

## 論文の内容の要旨

論文題目 投機ゲームによるFinancial Stylized Factsの  
創発メカニズムの探索  
氏 名 片平 啓

金融資産における価格変動の時系列データ（株価や外国為替など）には、stylized facts（定型化された事実）と総称されるいくつかの定量的・定性的性質が存在する。各stylized factは、半世紀以上に渡る市場データの実証研究により明らかになったもので、Cont（2001）の報告によれば、volatility clustering（ボラティリティの大きい箇所がまとまる）や heavy tails（価格リターンの確率分布の裾野がガウス分布よりも厚くなる）など、少なくとも11個の性質が知られている。これらの統計的特性は、取引市場の違いや金融商品の種類に依らず観察されており、金融市場全体に共通する重要な特徴的現象として位置づけられている。

金融市場のstylized factsについては、その普遍的な創発メカニズムを理解しようと、主に2つの手法によって研究がなされてきた。1つは、金融工学でよく利用されてきた、確率過程モデルによるマクロレベルでのアプローチである。価格変動を説明する代表的な確率過程モデルとしては、ARCHやGARCHモデルなどがある。もう一方は、経済物理学において発展してきた、エージェントベースモデルによるミクロレベルからのアプローチである。この方法では、複数のエージェントがトレーダーとして振る舞う人工的な市場をコンピューター上に用意し、トレーダーの意思決定といったミクロレベルの構造から、マクロレベルで見られるstylized factsの創発メカニズムの解明を行う。

金融市場は、フィードバックや相互作用が様々なレベルで働く非常に複雑なシステムであり、観察されるstylized factsの発生過程は、基本的にブラックボックスである。よって、経済物理学の分野では、市場の価格変動を再現・分析する際、変動に関わる本質的な要素のみを抽出した「トイモデル」と呼ばれるシンプルなエージェントベースモデルが用いられる。代表的な金融市場のトイモデルには、物理モデルを応用した市場型のパーコレーションモデルやイジングモデル、あるいは、エージェントの学習機構を内包したグランドカノニカル少数派ゲームなどがある。これらのトイモデルを使った一連の先行研究は、他人の行動に同調する「群衆行動」によってvolatility clusteringな

どの基本的な(低次の) stylized factsが創発することを明らかにしており、現在では、この群衆行動の原理はほぼ定説化されている。

しかしながら、経済物理学の歴史はまだ浅く、stylized factsの創発原理に関しては、多くの疑問点が残っている。たとえば、群衆行動による説明シナリオは合理的で尤もらしいが、現実市場での検証はほぼ不可能であり、他のメカニズムの存在が疑われる。事実、先行モデルでは、エージェントの取引行動が過度に抽象化されているきらいがあり、他の創発因子を見逃している可能性がある。

また、取引に利用される情報には、市場で内生される情報（株価など）と外生される情報（政治的発言など）があるが、stylized factsに対する両者の重要性も分かっていない。市場の動きとほぼ独立な外生情報は通常ランダムと見なせるが、市場の未来の動きにフィードバックされる内生情報にはある種の構造（パターン）が潜んでいる可能性があり、これらの構造の違いがstylized factsの創発に影響を与えているかもしれない。

さらに、stylized factsの自発性についても未解明のままである。Stylized factsは、市場の種類や歴史の長さ、制度の違いなどに依存せず、普遍的に観察される現象であり、モデルとして考えたとき、調整が必要なパラメータ数は極めて少ない筈である。つまり、市場には何らかの自発的な調整原理が働いている可能性があるが、ほとんどの先行モデルでは、外部から人為的にパラメータを調整しなければならない。

以上を踏まえ、本研究では、エージェントベースの新型トイモデル「投機ゲーム」を構築・応用し、金融市場で見られる特徴的現象「stylized facts」の背後で働く様々なメカニズムについて、ボトムアップ分析を行った。本論文の第I部、第II部、ならびに第III部のシミュレーション研究の結果をまとめると、次のようになる。

## 第I部 群衆行動以外の新しい創発原理の解明

先行の市場トイモデルよりも抽象度を幾分緩和した投機ゲームを構築することで、往復取引を通じたトレーダー間の異質的資本形成が、volatility clusteringといった低次のstylized factsの生成に寄与することを明らかにした。この見つかったメカニズムは、部分的ではあるが、現実市場のデータからも支持される。また、投機ゲームでは、stylized factsの再現性能を大幅に向上することに成功した。

## 第II部 内生情報における時間構造の発見とその本質の解明

投機ゲームの履歴の性質を調べることによって、市場で生成される情報には、特異的な時間構造（パターン）が存在することを明らかにした。同様の時間構造は、現実市場の時系列データにおいても、タイムスケールが小さい場合に見られる。また、このシグナルパターンの本質は、履歴での予測可能性であることも解明した。加えて、内生情報はモデル次第で重要な構造になり得るが、低次のstylized factsの創発に対しては必須ではないことが分かった。

### 第III部 Stylized factsの自発性に対するS0qC寄与の可能性の提示

BTW砂山モデルを参考に投機ゲームを改良することで, stylized factsの再現性能を維持したまま, プレーヤーの数が自動で調整される市場モデル「自己組織化投機ゲーム」を構築することに成功した. また, 自己組織化投機ゲームの価格変動や資本調整に関する分布には冪乗則が見られ, システムが準臨界にあることも明らかにした. さらに, 市場に対して流入・流出する資本量やプレーヤー数が時間平均的に均衡するため, 市場規模が定まることも解明した. この結果は, stylized factsの創発におけるS0qC (self-organized quasi-criticality: 自己組織化準臨界) の関与を示唆する.