

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01188

研究課題名(和文) 社会シミュレーションによる安定性と流動性を備えた次世代通貨・金融システムの提案

研究課題名(英文) Proposal of Next Generation Financial System with Market Stability and Liquidity Using Social Simulation

研究代表者

松井 啓之 (MATSUI, HIROYUKI)

京都大学・経営管理大学院・教授

研究者番号：90272682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、1)人工市場システムU-MartシステムVer.4を用い、超高速取引が日常化した金融市場の再現と、市場シミュレーションを実施する際の評価体系を整えた。2)U-Mart Toolkit化により、次世代金融システムを分析・評価可能な汎用市場システムへ発展させた。3)U-Mart Toolkitを用いた市場シミュレーションで、システムリスクのクラッシュメカニズムを再現させ、その詳細分析を行った。  
なお、U-Mart Toolkitを積極的に活用した新世代の金融システムに関するシミュレーション実験については十分な成果を出すことが出来なかったことから、今後も継続して研究を進める予定である。

研究成果の概要(英文)：In this research, 1)we have reproduced the High Frequency Trading finance market using the artificial market system U-Mart System Ver.4. We also built an evaluation system for conducting market simulation. 2)We developed the U-Mart toolkit that is a general-purpose market system and can analyze and evaluate the next generation financial system. 3)It has made the toolkit possible to reproduce and analyze the systemic risk crash mechanism. However, we could not produce sufficient results for simulation experiments on the new generation of financial systems that actively utilized the U - Mart Toolkit. Therefore, we plan to continue research further in the future.

研究分野：計画理論,ゲーミング/マルチエージェント・シミュレーション

キーワード：社会シミュレーション 人工市場 エージェントベースドシミュレーション システムリスク U-Mart

### 1. 研究開始当初の背景

経済のグローバル化と IT 化の中で通貨や金融システムでは、1) 金融機関や証券市場などにおいて世界規模の巨大化が進んでいること、2) より有利な取引環境を提供するために電子化による高速化が進んでいること、3) 通貨発行の主体として国民国家以外の選択肢が模索されていること、といった動向が見受けられる。

グローバル化した金融市場の持つシステムのリスク(システムリスク)が世界経済の脅威となっていることについては2007年の米国サブプライプローン問題を発したリーマンショックが世界経済に深刻な影響を与えたことは記憶に新しい。他方、IT化により現代の証券市場取引はミリ秒を争う状況となっており、そこではプログラム取引など取引そのものを自動化することが行われている。しかしながら、このような市場ではフラッシュ・クラッシュと呼ばれる極めて短時間で発生する価格の乱高下が観察されている。これがグローバルな経済危機の引き金となるリスクも内包しており、次世代の市場システムの設計が求められている。

また、通貨の発行主体は近代では国民国家・中央銀行であったが、企業が発行するポイントなど企業発行通貨が一定の位置を占めるようになってきている。そこでは、企業活動のグローバルな競争を背景に顧客獲得を巡って同業種間で競争があるとともに、IT化などを武器として異業種間では連携が進むという現象がみられ、グローバルな企業連携の巨大化と企業連携間の競争が進んでいる。このことは一方で企業がより大きな連携と、より顧客に有利なポイント制度を指向する誘因をもつとともに、他方で発行残高のある企業の倒産などのより、連携企業への債務移行に伴う倒産連鎖などシステムリスクを拡大させる懸念があり、リスクの評価に基づく企業発行通貨の在り方が問われている。申請者らは、このような次世代の通貨や金融システムを考える上での要件としてシステムリスクを回避できる安定性と取引機会を保障する流動性の両立に着目し、複雑な社会的状況への接近法として社会シミュレーションを用いて具体的な課題に取り組む。

### 2. 研究の目的

本課題では、グローバル化と IT 化の中で次世代の通貨・金融システムの要件として、システムリスクを回避できる安定性と取引の可能性としての流動性の両立が求められることに着目する。そして、具体的課題として、1) 超高速取引が現実のものとなっている証券市場や外国為替市場を適切に制御する方策、2) 同業種間競争と異業種間連携が進むポイント制などの企業発行通貨を含め、企業倒産連鎖などのシステムリスクへの対応について明らかにすること

で、次世代通貨・金融システムのあり方を提案することを目的とする。

### 3. 研究の方法

経済のグローバル化と IT 化が進む中で通貨や金融システムも一方でグローバルな巨大化が、他方で電子化による取引の高速化が進んでおり、現行のシステムでは種々の課題を抱えている。特に、超高速取引が現実のものとなっている証券市場や外国為替市場を適切に制御する方策については、明らかになっていない。そこで、本課題は、金融市場がシステムとして持つ大規模な価格暴落などのシステムリスクについて、実際の証券市場の取引制度やそこでの取引者の取引戦略などを考慮した人工市場システムを構築し、大規模なコンピュータシミュレーションによる分析を行い、次世代通貨・金融システムについて検討を行う。

さらに、コンピュータシミュレーションと並行してゲーミングシミュレーションによる取引実験を実施し、人間の行動を観察することで実際に人間が取引を行う際に生起する問題を洗い出し、コンピュータシミュレーションの分析を補完する。なお、ゲーミングシミュレーション手法については、ヨーロッパにおけるゲーミングシミュレーション研究の中核であるオランダ・デルフト工科大学の gamelab (Dr. rer.soc. Heide k. Lukosch 他) と協力して研究を進める。

### 4. 研究成果

(1) 本研究では、発注のキャンセルを含む「ざら場取引」を可能とする唯一の人工市場システムである U-Mart システム Ver.4 を用いることで、超高速取引市場に関する既存研究における問題点を整理した上で、市場を評価する統一基準化の必要性を示した。その上で、人工市場の分野では、あらかじめモデルを仮定し生成される株価時系列の性質を分析する方法については研究が進んでいる一方、逆問題といえる株価時系列からエージェントを推定する分析方法についてはあまり研究されていないことから、株価時系列の解析を行う際に使用するエージェントに対して、様々な時系列に対応ができる標準エージェントセットを提案した。

また、デイトレード戦略の性能を数値実験によって評価することができるデイトレードエージェントフレームワーク(DTAF)を用い、投資戦略の進化、学習に関して遺伝的プログラミングを用いた手法にサポートベクターマシンを導入し取引日の特徴を学習することにより、より利益を獲得できる戦略の構築を行った。

さらに、現実社会における一般的な取引戦略であるデイトレーディングを人工知能の技術を用いエージェントに学習させることを実現することで、大規模市場シミュレーションを実施する仕組みを整えた。

(2) U-Mart システムを、汎用的な市場シミュレーションとし活用可能とすると共に、スーパーコンピュータ等で大規模シミュレーションを容易に実施出来るように、U-Mart システム Ver.4 のモジュール化を進め、U-Mart Toolkit として再整備を行った。

U-Mart システムは、本格的な市場制度や取引アルゴリズムの研究用ツールとして、また経済学および工学分野における教育ツールとして高く評価されてきた。しかし、板寄せモジュールや約定判定モジュールなど U-Mart システムの一部を再利用することは想定されておらず、U-Mart 内の各モジュールが密な関係にあり、切り離して独立した部品として用いることが困難であるという設計上の理由に依る部分が大きかった。

そこで U-Mart システムを、人工先物市場だけではなく、汎用市場シミュレータとして応用することを可能にし、さらに、スーパーコンピュータ等で大規模なシミュレーションを容易に実行可能とするため、U-Mart システムが持つ優れた部品を独立化させた U-Mart Toolkit 化を行った。

U-Mart Toolkit は、オブジェクト指向設計に基づき、各モジュール間を疎な関係に修正し、U-Mart システムを汎用市場シミュレータとして利用可能とする。U-Mart Toolkit は、Java で実装されており、必要なモジュールのオブジェクトを生成して、汎用的に利用できるようになっている。

実際に、「電力取引札策定支援技術(その他)」において、U-Mart Toolkit を用いた市場シミュレータが検証・評価に活用され、本 toolkit の汎用性について効果が認められている。

(3) 2008 年に発生したリーマンショックの原因としてシステムリスクが注目され、その発生メカニズムや抑制策について多くの研究がなされた中で Agent Based Simulation (ABM) が用いられるものもあった。ABM を用いて証券市場内でシステムリスクがクラッシュを引き起こす原因を究明し政策評価を行ったことで評価されている Thurner, Stefan : "Systemic Financial Risk: Agent Based Models to Understand the Leverage Cycle on National Scales and Its Consequences." について、その問題点を解消した市場シミュレーションモデルを U-Mart Toolkit を用い開発した。

Thurner モデルは、ノイズトレーダーとヘッジ・ファンド、そのヘッジ・ファンドに資金提供する銀行の三種類のエージェントからなる市場シミュレーションを行った。その結果、システムリスクが顕在化して生じるクラッシュ(暴落)が、ミスプライシングが持続するプロセスでヘッジ・ファンドが大きなレバレッジをかけたポジションを取り、さらにミスプライシングが拡大する局

面で、マージンコールが生じてポジションの解消が余儀なくされ、それがもたらす更なる価格下落により破産が生じ、それが連鎖する、というプロセスを経ることを明らかにしたと報告している。また、こうしたクラッシュを防ぐためにレバレッジを間接的に抑制させる方策(ボラティリティによりレバレッジを制御する方法、銀行の自己資本比率を規制するパーゼル規制)が、中程度のレバレッジ方針のヘッジ・ファンドの破産を減らす効果があるものの、高いレバレッジ方針のヘッジ・ファンドからなる市場では、むしろ破産を増やす効果があると報告している。

Thurner モデルは、GARCH プロセスに基いてランダムにミスプライシングするノイズトレーダーと、本源的価値(fundamental value)を知っていて、ノイズトレーダーの需要に応じて与えられたレバレッジの範囲で注文を出すヘッジ・ファンド、そのヘッジ・ファンドに資金を提供する銀行からなる。しかしながら銀行はヘッジ・ファンドの値洗いとパフォーマンスに応じた資産の増減を担うもので明示的なエージェントとしては登場しない。

Thurner モデルは、従来の経済学のモデルをベースに置いており、本源的価値は1で固定され、各時刻で、外生的に与えられた1,000枚の供給に対し、ノイズトレーダーとヘッジ・ファンドが、それぞれ需要し、その需給が合う価格と数量が決定される。ノイズトレーダー、ヘッジ・ファンドともに買いポジションしか持たず、売りポジションを持つ主体は存在していない。また、ポジションの変化も他のトレーダーとの間のシェアの変化にのみ依拠するものとなっている。同時に、価格変動に伴う値洗いについても資金の授受が明示的になされていない。結果的に Thurner モデルは抽象度が高いため、その成果であるシステムリスクが増大する過程や、それが顕在化する過程の解明が不十分であった。

そこで、U-Mart Toolkit を用いてノイズトレーダーとヘッジ・ファンドがともに証券市場に注文を出し、実際の証券市場で行われている「板寄せ」によって売買を成立させる形で Thurner モデルを再現した。本源的価値とミスプライシングの関係もより現実に近づけるため先物市場を用いた。外生的に GARCH プロセスに従って与えられる現物価格を基に裁定取引を行うヘッジ・ファンドと、現物価格を知らずに先物価格のみから注文を出すノイズトレーダーからなる市場を構成した。この市場では、ノイズトレーダーもヘッジ・ファンドも売り買い両方の注文を出し、売り買いどちらのポジションも持てる。日々の値洗いも実際の先物市場と同じように行うなど現実に近い形で再現できた。

その結果、Thurner モデルにおいて抽象的でメカニズムが不明であったクラッシュメカニズム詳細について分析を可能とし、ヘッ

ジファンドの資産増大とクラッシュの関係  
を明らかにした。

以上まとめると、本研究では、人工市場システム U-Mart システム Ver.4 を用い、超高速取引が日常化した金融市場の再現と、金融市場シミュレーションを実施する際に必要とされる分析・評価体系を整えた。そして、U-Mart Toolkit 化により、次世代金融システムを分析・評価可能な汎用市場システムへ発展させた上で、システミックリスクのクラッシュメカニズムの再現を実現し、その詳細な分析を可能とした。なお、U-Mart Toolkit を積極的に活用した新世代の金融システムに関するゲーミングおよびシミュレーション実験については十分な成果を出すことが出来なかったことから、今後継続して研究を進める予定である。

#### 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0件)

[学会発表](計15件)

住田和也, 松本啓之亮, 森直樹, 人工株式市場分析のための標準エージェントセットに関する一考察, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015

三浦秀之, 森直樹, 松本啓之亮, 進化的な株式戦略獲得法へのサポートベクターマシンの導入, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015

渡邊順一郎, 三浦秀之, 森直樹, 松本啓之亮, 遺伝的プログラミングを用いた株式取引における買い戦略と売り戦略の共進化, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2016  
渡邊順一郎, 三浦秀之, 森直樹, 松本啓之亮, デイトレード戦略獲得のための遺伝的プログラミングの応用, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016

住田和也, 松本啓之亮, 森直樹, 株価データの解析における DeepLearning の導入, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016

住田和也, 松本啓之亮, 森直樹, 株式市場における人工市場と現実市場の類似度指標についての考察, 電気学会 C 部門大会, 2016

渡邊順一郎, 森直樹, 松本啓之亮, 遺伝的プログラミングを導入した株式取引エージェントの応用, 電気学会 C 部門大会, 2016

越田恭平, 森直樹, 松本啓之亮, 機械学習を用いた株価の変動予測における有効な指標の選別, 平成28年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2017

渡邊順一郎, 森大典, 森直樹, 松本啓之亮, 遺伝的プログラミングを用いたデイトレード戦略獲得手法の拡張, 平成28年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, 2017

渡邊順一郎, 森大典, 森直樹, 松本啓之亮, 深層強化学習を用いた株式取引エージェントの進化, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2017

越田恭平, 森直樹, 松本啓之亮, LSTM を用いた株価変動予測手法の提案, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2017

渡邊順一郎, 森大典, 森直樹, 松本啓之亮, 機械学習を用いた株式取引エージェントの進化, 電気学会システム研究会, 2017

MATSUI, Hiroyuki, Case study on using gaming in the field of economics education in Japan - The U-Mart system and "Mars message", ThaiSim 2017 Conference (招待講演)(国際学会)

小野功, 森直樹, 中島義裕, U-Mart Toolkit: 人工先物市場から汎用市場シミュレータへ, 第15回社会システム部会 & 第59回システム工学部会合同研究会, 2018

中島義裕, 小野功, 森直樹, 注文駆動型市場上のシステミック・リスク・シミュレーション, 第15回社会システム部会 & 第59回システム工学部会合同研究会, 2018

[図書](計1件)

Yoshinori Shiozawa, Hajime Kita, Isao Ono, Hiroshi Sato, Takao Terano, Naoki Mori, Yoshihiro Nakajima, Hiroyuki Matsui, Ryo Ohyama, Kazuhisa Taniguchi, "Realistic Simulation of Financial Markets - Analyzing Market Behaviors by the Third Mode of Science", Springer Japan, 2016

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

U-Mart 研究会 Web ページ  
<http://www.u-mart.org/>

発電事業者・小売電気事業者の収益の向上と安定化に貢献  
電力取引入札策定支援技術を開発  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2018/pdf/0125.pdf>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松井啓之 (MATSUYU, Hiroyuki)  
京都大学・大学院経営管理研究部・教授  
研究者番号：90272682

### (2) 研究分担者

小野功 (ONO, Isao)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・  
准教授  
研究者番号：00304551

森直樹 (MORI, Naoki)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：90295717

### (3) 連携研究者

喜多一 (KITA, Hajime)  
京都大学・学術メディアセンター・教授  
研究者番号：20195241

谷口和久 (TANIGUCHI, Kazuhisa)  
近畿大学・経済学部・教授  
研究者番号：80268242

中島義裕 (NAKAJIMA, Yoshihiro)  
大阪市立大学・大学院経済学研究科・教授  
研究者番号：40336798