

市場価格形成シミュレーション

内木 哲也
東洋大学経営学部

概要

実験経済学^{1),2)}において市場での意思決定の実験に用いられるDoubleAuction市場をコンピュータ上でシミュレートするためのモデルを構築した。本研究の目的は市場における意思決定を再現できるコンピュータシミュレーションモデルの構築によって市場行動の理解を深めると共に、より詳細なレベルでの市場行動分析の可能性を探ることにある。

このシミュレーションの実現によって以下の事柄が可能になると考えられる。

- 1) 想定する理想環境下における市場予測が可能になる。
- 2) 実験に必要な参加者のトレーニングに用いることができる。
- 3) 電子市場実験ネットワークシステム上で実験参加者の代替を勤めさせられる。

Price Forming Simulation in Electrical Market

Tetsuya Uchiki

Faculty of Business Administration, Toyo University

Abstract

A computer simulation model of price forming experiment in double auction in experimental economics is described. The purpose of this research is to comprehend of decision behavior in the market, and to evaluate the possibility of market analysis using computer simulation.

This simulation model can realize the following matters.

- 1) A market prediction under the ideal environment,
- 2) To use as training system for the experiment participants, and
- 3) To substitute for the experiment participants in the electrical market environment.

1. モデルの基本的枠組み

このシミュレーションモデルは行動シミュレーションモデルParadiseの枠組みを用いて構築された。Paradiseは動物やロボットなどの知的行動体の行動をシミュレーションするために提案されたモデルである。この基本的概念は個々の行動体かその周囲にある環境を知覚し、次の行動を個別に決定して行動し、それぞれの行動が環境変化につながるという分散意思決定問題のシミュレーションモデルである。このモデルはこれまで魚の群の行動や車の渋滞などのシミュレーションに用いられた^[3]。

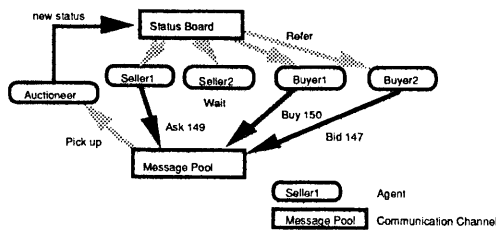


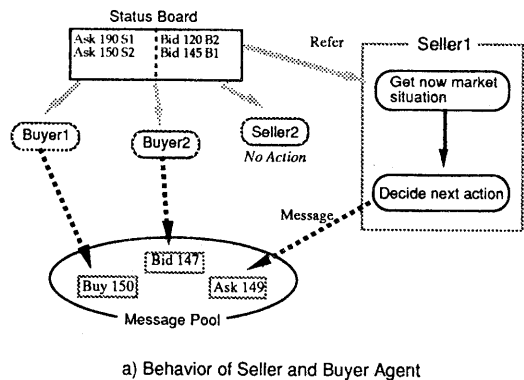
Fig. 1 Simulation Model

シミュレーションを行うには、各Agentが取得できる情報の形式化と、意思決定すべき行動、その行動によって生ずる情報の形式化が必要とされる。このモデルでは、Fig. 1に示すように売り手/買い手 (Seller / Buyer) AgentはCommunication Channelを通して得られる情報を認識し、状況判断して、次の行動を決定する能動的な行動体であるとした。売り手Agentは「売り」、「売値提示」、「模様眺め」、買い手Agentは「買い」、「買値提示」、「模様眺め」という行動決定し、「模様眺め」以外の場合はその行動を情報として競売人Agentが参照しているCommunication Channelに提示する。

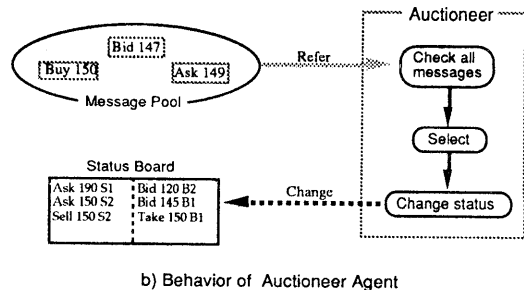
競売人Agentは売り手Agent、買い手Agentが提示した意思決定情報を取捨選択して、現在の市場情報を更新し、全ての売り手と買い手のAgentが参照しているCommunication Channelに最新の市場情報として提示する。このシミュレーションモデルではこのようにして通常のDouble Auctionと同様に市場価格が形成される。

2. Agentの基本行動

売り手/買い手 Agentは基本的にFig. 2に示したように行動する。まず、各AgentはStatusBoardの情報を参照して現在の市場の状況を知り、次の行動を決定する。何もしない場合以外は、各Agentは意思決定情報をMessagePoolへ送る。買い手Agentは売り手Agentと基本的には同様な行動をするのでFig2には売り手Agentの例だけを示している。



a) Behavior of Seller and Buyer Agent



b) Behavior of Auctioneer Agent

Fig. 2 Fundamental Behavior of Agents

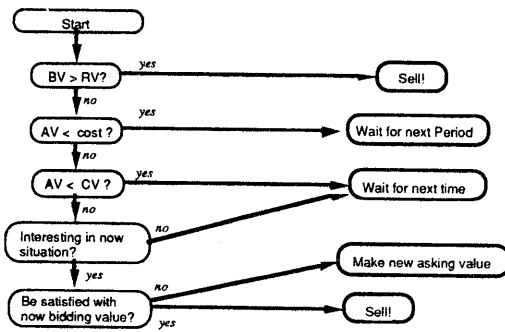
競売人AgentはFig. 2 b)に示すようにMessagePoolから各Agentの意思決定情報を選択してStatusBoardの情報を更新する。情報の選択に際して、まず各Agentの意思決定情報が現在の市場状況に対して適正かどうかを評価する。次に「売り」または「買い」の情報を優先して選択して取引を成立させるが、多数あった場合はその中から一つをランダムに選択する。売り買い情報がない場合、販売提示価格(Ask)の最安値と購入提示価格(Bid)の最高値を選択して、それぞれの価格を更新する。参照できる情報が一つもない場合、市場情報は更新されない。

3. 売り手 / 買い手 Agent の行動決定アルゴリズム

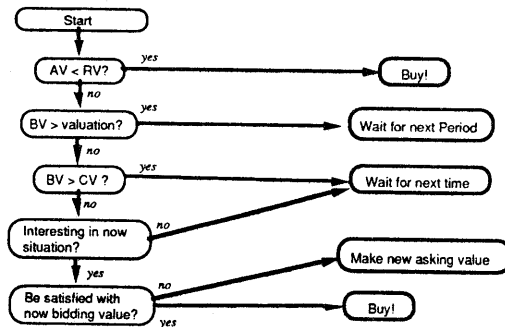
売り手 / 買い手 Agent は参照している市場の購入提示価格(Bidding Value)と販売提示価格(Asking Value)の動向とそれぞれの希望価格、コストまたは資金を基本情報として Fig. 3 に示したアルゴリズムを用いて行動を決める。

Fig.3 に示したように各Agentは行動決定のために以下の関数を用いている。

- 1) 契約価格CVの推定関数
- 2) 契約価格CVの受け入れ判断関数
- 3) 新しいBidding/Asking価格の決定関数



a) Seller case



b) Buyer case

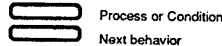


Fig. 3 Decision Algorithm

1) 契約価格の推定関数

ある時刻 t における契約価格の推定値 $CV(t)$ は市場の開催からその時刻 t までの Asking Value $AV(t)$ と Bidding Value $BV(t)$ を用いて基本的には(1-1)で計算される。 $CV(t)$ は $h(k)$ が示すように Asking Value と Bidding

Value が市場に出そろうまでは値 0 をとる。また契約に至った場合は、新しい AV と BV が提示されるまで CV は変化しない。

$$CV(t) = \frac{\sum_{k=1}^t h(k) \cdot \frac{AV(k) + BV(k)}{2}}{\sum_{k=1}^t h(k)} \quad (1-1)$$

$$h(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } AV(k) \neq \infty \cap BV(k) \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$AV(0) = \infty, BV(0) = 0$$

$$AV(k+1) = \infty, BV(k+1) = 0, \text{ if } AV(k) = BV(k)$$

$CV(t)$: Estimation value of the contract price in certain time t in a Priod.

$$CV(t) = \frac{\sum_{k=1}^t h(k) \cdot \frac{AV(k) + BV(k)}{2} + \sum_n TV_n^{(L)}}{\sum_{k=1}^t h(k) + C(TV_n^{(L)})} \quad (1-2)$$

$$h(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } AV(k) \neq \infty \cap BV(k) \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$AV(0) = \infty, BV(0) = 0$$

$$AV(k+1) = \infty, BV(k+1) = 0, \text{ if } AV(k) = BV(k)$$

$$TV_n = \{tv_1, tv_2, \dots, tv_n\}$$

$$TV_n^{(L)} = \begin{cases} \{tv_1, tv_2, \dots, tv_n\}, & \text{if } L \leq n \\ \{tv_{n-L}, tv_{n-L+1}, \dots, tv_n\}, & \text{if } L > n \end{cases}$$

$C(V)$: Element counts of array V

L : Memory size of previous contract values

n : Contract counts at time t in period p

(1-1)に過去の契約価格が推定値に反映されるようにした変更した式が(1-2)である。(1-2)には常に過去の契約値が重みとして加えられる。そのためPriod開始時には過去の契約値によって推定契約値を算出することとなるが、Priod時刻の経過と共にその影響は小さくなる。また、過去の契約値はL個まで記憶可能で、 $L=0$ の場合は式(1-1)と同等である。この記憶はFIFOで、契約回数がL回を上回った場合は古い物から順に新しい物に置き換えられる。

2) 推定契約価格CVの受け入れ判断関数

売り手AgentがCVを受け入れ判断は(2-1)に示したように、大きく3つのタイプに分類できる。

- (1) CVが希望価格以上の場合
- (2) CVがコストより大きく、希望価格より小さい場合
- (3) CVがコスト以下の場合

$$\begin{aligned}
 P_s(\text{acceptable} | CV) &= 1, \text{ if } CV \geq RV_s \\
 P_s(\text{acceptable} | CV) &= F_s(CV), \text{ if } cost_s < CV < RV_s \\
 P_s(\text{acceptable} | CV) &= 0, \text{ if } CV \leq cost_s
 \end{aligned} \quad (2-1)$$

売り手Agentは(1)の場合は、常にそのCVを受け入れ、それと反対に(3)の場合は常に拒否する。しかし、(2)の場合は確率関数 $F(CV)$ に従って判断する。 $F(CV)$ は(2-2)に示すような分布を持つ確率関数であり、この分布に従って生成される乱数がCV以下の場合には受け入れ、そうでなければ受け入れは拒否される。

$$F_s(x) = P_s(X \leq x) = P_s(cost_s \leq X \leq x) = \int_{cost_s}^x p_s(u) du \text{ if } x < RV_s \quad (2-2)$$

$$p_s(u) = P_s(X = u) = \frac{2}{DF_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - RV_s)^2}{2DF_s^2}} \quad (2-3)$$

$$DF_s = \frac{RV_s - cost_s}{4}$$

DFsi: Decision Factor of Seller Agent i

この確率密度関数(2-3)は正規分布に従っているが、乱数としてはその関数が生成する値の絶対値を用いているためこのような形をしている。売り手の受け入れ判断確率はその希望価格と推定契約価格によって決まる。

買い手AgentがCVを受け入れる可能性は(2-4)に示したように売り手Agentと反対であり、CVが希望価格以下の場合には常に受け入れ、持ち金より大きい場合は常に拒否する。そして希望価格と持ち金の間に位置する時は希望価格に近い方から、つまり価格の低い方から順次可能性が低くなって行く。

$$\begin{aligned}
 P_b(\text{acceptable} | CV) &= 0, \text{ if } CV \geq valuation \\
 P_b(\text{acceptable} | CV) &= F_b(CV), \text{ if } RV_b < CV < valuation \\
 P_b(\text{acceptable} | CV) &= 1, \text{ if } CV \leq RV_b
 \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$F_b(x) = P_b(X \geq x) = P_b(x \leq X \leq valuation) = \int_x^{valuation} p_b(u) du \text{ if } x > RV_b \quad (2-5)$$

$$p_b(u) = P_b(X = u) = 1 - \frac{2}{DF_b \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - RV_b)^2}{2DF_b^2}} \quad (2-6)$$

$$DF_b = \frac{valuation - RV_b}{4}$$

DFbi: Decision Factor of Buyer Agent i

3) 新しいBidding/Asking価格の決定関数
新しい提示価格の決定はFig.4に示したように市場の状況によって以下の4つのパターンに分類できる。

- (1) 手探り状態
- (2) 主導権の取得 (希望価格より高い値段での)
- (3) 主導権の取得 (希望価格より低い値段での)
- (4) 契約への歩み寄り

$$F(x) = P_r(X \leq x) = P(M < X \leq x) = \int_M^x p_r(u) du \text{ if } x \leq L \quad (3-1)$$

$$p_r(u) = P_r(X = u) = \frac{2}{DF \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - L)^2}{2DF^2}} \quad (3-2)$$

$$DF = \frac{L - M}{4} \quad (3-3)$$

x: Next offering price that is made from a random value that has above deviation

In Seller Agent	In Buyer Agent
Case 1: groping	Case 1
L = Max value, M = RV	L = RV, M = 0
pcl(x) = 1 - ppr(x)	pcl(x) = ppr(x)
Case 2: taking a initiative (> RV)	Case 2
L = AV, M = RV	L = RV, M = BV
pcl(x) = ppr(x)	pcl(x) = 1 - ppr(x)
Case 3: taking a initiative (< RV)	Case 3
L = AV, M = CV	L = CV, M = BV
pcl(x) = ppr(x)	pcl(x) = 1 - ppr(x)
Case 4: approaching to contract	Case 4
L = AV, M = RV	L = RV, M = BV
pcl(x) = 1 - ppr(x)	pcl(x) = ppr(x)

売り手Agent(Fig. 4a)で考えてみると、誰も販売価格を提示していない場合は、まず(1)の手探り状態で販売価格を提示する。これは自分の希望価格に近く、希望価格より高い価格とする。誰かが販売価格を提示していても、誰も買取価格を提示していない場合、Asking Valueと希望価格の間でAsking Valueに近い価格を提示する(2)。

Asking ValueもBidding Valueも提示されている場合は、推定契約価格CVと希望価格とに基づいて判断される。CVが希望価格より低い場合は、Asking ValueとCVとの間でAsking Valueに近い価格を提示する(4)が、そうでなければCVと希望価格の間で希望価格に近い価格を提示する(3)。後者は、現在のAsking Valueの動向と比較して大胆な価格

設定であるが、希望価格以上で取り引きされる可能性が高い行動である。買い手Agentは売り手Agentと同様にFig. 4b)に示したパターンで価格を提示する。

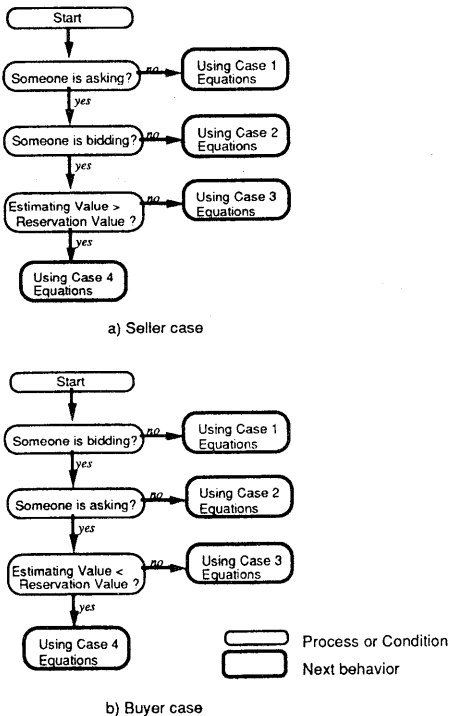


Fig. 4 Pattern for Decision of Next Offering Price

4. シミュレーション

このようなモデルに基づいて、シミュレーションプログラムを実装した。これはC++で記述されており、IBM-PC及びその交換機のMS-DOS上と、SunOS及びsystem VのXwindow上で動作する。現在、使用するメモリ量の関係でMS-DOS上では売り手/買い手がそれぞれ10Agentずつのシミュレーションが可能である。Xwindow上ではそれぞれ100Agentずつのシミュレーションまで現在動作確認をしている。

現在のシミュレーションでは各Agentはコスト/持ち金、希望価格は異なるものの、意思決定には個性を持たせず、同じ意思決定関数を使っている。希望価格はシミュレーション開始時にコスト/持ち金に基づいて一様乱数で決められる。しかし、希望価格は時間経過に伴ってある値に集束するも

のと考えられるので、その変更戦略を組み込んでいる。

この戦略には2通りの方法が必要である。

- 1) 1 Priod内での一時的な価格変更
- 2) 1 Priod終了後の価格変更

1)の変更が実施されない場合、各AgentはそのPriodの間妥協しないので、最初の数Priodにおける契約成立数が少なくなる。また、Priod内で時間経過に伴い、契約成立数が極端に少なくなる。このような問題を回避するために(4-1)に示したように希望価格を時間と共に推定契約価格に近づけている。

$$RV(t) = \frac{RV(0)(pl - t) + CV(t) \cdot t}{pl} \quad (4-1)$$

$$RV_n(0) = \frac{RV_{n-1}(0) + 2 \cdot CVL}{3} \quad \text{if } n > 1 \quad (4-2)$$

$RV_n(t)$: Reservation value at time t in period n

2)の変更が実施されない場合、市場価格は集束しない。しかし、この値が偏って設定された場合、市場取引価格に偏りが生じてしまうので、その変更には注意が必要である。このシミュレーションでは各Priod終了時にPriod全体を通した推定契約価格CVLを算出して、(4-2)でCVLに近い値を採るように調整している。

本来はこれらの戦略は各Agentの個性として設定される項目であると考えられる。しかし、現在はまだDoubleAuctionのシミュレーション可能性を探る段階であるため、一様に統一している。

5. Agent間のメッセージ伝達遅延について

このシミュレーションモデルは現在は単一CPU計算機上に実装されており、各Agentはシミュレーション時間に沿って逐次処理されている。しかし、このモデルは基本的に各Agent毎の分散並列処理が可能であり、通信情報型式の整合によって現在の電子市場実験システムへの組み込むことができる。これによって以下のようなメリットが期待できる。

- 1) 将来の大規模かつ複雑な意思決定を伴う処理能力が確保し易い
- 2) シミュレータを使った実験体験により初心者の実験参加が容易になる
- 3) 意思決定基準を予め定めたシミュレ

- タを混在させた実験が可能になる
- 4) 行動パターンの学習機構を実装し、ある特定の被験者をネットワークを通して観察できればその被験者の行動パターンをシミュレートできる可能性がある

以上のような観点から分散並列処理を前提として、Communication Channelを通じた情報伝達に遅延が生ずることを考慮した実装をした。但し、先述したように、現在は逐次処理のため、情報発信から市場情報の更新までに要する時間は常に4クロックとなっている。

6. 今後の課題

シミュレーション結果は実際のDouble Auctionの実験と同様の動作をしているように見える。しかし、まだ同様な環境下での実験データとの比較はしていない。これは、早急にすべき課題であると認識している。また、希望価格が市場価格を決定する重要な要因であるならば、それを恣意的に高く設定することによって、バブル市場や価格規制環境下での価格変化シミュレーション、さらにはそのような状況に至る行動要因の分析も可能になると考えられる。

またその他にも、今後の課題としては次のような問題点を考える必要がある。

- 1) 現在のプログラムは取引量を扱うことができない。
- 2) 現在のプログラムは一回の取り引きが決定した時点で新たに取り引きが開始される。
- 3) 現在のプログラムはネットワークに対応していない。

現在のプログラムは実装機器に搭載された記憶容量の許す範囲で実験参加者数を増やすことができる。しかし、もしネットワーク上のマシンへこのシミュレータを実装できれば、電子市場を構築する実験ネットワークシステム上のマシンを実験参加者の一部として用いることができる。そのため、実際の実験に際して熟練した実験参加者の不足を補うことができると考えられる。また、実験中にある特定の市場行動をさせることによって特定の環境変化に伴う市場価格の変化などを容易に実験することが可能となると考えられる。

また、市場規模に対して参加者が多すぎ

る場合、可能な参加者すべてが取引できる状態ではないため需要供給バランスは崩れてしまうことがシミュレートできた。この価格推移も一様ではなく、今後の調査が必要である。

参考文献

- [1] Douglas D. Davis, Charles A. Holt, "Experimental Economics," Princeton university press, 1993.
- [2] Daniel Friedman, Shyam Sunder, "Experimental Methods: A Primer for Economists," Cambridge university press, 1994.
- [3] 内木哲也, 丸一威雄, 所真理雄「行動シミュレーションに基づいたアニメーション・システム Paradise」『コンピュータソフトウェア』Vol.4, No.2, ソフトウェア科学会, 岩波書店, 1987, pp.24-38.