

U-Mart: 経済学と工学をエージェントが結ぶ

喜多一 出口弘 寺野隆雄

Abstract: Agent-based simulation is one of promising approaches to understand and design complex socio-economical systems. U-Mart is a research program of providing economists and computer scientists with an agent-based simulation system of a financial market as a test bed for interdisciplinary study. This paper overviews aims, activities, achievements and future plan of the U-Mart program.

1 はじめに

インターネットに代表される情報通信革命のもとで社会経済システムのデザイン論として工学と経済学は互いに領域を重ねつつあり、システム工学、情報工学などの工学と経済学などの社会科学の学際的な交流が重要となっている。そこでは複雑な社会経済システムを研究対象とすることから、従来の数理モデルを用いた演繹的、理論的アプローチには限界があり、ブレークスルーのための新しいアプローチが求められる。

その一つの可能性がエージェントシミュレーションである。特に市場についてエージェントシミュレーションによる実験的研究は人工市場と呼ばれる [6]。こ

こでは取引エージェントの定型行動や学習、適応行動など従来の理論では扱えなかったエージェントの行動をシミュレーションし、それがいかなる価格形成をもたらすのかを実験的に考察する。また、人工市場や実市場に見られる複雑な現象への理論的接近として、統計物理学における相転移や臨界現象などの視点から研究を進める経済物理学 [7] とも交叉して興味深い研究が展開されている。

しかしながら人工市場の研究方法には実際の市場を模擬するのに十分な複雑さと計算機実験や分析が可能な単純さとを合わせ持つモデルの設計は必ずしも容易ではない。また理論モデルに比べ複雑にならざるを得ない実験設定やその結果について研究者間で効果的な知識の共有をはかる必要もある。このような課題に対して我々は工学と経済学が問題を共有するためのエージェントシミュレーションのテストベッド (試験台) を構築することで研究を促進することを考えている [3]、U-Mart と呼ぶ人工市場実験はその一つの試みとして進めているものである [8] [9] [10] [12]。本論文では U-Mart 研究プログラムについて、その構想、実践と今後の展望について紹介する。

2 テストベッドとしての人工市場

2.1 研究プログラムの構想

U-Mart は市場について、その複雑性に起因するさまざまな問題 [1] を検討することを目指して構築されてきた。考察を行いたい問題としては例えば

1. 株式などの売買行動に関する人間集団の学習・創発や相互干渉、制度設計を含む意思決定問題の

U-Mart: Agent-based Simulation Interconnects Economics and Engineering.

Hajime KITA, 大学評価・学位授与機構, National Institution for Academic Degrees.

Hiroshi DEGUCHI, 東京工業大学, Tokyo Institute of Technology.

Takao TERANO, 筑波大学, The University of Tsukuba.

解明,

2. 市場における投機的売買行動と価格の乱高下などの市場の不安定性との関連の解明とこれを回避するための制度設計,
3. インサイダー情報の利用の検定など, 市況からのエージェントの行動の推定,
4. 取引戦略の市場における共進化的側面の実験, 等が挙げられる. これらの課題はいずれも従来の経済理論では対象とすることさえ困難なものであり, ある程度の複雑さを伴ったエージェントシミュレーションによる接近が必要である.

2.2 実験システムの要件

我々はテストベッドの構築にあたって以下の 3 点を要件とした.

実世界との関連付け : 経済システムについての実験として完全に架空の市場を設定することは, 現実経済のもつ基本的な複雑さや予期不可能性などの重要な要素が消去され, 実際的な意義のない仮想実験に終わりがかねない. そこで, テストベッドは何らかの形で実世界と関連付けられていることが必要である.

広い参加可能性を持つシステムの開放性 : 経済学や金融工学, 計算機科学などの諸領域の学際研究を可能とするため, 多様な主体が参加可能な開放型システムとして設計する必要がある. これに関しては, Axelrod が行った繰り返し囚人のジレンマゲームについてのプログラムのコンテスト [4] やロボカップなどの事例が参考になる.

制度の解析と設計のための実験環境の提供 : 社会経済システムについて検討すべき課題は, 多数の自律エージェントの経済行動がシステム全体にどのような挙動をもたらすかを解析し, それらを律する市場の制度の影響を評価し, これを踏まえて制度を設計することである. テストベッドにはこのための実験的な考察を可能にすることが求められる.

3 人工市場システム U-Mart

3.1 U-Mart の特徴

先に挙げた要請に対して, U-Mart では以下のような方法を採用した.

まず, 実世界との関連付けとして, U-Mart では, 現実に存在する株価指数を対象とし, その「現物」ではなく, 現実には市場が存在しない「先物」を取引する市場を仮想的に形成しようとする^{†1} (図 1 参照).

先物市場では先物の売買契約は期日に現物市場の価格で清算される. したがって現物市場における価格の動き, それが将来, 現実の経済の動きにつれてどのように変化するかという期待についての判断と売買の決断への反映を迫られることになる. また, ソフトウェアエージェントの構成においては, エージェントに取引される商品の「価値」を組み込むことの難しさがある. 先物市場の導入により取引される商品の価値が期日において現物価格に拘束されることでこの難点を解消できる.

このように現実には存在しない仮想の先物市場を構成することにより, 仮想の市場での固有の取引, 価格形成が可能であり, その固有の挙動として現実の市場における判断の複雑さを十分に再現することが期待される.^{†2}

次に第二の要請については, U-Mart では, コンピュータ・プログラムによって自ら売買の判断をするソフトウェア・エージェントと自然人との両方の参加を可能とし, 同等に成果を競わせることを考えた.

人工市場の研究では売買戦略の (限定された) 合理性と多様性が重要である. U-Mart ではソフトウェア・エージェントのコンテストや人によるゲーミング・シミュレーションを通じて多様な戦略の可能性を探り, それらのもとでの価格形成の研究を可能にしようとする.

第三の要請については, 多様な取引戦略のもとで市場を仮想的に実験することにより, 実験結果の解剖学

^{†1} 先物市場の利用は U-Mart の提案者の一人である大阪市立大学, 塩沢由典教授の発案による.

^{†2} 証券会社などが提供しているいわゆる模擬市場でのゲームは価格形成機能を持たない.

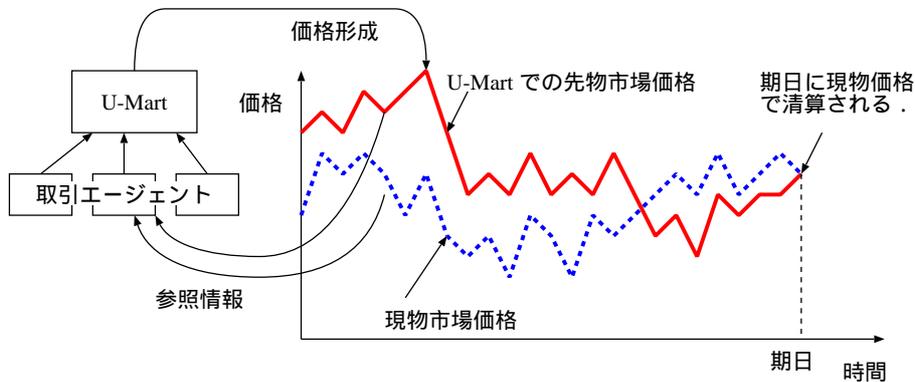


図 1 U-Mart における仮想先物取引。

的な分析が可能になる。そして値付け、決裁、手数量など市場のさまざまな制度の影響を評価し、制度の設計問題に接近しようとする。

4 U-Mart システムの概要

U-Mart では現実に存在する市場の「先物」を仮想の市場で取引する。システムはサーバ・クライアント型の形態をとり、TCP/IP 上に実装された専用プロトコルを用いて売買等の情報を交換する。取引所を模擬するサーバは各取引クライアントからの注文を受け付け、値付けと売買の約定を行い、資産口座を管理する。各クライアントはサーバから値動きなどの情報を得て独自の判断で売買注文を出す。また、U-Mart ではソフトウェアエージェントのほかに人間による取引も共存したゲーミング・シミュレーション型の実験も考慮して設計されている。U-Mart システムの詳細については文献 [9] を参照頂きたい。

4.1 U-Mart システムの構成

U-Mart の現在のシステムは以下のような文書とソフトウェアにより構成されている。

- Simple Virtual Market Protocol (SVMP) と実験用市場の仕様書。市場取引のための TCP/IP 上でのテキストベースのプロトコルを規定している。
- 仕様書に基づいて実装された 1 銘柄 1 限月の市場サーバ。Java を用いて記述されている。バックエンドのデータベースには PostgreSQL を採用

した。

- クライアント記述のための SVMP を呼び出す Java API。SVMP で規定されているリクエストとほぼ一対一に対応する API である。
- API を利用した U-Mart クライアントの実装例。ユーザが API を用いてクライアントの取引エージェントを作成するための雛型を提供している。
- サーバ管理のための GUI。Java/Swing で実装。
- ソフトウェア・エージェントのモニタリングと人による取引のための GUI。Java/Swing で実装されたものと C++ で Windows 上に実装されたものの 2 種類がある。
- クライアント記述のためのラッパープログラム
- クライアント開発のためのスタンドアロンサーバ API は SVMP のリクエストとほぼ一対一に対応しているため、初心者には戦略の記述が難しい。U-Mart への参加を容易にするため売買戦略を現物や先物の過去の価格系列や現在の資産状況から注文への関数と考え、これのみを記述すれば U-Mart クライアントが構成できるラッパープログラムとクライアント開発時にクライアントのテストを行うためにいくつかの簡単な取引エージェントを内部に組み込んだスタンドアロン型のサーバを開発した。

これらは SVMP の仕様策定に始まり、サーバの実装から徐々に発展してきたものである。その過程で 2 度の公開実験や大学・大学院での教育などの実践を経て必要なソフトウェアが認識、作成されるとともに改

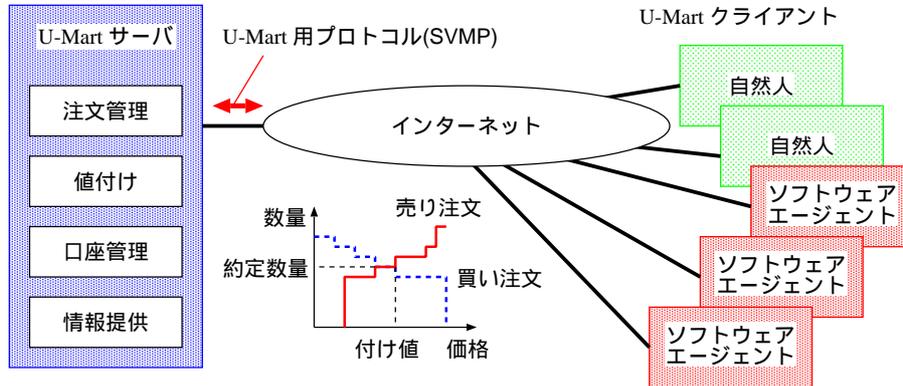


図 2 U-Mart の概要 .

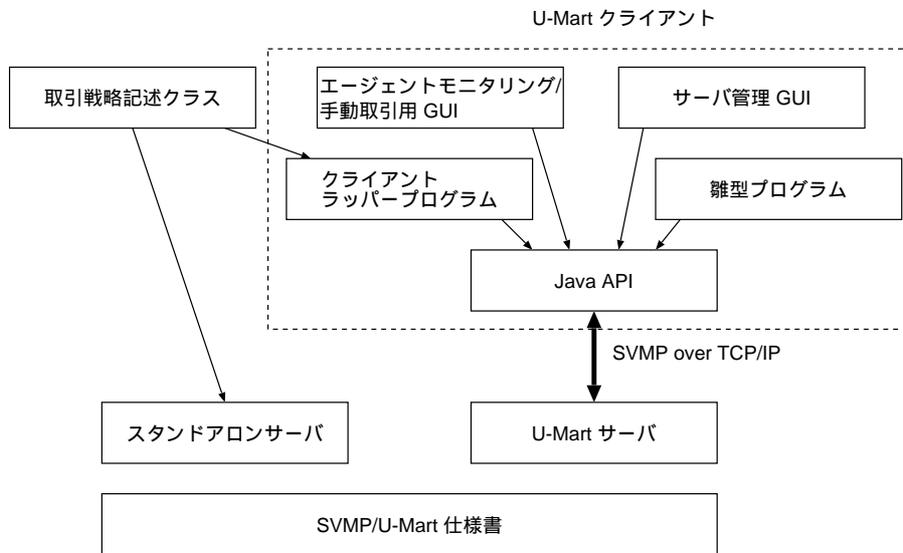


図 3 U-Mart システムの構成 .

良が進められてきた .

4.2 次世代 U-Mart システムの構想

現行の U-Mart システムは 1 銘柄 1 限月の市場を前提とし、また U-Mart の実験を経験する前に概略の設計がなされた . その後の実践を経て SVMP の拡充、バグの修正や実行効率の改善などがなされたが、実験の仕様の拡大などの要求にはシステムの再設計が必要であり、次世代の U-Mart システムについて以下の点を課題に作業を開始した .

- 複数銘柄・複数限月の市場を構成可能とすること . これにより、より多様な取引戦略が取り込めるとともに、結果のより本格的な分析が可能になる .
- サーバ負荷軽減のための SVMP リクエストの見直し .
- ログインのためのデータベース運用の柔軟化 .
- 市場の取扱効率の向上 .

現在、SVMP の見直しを済ませ、サーバについてのオブジェクト設計も概ね完了した . 今後、サーバと

クライアント API の実装, GUI やクライアントの移植などを進めて行くとともに, 複数銘柄, 複数限月の市場での実験計画を検討して行く予定である.

5 U-Mart 公開実験

U-Mart ではすでに 2 度にわたって取引エージェントを公募して公開の実験を行った.

まず, 2000 年 8 月にこのような実験のフィージビリティを探ることを目的に Pre U-Mart 2000 を, 2001 年 8 月により本格的な公開実験として U-Mart 2001 をいずれも計測自動制御学会主催の合宿型研究集会「創発システムシンポジウム」の場を借りて行った.

Pre U-Mart 2000 の模様については文献 [10] に報告しているが, 主催者の予想を上回る多様な取引戦略や開発方法があることが認識された. 実際に行った実験では市場が初期段階で猛烈な乱高下を示し, その原因追求などを通して市場やそこでの取引戦略についての理解が深まった. また経済学系, 工学系両方からの参加者が合宿という場を共有して共通のプログラムに取り組むことが相互理解に極めて有効であることも改めて実感された.

U-Mart 2001 では Pre U-Mart 2001 の経験を踏まえ, U-Mart を用いたより本格的な研究を支援するためにエージェントのプログラムと説明文書の事前提出を求め, シンポジウムに先だって現物価格や乱数の系列を変えた実験を行いその結果を取りまとめて報告するとともに, 事前実験で優秀成績を示したエージェントに絞り, 人間による取引も加えて当日, 会場でデモンストレーションを行った. U-Mart 2001 については今後, 参加エージェントのすべてのプログラムや実験結果などを整理して提供して行く予定である.

6 U-Mart の教育面での利用

研究プログラムとして進めて行く過程で, U-Mart システムは経済学, 工学の両分野での教育に極めて効果的な教材となることが理解されてきた. そして実際に U-Mart を用いた教育がいくつかのサイトで実践

されている^{†3}今後, 教材としても利用しやすい形でドキュメントやソフトウェアの積極的な提供を進めて行く予定である.

6.1 経済学系分野での利用

経済学系 (経済学, 経営学, 商学などの学部, 大学院) の分野では U-Mart は

- 市場が個々の取引エージェントの行動により形成されるという基本的な概念を実験的に示すことができる,
- 金融市場, とくに金融派生商品 (デリバティブ) 市場の考え方や制度を体験的に理解することができる,
- 個々のエージェントの戦略や行動が市場に与える影響を体験することができる,

などの点で有効な教材である.

利用方法としてはもっぱら学生自身が (公開実験などで提供されたエージェントとともに) 市場取引に参加するゲーミング・シミュレーションが用いられる. 京都大学の事例は文献 [10] に紹介されている. また, ある程度, 数式や計算機に馴染みさえあれば自ら U-Mart システムを用いてソフトウェア・エージェントを構成することも社会科学系の学生でも十分に可能である.

6.2 工学系分野での利用

一方, U-Mart は情報工学系の分野での教材としても

- 学部レベルの初級プログラミングの課題,
- 大学院レベルでの予測, 学習, 適応, 最適化アルゴリズムやエージェントシミュレーションそのものの学習,
- 工学系の学生に経済学や金融の紹介,

などに有効である.

とくにプログラミングの課題としては,

^{†3} U-Mart による授業が実施されたサイトとしては経済学系では京都大学経済学部/大学院経済学研究科, 大阪市立大学経済学部, 大阪産業大学経済学部, 筑波大学大学院経営政策科学研究科, 中央大学商学部など, 工学系では徳島大学工学部, 東京工業大学大学院総合理工学研究科, 東京大学工学部などである.

- 自らの知識やスキルのレベルに応じた取り組み,
- 自らの着想をプログラムコードとしての実現,
- 事前の予想のもとに作成したプログラムの実際の複雑な環境での動作の確認,

といった点で主体的に学習できることが通常のプログラミングの演習とは異なる点であり, 機械系の学科などで見られるロボットコンテストと同様の効果を持っている. また U-Mart のエージェント開発は個人の単位で比較的短期間に組み組めるためカリキュラム編成上も扱いやすい.

7 おわりに

U-Mart は情報通信革命のもとでの社会経済システムのデザインという研究対象の重なりを意識し, 経済学と工学の共同研究の場としてエージェントシミュレーションのテストベッドを提供する試みとして始められた研究プログラムである. U-Mart は当初の予想以上に多くの方々に関心を持って頂いたり, 教育面で極めて効果的な教材となり得ることの発見など当初の予想を上回る成果を挙げている.

一方で, 実際に安定に稼働するシステムを構築し, 多くの方々の協力を得て多様な戦略を持つ取引エージェントを構成することなどはようやく本格的な研究レベルの分析に着手できるところまでたどりついたという感がある. 今後, 研究のプログラムをより明確, 具体的なものとして進めて行く予定である.

U-Mart 自身は金融市場を例にテストベッドを提供しようという試みであるが, その経験からもエージェントシミュレーションは社会科学の広範な領域で新しい研究アプローチとなり得ると期待できる. しかし, それは, モデリング, シミュレーション, 分析などす

べての面において従来の社会科学の理論研究や実証研究とも, また自然科学の応用という考え方に重心を置いて来た工学の研究とも異なった発想や行動規範が求められる. このような点を明確にしつつ有効な学際研究を進めて行くことがこの方向の研究を成功に導く鍵となるであろう.

最後に大阪市立大学 塩沢由典 教授をはじめ U-Mart 研究会に参加されている皆様に感謝の意を表します. 参考文献

- [1] 塩沢由典:「複雑系経済学入門」, 生産性出版 (1997)
- [2] 高木, 木嶋, 出口他:「マルチメディア時代の人間と社会」, 日科技連出版 (1995)
- [3] 出口:「複雑系としての経済学」, 日科技連出版 (2000)
- [4] Robert Axelrod: The Complexity of Cooperation — Agent-Based Models of Competition and Collaboration, Princeton University Press (1997)
- [5] 塩沢由典:進化経済学の可能性としてのバーチャル市場の参加型シミュレーション提案, 進化経済学会第 3 回大会予稿集, (1999.3)
- [6] 和泉, 植田:人工市場入門, 人工知能学会誌 15-6, pp. 941-950 (2000).
- [7] 佐藤, 高安:統計物理から見た人工市場, 人工知能学会誌 15-6, pp. 958-965 (2000).
- [8] 塩沢, 出口, 喜多, 寺野, V-Mart 研究の目指すもの, SICE システム情報部門合同シンポジウム 99, 169/174 (1999)
- [9] 佐藤, 福本, 廣岡, 久保, 生天目, 人工市場のシステム構造, 人工知能学会誌 15-6, pp. 974-981 (2000).
- [10] 佐藤 浩, 松井 啓之, 小野 功, 喜多 一, 寺野 隆雄:オープン型人工市場におけるエージェントの戦略と市場の挙動 (Pre U-Mart 2000 実施報告) SICE 第 13 回自律分散システム・シンポジウム, pp. 203-208 (2001).
- [11] <http://www.u-mart.econ.kyoto-u.ac.jp/> キャピタル (1998).
- [12] Hiroshi Sato, Hiroyuki Matsui, Isao Ono, Hajime Kita, Takao Terano: U-Mart Project: Learning Economic Principles from the Bottom by both Human and Software Agents, Proc. of the 1st Int'l workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, Matsue, pp. 59-66 (1991).