

称号及び氏名 博士（工学） 秋元 圭人

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 31 日

論文名 「人工市場 U-Mart システムの構築および市場解析への応用」

論文審査委員 主査 松本 啓之亮

副査 市橋 秀友

副査 戸出 英樹

副査 森 直樹

論文要旨

近年、世界のグローバル化を背景として金融市場は年々取引量が増大し、経済分野のみならず社会全体に影響を与える重要な存在となっている。しかし、市場の分析は工学、経済学、心理学、金融工学などの多分野の技術が不可欠な難問であり、市場の完全なモデル化はなされておらず、計算機上に市場を再現し、数値実験により知見を得ることは困難とされてきた。また、インターネット証券会社の一般化や、株式取引を教育の一環として捉える流れも社会における重要な変化である。しかし、これまで十分な精度を持つ市場シミュレータが存在せず、株式投資や具体的な取引に関する教育のコースウェアは不十分であった。

一方、従来の経済理論では扱うことが困難であった市場参加者の個性や矛盾する思考といった要因を定量的に組み込むことで、現実的な市場モデルの構築を目指すアプローチとして人工市場と呼ばれる手法が提唱されており、計算機による市場分析の可能性に期待が集まっている。

人工市場研究は市場そのものについて制度の影響や安定性を調べる場合と優れた投資戦略を持つエージェントを開発する場合の2つに大別される。これまでの人工市場研究では市場の詳細な部分を実装せずに大域的な特徴量のみを用いて解析するか、簡略化されたモデルで市場を表す研究がほとんどであった。市場への制度導入について現実的な実験をすることや、現実市場でも使用可能な取引エージェントを得ることは困難であり、人工市場研究の大きな問題となってきた。現実市場で使用可能な取引エージェントの獲得としてカブロボコンテストが存在するが、カブロボコンテストは過去の株式時系列データを用いた仮想取引を前提としており、注文は1日に2回のみといった制約や板を十分には考慮していないといった問題がある。そのため、市場制度の検討や日中に取引を繰り返すデイトレードのようなリアルタイムの取引といった重要な研究課題に適用することはできない。

市場制度の検討やリアルタイム取引に対応した人工市場研究として U-Mart プロジェクトがある。U-Mart プロジェクトではエージェントベースドシミュレーション(Agent Based Simulation:

ABS)に基づく人工市場 U-Mart システムを提供している。ABS はエージェントと呼ばれる自律的に行動する主体やエージェントが活動する環境をマイクロレベルで作りこみ、複数のエージェントが環境中で行動することで生み出されるマクロ現象を観測することによって対象の知見を得る手法である。市場などこれまで数理モデル化ができずシミュレーションが困難であった分野で注目されている。しかしながら、これまでの代表的な U-Mart システムは価格決定機構が板寄せ方式のみであり、現実市場で一般的に用いられるザラバ方式に対応した U-Mart システムも部分的には構築されたが、システムの安定性や拡張性に問題があり公式公開はされていない。また、従来の U-Mart システムはすべてのバージョンが単一銘柄の先物取引に特化しており、一般的な株式市場などを研究対象にできないといった問題もあった。

もうひとつの重要な問題として、ABS に対するヤッコー批判と呼ばれる問題に対処する必要がある。ヤッコー批判とは、ABS 研究の結果は膨大なパラメータチューニングを繰り返してシミュレーションをやってみたらコーナりましたという以上の内容はないのではないか？という厳しい意見のことである。そこで、観測したい事象の境界条件を考察することや乱数系列による結果の安定性の確認などによりヤッコー批判を考慮して研究を進める。また、ABS の要件の観点から U-Mart はヤッコー批判に対処可能な形で研究可能なシステムであることを示す。

以上の点を背景として、本論文では以下のことを目的とする。まず、U-Mart システムを再設計し、従来の U-Mart システムの問題点を解決し、現物市場など先物以外の市場や複数銘柄取引に対応した U-Mart システム version 4.0 (U-Mart 4.0)を構築する。次に、U-Mart 4.0 を現物市場研究へ応用することを目指し、U-Mart 4.0 上に現実市場を再現する手法を提案する。U-Mart における ABS の要件として忠実性、透過性、再現性、追跡性の 4 点を定義し、U-Mart 4.0 がこの 4 点を高いレベルで実現していることを示す。これにより、数理モデルと同等以上のシミュレーション環境を提供可能で、ヤッコー批判に対処可能な形で研究可能であることを示し、具体的に ABS により得られた長期間の経済時系列をベキ性の観点から解析する。

以下に本論文の構成を述べる。まず 2 章では複数銘柄や複数市場に対応した U-Mart システムの構築について述べた。従来の U-Mart システムは ABS に基づく人工市場として高い評価を得ていたが、市場制度と価格決定機構が密接に関係し新規市場制度の導入が困難である点や、板寄せにおいて価格の連続性が保証されていない点、GUI のユーザビリティが低い点などの問題点があった。これら問題点を解決するために新規にサーバを設計し、U-Mart システム version 3.0 (U-Mart 3.0)を構築した。U-Mart 3.0 は板寄せやザラバ、市場制度を組合せて取引処理モジュールを構築することで、一般的な市場取引システムに対応可能な人工市場システムとなった。しかしながら、U-Mart 3.0 は GUI やマシンエージェントのインターフェイスが先物取引に特化していたため、システムの柔軟性を阻害していた点や、単一の銘柄しか取引処理できない点、単一の銘柄や取引方法でしか決済処理できない点などの問題点を抱えていた。そこで、取引処理モジュールなど U-Mart 3.0 で評価されたモジュールを引き継いだ上で、サーバなど処理システムだけでなくユーザインタフェースといったものを含めた全体を新規に設計し、U-Mart システム version 4.0 (U-Mart 4.0)を構築した。U-Mart 4.0 は複数銘柄や複数市場に対応した汎用的な人工市場システムとなった。また、相関を持たせた複数銘柄取引と単一銘柄取引の実験し、相関を持たせた銘柄の方が価格変動は小さく市場は安定化することが確かめられた。このような実験は従来の U-Mart システムでは不可能であり、現実で実験するのも困難であるため、U-Mart 4.0 の有効性を示すことができた。

3 章では、U-Mart システム上への現実市場の再現について述べた。インターネット証券会社の台頭などにより市場取引は身近なものとなり、市場取引に対する教育が重要なものとなっているが、従来の市場シミュレータは教育用コースウェアとしては不十分であった。U-Mart 4.0 は実際に注文を収集して約定処理をしており、現実的な取引体験が可能である。しかしながら、ABS であるためエージェントが取引状況を作り出しており、現実との関連性が希薄であるという課題がある。筆者が所属する研究室において現実市場研究のためにデイトレードエージェントフレームワーク (Day Trade Agent Framework: DTAF) が提案された。DTAF により現実市場のリアルタ

イムデータの取得や取得したデータを用いて板情報を含めた日中の情報を再現した株式取引シミュレーション環境の提供が可能となっており、進化型計算を用いた株式取引戦略の獲得などが研究されている。そこで、U-Mart と DTAF の連携による U-Mart の現実市場研究への応用や、U-Mart の教育用コースウェアとしての充実を考慮し、DTAF が取得した現実市場のリアルタイムデータを基に、板情報や約定状況を含めた日中の取引状況を U-Mart 上に再現する手法を提案した。提案手法により構築したデータを用いて現実市場を再現するマシンエージェントにより、U-Mart 4.0 上に現実市場を再現する実験をした。価格時系列は完全に一致し、出来高や板には多少の誤差があったが、十分な精度で現実市場を再現できることを示した。また、このシステムを用いて経済学で重要とされている板ダイナミクスの解析に応用できることを示した。

4 章では、U-Mart 4.0 を用いた市場の ABS に対する経済時系列解析について述べた。市場分析は社会の安定の面から重要な課題となっているが、市場分析のために現実市場で実験することはリスクの観点から事実上不可能である。そこで、人工市場によるシミュレーションに注目が集まっている。U-Mart 4.0 は汎用性が高い人工市場であり、経済学において重要な現象の再現や市場のテストベットとしての活用など経済学分野への研究の寄与が求められている。そこで、本論文では現実的な状況を生み出すため、エージェントの組成を変化させていくことでどのような変化が見られるかを経済時系列の側面から実験した。本章では単純なエージェントの組成比を変更することによるマクロでの変化を観測し、実験の全試行における結果の比較や境界条件の考察をすることによりヤッコ批判に対処可能な形で研究した。今回は、現実市場における経済時系列において特に重要と考えられている価格変動の持つべき性と拡散係数について実験した。ランダムエージェント 5 体にトレンドエージェントを追加していき、3 体になったときに価格変動にべき性を見出せる試行が現れたことや、拡散係数の時間変化によりべき性が現れる時はランダムウォークから大きく乖離することを示した。

最後に、5 章で本論文での結果について統括し、今後の課題を述べた。

審査結果の要旨

本論文では、先物取引を対象とする人工市場研究のツールである U-Mart システムを再設計して従来の問題点を解決し、現物市場や複数銘柄取引に対応した U-Mart システム version 4.0 (U-Mart 4.0) を構築している。具体的には、U-Mart 4.0 上に現実市場を再現する手法を提案し、シミュレーションにより得られた長期間の経済時系列をべき性の観点から解析している。具体的なシステムの試作を通して得られた知見を考察しており、以下のような成果を得ている。

(1) 従来の U-Mart システムの問題点を解決するため、新規に取引システムや決済処理、ネットワーク、GUIなどを設計し、モジュール性を高めてシステムの柔軟性、拡張性を向上させた U-Mart 4.0 を構築した。先物取引だけでなく現物取引にも対応し、複数銘柄、複数市場取引が可能な汎用的な人工市場システムとなった。また U-Mart プロジェクトの大規模実験において使用され、運用実績をあげ、ユーザビリティに対しても良好な評価を得た。

(2) U-Mart 4.0 は実際に注文を収集して約定処理をしており、現実的な取引体験が可能であるが、エージェントが取引状況を作り出しており、現実との関連性が希薄であるという課題がある。このため現実市場を再現するマシンエージェントにより、U-Mart 4.0 上に現実市場を再現する実験を行い、十分な精度で現実市場を再現できることを示した。また、経済学で重要とされる板ダイナミクスの解析にもこのシステムが応用できることを確認した。

(3) 市場分析は重要な課題であるが、現実市場で実験することはリスクの観点から事実上不可能

であるため、人工市場によるシミュレーションに注目が集まっている。そこで現実的な状況を生み出すため、エージェントの組成を変化させて市場にどのような変化が見られるか実験を行い、生成した経済時系列を価格変動の持つベキ性と拡散係数の観点から解析し、トレンドエージェントを加えることでベキ性を有する市場の再現に成功し、拡散係数よりベキ性を生み出すためにランダムウォークでは統計的にあり得ない変動が必要であることを示した。

以上の研究成果は、情報工学分野における人工市場システムの構築と市場解析の発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。学位論文審査委員会は、本論文の審査ならびに最終試験の結果から、博士(工学)の学位を授与することを適当と認める。