

日本経済政策学会関西部会オンライン・ワーキングペーパー
Japan Economic Policy Association Kansai On-line Working Paper

No.03

最終原稿提出日 2013年 12月 6日

日本のガス産業における自由化が生産・費用効率性に与えた影響に
関する実証分析

木下信

(龍谷大学経済学部)

橋本悟

(帝京大学経済学部)

Empirical analysis of the natural gas industry in Japan about the
impact on productivity and cost efficiency after deregulation

Shin Kinoshita

(Ryukoku University faculty of economics)

Satoru Hashimoto

(Teikyo University faculty of economics)

日本のガス産業における自由化が生産・費用効率性に与えた影響に

関する実証分析

木下信

(龍谷大学経済学部)

橋本悟

(帝京大学経済学部)

要 旨

1995 年以降、都市ガス産業では、小売自由化や大口需要家の託送供給といった競争政策が導入された。一連の改革が生産あるいは費用の効率性に与えた効果を確率フロンティアモデル (SFA)、および包絡分析法 (DEA) を用いて計測した。さらに計測した非効率性を被説明変数として自由化の及ぼす効果を計測した。その結果、特に大都市圏のガス事業者では自由化により効率性の改善が見られた。

Empirical analysis of the natural gas industry in Japan about the impact on productivity and cost efficiency after deregulation

Shin Kinoshita
(Ryukoku University faculty of economics)
Satoru Hashimoto
(Teikyo University faculty of economics)

Abstract

This paper aims to analyze the effects of introducing market principles in the natural gas distribution industry in Japan. The competitive situation among utilities might have improved since liberalization was started. In this paper, focusing on large utilities such as Tokyo gas and Osaka gas, we measure utility's efficiencies by means of Stochastic Frontier Analysis(SFA) and Data Envelopment Analysis(DEA).

In conclusion, despite the influence of calorific conversion and Lehman Shock, we found that utility's efficiencies have basically improved since 1995.

キーワード 自由化、ガス産業、効率性分析

Keyword deregulation, gas distribution industry, efficiency analysis

JEL 区分 C13,L51

連絡先

木下信

e-mail アドレス skinoshita@econ.ryukoku.ac.jp

所属先住所 京都市伏見区深草塚本町 67

橋本悟

e-mail アドレス s-hashimoto@main.teikyo-u.ac.jp

所属先住所 東京都八王子市大塚 359

謝辞 本論文は2012年度、「規制と競争研究会」（大阪ガス）での研究資金で行った。大阪ガスの中井崇之様を始めご参加頂いた先生方には報告会にて有益なコメントを頂いた。さらに経済政策学会関西西部会にて報告し、討論者の播磨谷浩三先生（立命館大学）から有益なコメントを頂いた。またMEW研究会でも報告し、大阪大学の筒井義郎先生、立命館大学の井澤裕司先生を始め、ご参加頂いた先生方より有益なコメントを頂いた。ここに感謝の意を表します。なお誤りについては筆者の責任である。

1 はじめに

1990 年代以降、日本の都市ガス産業で段階的に自由化の動きがあった。具体的には大口供給に対する自由化や託送供給制度の法定化などが行われた。ガス事業は自然独占であるという根拠に基づいて総括原価主義による価格設定が行われてきたが、海外と比較してガス料金が割高である内外価格差が指摘されていた。自由化の目的は競争促進により、ガス会社の供給効率化、ガス料金の引き下げにより消費者便益を向上させることである。本論文では 1990 年代の自由化以降、都市ガス産業においてどれだけ生産あるいは費用効率性が改善されたかを計量経済学の手法によって明らかにした。具体的には確率フロンティアモデルと包絡線分析法(Data Envelopment Analysis ,DEA)を用いた。現在ガス産業は大都市を中心にガスを供給する大手都市ガス事業者の他、LP ガスを各団地等に各自供給する簡易ガス事業者など複雑な供給体制となっている。都市ガスの供給区域は制限されていたため、都市ガスと LP ガス供給者は競合関係になく、都市ガスと比較して LP ガス価格はさらに割高であった。ガスにはこのような内々価格差も存在するが、中小零細ガス事業者はデータが入手できず、本論文では財務データが入手可能な大手 3 社（東京、大阪、東邦）と中堅の都市ガス事業者（西部、広島、京葉、北陸、北海道、中部）に分析対象を限った。

同じ頃、電力産業でも自由化の動きがあった。都市ガス産業と同様に海外と比べて割高な電気料金、高コスト体質が指摘されていた。大口の需要家に対しては小売自由化が推し進められ新規参入者である PPS の参入が見られた。自由化の進展とともに関東や関西といった都市部では、電力事業者と都市ガス事業者との間でエネルギー間競争が進展した。これまで電力産業については自由化後の費用効率性などの研究は多く見られる。しかしガス産業についてはこのような供給構造の複雑さのためかあまり研究がされていない。今後、エネルギー間競争や電力、ガスを総合的に扱ったエネルギー産業全般の効率性も考えて、都市ガス産業に関しても研究する必要があると考えた。

本研究で特に注目した点について、次のようなものがある。まず先ほど紹介した都市ガス事業者の生産あるいは費用効率性を計測し、効率性の時系列推移によりどのように改善しているかを見た。

本稿では、まず、第 2 節ではガス産業における自由化の流れを説明する。第 3 節では実証分析で使用する計量経済モデルを説明し、第 4 節では実証分析の推定結果を説明する。最後に結論と今後の課題を述べる。

2 ガス産業における自由化の流れ

2.1 産業構成

ここではガス産業の現状と自由化の背景、及びガス産業での自由化の流れを説明する¹。

現在、国内ガス市場は天然ガスを中心とした都市ガス事業と、石油系の LP 事業がそれぞれ国内の半数の需要家に供給している。またガス事業法においてガス事業者とは、一般ガス事業者（都市ガス事業者）、簡易ガス事業者、ガス導管事業者、大口ガス事業者を指す。

一般ガス事業者は 2011 年 3 月末現在で、209 事業者ある。需要家件数は約 2890 万件であり、ガス販売量は年間約 359 億 m^3 である。簡易ガス事業者は 1475 あり、需要家件数は約 142 万件、ガス販売量は年間 2 億 m^3 である。一方で LP ガス販売事業は 21693 事業者であり、需要家件数は約 2400 万件、ガス販売量は年間約 77 億 m^3 である。かつては都市ガス事業については自然独占の観点から電力産業同様、参入規制、供給義務規制、料金規制があった。そのためガス料金については電気料金同様、外国と比べて割高になるという内外価格差が指摘された。さらに都市ガス事業については規制されていたものの、都市ガス供給区域である大都市以外の地域では簡易ガス事業者が住宅団地ごとに個別に料金認可を受けて LP ガスを供給するか、LP ガス事業者がガスボンベにより自由価格により供給していた。そのため、LP ガスの供給価格は内外価格差が指摘されていた都市ガスのさらに 2、3 倍であり、都市ガス事業者の供給区域外への供給は原則禁止であったため、都市ガス事業者と LP ガス事業者は競争関係になかった[戒能（2005）]。

2.2 自由化の経緯

都市ガス産業では、電力産業と同時期の 1990 年代から段階的に自由化が実施された。都市ガス事業者については、1995 年（平成 7 年）以降、制度改革が実施され、段階的に自由化が行われた。1995 年の改正では、ガス小売販売の年間契約量 200 万 m^3 以上の大口供給に対する自由化が行われ、原料費調整制度が導入された。1999 年（平成 11 年）の改正では、自由化範囲が 100 万 m^3 以上への拡大、託送供給制度が法定化、及び料金規制の認可制から届出制への変更が行われた。2003 年（平成 15 年）の改正（2004 年施行）では、ガス導管事業が創設され、託送料金制度の充実と強化が行われるとともに、託送義務をすべての一般ガス事業者及びガス導管事業者に拡大することで、託送供給部門の公平性・透明性が目指された。また、小売自由化範囲も 50 万 m^3 以上に拡大された。この自由化範囲は、2007 年（平成 19 年）に、10 万 m^3 まで拡大された。この年間使用量 10 万 m^3 には、温水プールを備えたスポーツジム施設、規模の大きなファミリーレストラン、及びビジネスホテルなどが該当する。自由化の推移は表 1 のとおりである。

¹経済産業省、資源エネルギー庁 HP「電力・ガス・熱供給事業政策について」より。

<http://www.enecho.meti.go.jp/gasHP/index.html>

表 1 小売部門における自由化範囲の変遷

規制緩和の時期	自由化の対象範囲	自由化の対象事業者（一例）
1995 年 3 月	年間契約数量 200 万 m ³ 以上	大学病院、大規模工場、環境関連施設
1999 年 11 月	年間契約数量 100 万 m ³ 以上	大規模商業施設、製造業
2004 年 4 月	年間契約数量 50 万 m ³ 以上	大規模病院、シティホテル、化学・金属工業
2007 年 4 月	年間契約数量 10 万 m ³ 以上	温水プール、ビジネスホテル、繊維・機械工業

この自由化によって一般ガス事業者の供給独占地域であっても、他の事業者が託送供給制度を用いて大口需要家への販売が可能となった。託送供給とは図 1 に示されるように、大口ガス事業者などが、既存の都市ガス事業者の導管を通じて大口需要家へガスを販売することである。この託送供給の形態には、一般ガス事業者が他の一般ガス事業者の供給地域における大口需要家にガスを供給するケースや、大口ガス事業者が一般ガス事業者の供給区域内の大口需要家に供給するケースなどさまざまなものがある²。

ガス販売量全体に占める託送供給の合計量は、2006 年が 3.1%、2010 年で 7.8%である。したがって、託送供給量の比率、託送件数ともに増加傾向にある。現在までの託送供給の状況は表 2 にまとめた。

託送供給義務化以降、料金は低下傾向にある。経済産業省エネルギー庁の統計によると、2006 年では 5,000 万 m³/年かつ 1 時間あたり最大契約量 12,500m³の需要家では 0.81 円である。

²例えば、東京ガスが新日本ガス区域内、及び大多喜ガス区域内の大口需要家への販売を 3 件ほど行っており、一般ガス供給区域外の大口需要家への販売を 38 件ほど行っている。また帝国石油（株）（現、国際石油開発帝石）、東京電力（株）などのガス導管事業者が、一般ガス事業者の供給区域内の大口需要家への都市ガス供給を行っている。詳細は資源エネルギー庁ホームページ参照のこと。

<http://www.enecho.meti.go.jp/gasHP/genio/jivuka/kyokyu/besshi/190201ohguchi-besshi.pdf>

図1 託送供給のしくみ（大口ガス事業者が中低圧管を用いて大口需要家へ販売する場合）

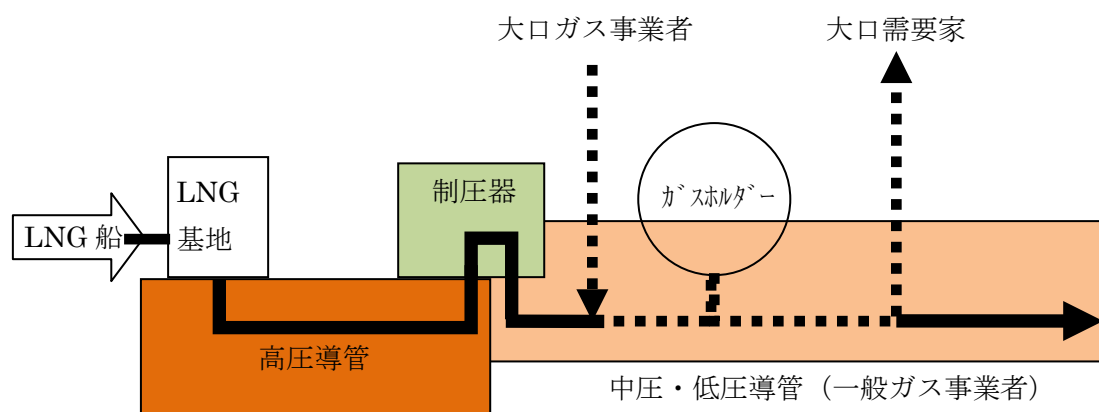


表2 託送供給の現状（数量の単位は 1000MJ）

年度	小売		卸		託送合計		ガス販売量 (全体)
	数量	件数	数量	件数	数量	件数	数量
2006	40,769,959	43	2,959,894	12	43,729,853	55	1,413,253,981
2007	50,417,804	50	28,398,144	24	78,815,948	74	1,502,627,735
2008	47,934,901	52	48,543,644	25	96,478,545	77	1,444,396,698
2009	64,231,584	54	39,658,609	23	103,890,193	77	1,416,454,260
2010	66,909,690	58	48,241,315	23	115,151,005	81	1,476,923,264

2.3 熱量変換

都市ガス事業の天然ガス化（熱量変換）は 1990（平成 2）年に当時の通産省から示された IGF21 計画（Integrated Gas Family 21 Plan）にはじまる。この計画は 2010 年（平成 22）末までに都市ガスを天然ガスベースの高カロリーガスに転換するというもので、この実現のために都市ガス事業者は主に 3 つの方法で高カロリー化を行った。第 1 は、近郊で先行して天然ガスベースの高カロリー化を行っている事業者があれば、そこからパイプラインを通じて供給を受ける。第 2 は、近郊から供給を受けることができない事業者は、気化設備を設置して、LNG を気化することで供給を行う。第 3 は、第 1、第 2 の方法で転換ができない事業者は、代替天然ガス（SNG）やプロパンエアー方式をとることで熱量調整を行う。この 3 つの手段でもって都市ガス事業者の高カロリー化（熱量調整）を行った。

なお、IGF21 計画については、1991（平成 3）年 5 月に日本ガス協会から基本フレームが発表され、その内容は「2010 年末を目標に自主的に天然ガスを中心とした高カロリー化

を行う」というものであった。高カロリー化への熱量変換には多額の資金が必要なため、あくまで各事業者の自主的な判断という方法がとられた。これは予定通り 2010 年度末にほぼ完了したが、2010 年末現在で、中小の事業者のうち、熱量変換中の事業者が約 30 社、変換後の資産償却中の事業者が約 30 社存在した。地方の中堅事業者は都市部の事業者よりも熱量変換がやや遅れたのが実情である。表 3 は大手事業者の熱量変換の時期を表す。

表 3 大手事業者の熱量変換の時期（筆者らの調べによる）

（事業者）	開始年	完了年
東京ガス	1972	1988
大阪ガス	1975	1990
東邦ガス	1978	1993
西部ガス	1989	2005
北海道ガス	1996	2009
京葉ガス	1993	1996
北陸ガス	2008	2011
中部ガス	1996	2004
広島ガス	1995	2002

3. 実証分析

本節では自由化による生産効率性、費用効率性にどのような変化があったかを実証分析する。本論文では、包絡分析法（DEA）と確率フロンティアモデル（SFA）を用いた。いずれも電力産業など公益産業の効率性分析でよく使われる。違いは DEA が関数形や分布を特定化しないノンパラメトリック法なのに対し、SFA は関数形や分布を定式化あるいは何らかの仮定を置くパラメトリック法である。まずモデルの説明をする。

3.1 使用したモデル

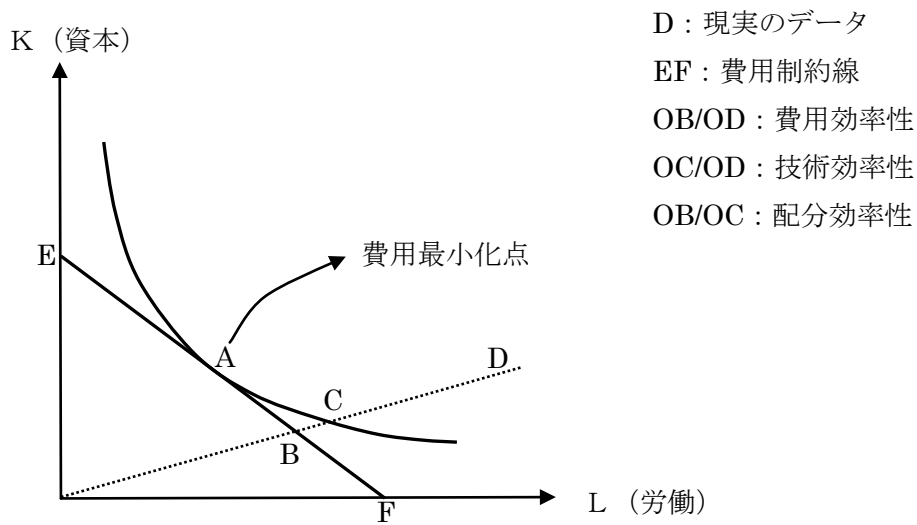
1) 包絡線分析法（DEA）

ここでは、ノンパラメトリックな手法である DEA について記述する。DEA はフロンティア曲線を描いて分析する手法である。たとえば、最もベーシックな 1 入力 1 出力は、各企業の観測値（DMU: Decision Making Unit）をプロットし、最も効率的に生産を行う企業の点を結んでフロンティア曲線を描く。これには規模に対して収穫一定の仮定を置く CRS(Constant Returns to Scale)モデルと、規模に対して収穫を仮定しない VRS(Variable

Returns to Scale)モデルがある。

図2はDEAによる効率性の導出方法である。図に示されるように、費用効率性、技術効率性、および配分効率性の計測が可能である。費用効率性＝技術効率性×配分効率性の関係がある。

図2 DEAによる効率性の導出（費用効率性）



最も効率的に生産を行う企業の効率性を1として、その企業より非効率と判断される企業の効率性は1以下の数字で表す。効率性の判断には、入力を一定として出力の非効率性から求める方法（output oriented model）と、出力を一定として入力の非効率性から求める方法（input oriented model）がある。これらは線形問題を解くことで求められる。以下には、本研究で用いるBCCモデル（input oriented model）の式を掲載した。 x は入力、 y は出力、 m は入力数、 s は出力数、 i, r はそれぞれ入力、出力の要素、そして j, k は企業（ k は最も効率的な企業）である。

目的関数： $\text{Min } \theta_k$

$$\text{制約式： } \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{rk} \geq 0 \quad r=1, \dots, s$$

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0 \quad i=1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, n, \quad \theta_k : \text{free}$$

制約式の1段目は産出量制約、2段目は資源制約、3段目は規模に対して収穫の仮定を置かない制約（技術の組み合わせ方への制約）になる。

2) 確率フロンティア (SFA) モデル

次に確率フロンティアモデルについて説明する。確率フロンティアモデルは生産関数や費用関数に何らかの関数を想定し、誤差項や非効率性の項に何らかの分布を仮定するパラメトリックな手法である。生産フロンティアからのかい離を非効率性と考え、非効率性の項 u を生産関数や費用関数に加え定式化する。そして u の値を推定する。非効率性の指標としてJondrow et al.[1982]では $E[u_i | e_i]$ と定義している。 e_i は誤差項全体であり、費用関数の場合 $e_i = v + u$ 、生産関数の場合 $e_i = v - u$ である。本論文もその指標を用い、非効率性を計測した。 u の推定式は次のようになる。

$$\hat{E}[u|e] = \frac{\sigma\lambda}{1+\lambda^2} \left[\frac{\Phi(\frac{e\lambda}{\sigma})}{1 - \Phi(\frac{e\lambda}{\sigma})} - \left(\frac{e\lambda}{\sigma}\right) \right]$$

そこで、 $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ 、 $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$ である。 λ の有意性で効率性の項が有意であるかを判定する。 Φ は標準正規分布関数である。

まず生産関数を推定する。生産関数としてコブ＝ダグラス型を想定する³。

$$\ln Y_{it} = \alpha + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln F_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

Y は生産量、 K は資本ストック、 L は労働投入量、 F は燃料投入量である。 v は誤差項、 u は非効率性である。一方で効率性は $\exp(-u)$ となる。非効率性項 u は、half-normal distribution、normal-exponential distribution、および normal-truncated normal distribution が使われるが、本論文では、half-normal distribution と仮定した。この非効率性項 u を推定し、時間とともにどのように変化するかを見る。なおこの非効率性項 u はガス会社ごとに推定されるため、各ガス会社の非効率性が時間を通じてどのように改善されるかを見ることができる。

一方、費用関数を次のように定式化する。生産関数と同様にコブ＝ダグラス型関数を仮定した。

$$\ln C_{it} = \alpha + \beta_1 \ln P_{kit} + \beta_2 \ln P_{fit} + \beta_3 \ln P_{lit} + \beta_4 \ln Y_{it} + v_{it} + u_{it} \quad (2)$$

被説明変数の C は費用合計である。 P_k は資本価格、 P_f は原材料価格、 P_l は労働価格である。 Y は生産量である。 v は誤差項、 u は非効率性を示す項である。費用関数についてはトランスログ型でも推計した。コブ・ダグラス型と比べて関数形に柔軟性があるためよく用いられ

³関数形はコブ＝ダグラス型関数以外に、トランスログ型関数も使われることがあるが、本稿ではベーシックなコブ＝ダグラス型関数を用いた。

る。

$$\begin{aligned}
\ln Cit = & \alpha + \beta_1 \ln Pkit + \beta_2 \ln Pfit + \beta_3 \ln Plit + \beta_4 \ln Yit \\
& + \gamma_1 (\ln Pk_{it})^2 + \gamma_2 (\ln Pf_{it})^2 + \gamma_3 (\ln Pl_{it})^2 + \gamma_4 (\ln Y_{it})^2 \\
& + 1/2\delta_1 (\ln Pk_{it} \ln Pf_{it}) + 1/2\delta_2 (\ln Pk_{it} \ln Pl_{it}) + 1/2\delta_3 (\ln Pf_{it} \ln Pl_{it}) \\
& + 1/2\delta_4 (\ln Pk_{it} \ln Y_{it}) + 1/2\delta_5 (\ln Pf_{it} \ln Y_{it}) + 1/2\delta_6 (\ln Pl_{it} \ln Y_{it}) \\
& + vit + uit
\end{aligned} \tag{3}$$

以上の定式化のもと、非効率性 u を推定し、ガス会社ごとに非効率性が時間とともにどのように改善されるかを見る。

3.2 使用した変数

分析対象とした都市ガス事業者は、東京、大阪、東邦の大手3社と、中堅ガス会社である西部、京葉、北陸、北海道、広島、中部の合計9社である。有価証券報告書から分析に必要な財務データが入手できたのはこの9社のみであった。推定期間は1991年から2011年までである。なお自由化開始は1995年、託送供給の義務化は1999年である。まずDEAで用いた変数を説明する。アウトプット変数には、ガス販売量（千立方メートル）を用いた。ここでは、家庭用と業務用とその他用を合計した販売量とした。つまり1つのアウトプットを想定する。インプットとしての説明変数として、資本ストック K_t と労働投入量 L_t 、原材料費 F_t が必要である。まず、資本ストック K_t は次のように計算した。

当期資本ストック K_t =

$$(1-\delta_t)(\text{前期末有形固定資産}K_{t-1}-\text{前期土地}L_{t-1})+\text{当期設備投資額}I_t+\text{当期土地}L_t$$

δ_t は当期減価償却率であり、当期減価償却費／前期期末有形固定資産で求めた。土地を差し引いているのは土地は減価償却しないと考えるためである。名目設備投資額 I_t は、

$$\text{当期末有形固定資産}-\text{前期末有形固定資産}-\text{土地変化分}+\text{当期減価償却費}$$

として求めた。設備投資額、資本ストックはいずれも企業物価指数(2005 基準)を使用して実質化した。ここでも土地は減価しないので差し引いて計算した。労働投入量 L_t については期末従業員数（人）を用いた。原材料費 F_t については、原材料費用、およびその他費用を用いた。これは売上原価、営業雑費用、付帯事業費用、営業外費用等から構成される損

益計算書の費用合計から労働費用と資本費用を差し引いたものとする。データはいずれも各社「有価証券報告書」より入手した。

次に、確率フロンティアモデル（SFA）の推定に用いた変数を説明する。生産面での効率性と費用面での効率性の両方について効率性の改善を計測したが、生産面では生産関数を定式化することになる。生産関数の推定で用いた変数は次のようになる。被説明変数である生産量はガス販売量（千立方メートル）とし、家庭用と業務用とその他用を合計した販売量とした。ここでも DEA と同様、1つのアウトプットを想定する。インプットとしての説明変数として、資本ストック、労働投入量、原材料費を用いている。いずれも DEA で説明した通りである。

次に費用関数の推定で用いた変数を説明する。被説明変数のCは費用合計である。これは売上原価・営業原価、販売費及び一般管理費、営業外費用、その他営業外費用、特別損失の合計とした。つまり損益計算書の費用項目の合計になる。 P_k は資本価格、 P_f は原材料価格、 P_l は労働価格である。Yは販売量合計（家庭用、業務用、その他の合計、千立方メートル）とした。生産要素価格についてはそれぞれ次のように計算した。まず原材料価格 P_f は日本銀行調査統計局の国内企業物価指数を使った。衣笠・中山[2011]によると、原材料価格を売上原価÷ガス販売量とした場合、各社、各年度で大きなばらつきが見られた。それは大手事業者は分析期間前に原材料をLNG系に転換しているが、中堅事業者は 1995 年から 2000 年にかけてLNG系に転換していることが原因である。中堅事業者の原材料には、分析期間中にはLNG原材料をはじめとするガス材料だけでなく様々な生産要素が含まれているため、個別の事業者の価格情報を得るのが難しいと判断している。よって本論文でもそれにならない、国内企業物価指数を用いた。労働価格 P_l は人件費を従業員数で割ったものを用いた。いずれも各事業者の『有価証券報告書』よりデータを入手した。最後に資本価格 P_k はユーザーコストを作成した。これも衣笠・中山[2011]に従った。ユーザーコストは次のように計算した。

$$(\text{減価償却率と貸出約定金利の合計} \times \text{資本財価格}) / (1 - \text{法人税率})$$

減価償却率は今期の有形固定資産減価償却額÷期首の有形固定資産額、法人税率は（法人税、住民税及び事業税）÷営業収入である。

使用したデータの概要は表 4 のとおりである。『有価証券報告書（各年度版）』より抽出した。

表 4 使用したデータの概要

変数	単位	概要
販売量(Y_t)	1000MJ	家庭用+産業用+その他
費用合計(C_t)	百万円	売上原価・営業原価+販売費及び一般管理費+営業外費用+その他営業外費用+特別損失
資本ストック (K_t)	百万円	$K_t = (1 - \delta_t)(\text{前期末有形固定資産 } K_{t-1} - \text{前期土地 } L_{t-1}) + \text{当期設備投資額 } I_t + \text{当期土地 } L_t$ δ_t : 当期減価償却率=当期減価償却費/前期末有形固定資産 企業物価指数 (2005 年基準) で実質化
労働投入量 (L_t)	人	期末従業員数
原材料費用 (F_t)	百万円	(売上原価、営業雑費用、付帯事業費用、営業外費用等から構成される損益計算書の費用合計) - (労働費用) - (資本費用)
資本価格(P_k)		ユーザーコスト (減価償却率と貸出約定金利の合計×資本財価格) / (1 - 法人税率) 減価償却率=今期の有形固定資産減価償却額/期首の有形固定資産額 法人税率=法人税、住民税及び事業税/営業収入
労働価格(P_l)		人件費/期末従業員数
原材料価格(P_f)		国内企業物価指数 (2005 年基準)

また使用した変数の記述統計は表 5 のようになる。いずれの変数も最大と最小の差が大きいことは注意する必要がある。

表 5 使用した変数の記述統計

	販売量 (Y_t)	費用合計 (C_t)	資本ストック (K_t)	労働投入 量(L_t)	原材料費 用(F_t)	資本価 格(P_k)	労働価格 (P_l)	原材料価 格(P_f)
平均	2494688	248749.46	9347.003	69703.4333	3039.711	8.712	0.210	103.875
中央値	536909	63972	2691.396	12936	959	8.444	0.201	103.296
標準偏差	3586553	337613.18	12148.531	122042.544	3717.563	2.117	0.040	4.039
分散	1.29E+13	1.14E+11	147586806	1.49E+10	13820278	4.482	0.002	16.315
範囲	14621467	1413652	85605.543	733739	12510	9.475	0.178	14.817
最小	123969	16959	564.522	617	347	4.990	0.147	97.142
最大	14745436	1430611	86170.065	734356	12857	14.465	0.325	111.958
標本数	180	180	180	180	180	180	180	180

4. 推定結果の解釈

4.1 DEA による効率性の計測

まず、DEA による経済効率性の推移を見る。生産面からみた経済効率性を先に見る。DEA ではモデルの節でも説明したように、経済効率性は技術効率性と配分効率性に分解でき、

経済効率性＝技術効率性×配分効率性

となる。DEA では技術効率性と生産要素価格を与えれば配分効率性も計測できるが、ここでは全体的な効率性の変化に焦点を当て、経済効率性の変化のみを見る。DEA ではサンプルのうち最も効率的な個体を1とするため、1に近づくほど効率的だと言える。

図3 DEA による経済効率性の推移（生産面）（東京、大阪、東邦）

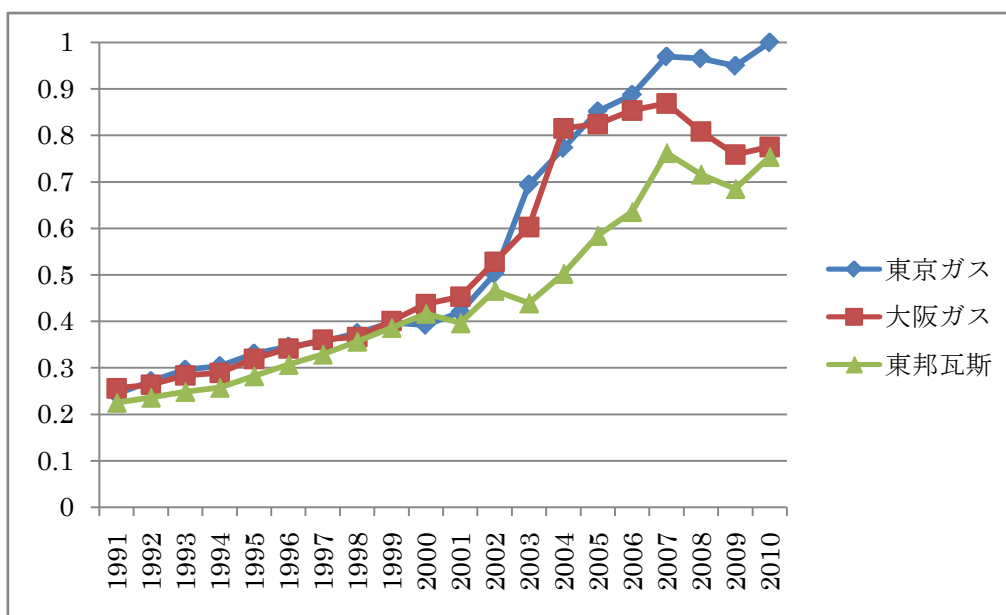


図4 DEAによる経済効率性の推移（生産面）（北海道、広島、西部）

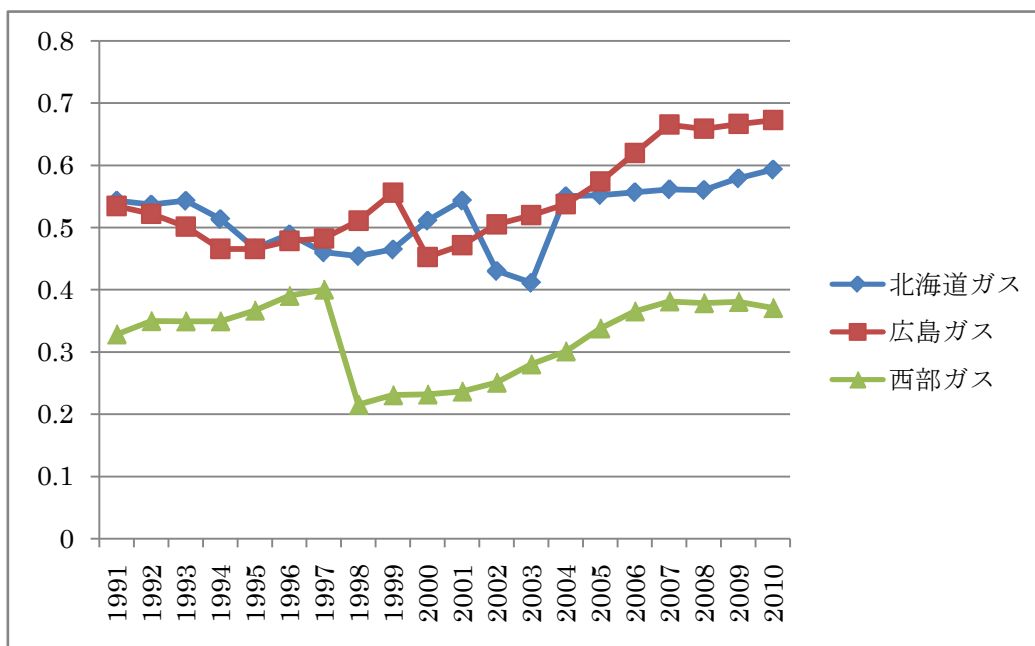
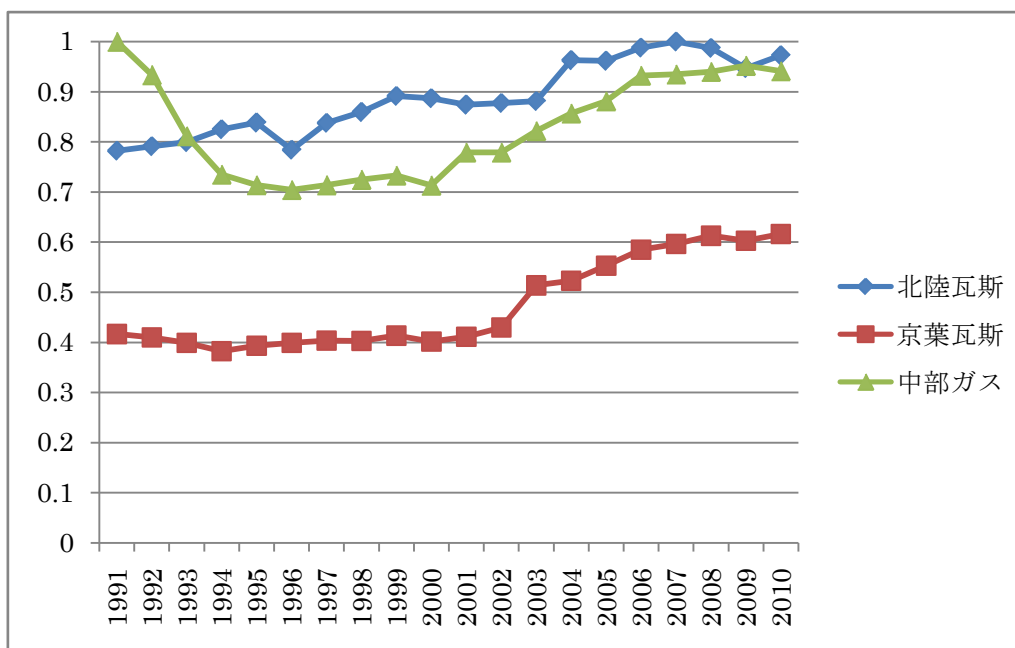


図5 DEAによる経済効率性の推移（生産面）（北陸、京葉、中部）



1が最も効率的なので、大手3社、中堅とも生産面での効率性は向上している。ただし、大手3社では2002年以降急速に効率性が改善していることが分かる。これは1999年の託送供給義務化が原因とも推測できる。中堅では効率性の改善は見られるものの、急速な改

善ではなく、少しずつの改善に留まる。ただし北陸瓦斯や中部ガスのように分析期間に渡り一貫して効率性が高い事業者も見られる。

次は費用面からみた効率性を検証する。費用面についても同様に経済効率性の変化を見る。

図6 DEAによる経済効率性の推移（費用面）（東京、大阪、東邦）

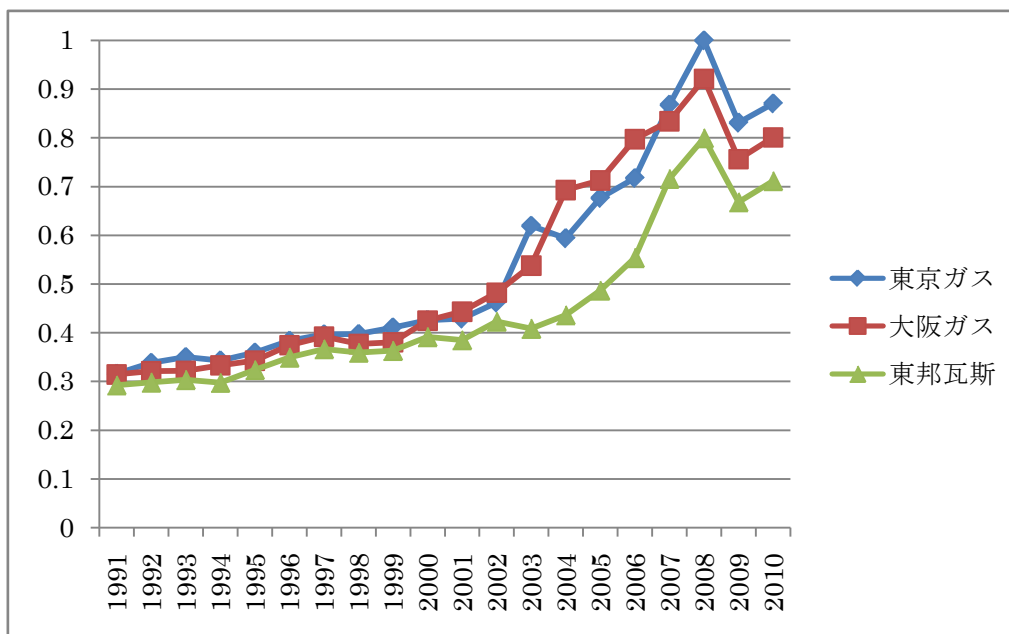


図7 DEAによる経済効率性の推移（費用面）（北海道、広島、西部）

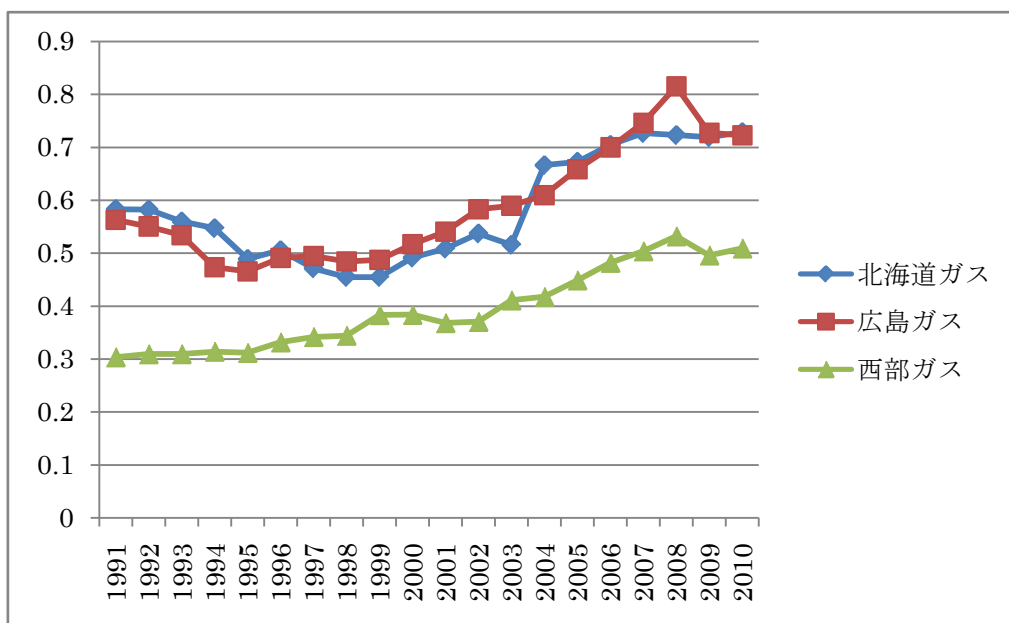
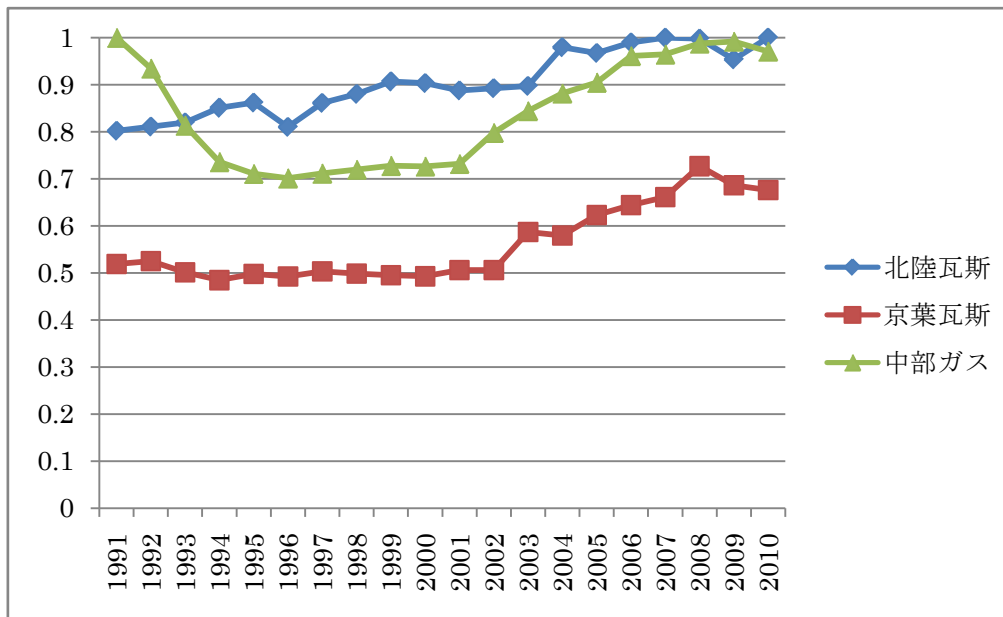


図8 DEAによる経済効率性の推移（費用面）（北陸、京葉、中部）



生産面と同様に、大手3社、中堅とも費用面での効率性は改善傾向にある。特に大手3社では2002年以降、効率性が大きく改善している。全体的に生産面と同じような傾向が見られる。

次に、DEAで計測した非効率性を被説明変数とし、1995年以降の小売自由化や1999年以降の託送供給義務化が効率性にどのような影響を与えたかを計測した。小売自由化の効果は1995年以降を1、それ以前を0とするダミー変数(D1)を、託送供給義務化は1999年以降を1、それ以前を0とするダミー変数(D2)をそれぞれ設け、説明変数とした。ガス産業では大手3社（東京、大阪、東邦）と中堅以下の規模が大きく異なる。また大手は託送供給義務を多く請け負ったと言われている。そこで大手3社と中堅以下の効率性への違いも見た。大手3社を1、その他を0とするダミー変数を設けた。さらに大手3社では電力会社との競争も激しく、電力供給の新規参入者も多く見られるため、自由化により競争的になり、費用効率化に寄与したと考えられる。そこで自由化ダミーと大手3社ダミーの交差項を説明変数として考えた。その他、非効率性に影響する要因として、原油輸入価格（対数値）鉱工業生産指数（対数値）を考えた。原油輸入価格の上昇は費用を圧迫するため効率性に影響すると考えられ、鉱工業生産指数（対数値）は景気の良し悪しを示す変数として考えた。まず生産面での効率性を分析する。推定方法はトービットモデルを用いた。それは被説明変数の非効率性指標が最低0でセンサーされるデータであるためである。推定結果は表6のようになる。

表 6 推定結果（生産面、小売自由化ダミーD1）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	0.194	0.028	6.86	0
鉱工業生産指数(対数値)	-0.152	0.28	-0.54	0.589
自由化ダミーD1	-0.094	0.046	-2.05	0.041
大手3社ダミーbig	-0.311	0.065	-4.76	0
交差項 D1×big	0.289	0.073	3.96	0
定数項	-0.576	1.224	-0.47	0.639
σ	0.185	0.01		

表 7 推定結果（生産面、託送供給義務化ダミーD2）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	0.203	0.039	5.26	0
鉱工業生産指数(対数値)	-0.168	0.279	-0.6	0.548
自由化ダミーD2	-0.109	0.047	-2.34	0.02
大手3社ダミーbig	-0.254	0.045	-5.64	0
交差項 D2×big	0.291	0.058	4.99	0
定数項	-0.603	1.187	-0.51	0.612
σ	0.181	0.01		

表 8 推定結果（費用面、小売自由化ダミーD1）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	0.209	0.024	8.7	0
鉱工業生産指数(対数値)	-0.292	0.238	-1.22	0.222
自由化ダミーD1	-0.069	0.039	-1.78	0.077
大手3社ダミーbig	-0.291	0.056	-5.19	0
交差項 D1×big	0.187	0.063	2.98	0.003
定数項	-0.056	1.042	-0.05	0.957
σ	0.157	0.008		

表 9 推定結果（費用面、託送供給義務化 D2）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	0.229	0.033	6.86	0
鉱工業生産指数(対数値)	-0.336	0.241	-1.39	0.165
自由化ダミーD2	-0.088	0.04	-2.17	0.032
大手3社ダミーbig	-0.241	0.039	-6.14	0
交差項 D2×big	0.165	0.051	3.27	0.001
定数項	-0.058	1.027	-0.06	0.955
σ	0.156	0.008		

まず小売自由化ダミー（D1）、託送供給義務化ダミー（D2）は生産面、費用面いずれも係数の符号は負で有意性が高い。これは効率性の改善に負の効果をもたらした可能性がある。さらに、大手3社ダミーの係数も負で有意性が高い。大手3社であることが効率性の改善に負の効果ももたらした可能性が考えられる。しかし、小売自由化ダミー（D1）、託送供給義務化ダミー（D2）と大手3社ダミーの交差項の係数は正で有意性が高かった。よって、小売自由化は特に大手3社の都市部で競争が促進された結果、効率化が促進され、託送供給義務化は特に大手3社については効率性の改善に寄与したと考えられる。小売自由化と託送供給義務化のうちどちらが、ガス会社の効率性の改善に効果があったかについては、係数の値に大きな差はないため、どちらかは言えない。分析期間の時期は電力産業でも自由化があったので、都市部では電力会社との競争も激しく、ガス会社の効率性の改善に効果があったとも考えられる。

4.2 確率フロンティアモデルによる効率性の計測

次に費用面での効率性の計測については確率フロンティアモデルも用いた。確率フロンティアモデルは費用関数や生産関数に関数形を定式化し、効率性の分布を仮定するパラメトリックな手法である。費用関数の関数形にはトランスログとコブダグラス型で推定した。効率性の分布は half-normal を仮定した。推定結果は表 10 のようになる。

表 10 推定結果（確率フロンティアモデル、トランスログ費用関数）

説明変数	係数	標準誤差	t 値	P 値
定数項	625.571	262.512	2.383	0.0172
労働価格（対数） lpl	-50.312	19.296	-2.607	0.0091
労働価格（対数、2乗） lpl2	-0.388	0.445	-0.874	0.3824
資本価格（対数） lpk	11.05	17.534	0.63	0.5286
資本価格（対数、2乗） lpk2	0.378	0.585	0.646	0.5181
燃料価格（対数） lpf	-250.56	109.108	-2.296	0.0217
燃料価格（対数、2乗） lpf2	24.788	11.371	2.18	0.0293
生産量（対数）ly	3.239	2.803	1.155	0.248
生産量（対数、2乗）ly2	-0.01	0.018	-0.555	0.5788
労働価格×資本価格 lpllpk	-1.788	0.745	-2.398	0.0165
労働価格×燃料価格 lpllpf	10.352	3.94	2.627	0.0086
資本価格×燃料価格 lpklpf	-2.363	3.433	-0.688	0.4912
労働価格×生産量 lpilly	0.113	0.149	0.76	0.447
資本価格×生産量 lpkly	0.362	0.122	2.976	0.0029
燃料価格×生産量 lpfly	-0.371	0.571	-0.65	0.5156
λ	3.914	0.899	4.355	0
σ	0.258	0.001	194.732	0

対数尤度 82.19657 標本数 180

まず効率性の指標の有意性を見る。 $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ 、 $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$ である。 λ が1%の有意水準で有意であることから、効率性の計測には意味があると言える。さらに係数が 3.914 であり、1 以上であるため、効率性 u の分散の方が、その他の誤差 v より大きいことが分かる。以上よりこの推定結果を分析に用いることは意味があると言える。

費用効率性の推移は以下の図のようになる。費用関数なので値が小さくなれば効率性が改善していることになる。

図9 効率性の推移（確率フロンティアモデル、トランスログ費用関数）（東京、大阪、東邦）

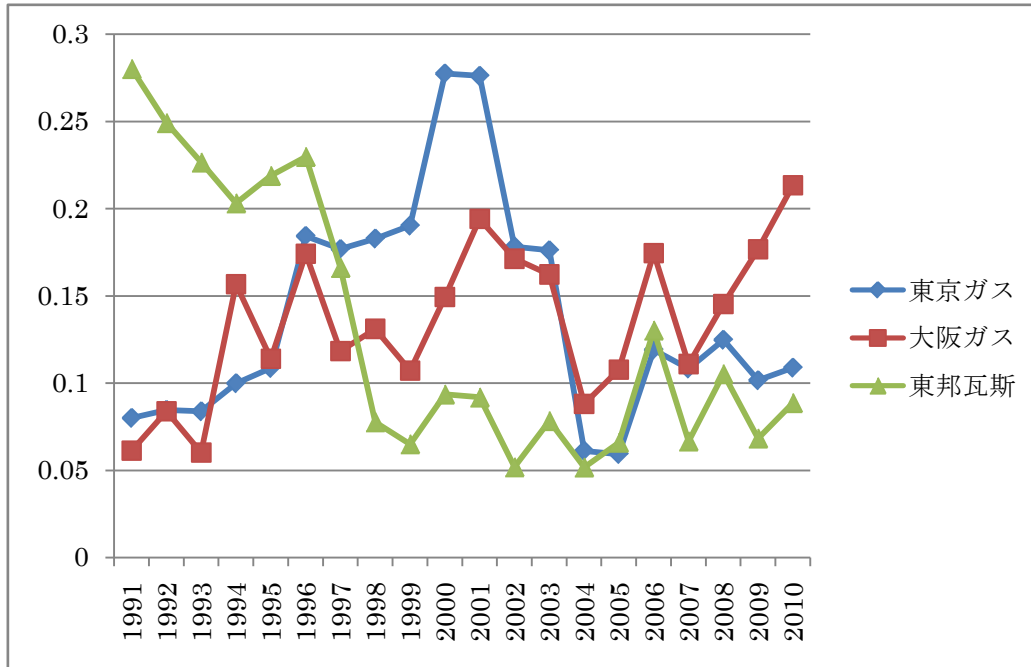


図10 非効率性の推移（確率フロンティアモデル、トランスログ費用関数）（北海道、広島、西部）

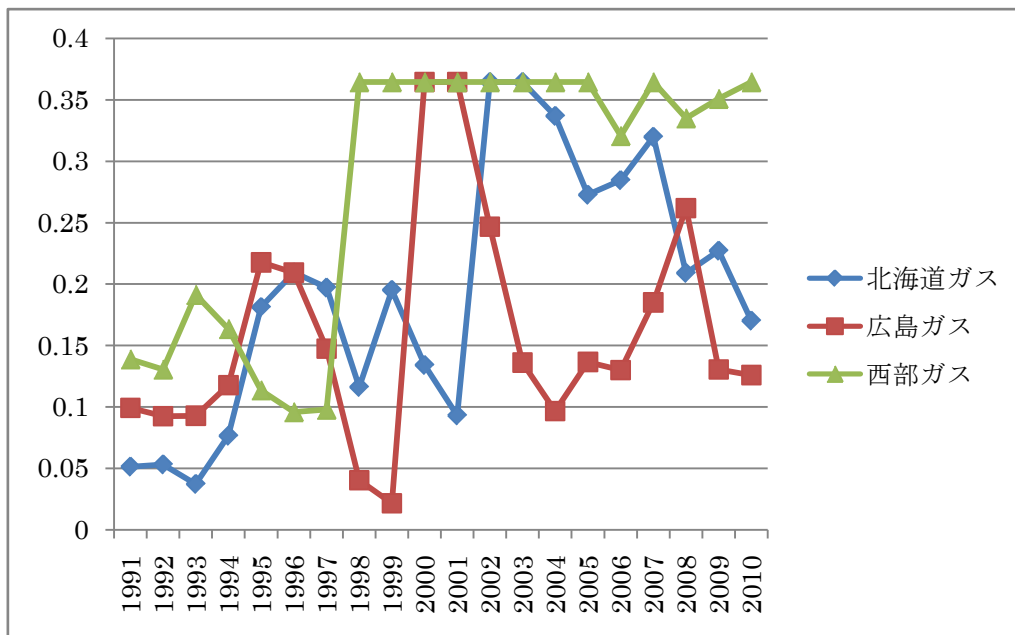
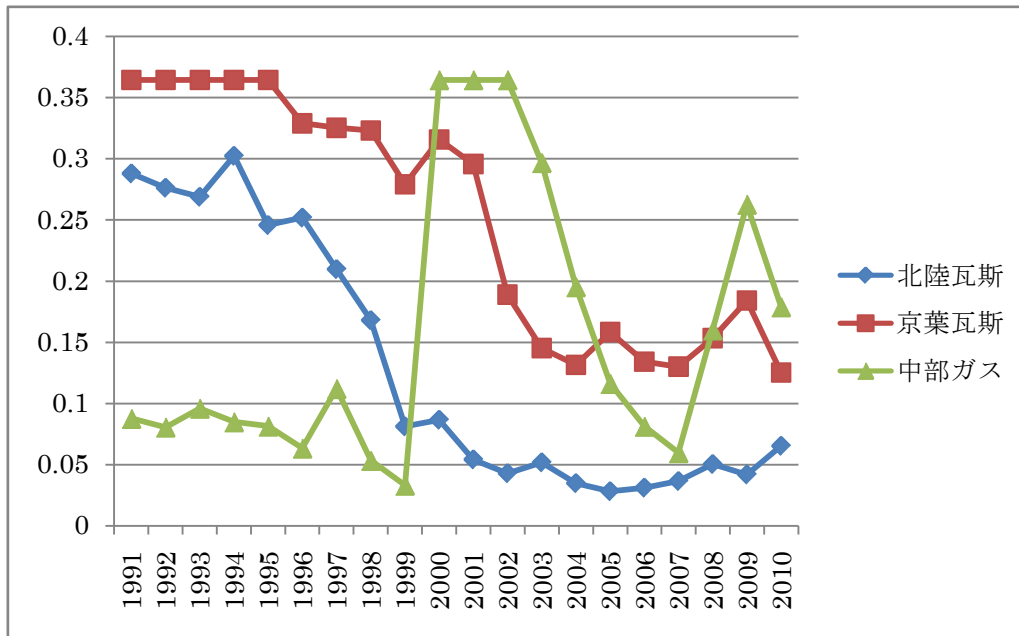


図 11 非効率性の推移（確率フロンティアモデル、トランスログ費用関数）（北陸、京葉、中部）



まず大手3社について、東京ガスでは2001年以降効率性が大きく改善している。これはDEAの結果とも整合的である。東邦ガスについては1996年以降効率性が大きく改善している。大阪ガスについては効率性は改善しているとは言えない。次に中堅事業者を見る。年は事業者によってまちまちであるが、効率性が大きく改善している年が見られる。これは自由化による競争促進の効果よりもLNGへの移行の影響とも考えられる⁴。

確率フロンティアモデルの費用関数の定式化としてコブ・ダグラス型でも推定した。推定結果は表11のようになる。

⁴ 他に考えられる原因として、原材料価格を各年度においてすべての事業者に通じる値となる企業物価指数を用いたことも原因と考えられる。売上原価をガス販売量で割ったものでも推定する必要がある。

表 11 推定結果（確率フロンティアモデル、コブ・ダグラス型）

説明変数	係数値	標準誤算	t 値	P 値
定数項	-3.459	2.319	-1.492	0.1357
	0.56	0.079	7.053	0
労働価格 lp_l	0.082	0.107	0.765	0.4445
資本価格 lp_k	0.326	0.464	0.702	0.4829
燃料価格 lp_f	0.885	0.016	55.846	0
生産量 ly				
λ	5.094	1.247	4.086	0
σ	0.313	0.002	208.015	0

対数尤度 53.8636 標本数 180

ここでも効率性の指標は λ より有意である。さらに係数が**5.094**であり、1以上であるため、効率性 u の分散の方が、その他の誤差 v より大きいことが分かる。以上よりこの推定結果を分析に用いることは意味があると言える。

費用効率性の推移は以下の図のようになる。ここでも費用関数なので値が小さくなれば効率性が改善していることになる。

図 12 非効率性の推移（確率フロンティアモデル、コブ・ダグラス型費用関数）（東京、大阪、東邦）

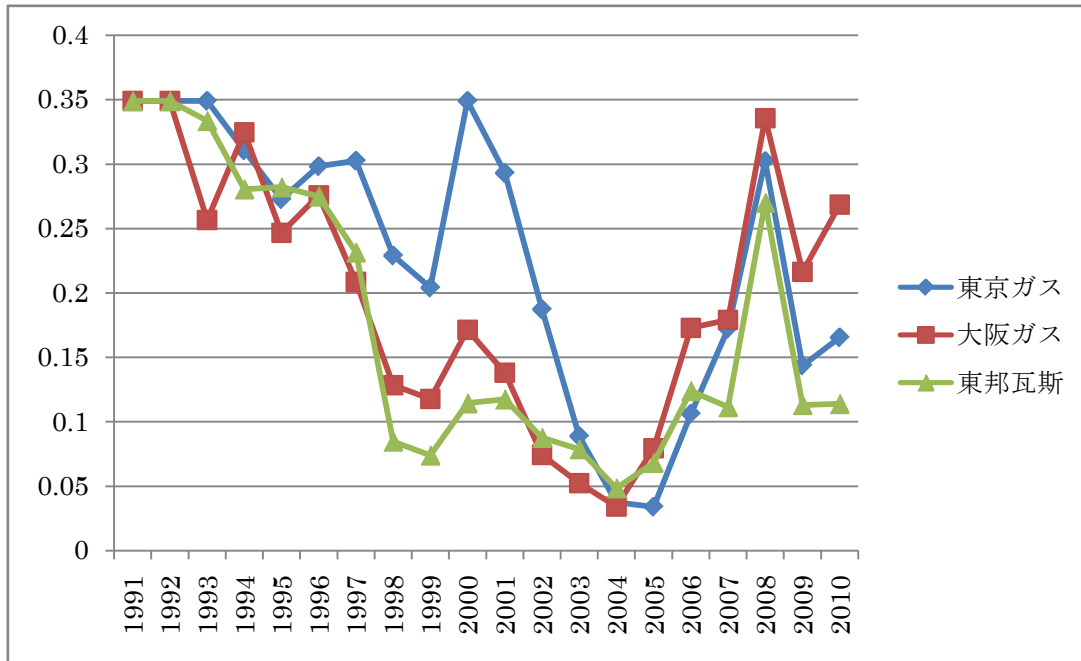


図 13 非効率性の推移（確率フロンティアモデル、コブ・ダグラス型費用関数）（北海道、広島、西部）

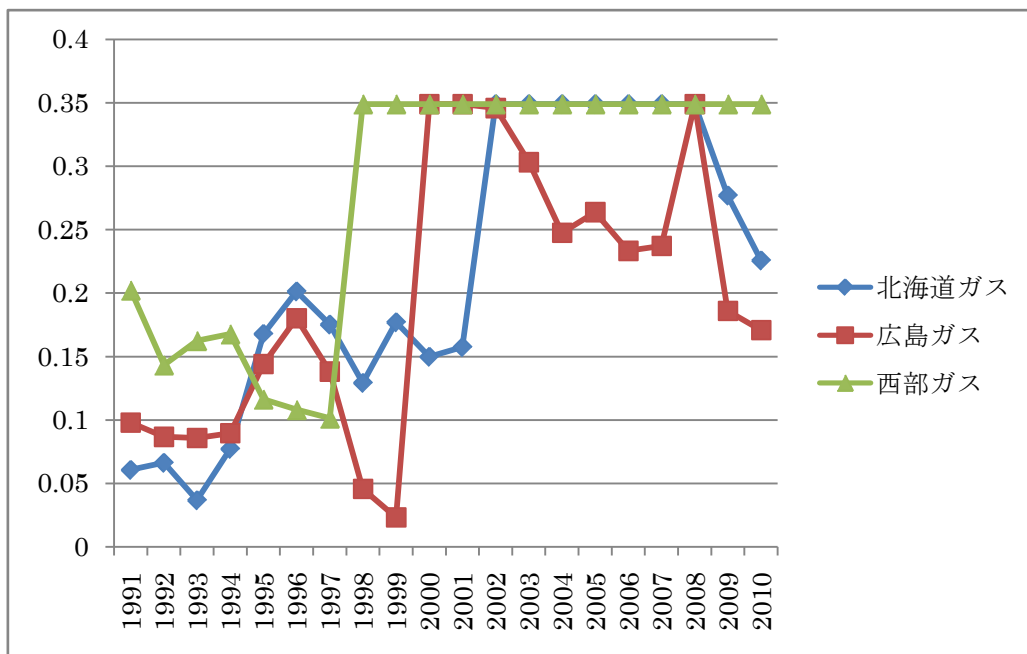
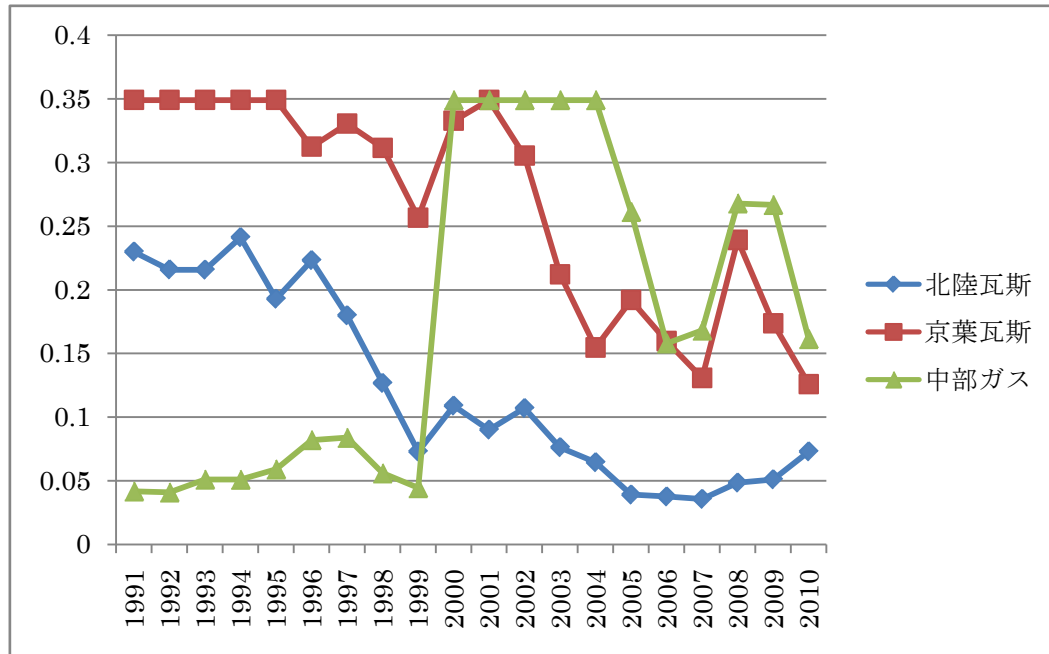


図 14 非効率性の推移（確率フロンティアモデル、コブ・ダグラス型費用関数）（北陸、京葉、中部）



まず大手3社を考察する。推定期間が始まる1991年以降、効率性が改善傾向にあるが、2001年以降、大きく改善している。2008年に非効率になっているが、これは原油高の影響と考えられる。中堅事業者については、北陸瓦斯、京葉瓦斯については効率性は改善傾向にあるものの、他の事業者については、必ずしも改善傾向にあるとは言い難い。

DEAと同様に、確率フロンティアモデルでも計測した効率性の指標を被説明変数とし、どのような要因が効率性の改善に効果があったかを分析した。説明変数はDEAのときと同じ、推定方法も同じくトービット・モデルを用いた。推定結果は表のようになる。

表 12 推定結果（トランスログ費用関数、小売自由化ダミーD1）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	-0.014	0.015	-0.91	0.363
鉱工業生産指数(対数値)	-0.117	0.151	-0.78	0.439
自由化ダミーD1	0.038	0.025	1.53	0.128
大手3社ダミーbig	-0.035	0.035	-1	0.319
交差項 D1×big	-0.031	0.039	-0.8	0.426
定数項	0.839	0.661	1.27	0.206
σ	0.1	0.005		

表 13 推定結果（トランスログ費用関数、託送供給義務化ダミーD2）

変数名	係数	標準誤差	t値	P値
原油輸入価格(対数値)	-0.03	0.021	-1.41	0.161
鉱工業生産指数(対数値)	-0.061	0.153	-0.4	0.692
自由化ダミーD2	0.05	0.026	1.95	0.053
大手3社ダミーbig	-0.033	0.025	-1.34	0.181
交差項 D2×big	-0.045	0.032	-1.41	0.159
定数項	0.743	0.653	1.14	0.257
σ	0.099	0.005		

係数の符号については、DEA のときと同じであるが、有意なものが存在しない。しかし、概して、都市部にある大手3社については、小売自由化や託送供給義務化により、効率性は改善したと考えていいかもしれない。

5. おわりに

本論文では DEA と確率フロンティアモデルの生産関数と費用関数を用いて 1995 年の自由化や 1999 年の託送供給義務化がガス産業の生産効率性、費用効率性をどれほど改善したかを実証分析した。その結果、中堅事業者については分析期間中の LNG 転換とリーマンショックの影響があるものの、おおむね改善されているという結果を得た。さらに 3 大都市圏にある大手3社（東京、大阪、東邦）では、これらの改革により競争が促進され、大きな効果をもたらしたことが分かった。今回は推定に使った計量モデルは非常に基本的なものであった。最近では様々な生産効率性の推計方法が提唱されている。例えば、衣笠・中山（2011）では、産出が 0 のデータも含めて推定が可能である composite 型費用関数を用いている。このモデルはトランスログ型費用関数より、収束速度が速く推定が容易であるという。これらを参考にする必要はある。使用したデータについてもいくつかの課題が見られる。1 つは原材料費の LNG 導入の影響をどう考えるかである。

今後は生産性の推計モデルを改善するとともに、都市ガス区域では電力との競争が働きガス料金の低下も見られるが、都市ガス区域以外の簡易ガス事業者との間の内々価格差は依然として大きい。今後はガス産業全体での効率的供給も考える必要がある。さらに小売自由化や託送供給など様々な形の自由化が実施されたが、どの施策が最も効果があったのかを検証する必要もある。

参考文献

- W.W.Cooper, L.M.Seiford and K.Tone [2007], "Data Envelopment Analysis" , Springer.
- S.C.Kumbhakar and C.A.Knox Lovell[2000], "Stochastic Frontier Analysis", Cambridge University Press.
- 戒能一成[2005]、「電気事業・都市ガス事業における政策制度変更の定量的影響分析」、RIETI-Discussion Paper 05-J-034。
- 衣笠達夫[2000]、「アメリカ・ガス供給産業の効率性および技術進歩の分析」、『公益事業研究』、第 52 巻第 2 号、。
- 衣笠達夫[2005]、『公益事業の生産性分析』、中央経済社。
- 衣笠達夫・中山徳良[2011]、「日本の都市ガス産業のコンポジット型費用関数を用いた分析」、『公益事業研究』、第 63 巻第 1 号。
- 経済産業省、資源エネルギー庁 HP、「ガス事業制度の現状について」。
<http://www.enecho.meti.go.jp/gasHP/index.html>.
- 服部徹[2010]、「エネルギー間競争が都市ガス事業者の料金に与える影響の分析」、『公益事業研究』、第 62 巻第 3 号。