

マルチエージェントシミュレーションと ダイナミックオンラインオークション

水田秀行

日本 IBM 東京基礎研究所

〒242-8502 神奈川県大和市下鶴間1623-14 (LAB-S72-B)

e28193@jp.ibm.com

あらまし

我々は、最近インターネット上で普及してきているオークション形式について、エージェントを用いてシミュレーションを行なった。こうしたオンラインオークションではあらかじめ決められた期間の好きな時点に入札でき、他人の動向に応じて何度も入札しなおすことも可能である。参加者は現在の最高額入札者と二番目に高い入札価格を知ることができる。ここでは、マルチエージェントを用いてオークションの動的な振る舞いをモデル化し、従来の静的な理論では困難な複数の戦略を持つ入札者を考えた。シミュレーションにより、早期から競争を繰り返す early bidder と、終了直前に入札する sniper による落札価格の分布を得た。

キーワード エージェント、シミュレーション、オンライン、オークション、ダイナミクス、異種混合

Multi-Agent Simulation and Dynamic Online Auction

Hideyuki Mizuta

IBM Tokyo Research Laboratory

1623-14, Shimotsuruma, Yamato-shi, Kanagawa-ken, 242-8502, Japan

e28193@jp.ibm.com

Abstract The need to understand dynamic behavior in auctions is increasing with the popularization of online auctions. We describe simulations of a typical online auction, where the duration is fixed, and the second-highest price is continuously posted and determines the winner's payment. We modeled agents of two types: early bidders, who can bid any time during the auction period, and snipers, who wait till the last moments to bid. This allows us to study the interactions of the two types of bidders during the course of auctions, and the effects of the two strategies on the probability of winning, the final price, and the formation of price consensus in iterated auctions.

simulation, agent, online, auction, dynamics, heterogeneous

key words

はじめに

近年、欧米に続いて日本においても、インターネット上のオンラインオークションが非常に盛んに行われるようになってきている。また、企業間の調達等についても、オンラインオークションの枠組みを用いる動きが出てきている。オークション自体の歴史は非常に長く、さまざまな形態が現れてきたが、このインターネットを利用していつでも、どこでもオークションに参加できる利便性というのはこれまで無かったものであり、そのため、急速に一般化しつつある。一方で、これだけ大規模でさまざまな参加者が集まると、その振る舞いは予想できないものとなり、企業が利用する場合のリスクマネジメントも問題となる。また、オークションの形式やオプションの選択の幅も広いが、どのようにすれば最適なのか一般的な答えはなく、勘によって決めているのが実際である。

従来のオークションの理論に関しては、Vickrey [1] 以降さまざまな側面から研究が行われており [2]、一般的な Revenue Equivalence Theorem などが得られている [3]。しかし、これらの研究では一度に結果を集計する sealed-bid type や参加者が会場に集まっていっせいに行われる open cry type が主であり、最近 Internet 上で普及している一定期間の好きな時点で何度でも Bid できるものについては、まだ少ない。

本研究では、このようなオンラインオークションをモデル化し、典型的な二種類の行動様式を持つ Agent を用いた simulation により、オンラインオークションのダイナミックな側面について考察する [4]。

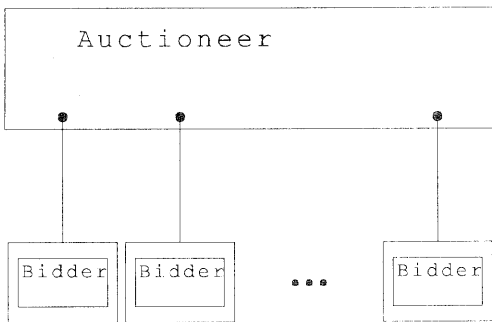


図1: オークション参加者

オークションモデル

Agent-based Simulation 上にオークションモデルを構築する。このシステムには、中心となって取引を仲介するオークショナーと、複数の Bidder が存在する(図1)。ここでは、同期メッセージの交換によってオークションのやりとりを行う。

一般的なオンラインオークションの形式にあわせ、時間 $t=[0, 499]$ の期間オークションが開催され、買い手(Bidder)はその任意の時点で何度でも、但し、より高額で Bid できるものとする。一つのアイテムをオークションに提供する売り手を固定して考え、 n 人の Bidder からの Bid を仲介者であるオークショナーが時々刻々集計する。各 Bid に含まれる情報は、Bidder を特定する ID と入札額である。簡単のため、オークション開始時点 $t=0$ のの価格を $\$1.00$ とし、最小上げ幅は $\$0.01$ とする。

オークションのやりとりは図2のように行われる。オークショナーは各時点における最高額入札者の名前(ID)と二番目に高い入札額(s)を全 Bidder に RFB (Request for Bid) メッセージとして公平に告知する。Bidder は、それぞれ RFB に対する回答として Bid メッセージをオークショナーに送る。ここで最高入札額は秘密とされていることに注意しておく。オークション終了時には、最高額入札者がこの二番目に高い入札額を支払って落札することになる。

このように二番目の入札額で落札する auction としては、従来 Vickrey auction あるいは等価なも

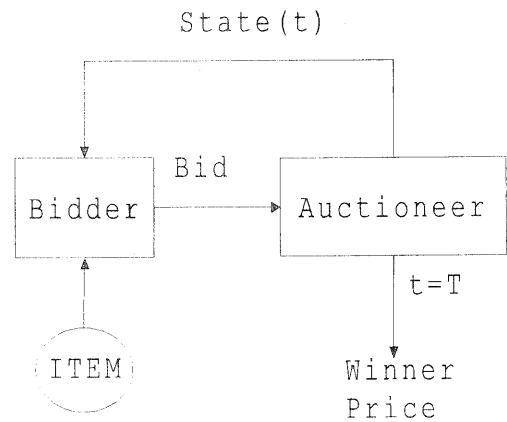


図2: オークションプロセス

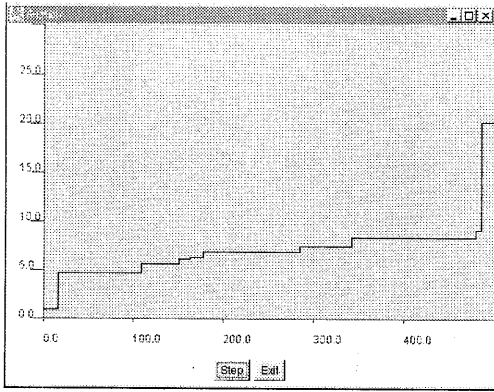


図3: Simulation 結果 (Jump あり)

のとして open cry first price auction があつた。オンラインオークションの場合には、一般に Proxy Bid あるいは Robot による自動 Bidding によって、自動的に指定した限度額以内で他の Bid を上回るまで最小幅ずつ競り上げることにより、このような機構が実現されている。これによって、Vickrey Auction と同じく、不必要に高額で落札する危険が無くなり、正直に限度額を Bid することができる。また、自動的に競り上げてくれることから、インターネット上で常に接続して状況を監視する必要が無くなる。しかし、実際には、一度だけ限度額を入札して放置するのではなく、オークション開催期間中他人の Bid に応じて競り上げるダイナミックな競争がしばしば見られる。そのような状況での、価格推移を理解することが、本研究の目的のひとつである。

このように従来オークション研究の対象とされてきた一度限りの静的なオークションと異なり、本研究で対象となるインターネット上のオンラインオークションでは、離れた場所で自由な時間に入札を行えること、また、他人の Bid 情報をある程度知ることによって自分の評価の再判断を行い、ダイナミックな競争が生じるという特徴がある。

Early Bidder と Sniper

従来の Auction 研究においては合理的で均一な戦略を持つ Bidder を仮定して考えてきた。Agent-based Simulation のアプローチを用いることで、複数の戦略を持つ Bidder が共存する Heterogeneous な状況でのダイナミックな競争を扱うことが可能とな

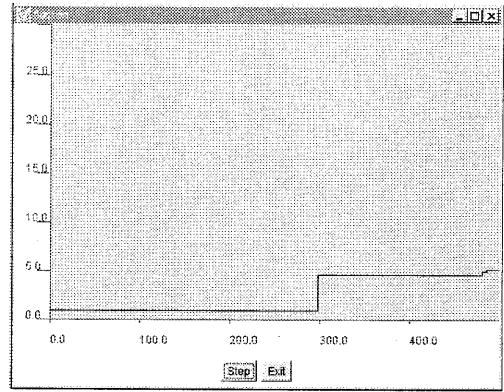


図4: Simulation 結果 (Jump 無し)

る。ここで用いる Simulation model では、現実のオンラインオークションにおける Bidder の行動を観察した結果を単純化し、次の二種類の異なる行動(戦略)をとる Agent を考えた。

ひとつはオークションの初期の時点より Bid 行動を開始し、比較的安価な入札価格から出発し、他者との競争によって、時々刻々競り上げていくタイプ (Early Bidder) である。Early Bidder は、比較的オークションに慣れておらず、また、最終的な価格のみならず、競り合う過程に楽しみを見出すタイプの Bidder をモデル化している。オークション期間中、ある一定の確率で現在の状況を確認し、その結果、自分が最高入札者で無ければ、限度額までの範囲で評価額を更新する。評価額が、現在の提示額 (s) を上回っていれば、ある確率で Bid を行う。

もうひとつは、終了直前まで様子見をした後、終了直前に比較的高い価格で入札するタイプ (Sniper) である。Sniper の入札時刻は、終了直前のある幅を

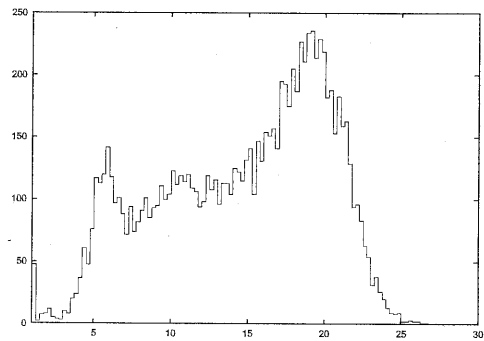


図5: 落札価格の頻度分布

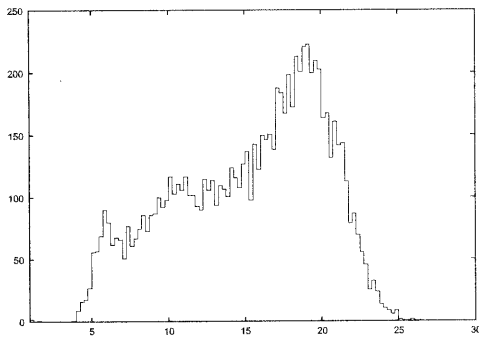


図6: 落札価格の頻度分布 (Sniper が落札)

持った期間にランダムに設定されている。これは、ネットワーク状態によって、必ずしも終了時そのものにBidできないためである。Sniperはその時刻まで待った後、オークションの状態を確認し、ある確率でBidを行う。Bid価格はその時点での提示額の定数倍、たとえば2sとし、但し、あらかじめ定められた限度額は超えないものとする。現在価格からの最小の競り上げとしないのは、知ることのできない最高入札額がsを大きく上回る可能性があるためである。

以下、これら二種類のBidderが混在するオークションの振る舞いをSimulationによって調べる。頻度分布を見るためオークションは繰り返し行われるが、それぞれ独立しているものと考え、各エージェントの限度額や初期評価額等のパラメータは毎

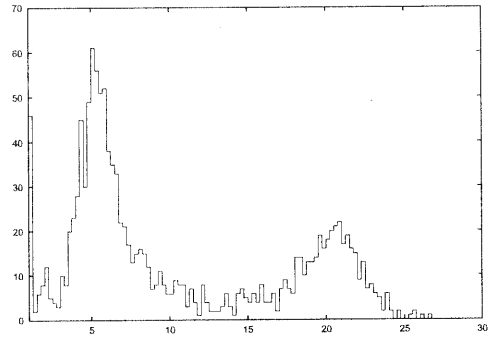


図7: 落札価格の頻度分布 (Early Bidder が落札)

回乱数によって初期化されるものとする。

シミュレーション結果

前節で述べたEarly Bidderを7人、Sniperを3人用いて実験を行った。

図3にある一回のオークションの様子を示す。Early Bidderによる競り合いが行われた後、終了直前にsniperによる入札があり高騰していることが分かる。また、図4のように、最初価格が上がった後、そのまま推移し、図3にあるような終了直前の高騰が生じない場合もある。

このようなオークションを一万回実施し、落札価格や後半の上昇率の頻度分布を調べた(図5)。\$5付近と\$20付近に二つのピークが確認できる。これらは、それぞれ、Early Bidderの初期評価値の分布、および限度額の分布に起因するものと考えられる。

図6はEarly Bidderが落札した場合、図7はsniperが落札した場合をそれぞれ集計したものである。落札数を見ると、sniperが競り勝つ頻度が高く、また、その場合の落札価格に先程と同様、二つの山を見ることができる。一方、early bidderは落札する頻度は低いが、比較的低い価格で落札する場面が多いことが分かる。特に\$15付近の中程度の価格帯まで上昇するような場合は、Sniperが関与していると考えられ、Early Bidderが落札する確率は非常に低い。しかし、先にEarly Bidderが活発に競り上げ、限度額付近まで上昇した場合は、Sniperが手控えて、Early Bidderが競り落とすものと見られる。

また、終了前の競り合いに注目し、 $t=400$ と

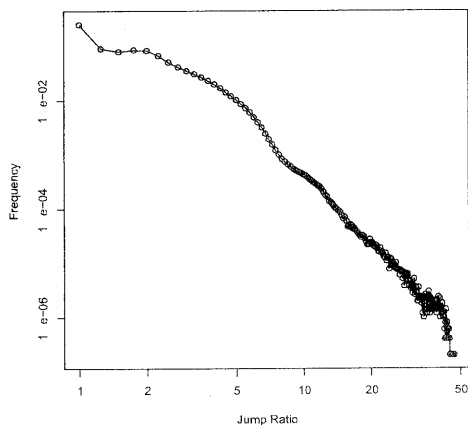


図8: 価格上昇率の頻度分布

| Bid Time | Win Price | Win Prob. |
|----------|-----------|-----------|
| 0 | 17.86 | 0.380 |
| 250 | 16.97 | 0.454 |
| 450 | 15.82 | 0.537 |
| 495 | 14.21 | 0.683 |

表1: Bid時刻による落札価格と落札確率の変動

t=499 における価格比の頻度分布を調べた(図8)。こうすることにより、落札価格で正規化された Bid 活動を見ることができ、ある程度ユニバーサルなオークションの動的な振る舞いを見ることができる。より裾野の振る舞いを見るため、これまでより限度額を大きくし、500万回試行を行った。ここでは両対数グラフによって示しているが、8倍付近までは指数的な減少が見られるが、その後限度額の分布からくる境界端まではなだらかなべき分布で推移している。

最後に、あるひとつの Sniper のBid 時刻をいくつかの値に固定し、落札確率と価格への影響を見た(表1)。時刻をより遅くすることにより、落札確率が上昇し、落札価格が減少することが分かる。このことから、Sniper にとってなるべくぎりぎりの時刻まで待つことがより良い戦略となる。しかし、実際のオークションでは、ネットワークの不安定性や早期終了オプションといったリスクや、終了時に時間を拘束されるコストといった要因とのトレードオフが生じると考えられる。

連続したオークション

これまでに述べたモデルでは、各 Bidder は入札上限額や入札頻度など多くのパラメータを持っていた。こうしたパラメータのいくつかは、落札確率や価格におけるトレードオフを考慮して戦略的に決定すべきものであるが、また、Bidder の品物への関心や過去のオークション履歴に依存して決まる常識的な判断によっても変化するものと考えられる。特に、妥当な価格形成は、ただ一回しか取引が行われない場合には困難であり、数多くの取引の集積により長い目で見て需要と供給が一致するように行われ

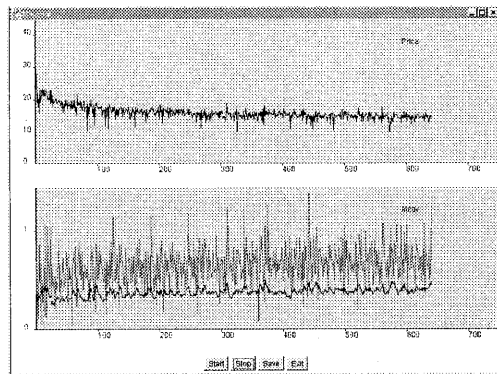


図9: 連続したオークションの結果

ると考えるのが自然である。そこで、本節では、類似の物品が繰り返し出品される連続したオークションにおいて、各 Bidder のパラメータを変動させ、価格形成の様子を見る。

ここでも、各オークションは以前と同様に実行される。各 Bidder はモチベーションパラメータ M および平均価格 P を持ち、他のパラメータは、毎回これら二つのパラメータに依存して決定される。平均価格は、これまでの落札価格を Exponential smoothing algorithm によって平滑化して与える。

モチベーションパラメータは、出品アイテムへの興味を示し、落札できなかった場合は次第に増加し、落札時には大きく減少する。この時、増加量を示すドリフト項に、価格依存を付け加えることで、売り手と買い手双方の価格コンセンサスを導入できる。すなわち、売り手としては、あまりに低価格で落札される場合、出品を控えるためオークション間隔が広がり、結果として買い手のモチベーションがより上昇する。また、買い手としても、より低価格で入手できる場合、そのアイテムに対する相対的な購入意欲が高まる。どちらの効果もモチベーションを高め、結果、次回の価格高騰をもたらす。逆の場合も同様である。このような、フィードバックにより繰り返されるオークションを通じて需要と供給が折り合うところで価格形成が行われると期待される。

Early Bidder と Sniper に、これらのパラメータを追加修正した Bidder を用いて行った実験結果を図9に示す。上のグラフは高目の価格からスタートして、より妥当な価格へと収束していく様子を示している。オークション毎の変動も、次第に減少しているのが分かる。下のグラフは落札者のモチ

バージョンと平均を示している。これらが調整しつつ、均衡へと向かう様子が分かる。

おわりに

本研究では非常に単純なモデルと Agent-based Simulation を用いて、インターネットにおけるオークションのダイナミックな振る舞いを調べた。Bidder としては、必ずしも合理的ではない複数の戦略とパラメータ分布を持つ Heterogeneous Agent を考えた。このように、さまざまなパラメータを持つ Bidder によるシミュレーションを通じて、現実のオークションにおける動的で複雑な行動についての理解が得られると期待される。

本研究が対象としているオンラインオークションは現在広く使用されているものであるが、そこでのダイナミックな価格推移といった現象や、さまざまな Bidder の振る舞いといったものについて、まだまだ研究は行われていないようである。従来の均一で合理的な Bidder による解析で与えられる、オークションのシステムによらず落札価格の期待値が等しくなるといった結果は、必ずしも合理的ではない参加者がダイナミックに競争するシステムにおいては、成立しないと考えられる。また、従来の静的な均衡状態のみを考える解析では、オークションの競り合い過程における Bidder の振る舞いや価格上昇は対象外となる。

ここでは、Agent-based Simulation を用いて、まず、簡単な二種類の Bidder とオークションの振る舞いを研究する最初のアプローチとした。ここから得られた知見を Bidder の行動やパラメータ、オークションシステムにフィードバックし、重要な要素に注目した解析や、新たな Simulation を行うこととなる。

今後の課題として、実際の人間によるオークション結果から、ここでモデル化したような Bidder のタイプの分布を求めることや、連続したオークションで考えたように、Bidder のさまざまなパラメータ分布を戦略や状態に応じて内生的に与えるといったことが考えられる。

参考文献

- 1) Vickrey, W. 1961. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. *Journal of Finance* 16 (1): 8-37.
- 2) Milgrom, P.R., and R. J. Weber. 1982. Theory of auctions and competitive bidding. *Econometrica* 50 (5): 1089-1122.
- 3) Klemperer, P. D. 1999. Auction Theory: A Guide to the Literature. *Journal of Economic Surveys* 13 (3): 227-286.
- 4) Mizuta, H., and K. Steiglitz. 2000. Agent-based Simulation of Dynamic Online Auctions. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference: To be appeared.*