

## オープン型人工市場 U-Mart: 構想, 成果, 展望

喜多 一† 出口 弘†† 寺野 隆雄†††

† 大学評価・学位授与機構 評価研究部  
〒 112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1  
†† 東京工業大学 大学院総合理工学研究科  
〒 226-8502 横浜市緑区長津田町 4259  
††† 筑波大学 大学院ビジネス科学研究科  
〒 112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1

E-mail: †kita@niad.ac.jp, ††deguchi@dis.titech.ac.jp, †††terano@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

**あらまし** エージェントシミュレーションは複雑な社会経済システムを理解し、設計していく上で今後、有望なアプローチの一つである。U-Mart は経済学と工学の学際研究のためのエージェントシミュレーションのテストベッドとしてオープン型の人工市場を提供することを目的に進められてきたプロジェクトである。本報告では U-Mart の構想とこれまでの成果、および今後の展望について概観する。

**キーワード** エージェントシミュレーション, 人工市場, テストベッド, 学際研究

## U-Mart, an Open Type Artificial Market, Its Concept, Outcome and Future

Hajime KITA†, Hiroshi DEGUCHI††, and Takao TERANO†††

† Faculty of University Evaluation and Research, National Institution for Academic Degrees  
3-29-1 Otsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-0012 Japan  
†† Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
4259 Nagatsuta, Midori, Yokohama, 226-8502, Japan  
††† Graduate School of Business Science, University of Tsukuba  
3-29-1 Otsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-0012 Japan

E-mail: †kita@niad.ac.jp, ††deguchi@dis.titech.ac.jp, †††terano@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

**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 open type artificial market, i.e., 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.

**Key words** agent-based simulation, artificial market, test bed, interdisciplinary study

## 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。特に経済学の中心的なテーマの一つである市場についての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 (artificial market)」と呼ばれている [1]。そ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経済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、人工市場研究は統計物理学における相転移や臨界現象などの視点から市場に見られる複雑な現象の理論的研究を進める経済物理学 [2] とも交差して興味深い研究が展開されている。

しかしながら実際の市場を模擬する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人工市場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 [4]~[10]。本論文では U-Mart 研究プログラムについて、その構想とこれまでの成果、および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 [11] 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としての人工市場システムの構築にあたって以下の 3 点を要件とした。

(1) 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、実際の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と考える。

(2) 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 [12] やロボカップ [13] などの事例が参考になる。

(3) 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、それらを律する境界条件としての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<sup>(注1)</sup> (図 1 参照)。

(注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、塩沢由典氏の発案による。

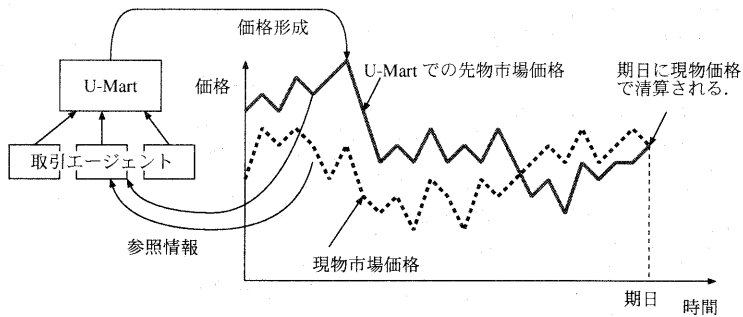


図1 U-Martにおける仮想先物取引。

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や、それが将来、どのように変化するかという期待についての判断と、それらの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を用いた人工市場の構成においては、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。これに対して、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では市場価格を所与のものとしており、独自の価格形成機能を持たないことに注意を要する。

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、実験結果の解剖学的な分析が可能になる。そして値付け、決裁、手数料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、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。U-Martシステムの詳細については文献[6]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(図3参照)。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・研究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良が進められてきた。

- 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

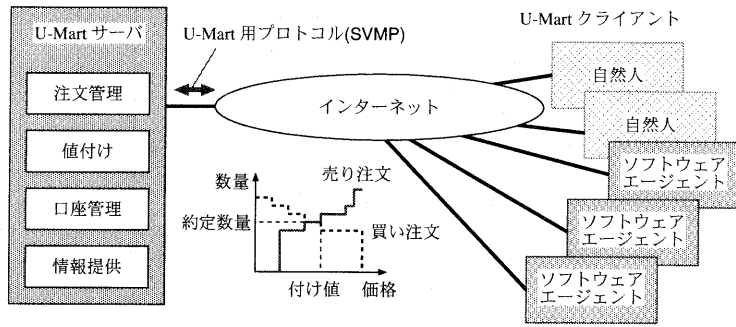


図2 U-Mart の概要.

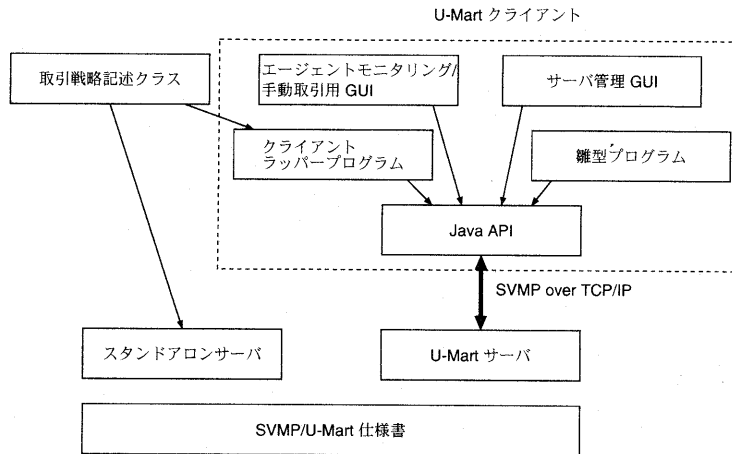


図3 U-Mart システムの構成.

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およびクライアント開発のためのスタンドアロンサーバ. 先に述べた Java API は SVMP のリクエストとほぼ一対一で対応しているため, 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引き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.

## 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, また 2001年8月には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 [7] 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の制度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 を用いてより本格的な研究を支援することを目的として行われた. そのため, 参加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，エージェントの組成などを変えた複数回の実験を行い，その結果を取りまとめて報告するとともに，当日は事前実験で優秀な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，実験の実施結果を報告するとともに，参加したエージェントのプログラム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．U-Mart を用いた教育が表 1 に示すようないくつかの大学・大学院で実践されている．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 [14]．

表 1 U-Mart を用いた教育の実施例

経済学系	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
工学系	中央大学	商学部
	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

### 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ソフトウェア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．京都大学での実施例は文献 [7] 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，
- 大学院レベルでのエージェントシミュレーションの実習，
- 大学院レベルでの予測，学習，適応，最適化アルゴリズムの実習，
- 工学系の学生への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，

- 自らの知識やスキルのレベルに応じた取り組み，
- 自らの着想の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取り組めるためカリキュラム編成上も扱いやすい．東京大学での実施例は文献 [15] に紹介されている．

また，近年，工学系からも金融業などへ就職する学生は少なくない．その一方で，高等学校の指導要領の改訂や大学設置基準の大綱化などの影響で工学系の学生の経済分野での基礎知識は一般には乏しい．U-Mart は工学系の学生に経済学や金融の基礎的な学習を支援するツールとしてもモチベーションを高め主体的な学習を促す点でも有効であると考えられる．

## 7. プロジェクトの運営

U-Mart プロジェクトは当初から経済学と工学の両分野の参加者を得て始めた学際研究プロジェクトであるが，両分野では用語や概念だけではなく，研究や発表のスタイルなど「文化」的にもかなり違いがある．またこれら両分野の学際研究のために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という新しい研究スタイルを取っており，研究者にいかに主体的に参加してもらうかといった運営面の工夫やシステムを設計するための実市場の制度など実務面の知識の獲得も必要である．

このようにプロジェクトの運営は多くの課題を抱えており，それ自身が興味深い研究対象である．これらのことを意識して U-Mart では運営面でもいくつかの工夫を行って来た：

● システム設計における経済学系と工学系の研究者の対話の重視。U-Mart ではその設計の段階から、経済学系の工学系の研究者が持つ問題意識や研究の方法論などの討論を重視するとともに、相互に必要な専門知識を交換することに心がけて来た。経済学系の研究者には市場についての制度や取引戦略、検証すべき経済学的仮説などが提供され、工学系の研究者からはネットワークやエージェントの技術などの情報が提供された。そしてオープン型の人工市場として広く工学系と経済学系両方からの参加者を得るためのソフトウェアの整備が進められた。

● 関連分野の研究者、実務家を招いての研究会の開催。定期的ではないがエージェントシミュレーション、人工市場、経済物理学、あるいは金融分野の実務家などを招いて研究会を開催している。とくに、電子技術総合研究所（当時）の松原氏からはRoboCup [13] の運営面の工夫や課題など詳しく説明して頂き、多くの示唆を得るとともに U-Mart はその運営自身が研究対象であることが認識された。また大阪証券取引所の先物・デリバティブ部長である藤木氏からは指数先物市場の実状や課題について説明して頂いた。同氏の講演内容は個々の取引者ではなく、市場を創造し運営・管理するという立場からのもので興味深く、参考になった。また、研究会の公開にあたっては国内に分散する大学生、大学院生などを含む研究者の参加を必要とすることから大学間を衛星回線で結び講義を交換する SCS<sup>(注2)</sup>を可能な限り利用している。これまでに、筑波大学大塚地区、東京工業大学長津田地区、京都大学、徳島大学、北海道大学、鳥取大学、宮崎大学など参加する形で、研究会の中継を行った。

● 学会での継続的報告。U-Mart は計測自動制御学会（創発システムシンポジウム）と進化経済学会とで相互に異分野の研究者を招待して討論したことがプロジェクトの契機となっている。このため、両学会には継続的に活動状況を報告し、他の研究者に意見を求めている。また、このような形で報告の場を設定することは多くの拠点で協力する形のプロジェクトにおいて、達成目標と分担責任を明確にするというプロジェクト内部の運営管理面でも有効である。

● 実務家の協力と相互交流。U-Mart では現実

の株価指数指数として毎日新聞が提供している J30 を使用している。これにあたっては毎日新聞社と株式会社フィスコの協力を得ている。また両者を通じて、金融関連の実務家で U-Mart に興味をもって頂いている方々との交流も行っている。また大阪証券取引所からも指数先物市場についての情報提供を頂いている。

## 8. 今後の展望

### 8.1 U-Mart 公開実験

すでに 2 回の国内経験を持つ U-Mart の公開実験は今後も継続的に実施して行く。U-Mart 2001 では各エージェントのソースコードとドキュメントの提出を義務づけたが、収集されたエージェントを公開し、それ活用することでより質の高いエージェントの参加が期待できる。また 2002 年 6 月にはカーネギーメロン大で開催される CASOS コンファレンスでも U-Mart の公開実験を実施する予定である。

U-Mart の公開実験の内容は実施可能な実験の質の向上に応じて充実させてゆく予定である。U-Mart 2001 では事前に条件を変えて種々の加速実験を行い、シンポジウム当日に公表した。エージェントシミュレーションは実験を中心として対象の性質に接近する方法であり、公開実験の実施を通じて質の高い実験の実施や解析の方法を討論し共有して行くことはこの分野の研究の質を高めて行く上で有用であると考えている。

また U-Mart はソフトウェアエージェントによるエージェントシミュレーションと人間によるゲーミングシミュレーションの混在系として使えるという特徴がある。これまでの Pre U-Mart 2000, U-Mart 2001 では自由に操作できる端末を設置するなど、デモンストレーションレベルではあるが混在系を構成した。今後、より本格的にこの特徴を活かしたコンテストの設計を考えて行きたい。

### 8.2 研究プログラム

U-Mart はこれまでシステムの設計や公開実験の実施などが主な活動であり、U-Mart を利用した本格的な研究としては個々の参加者レベルでのエージェントの構成などに留まっている。しかしながら 2 度の公開実験を経験して、多様な取引戦略についての知見が集積されてきており、市場についての本格的な研究が十分に可能性を持つようになってきた。

検討している研究テーマとしては経済学の立場からは

- U-Mart のもつシステムとしての特性の分析。

(注2)：メディア教育開発センター (<http://www.nime.ac.jp>) がシステムの運営を担当しており、国立大学といくつかの公私立大学に受信機の設備が設置されている。2 回線を使って音声、同画像を双方向で交換でき、3 箇所以上の場合は議長校のところで送信を許可する参加校を自由に選択できる。

- 現実市場の実証研究との関連づけ。
- 市場のさまざまな制度、パラメータなどの影響、効果を検討する制度設計面の研究。などである<sup>(注3)</sup>。またゲーミングシミュレーションなどを通じての実際の人間の市場での行動についての研究も重要なテーマである。

一方、工学の立場からは

- エージェントシミュレーションによる研究手法の確立。
  - 適応、学習、最適化などの研究。
  - 複雑なエージェント群から構成されるシステムの分析手法の検討。
- などが考えられ、このためのシステム設計、ネットワーク計算などの支援技術も重要な課題である。

### 8.3 次期システム

現行の U-Mart システムは公開実験などを経験する前に概略の設計がなされ、値付けや約定に「板寄せ」方式<sup>(注4)</sup>を採用し、1 銘柄 1 限月の市場として実装されている。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る。そこで次世代の 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。

- 先に述べた市場の制度設計の研究に関連して、最も重要なファクターに約定方法の「板寄せ」と「ざら場」との違いがある。U-Mart では実装上の理由から板寄せを選択したが、実際の証券取引所などではもっぱらざら場が用いられている。両者の違いを分析可能なシステム構成を検討する。
- 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リクエストの見直しや、ロギング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などサーバの基本性能の強化。

## 9. おわりに

U-Mart は社会経済システムの設計という研究対象を意識し、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人工市場研究のプログラムである。実際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、ようやく本格的な研究に着手できるところまで達したという感がある。今後、研究のプログラムをより明確、具体的なものとしてプロジェクトを進めて行く予定である。

また、エージェントシミュレーションは U-Mart が対象としている市場経済のみならず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される。しかしながら、そこでは、モデリング、シミュレーション、分析など研究の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を中心としてきた従来の工学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 研究会の皆様にご感謝の意を表します。

### 文 献

- [1] 和泉, 植田: 人工市場入門, 人工知能学会誌 15-6, pp. 941-950 (2000).
- [2] 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).
- [3] 出口: 「複雑系としての経済学」, 日科技連出版 (2000)
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] K. Kurumatani, Y. Koyama, T. Terano, H. Kita, A. Namatame, H. Deguchi, Y. Shiozawa and H. Matsubara: U-Mart: A Virtual Stock Market as a Forum for Market Structure Analysis and Engineering, 1st Int'l Workshop on Computational Intelligence in Economics and Finance, in Proc. JCIS'00, Vol. 2, pp. 957-960 (2000).
- [9] <http://www.u-mart.econ.kyoto-u.ac.jp/>
- [10] 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).
- [11] 塩沢由典: 「複雑系経済学入門」, 生産性出版 (1997)
- [12] Robert Axelrod: The Complexity of Cooperation — Agent-Based Models of Competition and Collaboration, Princeton University Press (1997)
- [13] <http://www.robocup.org/>
- [14] 谷口: 教育キットとしての U-Mart, 進化経済学会 (2001, 当日配布)
- [15] 湯浅, 喜多, 稲垣: U-Mart によるプロジェクト演習, 第 7 回創発システムシンポジウム (2001).

(注3): 大阪市立大学, 中島義裕氏の整理による。

(注4): 一定期間の間, 売買注文(板)を取引所に蓄積し, 一括して約定させる方法。これに対して, 注文を受け付ける度に逐次的に売買契約を約定させる方法を「ざら場」方式と呼ぶ。