

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：平成 19 年度 ～ 平成 20 年度
課題番号：19730227
研究課題名 (和文) エージェントベース・シミュレーションによる金融市場における定式化された事実の分析
研究課題名 (英文) An Agent-based Approach to the Financial Stylized Facts

研究代表者 下川哲矢 (SHIMOKAWA Tetsuya)
東京理科大学経営学部 准教授
研究者番号：30366447

研究成果の概要：

近年の金融均衡理論研究の興味を中心は、Financial stylized facts (以下では FSF と略する) をできるだけ多くを包含するような、より洗練されたモデルの構築にあるといえる。もしそのようなモデルが見つければ、金融資産価格形成に大きな役割を果たす要因が特定できるからである。しかしながら、一般に、これまでの伝統的な理論モデルで採用されてきた強い仮定を緩め、「情報の不完全性」や「投資家の限定合理性」を均衡モデルの枠内で分析するのは非常に難しい作業となる。本研究ではこのような分析上の問題に対して、エージェントベース・シミュレーションを積極的に用いることで、解析的には分析することが困難な均衡収益率の統計的性質を明らかにし、既に知られている FSF との整合性を検証したい。

(1) 「ロス回避性」および「情報の拡散」効果といった意思決定上のバイアスが、市場価格形成にどのような影響を持ち得るかを分析した。その結果、両者ともに、多くの FSF と整合性を持つことがわかった。具体的には、収益率分布の大尖度、負の歪度、分散の強い自己相関、収益率の短期の自己相関など現実の市場でもよく知られている市場価格のゆがみが、これらの意思決定バイアスから生じうることを明らかにした。

(2) さらに、オプションなどより複雑な金融資産価格形成でのバイアスと意思決定モデルの関係を追求した。

(3) また、意思決定モデルそのものの精緻化も行った。近年、プロスペクト理論型効用モデルの精緻化が進んでいる。我々は、行動学的アプローチと脳神経科学アプローチの両面から、比較的大規模な経済学実験を行い、意思決定モデルをさらに精緻化した。さらに、この意思決定モデルを均衡理論の枠組みに組み込み価格形成との関係をシミュレーションにより明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	900000	270000	1170000
20 年度	600000	180000	780000
年度			
年度			
年度			
総計	1500000	450000	1950000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・財政学・金融論

キーワード：ファイナンス、金融均衡理論

1. 研究開始当初の背景

金融資産の収益率分布に共通する一連の統計的な性質は **Financial stylized facts** (以下では **FSF** と略する) と呼ばれ、現在、ファイナンス研究における重要なベンチマークとなっている (Campbell, Lo, and Mackinlay (1996, *The Econometrics of Financial Markets*, Princeton Univ. Press))。とりわけ、伝統的な金融理論モデルでは説明できないような実証的事実は **anomalies** や **puzzles** と呼ばれ研究者の注目を集めている。80年代以降、このような統計的事実が相次いで報告され、その流れを受けて、近年の金融均衡理論研究の興味の中心は、発見された **FSF** をできるだけ多くを包含するような、より洗練されたモデルの構築にあるといえる。もしそのようなモデルが見つければ、金融資産価格形成に大きな役割を果たす要因が特定できるからである。特に、これまでの伝統的な理論モデルで採用されてきた「情報が完全な市場」における「合理的な」投資家という強い仮定を緩め、「情報の不完全性」や「投資家の限定合理性」といったより現実的な要因を均衡モデルに組み込んだ場合に、そこから導き出される市場収益率がどのような統計的な性質を持つのかを明らかにすることは、今後、大きなチャレンジになると予想される。不確実性下において、人は必ずしも合理的な行動をしないことを明らかにし、その行動様式に関して深い洞察を加えた **Kahneman** 教授らのノーベル賞受賞 (2002) は、こういった流れの上に位置づけることができる。

しかしながら、一般に、「投資家の合理性」や「市場の完全性」を均衡モデルに組み込み、さらにそのモデルの持つ均衡経路 (均衡収益率) の統計的な性質を解析的に分析するのは非常に難しい作業となる。実際、**Benartzi and Thaler**(1995, *Quarterly Journal of Economics*) や **Barberis, Huang, and Santos**(2001, *The Quarterly Journal of Economics*) はプロスペクト理論におけるロス回避性をモデルに組み込むことによって、いくつかの **puzzles** を解決した **epoch-making** な研究であるが、彼らもそのほかの重要な **FSF**、たとえば頑強な統計的事実である収益率分散の自己相関や収益率分散と取引量の交差相関といった性質を分析するには成功していない。その重要性にもかかわらず、未だ **FSF** を生み出す要因の解明が進まないのは、このような分析技術上の問題が大きい (**Barberis and Thaler**(2003,

Handbook of the Economics of Finance))。

2. 研究の目的

本研究ではこのような分析上の問題に対して、エージェントベース・シミュレーションを積極的に用いることで、解析的には分析することが困難な均衡収益率の統計的な性質を明らかにし、既に知られている **FSF** との整合性を検証したいと考える。既に我々はこのような分析アプローチを取ることで、「情報伝達の遅延」や「投資家のロス回避性」と **FSF** との関係にある程度明らかにすることに成功している。

本研究ではこれまで得られたこれらの成果を、近年大幅に研究が進んでいる2つの方向に拡張したい。第1の拡張は、検証のベンチマークに用いる **FSF** の多様化である。近年、収益率分布に関する高次のモーメント間の関係が実証的に明らかになってきている。たとえば、比較的古くから知られている収益率分散の強い正の自己相関や収益率分布の大尖度のほかに、取引量と収益率分散の交差相関、取引量や収益率分散と尖度の関係、おなじく取引量や収益率分散と歪度の関係などである。本研究では、モデルの整合性を検証するにあたり、**FSF** の範囲をこれら高次のモーメントの関係にまで拡張したい。より高次のモーメントに関する **FSF** とモデルの整合性を検証することは、当該モデルの妥当性をさらに高いレベルで検討することを意味する。また、**FSF** の実証研究上の意見対立に関して、理論分析の見地からある予測を提供することにもなる。

第2の拡張は、均衡モデルの精緻化である。近年、プロスペクト理論型効用モデルの精緻化が進んでいる。これらのモデルの妥当性を **FSF** との整合性の観点から検証したい。特に注目したいのは、プロスペクト理論のなかでも議論が分かれる参照点の形成に関するものである。参照点の形成に関しては、多くの仮説が提案されている。それぞれの仮説と **FSF** との整合性を検証できれば、市場環境において参照点の形成にどのような要因が重要な役割を果たしているのかを特定することができる。

本研究の特色及び独創的な点は、これまで解析的には難しかった均衡収益率の統計的な性質の解明に、エージェントベース・シミュレーション分析を積極的に導入する点であ

る。これによって均衡経路（均衡収益率）の統計的性質を明らかにでき、「情報の不完全性」や「限定合理性」といった要因と FSF の関係をより詳細に分析することが可能になる。この研究の意義は、学術的には、FSF を検証のベンチマークとして用いることによって、均衡価格形成に重要な影響を与えている要因を特定することにある。特に、これまでの典型的なモデルでは分析されなかった「情報の不完全性」や「限定合理性」という重要な要因が検討される。また、エージェントベースアプローチによるファイナンス研究の文脈から本研究を意義づければ、多様な FSF や限定合理性の仮説に注目することによって、従来の研究フィールドを拡張している点がこの研究の貢献として挙げられるだろう。最後に、本研究の社会的な意義としては、価格形成に重要な役割を果たす要因を特定することによって、実務で使われる資産価格付けモデルの洗練を促し、さらに資産価格の予測にも幾らかのインパクトをあたえる点を指摘できるだろう。

3. 研究の方法

先の「研究目的」でも言及したように、今後はこれまで得られた成果を「対象とする FSF の多様化」と「均衡モデルの精緻化」の2つの方向に拡張する。前者を平成 19 年度の課題、後者を 20 年度の課題とした。分析手法としては、引き続き、基本的にはこれまでと同様の手法を用いる。すなわち、市場均衡モデルのエージェントベース・シミュレーションによって均衡価格経路を導出し、その統計的性質をファイナンス統計学を用いて検証するという手法を用いる。しかしながら、下記に詳述するように、いくつかの点でこの分析手法は改善される必要がある。また、分析対象となる FSF が拡張されることに伴い、新たな統計的手法も必要となる。

4. 研究成果

論文 1 “An Agent-Based Approach to Financial Stylized Facts”では、ロス回避性を持つ trader agents を含む Grossman and Stiglitz (1980) 型の均衡モデルを構築し、Agent-based simulation によって、限定合理性の市場価格形成への影響を検証した。その結果、ロス回避性は多くの FSF s と整合的(生成しうる)ことがわかった。具体的には、(1) the Equity Premium Puzzle や the Volatility Puzzle だけでなく、(2) 大尖度の収益率分布、収益率分布の非対称性を生み出し、(3) さらに時系列的には Volatility の強い自己相関や、取引量と Volatility の時系列相

関関係を生成しうることを明らかにした。(4) また、これらの FSF s と市場流動性の関係も、理論モデルでは扱いづらいトピックの一つであるが、Agent-based simulation によって明らかにしている。すなわち、これらの傾向は、とりわけ市場参加者の少ない市場流動性の欠乏した（財の交換可能性の低い）市場において強められる傾向にある。一部の anomalies は小型株において強く現れるが、それはこのような市場流動性の影響によるものかもしれない。

論文 2 “情報伝達と資産収益率分布に関する統計的特性の関係”では、情報伝達と市場価格形成との関係を分析している。この目的のために我々は「口コミモデル (Word of Mouth model)」を構築した。これは各 trader agent が 2 次元グリッドの近傍でしか個人的に得た情報の交換を許されないというモデルである。これにより、各 trader agent は価格からのシグナルと、近傍の agent から得られた情報を持って意思決定することになる。情報伝達の速さは、情報を伝えることのできる近傍の大きさによって定義される。このモデルをもちいることにより、情報伝達過程が資産価格形成に非常に重要な影響を与えている可能性を指摘した。具体的には、収益率分布が大きな尖度を持つ、収益率分散の時系列データが正の自己相関を持つ、といった統計的事実を情報伝達の観点から導出した。分析には金融統計学の時系列分析で一般的な GARCH や EGARCH モデルを用いた。

また、学会発表 1 “Emergence of Opinion Leaders and Its Impact to Stock Prices”では、同様に「口コミモデル」を用いて、オピニオンリーダーの存在が、市場価格形成をどのようにゆがめ得るのかを検証している。ここでオピニオンリーダーは自己情報の情報伝達範囲の広い Agent として定義される。分析の結果、オピニオンリーダーが内生的に創発しうること、その時に上記の FSF s は強められること（すなわち価格がゆがむこと）が示された。

論文 3 “Quintile analysis to the word of mouth model”では、「口コミモデル」を用いて、情報伝達過程が、収益率分布の大尖度と、収益率分散の時系列データにおける正の自己相関の他

- (1) 過度の収益率 volatility を持つこと、および
- (2) 正の収益率自己相関をもちうることを分位分析を用いて検討している。この分析は論文 2 の分析結果を、別の統計手法によって再確認するものであるとともに、予測可能性分野において重要となる収益率の自己相関

を明らかにしている点が興味深いと思われる。

論文4 “An Agent-based Approach to Option Pricing Anomalies” では、論文1と同様のロス回避性を持つAgentを含んだ市場均衡モデルから、オプションプライスのアノマリーであるインプライドボラティリティ・スマイル（あるいはスキュー）が導出可能であることを明らかにした。すなわちオプション市場の価格形成とプロスペクト理論流の限定合理性の関係を明らかにしている。

さらに、このゆがみは市場流動性によって強められることも示されている。これらの結果は、agent-basedの市場シミュレーションと、日経225オプションを用いた実証研究の両面から示されている。

論文5 “Augmented Reinforcement Learning and Investment Decision Making” および

論文6 “Neural Representation of Preference Relationships” では、意思決定モデルの精緻化に取り組んだ。具体的には、投資等の意思決定に関する実験を比較的大規模に行い、その観察データを3層パーセプトロンのベイズ推定を用いて意思決定モデル化している。論文5では行動実験を行い、論文6では脳神経科学の観点から実験を行った。論文5の実験の結果、行動科学的なアプローチから得られた意思決定モデルは、既存の限定合理性に関する多くの観察結果と共通の性質をもち、リスク回避性の損益非対称性や、参照点依存性、さらに資産効果といった、よく知られたいくつかの意思決定バイアスを表現するものであった。

論文7 “Evolutional Pressure and Decision Making Biases under the Risk” では

このような行動実験から導かれた意思決定モデルが、淘汰プレッシャーの存在する市場環境において、はたして安定的な戦略となるか否かを、agent-based evolutionary simulationsによって検証した。シミュレーション結果は、

(1) 上記の限定合理的な意思決定モデルが進化論的な安定戦略となること、

(2) 限定合理的な主体が競争市場においても生き残ること、を示唆している。これらの結果は、伝統的な経済学において、これまで合理性の根拠として採用されてきた進化論的な説明に対する、一つのアンチテーゼを与えるとともに、よく知られている多くの意思決定バイアスが、たった一つの評価基準から、進化論的に導き出される可能性を示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

論文1

Tetsuya Shimokawa, Kyoko Suzuki, Tadanobu Misawa, “An Agent-Based Approach to Financial Stylized Facts”, 査読有 *Physica A*, 379, 2007, 207-225

論文2

参沢匡将, 鈴木恭子, 下川哲矢 「情報伝達と資産収益率分布に関する統計的特性との関係」査読有 *人工知能学会論文誌* 22, 2007, 256-262

論文3

Tadanobu Misawa, Kyoko Suzuki, Yoshitaka Okano, Tetsuya Shimokawa “Quintile analysis to the word of mouth model” 査読有 *International Journal of Computational Science* 2, 2008, 218-232

論文4

Kyoko Suzuki, Tetsuya Shimokawa, and Tadanobu Misawa “An Agent-based Approach to Option Pricing Anomalies” 査読有 *The IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 13, 2009, 19-32.

論文5

Tetsuya Shimokawa, Kyoko Suzuki, Tadanobu Misawa “Augmented Reinforcement Learning and Investment Decision Making” 査読有 *Neurocomputing* 2009 accepted, forthcoming

論文6

Tetsuya Shimokawa, Tadanobu Misawa, Kyoko Suzuki “Neural Representation of Preference Relationships” 査読有 *NeuroReport*, 19(16), 2008, 1557-1561

論文7

Kanta Kinoshita, Tetsuya Shimokawa, Tadanobu Misawa, Yoshitaka Okano, Kyoko Suzuki “Evolutional Pressure and Decision Making Biases under the Risk” 査読有, *Proc. of the 9th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems*. 2008, page11

[学会発表] (計5件)

発表1

Tadanobu Misawa, Tetsuya Shimokawa, Kyoko Suzuki Emergence of Opinion Leaders and Its Impact to Stock Prices the 8th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management, 2007. 12. 10, Taiwan

発表 2

鈴木恭子 下川哲矢 参沢匡将「テキストデータの株価予測への応用」
平成 19 年 電気関係学会関西支部連合大会

発表 3

木下寛大 下川哲矢 参沢匡将 岡野芳隆「意思決定バイアスの進化論的アプローチ」
情報処理学会第 70 回全国大会 2008. 3. 14 日本・筑波大学

発表 4

Tadanobu Misawa, Tetsuya Shimokawa, Kyoko Suzuki Emergence of Opinion Leaders and Its Impact to Stock Prices The 9th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management, 2007. 12. 5, Bali

発表 5

Tadanobu Misawa, Tetsuya Shimokawa, Yoshitaka Okano, Kyoko Suzuki A Study on Investment Behavior in Sequential Investment Task The 9th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems. 2007. 12. 5, Bali

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)
特になし

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下川哲矢 (SHIMOKAWA Tetsuya)

東京理科大学経営学部 准教授

研究者番号： 30366447

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：