

オークションのデザイン

福田 恵美子

ゲーム理論を用いて社会の問題に取り組む代表的な例が、制度設計（メカニズムデザイン）と呼ばれる分野である。ここでは、制度設計の中でも私たちの生活に身近なオークションについて、どのように設計・デザインしようとしているか、実際にどういったアプローチがされているかを紹介したい。

キーワード：ゲーム理論、オークション、耐戦略性、効率性、キーワードオークション

1. はじめに

制度設計における大事なことは、設計者の立場によるさまざまなことである。社会全体として何を目指していくか？ 設計者に設計を依頼した雇い主に利益をもたらす制度にするか？ 何を目的とするかによってデザインのあり方が変わってくる。また、設計対象となる制度によっても、目指すべき制度のあり方はさまざまである。

本稿ではオークションのデザインに特化して、ゲーム理論においてはどのようなオークションが“よい”オークションとされているのか、これからゲーム理論を学ぼう、あるいは使おうという読者を対象として解説する。

2. さまざまなオークション

2.1 オークションの分類

オークションと一口に言っても、世の中には実にいろいろなオークションがある。売り買いされる財が一個のオークションを単一財オークションというが、これを入札方法で分類すると、競りなどの公開入札と、入札価格を他者にわからないように提示する封印入札に分けられる。

公開入札には、競り上げ方式をとるイングリッシュオークションと、競り下げ方式をとるダッチオークションがあり、いわゆるオークションハウスで行われるオークションや魚河岸、卸売り市場での競りはイングリッシュオークションである。また、近年ユーザー数も増大しますます私たちの生活に身近となったインターネットオークションは、買い手が一堂に会してはいないものの現在の最高入札額（現在価格）が公開されるので、

やはりイングリッシュオークションである。一方、ダッチオークションは競りに時間がかからないのが特徴で、生花市場などで用いられている。

封印入札では、最も高い入札額を提示した人が落札するが、そのときに支払う落札額が本人が提示した「最も高い入札額」である場合を第一価格オークション (First price auction)、「二番手の人が提示した価格」である場合を第二価格オークション (Second price auction) という。封印入札の例としては、裁判所による不動産競売が挙げられる。また、事業受注等の競争入札も封印入札に含まれるが、通常のオークションでは売り手が買い手を選ぶのに対して、競争入札は買い手が売り手である業者を選ぶためリバースオークション（逆オークション）と呼ばれる。以後、売り手が買い手を選ぶオークションのみを扱うので、買い手を入札者と書く。

2.2 “よい” オークション

オークションの制度設計をする場合、何に気をつければよいか、“よい”オークションにもとめられる性質とは何だろうか？ まず一つには談合や価格操作といった不正行為が起きないことが考えられる。

談合の防止策として、法による罰則強化、コンプライアンスの徹底や入札制度改革が挙げられる。入札制度改革の例としては、電子入札の導入・拡大、予定価格の公表等があるが、ほとんどの不正を抑制できる万能なオークション方式がないのが現状である。例えば、電子入札は、同業者が一堂に会する機会を減らすことが談合を抑制するという意図により導入されるが¹、一方で電子署名、電子証明書の機能・チェック体制がずさんであったり、匿名入札が容易である場合、新たな不正の影響を受ける。匿名性の高いインターネットオークションでは、談合は抑制できると考えられるが、一方で売り手側が匿名で入札者になりすまし落札金額を

ふくだ えみこ

防衛大学校情報工学科

〒 239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

¹ 電子入札の導入が談合の防止に有効であるという確たる検証結果は得られていない。

吊り上げるといった新たな不正が見られる。

不正については、このようにどの不正も完全に防げるオークションはないか、作れたとしても大変複雑なものになる。ではもし不正が起きないならば、どのような性質が望まれるだろう。

本稿では望ましいオークションの性質として、耐戦略性、および効率性の二つに着目していく。オークションが耐戦略的であるとは各入札者にとって、出品されている財に対して見積もっている価値をそのまま正直に入札することが弱支配戦略になっていることを指す。また、効率的なオークションとは、財に対して最も高い価値を見積もっている入札者がその財を落札できるオークションのことである。次節ではこの二つの望ましい性質についてより詳しく説明するとともに、二つを満たすオークションを紹介する。

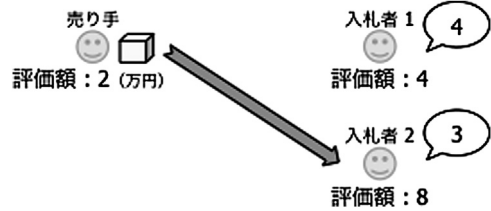


図 1 単一財オークション概略図

表 1 利得表

1 \ 2	2	4	6	8	10
2	1, 3	0, 6	0, 6	0, 6	0, 6
4	2, 0	0, 2	0, 4	0, 4	0, 4
6	2, 0	0, 0	-1, 1	0, 2	0, 2
8	2, 0	0, 0	-2, 0	-2, 0	0, 0
10	2, 0	0, 0	-2, 0	-4, 0	-3, -1

3. 第二価格オークションと望ましい性質

以後の説明のために、いくつかの用語を導入する。いま、売り手が 2 万円以上で売りたいと思っている財をオークションに出し、その財が 4 万円の価値があると思っている入札者 1 と、8 万円の価値があると思っている入札者 2 がいるとしよう。この《何円の価値がある》という個人の見積もりを評価額と呼ぶ。以下、本文中および図表では「万円」を省く。評価額は、各入札者にとっては所与の値であり、入札者にとっての戦略は、与えられた評価額のもとでいくらを入札するかという入札額になる。

一般に入札者が n 人の場合、入札者 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ の評価額を v_i 、入札額を b_i と書く。図 1 は、 $b_1 = 4$ 、 $b_2 = 3$ のときを表している。

図 1 の例を用いて、望ましい性質である耐戦略性、効率性をそれぞれ詳しく見ていこう。

3.1 耐戦略性

オークションが耐戦略的であるとは、各入札者にとって評価額を入札することが弱支配戦略になっていることである。もしオークションが耐戦略性を満たさないならば、入札者の間で、他の人がいくらを入札してくるなら何円を入札しよう、という裏の読み合いが発生し、戦略的な入札が繰り返される。この結果、財に対して最も高い評価額を持つ入札者（図 1 では入札者 2）が落札できないといったことも発生しうる。入札者 2 は、もっと高い額を入札して落札したかったと思うだろうし、落札できた入札者も、もう少し低い金額で落札できなかったらと思うかもしれない。ところが、耐戦略性を満たすオークションであれば、他の

入札者がどのような入札をしていても評価額を入札することが得策であるため、入札者は、他の入札者の入札金額を気にしつつできるだけ安く落札しようと頭を悩ませる必要がない。耐戦略性は、参加する入札者に最適な入札方法を示してくれているという点で、大変優れた性質と言える。

耐戦略性を満たすオークションとして、第二価格オークションが知られている。第二価格オークションは、最高価格を入札した入札者が落札して、二番目に高い入札額を支払う仕組みの封印入札であった。図 1 では入札者 1 が第二価格である 3 を支払って落札することになる。

いま、図 1 の入札者 1 の戦略を入札額 b_1 、入札者 2 の戦略を入札額 b_2 として具体的に利得表（表 1）を書いてみる。入札は最低入札価格を 2 とし、2 刻みで 12 までの範囲とした。入札者 1 が 6 を入札し、入札者 2 が 2 を入札したら、入札者 1 が落札し、そのときの支払額は 2 となる。したがって、入札者 1 は評価額 4 から第二価格 2 を引いた 2 の利得を得る。一方、入札者 2 は取引からは何も得られず利得は 0 である。同様に入札者 1 の入札額のほうが入札者 2 の入札額よりも大きい部分では、入札者 1 が落札し（4 - 第二価格）を得て、入札者 2 の利得は 0 となる。一方、入札者 1 が 4 を入札し、入札者 2 が 10 を入札したら、入札者 2 が落札し、そのときの支払額は 4 である。入札者 2 は $8 - 4 = 4$ の利益を得て、入札者 1 は取引からは何も得られない。同様に、入札者 2 の入札額のほうが大きい部分では、入札者 1 が落札し（8 - 第二価格）を獲得し、入札者 2 の利得は 0 である。対角線上は、同額

を入札しているので、 $1/2$ の確率で財を得られることとして利得の期待値によって表を埋める。

さて、この利得表から、入札者1の望ましい戦略を考えていく。すると、(i) 入札者2の入札額が4を下回っているとき、すなわち $b_2 < 4$ のときは相手の入札額より高い額を入札するほうが利得が高く、(ii) $b_2 > 4$ のときは相手の入札額より小さい額を入札するほうがよいことがわかる。また、(iii) $b_2 = 4$ のときは、入札者1はいくらを入札しても利得が0である。つまり、(i)~(iii)より、自分の評価額である4を入札していれば、入札者2が何を入札してきても損をしない²。すなわち、入札者1にとって、評価額である4を入札することは弱支配戦略になっている。

同様に、入札者2の望ましい戦略を考えると、入札者1が何を入札してきても、自分の評価額である8を入札していれば、損をしないことがわかる。つまり、両者にとって、自分の評価額を入札することが弱支配戦略になっていて、耐戦略性を満たしていることがわかる。

3.2 効率性

オークションの効率性は、社会的厚生という指標で測られる。社会的厚生とは、オークションの売り手と入札者の利益の合計のことを指す。

図1で第二価格オークションが用いられたときの社会的厚生を計算してみよう。入札者1が4、入札者2が3を入札しているので、入札者1が3を支払って落札する。このとき入札者1は4の評価額から支払額3を引いた1の利益を得ることができ、売り手は2の価値の財を3で売れたので1の利益を得る。入札者2は取引から何も得られない。したがって社会的厚生は $1 + 1 + 0 = 2$ である。

一方、両入札者が弱支配戦略を選んでいる場合の社会的厚生をもとめてみよう。つまり、上の例では入札者1が4、入札者2が8を入札した場合であり、このとき入札者2が4を支払って落札する。この場合、入札者2はこの取引によって、8の評価額から支払額4を引いた4のもうけが出る。売り手は2だと思っている財を4で売れたので、2のもうけを得る。入札者1は取引から何も得られない。したがって、社会的厚生は $4 + 2 + 0 = 6$ である。図1の状況で入札者1が落札したときより、社会的厚生が4も高い。

このように、評価額が高い入札者2が落札した場合のほうが、社会的厚生は高まる。よって、最も高い評価額を持つ入札者が落札するオークションが、効率的

² 入札者1は入札額を変えることで、利得が下がることはあっても上がることはない。

オークションである。

先述のとおり、第二価格オークションでは、すべての入札者が自分の評価額を入札することが弱支配戦略になっていた。最も高い評価額を持つ入札者が最高額を入札し落札できるので、第二価格オークションは効率性も満たしているのである。

3.3 イングリッシュオークションとの同等性

ここまで、第二価格オークションが耐戦略的で効率的であることを見てきたが、実際このオークションはどこで使われているのだろうか？

実は、公開入札のイングリッシュオークションは第二価格入札と戦略的に同等であることが証明されている。簡単に説明すると、競り上げ方式のイングリッシュオークションでは、(1) 評価額が一番高い入札者以外にとっては自らの評価額を正直に表明するのが弱支配戦略になっていて、(2) 評価額が一番高い入札者が二番目に高い評価額 + 1円で落札する結果が均衡結果として得られる。

(1) 評価額が一番高い入札者以外は、現在価格が自分の評価額より低ければ入札を続け、評価額を超えたらオークションを降りるのが最適なのは容易に想像できる。つまり、評価額まで競り上げ続けるので、結果的に自らの評価額を表明しているのに等しい。

(2) 評価額が一番高い入札者は、(評価額が二番目に高い入札者の評価額 + 1円)を入札した段階で、残りの人が全員オークションを降りるので、この金額で落札できる。第二価格オークションで全入札者が弱支配戦略を用いている状態では、落札価格は評価額が二番目に高い入札者の評価額である。競りの特徴上、1円の上乗せがあるものの、第二価格オークションでの均衡と結果が一致する。

すなわち、第二価格オークション自体は見慣れないが、私たちの生活に非常に身近なイングリッシュオークションと理論的性質は同じであり、ゲーム理論において“よい”とされたオークションは実際使われているのだ。

さらに、新たなオークション市場であるキーワードオークションの下敷きにもなっている。次節からは、このキーワードオークションのデザインにゲーム理論がどう用いられてきたか、簡単に紹介したい。

4. キーワードオークション

4.1 キーワードオークションの仕組み

キーワードオークションは検索連動型広告と呼ばれるインターネット広告の広告枠を取引するオークシ



図 2 検索連動型広告の表示画面例

ンである。検索連動型広告とは、図 2 にあるような、例えば Google などの検索エンジンで検索をしたときに検索結果の上部や右側に表示される、スポンサーリンクと呼ばれる数行の広告記事のことである。

インターネット広告で最も古いものは、1994 年に創刊されたウェブマガジン「Hotwired」に掲載されたバナー広告であるとされている。以降、バナー広告をはじめとするウェブ型広告が主流であったが、ウェブ型広告の広告掲載料は、一定期間の掲載に対して広告料を支払う固定報酬方式、あるいは 1 回広告掲載ページを表示するのにに対して広告料を支払うペイ・パー・ビュー方式が一般的である。

一方、検索連動型広告は、広告に関連のあるキーワードを検索した消費者にしか表示されず、さらにその広告がクリックされた回数に応じて広告料金を支払うペイ・パー・クリック方式をとっている。不特定多数に表示されるウェブ型広告に対して、広告主は自社商品に関連したキーワードに絞って出稿することで、ターゲット顧客のみを自社サイトへ誘導できる。広告をクリックし企業サイトに誘導された検索エンジンのユーザーのうち数パーセントは実際に商品に興味を持ち購入やサービスの登録をする。この割合をコンバージョンレートという。キーワードオークションでは、コンバージョンレートから算出される 1 クリックあたりに見積もられる広告効果が評価額になっている。すなわち、広告主は検索キーワードごとに広告を出稿し、検索エンジンユーザーが広告をクリックすると広告主は 1 クリック分の広告効果を得て、1 クリックあたりに広告料を支払う仕組みとなっている。

ここで、検索結果画面が表示されるとどのくらい広告がクリックされるかに注目してみよう。一定期間内にどのくらい広告がクリックされるかという指標を期待クリック回数、またはクリック・スルー・レート (CTR) という。一般的に、CTR は画面上部の枠のほうが多



図 3 キーワードオークション例

く、下に行くにつれて減る傾向にある³。

入札者 3 人、広告枠 3 つの例を図 3 に示す。各広告枠の CTR は上から 100, 75, 50, 各入札者の評価額が 10, 8, 2 である。

前節の効率性を思い出してみよう。図 3 では、評価額 10 を持つ入札者 1 が一番上の広告枠を得て、評価額 8 を持つ入札者 2 が二番目の広告枠を得るといように評価額順に上位から広告枠を割り当てるのが最も社会的厚生が高い。したがって、効率的な割り当てができるよう、より高値を入札する広告主により上位の広告枠を割り当てるオークションで売られるようになった。

ちなみに図中では入札額を吹き出しの中の数字で表した。図 3 は全員が正直に自分の評価額を入札している例である。

では、この特殊なオークションにおいては、どういったものが“よい”オークションで、現実にとられているオークション方式は“よい”オークションなのだろうか？

4.2 キーワードオークションの変遷

キーワードオークションとして、1997 年はじめに一般化第一価格オークション (Generalized First Price Auction, 以下 GFP) が Overture により導入された。GFP は第一価格オークションを一般化したもので、掲載順位は入札額が高い順に決定し、1 クリックあたりの支払額は落札者自身の入札額となる。しかし GFP では、入札額をいつでも変更可能という動的な環境のため、価格が流動的で不安定なものになってしまった。[1] は、2002 年 6 月から 2003 年 6 月までの実際のデータをもとに、入札額が鋸歯状の入札パターンに従って

³ ビッグワードと呼ばれる検索数の大きいキーワードで検索すると検索結果の上部にも広告が配置される。検索結果の上部に掲載された広告は、検索結果と間違えてクリックするユーザーも多いため、上位の広告のクリック回数が下位の広告枠に比べてかなり高くなる。

変動し続けることを指摘した。

例えば図3では、当初、入札者1と入札者2は一番上の広告枠を争い徐々に競り合っていく。入札者1が3を入札したなら入札者2は4を入札し、次に入札者1が5を入札する、といったように両者とも少しずつ入札金額を上げていく。しかし、入札者1の入札額が8以上になると、入札者2はこれ以上の金額を入札して一番上の広告枠を手に入れても赤字になってしまう。そこで、二番目の枠を手に入れられる範囲で一気に入札額を下げる。つまり、(入札者3の入札額+1円)まで入札額を下げてくる。それに伴い、入札者1も入札額を大幅に下げる。そして先程と同様に、再度お互い競い合う。以下、同様の現象の繰り返しとなる。多くのキーワードでこのような現象がみられ、結果、価格が安定しなかったのである。

2002年2月、Yahoo! (Overture)の後を追うかたちで検索連動型広告事業を始めたGoogleが導入したアドワーズはこの問題を解決するため、入札制度に第二価格オークションを利用し、一般化第二価格オークション (Generalized Second Price Auction, 以下 GSP) を用いた。GSPでは、GFP同様、まず入札額が高いほうから高い位置の広告枠を割り当てる。このとき、1クリック当たりに支払うのが、自分の入札額ではなく、自分より一つ順位が低い入札者の入札額となる。広告枠が一つしかなければ、一番高い入札をした人が財を得て、第二価格を支払っているのだから、第二価格オークションを一般化していると捉えられる。

現在広く使われているアドワーズのオークションの仕組みはGSPをもとにしているが、純粋に入札額だけで評価するのではなく、出稿される広告に重みを付けて掲載順位、支払額が決まっている。

4.3 一般化第二価格オークション

財が一つするとき、第二価格オークションは耐戦略性、効率性を満たす、“よい”オークションと言えた。では、現行制度の下敷きになって広く受け入れられたGSPは、こうした性質を持っているのだろうか？ここではまず、GSPのオークション制度についてより詳しく見ていこう。オークションに参加する広告主(入札者)の集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 、広告枠の集合を $\{1, 2, \dots, K\}$ とし、一定期間の掲載順位 k 番目のCTRを α_k とする。 α_k は k のみに依存するとし、 $\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_K$ を仮定する。入札者 $i \in N$ が見積もっている1回のクリックによる広告効果を v_i とし、入札者 i の入札額を b_i とし、 $b = (b_1, \dots, b_n)$ を入札とする⁴。

いま入札を、金額の高い順に並べ直し

$(b_{(1)}, b_{(2)}, \dots, b_{(n)})$ と書くことにする。入札者 i が k 番目の広告枠を落札したとすると、 $b_{(k)} = b_i$ である。このとき、 i は1クリック当たり $k+1$ 番目に高い入札額 $b_{(k+1)}$ だけ支払うので、 i の支払額は $\alpha_k b_{(k+1)}$ となる。また、一定期間に見込まれる広告効果は $\alpha_k v_i$ で表されるので i の利得は広告効果から支払額を差し引いた $\alpha_k v_i - \alpha_k b_{(k+1)}$ となる。

GSPでは、入札額が高い順に高い位置からの広告枠を獲得し、自分より一つ順位が低い入札者の入札額を、1クリック当たりに支払う。したがって、図3の各入札者の獲得した広告枠のCTR、広告効果、支払額、利得をまとめると表2のようになる。

例えば8を入札した入札者2は、二番目の広告枠を得て、1クリック当たり評価額だけの広告効果を得られるので、期間内に得られる広告効果は 8×75 である。同時に1クリック当たり一つ下の入札額である2を支払うので支払額は 2×75 となる。したがって利得は450となる。

4.3.1 一般化第二価格オークションと耐戦略性

さて、ではこのGSPは“よい”オークションだろうか？答えはNoで、GSPは耐戦略性を満たさない。

GSPで自分の評価額を正直に入札したときの利得は表2のとおりであった。

ここで、入札者1が自分の評価額を入札せずに、7を入札したとしよう。すると、利得は表3のように変化する。入札者1の獲得した広告枠は二番目になり、広告収益は 10×75 に下がる。ところが、一つ下の入札額が8から2になるので、支払額が大幅に減って、利得は600に増える。つまり、入札者1は嘘をついたほうが高い利得が得られ、耐戦略性を満たしていないことになる。

4.4 Vickrey-Clarke-Groves メカニズム [2]

GSPは、自分より一つ順位が低い入札者の入札額を支払うという点で第二価格オークションを一般化していたが、耐戦略性が満たされなくなっていた。では、耐戦略性が満たされるような一般化の方法とは、どのようなものだろうか？

4.4.1 負の外部性と第二価格オークション

オークションにおいて耐戦略性を満たすための秘訣は、落札金額を落札者が他者に与える負の外部性にするところである。実は、単一財封印入札では第二価格こそが負の外部性だった。

図4のような状況では、入札者2のほうが入札額が

⁴ ある検索ワードに関する検索が行われる直前に入札額が締め切られるとする。

表 2 GSP 支払額：正直入札

入札者	評価額	入札額	獲得 CTR	広告効果	支払額	利得
1	10	10	100	$10 \times 100 = 1000$	$8 \times 100 = 800$	200
2	8	8	75	600	150	450
3	2	2	50	100	0	100

表 3 GSP 支払額：虚偽入札

入札者	評価額	入札額	獲得 CTR	広告効果	支払額	利得
1	10	7	75	$10 \times 75 = 750$	$2 \times 75 = 150$	600
2	8	8	100	800	700	100
3	2	2	50	100	0	100

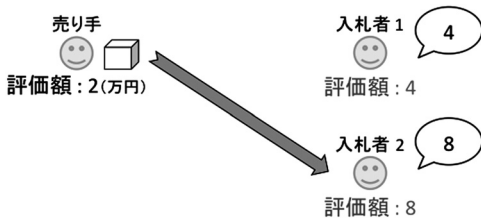


図 4 負の外部性説明図

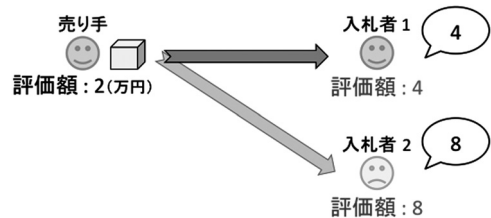


図 5 負の外部性説明図 2

高いので、入札者 2 が評価額 8 の財を得ている。ただし、この評価額は、メカニズム・デザイナーには見えない。まわりから見てわかる、実際に入札している額を、入札者 2 が考える財の価値、と判断して、入札者 2 が価値 8 の財を得ている状況と考える。この状況での負の外部性を考えていこう。まず入札者 1 の、他者に与えている負の外部性を考える。もし入札者 1 がこの市場に存在しなければどうなるか考えると、いてもいなくても変わらないことがわかる。したがって、入札者 1 の他者に与える負の外部性は 0 である。

次に、入札者 2 について考える (図 5)。入札者 2 が存在しなければ、財は入札者 1 が手に入れる。つまり、入札者 1 は、入札者 2 がいる状態では何も手に入らなかったのに、入札者 2 がいなくなることで価値 4 の財が得られる。これが入札者 2 が入札者 1 に与えている負の外部性である。

したがって、この状況では入札者 1 の支払額は 0、入札者 2 の支払額は 4 となる。よく見てみると、入札者 2 の支払額 4 は第二価格になっていることがわかる。入札者 3 人以上でも同じ議論ができ、最高価格を入札した入札者の負の外部性が、第二価格になる。この他者に与えた負の外部性を支払わせる、というのが、耐戦略性を兼ね備えた“よい”オークションであるためのポイントなのだ。

4.4.2 キーワードオークションでの負の外部性

耐戦略性を持つようなキーワードオークションは Vickrey-Clarke-Groves メカニズム (以下、VCG) と呼ばれる。VCG では、入札者が売手に支払う支払額が他者に与える負の外部性であるという点のみ、GSP と異なる。

図 3 の例で VCG での支払額を計算してみよう。

まず、最低価格 (2) を入札している入札者 3 が市場からいなくなっても他の入札者に一切影響ないので、入札者 3 の支払額は 0 である。

次に入札者 2 について考える。入札者 2 がいなくなっても、この入札者より上位の入札者には何の影響もない。一方、入札者 2 がいなければ、CTR 50 の三番目の枠を得ている入札者 3 が、CTR 75 の二番目の枠を得られるようになる。したがって、この差分である $(75 - 50) \times 2 = 50$ が負の外部性になる。したがって入札者 2 はこの 50 を支払う。

では 10 を入札している入札者 1 がいなければどうだろうか？ 下位の人たちはそれぞれ一つ上の広告枠を得られるので、入札者 2 にとっては $(100 - 75) \times 8 = 200$ 、入札者 3 にとっては $(75 - 50) \times 2 = 50$ が、入札者 1 がいることで被っている負の外部性である。つまりこの和の 250 が、入札者 1 の支払額になる。

GSP の支払額は、自分の一つ下の入札額だけわかれば計算できたが、VCG では自分より下位の入札額す

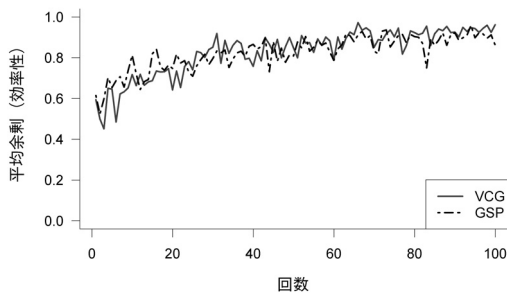


図6 実験結果 (効率性)

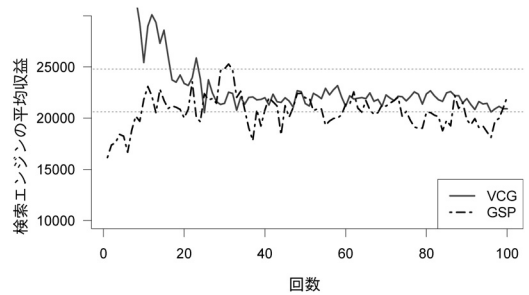


図7 実験結果 (収益)

べてと、自分とは関係ない下位の広告枠の CTR がすべてわかっていなければ支払額が計算できなくなっている。

5. 実験による性能検証

現在のキーワードオークションの基礎となっている GSP は耐戦略性を満たさないことがわかった。もちろん効率性も保証されない。では、キーワードオークションとして GSP を導入したことは失敗だったのだろうか？ 理論的によい性質を重視して制度設計するならば、耐戦略性を満たす VCG へのオークションの変更が望ましいのだろうか？ しかし、VCG は支払額の計算が複雑で、実際の市場に導入して利用者の混乱を招くといった実用上の懸念がある。

本節では、人間の被験者を用いた実験により GSP と VCG の性能を比較した研究 [3] を一部紹介する。両者の性能を比較した理論研究 [3, 4] もあるが、実際の市場においては入札者が必ずしも理論どおりに振る舞い、予測した均衡が達成されるとも限らない。そこで、実験によって両オークションの効率性、およびオークションの収益を検証したのが [3] である。[3] では入札者が 5 名程度の場合について、実際公開されているデータを参考に、予備実験やシミュレーションでパラメータを決め、専用のツールを用いて実験を行った。

実験によって、社会的厚生を指標とした効率性は、GSP と VCG で有意な差はなく、最終的には最高値の 90% 近くになっていることが確認された (図 6)。また、オークションの収益に目を向けてみても GSP と VCG で有意な差はなく、VCG で全入札者が弱支配戦略を取っているときの値付近を推移していることもわ

かった (図 7)。この実験結果からも⁵、GSP の性能は VCG に劣ることはなく、キーワードオークションとして GSP が導入されたことの妥当性を確認できたと言える。

6. おわりに

本稿では、オークションのデザインにおいて、どのような性質が重視されているか、実際に使われているオークションは望ましいオークションなのかを、オークションあるいはゲーム理論をこれから始めてみようという読者を対象に解説した。比較的新しい応用例であるキーワードオークションの研究についても紹介したが、キーワードオークションのみならず、電子市場はどんどん幅を広げており、市場設計とインターフェースの開発が望まれている分野である。ゲーム理論を用いての制度設計を始めてみようというきっかけ作りになれば幸いである。

参考文献

- [1] B. Edelman and M. Ostrovsky, “Strategic bidder behavior in sponsored search auctions,” *Decision Support Systems*, **43**, pp. 192–198, 2007.
- [2] W. Vickrey, “Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders,” *Journal of Finance*, **16**, pp. 8–27, 1961.
- [3] E. Fukuda, Y. Kamijo, A. Takeuchi, M. Masui and Y. Funaki, “Theoretical and experimental investigations of the performance of keyword auction mechanisms,” *The RAND Journal of Economics*, **44**, pp. 438–461, 2013.
- [4] B. Edelman, M. Ostrovsky and M. Schwarz, “Internet advertising and the generalized second price auction: Selling billions of dollars worth of keywords,” *American Economic Review*, **100**, pp. 597–602, 2007.

⁵ 実験結果のみから結論付けることは強引だが、いくつかの理論結果も GSP が無羨望均衡において効率的であることや、予測される収益の参照範囲が GSP, VCG で一致することを示している。