

発送電分離と電力小売全面自由化が欧州の電力価格と電灯価格に与えた影響

—欧州 15 カ国のパネルデータを用いた実証分析—

The effects of unbundling and liberalization on electricity prices in Europe

— An empirical analysis using panel data from 15 European countries —

村岡浩次

I. はじめに

現在、AIの利用拡大に伴うデータセンターでの電力需要の増加や、半導体工場の新增設による電力需要の増加など、日本全体で電力に対する需要が伸びている。電力広域的運営推進機関の試算によれば、2034年度における日本全国の電力需要量は、2024年度比で6%の増加となる見込みである（資源エネルギー庁、2025a）。一方で電力価格の高騰が続いている。脱原発を掲げ、再生可能エネルギーの導入を急速に進めたドイツでは電力価格が急騰し、製造コストの増加から主要産業である自動車大手フォルクスワーゲンの国内工場の閉鎖が検討された。労働者の反発から工場の閉鎖は見送られたが、3万5000人の人員削減に合意するなど社会問題を引き起こしている。このように、電力はすべての産業の中間投入財であり、その低廉化をいかに実現していくかは一国の国際競争力を左右する大きな要因であり、経済成長の上で極めて重要である。

では、電力価格の低廉化はどうすれば実現するのか。これに関して欧州で1990年代から議論、実施されてきたのが、電力自由化と発送電分離である(Armstrong et al., 1994)。電力自由化、発送電分離の意義、歴史については次節を参照されたいが、発送電分離が必要となる基本的な問題は、非競争的な事業分野の所有者（通常の場合、送電網・配電網などのネットワーク所有者）が、競争的な事業分野（発電や小売）での競争を制限するインセンティブおよび能力を持つということである。ネットワーク・アンバンドリング（発送電分離）の必要性については、第3次EU電力指令（Directive 2009/72/EC, European Union (2009)）の(9)で端的に次のように述べられている。

発電と小売からのネットワークの効果的な分離（アンバンドリング）が存在しなければ、ネットワークの運営においてのみならず、垂直統合企業がネットワークに十分に投資するインセンティブにおいても、差別（discrimination）を行う固有のリスクが存在することになる。

これらのリスクを低減、消滅させるのが発送電分離であるが、その内容について詳しくは次節で述べる。

では、発送電分離と電力小売全面自由化で電力価格は低下するのか。これについて、先行研究では統一的な見解は得られていない。第3節で詳述するが、例えば Hyland (2016) は2001年から2011年のデータを用いてパネル分析を行い、欧州の電力改革が産業用電力価格に与える影響を分析したが、改革は今のところ価格に有意な影響を与えておらず、政策的な含意を導き出すには注意が必要だ、としている。また、Growitsch and Stronzik (2014) も同じような問題意識のもと、電力と同様のネットワーク構造を持ち、改革内容が似ている欧州のガス産業について分析を行った。最も強力な分離形態である所有分離（Ownership Unbundling）に焦点を当て、それが産業用ガス価格に与える影響について定量的に分析した結果、所有分離にはガス価格を下げるといった影響を見いだすことはできなかった一方で、より分離レベルの弱い法的分離（Legal Unbundling）は有意にガス価格を低下させたという結論を得た。このように、国民経済に大きな影響を与える電力分野において、発送電分離が価格に与える影響について明確な答えを導き出している研究はない。これは、電力改革が本格化した1990年代後半や2000年代からそう時間が経っておらず、観測期間の短さから改革の効果を正確に測定できていないことが要因として考えられる。

本論文では、それらの問題点を踏まえ、欧州15カ国を対象に、1990年から2023年の長期パネルデータを構築し、発送電分離ならびに電力小売全面自由化が産業用電力価格と家庭用電灯価格に与えた効果について明らかにした。また、上述の Hyland (2016) や Growitsch and Stronzik (2014) で指摘されているように、多くの先行研究の欠点である内生性（endogeneity）の問題に対処し、システムGMMを用いた動学分析を行い、改革の効果を測定した。これらの結果から、日本の国際競争力向上に資する規制政策についても考察する。

本論文の発見は以下の通りである。分析の結果、発送電分離と電力自由化が、産業用電力価格と家庭用電灯価格に与える影響は異なっていることが分かった。

法的分離は産業用電力価格と家庭用電灯価格に対して、静学、動学どちらも有意に価格を引き下げる効果が認められた。産業用電力価格、家庭用電灯価格を低廉化させるためには、

法的分離が有効であると言える。同様の結果は *Growitsch and Stronzik* (2014) でもガス分野の産業用価格で指摘されていたが、電力分野においても同様の結果が得られた。

また、電力小売全面自由化は静学・動学の両モデルにおいて産業用電力価格を低下させた。産業用電力価格を低下させ、国際競争力を高めるためには電力小売全面自由化が有効であり、その効果を高めるために実質的な競争を促す競争環境の整備が重要であることが示唆された。

さらに、所有分離は、静学モデルにおいて有意に家庭用電灯価格を、動学モデルにおいて有意に産業用電力価格を低下させた。現在電気料金が上昇し、家計が逼迫している状況にあり、今後の導入について検討する価値があると言える。

最後に、本論文の構成を述べる。第2節では発送電分離について簡潔に説明し、その意義と欧州での改革の歴史を述べる。第3節では、先行研究の展望を行う。第4節では分析に用いたデータと各変数の定義を説明する。第5節では推定式の説明を行い、第6節では推定結果について考察する。最後に、第7節では結論を述べる。

II. 発送電分離とは

1. 競争制限的なインセンティブとアクセス規制・構造分離

前節で、『発電と小売からのネットワークの効果的な分離（アンバンドリング）が存在しなければ、ネットワークの運営においてのみならず、垂直統合企業がネットワークに十分に投資するインセンティブにおいても、差別（discrimination）を行う固有のリスクが存在することになる』との第3次 EU 電力指令（Directive 2009/72/EC, European Union (2009)）における発送電分離の必要性について記した。ここでの差別とはどのようなものであろうか。簡潔には、非競争的な事業分野（送配電網）の所有者は、競争的な分野（発電・小売）にいるライバル企業が自身の持つ不可欠設備（essential facility）にアクセスする際、その料金や条件を制御することで競争を制限することが可能であるということである。これらの競争上の問題は、既存事業者と新規参入企業のイコール・フットリングの観点から、OECD 等により常に問題視されてきたものである。自然独占企業のこうした能力を低減・あるいは消滅させる手法として注目されてきたのが、ネットワーク・アンバンドリング（構造分離）である。本論文では、電力産業の構造分離、すなわち発送電分離について論じる。

上述のように、既存企業は、不可欠設備（送配電網等）を所有しつつ、同時に他のライバル企業と同じ分野で事業を展開している場合、ライバル企業による不可欠設備へのアクセスに対し、アクセス料金を引き上げたり、アクセス・サービスの質を低下させたり、タイムリーな提供を制限することで、競争を制限するインセンティブを持つ。競争が制限されることのデメリットは、効率性の低下とイノベーションの可能性の低減、消費者に対する製品範囲の縮小と多様性の低下、とりわけ本論文で問題としている電気料金の高止まりである。こ

れに対処する手法が接続（アクセス）規制と構造分離（ネットワーク・アンバンドリング）である。

接続（アクセス）規制とは、既存統合企業の非競争的な分野（送配電網）への接続（アクセス）に関する規制のことである。ここで規制当局は、競争分野（発電・小売）のライバル企業が既存企業の非競争的な分野にアクセスするとき、当の既存企業が課す料金及び条件を規制することになる。同規制は、主として企業行為の規制に焦点を置くので、行為的アプローチ（behavioral approach）と呼ばれている。ここで競争を促進するには、規制当局が、接続を拒否しようとする統合企業のインセンティブに対処しなければならない。アクセス規制には、ある程度競争を促進でき、既存企業に統合から生じる範囲の経済性を与えるというメリットがあるが、それを超えるデメリットがあるといわなければならない。すなわち、それにより規制当局は接続の拒否および差別といった垂直統合企業が持つインセンティブに不断に対処しなければならない。モニタリングをはじめ多大な規制コストがかかるのである。現在、日本では法的分離を補完する手法として行為規制（例えば情報遮断）が取られているが、それでも一般電気事業者による情報漏洩問題の問題が起こっており（電力・ガス取引等監視委員会（2023））、その実施の困難さが示されている。

そのようなインセンティブを構造的に断ち切ってしまうというのが、構造分離（アンバンドリング）である。構造分離とは、不可欠設備（送配電網）と産業の競争的な部分（発電・小売）を切り離すことであり、それによって上述の既存企業のインセンティブを低減、消去しようとするものである。これによって、規制当局の行政コストは削減され、競争も進展することが期待される。電力事業に即していえば、構造分離とは、垂直統合型電力会社の事業を発電、送電、配電、小売に分離することを意味する。競争分野と被規制分野を明確に分け、送電と配電という不可欠設備に関わる事業に対しては、オープンアクセスのための規制を行い、それにより発電と小売市場で自由競争を促し、発電コストの引き下げと小売料金の低廉化、サービス品質の向上を狙うものである。送・配電事業を共通の公共インフラと位置づけ、オープンアクセスのもと、中立的かつ公平な規制を設けることで、既存事業者と新規参入者の間のイコール・フットリングを担保し、発電と小売に自由競争を促そうというのである。

そこで、構造分離の種類について、簡潔に見ていこう。発送電分離の類型は、(1) 会計分離、(2) 機能分離、(3) 法的分離（会社分離）、(4) 所有分離の4つに分類することが可能である（詳細は経済産業省（2013）を参照のこと）。このうち、(4) の所有分離以外は構造分離の程度の強弱により、行為規制などの補完的なアプローチが必要である。欧州では3次にわたる EU 指令で構造分離を義務化した。その実施は3段階に分かれている。以下に概観していく。

2. 欧州の電力構造改革

欧州では電力市場の活性化、電力価格の低廉化をめざして、

3度の電力指令（Directive）による電力改革を行ってきた。

1996年の第1次電力指令（Directive 96/92/EC）では、小売部分自由化義務と送電部門の独立性の確保を要求し、加盟国に送電部門の分離として、会計分離（Accounting Unbundling）と機能分離（Functional Unbundling）を求めた。2003年の第2次電力指令（Directive 2003/54/EC）ではさらに分離レベルを高め、加盟国に会社分離を要求する法的分離（Legal Unbundling）を求めた。そして2009年の第3次EU指令（Directive 2009/72/EC, European Union (2009)）では、送電部門のさらなる中立性の確保、独立性の強化を求め、加盟国に所有分離（Ownership Unbundling）、ITO（Independent Transmission Operator: 独立送電運用機関）、ISO（Independent System Operator: 独立送電運用機関）のいずれかの形態を選択するよう義務づけた。これらの指令に対し、加盟国が取った対応は異なっている。英国などは1990年代の早期から所有分離を選択しているのに対し、電源構成の7割が原子力発電であるフランスは垂直統合を好み、所有分離に反対し、妥協案としてITOを選択した。ドイツも財産権の観点からITOを選択したが、ドイツ国内には主要な送電会社（Transmission System Operator: TSO）は4つあり、その2つは所有分離を選択している。日本では、東日本大震災を契機に、欧州にかなり遅れて電力自由化、発送電分離に関する議論が始まった。2016年には電力自由化が始まり、2020年には法的分離が選択されたが、実質的な競争が促進されているとは言い難い。

重要な点は、これらの改革が実際に価格を引き下げる効果を持ったかについては統一的な見解はないということである。次節で述べるが、電力小売全面自由化と発送電分離の実施という電力改革が価格に与えた影響を実証的に分析した研究は少なく、その多くが効果は不透明か、効果は見られないとするものが多い。むしろ自由化や発送電分離が電力価格を高騰させたという意見も散見される。

本論文ではEU15か国の改革前後の30年のデータからパネルデータを構築し、この問題に対して実証的に答えを出すことを目的とする。電力自由化、発送電分離はウクライナ戦争による燃料価格の高騰や、コロナウイルスのショックなど電力価格に影響を与える要因を可能な限りコントロールした上で、どのような効果を与えたのか、それが本論文の問いとなる。

電力自由化を行っただけでは、これまでの巨大な垂直統合企業を相手に新規参入者が太刀打ちできず、競争は起こらない。そのため、望まれる価格低下効果は期待できない。適切な競争環境を創出するには、発送電分離を行い、既存事業者と新規参入者との間の差別をなくす必要がある。公平な環境で競争を行うことで、政策が期待した効果が表れる可能性が出てくるのである。本論文では、実際に電力自由化、発送電分離に価格低下効果があったかについて実証的に検証していく。

Ⅲ. 先行研究

ネットワーク産業において、規制改革が価格そのものに与えた影響を実証分析したものは少ないが、以下の論文は其中でも価格を被説明変数として取り上げ、計量分析を行った数少ない研究である。それらは、Bacchiocchi et al. (2011)、Bacchiocchi et al. (2015)、Brau et al. (2010)、Erdogdu (2011)、Estache et al. (2006)、Fiorio and Florio (2013)、Growitsch and Stronzik (2014)、Hattori and Tutsui (2004)、Hyland (2016)、Nagayama (2007, 2009)、Steiner (2001)、Wallsten (2001) である。

その中でも分析上、特に注目すべきはHyland (2016) とGrowitsch and Stronzik (2014) である。彼らは規制改革の実施と価格の変化は、前者が後者に影響を与えるという一方的なものではなく双方向的なものであるとし、その効果を正しく測定するためには動学的な分析アプローチが必要とした。これについては第5節のモデルで詳述する。また、これら2つの論文は構造分離の形態（所有分離か法的分離か）が価格に与える影響を分析した数少ない研究である。Hyland (2016) は電力について、Growitsch and Stronzik (2014) はガスについて分析を行っている。以下に簡潔に見ていく。

Hyland (2016) は、パネル分析を用いてヨーロッパの電力改革が産業用電力価格に与えた影響を分析した。特に後述する内生性の問題を重要視していたが、その考え方は以下の通りである。それは、改革は価格に影響を与えるかもしれないが、(高い) 電力価格もまた改革を行うという決断を引き起こすものであり、その影響は相互的なものであるというものだ。これらの内生性の問題に対処するために、動学的パネルデータ分析を用いたが、その結果は以下のようなものとなった。内生性が考慮されると、改革は今のところ価格に有意な影響を与えておらず、政策的な含意を導き出すには注意が必要だ、というものである。2016年時点では、改革はまだ進行中であり、発送電分離も実施されてそれほど時間が経っていなかった国もあり、そのデータを延長して結果を推定し、結果が変わるかどうかを分析することも本論文の目的の1つである。

Growitsch and Stronzik (2014) は、電力と同じくネットワーク構造を持ち、改革内容が似ているガスについて分析を行った。ガス分野においてもEUは構造分離を義務づけているが、それが価格に与える影響については不明瞭であるというのが問題意識である。そこでは最も強力な分離形態である所有分離に焦点を当て、それが産業用ガス価格に与える影響について計量分析を行った。分析対象はEU18カ国であり、19年にわたるパネルデータを用いた。先述のHyland (2016) と同じく、内生性の問題を克服するため、システムGMM (system GMM) やLSDVC (the bias corrected least-squares dummy variable estimator) を用いて動学推定を行った結果、以下のような結果を得た。すなわち、所有分離はガス価格を下げるといった影響を見いだすことはできなかった一方で、より分離レベルの弱い法的分離 (Legal Unbundling)

は有意にガス価格を低下させたというものだ。本論文では、電力分野において法的分離と所有分離の両形態が価格に与えた影響について考察する。

このような、内生性の問題への対処は Cambini et al. (2010) でも行われている。EU のエネルギー企業において、1997 年から 2007 年の間にインセンティブ規制と報酬率規制のどちらの規制方式の方が投資をより多く誘引したかを分析する際にも、二段階最小二乗法 (2SLS) や GMM (一般化積率法) といった分析手法が取られている。その結果、報酬率規制よりもインセンティブ規制のもとの方が、投資率が高いという推定結果を得た。

Fiorio and Florio (2013) では、電力自由化や他の電力価格に影響を与える要因をコントロールした場合、電力供給主体の違い (公営か民営か) が家庭用電灯価格に与える影響を分析した。EU15 カ国について約 30 年のデータを用いて分析した結果、西ヨーロッパにおいては公的主体が電力を供給する方が電灯価格が低下する傾向があったとした。また、電力自由化が電灯価格に与える影響は小さく、その効果は不明ともしている。本論文では、電力自由化が電力価格に与える影響についても明確にする。

Bacchiocchi et al. (2015) では、EU27 カ国を先進加盟国 15 カ国と後進加盟国 (NMS : New Member States) の 2 つのグループに分け、電力自由化の効果について検証した。その結果、電力自由化は先進加盟国 15 カ国については電力価格を低下させたが、後進加盟国 (NMS) については逆に上昇させたという非対称の結論を得た。

Brau et al. (2010) は、EU15 カ国を対象に、ガス産業の改革が消費者価格に与えた影響について実証分析を行った。しかしながら、分析時点では改革からあまり時間が経っていないこともあり、価格を下げる効果は見られなかったとしている。

Filippin et al. (2014) では、ニュージーランドにおける電力の配電部門の発送電分離が、費用効率性 (cost efficiency) に与える影響を分析した。ニュージーランドは 1998 年から所有分離を採用しており、1996 年から 2011 年を分析期間とし、確率的フロンティアパネルデータモデル (stochastic frontier panel data model) を使用して分析した結果、短期的には所有分離は費用効率性を 0.242 上昇させ、より長期的には 0.144 上昇させたという推定結果を得た。

これらの内容を踏まえ、本論文では発送電分離と電力小売全面自由化が価格に与えた影響について明らかにしていく。

IV. データ

本論文では、欧州 15 カ国について、1986 年から 2023 年までのデータを用いてパネルデータを構築し、分析を行った。以下に変数の詳細と、データの出典について説明する。

まず、被説明変数であるが、欧州 15 カ国 (英国、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ア

イルランド、イタリア、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、オーストリア) の税金を除いた (excluding tax and levies) 産業用電力価格と家庭用電灯価格をそれぞれ対数に変換したものである。税金は近年電力価格を上昇させる大きな要因となっているので、それらは除外した。データは 1986 年から 2023 年までであり、出典は Eurostat である。価格は各国ごとに半年ごとに公表されており、それらの平均値をその国のその年の電力価格とした。

次に説明変数に記述する。まずは、本論文で最も興味のある送電部門 (TSO : Transmission System Operator) の発送電分離、すなわちアンバンドリングの状態である。本論文では、特に所有分離 (Ownership Unbundling) と法的分離 (Legal Unbundling) に着目し、所有分離ダミー (OUdummy) と法的分離ダミー (LUDummy) を説明変数とした。所有分離ダミー (OUdummy) はその国が所有分離の形態を取っていれば 1、それ以外であれば 0 を取るダミー変数である。また、法的分離ダミー (LUDummy) はその国が法的分離の形態を取っていれば 1、それ以外であれば 0 を取るダミー変数である。各国がどのような分離形態を取っているかについては、CEER (the Council of European Energy Regulators) の国別年次レポートから情報を得た。また、また、第 3 次電力指令以降の形態である ITO は法的分離 (Legal Unbundling) の強化版であり、厳密には法的分離と異なるが¹⁾、ここではデータ数の制約から、推定のため同一と見なす。

次に電力小売全面自由化ダミー (Liberalization Dummy) である。これはある国が電力小売全面自由化を行っていれば 1、それ以外であれば 0 を取るダミー変数である。電力小売全面自由化はこれまで独占であった電力市場に新規参入を促し、競争を促進することで価格を低下させることが期待される。出典は村岡 (2010) である。以上の所有分離ダミー (OUdummy)、法的分離ダミー (LUDummy)、電力小売全面自由化ダミー (Liberalization) が電力改革に関する説明変数である。

次にコントロール変数について述べる。

まずは、各国の電力輸入量 (GWh) の対数値 (limports) である。EU はメンバー国間での電力融通を増やすことを目指しており、英国の Department of Energy and Climate Change (DECC (2013)) によれば、電力輸入量の増加は国内電力業者との競争を促し、電力価格を下げる可能性があるとしている。そこで、各国が輸入している電力量の対数値をコントロール変数とした。データの対象期間は 1990 年から 2023 年までであり、Eurostat より情報を得た。

また、電力価格に影響を与える大きな要因は、電力の需要と供給である。ここで、需要をコントロールするために、各国の実質一人あたり GDP (real per-capita GDP) をモデルに組み込んだ。一人あたり GDP の大きな国は、より生産活動等が活発であり、電力需要量が多いとの考えである。この変数はアメリカドル (US\$) で表現され、観測期間は 1986 年から 2023 年である。出典は World Bank である。

各変数の記述統計は以下の通りである。

図表 1 記述統計

	観測値数	平均	標準偏差	最小値	最大値	出典
産業用電力価格 (€/kWh)	490	0.082	0.036	0.031	0.338	Eurostat
家庭用電灯価格 (€/kWh)	495	0.127	0.052	0.052	0.455	Eurostat
所有分離ダミー (OUdummy)	585	0.397	0.49	0	1	CEER
法的分離ダミー (LUdummy)	585	0.284	0.451	0	1	CEER
自由化ダミー (Liberalization)	585	0.574	0.495	0	1	村岡 (2010)
一人あたりGDP (US\$)	570	34838.78	18470.33	3861.95	108798.5	World Bank
電力輸入量 (GWh)	501	15691.76	13189.42	20	69307	Eurostat

(出典：著者作成)

V. モデル

本論文では、電力改革、すなわち発送電分離と電力自由化が価格に与える影響について考察を行う。価格については、産業用電力価格と家庭用電灯価格の2つに分けてそれぞれ分析を行う。先述した内生性の問題に対処するため、静学的パネル分析 (Static panel analysis) と動学的パネル分析 (Dynamic panel analysis) の2つを用いて推定する。

1. 静学的パネル分析 (Static panel analysis)

ここでは、固定効果モデル (Fixed-effects model) を用いて、時間を通じて一定で観察されない各国固有の変数をコントロールした上で、改革が価格に与える影響を推定した。被説明変数は産業用電力価格、家庭用電灯価格であり、モデルは以下の通りである。

$$P_{it} = R_{it} \beta + X_{it} \gamma + \delta_t + \eta_i + u_{it} \quad i=1, \dots, I; t=1, \dots, T \quad (1)$$

ここで、 P_{it} は国 i の t 期の電力価格を表す。 R_{it} は電力改革の変数のマトリックスであり、 X_{it} はコントロール変数を示す。ここでは時間固定効果 (time fixed effect) δ_t を含め、欧州の間の共通の動向や、マクロ経済変数における共通の周期的な動きを捉える。また、時間を通じて変化しない各国固有の特徴をコントロールするため、国固定効果 (country fixed effects) η_i を取り入れる。 u_{it} は通常の仮定を満たす誤差項である。被説明変数は産業用電力価格、家庭用電灯価格であり、上記のモデルを用いてそれぞれ推定を行った。

2. 動学的パネル分析 (Dynamic panel analysis)

Hyland (2016) や Growitsch and Stronzik (2014) でも述べられているように、改革の効果を推定したこれまでの研究の大きな欠点は、改革の過程における潜在的な内生性の問題を考慮に入れていないということである。すなわち、改革は価格に影響を与えるかもしれないが (因果関係 1)、(高い) 電力価格もまた改革を行うという決断を引き起こすものであり (因果関係 2)、その影響は双方向的 (bidirectional) なものであるというものだ。この場合、改革の変数と誤差項に相関が生じてしまい、推定値はバイアスを持ったものとなる。

このため、推定において内生性の問題への対処は重要となる。

また、以下のモデルに示すように、被説明変数の自己相関を調べるために、モデルに2期ラグをとった被説明変数を加えた。被説明変数の経路依存性 (path-dependency) を考慮しなければ、改革の効果を過剰推定することになるからである。第6節で示すように、被説明変数には有意な自己相関が認められ、そのような価格の自己相関を説明するため、説明変数に2期ラグを取った被説明変数を加え、ダイナミックパネル推定を行った。ここでのモデルは以下の通りである。

$$P_{it} = \alpha_1 P_{it-1} + \alpha_2 P_{it-2} + R_{it} \beta + X_{it} \gamma + \delta_t + \eta_i + u_{it} \quad i=1, \dots, I; t=1, \dots, T \quad (2)$$

また、Hyland (2016) では、Baum (2006) が示すように、固定効果モデルで (2) 式を推定する際には問題が生じるとしている。それはラグ付き被説明変数が誤差項と相関してしまうということだ。これはラグ付き被説明変数の係数にバイアスを生じさせ、またラグ付き被説明変数と相関している説明変数の係数にもバイアスを生じさせる。これはパネルの年数が短い場合に特に問題となり、この問題を克服するために動学的GMM推定 (dynamic GMM estimation) を行い、(2) 式を Blundell-Bond system GMM を用いて推定する。

また、ラグを取った内生変数を所与として、改革の長期の効果が価格に与える影響を特定するため、部分調整モデル (partial adjustment model) において長期乗数 (long-run multipliers) を計算した。その計算式は以下通りである。

$$\beta^* = \beta / (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \quad (3)$$

VI. 推定結果

以上のモデルの推定結果を、静学的パネル分析、動学的パネル分析の順に見ていこう。また、各分析結果では、産業用電力価格に対する結果と、家庭用電灯価格に対する結果に分けて詳しく分析する。

1. 静学的パネル分析 (Static panel analysis)

静学的パネル分析では、結果は図表2のとおりとなった。以下に結果を考察していく。

a. 産業用電力価格に対する結果

まず、産業用電力価格に対しては、法的分離 (LUdummy) が5%水準で有意となった。法的分離の実施は、欧州15カ国において、産業用電力価格を2.9%押し下げたことが分かる。一方で、産業用電力価格に対しては、所有分離 (OUdummy) は有意とはならず、価格を下げる効果は見られなかった。

次に電力小売全面自由化 (Liberalization) であるが、1%

水準で有意となり、産業用電力価格を3.6%押し下げたことが分かる。電力小売全面自由化により、家庭用小売電力で競争が開始されたわけだが、それらの競争は事業者の効率性を改善し、産業用電力価格の低下につながったと考えられる。

コントロール変数は全て1%水準で有意であった。1人あたりGDPの対数(IGDPpc)の係数は、1人あたりGDPが1%増加すると、電力価格が0.2%上昇することを示している。この1人あたりGDPと産業用電力価格の正の相関関係は、Nagayama(2009)の結果とも整合的である。

また電力の輸入量の対数(limports)の係数は、電力輸入量が1%増加すると、電力価格が0.05%上昇することを示している。これは、先述のDECC(2013)の予想とは異なる結果となっている。これは、ロシアとウクライナの戦争に伴い2022年から2023年で電力価格が急上昇しており、国によっては約2倍に急騰するなどの結果を受けたものと考えられる。また再生可能エネルギーによる発電量が増加していることから、輸出用の電力価格も高まっている可能性がある。

b. 家庭用電灯価格に対する結果

次に、家庭用電灯価格に対する改革の影響であるが、所有分離(OUdummy)と法的分離(LUdummy)の両者が、1%水準で有意に家庭用電灯価格を下げる効果を持つことが分かった。まず所有分離の実施は、5%の電灯価格の低下を引き起こした。また、法的分離も4.5%の価格低下効果を持っている。

一方、電力小売全面自由化は家庭用電灯価格に対しては有意ではなかった。自由化による競争というよりも、それに伴って行われた発送電分離による発電分野での競争条件の改善で価格が下げられた可能性がある。

また、コントロール変数も全て1%水準で有意であり、電力輸入量が1%増加すると、家庭用電灯価格が0.1%上昇することを示している。これも、ロシアとウクライナの戦争に伴い2022年から2023年で電力価格が急上昇していることに起因している可能性がある。

また、1人あたりGDPが1%増加すると、家庭用電灯価格が0.3%上昇することを示している。1人あたりGDPと家庭用電灯価格の正の相関関係はFiorio and Florio(2013)の結果とも整合的である。

c. 両者に対する考察

以上から、法的分離は産業用電力価格、家庭用電灯価格の両者を有意に低下させる効果があることが示された。その効果は産業用電力価格に対してが2.9%、家庭用電灯価格に対してが4.5%と、家庭用に対する効果の方が大きい。一方、所有分離は家庭用電灯価格に対しては有意に価格を引き下げたが、産業用電力価格に対しては有意とはならなかった。

また、電力小売全面自由化は家庭用電灯価格というよりは産業用電力価格を有意に引き下げる効果を持つ。

コントロール変数、すなわち1人あたりGDPと電力輸入量は産業用電力価格と家庭用電灯価格のどちらに対しても1%

水準で有意であり、どちらも価格を上昇させる効果が見られる。

図表2 静学的パネル分析推定結果

推定方法 被説明変数 説明変数	固定効果	
	産業用電力価格 係数	家庭用電灯価格 係数
所有分離ダミー	-0.020 (0.018)	-0.050*** (0.019)
法的分離ダミー	-0.029** (0.013)	-0.045*** (0.014)
自由化ダミー	-0.036*** (0.013)	0.002 (0.014)
(対数)一人あたりGDP	0.200*** (0.069)	0.301*** (0.075)
(対数)電力輸入量	0.053*** (0.016)	0.097*** (0.017)
定数項	-2.198*** (0.303)	-2.649*** (0.330)
自由度修正済み決定係数	0.8346	0.8033
観測値数	463	440

被説明変数は対数値。下段括弧はクラスターロバスト標準偏差を示す。***は1%水準、**は5%水準、*は10%水準で統計的に有意であることを示す。年ダミーを加えているが、結果のレポートは省略。

(出典：著者作成)

2. 動学的パネル分析(Dynamic panel analysis)

a. 産業用電力価格に対する結果

第4節で述べたように、固定効果モデルにラグ付き被説明変数を含めると、係数にバイアスを生じさせるため、動学的パネル分析を行うためにシステムGMM(one-step system GMM)を用いて推定を行った。結果は図表3のとおりである。以下に詳しく見ていく。

まず、法的分離(LUdummy)であるが、1%水準で有意であり、動学モデルにおいても産業用電力価格を2.1%押し下げることが判明した。産業用電力価格に対しては、静学モデルでも5%水準で有意に価格を2.9%押し下げられており、静学、動学どちらのモデルを通じても価格を押し下げることが分かった。また、(3)式で求めた長期効果は6.8%の価格低下効果となる。すなわち、産業用電力価格の低廉化に対して、法的分離は効果があると言える。

次に、電力小売全面自由化(Liberalization)についてである。産業用電力価格に対し、電力小売全面自由化は10%水準で有意に価格を2%押し下げることが判明した。(3)式の長期効果を求めると、6.5%の価格低下効果となる。静学モデルでも1%水準で有意に価格を3.6%押し下げられており、法的分離と同様に、電力小売全面自由化も産業用電力価格を押し下げる効果があることが分かった。

次いで、所有分離(OUdummy)について述べる。静学モデルでは係数はマイナスであるものの有意ではなかったが、動学モデルにおいては10%水準で有意に価格を2.3%押し下げ

た。(3)式の長期効果を計算すると、7.6%の価格低下効果が見られる。

総じて、動学モデルでは法的分離(LUdummy)と所有分離(OUdummy)、電力小売全面自由化(Liberalization)が価格を押し下げることが分かった。法的分離と電力小売全面自由化は静学モデルでも有意であり、産業用電力価格の価格低廉化には法的分離と電力小売全面自由化が有効であることが分かった。

また、誤差項が系列相関を起こしていないか定式化テスト(AR test)を行った。帰無仮説は系列相関なしであり、3期までラグを取り検定を行ったところ、3階(Order 3)でP値(Prob>z)は0.0686となり、5%水準で帰無仮説は棄却されず、誤差項に系列相関はないという結果になった。

図表3 動学的パネル分析推定結果

推定方法 被説明変数 説明変数	One-step system GMM	
	産業用電力価格 係数	家庭用電灯価格 係数
1期ラグ(対数)被説明変数	0.695*** (0.078)	0.672*** (0.08)
2期ラグ(対数)被説明変数	0.002 (0.062)	0.101 (0.073)
所有分離ダミー	-0.023* (0.013)	-0.013 (0.011)
長期効果	-0.076* (0.043)	-0.057 (0.051)
法的分離ダミー	-0.021*** (0.005)	-0.016* (0.005)
長期効果	-0.068*** (0.014)	-0.071** (0.034)
自由化ダミー	-0.020* (0.011)	0.003 (0.012)
長期効果	-0.065* (0.034)	0.011 (0.051)
(対数)一人あたりGDP	0.012 (0.031)	0.060** (0.025)
(対数)電力輸入量	0.015 (0.014)	0.025*** (0.009)
定数項	-0.478*** (0.132)	-0.592*** (0.084)
観測値数	433	416
国数	15	15

被説明変数は対数値。下段括弧はクラスターロバスト標準偏差を示す。***は1%水準、**は5%水準、*は10%水準で統計的に有意であることを示す。年ダミーを加えているが、結果のレポートは省略。

(出典：著者作成)

b. 家庭用電灯価格に対する結果

次に、図表3に示した家庭用電灯価格に対する効果について見ていく。

動学モデルにおいて、価格を有意に下げる効果が見られたのは法的分離(LUdummy)であった。法的分離の実施は、

10%水準で有意に家庭用電灯価格を1.6%引き下げた。(3)式での長期効果を計算すると、7.1%の価格低下効果である(5%水準有意)。法的分離は静学モデルでも1%水準で有意に家庭用電灯価格を4.5%下げている、家庭用電灯価格を低廉化させるには、法的分離が有効であることが分かった。

一方で、動学モデルでは家庭用電灯価格に対して所有分離(OUdummy)と電力小売全面自由化(Liberalization)は有意な効果を得られなかった。

また、誤差項が系列相関を起こしていないか定式化テスト(AR test)を行った。帰無仮説は系列相関なしであり、3期までラグを取り検定を行ったところ、3階(Order 3)でP値(Prob>z)は0.4966となり、5%水準で帰無仮説は棄却されず、誤差項に系列相関はないという結果になった。

c. 両者に対する考察

動学モデルにおいて、法的分離は有意に産業用電力価格と家庭用電灯価格を下げる事が分かった。また、所有分離は産業用電力価格を有意に低下させ、電力小売全面自由化は産業用電力価格低下に対して有意であった。

3. 静学・動学両モデルを通じた考察

上述のとおり、法的分離は静学、動学の両モデルにおいて産業用電力価格、家庭用電灯価格を下げる効果が認められた。産業用電力価格に対しては、静学モデルで2.9%、動学モデルで2.1%、長期効果で6.8%価格を引き下げる効果があることが分かった。また、家庭用電灯価格に対しては、静学モデルで4.5%、動学モデルで1.6%、長期効果で7.1%の価格低下効果であることが分かった。産業用、家庭用を問わず、電力価格を低下させるには、法的分離が有効であると言える。

また、電力小売全面自由化(Liberalization)は、静学、動学どちらのモデルにおいても産業用電力価格を下げる効果を持つ効果があることが分かった。効果は静学モデルで3.6%、動学モデルで2.0%、長期効果で6.5%である。これは電力自由化による競争促進の効果であると考えられる。電力小売全面自由化は発送電分離の実施と合わさって効果を持つ。自由化された分野で、新規参入者がこれまで市場を独占してきた垂直統合企業とより公平な条件で競争できるためだ。自由化がなぜ家庭用電灯価格を有意に下げなかったかについては考察が必要だが、産業用電力価格を下げるには電力小売全面自由化を行い、競争環境を創出することが有効であることが判明した。これについては、次章の結論で詳述する。

VII. 結論

1. 発送電分離と電力小売全面自由化の影響

分析の結果、発送電分離と電力自由化が、産業用電力価格と家庭用電灯価格に与える影響は異なっていることが分かった。法的分離は産業用電力価格と家庭用電灯価格に対して、

静学、動学どちらも有意に価格を引き下げる効果が認められた。産業用電力価格、家庭用電灯価格を低廉化させるためには、法的分離が有効であると言える。同様の結果は *Growitsch and Stronzik (2014)* でもガス分野の産業用価格で指摘されていたが、電力分野においても同様の結果が得られた。

また、電力小売全面自由化は静学・動学の両モデルにおいて産業用電力価格を低下させた。産業用電力価格を低下させ、国際競争力を高めるためには電力小売全面自由化が有効であり、その効果を高めるためには実質的な競争を促す競争環境の整備が重要であることが示唆される。

さらに、所有分離は、動学では産業用電力価格を低下させ、静学モデルにおいて家庭用電灯価格を低下させた。家庭部門においては現在電灯料金が上がって家計が逼迫している状況にある。今後の導入について検討する価値があると言えよう。

以上のとおり、これまで多くの論文では、発送電分離や電力小売全面自由化に関して効果が見られなかったものが多かったが、本論文ではそれらに反し、その効果を実証的に証明した。これは改革から時間が経過し、データを延長ができたことが大きいだろう。

2. 政策的含意

現在、日本においても「電力の安定供給の確保」、「電気料金上昇の抑制」、「需要家の選択肢の拡大と事業者へのビジネスチャンスの創出」を目的として電力システム改革が進んでおり、2016年4月から電力小売全面自由化が開始し、2020年に送配電部門が法的分離された。

この中で、電力料金上昇の抑制に関しては、資源エネルギー庁(2025b)で検証が行われ、次のような見方をしている。すなわち、『電気料金の水準は、国際的な燃料価格、電源構成、電力需要量、再エネ賦課金等、様々な影響を受けることから、小売全面自由化の効果だけを取り出して、諸外国と比較して電気料金が低く抑えられていたとまでいうことは難しいが、燃料輸入価格高騰時を除き、経過措置料金よりも自由料金が安価な水準で推移(している)。一方、火力発電が大宗を占める中、燃料価格高騰時には電気料金が高騰していたことは事実(である)。』としており、やはり自由化効果のみを取り出して分析することまではできていない。この点に関し、欧州の事例から電力小売全面自由化の効果を実証的に示せたことは意義があろう。

また、脱炭素化も今後の大きな論点となる。発送電分離の形態が、再生可能エネルギーの導入にどのような影響を与えたかを分析した論文には、*Sugimoto (2019)* がある。そこでは機能分離などの発送電分離が、既存事業者と新規参入者とのより公平な競争を可能とし、風力発電の発電容量を46.8% (トービットモデルによる推計) から118% (最小二乗法による推計) 増加させたとしている。発送電分離が再生可能エネルギーの導入を促進する事例である。このように、発送電分離は競争を促進し、料金の低下や再生可能エネルギーの導入に有意な効果を持つ。

現在、日本では2020年より送配電部門の法的分離が行われている。送配電部門は、発電や小売を行う一般電気事業者から、資本関係を有しながらも、別会社として分離されたわけだが、ここに問題はないだろうか。本論文では欧州15カ国30年以上のデータから、法的分離が産業用電力価格と家庭用電灯価格を低下させることを示した。日本と欧州では環境の違いがあり、すべてが当てはまるわけではないことに注意が必要だが、日本の大きな方向としては間違っていないだろう。

しかし、日本の法的分離に関する大きな問題は、一般電気事業者によるグループ内における情報漏洩事件である。これは、電力・ガス取引等監視委員会(2023)において『一般送配電事業者7社において、漏えいを禁じられている新電力の顧客に係る非公開情報が、関係の小売電気事業者側で閲覧可能となっており、実際に閲覧されていたことが判明した』とされるものである。法的分離では、送配電網を使用するライバル企業の情報をグループ内の競争事業分野に渡してはならないという強い理念・制約があるが、それが破られた形となった。これは、法的分離を補完する情報遮断という行為規制が機能していないことを示したものであり、送電部門の中立性を脅かす極めて大きな問題である。本推定では、第3次EU指令以降、欧州各国が取ったITOの形態も分析のため法的分離として含めた。ITOは法的分離の強化版であり、情報の取り扱いや人事に関して強い規制がある。そのため、本論文の法的分離の価格低下効果は、法的分離の強化版であるITOの効果も取り入れており、送電部門の中立性強化が価格低下に与えた影響も含んでいる。EUでITOに移行した法的分離が価格低下効果をもたらすことが示された今、日本もITOへと移行すべきインセンティブは大いにある。2011年に発効された第3次電力指令以降、欧州では法的分離はすべてITOに移行している。

さらに、情報漏洩の問題に完全に対処するのであれば、送配電部門と競争事業分野に対し、資本関係を解消する所有分離の適用についても検討する必要がある。本論文では、所有分離は静学分析において家庭用電灯価格を5%、動学分析において産業用電力価格を2.3%下げた効果が実証された。これだけでも所有分離について検討する価値があるが、最も重要なことはこのようなアンバンドリングが、電力自由化の理念である競争制限的なインセンティブを断ち切り、競争を促進させることにつながるからである。電力小売全面自由化は静学・動学の両分析を通じて産業用電力価格を下げるのが分かり、国際競争力の強化に資することが判明したが、電力小売全面自由化が功を奏するかどうかは、ひとえに市場において実質的な競争が行われているかどうかにかかっている。そして、その本質は、送配電部門の中立化によって、既存事業者と新規参入者との間に公平性が担保され、競争が実際に活発に行われるかどうかである。現状日本において、新規参入者は発電所を持っておらず、実質的な競争が起きているとはいえない。また、情報漏洩問題のような中立性が不十分の状況の中で、既存事業者のような巨大企業の小売部門と競争す

ることは容易なことではない。新規参入者の退出も多く見られる。競争を促進する具体的な解決策がすぐには見つからない中、情報漏洩などの競争制限的なインセンティブを断ち、公平な競争環境を担保するためにも、ITO そして所有分離についても検討していく必要がある。

何より、産業用電力価格の低廉化は、産業連関を通じてすべての産業に波及していく。冒頭の自動車を例に挙げれば、自動車は様々な部品から成り立っているが、それらの部品を製造するための電力価格が低廉化されれば、完成品の自動車のコストも大いに削減される。日本の GDP に占める製造業の割合は大きく、産業用電力価格の低廉化は日本の今後の経済成長を決定づける大きな要因となる。また、現在のインフレにより家計は逼迫しており、購買力低下の懸念があるが、これらのインフレはすべての生産活動の基盤となる電力価格の上昇に起因するところが大きい。電力価格低廉化のため、アンバンドリングなど制度的な面により解決できるものについては、欧州や諸外国、何より日本のこれまでの事例から学び、最適な制度設計を行う必要がある。

3. 周南市のエネルギー政策

本研究は欧州のデータを用いたので、日本、そして周南市に直ちに当てはまるかどうかについては注意が必要であるが、周南市はコンビナートなど産業が立地しており、産業用電力価格の低廉化は周南市の競争力を決定する極めて重要な要素である。

本論文から、産業用電力価格を下げるためには法的分離、そして自由化が有効であることが分かった。電力自由化の本質は、競争の促進にある。しかし、日本においては、新電力がバイオマス発電や地熱発電といった一部を除き発電所を持たないなど、実質的な競争が行われているとは言いがたい。また、法的分離にも中立性の問題が残る。このような問題を解決しなければ、日本は 2016 年に電力自由化を行ったが、その結果が出るとは言えないだろう。実質的な競争を促す競争環境の整備などの政策が急務であり、送電部門の中立性のより一層の強化、そして市場での競争の促進政策を今後市は考えていく必要がある。周南市はコンビナートの生産活動の副産物として純度の高い水素が採れるなど水素先進地である。これらの代替的なエネルギーを組み合わせ、今後より重要となる脱炭素の観点も含め、エネルギーの面から生産活動を活発化させていく方策を考える必要がある。

また、市民も電力価格の高騰に苦しんでいる。本論文からは、家庭用電灯価格を低下させるためには、法的分離、所有分離が有効であることを発見した。これらは、送配電網のより一層の中立性の強化が家庭用電灯価格を低下させることを示唆している。現在の法的分離における行為規制の遵守・強化など中立性強化の対策が求められる。また、所有分離は周南市だけで決められる問題ではないが、本論文では産業用電力価格を低下させる結果も出ており、既存事業者と、バイオマ

ス発電などを行う地域の発電事業者が公平な競争を行うことができているか市も監視し、その実施についても今後考えていくべきであろう。重要なことは、電力を含め、水素などエネルギー戦略についても、これまでのように日本全国レベルで考えるというのではなく、地域が独自の戦略を描き策定するという姿勢である。

また、今回直接日本の電力市場を分析せず、欧州を対象としたのは、日本は電力自由化以降必要なデータが取れないためである。今後の経済成長を決める電力について責任ある議論を行うためにも、データが公開される環境を整えるべきであろう。

【註】

- 1) ITO (Independent Transmission Operator : 独立送電運用機関) とは、発送電分離の一形態であり、表面的には法的分離と同様で、既存事業者による送電部門の所有を認めるものであるが、その上に厳しい行為規制を課すことで、所有分離に迫る中立性の確保を求めるものである。

【参考資料】

- Armstrong, M., Cowan, S., Vickers, J., (1994) “Regulatory Reform”, The MIT Press.
- Bacchiocchi, E., Florio, M., Gambaro, M., (2011) “Telecom reforms in the EU: prices and consumers' satisfaction.”, *Telecommunications Policy*. Vol.35, No.4, pp.382-396.
- Bacchiocchi, E., Florio, M., Taveggia, G., (2015) “Asymmetric effects of electricity regulatory reforms in the EU15 and in the New Member States: empirical evidence from residential prices 1990-2011.” *Utilities Policy*. Vol.35, pp.72-90..
- Baum, Christopher F., (2006). “An Introduction to Modern Econometrics Using Stata (StataCorp LP).”
- Brau, R., Doronzo, R., Fiorio, C.V., Florio, M., (2010) “EU gas industry reforms and consumers' prices.” *The Energy Journal*. Vol.31, No.4, pp.163-178.
- Cambini, C., Rondi, L., (2010) “Incentive regulation and investment: evidence from European energy utilities.” *Journal of Regulatory Economics*. Vol.38, No.1, pp.1-26.
- DECC. (2013) “More Interconnection: Improving Energy Security and Lowering Bills” Department of Energy and Climate Change.”
- Erdogdu, E., (2011) “The impact of power market reforms on electricity price-cost margins and cross-subsidy levels: a cross country panel data analysis.” *Energy Policy*. Vol.39, No.3, pp.1080-1092.
- Estache, A., Goicoechea, A., Manacorda, M., (2006) “Telecommunications Performance, Reforms, and Governance.” Policy Research Working Paper. World Bank, Washington, DC No. 3822.

- European Union, (2009) “*DIRECTIVE 2009/72/EC*” Official Journal of the European Union.
- Filippini, M., Wetzel, H., (2014) “The impact of ownership unbundling on cost efficiency: empirical evidence from New Zealand electricity distribution sector.” *Energy Economics*. Vol.45, pp.412-418.
- Fiorio, C.V., Florio, M., (2013) “Electricity prices and public ownership: evidence from the EU15 over thirty years.” *Energy Economics*. Vol.39, pp.222-232.
- Growitsch, C., Stronzik, M., (2014) “Ownership unbundling of natural gas transmission networks: empirical evidence.” *Journal of Regulatory Economics*. Vol.46, No.2, pp.207-225.
- Hattori, T., Tutsui, M., (2004) “Economic impact of regulatory reforms in the electricity supply industry: a panel data analysis for OECD countries.” *Energy Policy*. Vol.32, No.6, pp.823-832.
- Hyland, M., (2016) “Restructuring European electricity markets— a panel data analysis.” *Utilities Policy*. Vol.38, pp.33-42.
- Nagayama, H., (2009) “Electric power sector reform liberalization models and electric power prices in developing countries: an empirical analysis using international panel data.” *Energy Economics*. Vol.31, No.3, pp.463-472.
- Nagayama, H., (2007) “Effects of regulatory reforms in the electricity supply industry on electricity prices in developing countries.” *Energy Policy*. Vol.35, No.6, pp.3440-3462.
- Steiner, F., (2001) “Regulation, Industry Structure and Performance in the Electricity Supply Industry.” *OECD Economic Studies* No. 32, 2001/I.
- Sugimoto, K., (2019) “Does transmission unbundling increase power generation in the United States?” *Energy Policy*. Vol.125, pp.307-316.
- Wallsten, S., (2001) “An empirical analysis of competition, privatization, and regulation in Africa and Latin America.” *The Journal of Industrial Economics*. Vol.49, No.1, pp.1-19.
- 資源エネルギー庁 (2025a) 『今後の電力需要の見通しについて』
- 資源エネルギー庁 (2025b) 『電力システム改革の検証結果と今後の方向性(案)の概要』
- 経済産業省 (2013) 『電力システム改革専門委員会報告書』
- 電力・ガス取引等監視委員会 (2023) 『News Release 令和5年4月』
- 村岡浩次 (2010) 「電力小売全面自由化の費用便益分析」 『早稲田大学商学研究科紀要』第70号 pp.167-188.