

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月17日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22530204

研究課題名（和文） 構造推定による入札制度モデルの定量分析

研究課題名（英文） Quantitative analysis on structural procurement models

研究代表者

高木 真吾（TAKAGI SHINGO）

北海道大学・大学院公共政策学連携研究部・准教授

研究者番号：10326283

研究成果の概要（和文）：費用と情報構造の両方の点で非対称な入札者（一般電気事業者と特定規模電気事業者）が存在する理論的な入札モデルを提示し、この非対称入札モデルを規定する構造パラメータを推定する間接推定法（indirect inference method）に基づいた計量経済学的方法を考案し、官公庁を中心とする電力調達に係る入札データを用いて、自由化された電力小売市場に関する実証研究を行った。

研究成果の概要（英文）：In our project, we developed a structural auction model and quantitatively examined the effects of policy measures to enhance competition in the retail power market of Japan. We used a theoretical model with asymmetries between an incumbent and new entrants in both cost distributions and information structure, where the incumbent's cost is assumed to be common knowledge, and empirically estimated the structural parameters characterizing their cost distributions using public power procurement data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学

キーワード：構造推定，入札・オークション，政策効果，入札モデル，電力小売市場，制限従属変数モデル

1. 研究開始当初の背景

1995年の卸売分野から始まる一連の電力自由化施策の中で、2000年には小売部門への新規参入が認められた。特別高圧で受電する大口需要家は、それまで地域独占会社であった一般電気事業者（以下、電力会社）に加え、特定規模電気事業者（新電力、あるいは Power

Producer and Supplier, 以下、PPS)からも電力を購入できるようになった。2004年には高圧需要家にまで自由化範囲が拡大され、自由化範囲は発電量全体の6割強までになった。自由化された小売市場においては、たびたび入札という制度を通じて電力調達が行われている。この入札制度を利用した自由化の成果に関する定量的な成果をまとめる

ことは、今後の自由化施策を考える上でも、喫緊の課題であるといえる。

2. 研究の目的

入札制度の理論モデルの考察および、理論モデルを政策シミュレーションへ用いるための構造推定法を計量経済学的に考察する。さらに、入札制度が導入された電力小売市場のデータを用いて、これまでの小売自由化が特別高圧・高圧部門の電気料金・および入札参加者・消費者（需要家）の厚生水準に対して与えた影響に関する定量分析を行うことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 自由化された電力小売市場における入札において、新規に参入した特定規模電気事業者（以下、PPS）からの応札がもたらす競争促進効果の計測を、電力の落札価格を用いた処置効果モデル（treatment effect model）を用いて推定する。具体的には、入札案件ごとに案件特性を考慮して、どの程度の落札価格となるかという回帰モデルを、既存事業者である一般電気事業者（以下、電力会社）のみが単独応札するとき成立するケースと、特定規模電気事業者（PPS）も応札し、複数応札の下で整理するケースの二本のスイッチング回帰式として定式化する。求められるパラメータを用いて、実際に複数応札の下で成立した落札価格と、仮想的に実際には単独応札であったならば成立したであろう価格と比較することで、入札制度導入による自由化の落札価格に対する効果を計測する。

また、落札価格への変数の影響について、線形的に影響しているとは考えがたい例が存在する場合がある。電力価格の例では、負荷率という、契約に比してどの程度の電力を利用し続けるか、という要因は、電力価格に対して高度に非線形的な影響を持つ。こうした影響を柔軟にとらえうるような推定上の工夫として、部分線形モデルのようなセミパラメトリックな方法を用いることができる。すなわち、線形的影響を持つ要因群は通常の線形回帰モデルのように特定化し、非線形的影響を持ちうる要因群についてはノンパラメトリック関数を用いて特定化するという方法である。この方法をスイッチング回帰に用いて、作成した論文が論文①である。

論文①では、上記モデルのノンパラメトリック部分を、パラメータ節約のため、部分線形的に解く低下した。さらに落札価格の分布の裾の厚みを捉えるための t 分布の導入したモデルをモンテカルロ・マルコフ連鎖法に基づくアルゴリズムで推定する方法を提示した。また、周辺尤度を計算し、通常の正規

分布に基づくモデルや、ノンパラメトリック部分の導入の可否、異なる説明変数の組み合わせ等を考慮したモデル選択を実行する手順も示した。

この結果は、従来の小売市場の落札価格の分析があくまでも記述的であったことを踏まえると、入札参加者の内生性の考慮などを踏まえた上で、より信頼性の高い分析結果をもたらすということができる。

(2) 上記の研究では、種々の需要家や市場の特性を考慮しているものの、ある種の「誘導型」の入札行動や落札電気料金関数を推定しており、電力会社やPPSがどのような行動原理に基づいて入札参加や入札金額を定めているかという、意思決定の内部構造までは明らかにされていない。加えて、入札参加者や消費者の厚生水準について、様々な仮想政策実験の下での影響について定量的に把握することは困難であった。

この種の定量分析のためには、入札行動に関する理論的なモデルを明示的に提示し、そのモデルを規定するパラメータを直接推定する構造推定が必要とされる。構造推定のためには対象とする市場の特性に応じた理論モデルが必要であり、本研究が対象とする電力小売市場についてもその特性を十分に考慮する必要がある。

最初に考慮すべき点は入札参加者の非対称性である。電力会社とPPSでは電力供給の保有する資源が大きく異なっているため、通常のオークションモデルが想定するような対称な入札者を想定することは難しい。さらに長期にわたる供給実績や発電設備等の情報が公開されている電力会社は、比較的容易に短期的な電力供給費用が推測できるのに対し、自前に発電設備に加え、自家発電からの購入が主要な調達源となっているPPS側はどこからどのような条件で調達したか（する予定か）が少なくとも事前には不明なため、その供給費用を他社は見積もりにくい。この状況を、電力会社の供給費用は共有知識であり、PPS各社の供給費用は私的情報であると考えると、オークション理論におけるVickreyの記念碑的論文の補論で議論された、情報構造の非対称性を織り込んだ理論モデルを応用することができる。本研究では、これを、電力調達（low price auction）の文脈で、一つの電力会社と複数のPPSが存在する入札制度という形で再解釈した理論モデルを提示した。

提示された理論モデルは、電力会社の費用分布関数とPPSの費用分布関数という二つの未知関数を含む。推定問題の対象は、この費用分布を推定することになる。オークション分野での一つの流れは、これらの関数をノンパラメトリックに推定する方法の提案であ

るが、本稿ではパラメトリックに推定する方法を選択した。その理由の一つは、従来から提案されている識別方法は、供給費用が入札行動に関する最適化条件から明示的に入札額で表現できることを利用したものであるが、本研究の理論モデルでは、供給費用と入札価格が非線形的に（陰伏的に）しか表現できないため、費用分布関数が識別は可能ではあってもその漸近的な性質については理論的に未開拓の部分が多く、適切な統計的推測の対象とならなかった点である。また、政策実験によって競争促進政策の効果を計測する際、ノンパラメトリック法による推定効率の悪さと本研究で用意できた標本の大きさ（1,000 案件程度）を考え合わせたときは、推定誤差と政策効果の区別が困難となるのではないかと判断した。以上の考察の下で、案件内容を加味し、パラメトリックに特定化した電力会社・PPS それぞれの費用分布関数を推定する方法を提示する。

推定には、最尤法を直接用いることは、モデルの複雑さを加味すると困難であるが、間接推定 (indirect inference) と呼ばれるシミュレーションを援用した推定方法は実行可能である。この方法の特徴は、補助モデル (auxiliary model) と呼ばれる、容易に推定可能なモデルであり、かつデータの傾向・特性をある程度反映したモデルを用いる点にある。実際の観測された標本を用いて補助モデルから推定した統計量を、モデルを規定する何らかの構造パラメータを所与としてシミュレーションを援用して発生させた標本セット（入札価格と応札行動）を用いて補助モデルから推定した統計量を比較し、両者が近くなるように構造パラメータを選択する。この方法による構造パラメータの推定量は、有限回のシミュレーションによる標本発生であったとしても、シミュレーション誤差を考慮した形で漸的に正規分布に従うことが示される。また、通常の一般化積率法と同様な形で、モデルが過剰識別されているときには、過剰識別性検定によって、一般的な特定化の誤りに関する統計的な検証を行うこともできる。ただし、計算時間に関するコストは大きい。上記のように構造パラメータを与え、入札価格と PPS の応札行動を発生させるには、案件ごとにモデルの解を完全に求める必要がある。解を求めるためには、非線形方程式を 4 から 5 回解く必要があり、最適化のための目的関数を求めるためには、これを標本に含まれる案件分計算する必要がある。つまり、標本 1 セットに対して数千回の非線形方程式を解く必要が生じ、本研究では 20 セットのシミュレーションデータを用いて推定したため、目的関数を一回評価するだけでも数万から数十万の方程式を解く必要が生じる。加えて、多くの局所階の存在と、従

属変数の一つが応札するか否かという離散型変数であることが目的関数に離散性を生じさせるため、微係数をベースにした最適化アルゴリズムが十分には機能せず、シミュレーションを用いた焼きなまし法 (simulated annealing method) を用いた。その結果、関数の評価回数も増大したため、計算時間短縮のため、目的関数の評価を並列処理するためのアルゴリズムを提示し、大幅な計算時間短縮の成果が得られた。

最後に推定結果を用いた政策実験として、さらなる競争促進措置（具体的には、PPS として参入してくる事業者が増加すること、託送料金の割引等を通じた PPS への優遇処置）の実施が、電力小売市場参加者の厚生水準へのどのような影響を与えるかについて考察を行った。

ここから得られる結果は、落札価格への影響のみならず市場参加者の厚生水準の分析にまで定量的な効果を計測可能にする枠組みであり、様々な分野で構造推定による分析を押し進める世界的な学界の潮流に呼応しており、エネルギー政策の再構築を推進している現代日本の電力市場への適用という観点からも重要な意味を持つといえる。

4. 研究成果

(1) 電力会社と PPS も参加した複数応札下での落札価格と電力会社のみでの単独応札下での落札価格の比較を通じた競争促進効果の落札価格に関する分析のためのモデル選択の結果は以下の通りである。

Table I: Results of Model Comparisons^a

	Log-marginal likelihood (std. error)	DIC	Model specifications		
			Distribution of error terms	Power Charge Function: Eq. (2)	PPS's Bid-submission Function: Eq. (1)
Model 1	-886.08 (0.05)	1527.1	normal	parametric	parametric
Model 2	-934.52 (0.07)	1553.3	normal	nonparametric	parametric
Model 3	-923.58 (0.74)	1557.6	normal	nonparametric	nonparametric
Model 4	-822.51 (0.33)	1401.3	t distribution	parametric	parametric
Model 5	-849.06 (0.51)	1421.5	t distribution	nonparametric	parametric
Model 6	-855.06 (0.15)	1426.0	t distribution	nonparametric	nonparametric

誤差項の分布（正規分布か t 分布かの選択）および負荷率変数が落札価格に与える影響の特定化に関する選択を周辺尤度によって比較している。パラメータの節約と当てはまりの良さの観点から、周辺尤度が最も大きく

なるのは Model4 の、負荷率の効果をパラメトリックな多項式（逆数項と線形）で特定した、誤差項が t 分布のモデルであった。他にも様々な説明要因を追加した分析を行ったものの上記の結果を上回る周辺尤度を生み出すモデルはなく、一定の信頼性を置くことができるモデルと判断した。

この推定結果を用いて入札制度導入がもたらす脇息促進効果の電気料金に与える影響の大きさを推定した結果は以下の通りである。

Table 6: Multiple-bidder Effects⁴

		Estimates (yen/kWh)	90% credible intervals
All Sample		-0.484 *	[-0.771, -0.202]
Subsample			
Load Factor	10-20%	-0.306	[-0.829, 0.226]
	20-40%	-0.543 *	[-0.837, -0.255]
	40-60%	-0.454 *	[-0.749, -0.162]
	60-80%	-0.420 *	[-0.786, -0.056]
	80-100%	-0.760 *	[-1.315, -0.209]
Supply Voltage	Ultra-high	-0.710 *	[-0.991, -0.432]
	High	-0.053	[-0.423, 0.307]

Note: * indicates significant at the 10% significance level. ⁴

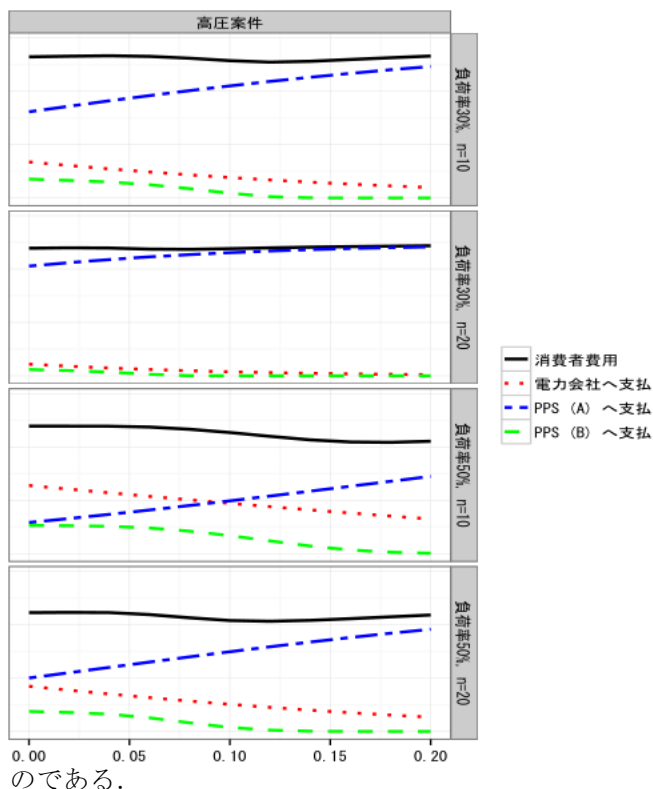
電気料金の複数応札下での削減効果は負荷率の水準や、電圧区分（特別高圧案件・高圧案件）によって異なる。PPS の応札割合が相対的に高いという意味で競争の激しい、負荷率が 40% 以下の案件や特別高圧案件では、全体の平均的な削減額 0.484 円/kWh よりも大きな削減がなされている一方、相対的に競争が激しくはない部分ではあまり大きな削減効果がられない。ただし、負荷率が非常に高い 80 から 100% の案件は、案件自体が数件しか存在しておらず、統計的に有意に見えてはいるが、信頼性は高くない。

以上より、入札導入という形で実施された電力小売市場における電気料金の削減（消費者余剰の増大）は、競争の激しさに応じて効果の大きさが変化することが確認された。

(2) 論文「小売電力市場の非対称入札モデルに関する構造推定」（未定稿）では、非対称入札モデルの構造推定に基づく推定結果を用いた仮想的政策実験のうち、PPS の参入増による効果は予測されるように、電気料金の低下（消費者余剰の増加）、電力会社・PPS の利潤の低下をもたらす。一方、PPS に対する優遇処置（PPS が数パーセント程度高い入札を行っても、優遇率の範囲内だけ高いのであれば、PPS に落札させる）を適用すること

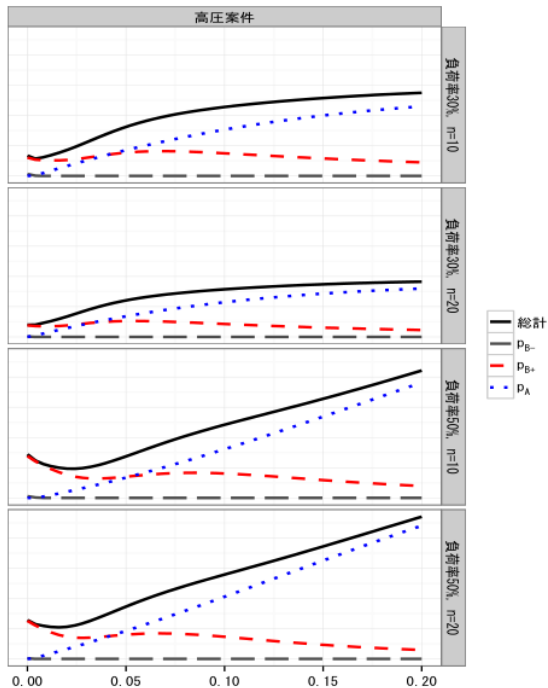
の効果は、電力会社・PPS・消費者に多くの異なる効果をもたらし、優遇率の与え方によって、社会的厚生水準の向上とともに配分上の非効率を解消する可能性ももたらす。

以下の図は消費者の期待費用（期待電気料金）と PPS への優遇率の関係を示したも



のである。優遇率の引き上げは、PPS に有利に働くはずであるが、「PPS(B)への支払」と示されている曲線は PPS と電力会社が競り合っているときの落札状況を示すものである。優遇率を引き上げても、電力会社側がより積極的に入札する効果もあり、「PPS(B)への支払」つまり優遇で割高で落札する PPS への期待支払は必ずしも増加しない。ただし PPS への優遇を大きくしすぎると電力会社は PPS の相手とならないほど有利な条件で入札できるため「PPS(A)への支払」にあるように PPS ばかりが落札するようになる。何れにせよ一定水準までの優遇率引き上げが、従来電力会社が持っていたレントを消費者と PPS へ譲っていることが一定の優遇率までは消費者の期待費用が減少していくことに現れている。一方、入札時に生じうる、高費用応札者が落札してしまうという意味での非効率配分の発生確率について考えると、以下の図のように、優遇率の引き上げが電力会社の積極性を引き出し、電力会社が消極的に高い価格を入札してしまうことに起因する非効率 P_B^* を減少させる。優遇率を高めすぎると逆に高費用の

PPS が落札するという非効率配分 P_A が生じるため、一定範囲内での優遇率が配分上の非効率率の改善をもたらす可能性が示唆されている。



分析の結果、競争促進措置そのものが直接的に特規模電気事業者の入札参加率を引き上げる効果は小さいものの、一般電気事業者への効率化圧力としては機能する可能性があることが示された。その結果、入札案件消費者余剰などの厚生水準の引き上げ（平均的な電気料金の消費者負担の引き下げ）られることに加え、入札時に生じうる、高費用応札者が落札してしまうという意味での非効率配分確率を減少させる可能性もある。今後、さらに小売市場の自由化範囲が拡大されていく上で競争圧力の維持のための政策が重要であることを強く示唆するものである。

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 1 件)

- ① Hosoe, Nobuhiro and Takagi, Shingo “Retail Power Market Competition with Endogenous Entry Decision--An Auction Data Analysis,” Journal of the Japanese and International Economies, 26(3), 2012, pp. 351-368 (査読有)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jjie.2012.05.002>

[学会発表] (計 1 件)

- ① 高木真吾 「非対称情報下の小売電力市場の入札モデルに関する構造推定」, 日本経済学会 2011 年度秋季大会, 筑波大学, 2011 年 10 月 29-30 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 真吾 (TAKAGI SHINGO)

北海道大学・大学院公共政策学連携研究部・准教授

研究者番号: 1 0 3 2 6 2 8 3

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし