

GAを用いた実験市場における投資行動学習の一試行

内木 哲也¹
東洋大学経営学部

概 要

実験経済学における実験市場では Double Auction 市場が完全競争市場の研究によく用いられる。本研究は遺伝的アルゴリズム(GA)によって Double Auction 市場において最大の収益を得るように行動する Agent の行動様式の抽出可能性を探ることを目的としている。本論文では、この研究のために作成した実験プログラムの概要と、これまでに行った実験の結果について述べる。

An Experiment for Emergence of Trading Behaviors in Double Auction Market using Genetic Algorithm

Tetsuya Uchiki
Faculty of Business Administration, Toyo University

Abstract

Double Auction market is used to an experiment of a perfect competition market in experiment economics. A purpose of this research is to search the possibility to find out the behaviors that obtain the maximum profits in this market using genetic algorithms (GA). This paper describe about an experiment program using a GA for this research, and the results of the experiment employing the program.

1. はじめに

実験経済学における実験市場としてよく利用される Double Auction 市場では、売り手が売値を買い手が買値をそれぞれ提示して行くことによって市場価格を決定する。この実際の例は外国為替市場な

どに見ることができるが、均衡状態への到達が他の市場方式に比べて早く確実な方法であるとされている[1]。

本研究は、この Double Auction 市場から最大の収益を得られるように行動する Agent の行動様式を遺伝的アルゴリズム

¹ 〒112 東京都文京区白山 5-28-20 (5-28-20 Hakusan, Bunkyo, Tokyo 112 Japan)
e-mail: uchiki@hakusrv.toyo.ac.jp, <http://www.mng.toyo.ac.jp/~uchiki/>

ム(GA)によって抽出し、その特性を探ることを目的としている。本論文では、この研究のために作成した実験プログラムの基本コンセプトと全体構造ならびに、これまでに行った実験の結果について述べる。

2. 実験市場と投資行動

Double Auction 市場での価格形成実験では、売り手として参加する者はそれぞれ取引する商品ともいえる原価のあるユニットを持ち、買い手として参加する者はそれぞれそのユニットを落札するための購入資金を持つ。それらのユニットの原価と購入資金は、この実験パラメータとして図1に示すような需要供給曲線に基づいて決められ、参加者に対して個別に提示される。参加者には売り手か買い手かという市場での役割情報が与えられ、売り手には取引可能なユニットとその原価が、買い手には購入すべきユニット数とその購入資金が与えられる。売り手の場合は、原価よりも高く売ることによって収益を得ることができる。それと同様に買い手の場合は、購入資金よりも安く必要なユニットを購入することで、買い手の収益ともいえる余剰金を得ることができるとしている。このような条件下で、

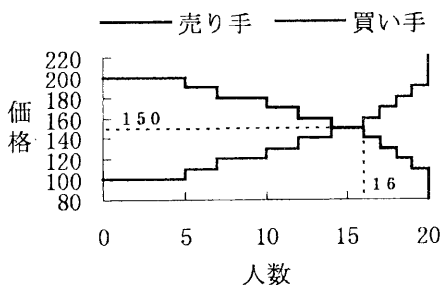


図1 ユニットコストと購入資金

売り手と買い手双方がより多くの収益を挙げるよう個別に行動するならば、に行動することによって、次第に実験パラメータとして予め決められた理論的均衡価格付近で取引されるようになる。図1の場合は\$150が均衡価格であり、取引数は16ユニットである。このようにして市場価格の形成過程が観測できるのである。

実験経済学ではこのような方法で、経済現象を実験室で再現したり、説明するだけでなく、個々の参加者が最大の利益を得るように合理的に行動するという仮定の下に構築された既存の経済モデルと、人間的特性が加味される実験結果の相違を見いだして、その原因解明や新たなモデル構築を目指している[1]。しかし、これらの実験結果を用いた経済行動の分析はまだ端緒についたばかりであり、上述したような比較的単純な **Double Auction** 市場での行動でさえ、その行動様式は明確ではない。それを解明する手段としてシミュレーションを用いた研究もいくつかなされている[2,3,4]。

3. シミュレーションモデル

本実験プログラムは、投資実験市場のシミュレータを核として、その市場への参加者である **Agent** の行動様式を **Genetic Algorithm** に基づいて学習させることを目的としている²。各 **Agent** は、それぞれランダムに行動様式を与えられると共に、売るべきユニットを持った売り手か買うべきユニットの購入資金を持

² シミュレーションの構造は文献[5]を参考に設計した。また、実際のプログラミングに関しては文献[6]を参考にした。

った買い手として割り当てられる。

実験市場のシミュレータは、それらの Agent にそれぞれの行動様式に従った価格を提示させ、取引を成立させる。この取引によって得られた収益高の総計をその Agent が持つ行動様式の実験市場への適応度と考えて、それらの行動様式を選択、交配することによって、次の世代の Agent に与えられる行動様式を作り出している。この場合、実験市場への適応度は各 Agent に初期値として与えられたユニットのコストや購入資金にある程度左右されると考えられるため、シミュレーションを数回繰り返して、その都度全 Agent のコストや購入資金をランダムに与え直している。また、シミュレーションに参加する Agent 数が増加すると、シミュレーションの1期間を伸ばさなければならない[7]ことから、売り手と買い手とをそれぞれ 10Agent ずつのグループに分け、各グループ毎にシミュレーションを実施した。

実験市場シミュレータは、単位時間毎にそのシミュレーションに参加している全 Agent より提示された価格に基づき、取引を決定している。まず各 Agent に対して、単位時間毎にそれぞれが持つ行動様式に従った売値または買値を提示させる。Agent は2つのユニットおよび購入資金を持っているが、これも行動様式に従ってシミュレーションに先立ってその中の一方を取引対象として予め選択されており、途中で取引対象を変えずに選択された対象を取引するための行動を継続する。取引が成立しない場合には、次の提示価格決定では市場に提示された最安

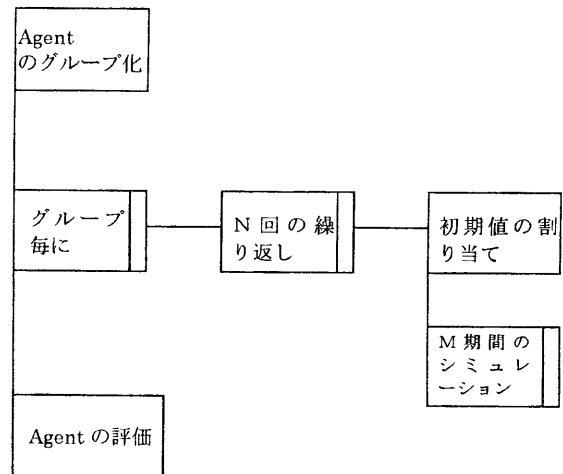


図2 全体のシミュレーションの構造 (PAD 表現)

値の売値と最高値の買値を参考にする。

シミュレータは売値の最小値と買値の最大値を比較して、売り手と買い手の双方を満足する値が提示されているとき、すなわち買値の最大値が売値の最小値以上の場合に取引を成立とみなす。この際、売値が1単位時間前の買値と同じか、同様に買値が1単位時間前の売値と同じであれば、それらの値を優先して取引価格とするが、その両方が存在する場合やそのどちらにも該当しない場合には、売値の最小値か買値の最大値かのどちらかをランダムに選択して取引価格とする。なお、Agent の提示価格は収益がマイナスになるような価格、すなわちそれが持つユニットのコストを下回る価格や手持ち資金を上回る価格は提示しない。また、売値の最小値および買値の最大値が複数ある場合は、その中からランダムに一つを代表として取引の対象とする。取引が成立した際には、該当する Agent は取引価格とコストまたは手持ち資金との差を収益として計上する。

各 Agent は手持ちのユニットを全て処

分するまで市場に参加するが、開期時間（これを一期間とする）が経過すると市場は閉鎖し、取引は中止となる。その後、Agent の持つユニットのコストや購入資金の価格を変えずに市場を再開して一期間のシミュレーションを行い、同様に収益を計上する。これを数期間繰り返した後、Agent の持つユニットのコストや購入資金を再度与え直して市場を新規に開設し、その設定値を用いて同様に数期間のシミュレーションを行う。

一連のシミュレーションが終了した時点で各 Agent の総収益を比較する。本実験プログラムでは収益の高い Agent 程、市場に適合していると考えて、Agent の総収益に比例して確率的に個体を選ぶルーレット戦略を使用した。各 Agent は価格提示のための行動様式と、価格生成の際の乱数分布の幅を決める係数を持っている。行動様式は次章に示すような8つの戦略を用意し、それぞれにおいて、手持ち2つのユニットをどのような順番で取引するかを決める戦略と合わせて16通りの戦略因子を用意した。一方の係数は発生する乱数の分布の幅を決めるため、幅が広いほどより早く市場価格に順応する可能性がある。従って、この係数によって市場に提示する価格が市場の状況に対して妥協的か非妥協的かを表すことができると考えられる。これら双方を一つの遺伝子情報として16 bit で表現した。交配はこの遺伝子を配偶因子と1点で交叉させ、配偶因子との間に2つの遺伝子を発生させている。

これら次世代の Agent を再びグループ化し直し、各グループ毎に同様に上述の一連のシミュレーションを実施して、環

境に適応した行動様式の存在を確認しようとしているのである。

4. Agent の行動様式モデル

各 Agent の行動様式としては基本的には以下に述べるような4つを用意し、それぞれにユニットの取引順を利益率の高い順にするか低い順にするかを与えている。さらに取引する市場均衡価格の予測関数を用いるかどうかを与えているため、合計 16 種類の行動様式が存在することになる。この基本的な4つの行動様式のうち、3つは何らかの乱数を用いて価格提示をしている。

4.1 一様乱数による価格発生

市場に提示された売値と買値との間で値をとる一様乱数によって次の提示価格を決める行動様式である。但し、売値または買値が自分が提示できる価格の範囲を越えている場合は、提示可能な価格の範囲内で価格を決定する。

4.2 加重平均値と一様乱数による価格発生

均衡値以上でなるべく現在自分に最も有利な価格を提示しようとする行動様式である。基本的には4.1と同様であるが、乱数の発生範囲を市場売買提示価格の平均値までに限定することである程度の利益を確保しようとする。市場売買価格の平均値は、最近市場に提示された売値と買値を用いた加重平均として計算している。重み係数は0~4.0の実数乱数で与えており、重み係数自体も学習対象としている。但し、加重平均値が提示可能な価格の範囲外の場合は、4.1と同様に範囲内での価格決定となる。

4.3 正規分布乱数による価格発生

市場に素早く対応するために現在の売

買価格の平均値を均衡値と考えて、その近辺の値を提示しようとする行動様式である。平均値は 4.2 と同様に加重平均を用いるが、値の分布範囲は提示可能で、かつ提示されている売値と買値を越えない範囲としている。

4.4 加重平均値のみによる価格決定

売値と買値の加重平均を常に提示する行動様式である。この行動様式は、市場への提示価格がある値に収束しつつある際に素早く均衡に到達できると考えられる。

4.5 市場均衡価格の予測関数の利用

4.1~4.4 の 4 つのそれぞれの行動様式において、市場均衡価格の予測関数を用いる場合を以下のように定義した。予測関数を用いる場合は、予測値が出るまでは慎重に行動し、予測値が出た後では、その値に従って価格を決定する。ここで用いた予測関数は過去に市場に提示された売値と買値の総平均を計算するものである。どの行動様式にも関わらず、他者の提示価格が予測値と同等、またはそれより良い値であれば、その値で取引するためにその価格を提示する。例えば買い手の場合、予測値より低い売値が提示され、かつ受け入れ可能価格であれば、その売値を次の買値価格として落札しようとする。しかし、価格が予測値を越えている場合は、現在の買値と予測値との間での堅調な価格提示をする。その他の場合は、4.1~4.4 のいずれかの行動様式を用いて次の提示価格を生成する。但し、生成された価格が予測値よりも小さい場合は予測値を提示価格とする。

5. シミュレーション結果

本実験プログラムを用いて 3000 世代までシミュレーションした結果を図 3~10 に示す。120Agent を売り手と買い手に半分ずつ割り当て、売り手と買い手が 10Agent ずつの 6 グループを用いた。各グループ毎に 2 期間のシミュレーションを 5 回繰り返しているため、1 世代当たり 60 回シミュレーションを実行した。

図 3 は市場の参加者全員の収益の合計が、その市場より獲得可能な最大収益と比較して平均 95%以上となっていることを示している。完全競争市場ではこれが 100%になるが[1]、ほぼそれに近い市場状況が成立していることが伺える。しかし、図 3 では時折大きく収益率が低下する場面がある。これは売り手と買い手が最初に提示できる価格の範囲の違いが影響していると考えられるため³、売り手の提示価格範囲を買い手の提示価格範囲と同じ幅にして実験した結果が図 4 である。図 4 は図 3 に比べて変動が安定していくように観察されるが、3000 世代までの平均値は両者ともほぼ同様であった。

また、完全競争市場では売り手と買い手のそれぞれの総収益が等しくなる[1]は必ずであるが、両者とも双方の総収益は平均的には等しくなっているものの、等しい状態(50%)で安定せずに大きく変動している。

ユニットの取引順序については、図 5 に示したように、早い段階からその取引によって得られる利得の大きいユニットから順次処理するように学習が進んでい

³ 原理的に買い手は 0 より小さい買値を提示できないが、売り手はどんな高い売値でも提示可能であるため。

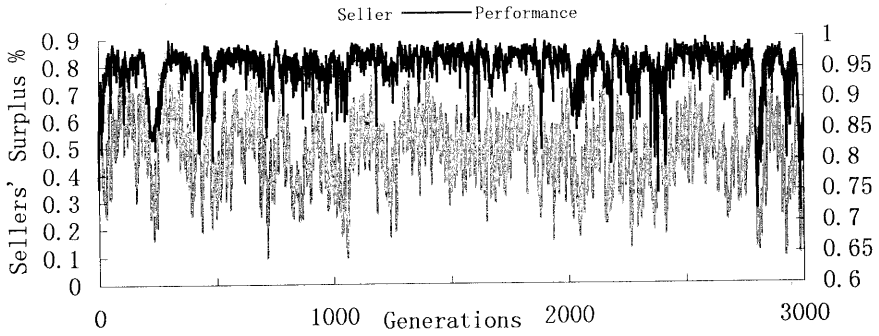


図3 全参加者の収益率の推移と売り手の収益率の占める割合(1)

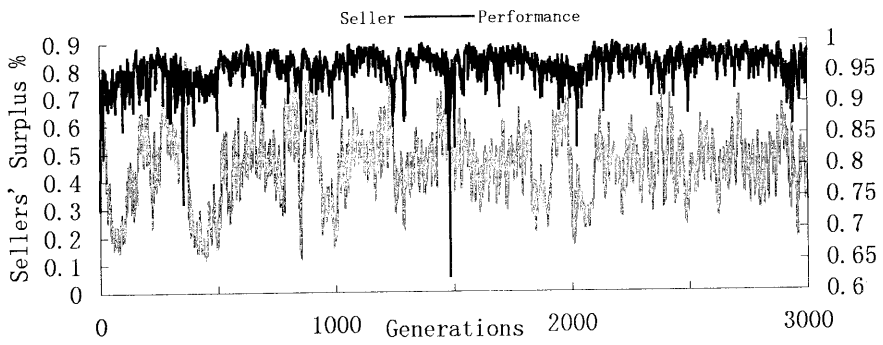


図4 全参加者の収益率の推移と売り手の収益率の占める割合(2)

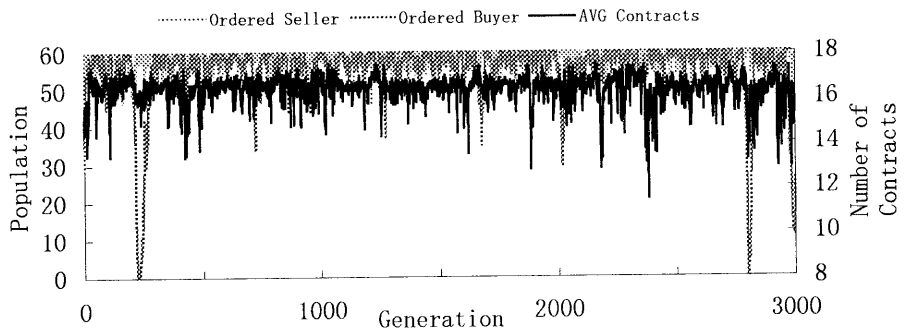


図5 高収益順にユニットを取引する Agent と取引締結数の世代変動(1)

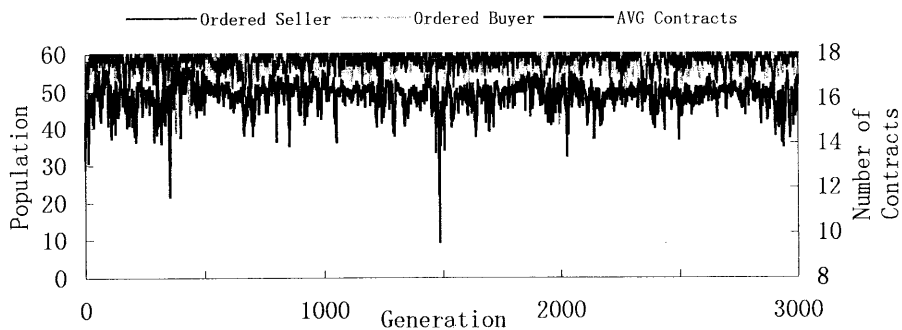


図6 高収益順にユニットを取引する Agent と取引締結数の世代変動(2)

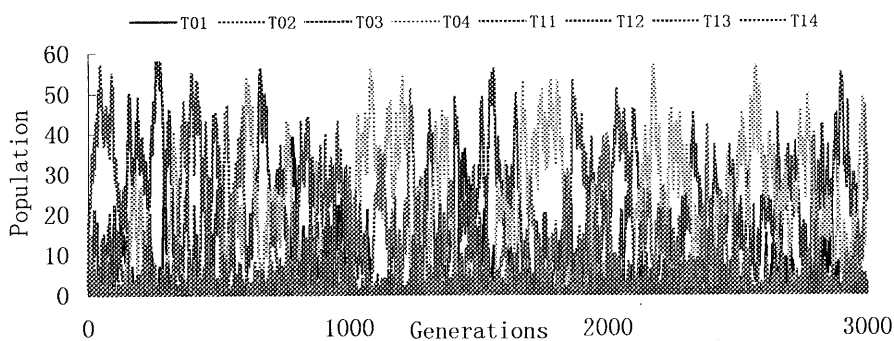


図7 各行動様式を採用する売り手 Agent 数の世代変動

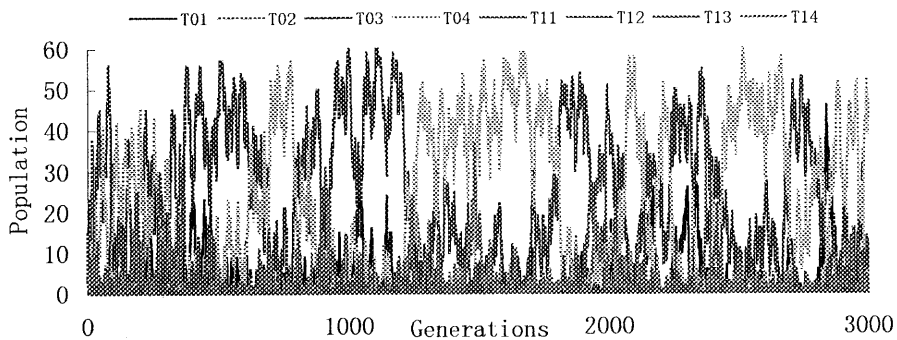


図8 各行動様式を採用する買い手 Agent 数の世代変動

ることがわかる。つまり、売り手はコストの低いユニットから順番に処理しようとし、買い手は多くの購入資金を割り当てられたユニットから順番に購入しようとするということである。しかし、図 5 では時折順序が覆されることがある。この原因も先の結果と同様に、売り手と買い手の価格提示可能範囲の違いによるものと考えられる。そこで、売り手の価格提示範囲を買い手と等しくなるようにした実験結果が図 6 である。図 6 では順序が覆されるような結果はまだ観察されていない。なお、図 5~6 で示されているように、シミュレーションにおける一市場当たりの取引成立数の平均値は、理論値の 16 に非常に近く、分布も 16 回付近を小幅に上下している。

いずれの場合においても、取引順序についてはほぼ一つに決まることが観察されたため、生き残る行動様式は半分の 8 種類であるということが出来る。そこで、その 8 種類の行動様式を採る Agent 数の世代変動を示したのが図 7~8 である。これらから窺えることは、全くランダムな行動様式よりはある程度行動戦略を含んだ行動様式を採用した方が収益率が高いということである。また、サンタフェ研究所で行われた Double Auction 市場での投資行動プログラムトーナメントの結果[3]と同様に、単純な加重平均だけを用いる行動様式が比較的よい結果を納めていることも注目される。

また、売り手と買い手の価格提示可能範囲が等しい場合は、双方で生き残る行動様式は同様であり、その世代変動パターンもそれほど異ならない。しかし、双方の価格提示可能範囲が異なる場合は、

双方の行動様式の世代変動パターンは大きく異なる結果が観察された。

6. 今後の課題

今回の実験では、市場の状態を示すコストと購入資金の値は図 1 で示したもののみを用いているが、その分布の差による行動様式の違いを調べてゆく予定である。それと同時に実際の実験市場の結果との比較も必要であり、乱数系列の違いによる結果の相違の検証も必要である。

さらに、実際の実験市場では時間経過に伴って次第に均衡価格が形成されてゆく[7]。しかし、本実験での Agent の行動モデルは、参加者の沈黙や提示価格の応報といったやり取りを考慮したパラメータを含んでおらず、市場のシミュレータも時間経過を簡略化している。実際の実験市場を学習対象としてより忠実に再現するためには、そのようなシミュレーション環境の利用も必要と考えられる。

参考文献

- [1] D. Davis, C. Holts, "Experimental Economics," Princeton, 1993.
- [2] J. Holland, J. Miller, "Artificial Adaptive Agents in Economic Theory," American Economic Review Papers Proceedings, No.81, pp.365-370, 1991.
- [3] J. Rust, et. Al., "Characterizing effective trading strategies," Journal of Economic Dynamics and Control, No.18, pp.61-96, 1994.
- [4] J. Andreoni, J. Miller, "Auctions with Artificial Adaptive Agents," Games and Economic Behavior, No.10, pp.39-64, 1995.
- [5] 星野力, 他「遺伝的アルゴリズムによる動物行動様式の学習と進化」『遺伝的アルゴリズム』産業図書, pp.287-304, 1993.
- [6] Z. Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs (3rd. Ed.)," Springer, 1996.
- [7] 内木哲也「市場価格形成シミュレーション」情処研報, Vol.96, No.105, pp.1-6, 1995.