

# 電子市場シミュレーション

—人工市場シミュレーションからサービスへ—

## From Artificial Market Simulation to Service

和泉 潔† 鳥海 不二夫‡ 松井 宏樹†  
Kiyoshi Izumi Fujio Toriumi Hiroki Matsui

### 1. 人工市場 = エージェント + 価格決定メカニズム

人工市場とは、その言葉の通り、計算機上に人の手によって人工的に作りだされた架空の市場のことである。人工市場に参加しているのは、エージェントと呼ばれる計算機プログラムで表現された仮想的なディーラーである。また時には、生身の人間がエージェントに混じって人工市場での仮想取引に参加する場合もある。人工市場の中にある、各エージェントは、金融価格の変動に関連する情報を入力として受取り、その情報と自分なりのルールに基づいて仮想的な資本を売買する。各エージェントの投資行動が集積し金融価格が決定されていくまでの価格決定のやり方を価格決定メカニズムと呼ぶ。以上のことをまとめると、人工市場とは、エージェントを基本単位とした、価格決定メカニズムを持つ、計算機プログラムであると改めて定義することができる。

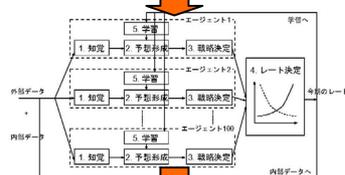
### 2. 人工市場の構築

人工市場モデルを考える際に、エージェントのモデルをどのように決定するのかということは、人工市場のパフォーマンスに大きな影響を与える。より本物らしい人工市場を構築するためには、現実の市場参加者が行っている情報処理プロセスの分析を行い、そこから得られた知見にもとづき、現実の意思決定法を反映させたエージェントを実装するというアプローチが有効である。そこで我々は、図1のような、フィールドワークと人工市場モデルの統合を行った[和泉03]。

#### A) 模擬市場によるフィールドワーク



#### B) 人工市場モデルの構築



#### C) 現実のデータを用いたシミュレーション

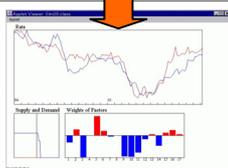


図1 人工市場プロジェクトの枠組み

### 2.1. 模擬市場によるフィールドワーク

現実の市場参加者の特徴をつかむために、我々は図1Aのような模擬市場実験を行った。10人程度の参加者に、ネットワーク上の模擬市場システムを通して、仮想的な為替取引を行ってもらった。実験の参加者は不定期にニュースを受け取る。そのニュースを解釈し、将来のレートを予測して、利得を上げるように意思決定を行う。実験により以下のデータを得ることができる: (1) レートログ, (2) 取引ログ, (3) 取引時の会話ログ, (4) データ参照時間, (5) 予想アンケート。これらのデータを用いて、人工市場でのエージェントの戦略決定や学習に関する構造を決定した。

### 2.2. 人工市場モデル

フィールドワークの結果に基づき、外国為替市場のマルチエージェントモデル AGEDASI TOF (A GENetic-algorithmic Double Auction SIMulation in TOkyo Foreign exchange market)の構築を行った。本モデルは100個の仮想的なディーラーからなるコンピュータ上の人工的な市場である(図1B)。

人工市場モデルの1期間は現実の市場の一週間に対応しており、各期間は以下の5つのステップよりなる。

1. 知覚: 各エージェントは金利や貿易など様々なレート of 予想材料に対して、現在の市場では為替レートを予想するのにどれほど重要視すべきかという市場の状態に対する認識を持つ。
2. 予想形成: 各エージェントはさきほどの認識をもとに今期の情報を用いて、将来のレートの予想を行う。
3. 戦略決定: 自分なりの予想を基に、市場に通貨取引の注文を行う。
4. レート決定: 市場全体の需要と供給が均衡する値にレートが決定される。
5. 学習: レート決定の後に、各エージェントは市場の認識を遺伝的アルゴリズムを用いた学習により変更していく。

人工市場によって得られるデータの例を図1Cに表示する。上のグラフは、現実の金融価格と人工市場で得られた金融価格の値動きを示している。このように、現実の金融市場に関するデータを、人工市場によって再現することも可能である。左下のグラフは、人工市場に参加しているエージェントが出した需要と供給を表わす曲線である。右下の棒グラフは、人工市場の中で、金利や貿易収支などのニュースのうち何がエージェントたちに重要視されているかを示している。これらの需給曲線や重要度のデータのように、現実の金融市場では入手が難しいデータも、人工市場なら手にいれることができる。

### 3. 人工市場シミュレーションの成果

本稿で紹介した人工市場を使うことによって、これまでに、理論・実証・応用の3種類の研究成果が得られている。

#### 3.1. 理論: 既存の経済理論の検証

人工市場に経済理論の前提条件を与え、金融価格の動きを調べることによって、理論の検証を直接行うことができる。効率的市場仮説(市場は情報を取り入れるのが極めて迅速であり、ある者が情報を先駆けることによって他の者より有利になるという状況は生じないとする説)という既存の経済理論の定量的な検証を行った(図2)。

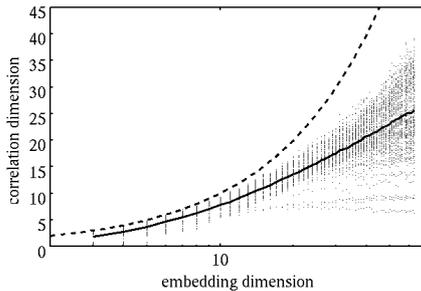


図2 人工市場による効率的市場仮説の検証:  
相関次元分析と呼ばれる手法で人工市場のシミュレーション結果を分析したところ、エージェントが学習していても、人工市場の相関指数(実線)は、効率的市場仮説とは違って、ランダムウォークの理論値(点線)に近づくことはなかった。

#### 3.2. 実証: 現実の市場現象の分析

人工市場シミュレーションを行うことにより、既存の市場理論ではうまく説明がつかなかった様々な市場現象のメカニズムの解明が可能になった。

1. 為替レートバブルのメカニズムの解明  
90,95,98年の為替バブルを25-45%の確率でシミュレートし、これらの時期のバブルはトレンドへの同調と需給の偏りが原因であることを明らかにした(図3)。

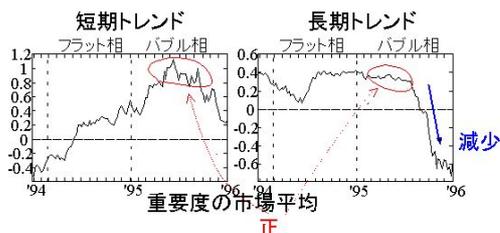


図3 為替レートバブルの解明

2. 市場の創発的現象のメカニズムの解明  
レートの変動分布の中央が尖って裾が厚くなる現象など、経験的には見つけていたがメカニズムがよく分からなかった市場現象の原因を解明した(図4)。

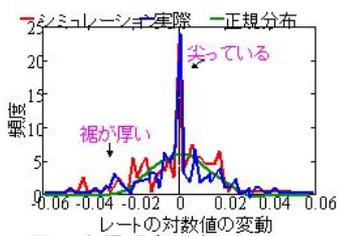


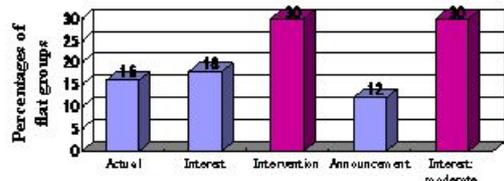
図4 市場現象の解明

#### 3.1. 応

### 用: 現場の支援ツールの構築

人工市場に金利などの政策的に操作できる様々な条件を与え、価格変動の評価を行うことができる。人工市場による為替政策の決定支援システムの構築を行った(図5)。人工市場モデルに1998年当時の経済状況を入力し、複数の為替政策のシナリオを評価したところ、景気とドル・マルク相場に関するニュースの直後に

- (1) 介入による為替安定化
  - (2) 小規模な金利操作による為替安定化
- の2つのシナリオが有効であることが分かった。



各為替政策の評価

図5 為替政策の決定支援システム

### 4. サービスとしての人工市場

最近、市場の価格決定メカニズムを用いた新しいサービスが出はじめています。例えば、仮想先物市場のメカニズムを用いた予測市場とよばれる試みが行われ、2004年の米国の大統領選や2005年の日本の総選挙で専門家の予測に匹敵する精度が得られている[Surowiecki 05, Yamaguchi 06]。そもそも市場メカニズムとは、株式市場やオークションのように、ある商品や金融資本に関する複数の人々の価値観(需給)を集積して、そのものの価値(価格)を決定するメカニズムのことである。最近の新たなサービスでは、これを広くとらえて、市場メカニズムを大勢の個人が持っている多様な意思を集積して全体としての価値を計算するものとして用いている。

その一方で、いわゆるweb2.0的サービスの台頭とともに、webをプラットフォームにして複数のサービスを連携させて新たなサービスを造り出す手法が急速に普及してきている[梅田 06]。例えば、Amazonの商品データベースの情報を基にした蔵書管理サービスや、Googleマップの地図情報を利用したレストラン検索サービスなど、サービス連携により新たなサービスが次々と生まれている。これらの特徴はAmazonやGoogleとは関係のない、一般のユーザや企業が新サービスを創造している点である。

本研究では、市場の価格決定メカニズムを利用した新たなサービスの創発を目指し、計算機上に仮想的な市場を造り出す人工市場のプログラムをweb上のサービスとしてモジュール化することにより、市場シミュレーションを使ったサービスをユーザが自由に設定できるシステムを提唱する。

#### 4.1. 人工市場サービスのフレームワーク

人工市場シミュレーションをwebサービス化しサービス連携を行う人工市場サービスの概要を図6に示す。

#### 4.2. 人工市場コアモジュール

人工市場サービスのコアになるモジュールでは、仮想的な市場の市場価格決定、市場データ配布、市場への注文データベース機能を有する。市場の価格決定メカニズムとは各市場参加者の投資行動が集積し金融価格が決定されていくまで

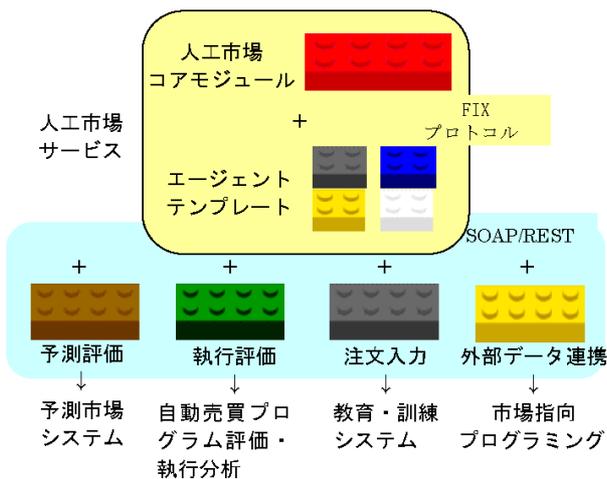


図6 為替政策の決定支援システム

の価格決定の方式である。価格決定メカニズムには次のような複数の方式が用意され、どの方式を用いるかをサービス利用時に指定することができる。

- 板寄せ方式: 一定期間ごとに需要と供給を集積して、その2つの量が釣り合うような値に価格を決定する。
- ザラバ方式: 連続的に売り手と買い手が会って個別に売買が成立して価格が決定する。
- 現物、先物: 将来の取引に関する価格(先物)と市場の実物の取引に関する価格(現物)。

コアモジュールではエージェントや人間から注文を受け取り、市場への注文データベースに格納する。データベースにある注文を集積して、上記の価格決定メカニズムにより仮想の市場価格を計算する。過去の市場価格の履歴もデータベースに持っており、エージェント等からのリクエストにより市場データを返す機能も持つ。

### 4.3. エージェントテンプレート

人工市場サービスが使用されるときには、全て人間が参加するのではなく、計算機プログラム(エージェント)が市場に参加する場合がある。そのため、人工市場サービスにエージェントのテンプレートを用意して、ユーザが指定したエージェントを市場に参加できるようにする。エージェントテンプレートの種類としては、簡単なテクニカル分析ルールを実装したもの、遺伝的アルゴリズムなどの学習機能をもったもの、人間の投資行動をモデルに行動ルールを記述したもの等を用意する。ユーザがこれらのテンプレートを基にして自分で作成したエージェントを人工市場に参加できるようにする。

人工市場コアモジュールと市場参加者(エージェントや人間)の間での注文情報や市場データの通信には、実際の金融取引で用いられている FIX プロトコルを使用する。FIX プロトコルとは、Financial-Information-eXchange の略で、証券会社 (Sell サイド) と機関投資家 (Buy サイド) 間で取引を電子的に統一的な仕様で実現するためのプロトコルである [FIX 05]。全世界の金融機関からなる FIX 委員会により制定・公開され、証券会社と機関投資家、マーケットの間で取引情報を電子的にやり取りする為の標準的な手段となっている。人工市場サービスの内部での通信に FIX プロトコルを用いることによって、人工市場に参加しているエージェントは実際の金融市場での取引に対応することが容易であることも特徴の一つである。

### 4.4. 人工市場サービス API

上述の人工市場コアモジュールとエージェントテンプレートを使用する条件をサービスの目的に合わせて指定したり、人工市場シミュレーションによって生成されるデータを他のサービスに利用するために取り出したりといったサービス連携を SOAP や REST のプロトコルにより行う。サービス連携時に指定される人工市場シミュレーションの条件としては、市場参加者の数や種類、価格決定方式の種類、市場シミュレーションの時間間隔、出力するデータの種類などが挙げられる。また、他のサービスとの連携の例としては、前述の予測市場では人間が選挙結果などの予測を人工市場に入力(投資)するためのインターフェース、投資の結果でできた価格データを予測として表示する可視化モジュールとの連携が挙げられる。他にも、全てエージェントから構成される人工市場で、自分が作った自動トレーディングプログラムを評価することもサービス連携で可能である。この場合には、自動トレーディングプログラムを人工市場に参加させるインターフェースと、その結果の評価モジュールとの連携が必要となる。

## 5. 新たなサービスの構築

本稿で提案する人工市場サービスを用いて、どのようなサービスが可能となるか、想定されるサービスの例について述べる。

### 5.1. 想定されるサービスの分類

人工市場サービスとの連携で可能となるサービスについて、現時点で想定されているサービスを、①人工市場の主な市場参加者の種類と②人工市場での価格の意味の2軸で分類してみたのが図7である。

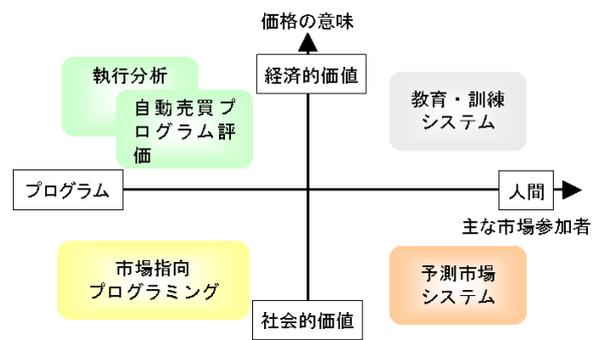


図7 想定されるサービスの分類

主な市場参加者の種類(ミクロな特徴): 人工市場では計算機プログラム(エージェント)も人間も混在可能である。予測市場システムや投資教育や訓練のためのシステムは、主な市場参加者は人間である。これに対して、自動トレーディングプログラムの評価システムや特定期間内で特定数量の金融資本をどのように分割して売買するか判断するための実行分析システムではエージェントが主な市場参加者となる。また、分散資源割り当て問題を市場メカニズムを用いて解く市場指向プログラミングでもエージェントの参加が主になる。

② 価格の意味(マクロな特徴): 人工市場サービスを利用する際に、仮想市場での価格がどのような意味を持つサービスかによっても分類できる。例えば、先ほどの実行分析、自動取引プログラム評価、教育・訓練システムでは、人工市場は通常の金融市場の模倣であるので、価格は貨幣のような経済

的価値を表すことになる。これに対して、予測市場や市場指向プログラミングでは、市場メカニズムを意思決定という広い文脈のサービスで用いるので、価格は将来の予測値や資源の価値といったより広範な社会的な価値を表すことになる。次節以降で特に予測市場サービスと自動取引プログラムの評価サービスの2つに関して、サービス連携の想定例として説明を行う。

## 5.2. 予測市場サービス

予測市場では、予測したい将来の出来事を資本と見なした仮想先物市場を提供することになる(図8)。市場参加者は基本的に全て人間である。人工市場サービスに連携させる他のサービスは、市場参加者の管理機能、市場参加者が資本を取引するためのインターフェース、現在の市場価格(予測値)と過去の価格動向を視覚化して表示する機能などである。これらのサービスの組み合わせにより、ユーザが自分の興味がある将来の事象に対する予測市場を提供するサービスになる。

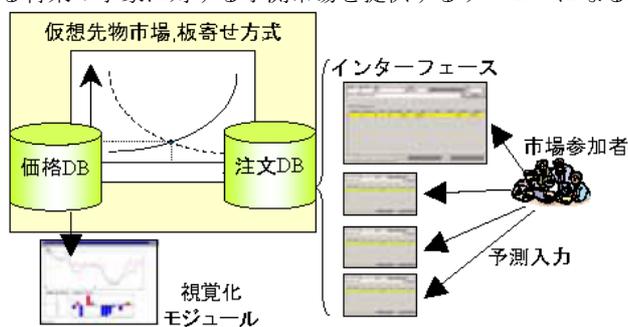


図8 サービス連携による予測市場の枠組み

## 5.3. 自動売買プログラム評価

米国では現在、あらかじめ設定した取引アルゴリズムを基に作成された自動トレーディングプログラムやトレーディングシステムを用いた取引が、すでに市場の二割を占めている。トレーディングシステムの普及が金融市場にどのような影響を与えるのか、また市場を不安定化させないトレーディングシステムの要件とは何かを明らかにすることが急務となっている。人工市場サービスとの複数のサービスとの組み合わせにより、自動トレーディングプログラムの参加が市場全体の安定性に与える影響を事前評価し、プログラムの運用方針を決定できるようなシステムを構築することができる(図9)。

人工市場においてテンプレートエージェントの参加するマルチエージェント市場シミュレーションを行い、現時点での標準的なトレーディングアルゴリズムを実装した自動トレーディングプログラムを、実際の株式市場における個別銘柄

柄等を利用して一定期間のシミュレーションを行い、市場の与える影響を計りながら安定性評価のテストを行うことができる。

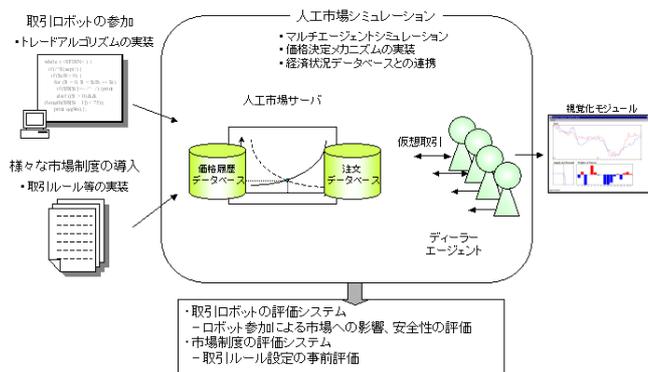


図9 人工市場サービスを用いた自動取引プログラムの評価

## 6. おわりに

本稿では、人工市場シミュレーションのモジュール化により、市場シミュレーションを使ったサービスをユーザが自由に設定できるシステムのフレームワークを提唱した。今後、本システムにより、市場メカニズムを今まで思いもつかなかったような分野に適用した新たなサービスが創発されることが期待される。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり多くの方々との議論をさせていただいたことをこの場を借りてお礼を申し上げます。特に横尾 真さん(九州大学)や山口 浩さん(駒澤大学)に誠に有益な議論をしていただいたことに深く感謝いたします。

## 参考文献

- [FIX 05] FIX Protocol Ltd.: The FIX Guide: Implementing the FIX Protocol, Xlibris (2005).
- [和泉 03] 和泉潔: 人工市場: 市場分析の複雑系アプローチ, 森北出版(2003).
- [Surowiecki 05] Surowiecki, J.: The Wisdom of Crowds, Abacus (2005), (邦訳: 「みんなの意見」は案外正しい, 小高尚子訳, 角川書店(2006)).
- [梅田 06] 梅田望夫: ウェブ進化論本当の大変化はこれから始まる, 筑摩書房(2006).
- [Yamaguchi 06] Yamaguchi, H.: General Election Hatena: The First Political Prediction Market in Japan, Proc. of JAWS 2006 (2006).