

# 行動ファイナンスとエージェントベースモデル

高橋 大志

近年、ファイナンスの分野において行動ファイナンスと呼ばれる分野への関心が高まっている。行動ファイナンスにおいては、現実の人間の意思決定および投資環境を考慮した興味深い議論が行われているが、伝統的資産価格理論などと比較して解析的に取り扱うのが困難な場合が多い。そのため、解析的な手法に加え、新たな分析手法の必要性は高まっている。そこで本稿では、エージェントベースモデルの金融市場への応用について議論を行うものとする。本文では、初めに、行動ファイナンスにおける議論を報告した後、行動ファイナンスや金融工学などを絡めた分析事例について報告する。

キーワード：行動ファイナンス、エージェントベースモデル、プロスペクト理論、合理的選択理論、効率的市場、自然選択の原理、金融工学

## 1. はじめに

資産価格に関する研究は、これまで数多くの報告が行われており、今なお、盛んに研究が行われている[3, 13]。伝統的資産価格理論においては、合理的な投資家、理想的な市場などを仮定した上で資産価格が導出されており、最も広く知られた資産価格理論の一つであるCAPM (Capital Asset Pricing Model) においても、代表的な合理的投資家を仮定した上で資産価格の導出が行われている[12]。

しかし、CAPMをはじめとした伝統的資産価格理論に対し疑問を投げかける報告は数多く行われており、そのような議論を背景として Bossaerts は、その著書の冒頭、ファインマン物理学からの引用として、“It is a very beautiful line of reasoning. The only problem is that perhaps it is not true. (After all, nature does not have to go along with our reasoning.)” というフレーズを紹介している[4]。近年、ファイナンスの分野において関心を集めている行動ファイナンスも、伝統的資産価格理論に対し疑問を投げかけたものである[9, 10, 13]。

本稿は、行動ファイナンスおよび有効な分析手法であるエージェントベースモデルについて報告を行うものである。節2において伝統的資産価格理論において前提とされている市場の効率性について議論した後、

節3において行動ファイナンスの指摘、節4において、エージェントベースモデルの概観を行う。節5においては、行動ファイナンスを背景とした分析事例について取り扱い、その中でエージェントベースモデルを用いた分析事例について報告する。節6は、むすびである。

## 2. 市場の効率性に関する議論

効率的市場仮説は、伝統的資産価格理論における中心的な仮説の一つであり、これまで数多くの議論が行われてきた[7]。本節では、市場の効率性と投資家行動の関連性および市場の効率性が達成されるための条件に焦点を当てて議論を行う。

### 2.1 効率的市場と合理的投資家

サイコロを用いた賭けを想定してみたい。歪のないサイコロの賭けは公平な賭けであり、参加者が確実に利益を獲得することは困難である。効率的市場においてもリスクに応じたりターン以上の超過収益を獲得することは困難であり、効率的市場における投資も公平な賭けと同様のものと捉えることが可能である。サイコロの賭けにおいては、各目が出る確率を正確に見積もった参加者が勝ち残り、そうではない参加者は自然選択の原理により、賭けからの退出を余儀なくされることが想定される。効率的市場における投資も同様に、ファンダメンタルズに基づきリスクとリターンを適切に評価する合理的投資家が生き残り、そうではない投資家は市場から排除されると考えられる。

効率的市場と投資家行動の関連性については、「ファンダメンタルズに基づき投資を行う合理的投資家が価格に対し影響を与えることにより市場の効率性が達

たかはし ひろし  
三井アセット信託銀行 パッシブクオンツ運用部投資技術グループ  
〒105-8574 港区芝3-23-1

成される」という関係があるのと同時に、「市場の効率性が保たれることにより合理的投資家が市場に生き残ることが可能になる」という関係も存在する。その意味で、市場の効率性と投資家の合理性は密接に関連しており、いずれか一方の仮定が成立しないような場合においては、再度議論が必要になってくる点は強く認識しておく必要がある。

このように、市場の効率性および合理的投資家を仮定することにより数学的な取り扱いが容易となり、解析的なアプローチにより資産価格の分析を取り扱うことが可能となる。

## 2.2 効率的市場の仮定

伝統的資産価格理論においては、市場の効率性が達成されるための条件として二つの仮定を置いている。一つ目は、合理的ではない投資家行動はランダムであり、全体で考えるとキャンセルアウトされるというものであり、二つ目は、裁定取引により取引価格はファンダメンタルバリューに収束するというものである。このような仮定をおくことにより市場の効率性は保たれ、モデルの正当性も支持される。

ところが、行動ファイナンスにおいてはそれらの仮定に対し疑問を投げかけており、伝統的資産価格モデルが必ずしも成立しないことを示唆している。

## 3. 行動ファイナンスにおける議論

行動ファイナンスは、市場の効率性が達成されない要因として、二つの根拠を指摘している[13]。一つ目は、合理的意思決定からのシステムティックな乖離の存在であり、二つ目は裁定取引の限界である。

### 3.1 合理的な意思決定からの乖離

伝統的資産価格理論において、投資家は、完備性や推移性、独立性、連続性などの公理を満たす意思決定を行うものとして取り扱われている。効用関数は、そのような公理を満たすものであり、HARA型効用関数(hyperbolic absolute risk aversion utility function)をはじめとして、いくつかの形状のものが取り扱われている。ところが、現実の人間の意思決定は、期待効用最大化に反した意思決定を行うとの報告が古くから指摘されており、例えば、Allaisのパラドックスなどは、人間の意思決定が、合理的な意思決定の公理に反することを示した事例として広く知られている。さらにSimon[14]は、人間の合理性は限定的なものであり、その意味で必ずしも完全合理的な意思決定を行うわけではないとの主張を行っている。

このような報告を背景として、認知心理学の分野においてKahneman, Tversky[9]らは、プロスペクト理論を提唱している。プロスペクト理論においては、人間の意思決定は期待効用最大化ではなく、主観確率による価値関数最大化に基づき行われるとの主張が行われている。図1は、価値関数の形状を示したものである。価値関数は、人間の意思決定の特徴として、人間の意思決定は参照点からの変化に基づき行われることや、損失の受け取り方は利得の受け取り方と比較して2倍程度大きいことなど、いくつかの重要な点を指摘している[10]。また、プロスペクト理論においては、主観確率に関し、小さい確率を大きく見積もる傾向があることなどの指摘も行われている(図2参照)。さらに、気分や感情といったものは、合理的な意思決定には考慮されていないものであるが、近年、気分や感情が意思決定において重要な役割を果たすなどの報告も行われている[6, 11]。このように、人間の意思決定は、期待効用最大化と整合的ではないとの報告は数多く行われており、そのような合理的ではない投資家行動が金融市場に影響を与える可能性は完全には否定しきれないものである。

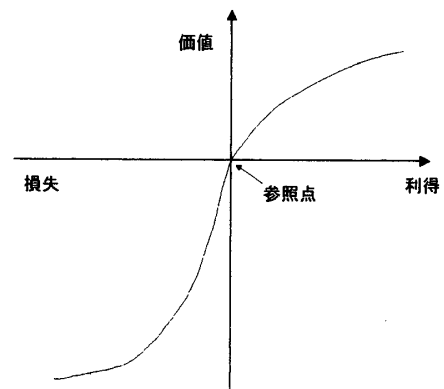


図1 価値関数の形状

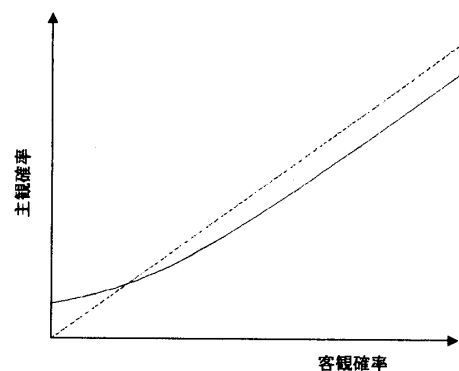


図2 客観確率と主観確率の関係

### 3.2 裁定取引の限界

たとえ、合理的ではない投資家が価格に影響を及ぼしたとしても、裁定取引が有効に機能すれば、取引価格はファンダメンタルバリューに収斂するはずである。しかし、行動ファイナンスは、そのような裁定取引にも限界があるとの指摘を行っている[13]。行動ファイナンスは、裁定取引の限界が発生する要因として、いくつかの点を指摘している。例えば、現実の市場においては、裁定取引自体にコストがかかることをはじめとし、裁定取引に必要な完全な代替証券が存在しないことや、そもそも、資産評価モデル自体にも間違いがあるなどの要因が挙げられている。さらに、近年関心を集めている要因として、ノイズトレーダリスクと呼ばれるものがある。これは、合理的投資家がノイズトレーダの影響を考慮することにより、取引価格がファンダメンタルバリューから乖離し得ることを指摘したものであり、ノイズトレーダリスクと整合的な実証研究も報告されている。

このように、行動ファイナンスは、伝統的資産価格理論における仮定に対し疑問を投げかけ、伝統的資産価格理論が必ずしも成立しないことを指摘している。その意味で、行動ファイナンスにおける議論は、規範的モデルから一步現実に近づいたものと捉えることができる。しかし、現実の投資家行動、投資条件は複雑であることから、解析的手法により取り扱うことが困難な場合が多く、新たな分析手法の必要性は高い。次節において報告するエージェントベースモデルは、有効な分析手法の選択肢を提示するものである。

## 4. エージェントベースモデルによる金融市場の分析

エージェントベースモデルは、コンピュータサイエンスの分野において進展してきた手法であり、ミクロな挙動からマクロな挙動を説明しようと試みるボトムアップのアプローチである。Axelrodは、その著書[2]において、エージェントベースモデルは、演繹的な手法、帰納的な手法と対比した場合の第3の手法に相当すると記述しており、エージェントベースモデルによる分析を通じ、これまで見出すことのできなかつた新たな事象を発見できると述べている。エージェントベースモデルにより、金融市場および経済を分析した事例も報告されており、例えば、異質な期待を有する投資家が取引を行う金融市場を分析したものや、人間とソフトウェアエージェントが共存する市場の分析

を行っているU-martプロジェクトなどが広く知られている[1, 16, 23, 24]。

行動ファイナンスを背景とした分析も、近年報告されるようになってきており、エージェントベースモデルの金融市場への応用も広がりを見せつつある。次節においては、我々の行った研究の中から、行動ファイナンスを背景とした分析事例について報告を行う。

## 5. 行動ファイナンスを背景とした分析事例

本節で報告する分析事例のフレームワークを図3に示す。図の右側は現実の金融市場を表し、図の左側はコンピュータ上の金融市場を示す。我々は、現実の意思決定の特徴を取り入れた投資家行動が、市場に与える影響について、実証研究(図右側)およびエージェントベースモデル(図左側)の両側面から分析を行っている。本節においては、エージェントベースモデルによる分析事例に焦点を当てて報告を行う。初めに、コンピュータ上の金融市場の設計について説明した後、分析結果について報告する[15, 19, 21]。

### 5.1 金融市場の設計

コンピュータ上の金融市場には、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、得られた利益の全てを株主に対し毎期配当として支払う証券が一つ存在するものとする。市場には複数のタイプの投資家が存在し、各自の投資ルールに基づき取引を行う。本市場は、企業利益の発生、投資家予測の形成、投資比率の決定、取引価格の決定の各ステップにより構成され、この一連のステップが繰り返し行われることにより、市場の取引が進められる。

本市場において取り扱う投資家は、大きく二つに分類することができる。1番目のタイプの投資家は、超過収益を獲得しようと、ファンダメンタル情報や価格

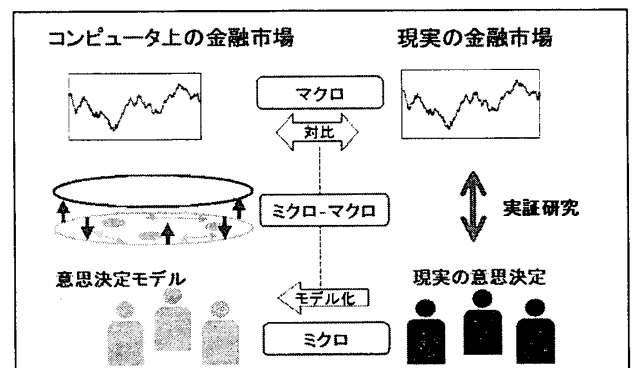


図3 分析のフレームワーク

情報などから次期の株式価格の予測を行い、資産配分比率を算出する投資家であり、2番目のタイプは、ポートフォリオインシュアランスのように保有資産全体の損失を限定しながら株式投資を行う投資家である。2番目のタイプの投資家は、将来の株式価格の予測は行わず、直近の株式価格や自己の保有資産総額などの情報から、機械的にリスク資産への投資割合を決定する。なお、本市場の投資家は、1期間モデルにより投資の意志決定を行うものとし、投資比率の基準となるベンチマークは、原則、全ての投資家について共通であるとしている。

次節以降、主要な分析結果について報告する。

## 5.2 異質な投資家に基づく分析

人間の意思決定には、いくつかのバイアスが存在するとの指摘が数多く行われている。これらの報告を背景として、我々は文献[15]において、ファンダメンタリスト、トレンド予測を行う投資家、損失を過剰に見積もる投資家、自信過剰な投資家、これら四つのタイプの投資家のモデル化を行い、これらの異質な投資家が取引を行う市場における価格変動メカニズムの分析を行った。また、現実の市場参加者は数多くの投資制約の下、投資の意思決定を行っていることから、当分析においては、投資制約が取引価格に与える影響についても分析を実施した。

金融市場における分析の結果、我々は以下の事象を見出した[15]。(1)ファンダメンタリストとトレンド予測を行う投資家が市場に同数存在するケースにおいては、取引価格はファンダメンタルバリューと一致し、ファンダメンタリストが自然選択の原理により生き残ること、(2)トレンド予測を行う投資家が極端に多い場合やリスク資産への投資比率に制約があるケースにお

いては、取引価格がファンダメンタルズから大幅に乖離し、ファンダメンタリストではない投資家が超過収益を獲得するため自然選択の原理により合理的な投資家が排除されるケースが頻繁に生じること、(3)損失を大きく見積もる投資家の影響により取引価格のファンダメンタルバリューからの乖離が生じること。

例えば、図4は、投資家の9割がトレンド予測を行うような市場において、自然選択の原理が働く場合の投資家数の推移を示したものである。表の横軸は時間の推移を示し、縦軸は各タイプの投資家数を示している。表より、時間の推移とともに、ファンダメンタリストが市場から淘汰されていることを確認できる。これらの結果は、実際の市場においてもファンダメンタリストではない投資家が価格に影響を与え、さらにそのような投資家が生き残り続けることのできるメカニズムが、金融市場に存在することを示唆するものである。その意味で、我々の報告[15]は示唆に富んだ興味深い結果である。

また、図5は、損失を見積もる投資家が取引を行う場合の価格推移を示したものである。ここで、損失を見積もる投資家は、過去の株式価格を参照点として損失を見積もっている。図より、損失を大きく見積もる投資家の影響により、取引価格がファンダメンタルバリューに対し下ぶれしていることを確認できる。さらに、我々は文献[15]において、参照点となる価格を認識する期間が長くなる程、下ぶれの程度は大きくなることを確認している。これらの結果は、過去最も高かった価格が人間の印象に残り、その価格が参照点となって意思決定を行うような場合には、現実の市場においてもファンダメンタルバリューからの乖離は大きくなる可能性のあることを示唆するものであり、興味深

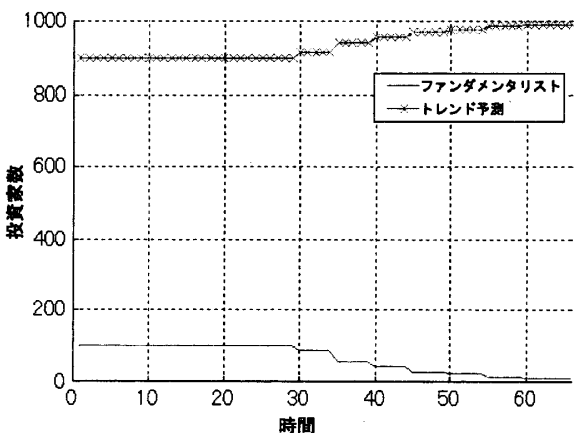


図4 自然選択が働く場合の投資家数の推移 (出典: Takahashi, Terano [15])

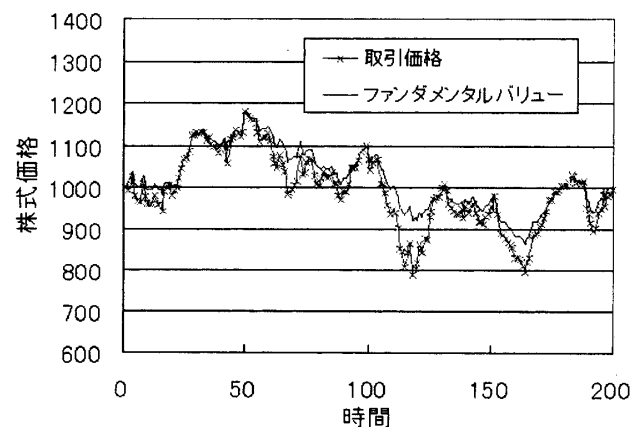


図5 損失を過剰に見積もる投資家の影響 (出典: Takahashi, Terano [15])

い結果である。

さらに、我々は文献[19]において、価格変動のボラティリティに焦点を当てた分析も行っている。GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Hetero-scedasticity) モデルは、マクロレベルのモデルであり、金融工学の分野において広く知られたボラティリティを推定する手法である[5]。一方、プロスペクト理論は人間の意思決定について記述したマイクロレベルのモデルである[9, 10]。両モデルは、金融工学および認知心理学の分野において広く知られたモデルであるが、これまで両者の関連性について取り扱った研究は行われてこなかった。そこで、我々は両者の関連性についての分析を試みた[19]。

分析の結果、ファンダメンタリストおよびファンダメンタリストではない投資家の混在する市場においてはファンダメンタルバリューにおいては見られないボラティリティの挙動が生じることを見出し、さらに、損失を過剰に見積もる投資家が取引価格に影響を与える場合などにおいては、OLSなどと比べGARCHモデルによる推定精度が良好となることを見出している。これらの結果は、エージェントベースモデルが、投資家行動と価格変動の関連性を分析する有効な手法であることを示すものである。また、これまで理論なき計測と揶揄されかねなかったGARCHモデルに対し、投資家行動の観点から説明を与えられる可能性を示唆するものでもあり、その意味でも興味深い結果である。

### 5.3 リスクマネジメント手法が市場に与える影響

現実の市場においては、バブルやクラッシュなどをはじめとした数多くの金融危機が発生している。そのような金融市場における危機に対応するため、金融工学の分野において、数多くのリスクマネジメント手法が報告されている。しかし、それらの多くは、リスクマネジメント手法の精緻化に焦点を当てたものであり、リスクマネジメントが市場全体に与える影響の分析は、これまであまり焦点が当てられてこなかった。そこで、我々は、エージェントベースモデルにより、リスクマネジメント手法が市場に与える影響についての分析を行った。我々は、文献[21]において、初めに、金融工学の分野において報告されているリスクマネジメント手法の有効性を確認した後、過度のリスク管理が実施される場合や周りの投資家動向を考慮する投資家が多数存在する場合などの特殊な条件下においては、リスクマネジメントが、市場価格を適切な水準から乖離を生じさせる可能性のあることを指摘している。

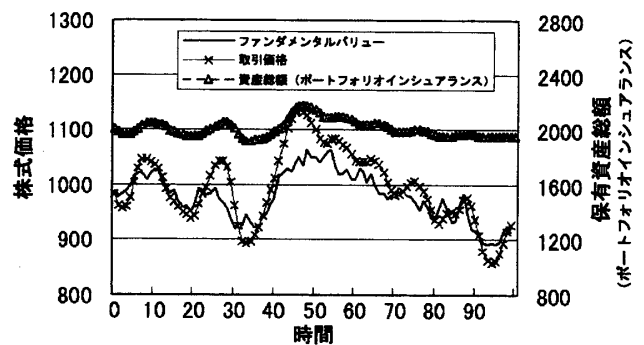


図6 価格推移(自分以外の投資家を考慮)(出典:高橋, 寺野 [21])

図6は、リスクマネジメントのポジティブフィードバック効果を考慮する投資家が取引を行う場合の価格変動を示したものである。横軸は時間を示し、縦軸は株式価格(左軸)およびポートフォリオインシュアランスを行う投資家の保有総資産額(右軸)を示したものである。図より、ポートフォリオインシュアランスは有効に機能しているものの、取引価格がファンダメンタルバリューから乖離していることを確認できる。

これらの結果は、リスクマネジメントは、個人のリスクを限定するというマイクロな観点では有効に機能するものの、市場価格に対する影響というマクロな観点では、場合によっては市場に悪影響を与える可能性のあることを示唆するものである。これらの分析は、リスクマネジメントに関しマイクロなレベルの目的とマクロなレベルの目的が必ずしも両立しないことを示したものであり、市場の設計を行う際にはこのような点を考慮する必要性のあることを指摘している。

### 5.4 考察

本節においては、行動ファイナンスを背景とした分析事例として、エージェントベースモデルの研究を中心に報告した。本文中において紹介したもの以外にも、自信過剰な投資家やパッシブ投資家が市場に与える影響の分析を試みたものなど、数多くの報告が行われている[15, 20]。このように、エージェントベースモデルにより、行動ファイナンスや金融工学などと関連した興味深い分析を行うことが可能となる。また、それらの分析は、実証分析による研究を伴うことにより、説得力を持ったものとなる[17, 18]。その意味で、エージェントベースモデルによる分析は、金融市場を研究する際の一つの有効な分析の枠組みを提供するものである[8, 22, 25]。しかし、その一方で、エージェントベースモデルによる分析は、モデル設計時における、わずかな前提条件の違いにより、得られる結果が異な

ったものになる可能性があるなど、一般化した議論を行うには、限界がある点も認識しておく必要がある。

## 6. むすび

近年の行動ファイナンスへの関心の高まりとともに、ファイナンスの研究に関連する分野は、大きな広がりを見せている。そのような中、エージェントベースモデルは、有効な分析手法を提示するものである[8, 22]。

冒頭紹介したファインマン物理学のあとがきに、以下のような一節がある。“Perhaps you will not only have some appreciation of this culture; it is even possible that you may want to join in the greatest adventure that the human mind has ever begun.”ファイナンスの研究は、今後大きな発展を遂げる可能性があり、そのような中、エージェントベースモデルは、ファイナンスの研究に大きな貢献をできる可能性がある[8]。今後、これらの研究への関心の高まりとともに、多くの興味深い研究、有意義な議論が行われることが期待される。

### 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*, Addison-Wesley, pp. 15-44, 1997.
- [2] Axelrod, R.: *The Complexity of Cooperation-Agent-Based Model of Competition and Collaboration*, Princeton University Press, 1997.
- [3] Brunnermeier, M. K.: *Asset Pricing under Asymmetric Information*, Oxford University Press, 2001.
- [4] Bossaerts, P.: *The Paradox of Asset Pricing*, Princeton University Press, 2001.
- [5] Bollerslev, T.: “Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity”, *Journal of Econometrics*, 31, pp. 307-327, 1986.
- [6] Damasio, A. R.: *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt, 2000.
- [7] Fama, E.: “Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work”, *Journal of Finance*, 25, pp. 383-417, 1970.
- [8] Hirshleifer, D.: “Investor Psychology and Asset Pricing”, *Journal of Finance*, 56, pp. 1533-1597, 2001.
- [9] Kahneman, D. and Tversky, A.: “Prospect Theory of Decisions under Risk”, *Econometrica*, 47, pp. 263-291, 1979.
- [10] Kahneman, D. and Tversky, A.: “Advances in prospect Theory: Cumulative representation of Uncertainty”, *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 1992.
- [11] Loewenstein, G.: “Emotions in economic theory and economic behavior”, *American Economic Review*, 65, pp. 426-432, 2000.
- [12] Sharpe, W. F.: “Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under condition of Risk”, *The Journal of Finance*, 19, pp. 425-442, 1964.
- [13] 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.)
- [14] Simon, H. A.: “A behavioral model of rational choice”, *Quarterly Journal of Economics*, 69, pp. 99-118, 1955.
- [15] 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*, 6, 3, 2003.
- [16] Tesfatsion, L.: “Agent-Based Computational Economics”, *Economics Working Paper*, Iowa State University, No. 1, 2002.
- [17] 加藤英明: 『行動ファイナンス 理論と実証』, 朝倉出版, 2003.
- [18] 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, 2004 (掲載予定).
- [19] 高橋大志, 寺野隆雄: “エージェントシミュレーションによる GARCH モデルと Prospect 理論の関連性の分析”, シミュレーション, 21, 2, pp. 133-142, 2002.
- [20] 高橋大志: “エージェントベースアプローチ”, 日本ファイナンス学会第 6 回研究観望会第 2 部発表報告, 2002.
- [21] 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, 86-D-I, 8, pp. 618-628, 2003.
- [22] 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, 41, 2, pp. 58-69, 2003.
- [23] 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”, 人工知能学会誌, 15, 6, pp. 982-990, 2000.
- [24] 寺野隆雄: “エージェントベースモデリング: KISS 原理を超えて”, 人工知能学会誌, 18, 6, pp. 710-715, 2003.
- [25] 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, 2004(掲載予定).