

オークション事例を用いた需要関数推定に関する研究

Estimating Demand Functions using Bidding Data on the Internet Auctions

田中 保行^{*1} 岩崎 敦^{*2} 横尾 真^{*2}
 Yasuyuki Tanaka Atsushi Iwasaki Makoto Yokoo

^{*1}九州大学工学部電気情報工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kyushu University

^{*2}九州大学大学院システム情報科学研究所

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

The auction sites, such as Yahoo! and eBay, attract lots of consumers because they can get a variety of goods that are difficult to obtain, e.g., tickets for premium events, such as FIFA World Cup and Superbowl. Employing dynamic pricing, such as auctions, provides sellers with a potential to increase their revenue by selling goods to buyers at a right price. This paper addresses regarding single unit auctions as one large multi-unit auction. We aggregate the bidding data of single unit auctions on an auction site, approximate the demand function, and examine predicted outcomes of multi-unit auctions for homogeneous goods. Our data shows that one aggregated multi-unit auction can increase the seller's revenue and social surplus in both cases of goods with high and low demands (126 words).

1. はじめに

Yahoo!や楽天市場、ビッグズなどにおける消費者向けオークションサイトはあらゆるものが比較的安価に、また入手困難な商品を手に入れることが出来る場として、近年急速に普及しつつある。日本のインターネット人口は2004年2月末時点で、6,284万4千人 [財団 04] にも達しており、これらのサイト利用者はますます増加することが予想される。

さらにインターネットオークションは買い手の需要、市場環境、および売り手の供給から価格が動的に決定できる場としても注目されている。このような動的な価格決定方法 (dynamic pricing, [Baker 01]) は企業同士では行われており、その価格決定プロトコルやそれを補助するソフトウェアエージェントの研究も行われている [Dimicco 03]。

一方で、消費者にとってはオークションサイトを利用することで、通常では入手困難な商品を手に入れることが可能となる。例えば、サッカー日本代表の試合や、トヨタカップのチケットなどは、一般販売では入手困難なプレミアチケットと呼ばれているが、ネットオークションでは例え割高であったとしても、チケットを入手することが可能である。こうした場合、インターネットオークションを用いて、興行主自らが直接チケット販売できれば、興行主、消費者の双方にとってメリットがある。なぜなら、興行主はより高い価格でチケットを販売することが期待できる一方で、消費者は(お金さえ出せば)確実にチケットを入手することができる。

そこで、本論文ではオークションサイトからある同じ商品(複数同一財)に関する実際の入札情報を収集し、オークション参加者の需要を推定した上で、同じ商品を一括して複数同一財オークションにかける場合の効果を検討する。

本論文は次のように構成される。まず第2節ではオークション事例の集計について解説する。第3節では事例から推定する需要関数の近似について述べ、第4節では適用する複数同一財オークションについて概説する。続いて第5節で、複数同

一財オークションを適用した結果を説明し、複数同一財オークションの効果を検討する。第6節で結論を述べる。

2. オークション事例の集計

2.1 Yahoo!オークションのルールと事例

本節ではYahoo!が採用しているオークションのルールを説明する。一般に、消費者向けオークションサイトは消費者同士がオークションを通して、商品を取引する場を提供している。ほとんどの消費者はただ1つ、もしくは1セットの商品を出品している。実際、Yahoo!以外の消費者向けオークションサイトでも出品者はただ1つ、もしくは1セットの商品を取引することが多い。しかし、オークションのルール自体は複数の同じ商品の出品できる。

Yahoo!オークションは参加者が、商品に対して単価と数量を入札する公開競り上げ式オークションである。例えば、商品1個に対して単価300円で2個と入札を行っていく。オークションは出品者が定めた時間に終了し、入札単価の高い順に落札を決定する。このとき、複数量の入札に対しては希望する数量が他の参加者による落札で確保出来ない場合がある。この場合に備えて、参加者は入札時に希望より少ない数量でも購入するかどうかを別途指定しておくことになる。また、入札単価が等しい場合は、早い入札が優先される。最終的に「入札した単価」×「落札した数量」が落札者の支払額となる。このオークションルールは、後で述べる差別価格オークション (discriminatory auction) と理論的に等価となっている。

次に2003年7月17日21時から22日23時まで開催されたYahoo!オークションの事例を示す。商品はあるアーティストのコンサートチケットで、2枚のセットが2組出品された。開始価格は1組あたり15000円で、入札単位は500円ずつで始まった。参加者は全部で4名であり、それぞれをA, B, C, Dとする。実際の入札情報は、ある参加者が入札した単価と数量で表示される。この入札情報を単価に対して、参加者が落札したいと考える数量で整理したのが表1である。原則として、入札の単価が高い順に落札を決定していくので、まず、参加者Aが18,500円で1組を落札する。次に、参加者Bが18,000円で1組なら落札できたが、2組より少ない数量での購入を希

連絡先: 田中保行, 九州大学工学部電気情報工学科, 812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1, (092)642-3882, tanaka@lang.is.kyushu-u.ac.jp

表 1: 各参加者の入札単価と入札数量: () 内は参加者は実際には入札していないが, 前後の入札から判断される入札数量.

単価 (円)	参加者			
	A	B	C	D
15,000	1	(2)	1	1
15,500	1	2	(0)	(0)
16,000	1	2	(0)	(0)
16,500	1	(2)	(0)	(0)
17,000	(1)	(2)	(0)	(0)
17,500	1	2	(0)	(0)
18,000	1	2	(0)	(0)
18,500	1	(0)	(0)	(0)

望しなかったため, 1 組も落札できなかった. このため, 次に入札単価の高い参加者 C が 15,000 円で残る 1 組を落札した. *1 以上の結果, 出品者の収入は $18,500 + 15,000 = 33,500$ 円となった.

2.2 集計方法と集計結果

本節ではインターネットオークションにおける需要関数を推定するため, 実際の Yahoo!オークションで観測された入札情報を集計した方法とその結果について述べる. 具体的には, 入札単価を出品された商品に対する参加者の評価値とし, 比較的需要の多い商品と需要の少ない商品について, 入札情報を収集した.

需要が供給よりも少ない事例 (2004 年日米野球)

表 2 に 2004 年日米野球チケットのオークション事例を集計している. 対象とした試合は 11 月 5 日から 7 日にかけて東京ドームで行われた第 1 戦から第 3 戦である. *2 チケットは 4 種類あり, それぞれ原価の低い順に外野 C 自由 (5,000 円), 外野 B 指定 (7,000 円), 内野 A 指定 (12,000 円), 内野 S 指定 (16,000 円) となっている. 出品枚数はそれぞれ 156 枚, 18 枚, 63 枚となっている一方で, 入札枚数は 374 枚, 28 枚, 32 枚, 87 枚となっている. ここで, 入札枚数とは, その入札によって何枚のチケットを獲得しようとしたかを計算している. 例えば, 2 枚 1 組の出品に対して, ある参加者が数量 2 の入札をした場合, この入札に対する枚数は $2 \times 2 = 4$ 枚と計算する.

次に実際の落札枚数は 91 枚, 12 枚, 6 枚, 28 枚となっており, 全てが出品枚数より少ない枚数になっている. また, 落札枚数が入札枚数をかなり下回っているが, これは出品者が設定した落札最低価格以上の入札が少なかったためと考えられる. 加えて, チケットの原価と落札価格の平均および入札価格の平均を比べると, 落札価格および入札価格の両方が原価を下回っていることがわかる (表 2). 例えば, 外野 C 自由のチケットでは原価 5,000 円の商品に対して, 落札価格の平均が 3,031 円, 入札価格の平均が 1,962 円しかになっていない. したがって, 入札枚数は出品枚数を上回っているが, 落札枚数が出品枚数を大きく下回っていることおよび平均落札価格が原価を下回っていることから商品への需要が供給よりも少ないと言える.

*1 ルール上は参加者 C (22 日 22 時 56 分) ではなく参加者 D (22 日 1 時 24 分入札) の入札が優先されるはずだったが, オークション終了までに入札を取り消したと考えられる.

*2 野球のチケットは試合の行われる曜日によって需要が異なるため, 個別に集計して, 評価するべきかもしれない. しかし, これらの試合は全て週末に行われたため, 需要の動向に影響は少ないと考え, 3 試合をまとめて集計している.

表 2: 日米野球チケットのオークションからの入札情報: 全ての原価および価格は 1 枚あたりの価格を示す.

	外野 C	外野 B	内野 A	内野 S
原価 (円)	5,000	7,000	12,000	16,000
出品件数 (件)	64	8	8	31
出品枚数 (枚)	156	18	18	63
入札枚数 (枚)	374	28	32	87
落札枚数 (枚)	91	12	6	28
平均落札価格 (円)	3,031	8,472	5,594	11,234
平均入札価格 (円)	1,962	7,083	4,521	8,288

表 3: サザンライブチケットのオークションからの入札情報: 全ての原価及び価格は 1 枚あたりの価格を示す.

	B 席	SB 席	S 席
原価 (円)	7,000	7,000	7,500
出品件数 (件)	8	10	17
出品枚数 (枚)	15	20	35
入札枚数 (枚)	92	108	307
落札枚数 (枚)	10	14	33
平均落札価格 (円)	25,700	27,365	39,849
平均入札価格 (円)	16,926	21,347	24,556

需要が供給よりも多い事例 (サザンライブ)

表 3 にサザンライブのオークション事例を集計している. 対象とした公演は 12 月 31 日のみである. チケットは 3 種類あり, それぞれ B 席 (7,000 円), SB 席 (7,000 円), S 席 (7,500 円) となっている. B 席と SB 席の原価は同じであるが, SB 席はバックステージ席と呼ばれる席で, コンサート自体は見えにくいですがステージに非常に近い席になっている. 出品枚数はそれぞれ 15 枚, 20 枚, 35 枚であり, 入札枚数は 92 枚, 108 枚, 307 枚となっている.

次に実際の落札枚数は 10 枚, 14 枚, 33 枚となっており, 全て出品枚数より少ない枚数になっている. しかし Yahoo!オークションでは, どんなに人気の高い商品でも開始価格や出品者の評価値*3 によっては入札が入らないケースも多々観測されるため, 全ての商品が売れていないからといって需要が供給を下回っているとは言えない. つづいて, チケットの原価と落札価格の平均を比べると, B/SB 席が 7,000 円, S 席が 7,500 円であるのに対して落札価格の平均は B 席が 25,700 円, SB 席が 27,365 円, S 席が 39,849 円となっており, いずれの席でも落札価格が原価を大きく上回っている (表 3). この事例では平均落札価格が原価を大きく上回っていることから, 商品への需要が供給よりも多いと言える.

3. 集計結果にもとづく需要関数の近似

本節では, 第 2.2 節で観測した参加者全ての入札情報をまとめた需要関数を推定する. ここで需要 b とは価格 p に対して, 参加者が何枚の商品 (チケット) を落札したいと考えているかを表しており, これを価格に対する需要を関数として扱う. し

*3 オークション終了後, 落札者は取引がスムーズに行われたかどうかなどについて, 出品者に評価をつけることができる. したがって, 評価値の高い出品者ほど安心して取引できると考えられ, 自然と入札が大きくなる傾向がある.

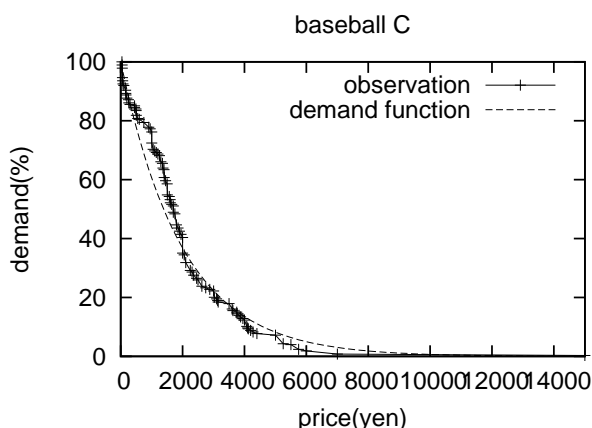


図 1: 日米野球外野 C 自由の需要関数: $d_{p_k} = 100e^{-0.0005p_k}$, $R^2=0.9272$.

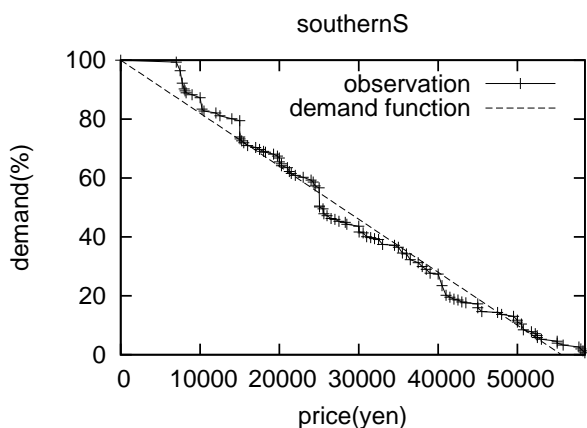


図 2: サザンライブ S 席の需要関数: $d_{p_k} = -0.0018p_k + 100$, $R^2=0.9827$.

たがって、価格 0 においては入札された枚数全てが需要となる。例えば、日米野球の外野 C 自由チケットの価格 0 における需要は 374 枚となる。本論文では、ある価格 p_k に対して入札した参加者は、 p_k 以下の価格 p ならばその商品を必ず落札したい仮定する。さらに需要を次の式で標準化し、ある価格 p_k における需要率 d_{p_k} と定義する：

$$d_{p_k} = \sum_{p < p_k} \frac{b_p}{S} \quad (1)$$

ただし、 b_p は入札額 p における入札数、 S は総入札数を表す。この需要率と価格から得られる散布図に対して、回帰分析による線形近似と指数近似を行い、決定係数の大きい方を近似需要関数とした。図 1 と 2 にそれぞれの商品でもっとも多い入札枚数が観測された日米野球外野 C 自由（入札枚数 374 枚）とサザンオールスターズライブ S 席（入札枚数 307 枚）の入札情報から標準化した需要率と近似した需要関数を示している。それぞれ横軸は価格 p_k 、縦軸は需要率 d_{p_k} であり、プロット点はある価格において観測された需要率を表し、破線は近似した需要関数を表す。

日米野球外野指定 C では指数近似がより大きい決定係数を持ち、その近似関数は $d_{p_k} = 100e^{-0.0005p_k}$ ($R^2 = 0.9272$) となった。いっぽう、サザンライブ S 席では線形近似がより大き

い決定係数を持ち、その近似関数は $d_{p_k} = -0.0018p_k + 100$ ($R^2 = 0.9827$) となった。

4. 適用する複数同一財オークション

本節では、個別のオークションを一括して実施するための 2 つの複数同一財オークション、一様価格オークションと差別価格オークションについて解説する（詳しくは [Ausubel 02, Krishna 02] などを参照されたい）。

4.1 一様価格オークション

本節では一様価格オークション (uniform-price auction) を説明する。ここで、 K 個の同じ商品がオークションに出品されると仮定する。一様価格オークションでは、参加者は他の参加者に知られないように $b_i = \{b_i^1, \dots, b_i^k, \dots, b_i^K\}$ を同時に入札する。ただし、 b_i^k は k 枚の財に対する入札額を表し、入札は $b_i^{k-1} \leq b_i^k$ の条件に制限されている。オークション主催者はこの入札を、式 2 にもとづいて需要曲線 $q_i(p)$ に変換する。

$$q_i(p) = \arg \max_{k \in [0, K]} \{b_i^k - p \times k\}. \quad (2)$$

この需要曲線は単位あたりの価格 p における、その参加者の需要をあらわす。オークション主催者はそれぞれの価格における参加者の需要を合計し、総需要と供給量が一致する市場清算価格 p_0 で全ての商品を販売する。この結果、参加者 i は $Q_i = q_i(p_0)$ 個の商品を落札し、 $P_i = Q_i \times p_0$ を支払うことになる。

4.2 差別価格オークション

差別価格オークション (discriminatory auction) の手続きは基本的に一様価格オークションと同じである。オークション主催者は参加者の入札から参加者全体の需要を合計し、総需要と供給量が一致するまで商品を割り当てていく。したがって、一様価格オークションと同様に、参加者には $Q_i = q_i(p_0)$ 個の商品が割り当てられる。ただし、Yahoo!オークションと同様にその支払額は入札額と等しくなるので、参加者は異なる額（差別価格）を支払う。 Q_i 個の商品を落札した参加者は $P_i = \sum_{k=0}^{Q_i} b_i^k$ を支払うことになる。

このオークションは Yahoo!オークションと理論的に等価であるが、Yahoo!オークションでは比較的少ない商品数のオークションに対応するため、第 2.1 節で述べたように、希望より少ない数量の商品に対する対応を前もって決定させておく点で実装上異なる。本論文では、比較的多い数量での複数同一財オークションを考慮するため、この点については扱っていない。

5. 適用結果と考察

本節は、第 3 節で推定した需要関数から、それぞれの複数同一財オークションプロトコルを適用した際の取引額、出品者の利益、参加者の利益を計算し、観測値と比較を行う。表 4 と 5 に観測値と、各オークションの推定した需要関数から予測される取引額、出品者の利益、参加者の利益、および社会的余剰をまとめている。

表 4 と 5 における観測値はそれぞれのオークションの個別の結果を合計した値であり、実際に取引された額をもとにしている。また、出品者の利益は取引額から商品（チケット）の原価を出品者の費用として引いた額と定義する。^{*4} 参加者の利益は参加者の商品に対する真の評価額から支払い額を引いた

^{*4} 厳密にはオークション出品料、オークションを出品してから取引引きが成立するまでの時間なども出品者の費用として計上する必要

表 4: 日米野球外野 C 自由の評価結果 (単位: 千円).

	取引額	出品者の利益	参加者の利益	社会的余剰
観測値	276	-504	0	-504
差別価格	584	-296	0	-296
一樣価格	272	-508	212	-296

表 5: サザンライブ S 席の評価結果 (単位: 千円).

	取引額	出品者の利益	参加者の利益	社会的余剰
観測値	1,315	1,105	0	1,105
差別価格	1,833	1,533	0	1,533
一樣価格	1,715	1,425	118	1,533

額を定義する。しかし、参加者の真の評価額は観測できないため、その入札額をそのまま評価額として扱う。したがって、実際のオークションでは入札額がそのまま支払い額となるため、観測される参加者の利益は常に 0 となる。

最後に、社会的余剰を成立した取引引きによって生じた出品者および参加者の余剰の合計として定義する。ここでは、出品者の利益と参加者の利益の合計が社会的余剰となる。経済理論では、この社会的余剰が大きければ大きいほどを社会的に望ましい状態であるとしている。表の残りでは差別価格、一樣価格の各複数同一財オークションを近似した需要関数に適用し、予測される結果をまとめている。

まず、取引額については日米野球外野 C 自由席で、個別にオークションを実施した場合 (観測値) 276 千円が観測されたのに対して、差別価格オークションで 584 千円に増加しているが、一樣価格オークションでは 272 千円に若干減少している。いっぽう、サザンライブ S 席では、1,315 千円が観測されたのに対して、差別価格オークションで 1,833 千円に、一樣価格オークション 1,715 千円にともに増加している。

次に出品者の利益については日米野球外野 C 自由席で、504 千円の損失が観測されたのに対して、差別価格オークションでは、損失が 296 千円にまで減少しているが、一樣価格オークションでは 508 千円にまで減少している。これはこの商品に対する需要が少ないため、一樣価格で決定する取引額が個別のオークションより小さくなる可能性が高くなるためである。逆に差別価格では入札額がそのまま取引額となるため、損失が抑えられると言える。

一方で、需要の多いサザンライブ S 席では、観測された出品者の利益 1,105 千円に対して、どのオークションプロトコルを適用しても個別にオークションを実施する場合に比べて、効率的に参加者の需要を満たし、出品者の利益を増加させている。

参加者の利益は、入札額と評価額を等しいと仮定しているため、観測値と差別価格オークションでは 0 となる。一方で、一樣価格オークションでは入札額より安く落札可能であるため、需要の少ない場合でも、需要の大きな場合でも、参加者の利益は増加する。このため、顧客満足度は高くなると考えられる。

社会的余剰については表 4 および 5 の両方で、観測値よりも複数商品をまとめてオークションにかける方が常に増加している。実際、外野自由 C の社会的余剰 -504 千円に対して、複数同一財オークションは -296 千円と社会的余剰がマイナスではあるが増加している。一方で、サザンライブ S 席の社会

的余剰は 1105 千円から 1533 千円に増加している。全体の効率性においても複数同一財オークションの利用が望ましいと言える。

6. おわりに

本論文では、Yahoo!オークションの入札情報から、その結果から需要関数を推定することで、個別の商品を一括して複数同一財オークションで販売した場合の効果を検討した。複数同一財オークションは参加者の需要を効率的に満たし、出品者の利益を増加させることを示した。

今回集計したオークション事例の数は、市場全体に流通する商品の数から考えれば、非常に限られている。加えて、市場全体に対するネット市場の割合はまだ大きいとはいえない。このため、本論文の結果を一般化することはできない。しかし、今後の電子商取引の増加を考えれば、インターネットオークションは無視できないマーケティング材料となりうる。一方で、急速に移り変わる消費者の嗜好に対応するためにもオークションを用いた動的な価格決定は有効である。

今後の課題としては、集計データの統計的検証をさらに深めるとともに、データ収集の自動化や Yahoo!オークション以外の消費者向けオークションサイトのデータも集計し、データの信頼性を向上させていきたい。また、公開式のオークションではしばしば、他の参加者の入札が自分の入札に影響を与える。このため、こうした参加者同士の入札に見られる相関性を補正する複数同一財オークションの理論が必要と考えている。

参考文献

- [Ausubel 02] Ausubel, L. M. and Cramton, P.: Demand Reduction and Inefficiency in Multi-Unit Auctions, <http://www.ausubel.com/auction-papers/demand-reduction-r.pdf> (2002)
- [Baker 01] Baker, W. L., Lin, E., Marn, M. V., and Zawada, C. C.: Getting Prices Right on the Web, *The McKinsey Quarterly*, Vol. 2, pp. 1-20 (2001)
- [Dimicco 03] Dimicco, J. M., Maes, P., and Greenwald, A.: Learning Curve: A Simulation-Based Approach to Dynamic Pricing, *Electronic Commerce Research*, Vol. 3, pp. 245-276 (2003)
- [Krishna 02] Krishna, V.: *Auction Theory*, Academic Press, first edition (2002)
- [財団 04] 財団法人インターネット協会 (編): インターネット白書 2004, インプレス (2004)

がある。しかし、本論文では簡単のためチケットの原価のみを出品者の費用として計上している。