

動的オークションに対するオンラインメカニズムの被験者実験

電気通信大学大学院 情報理工学研究所, 情報・ネットワーク工学専攻
高橋里司 (Satoshi Takahashi)

概要 時間変動によって買い手の人数が変化する動的な市場環境は、インターネット上の商取引や競り等に現れる商取引モデルである。近年、電気自動車の充電市場への応用に関する研究が盛んに行われている。本研究では、市場に参加する時間帯と財の入札の2つの入力を行う動的環境オークションに対し、オンラインメカニズムを用いた被験者実験の実験デザイン及び、本実験に向けた予備実験の実施結果および分析結果を報告する。

キーワード: 動的環境オークション; 被験者実験; オンラインメカニズム

1 はじめに

本研究では、時間変動によって買い手の人数が変化する動的な市場環境における、オンラインメカニズムを用いたオークションの入札実験を行う。財の取引における入札の利用は、欧米における周波数入札の成功とインターネット上の商取引の発展により広く普及しているが、実務で用いられる入札制度の中には理論上その性質がよくわかっていないものがまだ多く残されている。本研究で対象とする動的市場環境におけるオークションメカニズムは、2007年にD.C. Parkesが提案した動的オークションにおける支配戦略耐戦略性を持つオンラインメカニズムである [1]。近年、電気自動車の充電市場への応用に関する研究が盛んに行われている [2]。本実験では、このオンラインメカニズムを用いて、動的オークションにおける経済実験の設計、インストラクションの開発及び検定方法の確立を目指す。動的オークションにおける経済実験は、既存のものとしては、[3]のものしかなく、未だ確立された実験手法は存在しない。そこで、本研究によって、動的オークション環境の経済実験手法を確立を目指し、学術のみならず、産業界での活用を模索する。本稿では、動的市場環境におけるオークション被験者実験の実験デザインとその予備実験について報告する。

2 オークションモデル

本実験では、実際の商品ではなく架空の財の模擬入札を行う。実験の仕様について述べる。本実験では、時間軸を設定し、各単位時間ごとに財が1単位市場に供給される動的環境において、各買い手が単一需要であるオークションを想定する。本オークションでは、将来到着する買い手の情報が未知であり、買い手の選好が変化しないことを仮定する。買い手の集合を N とする。各買い手 $i \in N$ は市場への到着時刻 a_i 、出発時刻 d_i 及び財の評価値 v_i のタプル $\theta_i = (a_i, d_i, v_i)$ を持つ。買い手 i は時刻 a_i にオークションに参加可能となり、時刻 d_i にオークションから離脱する。本オークションでは、買い手 i は $\hat{\theta} = (\hat{a}_i, \hat{d}_i, \hat{v}_i)$ を申告する。つまり買い手 i は時刻 \hat{a}_i に自らの出発時刻 \hat{d}_i と入札値 \hat{v}_i を申告する。本オークションの制限として、以下の2つを仮定する。

- $\hat{a} \geq a$: 市場の到着していない買い手は、申告を実行できない。

- $\hat{d} \leq d$: 買い手は出発時刻の評価値 d より大きい \hat{d} を申告できない。

2.1 オンラインメカニズム

Parkes[1] が提案したオンラインメカニズムは、次の通りである。

財の割当ルール: 各単位時間 t において、財を割当てられていないオークションに参加可能な入札者の中で、最大入札値を申告した入札者に財を割り当てる。引き分けの場合はランダムに選択する。

支払い計算ルール: 割り当てがあったエージェントは、出発時間に、次に定めるクリティカル値の支払いを行う。 $\pi(i) \in \{0, 1\}$ をある時間 $t \in [\hat{a}_i, \hat{d}_i]$ において、割当ルール π が入札者 i に財を割当てたかを表すとする。この時、クリティカル値を次のように定義する。

$$c = \begin{cases} \min w_i \text{ s.t. } \pi(i) = 1 & \text{for } \hat{\theta} = (\hat{a}_i, \hat{d}_i, w_i) \\ \infty & \text{そのような } w_i \text{ が存在しない} \end{cases}$$

つまり、出発時まで財を獲得できる最低の入札値を支払う。

3 経済実験仕様

以下のような経済実験を設計する。

- 単一財のオークションで、時間 4 ステップ $t \in \{1, 2, 3, 4\}$ 、被験者 8 人 $i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ の市場を想定し、参加者は $1/2$ の確率で財を入手できる。
- 24 名の被験者を毎回ランダムに 3 つのグループに分け、2 分を 1 セッションとしオークションを 20 回実施する。各セッションにおいて、被験者はランダムに 3 つのグループに振り分けられる。
- 拘束時間は、実験の説明も含め、90 分以内とする。これを 2 回実施し、 $(24 \text{ 人} + \text{予備 2 名}) \times 2 = 52$ 名の被験者を募集する。募集する被験者は、電気通信大学の学生とする。
- 到着時刻、出発時刻、評価値 $\theta = (a, d, v)$ は各セッションの初めに一様乱数で指定し、実験前半の 10 回は、 $a, d \in \{1, 2, 3, 4\}$ 、 $v \in U[1, 100]$ 、実験後半の 10 回は、 $a, d \in \{1, 2, 3, 4\}$ 、 $v \in U[1, 200]$ とする。
- 各被験者は、 $\hat{\theta} = (\hat{a}, \hat{d}, \hat{v})$ を申告する。本来想定する市場では、到着時刻に申告するべきであるが、今回は、各セッションの冒頭で申告し、全員の申告後にまとめて結果を計算する。ただし、システムの内部では、オンラインメカニズムに基づいた計算を行う。なお、 $\hat{a} < a$ や $\hat{d} > d$ となる申告は受け付けないシステムとなっている。

今回は、実験仕様の検討を目的としているため、大学規定の固定謝金を支払うこととするが、この経済実験で本来想定している報酬設計は以下の通りである。

- 各セッションの終了後、財を獲得した被験者は真の評価値と落札額の差をポイントとして獲得し、全 20 回のうち 6 回をランダムに抽出し報酬とする。
- 報酬は、参加費 α 円に得点 β に η 円をかけたものの和とする。これを本学規定に基づき、時給

表1 実験デザイン

実施日	被験者数	1グループの人数	グループ数
7月27日	16	8人	2
8月1日(1)	24	8人	3
8月1日(2)	16	8人	2
8月3日(1)	24	8人	3
8月3日(2)	22	8人, 7人	3
合計	102(女性 < 10)		

1,000円として換算し、支払う。今回は前述の通り α のみを支給した。

$$\text{報酬} = \alpha + \beta \cdot \eta.$$

被験者は、与えられた経済状況（以下ゲーム）において、利益の最大化を目指す。利益最大化の経済的動機を与えるため、実験後に、得点に応じた謝金を支払う。謝金額は、被験者が真剣に取引を行うインセンティブを十分に確保するために、実験経済学の慣例に従い、大学生のキャンパスにおけるアルバイトの典型的時給の1.5倍が平均的謝金額になるよう設定する。文献(D. Friedman and S. Sunder, 1994)[4]の4.4.2節では、将来別の実験に呼ばれることを希望するかどうかを被験者に用紙に記入させて、肯定的な回答が80%-90%になるような報酬水準を設定することを推奨している。実験経済学の最近の慣例では、ほとんどの経済学者は被験者に典型的時給の50%から100%増しの変動謝金を支払っている。

3.1 インストラクション

被験者実験時に被験者に配布する実験説明書をインストラクションとし、実験の再現性を担保する資料とする。インストラクションには、実験の諸注意、実験で行う経済取引の説明、実験で使用するインターフェースの説明、メカニズムの説明、報酬の説明を記載する。

4 実験デザイン

本発表で実施した被験者実験は、仕様に基づき表1のように設定した。本実験前に、各実験において、被験者は毎回のオークションで一様ランダムにグループに振り分けられる。これにより、報復等の行動を制御できる。

4.1 分析に用いるデータ

実験からは、毎回のオークションで与える（到着時刻、出発時刻、評価値）と入札される（到着時刻、出発時刻、入札値）が得られる。また、各オークションからは、財の割当、売手の利益、得点が得られる。これらを分析に用いる。

表2 回帰係数

実施日	α	β	相関係数
7月27日前半	0.943	-1.374	0.885
7月27日後半	0.997	-0.904	0.884
8月1日(1)前半	1.010	-1.970	0.880
8月1日(1)後半	1.004	-1.692	0.867
8月1日(2)前半	1.027	-2.839	0.829
8月1日(2)後半	1.023	-1.799	0.857
8月3日(1)前半	0.977	-1.258	0.858
8月3日(1)後半	0.982	1.790	0.834
8月3日(2)前半	0.950	-0.711	0.874
8月3日(2)後半	0.955	-0.980	0.845

4.2 入札行動の分析

入札行動の分析には、被験者からの入札データを用いる。入札値と評価値の比較には、以下のような回帰式を用いる。

$$(\text{入札値}) = \alpha(\text{評価値}) + \beta.$$

ここで、 α の値が1に近く、 β が0に近ければ、入札が正直申告であると推定できる。実験ごとに横軸に評価値、縦軸にその時の入札値をプロットした散布図を図1～図6に示す。図には、プロットの他に、(評価値) = (入札値)となる直線および、回帰分析で得られる直線をプロットしている。散布図を見ると、どの実験でも正直申告に近い入札が多く、回帰分析を見ると、若干 underbid している傾向が見られる。回帰分析の係数を表2に示す。表2を見ると、 α がほぼ1に近い値を示しており、正直申告に近い入札行動を取っていることがわかる。また、相関係数は、0.8以上となっており、評価値と入札値に高い相関が見られる。

次にオークションに参加する期間についての分析結果を示す。分析には、与えられる滞在期間（出発時刻～到着時刻）と入札された滞在期間（出発時刻～到着時刻）をプロットする（図7～図9）。図を見ると、おおむね、与えられた滞在時間と同じ滞在時間を入札している傾向があるが、それよりも与えられた滞在時間よりも狭めた入札をする傾向が強く見られる。実際に、実験後に様子を聞いてみると、ピンポイントで入札を行うことを意識的に行っていた被験者も見られた。これはおそらくピンポイントで入札することで、競合を避け、財を獲得できると考えたと推測できるが、正式なアンケートを実施していないため、推測の域を出ない。

最後に、 $U[1, 100]$ と $U[1, 200]$ の入札行動の差を順位和検定で確かめる。順位和検定に用いるデータは、(評価値) - (入札値)を用いる。順位和検定には、Wilcoxonの順位和検定を用いる。帰無仮説は以下を用いて、 p 値を表3にまとめる。

$$H_0 : U[100], U[200] \text{ の財に対する入札行動に差がない.}$$

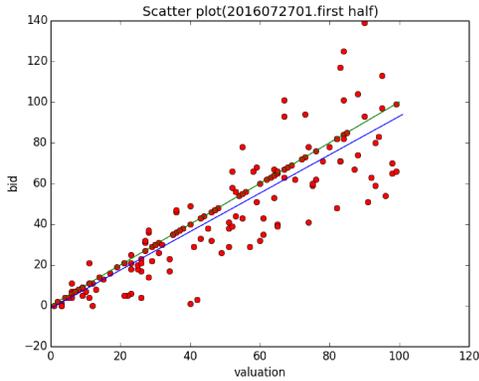


図1 2016年7月27日前半の財の評価値 v v.s. 入札値 \hat{v} の散布図

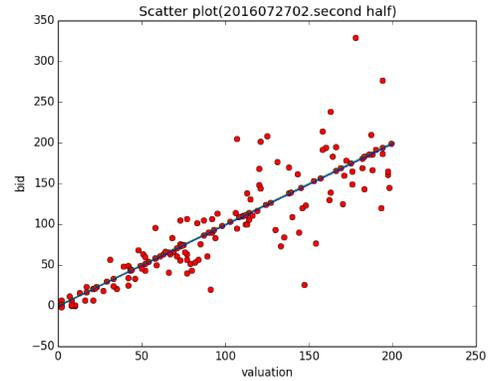


図2 2016年7月27日後半の財の評価値 v v.s. 入札値 \hat{v} の散布図

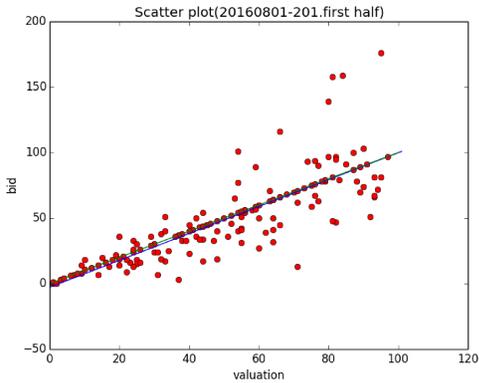


図3 2016年8月1日(2)前半の財の評価値 v と入札値 \hat{v} の散布図

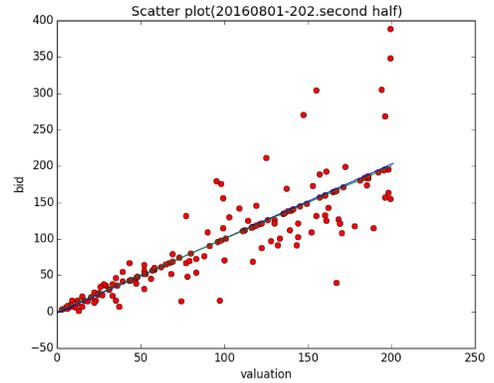


図4 2016年8月1日(2)後半の財の評価値 v と入札値 \hat{v} の散布図

表によると、いずれも棄却率5%を超えているため、帰無仮説を棄却できない。従って、評価値の絶対値による入札行動の差はないことがわかった。

4.3 財の配分問題の目的関数値の比較

財の配分を行う問題において、目的関数は、財を割当てた時の入札値の総和である。従って、目的関数を最大化する割当てがパレート効率的である。このとき、評価値を用いたときの財の配分問題の最適値と入札値を用いたときの財の配分問題の最適値を比較する。図10に横軸に評価値を用いたときの財の配分問題の最適値、縦軸にその時の入札値を用いたときの財の配分問題の最適値をプロットした散布図

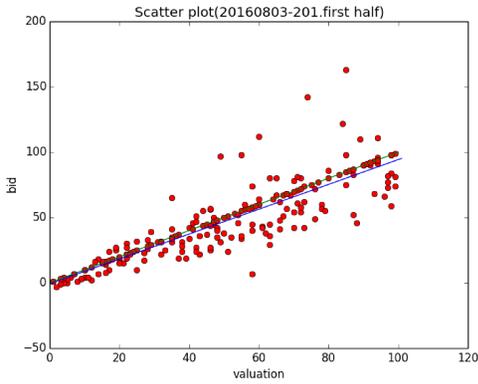


図5 2016年8月3日(2)前半の財の評価値 v と入札値 \hat{v} の散布図

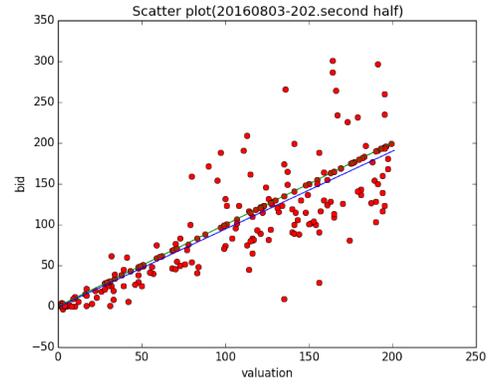


図6 2016年8月3日(2)後半の財の評価値 v と入札値 \hat{v} の散布図

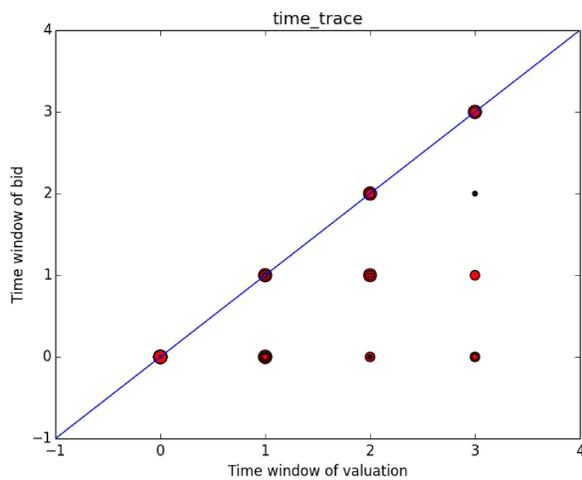


図7 2016年7月27日の滞在時間のプロット。ただし、シンボルの大きさや多重円の数でサンプル数の多さを表している。

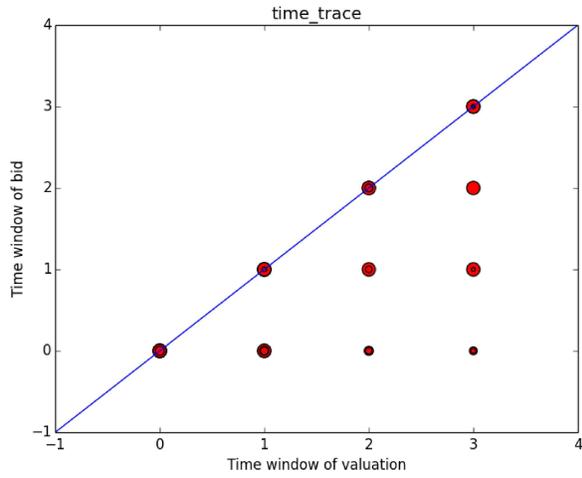


図8 2016年8月1日(2)の滞在時間のプロット。ただし、シンボルの大きさや多重円の数でサンプル数の多さを表している。

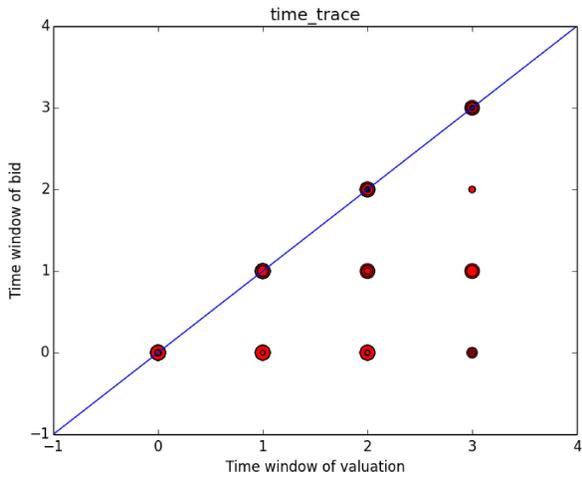


図9 2016年8月3日(2)の滞在時間のプロット。ただし、シンボルの大きさや多重円の数でサンプル数の多さを表している。

表3 $U[1, 100]$ と $U[1, 200]$ の順位和検定

実験実施日	両側検定 (p 値)
7月27日	0.0558
8月1日(1)	0.8114
8月1日(2)	0.2759
8月3日(1)	0.4027
8月3日(2)	0.4710

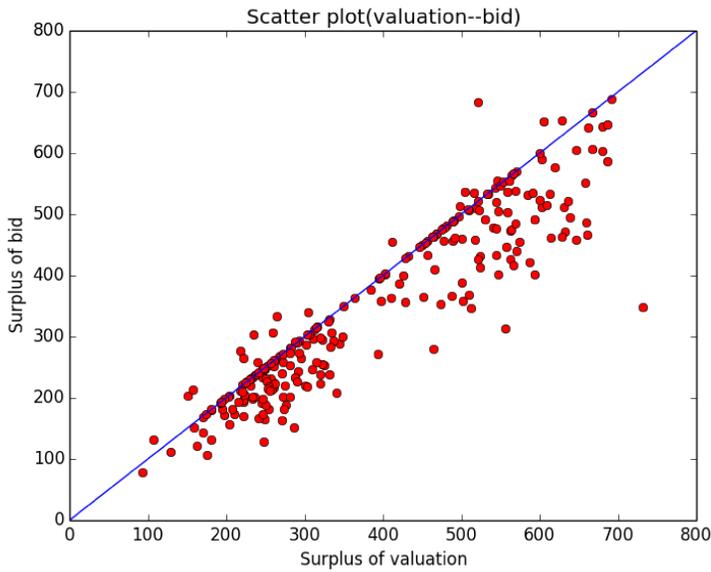


図10 財の配分問題の最適値の散布図

を示す。また、実験ごとの平均の最適値と標準偏差を表4に示す。図10、および表4によると、入札値を用いた時よりも評価値を用いたほうが最適値が高いことがわかる。これは、underbidの結果からいえる。しかしながら、回帰分析の結果以上に差が開いている。これは、滞在期間の入札が原因であるといえる。滞在期間が狭いため、本来であれば、財の割当がある被験者が、財を獲得する機会を失っていることがわかる。このことから、同メカニズムを用いた時の配分効率性は悪いことがわかる。

4.4 売手の利益の分析

評価値を用いたときの売手の利益と入札値を用いたときの売手の利益を比較する。図11に横軸に入札値を用いたときの売手の利益、縦軸にその時の評価値を用いたときの売手の利益をプロットした散布図を示す。また、実験ごとの平均の売手の利益と標準偏差を表5に示す。図によると、相関が低く関連

表 4 財の配分問題の最適値の平均

実施日	入札値	評価値	標準偏差 (入札値)	標準偏差 (評価値)
7月27日前半	211.4	243.2	42.3	45.5
7月27日後半	430.5	511.3	58.9	93.5
8月1日(1)前半	236.2	253.8	47.1	46.1
8月1日(1)後半	513.4	546.9	86.0	90.5
8月1日(2)前半	227.6	252.5	46.9	45.6
8月1日(2)後半	453.0	498.9	88.3	96.8
8月3日(1)前半	227.2	261.4	49.2	38.8
8月3日(1)後半	481.7	522.4	86.6	73.5
8月3日(2)前半	224.3	242.9	58.7	64.9
8月3日(2)後半	466.7	532.2	94.2	94.7

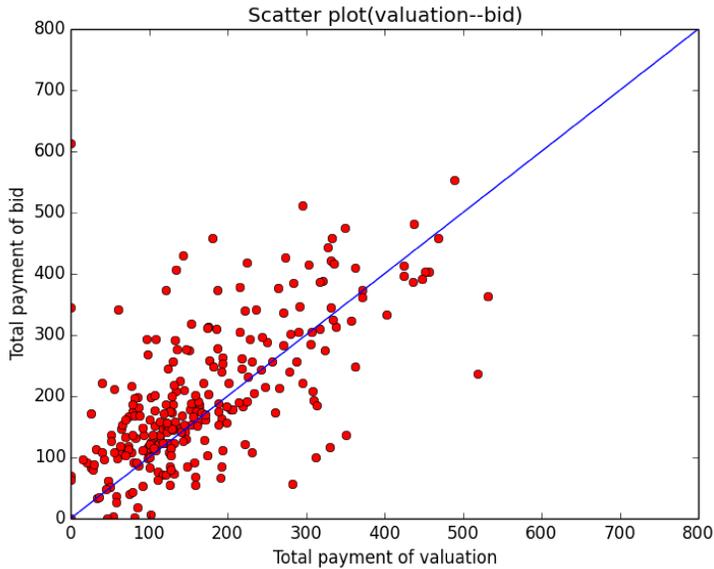


図 11 売手の利益の散布図

が小さいように見える。表からは、入札値を用いた時よりも評価値を用いたほうが売手の利益が高いことがわかる。これは、underbid 入札結果および、滞在期間の入札が原因であるといえる。

表5 売手の利益の平均値

実施日	入札値	評価値	標準偏差 (入札値)	標準偏差 (評価値)
7月27日前半	83.9	113.5	35.1	58.1
7月27日後半	181.9	253.9	102.9	116.7
8月1日(1)前半	113.6	130.7	52.1	64.2
8月1日(1)後半	267.2	303.3	119.2	121.8
8月1日(2)前半	116.0	139.4	46.8	57.9
8月1日(2)後半	243.5	255.9	93.2	83.2
8月3日(1)前半	112.6	137.6	41.6	49.1
8月3日(1)後半	236.6	287.6	111.1	111.6
8月3日(2)前半	95.0	111.4	44.0	60.6
8月3日(2)後半	230.5	250.9	110.1	110.0

4.5 実験の考察

実験を通して、Parkesのオンラインメカニズムの有効性を検証してきた。理論や数値実験では、有効性が示されていたが、被験者実験ではunderbidの入札行動は検出できたが、配分効率性は悪いことが示された。これは、滞在期間の入札行動に問題があったためであると思われる。

5 ミスレポートの影響

本章では、実験結果において、滞在時間と入札値のどちらがより影響しているのかを調べるために、以下の検証を行った。

1. 金額=評価値, 時間帯=評価値
2. 金額=入札値, 時間帯=評価値
3. 金額=評価値, 時間帯=入札値
4. 金額=入札値, 時間帯=入札値

このうち、1および4は前章までで分析しているので、本章では2, 3に着目する。

5.1 結果

金額と時間帯を入れ替えた検証における財の配分問題の最適値および、売手の利益について示す。図12, 13にそれぞれ、検証項目2, 3での財の配分問題の最適値を示す。このとき、評価値を用いて計算したものは、検証項目1で得た結果を用いる。図を見ると、入札値の影響よりも、滞在時間の申告によって財の配分問題の最適値の減少が見られることがわかる。また、滞在時間を真値で与えたとき、いくつかオーバービッドも検出できる。これらから、滞在時間の影響により、財の配分問題の最適値に減

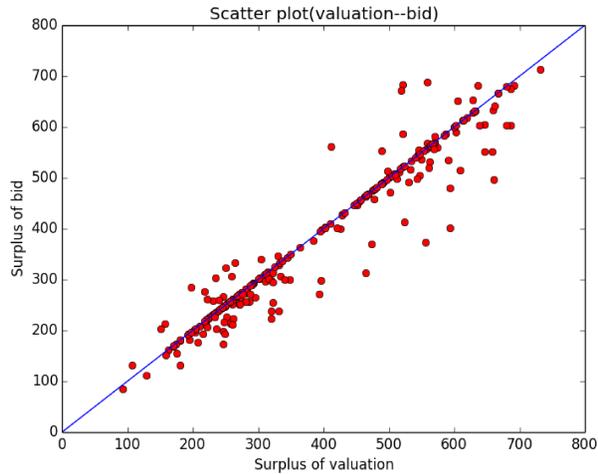


図 12 財の配分問題の最適値の散布図 (金額=入札値, 時間帯=評価値)

少が生じた。この結果は、財の配分効率にも影響を与える。

次に、図 14, 15 にそれぞれ、検証項目 2, 3 での売手の利益を示す。図を見ると、検証項目 2, 3 ともに顕著な違いは見受けられなかった。このことは、売手の利益には、滞在時間はあまり影響がないことがわかる。

以上より、滞在時間のミスレポートは、売手の利益には影響せず、財の配分問題の最適値に影響を与えることがわかる。

6 まとめと今後の課題

今回の実験では、Parkes のオンラインメカニズムを用いた被験者実験を実験設計から行いオンラインオークションの被験者実験の実施手法について検討し、予備実験を行った。従来の被験者実験の手法に則り、なるべく情報や戦略等を被験者に開示せずルールのみ説明して実験をするというインストラクションを作成したが、オークションの滞在時間を正直に申告するという支配戦略に気づく被験者は少なかった。また、過去の複数財オークションの実験結果と同様に若干の underbid が検出された。また、配分問題の最適値の差をみると、配分効率性も良くはないことが示された。今後実験をする上で、滞在時間の影響をみるために、ルールのみ説明するグループと滞在時間の戦略に関するヒントを与えたグループでの比較を行うのが良いと思われる。また本実験では、リアルタイムに取引が進行する実験ではなかったため、本来のモデルを忠実に実験するためには、実時間で進行するオークションの実験を行うことが考えられる。

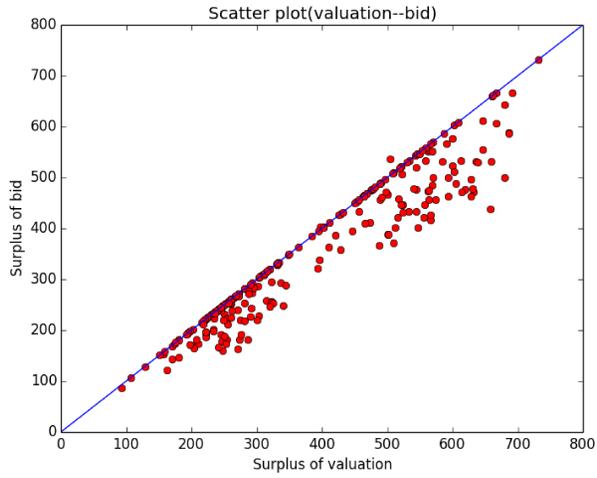


図 13 財の配分問題の最適値の散布図 (金額=評価値, 時間帯=入札値)

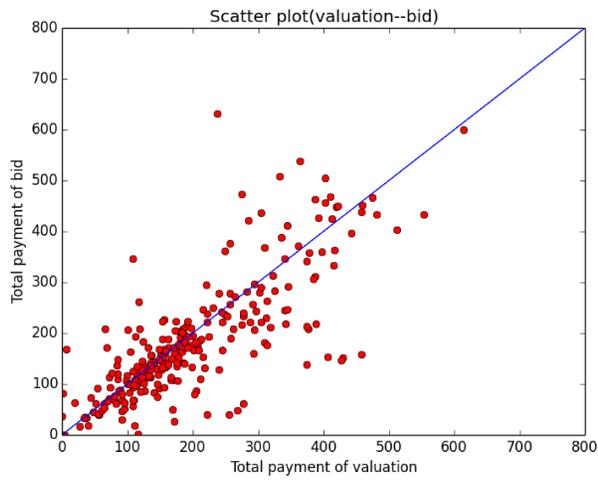


図 14 財の配分問題の最適値の散布図 (金額=入札値, 時間帯=評価値)

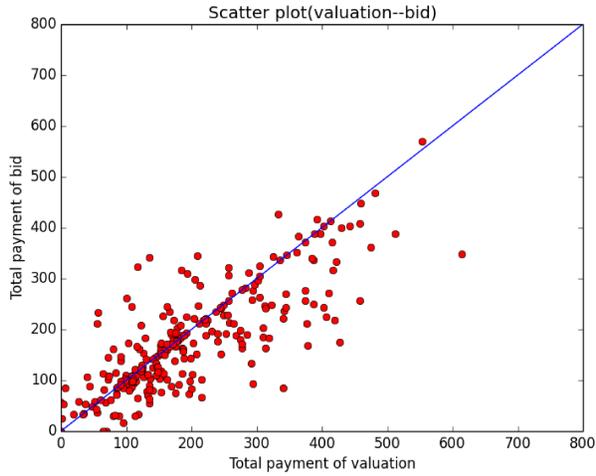


図 15 財の配分問題の最適値の散布図 (金額=評価値, 時間帯=入札値)

謝辞

本研究を遂行するにあたり、トヨタ自動車株式会社から研究助成をいただいた。

参考文献

- [1] D.C. Parkes: Online Mechanisms. In N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, and V. Vazirani: *Algorithmic Game Theory*, (2007)411–439.
- [2] E.H. Gerding, V. Robu, S. Stein, D.C. Parkes, A. Rogers, and N.R. Jennings: Online Mechanism Design for Electric Vehicle Charging. *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2*, (2011)811–818.
- [3] K. McLaughlin and D. Friedman: Online ad auctions: An experiment, *Discussion Papers*, Research Professorship Market Design: Theory and Pragmatics (2016).
- [4] D. Friedman and S. Sunder: *Experimental Methods: A Primer for Economists*. Cambridge University Press (邦訳「実験経済学の原理と方法」) (1994).