

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25380262

研究課題名(和文) 動学モデルの構造推定と電力自由化に関する定量分析

研究課題名(英文) Quantitative Analysis of Retail Power Market in Japan using a Dynamic Structural Model

研究代表者

高木 真吾 (TAKAGI, Shingo)

北海道大学・経済学研究科(研究院)・教授

研究者番号：10326283

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：構造モデルを用いた電力小売市場の実証分析は、二段階で行った。第一段階として、静学的に枠組みで入札関数を導出し、その結果に基づき、構造推定を行う。第二段階では、以前の落札結果に基づいて、入札参加企業が背景に持つ供給予定を明示的に考慮しつつ、将来の電力供給に対して入札を行うという意味で、動学的な枠組みの分析枠組みを提示する。この動学的枠組みにおいても、静学的な枠組みで導出した入札関数を利用している。また、非線形パネルデータモデルにおける付随パラメーターバイアスの削減については、推定量を漸近展開することで明示的にバイアス項を提示し、バイアス削減の効果をモンテカルロ実験で確認した。

研究成果の概要(英文)：Empirical studies on the retail power market in Japan in this research project are based on two models; a static model and a dynamic model. The static model features the asymmetry in the cost information sharing between agents. Under this assumption, we explicitly derive the bidding functions in a mixed strategy equilibrium. Based upon this formulation, we introduce a dynamic setting, where the former auction results affect the current biddings, and also derive the bidding strategy in an MPBE.

We also study on the bias reduction methods for nonlinear panel data models with two-way fixed effects, and examine the finite sample performance of our method.

研究分野：計量経済学

キーワード：構造推定 電力自由化 パネルデータ

1. 研究開始当初の背景

政策あるいは制度変更に伴う定量的な効果計測を行う際、経済構造を明示的に取り入れた構造推定と呼ばれる政策実験の重要性が強調されており、産業組織論、労働経済学、および動学マクロ経済学などの多くの分野において、構造推定の結果に基づく政策実験による定量的な政策評価の結果が蓄積されつつある。構造推定においては、経済主体の行動や経済環境・制度要因を（未知母数を含む形で）明示的に定式化し、政策変更に伴い制度要因が変更されても、構造推定によって得られた未知母数を用いつつ、モデルの均衡条件を用いて新たな均衡解を求め直すことで、政策効果の計測が可能となる。

近年、効率化と衡平性を目的として、従来は参入が規制されていた市場への参入を認める施策が多く実施されている。電力という財に関しても、特定規模の需要家に対しては、従来独占的に販売してきた電力会社を通さず、直接小売りをすることが2000年以降認められた。小売市場への参入は、既存電力会社と新規参入者（新電力、あるいは特定規模電気事業者、PPS）が入札という形で競争することが多い。2011年の原子力発電所の事故に伴い、電力の自由化が加速され、その一翼を担う電力小売入札市場に関する定量的な実績の蓄積が強く望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、前節の背景を踏まえ、電力小売入札市場の構造モデルを提示し、その推定方法を提示し、実証的証拠の蓄積に寄与することを主たる目的としている。また構造モデルにおいて、観測されない異質性を処理する必要に迫られるケースが多く、非線形モデルにおける付随パラメーターの処理に関する分析方法の確立も必要となるため、一般的な非線形パネルデータモデルにおける、付随バイアスパラメーターの削減に関する統計理論の確立も目的としている。

3. 研究の方法

構造モデルを用いた電力小売市場の実証分析は、二段階で行った。第一段階として、静学的に枠組みで入札関数を導出し、その結果に基づき、構造推定を行う。第二段階では、以前の落札結果に基づいて、入札参加企業が背景に持つ供給予定を明示的に考慮しつつ、将来の電力供給に対して入札を行うという意味で、動学的な枠組みの分析枠組みを提示する。この動学的な枠組みにおいても、静学的な枠組みで導出した入札関数を利用している。

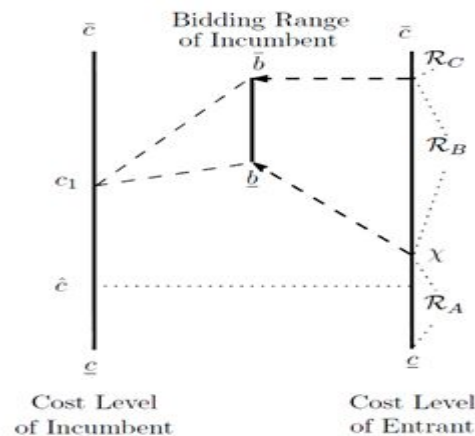
また、非線形パネルデータモデルにおける付随パラメーターバイアスの削減については、推定量を漸近展開することで明示的にバイアス項を提示し、それを推定量から差し引くことでバイアス修正を行う。バイアス削減の効果をモンテカルロ実験で確認し、実際の

データにも適用する。

4. 研究成果

構造推定による電力小売市場の定量分析の第一段階として、静学的枠組みにおける入札モデルに関する考察を深めた。この入札モデルでは、一般電気事業者（以下、電力会社）と特定規模電気事業者（以下、PPS）の費用構造の非対称性、つまり電力会社の供給費用は共有知識で、PPSの費用は私的情報である、という構造を考慮している。この非対称性は、前者が、実質的には公的な企業として、どのような設備を持ち、どのような原料調達を行い、どの程度の費用で発電しているかということが情報開示等を通じて入札参加者の間で周知されている実態と、あくまでもPPS側がどこから電力を調達し、またどのような発電計画を持っているかは企業内の私的情報であることを反映している。この費用構造に関する非対称性の下で競争入札を行うとき、以下の図のような混合戦略均衡下の入札戦略を持つことが示される。

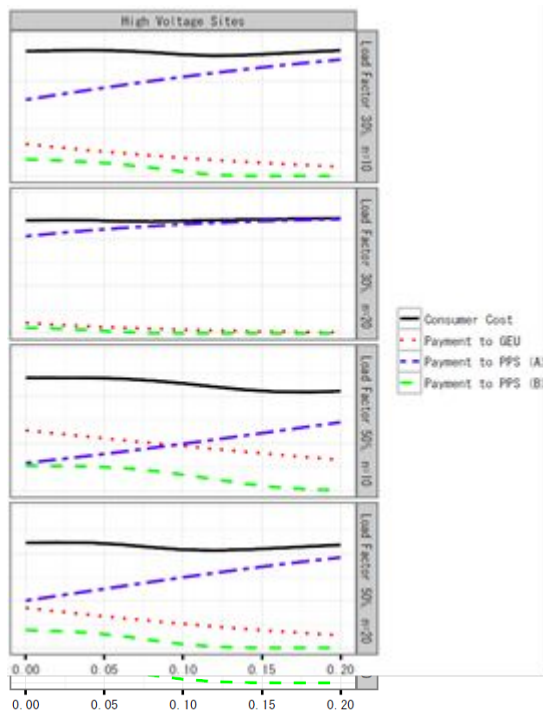
Figure1 The mixed strategy equilibrium when  $c_1 > \bar{c}$



つまり、右軸（Incumbent = 電力会社）の費用水準を参照して、Entrant = PPSは、自分の入札水準を決める。左軸のPPSの費用水準によって入札戦略を分類できる。PPS費用が領域  $R_C$  では、自分の費用が高すぎ、負の利潤でしか入札できない、つまり入札不参加であり、領域  $R_B$  では、ある入札関数を利潤最大化条件から導出できる。領域  $R_A$  では、逆に電力会社の費用が高すぎ、PPS間の競争のみを考えるため、通常の第一位価格封印入札方式の入札関数となる。また、電力会社側は、これまでのPPSの行動を考慮したうえで、自身の利潤を最大にする入札分布関数（上限・下限を持つ入札範囲が図中の中心部の軸となる）を持つ。以上のように明示的に導出したPPSの入札関数、電力会社の入札分布関数のもとで、混合戦略均衡の存在が示される。

入札データを用いて、PPSの入札関数および電力会社の入札分布関数を推定するには入札案件の属性を、それぞれの費用関数に関連付け、入札額を上記の均衡条件によって導き

出し、間接推定によって費用関数の推定を行うことができる。さらにこの推定結果を踏まえて、入札市場への PPS 参入の活発化、あるいは費用の面で劣位にある PPS への優遇政策 (preferential treatment) などの競争促進政策が、消費者・電力会社・PPS それぞれにたいする厚生水準の変化や、市場取引における効率性 (低費用で供給可能な入札者が消極的なあまり、より高費用でしか供給できない入札者が落札してしまう確率) に関する分析も行うことができる。構造推定の結果から、上記の政策効果計測の結果をまとめると、電力会社が高い利潤を得ている入札案件が多く (特に、ベースロード電源等の存在によって相対的に低費用で供給可能と考えられる、負荷率が高い入札案件)、競争促進効果によって、電力会社の得ていたレントが、PPS へ再配分されるとともに、消費者の余剰を引き上げる (消費者の支払額を引き下げる) 効果を持つことが示された (下図参照)。また、適度に新規参入者側を優遇し、競争を促進し、電力会社の入札に関しての積極性を引き出すことで、非効率の発生確率引き下げる可能性があることが示された。



図：消費者の期待支払い  
(横軸は PPS への優遇率)

第二段階では、動学的枠組みにおける入札モデルを提示する。第一段階における静学モデルの一つの問題点は、ある時点で、将来期間における入札を行う際、すでにその将来期間においてはこれまでの落札結果から供給予定が決まっている。特に PPS 側にとっては、供給可能量あるいは既決の供給計画は一つの重大な制約であるため、これまでの落札履歴を踏まえた動学的な入札額の決定を考慮する必要がある。

この点を踏まえて、PPS の入札意思決定に関して、次のようなベルマン方程式を考える。最初に供給費用に大きな影響を与える要因として、すでに供給契約済みの案件に関する平均的な負荷率を挙げることができる。この平均負荷率に関する推移式を定式化する。

$$\log L_{NE,t} \equiv \ell_{\nu}(L_{NE,t}, D_{NE,t}, \mathbf{x}_t, \epsilon_{NE,t})$$

この推移式は、当期において落札場合、 $D=1$  となり、現時点で持っている当該供給時点の負荷率を落札した契約電力量と契約電圧で更新していることを表す。ただし、予定通り需要家が契約電力量を均等に利用し続けるとは限らないため、当期の平均負荷率に 1 分だけ変動するが、契約終了時にはトータルで契約料をほぼ使い切る形になるのでは回帰分析の誤差項のように平均 0 を仮定する。

次に PPS が落札する場合と落札できない場合を考慮して、ベルマン方程式を次のように定義できる。

$$\begin{aligned} W_{NE}(L_{NE,t}) &= \mathbb{E}_c \{ (b-c) \cdot P_{NE}(b; L_{NE,t}) \} \\ &\quad + \delta \cdot \mathbb{E}_c \{ P_{NE}(b; L_{NE,t}) \cdot \mathbb{E}_c [W_{NE}(\ell_{\nu}(L_{NE,t}, \mathbf{x}_t, \epsilon_{NE,t}))] \} \\ &\quad + \delta \cdot \mathbb{E}_c \{ [1 - P_{NE}(b; L_{NE,t})] \cdot \mathbb{E}_c [W_{NE}(\ell_{\nu}(L_{NE,t}, 0, \epsilon_{NE,t}))] \} \\ &= \mathbb{E}_c \{ (b-c - d_t(L_{NE,t}, \mathbf{x}_t)) \cdot P_{NE}(b; L_{NE,t}) \} \\ &\quad + \delta \cdot \mathbb{E}_c \{ \mathbb{E}_c [W_{NE}(\ell_{\nu}(L_{NE,t}, 0, \epsilon_{NE,t}))] \} \end{aligned}$$

ここで  $d$  は次のように定義される。

$$d_t(L_{NE,t}, \mathbf{x}_t) \equiv \mathbb{E}_c [W_{NE}(\ell_{\nu}(L_{NE,t}, 0, \epsilon_{NE,t}))] - \mathbb{E}_c [W_{NE}(\ell_{\nu}(L_{NE,t}, \mathbf{x}_t, \epsilon_{NE,t}))]$$

前者は落札できなかった時の将来的な利益の現在価値であり、後者は落札した場合の将来的な利益の割引現在価値である。これらは PPS が持つ平均的な負荷率が変化することを通じて供給費用が変化することを反映している。したがって  $d$  という項は、PPS の落札を通じた動学的な機会費用と考えることができる。この観点からベルマン方程式を見ると、二つ目の等号の後ろの第一項は、供給費用が通常の  $c$  に加え、機会費用を加えた  $c+d$  となっはいるが、入札関数を求めるうえでは静学モデルと同じである。この点を踏まえ、電力会社と PPS の非対称な費用を持つ入札市場モデルは、 $d$  の部分に価値関数に基づく機会費用が含まれるものの、第一段階で求めた入札関数をそのまま用いることができる。

構造推定や政策シミュレーションを行う上で、価値関数を求める必要がある。既存文献にならって、状態変数によって (ここでは平均負荷率の 20% から 60% までを 5% ごとに) 離散化し、ベルマン方程式を満たすように価値関数の水準を定める。ただし、負荷率が集中している領域が限定されているため、状態変数による離散化を慎重に行う必要がある。現時点では不安定な価値関数しか求められておらず、したがって推定結果も不安定なままである。現在この点を改善すべく価値関数に関する複数の方法を用いて改訂を行っている。

非線形パネルデータモデルにおけるモデルに関するバイアス修正に関して、既存文献において、一方向の固定効果（例えば横断面方向のみ）に関しては、いくつかの方法が提示されており、二方向の固定効果（例えば横断面・時系列の両方向）についても Fernandez-Val and Weidner (2015)などの結果が知られている。後者の結果は最尤法による結果についてのみ示されており、かつ経済学の実証研究で頻繁に用いられている二段階推定モデルへの拡張がなされていない。そこで、本研究では、一般的な extremum estimator に関して、二方向固定効果が存在する下での推定量のバイアス修正に関する結果を導き、それを二段階推定のケースにも拡張した。さらに、標本選別モデルを例にとり、推定量の有限標本特性をモンテカルロ実験で確認した。その結果が以下の表である。

パラメータ		選別方程式 (11)		結果方程式 (13)	
真の値		$\delta_1$	$\delta_2$	$\beta$	$\zeta$
標本サイズ		(N,T)=(56,14)			
修正後	平均	1.029	0.423	0.953	0.887
(修正前)	(平均)	(1.177)	(0.300)	(0.870)	(0.685)
	標準偏差	0.105	0.128	0.180	0.415
	(標準偏差)	(0.123)	(0.138)	(0.148)	(0.329)
	RMSE	0.109	0.149	0.186	0.430
	(RMSE)	(0.215)	(0.243)	(0.197)	(0.455)
d=1 の割合		0.581			
標本サイズ		(N,T)=(56,28)			
修正後	平均	1.010	0.471	0.989	0.977
(修正前)	(平均)	(1.093)	(0.407)	(0.933)	(0.843)
	標準偏差	0.067	0.084	0.125	0.269
	(標準偏差)	(0.073)	(0.087)	(0.111)	(0.232)
	RMSE	0.067	0.089	0.125	0.270
	(RMSE)	(0.118)	(0.128)	(0.130)	(0.280)
d=1 の割合		0.562			
標本サイズ		(N,T)=(56,56)			
修正後	平均	1.003	0.486	0.997	1.001
(修正前)	(平均)	(1.055)	(0.458)	(0.960)	(0.909)
	標準偏差	0.046	0.059	0.087	0.175
	(標準偏差)	(0.049)	(0.062)	(0.081)	(0.157)
	RMSE	0.046	0.061	0.087	0.175
	(RMSE)	(0.073)	(0.074)	(0.090)	(0.182)
d=1 の割合		0.535			

標本選別モデルは、第一段階の二項選択モデルと第二段階の標本選別項を含む線形回帰モデルからなる。上記の表から標本サイズがあまり大きくないケースでもバイアス修正は十分効果を発揮しており、状態依存的な二項選択モデル（現在の選択が、過去の選択に依存する二項選択モデル）の場合でも、バイアスの程度は少し大きくなるもののバイアスは修正されている。

以上の理論的・実験的な結果を踏まえ、貿易理論の構造モデルに関して、貿易関係の有無と貿易量の決定に関する標本選別モデルの推定へ適用した。この構造モデルでは、観

測されない異質性が、輸出国効果および輸入国効果として必然的に二方向の固定効果としてあらわれることから、我々の考察している枠組みに合致している。また貿易関係を世界全体とするだけでなく、アジア諸国間あるいはヨーロッパと南米などと部分標本を用いるとき、必然的に小さいサイズの標本の用いる必要があるため、上記のモンテカルロ実験で確認したような我々の推定量のバイアス修正に関する特性を生かすことができる。この推定結果はすでにワークショップで報告し、2016年度の学会でも報告予定である。

## 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2件)

[1] Shingo Takagi, Nobuhiro Hosoe (2015): “A Structural Estimation Approach to an Asymmetric Auction Model for the Retail Power Market in Japan,” 北海道大学 Discussion Paper Series A: DP291. (査読なし)  
<http://www.econ.hokudai.ac.jp/econ/econ/wp-content/uploads/2016/03/BCurrentPDF273KBnew.pdf>

[2] 高木真吾 (2015): “二方向の固定効果を持つ標本選別モデルにおける二段階推定量のバイアス修正,” 北海道大学 Discussion Paper Series B139. (査読なし)  
<http://www.econ.hokudai.ac.jp/econ/econ/wp-content/uploads/2016/04/ACurrentPDF108KBnew1.pdf>

〔学会発表〕(計3件)

[1] 高良佑樹, 高木真吾 (2016): “Effects of Cultural Differences on Music Trade,” 第10回実証的モラルサイエンス研究会（名古屋，日本福祉大学，3月11日）

[2] 高木真吾 (2014): “A Structural Estimation Approach to an Asymmetric Auction Model for the Retail Power Market in Japan,” The Eighteenth Joint Seminar of Yonsei University and Hokkaido University, (Seoul, Yonsei University, September 19)

[3] 高木真吾 (2013): “A Structural Estimation Approach to an Asymmetric Auction Model for the Retail Power Market,” The Osaka Workshop on Economics of Institutions and Organizations (大阪，大阪大学，4月12日)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況（計 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 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〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高木 真吾 (TAKAGI, Shingo )  
北海道大学・大学院経済学研究科・教授  
研究者番号：10326283

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：