

# 卸電力取引市場の価格形成モデルと市場監視

手 塚 広一郎

## 1. はじめに

小論の対象となる「規制」とは、大まかに言って、ある種の権限を持った政府（行政当局）によって、その活動が制限されることを指す。こうした規制には、独占禁止法を背景とした競争を促すことを意図した規制もあれば、それとは逆に、いくつかの目的の下で、競争それ自体を制限するような規制もある。後者の競争を制限する規制のひとつとして、経済的規制があげられる。ここで経済的規制は、自然独占や情報の偏在の市場の失敗に対処するために、参入・退出や価格設定などの経済活動に対して政府が課す規制とされている<sup>1)</sup>。電力やガスのようなネットワーク性を有し、必需性が高いとされる事業は公益事業（Public Utility）とも呼ばれ、自然独占などの性質から経済的規制が課されていた。

1970年代後半のアメリカにおける航空産業をはじめとして、電気通信産業、電力産業、ガス産業、交通産業など様々な分野で経済的規制の緩和ないしは撤廃（deregulation）が進展した。その結果、市場への参入・退出や価格決定に対する経済的規制が緩和・撤廃され、競争が促進されることとなった。このような規制改革は、価格の低下や市場拡大をもたらすことで、消費者への利益をもたらした。その一方で、公益事業が有する自然独占の性質によって、競争の進展が少数事業者への集約を促す問題やそれに伴う市場支配の問題が懸念されるようになった。そこで、こうした産業に対して、競争を促進し、「規制なき独占」に対応するという見地から、エッセンシャルファシリティ（不可欠施設）に対して規制が課される<sup>2)</sup>一方で、卸売分野や小売分野に対しては市場監視の強化がなされてきた。

規制改革が実施された後、公益事業ないしはネットワーク産業に対する市場監視は、様々な形で実施されている。とりわけ、電力やガス産業に対しては、小売全面自由化後の市場監視を実施するために「電力・ガス取引監視等委員会」が設立されている。ところで、市場監視の方法に関しては、集中度やマークアップなどを見るものなど、その枠組みが多岐にわたる。また、貯蔵困難性などのような電力を特徴づけるいくつかの性質は、その価格形成に対して影響を与えるであろうし、市場参加者の戦略的行動も同様に影響を与えるであろう。さらに言えば、不確実性下においては、その価格形成の帰結がさらに変化する。電力市場を監視するにあたっては、これらの諸点も考慮する必要がある。そこで小論では、次の3点の問題をとりあげる。第1に、「不確実性下の卸電力取引市場においてどのように価格が形成されるか」、第2に、「市場の監視にはどのような留意点があるか」、そして第3に、「それに対応するためにはどのような方法があるか」という問題である。

これらの問題に対して、小論では、これまで筆者たちが構築した価格形成モデル（Ishii and Tezuka, 2014a）の概要を紹介する。その上で、モデルを適用した市場監視の枠組み（Ishii and Tezuka 2014b）の分

析結果の一部を紹介することを通して、その適用可能性を検討し、論点を整理する。なお、小論は、新しいモデルを構築したり、実証結果を提示したりするものではなく、むしろ筆者たちのこれまでの研究を紹介することによって、特にモデルの解釈と適用の見地から、市場監視にかかる留意点などを整理することを主たる目的とする。

小論の構成は、次の通りである。まず、第2節において、これまでの電力システム改革の経緯について紹介する。次に、第3節において、財としての電力の性質を確認した上で、第4節において卸電力取引市場の監視とその留意点について整理する。第5節および第6節において、非協力ゲームを用いた卸電力取引市場の価格形成のモデルを紹介し、そのモデルを用いた枠組みによる市場監視の可能性について検討する。最後に、結論と今後の課題を述べる。

## 2. 電力システム改革の経緯と目的

最初に電力システム改革の経緯とその目的についてごく簡単に紹介する。周知のように、2016年4月に電力の全面自由化が実施され、その結果、小口需要家を含めたすべての需要家が小売需要家の選択をはじめとして、電力の取引を自由に行うことができるようになった。こうした電力市場への参入は2016年に至るまでに段階的に進められてきた。まず、1995年に独立系電力事業者による卸電力事業への参入規制が緩和された。その後、2000年以降、部分的に範囲を拡大する形で小売自由化が進展した。2000年3月には2000Kw以上の特別高圧で、大規模工場やデパート・オフィスビルのような大口需要家に対して自由化が実施された。この対象者は全体の26%にわたる。その後、2004年4月・2005年4月にはそれぞれ自由化領域が拡大され、500kw以上の高圧で中小ビルや中小規模工場などを対象に全体の40%にわたる自由化がなされた。その後、また2005年4月から2016年3月までは50kw以上で全体の63%にのぼる割合の需要家に対する自由化が実施された。2016年4月には、電力システム改革のもと、家庭や商店などの低圧を含んだすべての需要家に対して、小売全面自由化が実現している。一方で、電力の卸取引については、小売自由化の流れの中で、2003年11月に有限責任中間法人・日本卸電力取引所(JEPX)が設立され、2005年に電力卸取引が開始されている。最近では、2016年の小売全面自由化の影響もあり、近年急速に取引量(約定量)を増やしている。なお、JEPXは2009年に一般社団法人化されている。

2011年の東日本大震災をひとつの契機として、電力をはじめとしたエネルギーシステムの改革が進められている。エネルギーシステム改革には、電力だけでなくガスも含まれるが、このうち電力システム改革についていえば、次の通りである。(資源エネルギー庁 HP: [https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/energy\\_system\\_reform/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/energy_system_reform/)) まず、電力システム改革の目的は次の3点である。第1に、「安定供給の確保」がある。これは、「広域的な電力融通を促進すること、再エネや自家発電など多様な電源を活用すること、無理のない節電の仕組みにより、計画停電に頼らないシステムへ」移行することを目的としている。第2に、「電気料金の最大限抑制」がある。これは「企業間での競争を促進させ、電気の生産や販売を行う企業の創意工夫や経営努力を生み出す」ことを意図している。そして、第3に、「電気利用の選択肢、企業の事業機会の拡大」として、「一般家庭、企業を含めたすべての電気利用者が、自由に選べるようになることで、企業のビジネスチャンス、イノベーションを生み出す」ことを意図している。

このような電力システム改革の目的の下で、小売全面自由化では、①広域系統運用の拡大、②小売および発電の全面自由化、③法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保という3点を三段階

に分けて実施することとなった。これを受け、電気事業法は、2013年11月に第1弾改正、2014年6月に第2弾改正、2015年6月に第3弾改正が実施された。

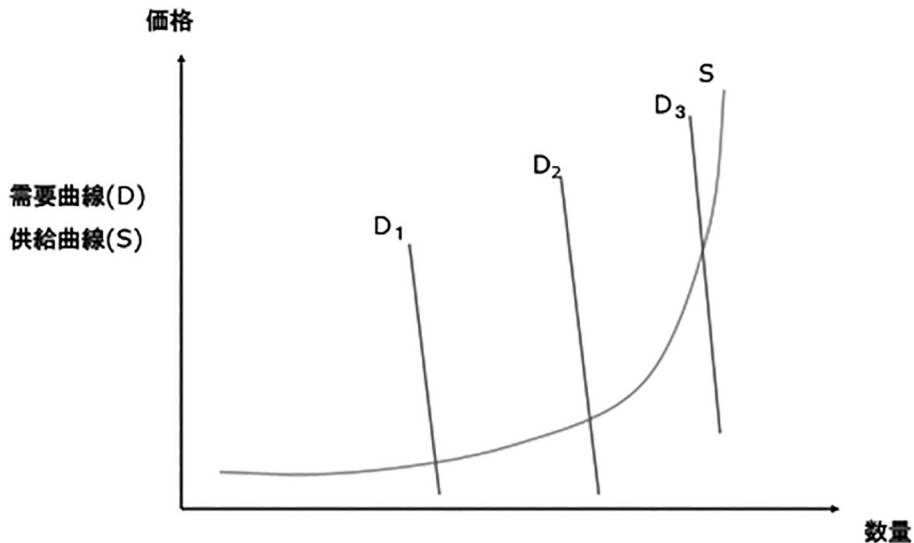
さらに、この一連の電力システム改革のもと、電力・ガス取引の市場監視などの機能を一層強化し、電力・ガスの適正な取引の確保や健全な競争を促すことを目的として、独立性と専門性を有する経済産業大臣直属の新たな規制組織が設立されている。この組織は、まず、2015年9月に「電力取引監視等委員会」として設立され、後に2016年4月にガス・熱供給業務が追加されることで、現在の「電力・ガス取引等監視委員会」となっている。同委員会は、「法律に基づき、事業者に対する報告徴収や立入検査、業務改善勧告、あっせん・仲裁など委員会単独で行う権限と、託送料金の認可や小売事業者の登録等に際して審査を行い、経済産業大臣に対し意見を述べたり、取引ルールについて経済産業大臣に建議する権限を行使して、電力・ガス・熱の適正取引の監視や、電力・ガスのネットワーク部門の中立性確保のための行為規制等を厳正に実施」するとしている。（電力・ガス取引等監視委員会 HP：<https://www.emsc.meti.go.jp/>）

### 3. 財としての電力の性質

次に、財としての電力の性質について確認しておこう。経済学的な見地から、電力を市場で取引の対象となる「財」として見た場合、その財を特徴づけるであろういくつかの性質がある。第1に、電力という財は瞬間的に消費されるため、大量の電力を貯蔵することが難しいという性質がある。こうした「貯蔵困難性」は電力という財を表す大きな特徴である。第2に、電力は各タイミングに応じて常に需要量と供給量を一致させなければならないという性質がある。これは「同時同量の原則」と呼ばれ、供給が過多であっても、あるいは需要が過多であっても、電力の質的な低下が発生する。したがって、「同時同量の原則」は、「貯蔵困難性」をより強めるような性質であるとも解される。第3に、供給面の性質として「容量（キャパシティ）の制約」の存在もあげられる。これは、ある容量を超えて供給することが困難であるという性質である。最後に、需要面から見て、短期的には「需要の価格弾力性が低い傾向にある」という特徴もあげられる。これは、電力が中間財であること、もしくは電力需要それ自体が派生的需要であり、本源的需要に依存していることに起因する。そのため、電力需要に対する価格弾力性は、本源的需要のそれよりも相対的に低くなる傾向がある、と考えられる。ところで、同様の性質を有した財は多く存在する。例えば、財としての海運サービスについてみても、貯蔵が困難であり、かつ容量制約があるという点が共通している。このような性質が一致することは、当該性質を有するモデルを構築することによって、その適用範囲が広いことを示唆している。

これらをふまえて、電力の価格形成とその性質についても簡単に確認しよう。図1は、きわめて簡略化された形ではあるが、容量制約がある供給曲線と非弾力的な需要曲線を例示したものである。この図1では、市場の限界費用曲線であるところの供給曲線Sに対して、複数の非弾力的な需要曲線（ $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ ）が書かれている。それぞれの需要曲線がシフトすることで、それに対応して価格が形成される。供給曲線Sについては、その形状が逓増している形をとる。つまり、限界費用が全体的に増加している一方で、当初の増分はあまり多くはなく、ある一定の生産量を超えると急激に増加する、という形状である。この状態は、供給における容量制約を表現している。生産量が容量に近づくことによって、限界費用が急激に上昇するように表すことで、容量を超えると供給が困難になることを示している。なお、しばしば推計される電力の限界費用曲線は、このようになめらかな形ではなく各発電設備に合わせた階段型（stepwise）の形状で想定ないしは推計されることが多い。

図1 非弾力的な需要曲線と容量制約をもつ供給曲線



このうち需要曲線  $D_3$  と供給曲線  $S$  の交点は、 $D_1$  と  $S$  の交点に比べて、縦軸であるところの価格が急激に高くなる。いいかえれば、需要曲線が小さな割合で容量に近付いただけで、市場の価格が急激に増加する。いま、供給曲線であるところの限界費用曲線に対して、非弾力的な需要曲線が実現する場所に定着して価格の変動が生じることを示唆している。例えば、 $D_2 \rightarrow D_3 \rightarrow D_1$  のような需要曲線のシフトが短期で起こると、シフトの幅は小さいものの、価格変動（ボラティリティ）が大きくなり、時として価格のスパイクという現象をもたらすことになる。ここで「スパイク」とは、きわめて短期間における急激な価格の上昇と下落を指す状況である。このことは、電力という財が上で述べた「貯蔵困難性」および「同時同量の原則」という2つの性質を有しない場合には、このような容量制約は緩和されることになる。なぜなら、あらかじめ財を蓄えておいて、容量制約が生じたタイミングで市場に放出すれば良いためである。

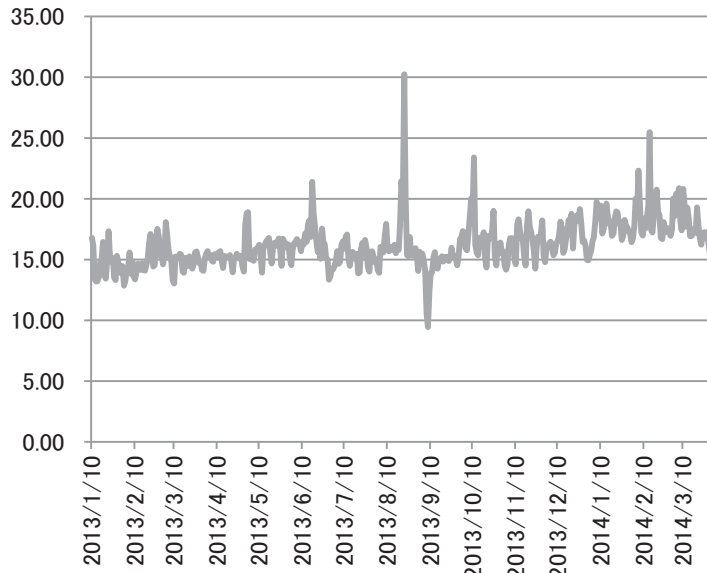
図2は、2013年1月1日から2013年12月31日の1年間のJEPXの1日前価格の推移を示したものである。この図から、しばしばスパイクが生じており、特に8月に大きなものが見て取れる。これらのスパイクは、容量制約に近い箇所での需要の実現によると考えられる。

#### 4. 卸電力取引市場の監視と分析上の留意点

電力取引には、卸売・小売双方の局面があるものの、以下小論では、卸取引市場に絞って検討しよう。電力卸取引市場を対象に市場監視を検討する場合、いくつかの枠組みが提示される。例えば、経済産業省「第3回制度設計ワーキンググループ事務局提出資料～卸電力市場の活性化について～」([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/kihon\\_seisaku/denryoku\\_system/seido\\_sekkei/pdf/03\\_04\\_02.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/kihon_seisaku/denryoku_system/seido_sekkei/pdf/03_04_02.pdf), 2013年10月25日)によれば、欧米での市場監視の方法の例として、いくつかの分類をしている。第1に「事業者行動分析」として、市場シェア、HHI (Herfindahl-Hirschman Index)、PSI (Pivotal Supplier Index)、RSI (Residual Supply Index)、RDA (Residual Demand Analysis) を見る方法がある。これは、市場支配力が実際に行使されたかを判断するものというよりはむしろ、集中度などを見ることで潜在的に市場支配力がどの程度あ



図2 JEPXのスポット（1日前）価格の推移



出所) JEPX ホームページ (<http://www.jepx.org/>) をもとに作成

るかを見るものである。市場支配力の行使に関連して、第2に「事業者行動分析」がある。これには、ラーナー指数（Lerner Index）、純収入基準値分析（Net Revenue Benchmark Analysis）、経済的出し惜しみ、物理的出し惜しみなどが含まれる。これらは、企業行動の結果として、市場成果に影響がないかを検証する分析がある。第3に、「シミュレーション分析」として、競争市場ベンチマーク分析や河川シミュレーションモデルなどがある。

このうち事業者行動分析に着目すると、市場のラーナー指数やマークアップを求めることはひとつの監視手段としてあげられる。マークアップとは、価格と限界費用とのかい離を表すものであり、完全競争市場を（望ましい）基準とすれば、このかい離は0になる。したがって、かい離の有無ないしはかい離の多寡を観察することによって、市場のパフォーマンスを評価することが可能となる。このためには、価格と限界費用（あるいは限界費用曲線）双方について算出したうえで、それを見る必要がある。

電力の卸取引市場に対する市場監視の留意点として2点想起される。第1に、市場のモニタリングにかかるトレードオフの問題があげられる。いま、市場監視を上述のような価格と限界費用のかい離 / マークアップの観察によって実施するとしよう。この場合、価格や限界費用の計算に際しては、多くの情報を必要とする。限界費用を例にあげれば、Borenstein et al. (2002) などに示されるように、電力市場の限界費用曲線の推計には、各プラントの費用情報などかなり多くの情報が必要となる。市場の監視者はこれらのデータを入手したうえで、分析・検討をすることが求められる。その一方で、市場参加者はどこまで監視者に対して自らの情報を提示すべきか、という問題が生じる。監視者がより厳密な枠組みで分析を進めるほど、多様かつ詳細なデータないしは情報が必要となる。しかし、市場参加者は市場競争のもとに置かれているとすれば、詳細な情報を提示するのは“手のうち”を明かしてしまうことにもつながる。この場合、当該事業者が運営上不利な立場になるという恐れだけでなく、もし市場参加者数が少ない場合それが結果として企業間の暗黙の協調行動をもたらしたりする恐れもある。そのため、情報の提供に関してはある種のトレードオフの状態にあるといえ、限られた情報量の下で効率的な監視を

することが求められる。

第2に、不確実性の問題があげられる。不確実性下では、市場参加者の意思決定はリスクに対する態度に依存する。もし市場参加者の大半がリスク回避的であり、なおかつ不確実性の高い市場であるならば、市場参加者はリスクを負担することに対する対価を求めるであろう。これは、リスクプレミアムと呼ばれている。いま、ある市場でマークアップの存在が確認された場合、不確実性がない市場であれば、これは市場集中等の影響をそのまま検討すればよい。それに対して、不確実性がある市場であれば、マークアップの中にリスクプレミアムが含まれるかもしれない。そうであるとすれば、リスクプレミアムの上乗せは、市場集中による要因とは、別のものとして評価する必要がある、と考えられる。

後者の不確実性に関連して、若干付記する。筆者らのこれら一連の研究のひとつとして、貯蔵困難性のある財の市場において、不確実性のもとでリスクプレミアムがいかに形成されるかという問題がある。上述のように、リスクプレミアムとは、リスク負担に対して市場参加者が要求する対価を意味する。リスクプレミアムの表現について、次のようなアプローチが採用されている。ひとつは、リスクに対する態度（危険回避的、危険中立的、および危険愛好的）について、絶対的リスク回避度一定型（CARA, constant absolutely risk aversion）の効用関数を用いて表現し、先渡し市場とスポット市場の需要と供給の均衡においてリスクプレミアムを表現しようという試みである。このアプローチは、同じような貯蔵困難性の性質を持つ海運市場を対象として、Tezuka et al. (2012) および Ishizaka et al. (2018) にてモデル構築やリスクに対する態度のパラメーターのカリブレーションなどがなされている。

もうひとつは、非協力ゲームの枠組みを用いて、企業が供給曲線を戦略的に提示する状況の下で（おおまかにいって戦略に価格表を提示する状況の下で）、実現した均衡スポット価格と限界費用とのかい離にリスクプレミアムが含まれると解釈するものである。これらの枠組みはそれぞれ全く異なるものではあるものの、いずれも不確実性下での価格形成とそれにかかわるリスクプレミアムの存在に関連した内容という点で共通している。以下、小論では、後者の非協力ゲームを用いたスポット価格の形成を表したモデルの概要を紹介する。

## 5. 非協力ゲームに基づくスポット価格形成とその性質

### 5.1 容量制約のない線形の供給曲線の下での均衡価格式

Ishii and Tezuka (2014a) は、非協力ゲームの枠組みを用いて、各市場参加者が戦略的な行動の下での均衡スポット価格を求め、それによってリスクプレミアムの性質を検討した。つまり、各事業者の戦略的な行動の結果、均衡価格が限界費用からかい離するという前提での分析なされている。これを便宜上 Ishii and Tezuka モデルと呼ぶことにする。ここで、Ishii and Tezuka (2014a) では、上述のように、電力という財の持つ2つの性質、すなわち「貯蔵困難性」と需給を常に一致させるという「同時同量の原則」に着目した上で、これらの性質を持つ財の市場の均衡価格式を非協力ゲームの枠組みを用いて導出した。同論文では、需要が不確実であり、なおかつ取引される財が非弾力的であるケースにおけるナッシュ均衡価格式を導出している。より正確に言えば、Ishii and Tezuka (2014a) では、需要が弾力的なケース、言い換えれば需要曲線に傾きがあるケースの均衡価格式も導出しているものの、データ分析において非弾力的な需要を想定した上で分析をしているためここでは非弾力的なケースを説明する。

なお、このモデルでは、各企業は戦略的に供給関数を市場に提示できるという想定をしている。需要量が実現する前に、各市場参加者が直面する限界費用曲線に対してある一定の上乗せした分の供給関数を提示する。この上乗せの程度 ( $\lambda$ ) が各市場参加者の戦略となる。いま、限界費用曲線が線形でなおかつ

つλが正であれば、限界費用曲線の切片にλの値分だけ上乗せされた値が供給曲線となり、供給曲線は限界費用曲線と平行に上へシフトする。（したがって、ここでは限界費用曲線と供給曲線は、λ=0のケースを除いて、異なるものと想定している。）各市場参加者が提示した供給曲線は、取引所（Market maker）が集計し、これを取りまとめて市場全体の供給曲線を求める。需要が実現した後、需要曲線（非弾力的な場合は需要量）と市場全体の供給曲線の交点においてスポット価格が決定される。

不確実性下で市場参加者が供給関数を提示するアプローチとして、供給関数アプローチ（Supply Function Approach）がある。このアプローチは Klemperer and Meyer（1989）によって設けられ、Green and Newbery（1992）、Green（1996）、Newbery（1998）、および Holmberg（2007）などによって電力市場に適用された。ただし供給関数アプローチと本モデルでは、次のことが異なる。第1に、供給関数アプローチでは、需要の分布にスポット価格が影響を受ける一方で、本モデルでは各市場参加者は利潤のα-quantileのみを見て意思決定するため、分布の形状には必ずしも影響を受けないこと。第2に、このモデルでは、各企業は自らの供給曲線を提示するということなどである。

ここで、限界費用曲線および供給曲線が線形であること、需要が不確実かつ完全に非弾力であること、各企業（総数  $n$ ：正の整数）が自らの目的関数（利潤のα-quantileの最大化）にしたがって戦略的に供給関数を提示することなどを仮定すると、非協力ゲームの枠組みに基づき、次のような Nash 均衡価格式が導出される。すなわち、

$$\phi(Z, s^*) = \frac{aZ}{n} + b + \frac{az_\alpha}{n(n-1)} \quad (1)$$

この（1）式について、 $\phi$ は市場における均衡スポット価格、 $n$ は市場における企業数、 $Z$ は需要量を表す確率変数である。また、 $a, b$ は定数であり、同質的な企業の直面する線形の限界費用の傾きと切片をそれぞれ表している。 $\alpha$ は、確率を表しており、 $z_\alpha$ は、需要量のα-quantileであり、例えば、 $\alpha$ が0.5であれば、需要の中位数（メディアン）を表す。この $\alpha$ は、外生的に与えられるものと仮定されている。きわめて大雑把な表現をすれば、 $\alpha$ の値が小さいほど、分布の左を意識することになり、実現する結果に対してより“手堅い”状態を意識するようになる（ $\alpha$ の値が大きい場合はその逆の結果になる。）

さらに、この（2）式についてみると、右辺第1項と第2項の $\frac{aZ}{n} + b$ は、各企業の限界費用曲線であり、右辺第3項の $\frac{az_\alpha}{n(n-1)}$ は、市場全体の価格の限界費用との差であるところのマークアップを表している。この項が重要な意味をもつ。右辺第3項のマークアップは2つの要素から構成される。ひとつは、市場の集中度を表す項であり、もうひとつは、市場参加者のリスクに対する態度である。

第1に、市場の集中度を反映する項とは、（1）式の右辺第3項のうち、 $\frac{1}{n(n-1)}$ にあたる部分である。これは、企業数が少ない（ $n$ の値が小さい）ほど、マークアップが大きくなることを意味する。企業数の少ない状態は、市場の集中度が高まることと関連付けることができる。

第2に、リスクプレミアムに影響を与える変数は、この項の $Z_\alpha$ である。ここで、他の条件を一定として、 $\alpha$ の値が大きいほど、限界費用とのかい離が大きくなる。ここでの限界費用のかい離分が大きくなればなるほど、市場参加者がよりリスク負担に対する対価を要求していることを、言い換えればリスクプレミアムが大きくなることを意味している。逆にいえば、この項は、市場参加者のリスクに対する

態度が均衡価格に影響を与えているということを示している。

このように、Ishii and Tezuka (2014) のモデルでは、総じて、右辺第3項は、価格の限界費用からのかい離が、集中度とリスクプレミアムという2つの要因から構成されていることを示している。また、この論文では、価格と限界費用のかい離について特定の電力市場に適用して実証分析している。この点については、第6節にて紹介する。

## 5.2 容量制約付きの非線形の供給曲線のケース

ところで、Ishii and Tezuka (2014a) の設定は、市場参加者の数が  $n$  社存在するという形で一般化されているという利点がある。しかしながら、想定される供給曲線が線形であるために、容量制約を表現することが難しい。実際のところは、図1のような市場の供給曲線の下で、容量制約を表現することが必要となる。

石井・手塚 (2007) は、このような設定の下での、2つの事業者が供給曲線を戦略的に提示する下での均衡スポット価格の導出している。ここで、各企業の提出する供給曲線は、次のように与えられる。まず、限界費用曲線は、次のように与えられる。いま、市場には2つの企業  $j=1,2$  のみ存在していると仮定する。このとき、第  $j$  番目の事業者の限界費用関数  $f_j(x)$  と供給関数  $g_j(x, \lambda_j)$  は次のように与えられる。

$$f_j(x) = \frac{a}{r-x} + b \quad x \in [0, r) \quad (2)$$

$$g_j(x, \lambda_j) = \frac{a(1+\lambda_j)}{r-x} + b, \text{ for } (x, \lambda_j) \in [0, r) \times [0, \infty) \quad (3)$$

ここで、 $a, b, r$  は、正の定数である。また、 $x$  は供給量を表しており、この取引量  $x$  は容量であるところの  $r$  を超えることができないと仮定している。また、前述のように  $\lambda_j$  は戦略を表す変数である。もしこの  $\lambda$  が0であれば、提示される曲線は限界費用曲線と等しくなる。それに対して  $\lambda$  が正であれば、大まかに言って限界費用曲線に“上乗せ”が生じることになる。このとき、ある条件のもとでナッシュ均衡価格が存在する。

このような設定の下で導出された均衡価格式<sup>3)</sup>に、比較静学を適用することによって、いくつかの結果が見出されている。具体的には、①均衡において供給における価格弾力性が低いほど、均衡価格が高くなる。②リスク回避的な態度を示すほど ( $\alpha$  の値が小さいほど) 均衡価格が低くなること。③容量が大きくなるほど均衡価格が低くなること、④容量が十分に大きくなるとリスクプレミアムがゼロになること、などである。

このうち①が供給の性質と均衡価格との関係を、そして②がリスクに対する態度と均衡価格との関係を示しており、これは線形のケースとほぼ同様の結果を得ている。それに対して、③と④については容量に関する性質を表している。ここでは市場において全体の取引量が増加し、過剰になると結果として均衡価格が減少することを意味している。これに関連して、⑤の帰結として、事業者は容量を拡張することによって利益が減少することから、基本的には容量を増加するインセンティブを持ちにくいことも示唆している。

これらの帰結は、われわれの直感とも整合的であるように見える。実際にこの式をもとにして数値計算をして、これを解釈することによって、電力の性質を明らかにしたり、市場監視に適用したりもでき



る。筆者たちの分析であるが、手塚・石井（2008）では、この容量制約があるモデルをもとに、米国の ISO（独立系統運用機関）である PJM（Pennsylvania, New Jersey and Maryland）の市場を対象にスポット価格をカリブレートした。それを用いて、ヒストリカルデータ（実際のスポット価格のデータ）、完全競争市場、および市場参加者の  $\alpha$ -quantile が 0.05（5%）と 0.01（1%）の 4 つのケースに分けて、それぞれ価格の推移を示し、これを比較した。その結果、 $\alpha$ -quantile の値が大きいほど、言い換えれば、リスクに対して相対的に積極的な態度をとるほど、価格変動が大きくなり、そのスパイクも大きくなることが示された。ただし、この結果は、2 社の寡占モデルを適用したものであるため、企業数の多さによる影響をとらえることができない。加えて、リスクに対する態度、集中度、およびマークアップそれぞれとの関係について、このままでは評価しにくいという課題などが残されている。

## 6. 卸電力取引市場の監視への適用可能性

ふたたび、5.1 で示した線形の供給関数のケースに戻り、このモデルの市場監視への適用可能性について検討しよう。Ishii and Tezuka（2014a）では、(1) 式で示された均衡価格式をもとにして、スポット価格と取引量（取引約定量）のデータのみを用いて、マークアップの有無を確認し、マークアップが存在する場合には、リスクに対する態度の度合いと市場集中の度合いに分解するための分析の枠組みを提示した。ここで要因分解の具体的なイメージは図 3 の通りである。この図で縦軸はリスクに対する態度（リスクプレミアムを反映）、横軸は企業数の推定値（集中度を反映）をそれぞれ表している。現実の電力市場に対して、モデルで想定される市場のなかで最も近い距離にある点を選択する。この図 3 の場合、3 つの点の中では Modeled market 3 が最も近い距離にあるため、これが採用され、この点からリスクに対する態度と企業数の推定値がそれぞれ決定される。

この枠組みを適用した例として、Ishii and Tezuka（2014b）の結果の一部のみを示すこととする。この表は、PJM の 2006 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの日次のスポット価格（一日前価格）と取引量のデータを用いて、マークアップの有無とそれぞれの要因に分解した様子を示したものである。（出典は、<https://www.pjm.com/>）この枠組みの詳細な手続きや根拠については、Ishii and Tezuka（2014a）の“4. Numerical Example”の内容に委ねることとするものの、きわめて大まかに言って、以下のことが示されている。

この表では、重回帰（multiple regression）と単回帰（simple regression）の 2 つの結果が示されている。前者の重回帰はいくつかの仮定の下で AIC（赤池の情報量基準）を最小にするような  $\alpha$ -quantile の値を求め、それを取引量などとともに回帰したものである。後者の単回帰は、価格を取引量で回帰したもの

図 3 マークアップの要因分解のイメージ

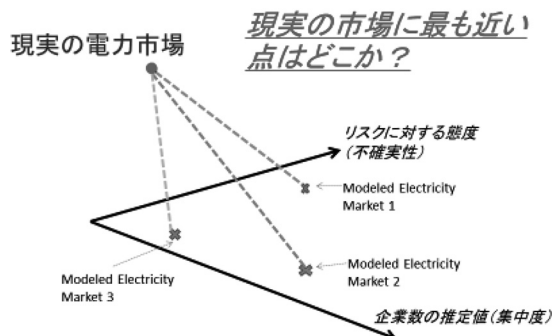


表1 PJM 市場の分析結果

Results of regression analysis for the entire period

Entire period (2006/4/2-2014/9/30)

Multiple regression

|                                        | Estimate   | Std. Error | t value   | P(> t ), P(>F) |     |
|----------------------------------------|------------|------------|-----------|----------------|-----|
| $\alpha$ -quantile that minimizes AIC  | 6.00000    |            |           |                |     |
| $\alpha$                               | 1.00000    |            |           |                |     |
| Intercept                              | -1.16700   | 3.06900    | -0.38000  | 0.70400        |     |
| Coefficient of trading volume          | 0.00006    | 0.00000    | 26.04000  | 0.00000        | *** |
| Coefficient of $\alpha$ -quantile      | -0.00003   | 0.00000    | -12.96000 | 0.00000        | *** |
| F-statistic                            | 443.60000  |            |           | 0.00000        | *** |
| Adjusted R-squared                     | 0.22300    |            |           |                |     |
| AIC                                    | 9234.91100 |            |           |                |     |
| Estimated number of firms              | -1.26956   |            |           |                |     |
| Estimated slope of marginal cost curve | -0.00007   |            |           |                |     |
| Average mark-up                        | -68.58236  |            |           |                |     |

\*\*\* 1% significance \*\* 5% significance \* 10% significance

Simple regression

|                               | Estimate   | Std. Error | t value  | P(> t ), P(>F) |     |
|-------------------------------|------------|------------|----------|----------------|-----|
| Intercept                     | -22.62000  | 2.65400    | -8.52500 | 0.00000        | *** |
| Coefficient of trading volume | 0.00003    | 0.00000    | 26.11800 | 0.00000        | *** |
| R-squared                     | 0.18110    |            |          |                |     |
| AIC                           | 9313.98600 |            |          |                |     |

\*\*\* 1% significance \*\* 5% significance \* 10% significance

AIC  
9234  
<  
AIC  
9313

出所) Ishii and Tezuka (2014b)

に他ならない。この表の単回帰の AIC の値と重回帰のそれとを比較し、AIC の値の低い結果を採用する。この場合は、重回帰の結果が採用されることとなり、マークアップの存在が示唆される。また、重回帰の表については、取引量および  $\alpha$ -quantile の係数ともに有意である。しかしながら、 $\alpha$ -quantile の係数は負の値をとっていること、推計される企業数（集中度を反映した指標）も同様に負の値をとっており、その結果、マークアップも負の値が観測されている。したがって、この市場がむしろ競争市場に近いものであったことが示唆される。付記することとして、当該年度である 2007 年に PJM が発行した *State of Market Report*<sup>4)</sup>でも、この時期の PJM の市場では負のマークアップが存在したことが確認されており、少なくともこの結果とは整合的であった。

以上の分析では、戦略的に提示される供給曲線および限界費用曲線を線形と仮定しているため、容量制約の表現が難しい。また、長期にわたって期間をとると供給曲線自体が粗いものとなる。これに対応するためには非線形の供給曲線を用いる必要がある。小論で示したようなモデルの適用については、他にも実施上の課題は残され、改善の余地は大きいといえるものの、価格と取引量という少ない情報でマークアップの有無やリスクに対する態度などを評価できるという意味で、この枠組みは簡便に市場監視するためのツールになり得ると考えられる。

## 7. 結論と今後の課題

小論では、電力の小売自由化の経緯や電力システム改革の概要などを説明した上で、次の 3 つの問題を扱った。第 1 に、「不確実性下の卸電力取引市場においてどのように価格が形成されるか」、第 2 に、

「市場の監視にはどのような留意点があるか」そして第3に、「それに対応するためにはどのような方法があるか」という問題である。第1の問題に対しては、非協力ゲームの枠組みを用いた Ishii and Tezuka モデルとそこから導出された均衡価格について、容量制約がないケースと容量制約があるケースの2つに分けて、ごく大まかな概要と帰結を紹介した。第2の問題については、小論の第4節で、公開される情報量と“手の内”を明かすことによるコストにはトレードオフの関係があること、不確実性下ではリスクプレミアムも考慮する必要があること、という2つの留意点があることを指摘した。この点をふまえて、第3の問題に対しては、Ishii and Tezuka モデルが不確実性下の均衡価格ではマークアップを集中による部分とリスクプレミアムの部分に要因分解できるデータ分析の枠組みを示した上で、これを PJM 市場に適用した数値例を示した。その際、マークアップの存在が示されたものの、それが負の値をとっており、むしろ競争的な環境である可能性も示唆されている。

これら一連の取り組みに対して、今後の課題としては、次の諸点があげられる。第1に、小論では市場の監視に際して電力の卸取引市場のみに着目し、小売には言及していない。消費者利益の保護などの観点から小売市場の監視も重要なテーマであることから、検討は別の機会に委ねたい。第2に、モデルに際して非協力ゲームに基づく分析について、供給関数が線形のモデルは  $n$  社まで拡張されている一方で、容量制約がありかつ供給関数が非線形のモデルは市場に2つの企業しか存在しないという仮定を置いている。これを  $n$  社まで拡張したうえで、そこから導出されたナッシュ均衡価格を用いて、線形モデルのような数値計算をすることも求められる。第3に、線形モデルについても、同質的な市場参加者の仮定を緩めて均衡価格を求めるなどの展開も考えられる。加えて、第6節で紹介したデータ分析の枠組みも、上で述べたように多くの改善の余地がある。しかしながら、この枠組みは、少ない情報でマークアップなど市場成果を評価できるという点で、市場監視に有用なツールになりうる、と考えられる。

最後に付記すべきこととして、このような研究は、他の同様の性質をもった財・サービスに対しても利用可能である、ということがあげられる。例えば、海上輸送の中でも不定期船サービスは、貯蔵ができないなど電力と似たような財の性質を有しており、取引市場も存在するため、この枠組みの大部分を適用できる可能性がある。これらの検討についても、他の残された課題と同様、別の機会に委ねることとしたい。

## 注

- 1) 経済的規制の対義語として社会的規制がある。これは、安全規制や環境規制などが対象となる。これら経済的規制および社会的規制の詳細については、植草（1991）もしくは植草編（1997）を参照されたい。
- 2) エッセンシャルファシリティに対する規制については、ここでは詳しく取り上げない。例えば、小田切（2017）を参照されたい。
- 3) ここでは、均衡価格を明示せず、その含意のみを紹介する。詳細は、石井・手塚（2007）を参照されたい。
- 4) PJM の市場監視の報告書として *State of Market report* が毎年発行されている。詳細は、[https://www.monitoringanalytics.com/reports/PJM\\_State\\_of\\_the\\_Market/2007.shtml](https://www.monitoringanalytics.com/reports/PJM_State_of_the_Market/2007.shtml) を参照されたい。

## 参考文献

石井昌宏・手塚広一郎（2007）「非協力ゲームの枠組みを用いた電力取引市場における市場支配力の分析」『公益事業研究』第59巻、第3号、pp.33-41。

植草 益 (1991)『公的規制の経済学』筑摩書房.

植草 益編 (1997)『社会的規制の経済学』NTT 出版.

小田切宏之 (2017)『競争政策論・第2版』日本評論社.

手塚広一郎・石井昌宏 (2008)「電力スポット価格形成モデルを用いた PJM 市場の分析」『社会経済研究 (電力中央研究所)』第56巻, pp.25-35.

Borenstein, S., Bushnell J. B., and Wolak, F. A., (2002) “Measuring Market Inefficiencies in California's Restructured Wholesale Electricity Market,” *American Economic Review*, Vol. 92, pp. 1376-1405.

Green, R. J. (1996) “Increasing Competition in the British Electricity Spot Market,” *Journal of Industrial Economics*, Vol. 44, pp. 205-216.

Green, R. J. and Newbery, D. (1992) “Competition in the British Electricity Spot Market,” *Journal of Political Economy*, Vol. 100, pp. 929-953.

Holmberg, P. (2007) “Supply Function Equilibrium with Asymmetric Capacities and Constant Marginal Costs,” *Energy Journal*, Vol. 28, pp. 55-82.

Ishii, M., and Tezuka, K. (2014a) “An Oligopoly Model for Market Performance Analysis with an Application to Electricity Market,” *Institute of Economic Research Chuo University Discussion Paper*, No. 226.

————— (2014b) “Market power vs Risk premium: PJM and JEPX,” *Proceedings of IAEE (International Association for Energy Economics) 2014 Conference*, NY.

Ishizaka, M., Ishii, M., and Tezuka, K. (2013) “Evaluation of risk attitude in the shipping freight market under uncertainty,” *Maritime Policy and Management*, Vol. 45, No.8, pp.1042-1056.

Klemperer, P. D., Meyer, M. A. (1989) “Supply Function Equilibria in Oligopoly under Uncertainty,” *Econometrica*, Vol. 57, pp.1243-1277.

Newbery, D. (1998) “Competition, Contracts, and Entry in the Electricity Spot Market,” *RAND Journal of Economics*, Vol.29, pp.726-749.

Tezuka, K., Ishii, M., Ishizaka, M. (2012) “An equilibrium price model of spot and forward shipping freight markets,” *Transportation Research Part E*, vol. 48, No.4, pp.730-742.