2版

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２９ 年　 ６ 月 ２１ 日現在

機関番号：３４４１９
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2014～2016
課題番号：２６５９００３４

研究課題名（和文）オークションの構造推定に関する計量モデルの開発と応用

研究課題名（英文）Structural Estimation of Auction Models

研究代表者
中林　純（NAKABAYASHI, Jun）

近畿大学・経済学部・准教授

研究者番号：３０５６５７９２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本プロジェクトでは、オークションにおける入札者の多次元な私的情報を構造推計する手法について検討した。具体的には、スコアリングオークションに代表されるように、各入札者が多次元の入札を行うオークションのデータから同次元数の私的情報を識別するための十分条件を導出した。また、当該結果を用いて実際の公共入札データから入札者の私的情報を推定し、オークションフォーマットの変更等が資源配分に与える影響等を計測した。

研究成果の概要（英文）：In this project, I focus on proposing a semiparametric procedure to identify the joint distribution of the bidder’s multidimensional signal from scoring auction data. The approach I propose allows for a broad class of scoring rules in settings with multidimensional signals. Using our analytical framework, I conduct an empirical experiment to estimate the impacts of the change of auction formats and scoring rules. The data on scoring auctions are from public procurement auctions for construction projects in Japan.

研究分野：産業組織論

キーワード：構造推定　オークション

１．研究開始当初の背景
入札価格データを用いたオークションの計量分析は，従来から問題となっていた識別問題を，構造推定の手法を用いることで解決しようという動きが 90 年代にはじまった。先駆的な研究である Paarsch(1992)以降次々に開発された。
一位価格封印形式オークションの計量分析については，Guerre Perrigne and Vuong (2000)（以下，GPV(2000)という。）が，ノンパラメトリック手法を用いて行う推計を提示し，さらに Campo Perrigne and Vuong (2003)は,「原価」の分布が入札者によって異なる一位価格封印入札における推定手法を提示した。また，近年では Li and Zheng（2009）は，入札者がオークションに参加するかどうかの意思決定を内生化した上で，オークションで配分される財・サービス等に対する入札者の持つ価値の分布を識別する手法を提示した。またオークションの一般的な構造推定のモデルは Paarsch and Hong(2006)や，Athey and Haile(2006)に詳しく紹介されている。
　現在では標準的なオークション（単一の財・サービスを封印価格形式やせり上げ型といった形式で取引すること）についてはほぼ確立されたところである。標準的なオークションの範疇には，例えば公共事業や公有地の売却の入札，絵画・中古自動車のオークションなども含まれており，これまでも様々な経済分析が行われている。とりわけ構造推定の手法を用いて入札者の私的情報である価値や費用の分布の推定をすることによって，最適制度設計に代表されるオークションの理論モデルが示唆してきたさまざまな理論的帰結が定量的に分析されてきている。
めざましい発展を遂げた分析手法であるが、実証分析を行う上ではまだ多くの問題を抱えている。たとえば実際的に使われているオークションに目を向けると，入札を主催する者は，複数の財・サービスを同時に取引したり（国債や花卉のオークション），状況に応じて標準的な形式をカスタマイズしたオークションを用いる傾向がある。そういったカスタマイゼーションは、経済理論モデルを用いて行う構造推定において障害（推定誤差又は推定不能）となっていることがしばしばである。たとえば，近年日本の公共事業の入札で活用が進んでいる総合評価方式についても，それを有効に分析できる理論モデルの開発は途についたばかりである。

２．研究の目的
本研究では，経済学のオークションモデルの構造推定に関する手法の発展的な開発を行う。新しい構造推定モデルを開発することにより，これまで理論経済研究者がその発展に貢献してきたオークションの理論的考察について，より幅広く，データを用いて定量的に検証することを可能とすることを目指す。これにより、実証分析では構造推定された各種のモデルパラメターを用いた反実仮想分析を行い，オークション取引についての最適メカニズム設計や，オークションデザインが参加者の利潤や社会厚生に与える影響等を定量的に分析することを可能とすることを目指す。加えて，オークションの構造推定モデルが現実の経営判断や政策判断に資するツールとなることを目指す。
本研究は，これまで学術的な色彩が強かったオークションの計量分析という手法を，企業が経営判断の際に活用したり，行政当局が政策分析で活用したりできるような，より実務的なデバイスに近づけることを目標としている。現実社会で使われるのはカスタマイズされたオークションのほうが圧倒的に多く，そこで得られた入札データを使った分析が比較的簡単に手に入れることができれば，そのニーズは少なくないものと予想される。たとえば多くの公共工事では，価格のみならず，工事の品質（工期，騒音レベル，メインテナンスコスト等）も評価対象とした上で総合的に落札者を決定する方式（総合評価方式：Scoring auctions）を用いて請負契約者が決定されている。しかしながら，現在のオークションの計量分析手法は，そうしたカスタマイズされたオークションのデータを分析することができない。
本研究では，そうしたカスタマイズされたオークションのデータを実務者が有効に活用できるよう，均衡の概念や計量経済学の手続きを踏まえつつ，柔軟に現実のオークションに対応した計量モデルを開発するところに新規性がある。

３．研究の方法
本研究は，標準的なオークションモデルに基づいた既存の構造推定手法を発展させる形で行う。本研究が分析対象とするオークションは，データの入手性や実証分析のニーズを踏まえて，当面，公共工事や PFI 等の政府調達のオークション，2）インターネットオークションとする。
研究対象とするオークションの選定を行い，理論モデルの構築をする。オークションの構造推計は均衡における入札者の行動（入札関数と呼ばれる）をどのように導出するかがポイントとなるが，複数財オークションや単一財オークションでも共通価値モデル（Common Value auction models）では入札関数を明示的に導出できないこともしばしばである。そこで，まずは GPV(2000)をもとにした構造推計が可能となるクラスのオークションの見極め，その後均衡入札関数の導出という手続きで理論モデルの構築を進める。なお，調達オークションにおける総合評価落札方式については，Hanazono, Nakabayashi and Tsuruoka(2012)において理論的なフレームワークが相当程度解明されてきており，そこで得られた知見を用いる。

データ取得作業については，調達オークションの落札情報，その他インターネットオークションの落札データを中心に取得を進める。分析に必要なデータを専門的な業者より購入するほか，リサーチアシスタントを雇用し，データの収集及び整理の作業を進める。
構築された理論モデルを踏まえ，より現実的な構造推計の手法を模索することも検討する。また，入札者が非対称（ここでは卸売市場においては大口の顧客と小売店，調達入札においては入札経験が豊かな企業と乏しい企業とか，大企業と中小企業といったように，生産効率が異なる入札者が混在するケースを指す）となるデータにおけるオークションの構造推定や，入札上限価格が設定されているケース，あるいは潜在的な入札者の参加を考慮した構造推定の手法も検討する。
計量モデルの構築に目処がついた後は，実証分析を検討する。調達入札においては総合評価落札方式のオークションの実証分析や，予定価格の多寡が不調・不落入札や低入札の発生に与える影響など，政策的にも関心が集まるテーマも含めて定量分析を進めていく。インターネットオークションについては，売り手や入札者の評価が落札価格に与える影響を定量的に分析することや，多次元もしくは複数財オークションを導入した時の影響を反実仮想分析する。

４．研究成果

研究成果 Nakabayashi and Hirose(2015)にまとめられている。以下はその要約である。

総合評価落札方式入札に関する理論モデルは既存文献である Asker and Cantillon (2008)および Hanazono et al (2015)に従う。

ある政府の建設事務所が一つの工事案件を総合評価落札方式入札の公告をし、そこに n 社が応札したとしよう。入札者 i（ただし $i = 1, \cdots, n$ で $n > 0$）は L（ただし L > 1）次元のベクトル（p_i, $\mathbf{q}_i$）を入札し、評価関数 $S(p,\boldsymbol{q})$が各入札者の L 次元ベクトル値の入札をスカラー値である総合評価値（スコア）に変換する。なお、p は入札価格、$\mathbf{q}$ は L-1 次元の技術評価値である。評価関数 $S(p, \mathbf{q})$ は p について厳密な単調増加、$\mathbf{q}$ について単調減少である。

次に応札企業についてモデル化する。応札企業 i は入札前に$\boldsymbol{\theta}_i$という L 次元ベクトルで表現される費用パラメター（効率性パラメター）を取得する。モデルでは$\boldsymbol{\theta}$は独立に分布する確率変数とし、その結合密度関数は$f(\theta)$に従うものとする。また各入札者は自ら$\boldsymbol{\theta}$の値は知っているが、競合他社の$\boldsymbol{\theta}$は$f(\boldsymbol{\theta})$にしたがう確率変数として認識されている（Private values 仮定）。

各入札者のコストは、自身が技術評価値 $\mathbf{q}_i$ を受けられるような技術水準を提案する際には$C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})$となる。ただし$C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})$は $\mathbf{q}$、$\boldsymbol{\theta}$についてそれぞれ単調増加、そして $\mathbf{q}$ について凸関数であると仮定する。すなわち、各入札者のコストは、自身がより評価の高い技術提案を行おうとすると加速度的に上昇し、またそのコストおよびコストの上昇速度はパラメター$\boldsymbol{\theta}$によっても影響を受ける。（$\boldsymbol{\theta}$が高いほど非効率、すなわちコストおよびコストの上昇速度は高い。）

上記のモデルセットアップについて以下数点コメントをする。

はじめに、評価値が最低の社を落札者とするが、モデル上評価関数は正負の単調変換しても入札者の行動には影響を与えないため、国土交通省が現在使用しているような評価式のように、評価値の最高の社を落札者とするケースにも対応可能である。

次に、予定価格や低入札調査の基準価格がモデル上考慮されていないが、これらが非公開であれば、上記のモデルでも結果には大きな影響は与えない。また、入札不調で複数回の入札が行われることがあるが、応札企業のコスト構造は 1 回目入札のデータがあれば識別可能である。

最後に、$f(\boldsymbol{\theta})$は本入札案件に参加する企業には共通の分布であるが、その仮定を緩めて、各企業の$\boldsymbol{\theta}$が異なる分布に従うとしてもよい。その場合はより一般的な理論モデルを適応する必要がある。

さて、応札企業の行動を考えてみることにしよう。$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札した企業 i が落札者となったときの利潤は$p_i - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)$で与えられる。したがって、$Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$を企業 i が$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札したときに最低の評価値となる確率とすると、仮に企業 i がリスクに中立的であるならば、企業 i が$(p_i,\mathbf{q}_i)$を入札することから得られる期待利潤は$p_i - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$となるので、企業 i の総合評価方式入札における最適入札値は以下の問題に定式化することができる。なお単純化のため、選択変数であるp_iや$\mathbf{q}_i$の定義域は十分に広いことを仮定する。

$$\mathbf{max}_{p_i,\mathbf{q}_i} p_i - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)Prob\{win|S(p_i,\mathbf{q}_i)\}$$

この多次元の最大化問題を容易に解く手法として、既存研究である Che（1993）や Asker and Cantillon (2008)で用いられている変数変換を次のように行う。入札者が入札しうる$p,\mathbf{q}$から出現しうる評価値の範囲を S とする。評価式$S(p,\boldsymbol{q})$がpについて厳密な単調関数であることから、所与の$\mathbf{q}$についての逆関数を以下のとおりに定義する。

$$P(s,\mathbf{q}) = \{p|S(p,\mathbf{q}) = s\}\ \forall s \in S$$

上記を利用すると、企業の最適入札値問題は次のように再定義しても、入札行動については同値の分析が可能である。

$$\mathbf{max}_{s_i,\mathbf{q}_i} P(s_i,\mathbf{q}_i) - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)Prob\{win|s_i\}$$

すなわち、企業 i が価格を入札するかわりに、総合評価値s_iを入札することに読み替えても、評価式が厳密な単調関数であるかぎり、p_iとs_iとは 1 対 1 対応するので、両者の最大化問題の解は同一の結果（技術評価値、利潤、落札者）を示すことになる。

この変数変換の手法を用いることにより、実は多次元の最大化問題は以下の通り逐次的な最大化問題に帰着させることができる。

$$\mathbf{max}_{s_i}\left[\mathbf{max}_{\mathbf{q}_i} P(s_i,\mathbf{q}_i) - C(\mathbf{q}_i,\boldsymbol{\theta}_i)|s_i\right] Prob\{win|s_i\}$$

ここでカギ括弧内の最適化問題に解が存在すればその Value function を$u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)$とおくことができ、すると最適入札値問題は以下の通り、一次元の最適化問題

$$\mathbf{max}_{s_i} u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i) Prob\{win|s_i\}$$

と簡略化することができる。ここでカギ括弧内の最適化問題（**q** に関する最大化問題）に一意解が存在するとしよう。これが一意解を持つ条件は、比較的ゆるやかな条件で成り立つ（$P(.)-C(.)$が$\mathbf{q}$に関して強凹であること等）。したがって、そうした状況下では、入札企業の技術提案についての最適解は、目標とする総合評価値に依存して内生的に決定されるものであることがわかる。したがって、総合評価落札方式入札の最適入札値問題は、入札者が競争相手の総合評価値および自己の利潤を考慮しつつ、どのように目的総合評価値を選ぶかという問題であると考えてもよい。

では均衡での最適入札値問題を考えてみよう。こうした状況でもっともふさわしいと思われる対称単調純粋戦略を入札者がとると考える。今、$G(s)$をある競争相手の入札者の総合評価値の分布としよう。すると、上記の最適化問題は、

$$\mathbf{max}_{s_i} u(s_i,\boldsymbol{\theta}_i)\left(1-G(s_i)\right)^{n-1}$$

と定式化できる。したがってs_iについて微分することにより一階条件：

$$(1.1) \qquad \frac{u(s_i,\theta_i)}{u_s(s_i,\theta_i)} = \frac{1-G(s_i)}{(1-n)g(s_i)}$$

を得る。これにカギ括弧内の最大化問題の **q** に関する最適化の一階条件（**q** に関して微分する）：

$$(1.2) \qquad \begin{bmatrix} P_{q^1}(s_i,\mathrm{q}_i) \\ \vdots \\ P_{q^{L-1}}(s_i,\mathrm{q}_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{q^1}(\mathrm{q}_i,\theta_i) \\ \vdots \\ C_{q^{L-1}}(\mathrm{q}_i,\theta_i) \end{bmatrix}$$

を合わせた L 次元の連立方程式の解$s_i,\mathbf{q}_i$が最適入札値問題の必要条件となる。

解の存在の十分性は McAdams(2003)で保証される

計量モデル

n 社からなる入札者が（1.1）及び（1.2）式に基づいて入札をしているとしよう。入札結果は$(p_i^*,\boldsymbol{q}_i^*),\ i=1,\dots n$で示される。この情報を元に、各入札者の効率性パラメター$\boldsymbol{\theta}$の分布fを推定してみよう。

ここでは同様な入札案件が$T>1$だけ存在するとする。その T の案件の入札結果データは$\{p_{i,t}^*,\boldsymbol{q}_{i,t}^*, i=1,\dots n,\ t=1,\dots T\}$で示される[1]。また、入札者 i の案件$t$における総合評価値$s_{i,t}^*$は評価式に代入することにより得られるから、観察される情報（データ）は$d=\{s_{i,t}^*,p_{i,t}^*,\boldsymbol{q}_{i,t}^* |\ i=1,\dots n,\ t=1,\dots T\}$ということになる。なお、T が十分に大きければ、$s_{i,t}^*$の分布関数及び密度関数は以下のようにノンパラメトリックに推定をすることができる。

$$\hat{G}(s) = \frac{1}{nTh_G}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{1}(s_{i,t}^* \le s)$$

$$\hat{g}(s) = \frac{1}{nTh_g}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{K}\left(\frac{s_{i,t}-s}{h_g}\right)$$

そこでまず、これらd、$\hat{G}$及び$\hat{g}$を用いて個々の入札案件$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$を推定してみよう。（1.1）及び（1.2）から以下のように、$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$に関する L 本の非線形連立方程式を得る。

$$(2.1) \qquad A(\boldsymbol{\theta}_{i,t};\mathbf{q}_{i,t}^*) = \mathbf{b}^*$$

ただし

$$A(\boldsymbol{\theta}_{i,t};\mathbf{q}_{i,t}^*) = \begin{bmatrix} C(\mathbf{q}_{i,t}^*,\boldsymbol{\theta}_{i,t}) \\ C_{q^1}(\mathbf{q}_{i,t}^*,\boldsymbol{\theta}_{i,t}) \\ \vdots \\ C_{q^{L-1}}(\mathbf{q}_{i,t}^*,\boldsymbol{\theta}_{i,t}) \end{bmatrix};\ \mathbf{b}^*$$

$$= \begin{bmatrix} P_s(s_{i,t}^*,\mathbf{q}_{i,t}^*) - P_s(s_{i,t}^*,\mathbf{q}_{i,t}^*)\dfrac{1-\hat{G}(s_{i,t}^*)}{(1-n)\hat{g}(s_{i,t}^*)} \\ P_{q^1}(s_{i,t}^*,\mathbf{q}_{i,t}^*) \\ \vdots \\ P_{q^{L-1}}(s_{i,t},\mathbf{q}_{i,t}^*) \end{bmatrix}$$

である。

ここでなぜ (2.1) が連立式であるのかを解説する。右辺の$\mathbf{b}^*$は、関数P_s、P_qは既知であることから、d、$\hat{G}$及び$\hat{g}$から一意に与えられ

[1] ここでは単純化のために n は定数としているが、案件ごとに変わっていてもかまわない。

るベクトル値である。また左辺の非線形関数において、$\mathbf{q}^*_{i,t}$は観察されたベクトルである。したがって上記（2.1）は$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$についての L 元非線形連立方程式となるのである。

総合評価落札方式入札において入札者が最適な入札をしているとすると、観察される$p^*_{i,t}, \boldsymbol{q}^*_{i,t}$、それに対応する総合評価値$\boldsymbol{s}^*_{i,t}$、そしてその分布関数$G$及び$g$は（2.1）式を満たすことになる。言い換えれば、ある入札者の入札が$p^*_{i,t}, \boldsymbol{q}^*_{i,t}$ならば、その入札者のパラメター$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$は（2.1）式を満たす$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$ということになる。したがって（2.1）式が$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$について解くことができ、またその解が一意であれば、$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$を識別（推定）したことになる。すなわち、もし$A(\theta;\mathbf{q}^*)$が$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$について（大域的に）逆関数を持つならば、$A^{-1}(.;\mathbf{q}^*)$をその逆関数とすると$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$の推定値は

(2.2) $$\boldsymbol{\theta}_{i,t} = A^{-1}(\mathbf{b}^*;\mathbf{q}^*)$$

として得られることになる。

そこで$A(\theta;\mathbf{q}^*)$が可逆であることの必要十分条件は以下の通りである。

仮定（識別性）

すべての$\boldsymbol{\theta}$および q で、
$A(\theta;\mathbf{q}) = \left(C(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}), C_{q^1}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta}), C_{q^{L-1}}(\mathbf{q},\boldsymbol{\theta})\right)^T$
の$\boldsymbol{\theta}$に関するヤコビ行列

(2.3)

$$\begin{bmatrix} C_{\theta^0}(q,\theta) & C_{\theta^1}(q,\theta) & \cdots & C_{\theta^{L-1}}(q,\theta) \\ C_{q^1\theta^0}(q,\theta) & C_{q^1\theta^1}(q,\theta) & \cdots & C_{q^1\theta^{L-1}}(q,\theta) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{q^{L-1}\theta^0}(q,\theta) & C_{q^{L-1}\theta^1}(q,\theta) & \cdots & C_{q^{L-1}\theta^{L-1}}(q,\theta) \end{bmatrix}$$

が正則である。

上記の仮定のもとで、$A(\theta;\mathrm{q})$の局所的な可逆性が保証される。また$C(\mathrm{q},\theta)$の連続性及び微分可能性をもとに、1）$A(\theta;\mathrm{q})$が proper な写像であること、2）θの定義域が弧状連結（arcwise connected）であり、また$A(\theta;\mathbf{q})$で写される像が単連結（simply connected）であることが満たされる。したがって大域的逆写像定理を適用することで、$A(\boldsymbol{\theta};\mathrm{q})$の大域的な可逆性も保証される。このことから、観察可能なデータより（2.2）式をもちいて$\boldsymbol{\theta}$を特定（identify）することが可能となる。

以上より、サンプル数 T の総合評価落札方式データ
$d = \{s^*_{i,t}, p^*_{i,t}, \boldsymbol{q}^*_{i,t} \mid i = 1, \ldots n,\ t = 1, \ldots T\}$
よりすべての入札者の$\boldsymbol{\theta}_{i,t}$が推定できた。これをもとに、$f$はノンパラメトリックに

(2.4)

$$\hat{f}(\theta) = \frac{1}{nTh_{f^0}\cdots h_{f^{L-1}}}\sum_{t=1}^{T} K_f\left(\frac{\boldsymbol{\theta}^0 - \boldsymbol{\theta}^0_{i,t}}{h_{f^0}}, \cdots, \frac{\boldsymbol{\theta}^{L-1} - \boldsymbol{\theta}^{L-1}_{i,t}}{h_{f^{L-1}}}\right)$$

と推定できる。

5．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計　　0 件）

〔学会発表〕（計　　1 件）

[1] Jun Nakabayashi and Yohsuke Hirose “Structural Estimation of the Scoring Auction Model,” Conference on “Auctions, competition, regulation, and public policy,” Lancaster UK, 2016 年 5 月

〔図書〕（計　0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計　　0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計　　0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

[1] Jun Nakabayashi and Yohsuke Hirose, “Structural Estimation of the Scoring Auction Model,” 経済産業研究所ディスカッションペーパー16008, 2016 年 2 月 http://www.rieti.go.jp/jp/publications

/dp/16e008.pdf

ホームページ等

６．研究組織

(1)研究代表者

中林　純（NAKABAYASHI，Jun）

近畿大学・経済学部・准教授

研究者番号：30565792

(2)研究分担者

()

(3)連携研究者

(　　　)

研究者番号：

(4)研究協力者

()