

コンピュータの中の社会・経済

—人工社会・経済モデルによる意思決定支援システムの構築—

和泉 潔

1. 研究のねらい

より現実的な社会・経済現象の理論を求めて

皆さんは、自分たち一人一人の行動が、社会や経済全体の動きとどのようにつながっているのか考えたことはないだろうか。たとえば普段自分が様々な情報をもとにして色々なものを買ったりする行動と、ある商品が流行によって売上げを伸ばすこととどのように関連しているのだろうか。また、選挙のときに色々考えて投票した結果から、どのようにしてある政党が議席を増やしたり減らしたりしていくのだろうか。そして、株価や円ドルの為替レートといった金融価格の動きは、ディーラーやトレーダー個人の売買行動から、どのようにして決まるのだろうか。

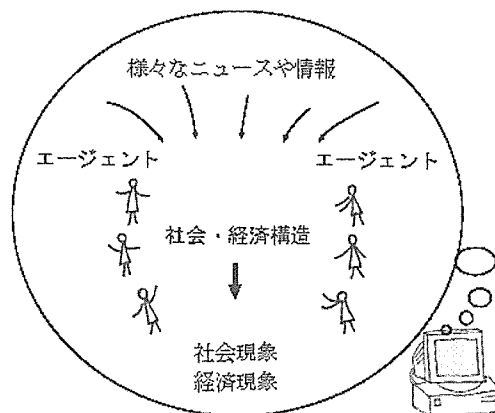
いままでの社会・経済理論ではこれらの問題をうまく解明することは出来なかった。特に今までの経済理論では合理的な人間だけが存在する経済を想定して、個性の違いや、心理的な側面を軽視していたため、非現実的な経済しか仮定することが出来なかったからである。

そこで私は、コンピュータの中に“人間の心理”を取り入れた架空の社会・経済現象、すなわち人工社会や人工経済を作り出し、それを分析することで現実の社会・経済現象を探ろうと考えた。

人工社会・経済 = エージェント + 社会・経済構造

人工社会および人工経済(以下、人工社会・経済)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社会現象や経済現象のことである(図 1)。

図 1 人工社会・経済の概要



人工社会・経済とは、エージェントを基本単位とした、社会・経済構造を持つ、計算機プログラムである。

人工社会・経済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意思決定者である。また時には、生身の人間がエージェントに混じって人工社会・経済での意思決定に参加する場合もある。人工社会・経済の中にいる、各エージェントは、研究対象となる社会・経済現象に関連するニュースや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社会・経済行動を決定する。また、自分なりの行動のルールを、何らかの基準を高めるように修正を行っていく。このようなエージェントの意思決定の結果、人工社会・経済の中で仮想的な社会・経済現象が現れてくる。つまり、エージェントは人工社会・経済を構成する際の基本単位となっているのである。

各エージェントの社会・経済行動が集積し仮想的な社会・経済システムが変化していく仕組みを**社会・経済構造**と呼ぶ。人工社会・経済の主な目的は、意思決定者の行動が集積して、社会・経済システム全体でみられるある現象が出現するメカニズムの解明を行うことである。そのメカニズムを知るために、社会・経済構造はモデルの要ともなる非常に重要な構成要素であり、現実の社会・経済現象の構造を反映したものでなければならない。

以上のことをまとめると、人工社会・経済とは、エージェントを基本単位とした、社会・経済構造を持つ、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。

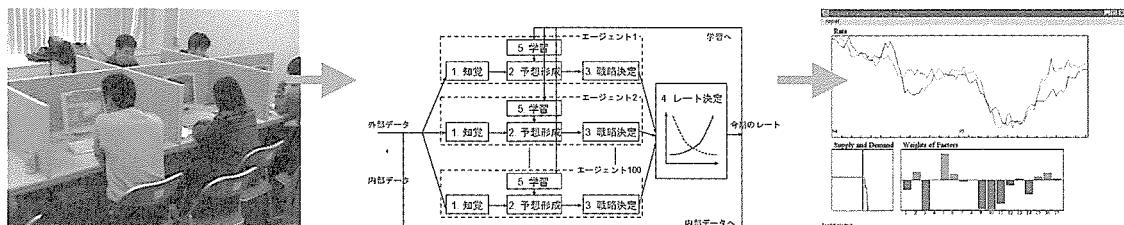
2. 研究成果

人工市場プロジェクトの概要

近年、計算機上に仮想的なディーラーの役割をするコンピュータプログラムを作り、これらのエージェントが自由に取引を行なう仮想市場で実験を行なう人工市場研究が、多くの研究者の注目を集めている。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なっている情報処理プロセスの分析を行ない、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2のような、フィールドワークと人工市場モデルの統合による研究プロジェクトを提唱する。

図2 人工市場プロジェクトの枠組み

- ①模擬市場によるフィールドワーク ②人工市場モデルの構築 ③現実のデータを用いたシミュレーション



金融市場を一例として人工市場プロジェクトを提唱した。この研究プロジェクトでは、最初に生身の人間を対象としたフィールドワークを行い、次に計算機の中に人工市場モデルを構築して、このモデルに現実のデータを与えてシミュレーションを行って、現実の金融市場の分析を行った。

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3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 VDS (Virtual Dealing System)を通して、仮想的な為替取引を行ってもらった。VDSの画面は図4であり、実験の参加者は図4bのウィンドウで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、図4cのブローカー取引または図4eのインターバンク取引により、利得を上げるように意思決定を行う。また、図4dにより過去のニュースを参照したり、図4aにより現在の自分の資産持高や含み損益を知ることができる。

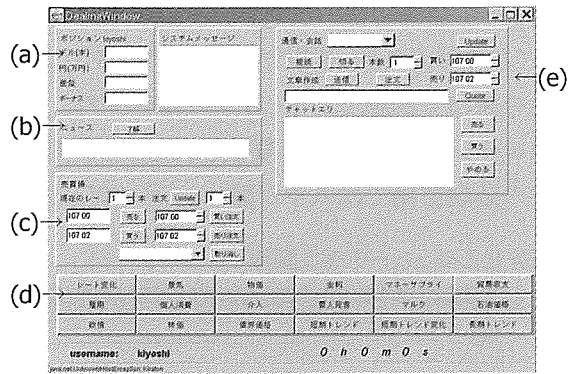
実験により以下のデータを得ることができる: (1)レートログ、(2)取引ログ、(3)取引時の会話ログ、(4)データ参照時間、(5)予想アンケート。これらのデータを用いて、人工市場でのエージェントの戦略決定や学習に関する構造を決定した。

図3 模擬市場実験の枠組み



- ◆ 被験者: 金融に関して知識のある学生, 若手ディーラー 1回 10~20人
- ◆ 方法: コンピュータネットワーク上の市場シミュレーションソフトを用いて、市場を模倣したゲームを行なわせる。
 - ・各参加者→仮想的な外為銀行を形成
 - ・各外為銀行は通貨を売買
 - ・取引方法は
 - (1)銀行間取引
 - (2)ブローカー取引
 - ・画面上にニュースが表示

図4 模擬市場システム VDS の画面

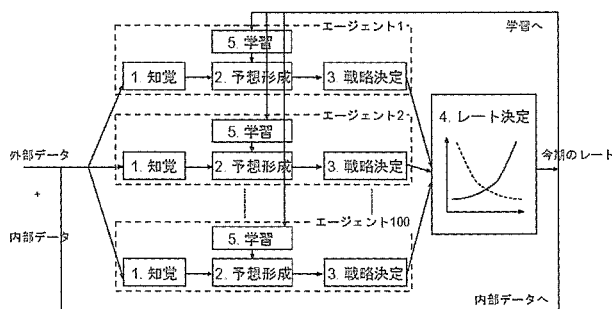


- (a) 現在の自分の資産持高や含み損益
- (b) 経済情報や政治ニュース
- (c) ブローカー取引
- (d) 過去の経済情報や政治ニュース
- (e) 銀行間取引

人工市場モデルの構築

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 (AGEnetic-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5)。

図5 人工市場モデルの枠組み



モデルの1期間は現実の市場の1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。

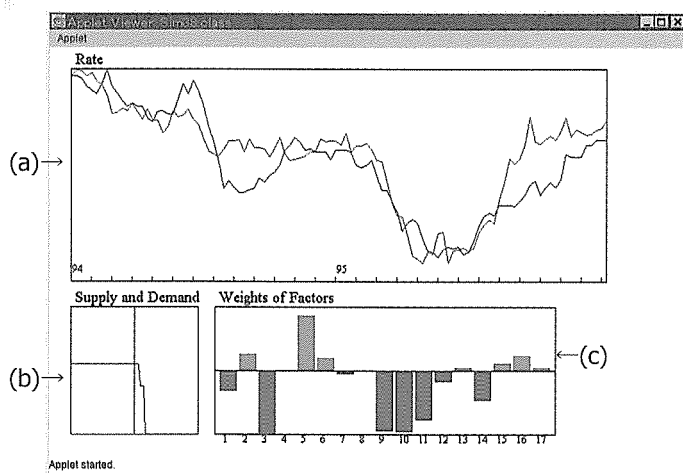
- (1) 知覚
- (2) 予想形成
- (3) 戦略決定
- (4) レート決定
- (5) 学習

人工市場モデルの一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6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。

図6 シミュレーション画面



人工市場によって得られるデータの例

- (a) 現実の金融価格(赤い線)と人工市場で得られた金融価格の値動き(青い線)
- (b) 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
- (c) 人工市場の中のエージェントたちがつけた各ニュースへの重要度

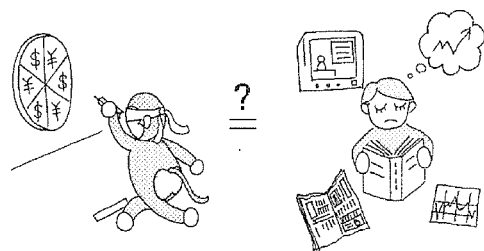
現実のデータを用いたシミュレーション

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。

◆ 理論: 既存の経済理論の検証

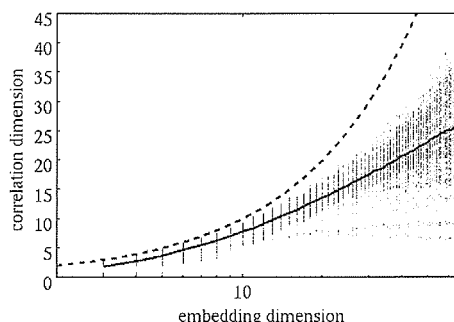
人工市場に経済理論の前提条件を与え、金融価格の動きを調べることによって、理論の検証を直接行うことができる。図7の効率的市場仮説(市場は情報を取り入れるのが極めて迅速であり、ある者が情報を先駆けすることによって他の者より有利になるという状況は生じないとする説)という既存の経済理論の定量的な検証を行った(図8)。

図 7 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す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。
したがって、金融価格の動きはランダムウォークになり、サルの予測も専門家の予測も当たり外れのパフォーマンスは同じになる。

図 8 人工市場による検証結果



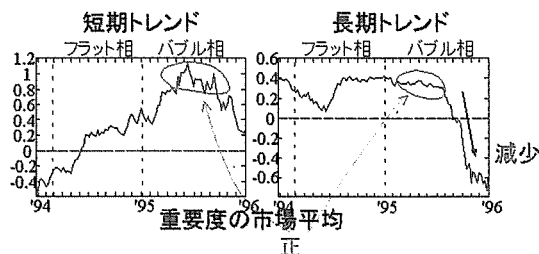
相関次元分析と呼ばれる手法で人工市場のシミュレーション結果を分析したところ、エージェントが学習していても、人工市場の相関指数(実線)は、効率的市場仮説とは違って、ランダムウォークの理論値(点線)に近づくことはなかった。

◆ 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。

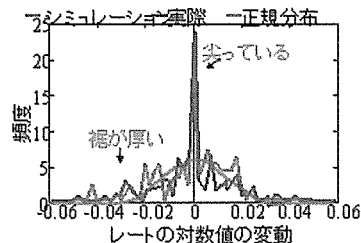
- (1) 為替レートバブルのメカニズムの解明(図 9)。
- (2) 市場の創発的現象のメカニズムの解明(図 10)。

図 9 為替レートバブルの解明



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 10 市場現象の解明



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。

◆ 応用: 現場の支援ツールの構築

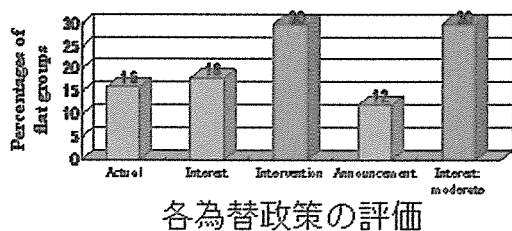
人工市場に金利などの政策的に操作できる様々な条件を与え、価格変動の評価を行うことができる。人工市場による為替政策の決定支援システムの構築を行った(図 11)。

情報源について

参考文献以外の情報源を下記に挙げる。

- ◆ 人工市場ソフトウェアのダウンロード <http://www.carc.aist.go.jp/~kiyoshi/program.html>
- ◆ 模擬市場プロジェクトのサイト <http://www.carc.aist.go.jp/~kiyoshi/jikken.html>
- ◆ 電子メールでの問い合わせ先 kiyoshi@ni.aist.go.jp (和泉 潔)

図 11 為替政策の決定支援システム



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。

3. 今後の展開

他の社会・経済現象へ

現在、人工市場の手法を用いて、投票行動やマーケティングといった他の社会・経済現象に応用することを進めている。

今後、人工社会・人工経済の研究がさらに発展すれば、人間は複雑な社会的状況の中でどのように情報を解釈して行動し学習を行っているのかということを解明する新しい社会科学そして新しい情報科学として、社会学・経済学と心理学や人工知能とを結ぶ架け橋となると考えている。

4. 成果リスト

書籍 (単著)

1. 和泉 潔 (2002年12月発刊予定), 『人工市場: 複雑系アプローチによる金融市場の分析』, 森北出版.

書籍 (共著)

2. K. Izumi and K. Ueda (2002), "Analysis of Exchange Rate Scenarios Using an Artificial Market Approach", in S.-H. Chen (eds.), "Evolutionary Computation in Economic and Finance", Springer Verlag, pp135-157.
3. 安富 歩・池上 高志・和泉 潔 (2002), 「複雑系という科学」、吉田 和男編、『複雑系経済学へのアプローチ』, 東洋経済新報社, pp. 21-48.
4. K. Izumi (2002), An Artificial Market Analysis of Development of Market Complexity, in A. Namatame and T. Terano and K. Kurumatani (eds.), "Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems", IOS Press, pp. 47-58.

5. K. Izumi (2001), Complexity of Agents and Complexity of Markets, in T. Terano, T. Nishida, A. Namatame, S. Tsumoto, Y. Osawa, and T. Washio (eds.), *New Frontiers in Artificial Intelligence*, Springer Verlag, pp110-120.
6. K. Izumi and K. Ueda (2000), Learning of Virtual Dealers in an Artificial Market: Comparison with Interview Data, in K.S. Leung, L.-W. Chan., and H. Meng (eds.), *Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, Springer Verlag, pp 511-516.
7. 和泉 潔・植田 一博 (2000)、「金融市場における意図せざる協調現象: 人工市場アプローチによる分析」、植田一博・岡田猛編、『協同の知を探る: 創造的コラボレーションの認知科学』、共立出版、pp 199-227.

学会誌・ジャーナル

1. K. Izumi, S. Nakamura, and K. Ueda (to appear), Development of an Artificial Market Model Based on a Field Study, *Information Sciences*.
2. 和泉 潔 (2002)、人工市場の作り方: ヤッコにならないために、システム/制御/情報(システム制御情報学会誌)、Vol.46, No.9, pp. 547-554.
3. K. Izumi and K. Ueda (2001), Phase Transition in a Foreign Exchange Market: Analysis Based on an Artificial Market Approach, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.5, No. 5, pp 456-470.
4. 中村 茂雄・和泉 潔・植田 一博 (2001)、人工市場と実験市場の出会い: 模擬トレーディング実験による新しいエージェントモデルの提唱、オペレーションズリサーチ、Vol. 46, No. 10, pp 549-554.
5. 出口 弘・和泉 潔・塩沢 吉典・高安 秀樹・寺野 隆雄・佐藤 浩・喜多 一 (2000)、人工市場を研究する社会的および学問的意義、人工知能学会誌、Vol.15, No. 6, pp 982-989.
6. 和泉 潔・植田 一博 (2000)、人工市場入門、人工知能学会誌、Vol.15, No.6, pp 941-950.
7. 和泉 潔・植田 一博 (2000)、人工市場アプローチによる為替シナリオの分析、コンピュータソフトウェア Vol.17, No. 5, pp 47-54.

学会論文集(査読あり)

1. K. Izumi (2002), Micro-macro relation in artificial market models, in A. Namatame, D. Green, Y. Aruka, and H. Sato (eds.), *Proceedings of the 6th International Conference on Complex Systems 2002*, pp.36-43.
2. K. Izumi (2002), Does Learning by Market Participants Make Financial Markets Complicated?, *Multi-Agent Modeling and Simulation of Economic Systems: Papers from the AAI Workshop Technical Report WS-02-10*, AAAI Press, pp. 11-15.
3. K. Izumi, S. Nakamura, and K. Ueda (2002), Identification of Agents' Strategy Making Process by an Experimental Market, in H. Caulfield, S.-H. Chen et.al. (eds.), *Proceedings of the 6th Joint Conference on Artificial Intelligence*, vol. 2, pp 1081-1084.
4. K. Izumi (2001), Analysis of the Relation between Complexity of Agents and Complexity of Markets in an Artificial Market, *Proceedings of Fourth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2001)*, IEEE Computer Society, pp. 29-33.
5. K. Izumi (2001), Complexity of Agents and Complexity of Markets, in *Proceedings of JSAI 2001*

International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS 2001), pp. 201-208.

6. K. Izumi and K. Ueda (2000), Phase Transition in a Foreign Exchange Market: Analysis Based on an Artificial Market Approach, in Proceedings of Symposium on Empirical Science of Financial Fluctuations, pp 33-34.
7. K. Izumi and K. Ueda (2000), Analysis of Thought Processes of Virtual Dealers in an Artificial Market, in P.P. Wang (eds.), Proceedings of the Fifth Joint Conference on Artificial Intelligence, vol. 2, pp 891-894.

学会論文集(査読なし)

1. 和泉 潔(2002)、人工市場：シミュレーションとフィールドワークの統合を目指して、日本シミュレーション&ゲーミング学会 2002 年度秋季大会 発表論文集、pp. 148-153, (基調講演).
2. 和泉 潔(2002)、人工社会・経済ソフトウェアの現状と展望、2002 年度情報科学技術フォーラム、pp. 63-64.
3. 和泉 潔・内田 勇輔・植田 一博(2002)、人工市場・模擬市場プロジェクトの紹介、2002 年度情報科学技術フォーラム、pp. 73-74.
4. 和泉 潔(2002)、人工市場研究について、日本応用数理学会 2002 年度年会 プログラム/要旨集、pp. 51.
5. 和泉 潔(2002)、人工市場と実験市場の出会い、第 48 回シンポジウム論文集、オペレーションズリサーチ学会、pp. 39-43.
6. K. Izumi (2002), Analysis of the Relation between Complexity of Agents and Complexity of Markets in an Artificial Market, 情報処理学会研究報告 2002-ICS-127, pp63-70.
7. 和泉 潔 (2001)、人工市場におけるエージェントの複雑さと市場の複雑さの関係の分析、社会組織のマルチエージェントシステム分析、計測自動制御学会、pp 33-38.
8. 和泉 潔 (2001)、個人の複雑さ、市場の複雑さ、情報処理学会研究報告 2001-ICS-123, pp19-24.
9. 中村 茂雄・和泉 潔・植田 一博 (2001)、為替ディーラーの意思決定の分析、情報処理学会研究報告 2001-ICS-123, pp37-42.
10. 和泉 潔・植田 一博 (2000)、人工市場入門、情報処理学会研究報告 2000-ICS-119, pp9-17.
11. 和泉 潔・植田 一博 (2000)、人工市場アプローチによる為替シナリオの分析、情報処理学会研究報告 2000-ICS-119, Vol.99, pp1-8.