資比率 (w_t^i) の決定を行うものとする⁶⁾。ここで、 $r_{t+1}^{int,i}$ および $\sigma_{t-1}^{s,i}$ は、それぞれ投資家 i により見積もられた株式の期待収益率およびリ

³ 行動ファイナンスにおいては、(i) システムティックな意思決定におけるバイアスの存在、(ii) 裁定取引の限界などの要因により市場の効率性が達成されないとの議論が行われている²⁹⁾。本研究は、主に前者に焦点を当てた分析であることから、制約条件については資本資産価格評価モデルなどにおいて一般的に用いられている設定に従うものとした²⁰⁾。投資制約を含めた詳細な分析については今後の課題としたい。

⁴ 本研究の投資家の意思決定モデルは、実務においても用いられている Black/Litterman モデル⁶⁾ に基づくものとした。

スクを示す． r_f はリスクフリーレートである． w_t^i は、投資家 i の t 期における株式への投資比率である．

株式の期待収益率 ($r_{t+1}^{int,i}$) は、 $r_{t+1}^{int,i} = (1 \cdot c^{-1}(\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}) / (1 \cdot c^{-1}(\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2} + 1 \cdot (\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}) \cdot r_{t+1}^{f,i} + (1 \cdot (\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}) / (1 \cdot c^{-1}(\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2} + 1 \cdot (\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}) \cdot r_{t+1}^{im}$ と算出される⁶⁾．ここで、 $r_{t+1}^{f,i}$ 、 r_{t+1}^{im} は、それぞれ、短期的な期待収益率、株式のリスクおよび時価総額比率などから算出される期待収益率を示す．ここで c は、株式のリスクおよび時価総額比率などから算出される期待収益率の分散の水準を調整する係数である．モデルの詳細については、Blackら⁶⁾を参照のこと．

短期的な期待収益率 ($r_t^{f,i}$) は、投資家により見積もられる $t+1$ 期の株式価格および利益の予測 ($P_{t+1}^{f,i}$ 、 $y_{t+1}^{f,i}$) より、 $r_{t+1}^{f,i} = ((P_{t+1}^{f,i} + y_{t+1}^{f,i}) / P_t - 1) \cdot (1 + \eta_t^i)$ と求められる．同じ予測タイプの投資家でも詳細な見通しは異なることを反映し、短期期待収益率は誤差項 ($\eta_t^i \sim N(0, \sigma_n^2)$) を含むものとした⁵⁾．株式価格 ($P_{t+1}^{f,i}$) および利益の予測 ($y_{t+1}^{f,i}$) およびリスクの見積もり方法については、次節以降において説明する．

株式のリスクなどから求められる株式期待収益率 (r_t^{im}) は、株式のリスク ($\sigma_{t-1}^{s,i}$)、ベンチマークにおける株式比率 (W_{t-1})、投資家のリスク回避度 (λ)、リスクフリーレート (r_f) から、 $r_t^{im} = 2\lambda(\sigma_{t-1}^{s,i})^2 W_{t-1} + r_f$ と求められる²¹⁾．

2.2.1 株式価格の予測方法

本節では、株式価格および利益の予測方法 ($P_{t+1}^{f,i}$ 、 $y_{t+1}^{f,i}$) について説明を行う．本分析において取り扱う予測方法を、表 1 にまとめた．

ファンダメンタルバリューの算出方法については、いくつかのモデルが提案されているが、本分析においては、最も広く知られたモデルである配当割引モデルにより、株価のファンダメンタルバリューを見積

もるものとする．ファンダメンタルバリューに基づき、株式の評価を行う投資家はファンダメンタリストと呼ばれるが、ファンダメンタリストは、株式の予測価格 ($P_{t+1}^{f,i}$) および予測利益 ($y_{t+1}^{f,i}$) を、当期の利益 (y_t) と株式の割引率 (δ) からそれぞれ、 $P_{t+1}^{f,i} = y_t / \delta$ 、 $y_{t+1}^{f,i} = y_t$ と見積もるものとする．

トレンドによる予測については、直近の株式価格変動のトレンドを外挿することで、次期の株式価格および利益の予測が行われるものとする．トレンドによる予測においては、 $t-1$ 時点における直近の株価変動のトレンド (a_{t-1}) から、 $P_{t+1}^{f,i} = P_{t-1} \cdot (1 + a_{t-1})^2$ 、 $y_{t+1}^{f,i} = y_t \cdot (1 + a_{t-1})$ と、次期の株式価格および利益は算出される．なお、本分析におけるトレンド計測期間は、1日、5日、10日、20日の4通りのものについて取り扱うものとする．

過去平均による予測については、直近の株式の平均値に基づき、次期の株式価格および利益の予測値が見積もられる．平均値の算出期間は、1日、5日、10日、20日の4通りのものとした．

2.2.2 リスクの見積もり方法

株式のリスクは、 $\sigma_{t-1}^{s,i} = s_i \cdot \sigma_{t-1}^h$ と見積もられる (各投資家共通)．ここで、 σ_{t-1}^h は、直近 100 ステップの価格変動から算出される株価のボラティリティであり、 s_i は、自信過剰の程度を示す指標である． s_i の値が 1 より小さい場合は、予測の誤差を実際より小さく見積もることを示すものであり、自信過剰の程度が強いとの解釈を行うことが可能である．一方、 s_i の値が 1 より大きい場合は、反対に、自らの予測誤差を大きく見積もる傾向にある．なお、各投資家の自信過剰の程度 (s_i) は、投資家ごとに異なるものとし、0.8 から 1.2 の間の一様乱数により与えられるものとする．

2.3 取引価格の決定

取引価格は、株式の需要と供給が一致する価格に決定される．株式の発行数は分析期間中一定であるので、株式の供給量はつねに一定であるのに対し、需要については、取引価格により変化する．需要と供給の一致

ファンダメンタルバリューの算出方法には、本文に示した手法以外にも配当が永久に一定の率で成長していくと仮定する定率成長モデル²⁷⁾ や時期により異なる成長率を仮定する 2 段階成長モデル¹⁴⁾ や 3 局面モデル⁹⁾ などいくつかのモデルが提案されている．本分析では配当はブラウン運動に従い変動することから配当成長率の期待値は 0 であるため、本文中に示した配当割引モデルが適切なモデルとなる．

s_i が 1 より小さい投資家は、リスクを正確に見積もる投資家 ($s_i = 1$) に比べ、より積極的な投資行動をとる傾向にある (たとえば、株式価格が上昇するとの予測の場合、より多くの株式を購入するなど)．

表 1 予測タイプ一覧

Table 1 List of forecast type.

番号	投資家のタイプ
1	ファンダメンタルバリュー
2	トレンドによる予測 (直近 1 日)
3	トレンドによる予測 (直近 5 日)
4	トレンドによる予測 (直近 10 日)
5	トレンドによる予測 (直近 20 日)
6	過去平均による予測 (直近 1 日)
7	過去平均による予測 (直近 5 日)
8	過去平均による予測 (直近 10 日)
9	過去平均による予測 (直近 20 日)

短期期待収益率は現時点の価格に依存したものとなっており、現時点の価格は後述の条件を満たす価格に決定される¹⁾．

は、株式の需要が取引価格の変化により調整されることにより達成される ($\sum_{i=1}^M (F_t^i w_t^i) / P_t = N$). なお、 t 期における投資家 i の保有する資産総額 (F_t^i) は、 t 期における取引価格 (P_t), 利益 (y_t) および $t-1$ 期における投資家 i の保有資産総額, 株式への投資比率 (w_{t-1}^i), リスクフリーレート (r_f) などから, $F_t^i = F_{t-1}^i \cdot (w_{t-1}^i \cdot (P_t + y_t) / P_{t-1} + (1 - w_{t-1}^i) \cdot (1 + r_f))$ と算出される.

2.4 市場における自然選択のルール

本市場においては、直近 5 期間の累積超過収益をもとに、自然選択のルールが働くものとする¹¹⁾. 自然選択のルールについてはいくつかの選択肢が考えられるが、本分析では、(1) 投資戦略を変更する投資家の選定、(2) 投資戦略の変更、の 2 つのステップにより構成される.

投資戦略の変更については、市場取引開始後 25 期を経過して以降、各 5 期間ごと、直近のパフォーマンスに基づき投資戦略変更の有無を決定する. 戦略変更の有無は、直近獲得した収益率が高いほど戦略変更の確率は小さく、収益率が低いほど戦略を変更する確率は大きくなる. 具体的には、ベンチマークポートフォリオの収益率に対して正の超過収益を獲得できなかった投資家は、 $p_i = \min(1, \max(0.5 \cdot e^{-r_i^{cum}} - 0.5, 0))$ の確率で、自らの投資戦略を変更する. ただし、ここで r_i^{cum} は、投資家 i の直近 5 期におけるベンチマークに対する累積超過収益率を示すものである.

投資戦略の変更については、戦略の変更を決定した投資家は、直近 5 期の累積超過収益が高い投資戦略を選択しやすいものとした. ここでは、投資戦略として、(a) 予測方法のタイプ、(b) s_i の値、2 つの値の変更を行うものとする. 投資家 i の戦略を z_i とし、直近 5 期の累積超過収益を r_i^{cum} とすると、新しい投資戦略として z_i が選択される確率 p_i は、 $p_i = e^{(a \cdot r_i^{cum})} / \sum_{j=1}^M e^{(a \cdot r_j^{cum})}$ のように与えられる. 戦略を変更した投資家は、次ステップ以降、当ルールにより新たに選択された投資戦略 (予測方法、 s_i の値) に基づき投資を行う.

3. 分析結果

本分析では、はじめに、自然選択のルールが働く市場において超過収益を獲得可能な投資戦略の条件探索を実施した後、市場価格がファンダメンタルバリューを反映するための条件について探索を行った. 次節以

降、それぞれの結果について説明を行う.

3.1 超過収益獲得可能な投資戦略の条件探索

はじめに、初期の予測タイプの比率が、ファンダメンタルズ予測の比率が多い場合、トレンド予測の比率が多い場合、それぞれについて分析を行い、各分析結果の相違点について確認を行った. 分析の結果、いずれの場合においても自信過剰の程度が強くなることを確認できたことから、異なる条件においても同様の結果を得られるか否かを確認するために、表 1 に示した各予測タイプの初期の比率をランダムに与えた分析についても分析を行った. 以下分析の詳細について説明を行う.

3.1.1 ファンダメンタルズ予測の比率が多い場合

ファンダメンタリストの比率が多い場合についての、価格推移、投資家数推移、および、投資家の自信過剰の程度 of 平均値の推移をそれぞれ図 1、図 2、図 3 に示す. なお、図においては、初期の投資家の比率が、ファンダメンタリスト : トレンド予測 (10 日) = 500 : 500 の場合の結果について示している.

図 1 の横軸は時間で、縦軸はファンダメンタルバ

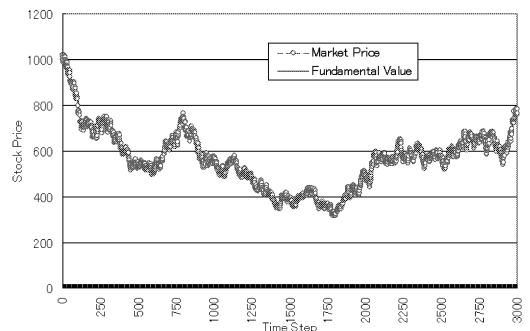


図 1 価格推移 (ファンダメンタリスト : トレンド予測 = 500 : 500)

Fig. 1 Price history (Fundamentalist : Trend = 500 : 500).

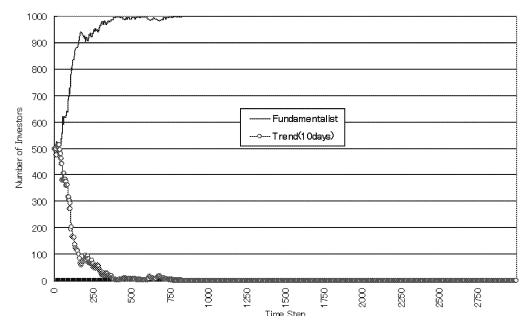


図 2 投資家数の推移 (ファンダメンタリスト : トレンド予測 = 500 : 500)

Fig. 2 History of the number of investors (Fundamentalist : Trend = 500 : 500).

α の値が大きくなるほど、投資戦略の淘汰圧は高くなる. なお、予測方法のタイプおよび自信過剰の程度 (s_i) の更新は同時に行われる.

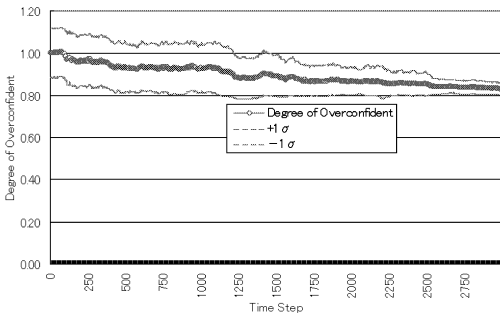


図 3 自信過剰の程度の平均値の推移 (ファンダメンタリスト :
トレンド予測 = 500 : 500)

Fig. 3 History of the average degree of overconfidence
(Fundamentalist : Trend = 500 : 500).

リユーおよび取引価格を示したものであるが、当条件においては、ファンダメンタリストが市場価格に強い影響を与えていることから、取引価格は、ファンダメンタルバリューとほぼ一致していることを確認できる。

図 2 の横軸は時間で、縦軸は各タイプの投資家数の推移であるが、投資家数の推移に関しては、自然選択のルールが働くことにより、ファンダメンタリストの数が増加していることを確認できる。図 3 の横軸は時間で、縦軸は自信過剰の程度を示したものである。図中の実線は、各投資家の自信過剰の程度の平均値を示したものであり、破線は、それぞれ平均から上下 1 標準偏差の値を示したものとなっている。この状況における自信過剰の程度の推移を見てみると、時間の経過にともない、平均値は 1 を徐々に下回り、投資家間のばらつきも小さくなっている。このように、市場における取引が進むに従い、市場に残る投資家の自信過剰の程度が強くなっていくことを確認できる。なお、図中において自信過剰の程度の $E[s_i]$ の値の低下が 0.8 までとなっているのは、 s_i の初期値の与え方を 0.8-1.2 の一様乱数としているためであり、本質的なものではない。初期値の与え方を変更した場合や、自信過剰の程度に突然変異が生じる条件において、図 3 の結果よりも自信過剰の程度が強くなる場合が発生することを確認している。たとえば、図 4 は、投資家の 1% が、 $s_i = s_i \cdot (1 + \epsilon_i)$ 、(ただし ϵ_i は -0.1 から 0.1 の一様乱数) のように自信過剰の程度を変更する場合の推移を示したものであるが、自信過剰の程度の平均値は 0.8 を下回っていることを確認できる。

3.1.2 トrend予測の比率が高い場合

次に、トレンド予測を行う投資家の比率が高い場合について分析を行った。初期の投資家の比率が、ファンダメンタリスト : トrend予測 (10 日) = 100 : 900 の場合の株式価格推移、投資家数推移、自

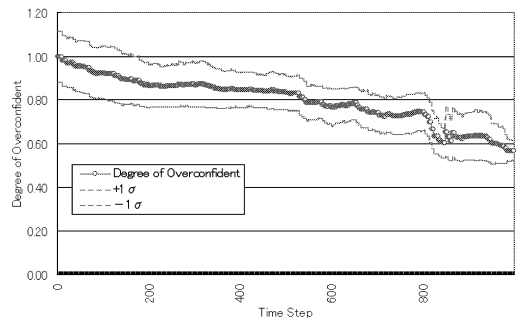


図 4 自信過剰の程度の平均値の推移 (突然変異のある場合)
Fig. 4 History of the average degree of overconfidence
(with Mutation).

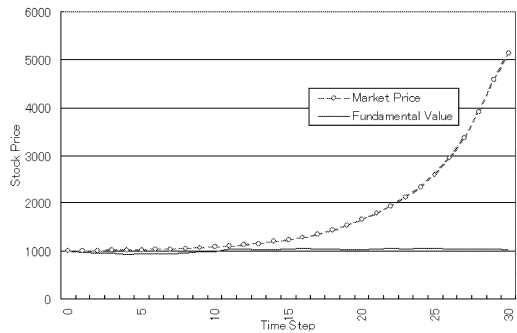


図 5 価格推移 (ファンダメンタリスト : トrend予測
= 100 : 900)

Fig. 5 Price history (Fundamentalist : Trend = 100 : 900).

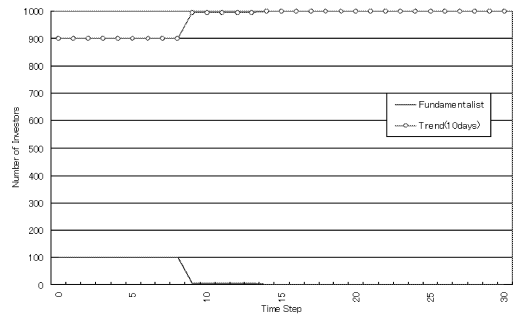


図 6 投資家数の推移 (ファンダメンタリスト : トrend予測
= 100 : 900)

Fig. 6 History of the number of Investors
(Fundamentalist : Trend = 100 : 900).

信過剰の程度の推移について分析した結果をそれぞれ、図 5、図 6、図 7 に示す。

この場合においては、トレンド予測の投資家が価格に強い影響を与えるため、取引価格はファンダメンタルバリューより大幅に乖離することを確認できる。また、この条件においては、前項の結果とは異なり、トレンド予測を行う投資家の数が増加していることを確認できる。これは、投資環境により超過収益を獲得で

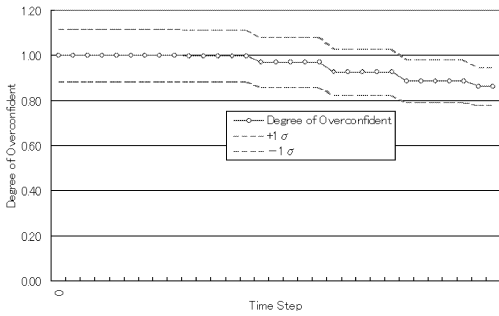


図 7 自信過剰の程度の平均値の推移 (ファンダメンタリスト :
トレンド予測 = 100 : 900)
Fig. 7 History of the average degree of overconfidence
(Fundamentalist : Trend = 100 : 900).

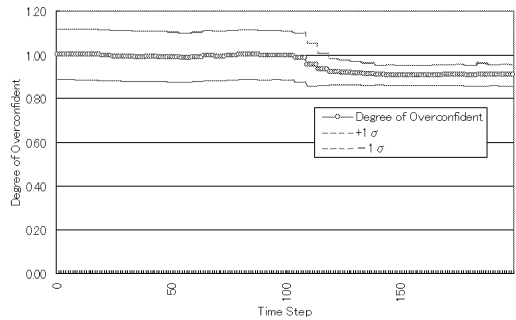


図 9 自信過剰の程度の平均値の推移 (ランダム)
Fig. 9 History of the degree of overconfidence (Random).

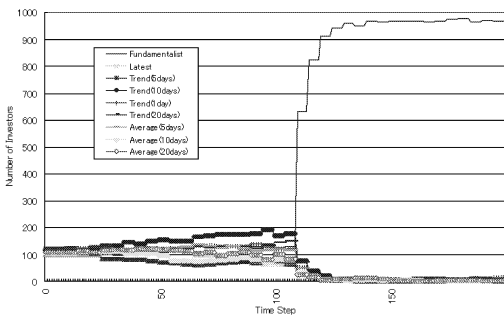


図 8 投資家数の平均値の推移 (ランダム)

Fig. 8 History of the number of investors (Random).

きる予測方法が異なるためと考えられる。一方、自信過剰の程度の推移を確認してみると、本条件においても、自信過剰の程度の高い投資家が市場に生き残っていることを確認できる。

3.1.3 初期の比率がランダムに与えられる場合

次に、初期の投資家の比率をランダムに与えた場合について分析を行った。初期値をランダムに与えた場合の投資家数推移、自信過剰の程度の推移の一例を図 8 および図 9 に示す。

ここでは、1 つの例としてファンダメンタルバリューに基づく投資戦略が市場の多くの投資家により採用される事例を示したが、市場の投資家に採用される予測タイプに関しては、各タイプの投資家の比率などに依存して、トレンド予測や過去の株式価格の平均値など、状況により異なったものとなる。それに対し、自信過剰の程度に関しては、初期値をランダムに与えた

場合についても、自信過剰な投資家が市場に生き残ることを確認できる。本分析の結果は、自信過剰な投資家が生き残る傾向は、予測タイプと比較すると、普遍的である可能性を示唆するものであり、興味深いものである。

3.2 ファンダメンタルを反映した市場が達成されるための条件探索

前節の分析において、取引価格が、ファンダメンタルバリューから乖離する状況が発生することを確認しているが、金融市場において、株式価格は重要な役割を担っており^{8),12)}、その意味で、ファンダメンタルバリューからの大幅な乖離は、現実の市場および経済学的な観点から好ましい状況ではない。

本分析では、取引価格がファンダメンタルバリューと一致する条件についての探索も試みるものとした。とりわけ本分析では、逆シミュレーション分析の手法を応用し、条件の探索を行うものとする。次項において、分析に用いた逆シミュレーション手法について説明を行った後、分析結果について説明を行う。

3.2.1 逆シミュレーション分析の方法

本分析では、倉橋³¹⁾により提唱された逆シミュレーション分析により、取引価格でファンダメンタルが達成されるための条件の探索を行った。

逆シミュレーション分析のステップは、以下の 3 つのステップにより構成される。(1) 投資期間が 100 期間のシミュレーションを 100 回実施。(2) 各シミュレーションごとにファンダメンタルバリューと取引価格の乖離を示す指標を算出。(3) 算出された指標を適応度として、シミュレーション条件(投資家の予測、自信度)を 100 個選択。本分析は、これら 3 つのステップを繰り返すことにより行われるものとする。ファンダメンタルバリューと取引価格の乖離を示す指標 (q) は、ファンダメンタルバリューからの乖離した比率を示したものとし、具体的には、 $q = E[x]^2 + Var[x]$ と

各タイプの投資家の比率と市場の挙動に関する分析の詳細については、Takahashi ら²⁴⁾を参照のこと。
トレンド予測を行う投資家が価格に強い影響を与える場合においても、自信過剰な投資家が生き残ることを示した点は、本研究における新規の成果の 1 つとしてあげられる。

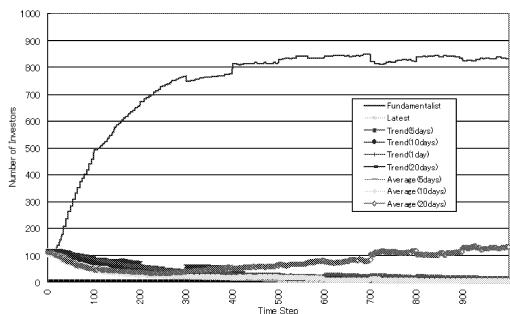


図 10 投資家数の平均値の推移 (逆シミュレーション)
 Fig. 10 History of the average number of investors (Inverse simulation).

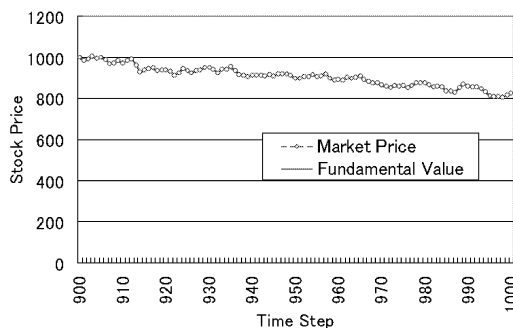


図 12 価格推移 (逆シミュレーション)
 Fig. 12 Price history (Inverse simulation).

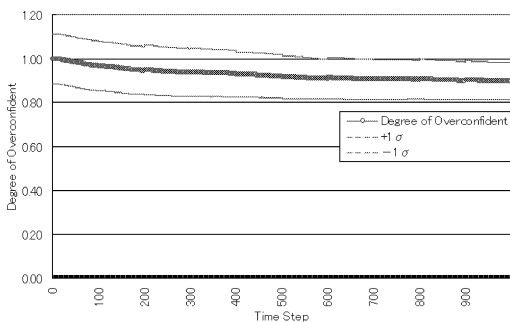


図 11 自信過剰の程度の平均値の推移 (逆シミュレーション)
 Fig. 11 History of the average degree of overconfidence (Inverse simulation).

算出されるものとした。ただし、 P_t は t 期における取引価格、 P_t^0 は、 t 期におけるファンダメンタルバリュー、 $x_t = (P_t - P_t^0) / P_t^0$ である。なお、初期の投資家の比率は、前節と同様にランダムに与えられるものとする。

3.2.2 条件探索結果

逆シミュレーションによる分析結果を図 10 および図 11 に示す。図 10 は、投資家数の推移、図 11 は、自信過剰の程度の推移を、それぞれ示したものである。分析結果より、ファンダメンタリストに基づく投資家の割合が多く、投資家の自信度の程度が高い場合に、取引価格はファンダメンタルバリューに近くなる傾向にあることが分かる。図 12 は、ステップ 900 から 1,000 における株式価格の推移の典型例を示したものであるが、取引価格はファンダメンタルバリューとほぼ一致していることを確認できる。伝統的ファイナンスの議論に基づけば、株式の収益率およびリスクの

両者を、早く、正確に見積もることのできる投資家が市場に生き残ることが可能となり、その結果、市場の効率性が達成されるとされている。しかし、本分析結果は合理的でない投資家が価格に影響を与える条件下においては、異なる状況になることを示唆するものであり、現実的な条件を考慮した場合における市場設計の困難さを示すものである。

3.3 考 察

本研究では、エージェントベースモデルにより、市場に生き残る投資家の条件探索を行い、自信過剰な投資家が普遍的に生き残る可能性のあることを見出した。自信過剰な意思決定は、伝統的なファイナンス理論において想定されている意思決定の合理性からは乖離したものであるが、本分析結果は、そのような合理的でない意思決定が生き残るメカニズムが市場に存在することを示しており興味深いものである。また、行動ファイナンスの多くの研究においては、意思決定のバイアスを外生的に与えたものとなっているが、本分析では、そのような自信過剰な投資家が内生的に発生することを示しており、本研究の特長の 1 つとなっている。また、ファンダメンタルを反映した市場が達成されるための条件探索に逆シミュレーション分析を用いている点も本研究の特徴の 1 つとしてあげられる。本研究では、自信過剰に焦点を当て分析を実施したが、市場設計に関する詳細な分析は今後の課題としたい。

ファンダメンタリストとは異なるタイプの投資家も一定割合存在していることを確認できる。これらに関する詳細な分析については、今後の課題としたい。

ファンダメンタルに関し正確な情報を有する投資家が、自らの情報を基により積極的に投資を行うことは、個人の利得(ミクロな挙動)および株式市場(マクロな挙動)の両者の観点から望ましいものとなっている。たとえば、数多くのアナリストを有する機関投資家などは、金融市場において、そのような役割を果たせる可能性がある。

ファンダメンタルからの乖離を示す q の平均値は、ステップ 0 から 100 においては 0.001628 であるのに対し、ステップ 900 から 1,000 においては 0.000076 と 10 分の 1 以下になっている。これらの結果からもファンダメンタルバリューからの乖離は小さくなっていることを確認できる。

このように、本研究は、従来より行われている解析的な手法では取り扱うことが困難であった、金融市場におけるマイクロマクロリンクの関連性の問題を、エージェントベースモデルの立場から行ったものであり、エージェント技術、および、逆シミュレーション技術の新たな適用分野を開拓し、興味深い結論を導き出したものとなっている。

4. ま と め

本論文では、エージェントベースモデルにより、金融市場におけるマイクロマクロリンクの関連性について分析を行い、その中で、自信過剰な投資家がボトムアップに市場において現れることを見出した。意思決定における自信過剰の特性が、市場において生き残るメカニズムの存在することを示した点は、本研究の重要な成果の1つである。さらに、そのような特性がファンダメンタルを反映した市場の達成に貢献できる可能性を示した点も、本研究の成果である。今後の課題としては、自信過剰以外の意思決定のバイアスを考慮した分析や、より現実的な条件を考慮したうえでの市場設計などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) Arthur, W.B., Holland, J.H., Lebaron, B., Palmer, R.G. and Taylor, 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) Axelrod, R.: *The Complexity of Cooperation — Agent-Based Model of Competition and Collaboration*, Princeton University Press (1997). 松田裕之(訳): つきあい方の科学, ミネルヴァ書房 (1998).
- 3) Axtell, R.: Why Agents? On the Varied Motivation For Agent Computing In the Social Sciences, *the Brookings Institution Center on Social and Economic Dynamics Working Paper*, No.17 (Nov. 2000).
- 4) Barber, B. and Odean, T.: Trading is Hazardous to Your Wealth: The Common Stock Investment Performance of Individual Investors, *Journal of Finance*, Vol.55, pp.773–806 (2000).
- 5) Bazerman, M.: *Judgment in Managerial Decision Making*, John Wiley & Sons (1998). 兼広 崇明(訳): バイアスを排除する経営意思決定, 東洋経済新報社 (1999).
- 6) Black, F. and Litterman, R.: Global Portfolio Optimization, *Financial Analysts Journal*, pp.28–43 (Sep.-Oct. 1992).
- 7) Chiarella, C., Gardini, L. and Dieci, R.: Asset Price and Wealth Dynamics in a Financial Market with Heterogeneous Agents, *Journal of Economic Dynamics and Control*, forthcoming (2005).
- 8) Fama, E.: Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work, *Journal of Finance*, Vol.25, pp.383–417 (1970).
- 9) Fuller, R. and Farrel, Jr., J.: *Modern Investment and Security Analysis*, McGraw-Hill (1987).
- 10) Gervais, S. and Odean, T.: Learning to be overconfident, *Review of Financial Studies*, Vol.14, No.1, pp.1–27 (2001).
- 11) Goldberg, D.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley (1989).
- 12) Grossman, S.J. and Stiglitz, J.E.: Information and Competitive Price Systems, *American Economic Review*, Vol.66, pp.246–253 (1976).
- 13) Ingersoll, J.E.: *Theory of Financial Decision Making*, Rowman & Littlefield (1987).
- 14) Jacob, N. and Pettit, R.: *Investments*, 2nd ed., Irwin (1988).
- 15) Kahneman, D. and Tversky, A.: Prospect Theory of Decisions under Risk, *Econometrica*, Vol.47, pp.263–291 (1979).
- 16) Kahneman, D. and Tversky, A.: Advances in prospect Theory: Cumulative representation of Uncertainty, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol.5 (1992).
- 17) Levy, M., Levy, H. and Salomon, S.: *Microscopic Simulation of Financial Markets*, Academic Press (2000).
- 18) O'Brien, P.: Analysts' Forecasts as Earnings Expectations, *Journal of Accounting and Economics*, pp.53–83 (Jan. 1988).
- 19) Savage, L.J.: *The Foundations of Statistics*, Wiley (1954).
- 20) Sharpe, W.F.: Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under condition of Risk, *The Journal of Finance*, Vol.19, pp.425–442 (1964).
- 21) Sharpe, W.F.: Integrated Asset Allocation, *Financial Analysts Journal*, (Sep.-Oct. 1987).
- 22) Shleifer, A.: *Inefficient Markets*, Oxford University Press (2000). 兼広 崇明(訳): 行動ファイナンス入門 金融バブルの経済学, 東洋経済新報社 (2001).
- 23) Stein, J.C.: Agency, Information and Corporate Investment, *NBER Working Paper*, No.8342 (2001).
- 24) Takahashi, H. and Terano, T.: Agent-Based Approach to Investors' Behavior and Asset

- Price Fluctuation in Financial Markets, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol.6, No.3 (2003).
- 25) Tesfatsion, L.: Agent-Based Computational Economics, *Economics Working Paper*, No.1, Iowa State University (2002).
- 26) von Neumann, J. and Morgenstern, O.: *Theory of Games and Economic Behavior*, 2nd ed., Princeton University Press (1947).
- 27) Williams, J.B.: *Theory of Investment Value*, North-Holland (1938).
- 28) 大内 東, 山本雅人, 川村秀憲: マルチエージェントシステムの基礎と応用, コロナ社 (2002).
- 29) 加藤英明: 行動ファイナンス—理論と実証, 朝倉書店 (2003).
- 30) 加藤英明, 高橋大志: 天気晴朗ならば株高し, 現代ファイナンス, Vol.15, pp.35–50 (2004).
- 31) 倉橋節也, 南 潮, 寺野隆雄: 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析, 計測自動制御学会誌, Vol.35, No.11, pp.1454–1461 (1999).
- 32) 高玉圭樹: マルチエージェント学習, コロナ社 (2003).
- 33) 高橋大志: エージェントベースアプローチの金融市場への応用, 証券アナリストジャーナル, Vol.41, No.2, pp.58–69 (2003).
- 34) 高橋大志: 行動ファイナンスとエージェントベースモデル, オペレーションズ・リサーチ, Vol.49, No.3, pp.148–153 (2004).
- 35) 高橋大志: エージェントベースモデルによるパッシブ運用と資産価格変動の関連性の分析, 国民経済雑誌, Vol.190, No.1, pp.33–51 (2004).
- 36) 高橋大志, 寺野隆雄: エージェントモデルによる金融市場のミクロマクロ構造の分析: リスクマネジメントと資産価格変動, 電子情報通信学会和文論文誌, Vol.J86-D-I, No.8, pp.618–628 (2003).
- 37) 出口 弘, 和泉 潔, 塩沢由典, 高安秀樹, 寺野隆雄, 佐藤 浩, 喜多 一: 人工市場を研究する社会的および学問的意義, 人工知能, Vol.15, pp.982–990 (2000).

付 録

A.1 パラメーター一覧

本論文において設計した金融市場の主要なパラメーターの一覧を記す。各パラメーターの説明およびその値について示すものとする。

M : 投資家の数 (1,000)

N : 発行株式数 (1,000)

F_t^i : t 期における投資家 i の総資産額 ($F_0^i = 2,000$: 共通)

W_t : t 期におけるベンチマークの株式比率 ($W_0 = 0.5$)

w_t^i : t 期における投資家 i の株式への投資割合 ($w_0^i =$

0.5: 共通)

y_t : t 期に発生した利益 ($y_0 = 0.5$)

σ_y : 利益変動の標準偏差 ($0.2/\sqrt{200}$)

δ : 株式の割引率 (0.1/200)

λ : 投資家のリスク回避度 (1.25)

r_t^{im} : リスクなどから見積もられる株式の期待収益率

c : 分散調整係数 (0.01)

σ_t^s : 株式変動の標準偏差の推定値

σ_t^h : 株式のヒストリカルボラティリティ

P_t : t 期における取引価格

$P_t^{f(i)}$: (投資家 i の) t 期の取引価格の予測値

$y_t^{f(i)}$: (投資家 i の) t 期の利益の予測値

$r^{f(i)}$: (投資家 i の) 短期の株式期待収益率

σ_n : 短期の株式収益率のばらつきの標準偏差 (0.01)

σ_l : ノイズトレーダの予測誤差の標準偏差 (0.01)

a_t : t 期までの株価トレンド

r_i^{cum} : 投資家 i の直近 5 期間の累積超過リターン

p_i : 戦略を変更する投資家が, 投資家 i の戦略を選択する確率

s_i : 投資家 i の自信度の程度を示す係数 (0.8–1.2 の一様乱数)

a : 投資戦略の淘汰の程度を表す係数 (20)

(平成 17 年 9 月 30 日受付)

(平成 18 年 3 月 2 日採録)



高橋 大志 (正会員)

1994 年東京大学工学部応用物理学科部門物理工学科卒業。1994～1997 年富士写真フイルム (株) 研究員。1997～2005 年三井信託銀行 (現三井アセット信託銀行) シニアリサーチャー。2002 年筑波大学大学院経営システム科学専攻修士課程修了。2004 年同大学院企業科学専攻博士課程修了。現在, 岡山大学大学院社会文化科学研究科助教授。博士 (経営学)。ファイナンス, 行動経済学, 進化計算, データマイニング等の研究に従事。日本ファイナンス学会, 日本証券アナリスト協会, シミュレーション学会, 計測自動制御学会, 人工知能学会等各会員。



寺野 隆雄（正会員）

1976年東京大学工学部計数工学科
数理工学コース卒業．1978年同大学
院情報工学科修士課程修了．1978～
1989年（財）電力中央研究所勤務．
1990～2004年筑波大学ビジネス科
学研究科．2004年より東京工業大学知能システム科
学専攻教授．工学博士．1996年イリノイ大学ならび
にスタンフォード大学客員研究員．計算組織理論，進
化計算，人工知能等の研究に従事．人工知能学会，計
測自動制御学会，日本OR学会，電気学会，経営情報
学会等で理事を歴任．IEEE，AAAI，ACM各会員．
