RIETI Discussion Paper Series 20-J-040

日本卸電力取引所の前日価格の低下要因に関する分析：再生エネルギー普及とコロナ禍による需要減少を中心として

池田 真介
小樽商科大学

RIETI
Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA
独立行政法人経済産業研究所
https://www.rieti.go.jp/jp/

RIETI Discussion Paper Series 20-J-040
2020 年 10 月

日本卸電力取引所の前日価格の低下要因に関する分析：再生エネルギー普及とコロナ禍による需要減少を中心として*

池田 真介（小樽商科大学）

要　旨

日本卸電力取引所で公開されている前日スポット市場での取引価格、取引量、売り入札量、買い入札量の 2015 年 3 月 30 日から 2020 年 7 月 9 日までの日次データを分析した。まず、1 日内の 48 半時間帯に関する中央値を日次観測値とする時系列データの分析から、(a) 連系線使用権の間接オークション開始以降、売り入札量・買い入札量・取引量が強い周期的連動性を伴う上昇トレンドに従っていること、(b) 取引量が買い入札量の非常に安定した割合（約 83%）で推移していること、を発見した。また、(c) 取引所の監査報告書から需要・供給の価格弾力性を推計し、それが価格・取引量比率の推移と類似していることを示した。さらに、平日・週末祝日別の日内 48 半時間帯に関する横断的データの分析から、(d) 第 1、2 四半期における日内昼間の売り入札量が年々高くなっており、(e) 平日よりも週末祝日の方がこの傾向が強くなることを確認した。以上の分析に基づく知見から、再エネ電力が直近のコロナ禍中における低い卸電力価格に及ぼした影響と、取引所で公表されていない市場需要曲線に与える含意を考察した。

キーワード：卸電力取引所、前日価格、太陽光発電、コロナ禍、需要曲線
JEL classification: C20, L94, Q41

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

*本稿は、独立行政法人経済産業研究所（RIETI）におけるプロジェクト「2020 年後における電力市場設計の課題」の成果の一部である。本稿の原案に対して、経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会の方々から多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して、感謝の意を表したい。

１．　背景と問題意識

卸電力取引所(Japan Electric Power Exchange、以下では JEPX と略称)は一日 24 時間を 48 の半時間（30 分間）に分割し、それぞれの半時間帯での電力需要と電力供給をマッチングさせるための前日市場（スポット市場）である。この市場で需給を均衡させる価格はシステム・プライスと呼ばれ、日本の当該半時間帯の電力需給の状況を要約するシグナルである。このシステム・プライスは、高価な場合には特に社会や政策当局からの注目を集めてきた。例えば、記録的な猛暑の影響で、2018 年 7 月 24 日（火）から 7 月 25 日（水）のピークタイム（13:00-16:00）直後にシステムプライスは初めて 100 円/kWh を記録した（日経 XTech、2018)。また、2018 年 10 月から 11 月の週末（土日）九州エリアで再生可能エネルギーの実需給面での出力制御が事前に公表されていた（それほど需給バランスが緩んでいた）にもかかわらず、実自給前日のスポット価格が十分に下がらなかったことが政策的な課題として認識された（経済産業省, 2018b; 2019a)。

他方で、最近はシステムプライスの持続的な低下が指摘されている。2020 年 4 月のシステムプライスの 24 時間平均が同年前月比でも 4 銭～８５銭安であること、前年同月比では３円安以上となることが報道された（電気新聞、2020)。また 2020 年 5 月には一般のメディアでもスポット価格が「ほぼ 0 円」となったことがコロナ禍による経済低迷の象徴として取りざたされた（日本経済新聞、２０２０；読売新聞、２０２０)。本稿は、これまであまり学術的な研究対象にならなかった価格低下に注目する。特に、日本がコロナ禍に見舞われた 2020 年第 2 四半期の価格低下の要因を、JEPX が公表しているデータを様々な角度から分析することで把握しようとするものである。

筆者は以前、2005 年 8 月 9 日から 2015 年 3 月 29 日までの期間の JEPX における取引データを用いて、黎明期の JEPX における非流動性について分析した（Ikeda, 2019)。この期間内には、今日の日本のエネルギー政策の大前提となる歴史的なイベントと政策的対応－東日本大震災、それによる福島の原子力災害と原子力政策の大きな変更、再生可能エネルギーの固定価格買取制度の発足、など－が続き、JEPX はその都度翻弄されながら薄商いの市場として低空飛行を続けていた。本論文は、その後、断続的な市場活性化策と再生可能エネルギー政策の進展により、Ikeda (2019)の標本期間とは大きく変貌した JEPX に関する基礎的な論考を与えるものである。

２．政策の流れ

本節では、JEPX に関わる政策の流れと、いくつかの歴史的な外生的イベントの歴史を以下のような年表の形でまとめる。

2005 年 08 月 07 日(日)	・JEPX スポット取引量がゼロを記録した最後の日
2011 年 03 月 11 日(金)	・東日本大震災発生
2012 年 07 月 01 日(日)	・「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(“FIT 法”、いわゆる固定価格買取制度) 施行
2013 年 02 月 25 日(月)	・旧一電のブロック入札と「自主的取り組み」開始
2013 年 04 月 02 日(火)	・「電力システム改革に関する改革方針」閣議決定
2016 年 04 月 01 日(金)	・電力小売り自由化の開始 ・回避可能原価全国値がスポット・時間前市場価格の加重平均に
2017 年 04 月 01 日(土)	・「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法等の一部を改正する法律」(“改正 FIT 法”) 施行 ・FIT 送配電買取制度の開始 ・旧一電がグロス・ビディングを開始
2018 年 09 月 06 日(木)	・北海道胆振東部地震発生
2018 年 10 月 01 日(月)	・連系線利用ルールが先着有線方式（相対取引でも可）から間接オークション（取引所取引のみ）に変更
2019 年 04 月 27 日(土)	・新天皇即位に伴う 10 連休の開始（5 月 6 日（月）まで）
2020 年 02 月 05 日(水)	・ダイアモンド・プリンセス号の 2 週間検疫が開始
2020 年 02 月 23 日(日)	・JEPX システムプライスが初めて 0.01 円/kWh を記録
2020 年 02 月 28 日(金)	・北海道で新型コロナウイルス感染に関する緊急事態宣言
2020 年 03 月 13 日(金)	・「新型コロナウイルス感染症を新型インフルエンザ等対策特別措置法の対象とする改正法」(“改正特措法”) が可決
2020 年 04 月 07 日(火)	・埼玉、千葉、東京、神奈川、大阪、兵庫、福岡で緊急事態宣言
2020 年 04 月 16 日(火)	・全国に緊急事態宣言を拡大（2020 年 5 月 6 日まで）
2020 年 05 月 04 日(月)	・緊急事態宣言の 5 月 31 日までの延長が決定
2020 年 05 月 14 日(木)	・北海道、埼玉、千葉、東京、神奈川、大阪、京都、兵庫以外で緊急事態宣言の解除
2020 年 05 月 21 日(木)	・京都、大阪、兵庫で緊急事態宣言の解除
2020 年 05 月 25 日(月)	・全国で緊急事態宣言の解除

表１．日本の卸電力市場に関連する政策と外生的なイベント

また、本稿の標本期間は、以下の表にあるように東日本大震災直後に停止されていた原子力発電所が徐々に再稼働していく過程と重なっている（再稼働した原子力発電所のいくつかは現在定期点検のために再停止している）。

2015 年 08 月 11 日（火）	・九州電力川内原子力発電所 1 号機再稼働
2015 年 10 月 15 日（木）	・九州電力川内原子力発電所 2 号機再稼働
2016 年 08 月 12 日（金）	・四国電力伊方発電所 3 号機再稼働
2017 年 06 月 16 日（金）	・関西電力高浜発電所 4 号機再稼働
2017 年 07 月 04 日（火）	・関西電力高浜発電所 3 号機再稼働
2018 年 03 月 14 日（水）	・関西電力大飯発電所 3 号機再稼働
2018 年 03 月 23 日（金）	・九州電力玄海原子力発電所 3 号機再稼働
2018 年 05 月 09 日（水）	・関西電力大飯発電所 4 号機再稼働
2018 年 06 月 16 日（土）	・九州電力玄海原子力発電所 4 号機再稼働

表２．原子力発電所の再稼働の流れ

表 2 から明らかなように、これまで再稼働された原子力発電所はすべて西日本エリアに位置するものである。また、特に九州電力エリアは太陽光発電が盛んである。したがって、本稿の標本期間においては、エリア間電力融通は基本的に西から東へと流れ、西日本エリアプライスは東日本エリアプライスよりも安価となる傾向がある。

3. データと市場の概要

本研究で扱う主要データは JEPX の日次 48 半時間毎の取引データである。データ期間は 2015 年 3 月 30 日（月）から 2020 年 7 月 9 日(日)の 1925 日（275 週）間である。以下では、西暦 20XY 年第 Z 四半期を QZ:XY で表すことにする。例えば 2016 年第 2 四半期（2016 年 4 月 1 日から 2016 年 6 月 30 日まで）は Q2:16 と表される。また、日内の各半時間帯を「コマ」と称することがある。

JEPX は、ブラインド・シングルプライス・オークション制を採用している。これは、ミクロ経済学の教科書に出てくるような、個別の買い手の需要曲線を数量軸方向に足し合わせた右下がりの買い入札曲線＝市場需要曲線と右下がりの売り入札曲線＝市場供給曲線の交点で均衡取引量と均衡価格を定めようとするものである。交点の価格座標の値である均衡価格は、システムプライス（単位：円/kWh）と呼ばれ、交点の入札量座標の値は（均衡）取引量（単位：MWh/h）となる。曲線、といっても、各入札者の個別入札階段を入札量方向へ足し合わせたものなので、市場全体でみてもやはり階段状のものである。なめらかな曲線ではない階段どうしの交点は複数存在することがあるが、その場合でも両階段は単調非

減少・単調非増加なため、最も安い価格と最も多い量を与える点が「交点」として一意に定められる。

JEPX 市場当局者や規制当局者は、この市場需要・供給曲線を直接観察することができる。しかし、JEPX が情報公開している市場取引の情報は、基本的には需給曲線の交点（システムプライスと取引量)、売り入札の総量、買い入札の総量、程度である。外部の研究者としては、これら限られた情報を基に上記の問題意識に取り組むことにする。

取引所での約定の背後にあるエリア間電力潮流が各地の連系線容量以内であれば、システムプライスと均衡取引量は全国共通の約定価格と約定取引量となる。しかし、エリア間の連系線の制約から、旧一電エリアを単位とした市場分断が発生する場合がある。頻繁に発生するのは、周波数変換が必要な東京・中部連系線の制約が引き起こす東日本（北海道・東北・東京電力エリア）と西日本（中部・北陸・関西・中国・四国・九州電力エリア）への東西市場分断である。このような場合、分断市場ごとに売り・買い入札曲線が集計し直され、それらの交点から分断市場内の約定価格であるエリアプライスと、エリア内約定量であるエリア別取引量が定まる。また、この場合、上記のシステムプライスと取引量は連系線制約が存在しない場合に全国で成立するであろう仮想的な約定価格・約定取引量となる。JEPX のホームページではシステムプライスとエリアプライスのデータが公表されており、両者が異なる場合をもって市場分断の発生とそのパターンとして読み取ることができる。他方で、取引電力量のデータとして公表されているのは市場全体の総取引量、総売り入札量、総買い入札量の 3 種類であり、市場分断時のエリア別取引量は公開されていない。以下では、これら 3 種類の電力量データを「ボリューム」変数と総称することにする。本稿では、対応するボリューム変数が公開されていないエリアプライスの分析は行わない。JEPX では市場分断が常態化しているが、システムプライスとそれに対応した総取引量に焦点を置くことは、これらの分断市場の平均的な挙動に関する分析を行うことを意味する。

4. 市場の推移の時系列分析

本節では、市場全体での取引量やシステムプライスの長期的な傾向を把握するために、日内データの代表値の時系列分析を行う。そのような代表値として、本稿では日内に 48 あるボリュームや価格の観測値の中央値（メディアン）を用いる。中央値は平均値よりもデータの極端な外れ値に対して頑健であることが知られている。このため、中央値の時系列は、日内の、特にピークタイム周辺における電力データの激しい変動を捨象しており、日をまたいだ長期的傾向を把握する手段としては平均値よりも適切であると考えられる。

JEPX では、月曜日から木曜日の取引時間内で約定された電力は翌日（火曜日から金曜日）

が送受電日となる。また、金曜日は来る土曜日・日曜日・翌週月曜日に送受電される電力の取引日である。以下では、「1 日」は、JEPX で約定された電力の送受電日のことを指し、スポット市場が開かれる取引日ではないことに注意されたい。また、以下の「平日」とは、月曜日から金曜日の送受電日のうち祝日を除いたものであり、「週末祝日」とは、週末（土曜日・日曜日）と、月曜日から金曜日の送受電日のうち祝日を合わせたものである。

4.1. ボリューム系列の時系列分析

図 1 は、日別の 3 種類のボリューム変数の時系列グラフである。平日の観測値は点マーカー付き折れ線でつなげたグラフで、週末祝日の観測値は線でつながっていない孤立点で表現されている。

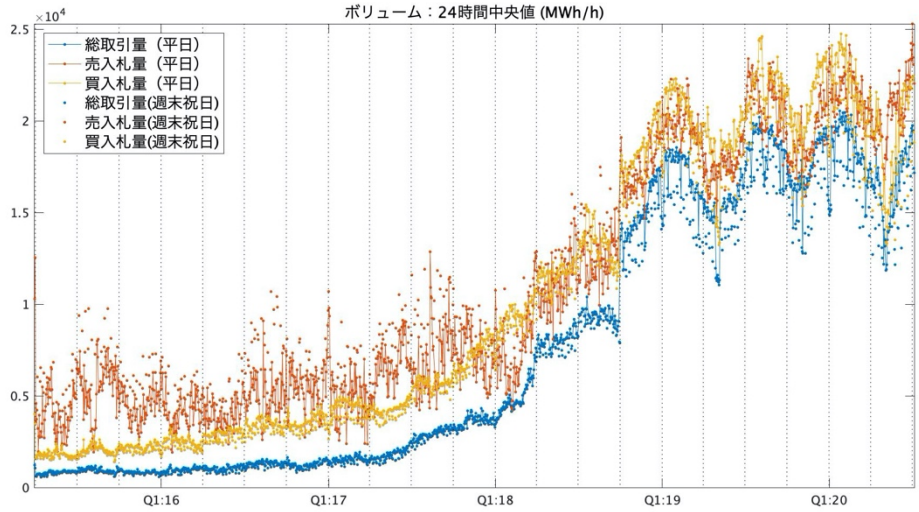


図 1．ボリューム（日内 48 半時間帯の中央値）の時系列プロット。青色が総約定量、赤色が売入札量、オレンジ色が買入札量である。マーカー付き折れ線が平日の観測値を、孤立点が週末祝日の観測値を表している。薄い垂直線は各四半期の始まりを表している。

図 1 からはいくつかの興味深い傾向を読み取ることができる。

第 1 の傾向は、Q1:17 まで買い入札量と売り入札量がほとんど連動していないように見えることである。実際、この期間の 2 系列の線形トレンド除去後の相関係数は-0.3108 であり、正ですらない。当該期間に先立つボリューム関連の施策としては、旧一電が 2013 年 2 月末より開始した、取引所活性化のための「自主的取り組み」が挙げられる。これは、旧一電社内の発電・小売部門間で取引されなかった余剰電力の取引所への拠出であり、後述のグロス・ビディングとの対比でネット・ビディングと呼ばれる。この取り組みは、余剰電力としての性質上、ピークタイムを外れたところで大きな売り入札が行われることが多く、取引

所の流動性には必ずしも貢献していなかった。この点については 2015 年 3 月末までのデータを用いた Ikeda (2019, Fig. 2) ですでに示唆されている。また、Q3:18 までは、売り入札量の週末祝日観測値（孤立点）が平日（点マーカー付き折れ線）より上に来ることが散見される。これも、需要が低下する週末の余剰電力が取引所へ供給されていた可能性と整合的である。

第 2 の傾向は、2017 年度 (Q2:17) が始まってから、買入札量の上昇傾向が明白になることである。Q1:17 までの線形トレンドの傾きは 3.6150（買入札が毎日約 4MW/h 増加）であるのに対して、Q2:17 から Q1:18 までの線形トレンドの傾きは 17.7130（毎日約 18MW/h 増加）である。この現象に関連する施策としては、Q2:17（2017 年 4 月 1 日）から、旧一電が順次グロス・ビディングを開始・進展させたことが挙げられる。グロス・ビディングとは、旧一電内の発電・小売部門の間で取引されてきた電力の一部を取引所に拠出し、需給均衡による約定（落札）を経たうえでの取引に切り替えることである。実際、当該期間における取引量は、買い入札量と連動して大きく上向いている。

第 3 の傾向は、2017 年度までは売り入札量の増加幅が控えめであることである。この期間の売入札量の線形トレンドの傾きは、2017 年度（Q2:17〜Q1:18）の 0.9657（毎日約 1MW/h 増加）から 3.3851（毎日約 3MW/h 増加）へ 3 倍以上になっている。しかし、買い入札量や取引量の上昇トレンドに比べれば穏やかである。また、売り買い両系列の線形トレンド除去後の相関係数は-0.2249 であり、Q1:17 までの-0.3108 よりは上向いているものの、依然として負の値であり、買いと売りが連動していない。さらに、需要が下がる週末祝日の方が平日よりも売り入札量が多い一方、特に Q2:17〜Q4:17 で売り買いの連動性も欠如している。2017 年度（Q2:17）は FIT 送配電買取制度（FIT 再生可能エネルギー源電力の買取義務が電気事業者から送配電業者に移行し、送配電業者は買い取った電力を原則的に卸電力市場に拠出する）が始まったタイミングであり、同制度は売り入札量増加に貢献してはいるが、買い入札量や取引量はそれとは別のダイナミクスで動いていたようである。以上を総合すると、2017 年度は、それ以前から超過供給されていた卸電力に対してより多くの買い手がつくようになった時期、と解釈できる。施策のタイミングから、旧一電が社内取引における電力需要の一部を本格的に取引所から調達し始めたと思われる。

第 4 の傾向は、Q4:18 の始まりを境に、全ての系列が上方にジャンプしていることである。これに関連する施策としては、同日より、エリア間電力融通の際の連系線利用ルールが、それまでの先着順（相対取引用のものも含む）からすべて取引所入札に付随した間接オークション（Implicit Auction、以後 IA と略称することがある）に移行したことが挙げられる。したがって、エリア間電力融通を享受するためには、取引所で入札しなければならなくなった。また、これにより、従来はあまり外部にさらされることのなかった相対取引の一部が市

場である程度可視化されるようになった。この施策がボリュームに与えた影響は大きく、Q4:18 初日（2018 年 10 月 1 日）の売り・買い・取引ボリュームは Q3:18 最後の平日（2018 年 9 月 28 日）と比べてそれぞれ 18.3%、39.9%、49.3%増加した。ちなみに、旧一電は Q4:18 からのこの大きな変化に対して事前に備えていた可能性がある。実際、それに先立つ Q2:18 ～Q3:18 では、買い入札量線形トレンド（傾き 19.7198）に、売り入札量線形トレンド（傾き 12.9319）が近づいている。さらに、週末の売り入札量も軌を一にして上昇傾向にある。

第 5 の傾向は、Q4:18 以降 Q1:20 まで、3 つのボリューム系列全てが明白な季節性を伴いながら連動していることである。さらに、それ以前にはしばしば見られた平日より週末の売り入札量の方が高い現象もほとんど見られなくなる。よって、3 つのボリューム系列すべてで大概平日の方が週末よりボリュームが高くなっている。平日では買い入札量は売り入札量よりも少し高く、週末ではその関係が逆になっているが、買いと売りのボリュームはかなり接近してくる。

第 6 の傾向は、コロナ禍が本格化する Q2:20 では、買い入札量が季節性により予想される軌跡から下方に乖離し、売り買いの連動性が失われていることである。また、買い入札量に呼応して取引ボリュームも下方に乖離している。この点をより明確に把握するため、図 1 の観測値をすべて細かい点列で表現し、そこから実証マクロ経済学でよく用いられる Hodrick-Prescott フィルターでトレンドを抽出する。これらが次の図で示されている。

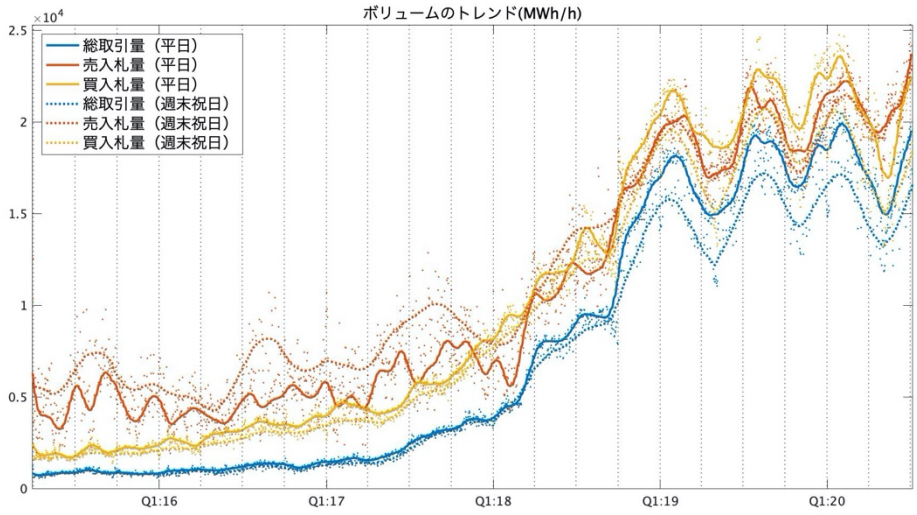


図 2. Hodrick-Prescott (HP)フィルターによるトレンドの抽出。HP フィルターのチューニング・パラメーター値はデフォルトの 1600 を採用。実線が平日の、点線が週末祝日のトレンドを表している。

この図からは、図 1 の標本期間後半でのボリューム系列の連動性がより明確に把握でき

る。さらに、Q2:20 で赤の買い入札量トレンドが青の売り入札トレンドを大きく割り込んでいることが分かる。また、ボリューム系列の連動が始まってから、週末の売り入札量は平日の売り入札量をかなり下回って推移してきたことがわかる。しかし、Q2:20 では両者が若干再逆転していることも見て取れる。間接オークション後のボリューム系列が周期的連動性に従っていることは視覚的に明らかだが、より長期的なトレンドとしては右上がりであることにも留意したい。山頂は Q1:19、Q3:19、Q1:20 と右上がりであるし、Q2:19 と Q4:19 の谷底もやはり右上がりとなっている。しかし、Q2:20 はこのパターンから外れていることがわかる。

4.2. ボリューム系列間の比率の時系列分析

4.1 節の分析により、JEPX のボリューム面には、次の 3 点の特質があることが判明した。
(a) Q4:18 以前と以後では全く異なる様相を呈している。
(b) Q2:20 は Q4:18 以後のパターンからも外れている。
(c) Q4:18 以降 Q1:20 までのボリューム系列間には安定的な比例関係が存在する。

この特質(c)をより明確に理解するために、売り入札量と買い入札量の比率（以後「売り・買い比率」と称する）と、取引量と買い入札量の比率（以後「取引・買い比率」と称する）を時系列グラフ化したのが次の図である。

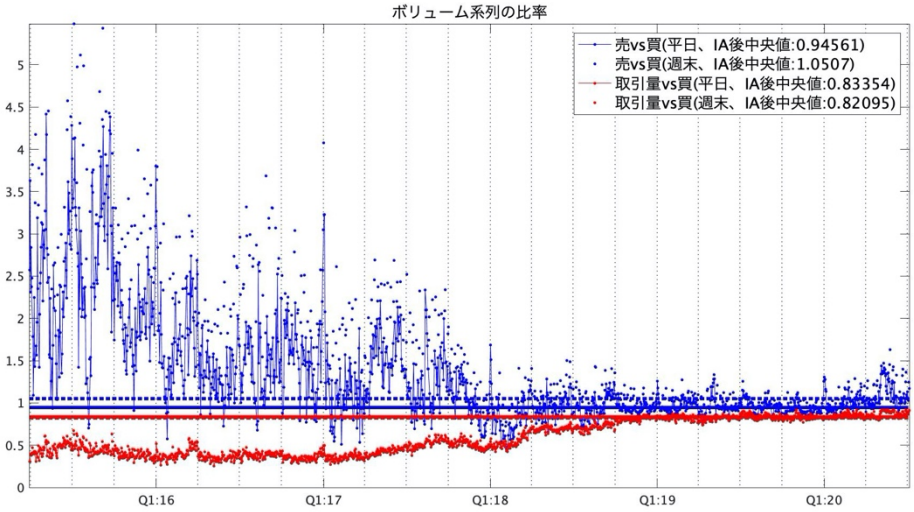


図 3. 売り入札量と買い入札量の比率（青マーカー付き折れ線が平日、青孤立点が週末祝日）、均衡取引量と買い入札量の比率（赤マーカー付き折れ線が平日、赤孤立点が週末祝日）、およびそれぞれの Q4:18 以降の中央値（青と赤の水平実線が平日、破線が週末祝日）。

このグラフは、Q4:18 以降のボリューム系列間の安定的な連動性を直接示している。ま

ず、売り・買い比率は、標本期間の前半（Q1:18 まで）は 1 から大きく変動が激しい値であることが多い。しかし、Q2:18 以降、売り・買い比率は 1 に接近していき、Q4:18 の間接オークション開始以降の中央値は、平日で約 0.95、週末が 1.04 となる。すなわち、買い入札量と売り入札量がおおむね当該期間で一致しており、市場需要曲線・市場供給曲線のボリューム方向の横幅が同じぐらいである。

次に、取引・買い比率に関して議論する。需要曲線が垂直でない限り、需給均衡点で決まる取引量は買い入札量よりも小さな値である。図 2 の当該系列は、Q1:18 ぐらいまでは 0.5 付近にある。しかし、その後上昇を続け、Q4:18 あたりからそれ以降の中央値である 0.83 付近に絡みつくようになる。しかも平日と週末でほとんど差がない。0.83 の逆数は 1.20 であり、「買い入札量×0.83＝取引量」、という関係は、「買い入札量＝取引量×1.20」、すなわち買い入札量が取引量の 20%増しの値であることを意味する。このような綺麗な数字がかくも長期間偶然に成立するのだろうか。ここには市場の主要プレイヤーによる均衡取引量を見越した戦略的な買い入札行動が潜んでいる可能性がある。

上記のような安定的な関係が崩れるのは、やはり Q2:20 である。この四半期で、売り・買い比率は若干上昇し、間接オークション開始直前のような値となる。取引量・買い比率も少し上昇していることが見て取れる。

以上のような安定的な関係は、日内の代表値として中央値を採用したうえでの異なる系列間の比率（すなわち「中央値の比率」）の分析に基づいている。日内の変動を代表値に圧縮した系列ではなく、現系列（すなわち日内の 48 半時間帯すべての観測値）を基に比率をとり、その各日内での中央値（すなわち「比率の中央値」）を計算するとどうなるだろうか。これを図示したのが次の図である。

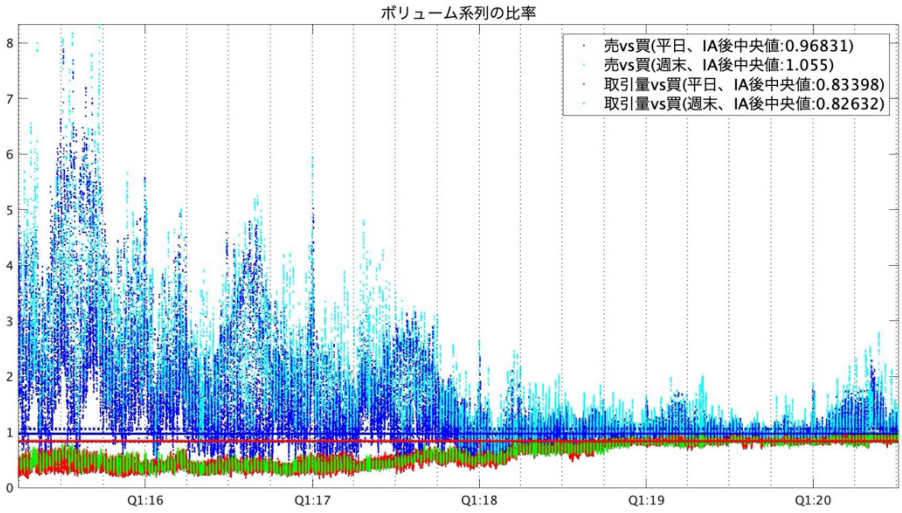


図 4. 全ての観測点を用いたボリューム系列の比率。濃い青の点列が平日の売り・買い比率であり、水色の点列が週末祝日の売り・買い比率である（濃い青の実水平線と点水平線がそれぞれの間接オークション後の中央値）。また、赤の点列が平日の取引量・買い比率、緑の点列が週末祝日の取引量・買い比率である（濃い赤の実水平線と点水平線がそれぞれの間接オークション後の中央値であるが、両者はほとんど重なっている）。

図 4 では全ての観測点が図示されているが、全体の傾向は日内の中央値を用いた図 3 と変わらない。間接オークション後の平日と週末祝日の取引量・買い比率中央値はそれぞれ図 2 の数字と似通っており、さらに平日と週末の差は図 2 よりも小さい。したがって、図 3 の取引量・買い比率に関する傾向は頑健なものであると言える。平日の売り・買い比率についても、間接オークション後の中央値は図 2 よりも 1 に近い値となっている。他方で、全ての観測点を図示したことで、売り・買い比率は持続的に 1 を上回る時期がある（例えば Q1:19）ことも見て取れる。そして、Q1:20 後半から、売り・買い比率の 1 からの上方乖離が常態化していることがわかる。

このような周期的連動性がボリューム系列間に発生・定着したのはなぜだろうか。一つの可能性は、旧一電が間接オークション開始後、エリア間融通を享受するために取引所からの買い付けに本腰を入れるようになったことである。Q1:19 の JEPX における競争状態の規制当局によるモニタリング報告である経済産業省（2019b）では、この仮説の傍証となる 2 つの事実を報告している。第一に、当該四半期における売り入札総量 876 億 kWh と買い入札総量 848 億 kWh のうち、旧一電によるものは約 7 割（それぞれ 607 億 kWh と 601 億 kWh）と圧倒的なシェアである。第二に、旧一電による売り入札量の推移が間接オークション前後でさほど変化していない一方、旧一電による買い入札量は間接オークション開始直後から大きく上昇していることである。このため、売り入札の上方飛躍は主として新電力その他によって駆動されたが、買い入札の上方飛躍は主として旧一電が主役であったことがわかる。

4.3. システムプライスの分析

次に、システムプライスの挙動を分析する。基本はやはり日内の 48 半時間システムプライスの中央値に関する時系列グラフである。

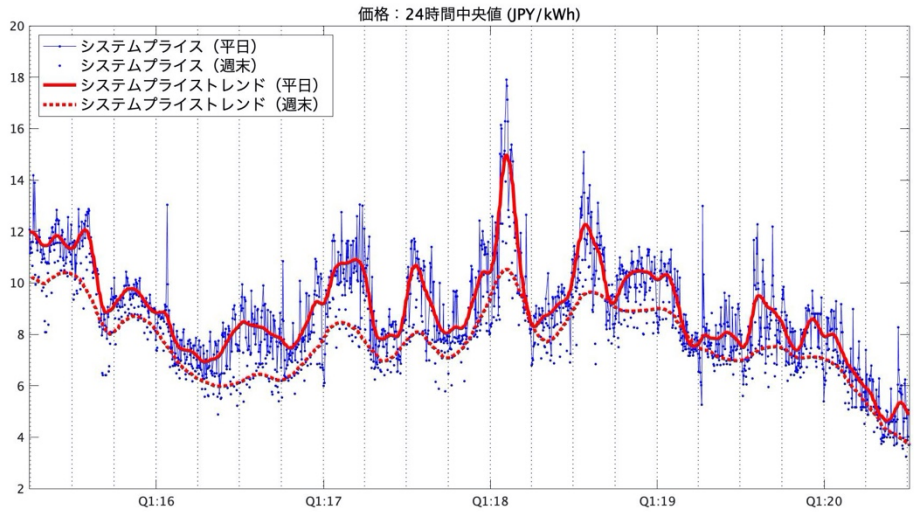


図 5. システムプライス（24 時間内の 48 半時間の中央値）の時系列プロット。青のマーカー付き折れ線が平日の、青孤立点が週末の、システムプライスの中央値を表している。濃い赤の実曲線は平日の、赤点線は週末の、システムプライスのトレンドを示している。薄い垂直線は四半期の境界を表している。

24 時間内の 48 半時間に関する中央値を採用しているため、システムプライスの歴史的な挙動は比較的落ち着いている。それでも、いくつかの明白な傾向が見て取れる。

第 1 の傾向は、ボリューム系列と異なり、システムプライスの日内中央値は一貫して平日の方が週末よりも高いということである。特に、システムプライスの高騰は主として平日のシステムプライスの高騰が牽引していることが見て取れる。他方で、価格が低下していく期間は、平日と週末の差が小さくなっていく。週末のシステムプライスのトレンドは平日のものよりも滑らかで穏やかであるため、長期的な価格低下のシグナルとして有益である。

第 2 の傾向は、各年度の夏と冬に対応する Q3 と翌年 Q1 では、春と秋に対応する Q2 と Q4 よりも盛り上がっていることが多いことである。これは天候により電力需給がタイトになりがちな季節と需要の端境期の季節の違いを反映しており、直感的である。近年最もシステムプライスが高くなった冬季と夏季は、Q1:18 と Q3:18 である。これは、先ほどのボリュームのトレンド図で、Q4:17 から Q3:18 にかけて買い入札のボリュームが売り入札のボリュームを上回るようになっていたことと整合する。ただし、日内の中央値を用いている限り、日内のどの時間帯がこの傾向をけん引しているのかまでは分からない。

第 3 の傾向は、Q4:19 後半の頂きから Q2:20 に向かって一貫した価格の低下傾向である。Q1:19 や Q1:18 に比べて Q1:20 は冬季特有の高いピークが見られず、平日・週末祝日ともに価格が滑落している。これは、気象庁（2020）が報告するように、2020 年度の冬季は記

録的な暖冬であったためであると考えられる。Q1:20 の前半まではおそらくこのような天候の特質が価格を抑制していたと考えられる。しかし、春季の Q2:20 は平日の価格上昇はごく控えめであり、また週末祝日の価格はペースが落ちたとはいえ依然として低下傾向にある。ここからも、Q2:20 が価格の面でも特異な四半期であると言える。

4.4. 時系列分析に基づく市場需要・供給曲線への含意

以上の時系列分析から、2018 年 10 月以降の JEPX はそれ以前とは全く異なる様相を呈していることがわかる。特に、ボリュームの 3 系列が強い季節性と連動性を示しているのに対して、システムプライスにはそこまで強い周期性が見られない。ここから、本稿では次のような仮説を立てた。

仮説(a)：本稿の標本期間内では、卸電力取引所の市場需要曲線と市場供給曲線は、電力需要の季節性に応じて、基本的にボリュームの軸と平行に移動しているのではないか？

仮説(b)：このような性質は、ボリューム 3 系列の季節性と連動性が明白となる Q4:18 以降より顕著になっているのではないか？

仮説(c)：夏や冬のような電力需要が高まる季節、あるいは日中のピークタイムには、需給曲線がそうでない時期に比べて仮説(a)のベースラインから多少ぶれることで交点が価格軸方向にばらつくのではないか？

以下では、この仮説を 3 つの傍証でサポートすることにする。

第 1 の傍証は、直接的に取引量（横軸）とシステムプライス（縦軸）の対の散布図を描き、当てはめた直線の傾きを見ることで得られる。次の図は、2016 年度始め（2016 年第二四半期）から 2020 年 6 月 30 日までの各四半期でそのような散布図をまとめたものである。以下のパネルの各行は各年度（2016 年度から 2020 年度)、各列は当該年度の春、夏、秋、冬に対応している。

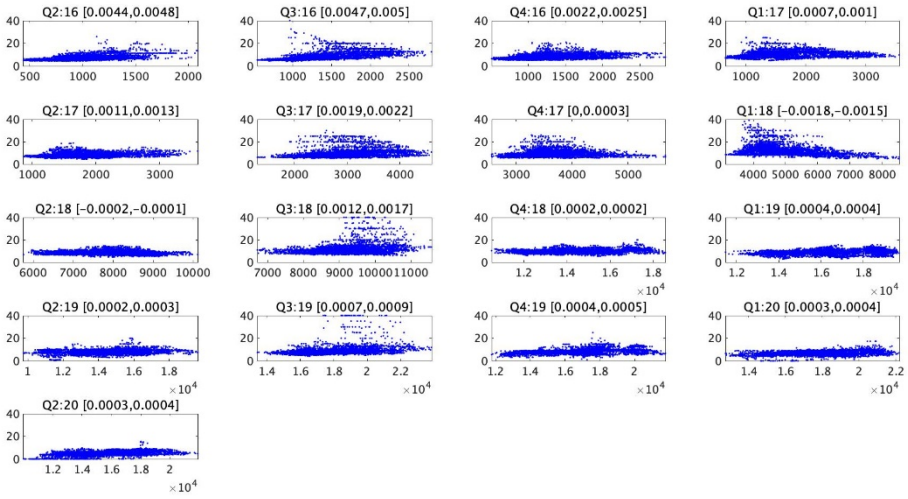


図 6. ボリュームとシステムプライスの対の散布図。行は年度、列は各年度の春夏秋冬に対応している。各パネルのタイトルには該当する四半期間（例えば Q2:16 は 2016 年第 2 四半期）と、散布図への当てはめ直線の傾き推定値の 95% 信頼区間が示されている。

各パネルのタイトルには、当該四半期間の散布図に当てはめられた直線の傾き推定値の 95%信頼区間が示されている（信頼区間を求める際のデータ生成過程の撹乱項の分散は spherical であると仮定している)。傾き推定値自体は小さな正の値であることが多いが、推定誤差はさらに小さい。このため、各四半期内での当てはめ直線はうっすらと右上がりであることが精密に推定されていると言える。Q1:18 と Q2:18 での傾きは例外的に小さな負の値として推定されている。

この図の最大の主張は、上述の仮説と整合する点である。実際、傾きの推定値はせいぜい 0.005 であり、取引量が 1MW/h 増加した場合システムプライスが 0.005 円/kWh 上昇するに過ぎない。これは仮説(a)と整合する。さらに、Q4:18 からの傾き推定値は、それ以前のものに比べて桁が一つ下がるほど小さくなっている。これは仮説(b)と整合する。そして、傾き推定値の 95%信頼区間はゼロを含まないことがほとんどであり、傾きは有意にゼロと異なると言わざるを得ないが、夏と冬に対応する第 2，4 列のパネルの傾きは春と秋に対応する第 1，3 列のパネルの傾きよりも絶対値で大きな値となっている。これは仮説(c)に対応している。

注意すべきは、このようにして得られた傾きは、需要曲線のものでも供給曲線のものでもなく、両者のシフトによる均衡点の移動を全体として追っているだけである、という点である。これは、同時方程式の係数推定バイアスとして、教科書的によく知られた現象である（日本語の文献としては例えば北野（2012))。

この散布図に関するもう一つの論点は、夏と冬の散布図が価格上昇に関して異なる様相を呈していることである。夏は散布図の右側の取引量が大きなところで、主要な観測点の塊から上方に乖離した部分がみられる。他方、冬の散布図では左側の取引量が小さなところでそのような上方乖離がみられる。したがって、散布図全体に当てはめられる直線の傾きには、夏にはより上向きの傾向が与えられ、冬には下向きの傾向が与えられる。主要な観測点の塊だけに直線を当てはめれば、夏はもっと穏やかな、冬はより急峻な方向に傾くはずである。これら上方乖離した部分は概ね右下がりの傾向を持っており、供給曲線の変動によって右下がりの需要曲線がトレースされている可能性を示唆する。

上記の仮説群に関する第 2 の傍証は、需要と供給の価格弾力性の推移を追う事で得られる。JEPX は毎四半期に市場監査の報告書をまとめ、ホームページで公開している。この報告書の中には、システムプライスの四半期内平均と、売り・買い入札量をそれぞれ約定量から１０％増加させた場合の売り手・買い手価格の四半期内平均値が記載されている。このデータから、均衡取引量（約定量）を１０％増加させた場合に対応する売り手価格・買い手価格から、システムプライスの%変化率を計算し、それと取引量の%変化率（10%）との比率をとることによって、需要曲線と供給曲線の価格弾力性を推計できる。価格弾力性は、需給曲線の各点(Q,P)上で、

$$\varepsilon = \frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dP}} * \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{Q}}$$

という公式によって求めることができる。上記の仮説を弾力性の性質に引き写す一つの方法は、この均衡点付近の各曲線の傾きの逆数 dQ/dP があまり変化せず、したがって価格弾力性の値の変化は主として需給曲線の平行移動による P/Q の変化によって引き起こされている、と想定することである。この場合、Q が高まる夏や冬は P/Q の低下（(Q,P)座標平面での右側への移動）によって弾力性が低くなり、春や夏は逆に弾力性が高くなると予想される。夏季や冬季は価格 P も上昇しがちな局面ではあるが、問題となっているのはそれの Q の上昇幅に対する相対的な大きさである。

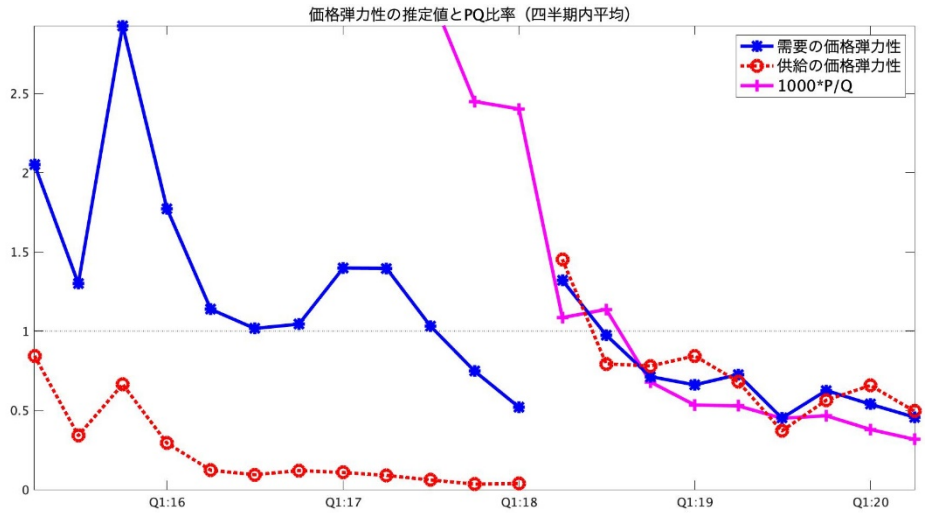


図 7. 価格弾力性と 1000 倍した価格・取引量比率の四半期グラフ。青のアステリスクマーカー付き折れ線が需要の価格弾力性の絶対値、赤の丸抜きマーカー付き折れ線が供給の価格弾力性を、ピンクの十字マーカー付き折れ線が 1000 倍した価格・取引量比率を表している。

図 7 の弾力性の系列は Q1:18 までと Q2:18 以降で途切れているが、これは、Q1:18 までは監査報告書の当該計算に含まれなかったブロック入札がそれ以降含まれるようになったことを反映している。このため、Q2:18 からの推定値は、市場全体の需給曲線の性質をより正確に描写していると言える。この図で注目すべきは、上述の仮説と整合するように、Q2:18 から、需要と供給の価格弾力性の系列が密接に連動している点である。特に、コロナ禍が表面化する前の Q2:19 から Q4:20 にかけて、両者の推移はほぼ並行である。さらに、Q2:19 から Q1:20 (2019 年度の春夏秋冬に対応)では、需要の価格弾力性の値が春・秋で高く夏・冬で低くなっている。また、供給の価格弾力性も Q2:19 から Q4:19 にかけて需要の価格弾力性と見事に連動している。これらは上記仮説(a)、(b)と整合している。

Q1:20 では、供給の価格弾力性は需要の価格弾力性からディカップリングしているように見える。タイミング的に日本経済に迫り始めたコロナ禍の影響と解釈したくなるが、Q1:19 でも供給の価格弾力性が下がらず逆に上がっている現象に留意されたい。これは、冬季の供給曲線には、単純な平行移動仮説では説明し切れない季節性の要因があることを示唆しており、仮説(c)に対応している。実際、コロナ禍の真っただ中である Q2:20 では需要と供給の価格弾力性が再び接近している。

最後に、スケールを合わせるために 1000 倍したシステムプライスと取引量の比率 1000*P/Q の推移は、価格弾力性曲線の推移とそれなりに対応している。1000 倍した価格・取引量比率が価格弾力性と類似した推移をたどっている事実は、市場需要・供給曲線の均衡

点付近の傾きの逆数 dQ/dP の絶対値が 1000 というオーダーであり、したがって需給曲線の均衡点付近の傾きの絶対値が 1/1000 という小さなオーダーであることを示唆している。

第 3 の傍証は、需給曲線のパラメーターを特定化することで得られる。上記の仮説を需給曲線の形状に引き写すもう一つの方法は、四半期内で価格弾力性は安定しているが異なる四半期ではシフトしうる、と想定することである。例えば以下のような対数線形の逆需要・逆供給関数を考えてみよう。

$$\ln\ Q_q^{(\varphi)} = \alpha_q^{(\varphi)} + \varepsilon_q^{(\varphi)} \ln\ P_q^{(\varphi)}$$

ここで$\varphi = \mathrm{D,S}$で需要、供給を区別し、また q は四半期のインデックスを表す。このような対数線形の関数形では、対数価格の係数$\varepsilon_q^{(\varphi)}$が価格弾力性となることが対数微分を用いて示される。価格弾力性$\varepsilon_q^{(\varphi)}$の値は四半期ごとに変わり得るが、事後的には既知であるとする。ここで、システムプライスと取引量の四半期平均P_q^*, Q_q^*（ここでは平日と週末祝日を区別しない）も計算可能であることから、切片の値は

$$\alpha_q^{(\varphi)} = \ln Q_q^* - \varepsilon_q^{(\varphi)}\, lnP_q^*$$

として特定できる。このようにして概算された四半期ごとの市場需要・供給曲線を Q2:18 以降で描画したのが以下の図である。

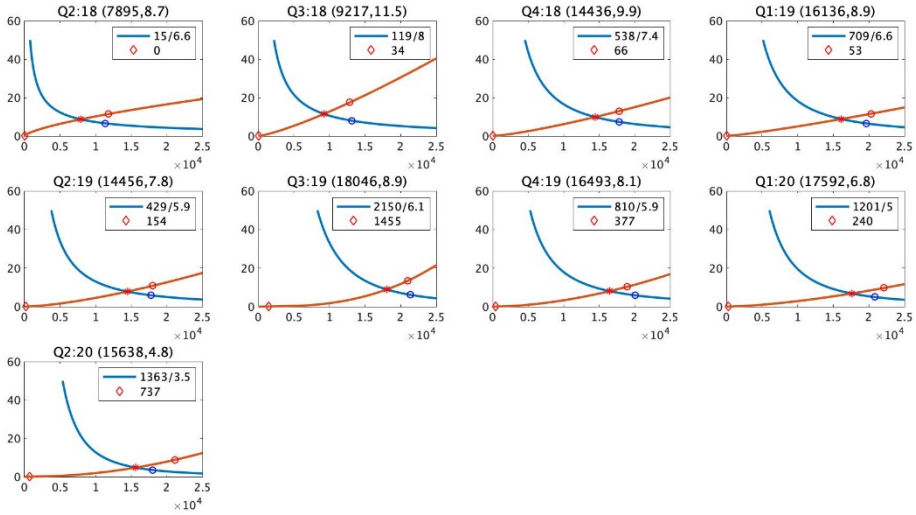


図 8. 四半期別の市場需要・供給曲線。各パネルの横軸は取引量（MWh/h）、縦軸は価格（円/kWh）、青の右下がり曲線が概算された市場需要曲線、赤の右上がり曲線が概算された市場供給曲線である。赤アステリスクで示される両者の交点の座標は取引量と価格の四半期平均であり、それらの値がパネルのタイトルのカッコ内に示されている。図内の青線に関するレジェンドは、価格が 999 円/kWh であるときの需要曲線上の点（左上端点）における取引量と買い入札量に

対応する需要曲線上の点（右下端点）における価格を示し、ダイヤモンドマーカーは価格が 0.01 円/kWh であるときの供給曲線上の点（左下端点）の取引量を示している。需要曲線上の青〇と供給曲線上の赤〇はそれぞれ買い入札量（最大需要量）と売り入札量（最大供給量）に対応する点であり、それより右側は特定された関数形に基づき外挿したものである。

これらの曲線は構成の仕方により四半期ごとのシステムプライスと取引量の四半期平均P_q^*, Q_q^*を交点として必ず通る。また、買い入札量や売り入札量の四半期平均値に対応した曲線上の丸抜き点はこの均衡点からさほど離れておらず、先ほど確認した取引量・買い比率のベンチマークが 0.83 であることと整合している。

この曲線から読み取るべきは、曲線の端点に関する情報である。第 1 は、価格 999 円/kWh に対応した需要曲線上の点（左上端点、図には入りきらない）における取引量の水準である。この値は、どうしても電力を調達しなければならない市場参加者の買い入札行動を反映している。例えば、旧一電は JEPX に限界費用でグロス・ビディングしているが、供給力不足が懸念される場合には高値で買い戻している。経済産業省（2018a, p.20）では、このような高値買い戻しの際に、旧一電 9 社のうち 4 社がシステム上の最高価格である 999 円/kWh で買い入札していること、2 社が約定価格を参考に確実に買い戻せる価格で入札していること、が報告されている。したがって、需要曲線の左上端点は旧一電の供給力懸念に関する一つの指標となる。この値は、間接オークション以前は非常に小さな値（15, 119）であったが、以後は 538、709、と増加傾向に乗り、夏季（Q3:19）や冬季(Q1:20)では 2150, 1201 となっている。間接オークションが進展するほど、供給力不足が懸念材料となりやすい夏季や冬季に高値買い戻しの頻度や量は増大すると考えられる。これは、システムプライスにとっては上昇要因である。

第 2 の情報は、買い入札量の四半期平均に対応した需要曲線上の点（右下端点）における価格水準である。この値は、需要一定としたときに供給増大で達成可能なシステムプライスの最安値であり、価格が下がる余地を測っている。この値は経時的に低下してきており、Q1:20（システムプライスが入札最低価格である 0.01 円/kWh をつけた半時間帯が発生した初めての日（2020 年 2 月 23 日）を含む）では 5.0、コロナ禍中の Q2:20 では 3.5 である。また、全段落で述べた需要曲線の左上端点のボリューム値は、Q2:20 では 1363 であり、Q1:20 の 1201 よりむしろ増大していることに注目しよう。この 2 つを合わせると、Q1:20 から Q2:20 にかけての市場需要曲線は単純に左側にシフトしたのではなく、需要曲線の上部は右に、下部は下にシフトしながらより平坦な軌跡となった（つまり需要曲線全体が L 字型に近づきながら下方シフトした）ことがうかがい知れる。

第 3 の情報は、価格が最低入札単位の 0.01 円/kWh である際の供給曲線上の点（左下端

点、図でダイヤモンドのマーカーで示されている）における取引量である。この値は季節性を伴いながらも上昇傾向にあり、卸電力が不意の需要低下により底値で約定される可能性が高まってきていると言える。これに関連する政策としては、2018 年 10 月から断続的に九州地方で FIT 出力制御が行われた（そのぐらい需給が緩んでいた）にもかかわらずその時間帯の価格が十分に下がらなかったことを受け、規制当局が旧一電に対して太陽光発電など発電量をコントロールできない電気は底値の 0.01 円/kWh での入札を促したことが挙げられる（経済産業省、2019a）。Q2:20 では夏季の Q3:19 を除けば期間内で最大の値（737）である。このため、コロナ禍中の供給曲線は需要の低下によって底値が付きやすい構造になっていたことがわかる。

以上より、上記の仮説(a), (b), (c)はデータの時系列的な性質や推移をとらえる事にそれなりに成功していると考えられる。これは、日内の情報を 48 半時間帯における中央値に代表させ、日内の時間帯別のボリュームや価格の異質性は捨象することで、分析を時系列的な傾向に集中させることで可能となった。ここで概算された時系列的な四半期平均の市場需要曲線は、直接的な余剰分析に利用できる。また、将来 JEPX の市場需給曲線に関する情報公開がもう少し進んだ場合に、より短いスパンで市場需給曲線の統計的な推定を行う際の貴重なモーメント条件を与えてくれる。

他方で、Q4:18 以降に需要曲線と供給曲線が強く連動しながらシフトしているならば、通常の計量経済学的な推定手法である操作変数法の適用は困難であるかもしれない。例えば、燃料価格は、供給曲線（売り入札曲線）だけをシフトさせ需要曲線（買い入札曲線）には直接影響せず、したがって需要曲線を均衡点から推定する際の操作変数として使える、とされてきたが、燃料価格の変動自体も買い入札時の判断材料となるのであれば、操作変数の妥当性である Exclusion restriction を満たさなくなる。実際、東京商品取引所で公開している日次バージ A 重油スポット価格やルイジアナの日次 Henry Hub 天然ガススポット価格（の対数）を対数線形逆需要曲線右辺の対数価格の操作変数として 2 段階最小二乗法で需要曲線の推定を試みたものの、対数価格の係数（絶対値をとる前の需要の価格弾力性の値）はおおむね正の値として推定されてしまい、需要曲線が右下がりである大原則と整合しなかった。この点を克服するような操作変数の探索や識別戦略は今後の課題である。

5. 市場の推移の横断面分析

4 節の分析から、本稿標本期間内における市場データの時系列的な挙動は、Q4:18(2018 年 10 月 1 日)の間接オークション開始以前と以後、そして Q2:20 とで全く異なることが判明した。しかし、例えば再エネ電力に関する政策の影響は、主として日内の日照時間帯に現れるはずである。また、前段落で示した需要一定の場合のシステムプライスの潜在的な最安

値は Q2:20 でも 3.5 円/kWh 程度であり、0.01 円/kWh からは程遠い。この数字は価格やボリュームや弾力性の四半期内平均に基づいているため、より時間・日内時間帯で細分化された標本期間でのデータの特質には切り込めない。以下では、この点を可能とするために、市場データの日内横断面の特質についての把握を試みる。具体的には、Q2:18 から Q2:20 までの 9 つの四半期を、間接オークション前夜、それの全面化、日本全体がコロナ禍に直面していく期間、として取り出し、平日・週末祝日別の 48 半時間帯を横断的な次元とみなして、各変数の四半期内の時系列方向の代表値（多くの場合中央値）を横断的に分析する。以下では、例えば 8:30 を、そのまま時刻の意味で用いる場合と、8:30-9:00 の半時間帯の意味で用いる場合がある。

5.1.ボリューム 3 系列の平日横断面

以下はボリューム 3 系列の平日横断面を図示したものである。

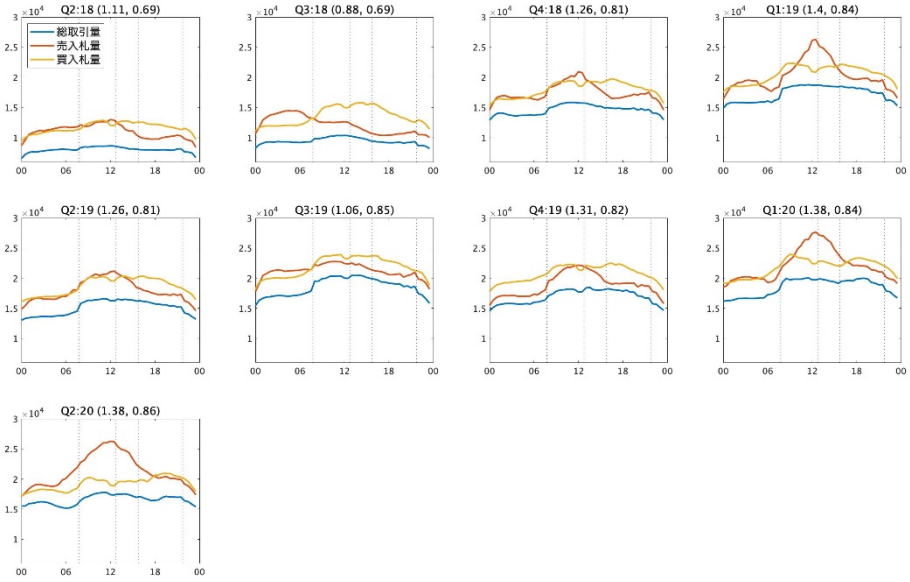


図 9。ボリューム 3 系列の平日横断面。パネルの行は各年度を、パネルの列は年度内の春夏秋冬に対応している。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。取引量、売り入札量、買い入札量がそれぞれ青、赤、オレンジ色の曲線で表されている。各パネルのタイトルのカッコ内の最初の数字は 12:00-12:30 と 5:00-5:30 の 2 つの半時間帯での売り入札量の比率の四半期内平日にわたる中央値であり、2 番目の数字は当該四半期内の取引量・買い比率の四半期内平日および 48 半時間帯にわたる中央値である。

この図から、売り入札量には以下のような傾向が認められる。

第 1 の傾向は、売り入札量が季節性を伴いつつ上昇していくことである。2019 年度（第

２行パネルの Q2:19 から Q1:20）が典型的に示すように、売り入札量の水準は、春季（Q2）より夏季（Q3）が高く、秋季（Q4）に少し落ち込んで春季の水準に近づき、冬季（Q1）に年度内で最も高くなる。第 1 行の 2018 年度売り入札量は季節性なしに単調に増大しているように見えるが、Q4:18 から間接オークションが始まり、ボリューム系列が爆発的な増大を遂げたことを念頭におく必要がある。何もなければ Q4:18 で下降するはずだったボリューム系列がこの施策によって押し上げられ、新たな季節性のサイクルに乗ったとみるべきである。したがって、4.2 節の時系列分析で示した、売り入札量の周期しながら増大する傾向は、横断面全体に当てはまっている。

第 2 の傾向は、夏季（Q3）の横断面が他の季節と異なる点である。春・秋・冬の売り入札量の横断面は、その全体的な高低はともかく、正午前後が最も高くなるような軌跡に従っている。しかし、夏季はそうなっていない。間接オークション前夜の夏季（Q3:18）では、0:00-6:00 の夜間帯の売り入札量が最も高く、日の入りから 18：00 ごろまでほぼ単調に減少している。間接オークション後の夏季（Q3:19）は、8：00 から 10：00 にかけて多少盛り上がっているが、その後の減少パターンは前年同四半期のものと類似している。Q3 の分析は価格低下に焦点を当てる本稿の範囲外であるが、これ自体非常に興味深いデータの特質である。

第 3 の傾向は、春季（Q2）昼間の売り入札量の盛り上がりが年々高くなっていることである。ボリューム自体は周期性を伴いながら経時増加しているので、異なる年度で比較するために、12:00-12:30 の売り入札量と 5:00-5:30 の売り入札量との比をとる。各パネルのタイトルのカッコ内の最初の数字がそのような比を表している。パネル第 1 列は、この値が 2018 年度から 2020 年度にかけて、1.11、1.26、1.38 と増大していることを示している。電力需要の端境期であるはずの春季におけるこのような売り入札量の増大は、Q2:20 において最低入札価格 0.01 円/kWh での約定が頻出する背景となる。

取引量と買い入札量には以下のような傾向が認められる。第 1 の傾向は、取引量は相対的に高い昼間帯（8:00-22:00）と低い夜間帯（22:00-翌朝 8:00）で明確に 2 つのレジームに分けられることである。JEPX 黎明期から 2015 年 3 月 29 日までのデータに基づく取引量の横断的軌跡は、M 字型でピークタイム直後にピークが来ていた（例えば Ikeda (2019, Fig. 2.)を参照)。それに比すると、近年の JEPX における取引量は、経時増大するだけでなく、平日内の時間帯ごとの起伏が均された形になってきている。この取引量の軌跡は、特に夏季において旧一電が発表している電力需要の日内予測（「でんき予報」）の形状を想起させる。この点は、先ほど述べた、旧一電が間接オークション開始以降取引所取引に本腰を入れ始めた、という仮説と整合的である。

第 2 に、平日の買い入札量は 12:00-13:00 にその前後の時間帯より低下する傾向にあることである。これは季節や年度を通してみられる頑健な性質である。

第 3 に、時系列分析で確認したような、間接オークション開始後の取引量と買い入札量の強い連動性が、横断面でも概ね確認できることである。多くのパネルでは青の取引量とオレンジ色の買い入札量がほとんどの時間帯で連動しているように見える。各パネルのタイトルのカッコ内の 2 番目の数字は、取引量・買い比率の四半期内平日全 48 半時間帯にわたる中間値を示している。間接オークション以前は 0.69 であった値が、Q4:18 から 0.81〜0.85 を漂っていることがわかる。取引量と買い入札量の横断面は完全な並行関係にあるわけではなく、若干時間帯による異質性が存在しているが、間接オークション導入後の取引所取引が進展した 2019 年度ではそのようなブレは限定的である。ただし、Q2:20 ではこの値が 0.86 と高くなっており、この四半期では取引量と買い入札量の間の安定的な関係が崩れかけていることが示唆される。これらは、以下に示す四半期ごとの平日の取引量・買い比率の横断面でより明確となる。

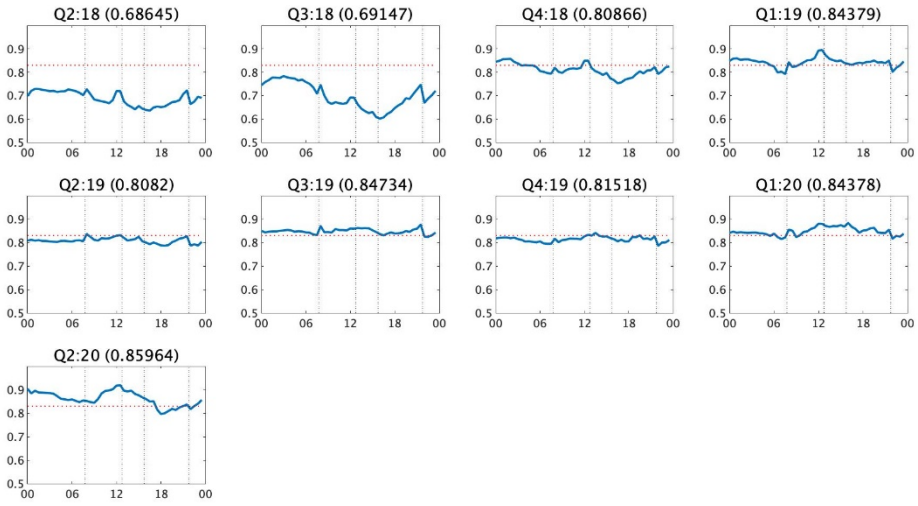


図 10。取引量・買い比率の平日横断面。パネルの行は各年度を、パネルの列は年度内の春夏秋冬に対応している。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。水平の赤点線は、取引量・買い比率のベンチマークである 0.83 の水準を示している。

この図から、間接オークション開始以来、0.83 が取引量・買い比率はベンチマークとなっていること、日内の変動は限定的であること、春・秋（夏・冬）はベンチマークより若干低く（高く）なること、Q2:20 はベンチマークからの乖離が目立つこと、が把握できる。

次に、ボリューム系列の週末祝日横断面を分析する。

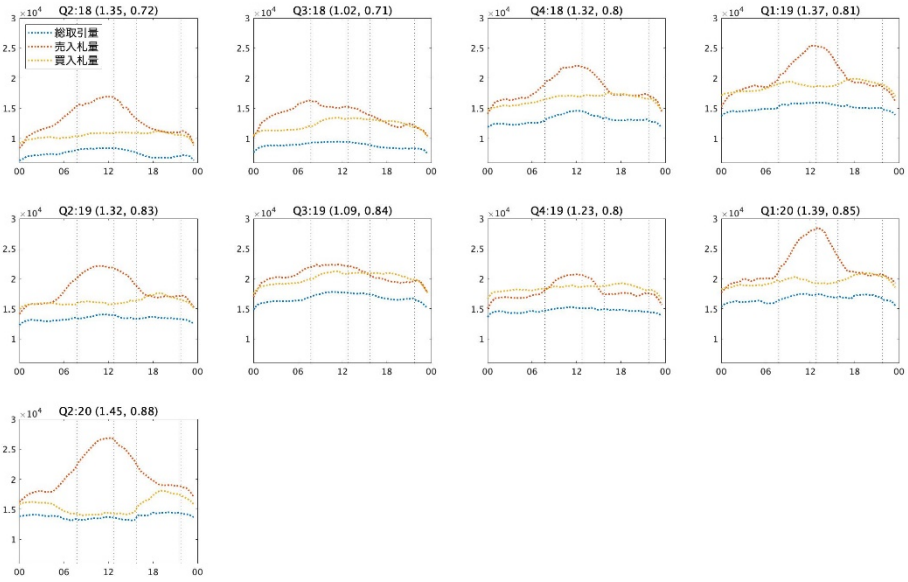


図 9。ボリューム 3 系列の週末祝日横断面。パネルの行は各年度を、パネルの列は年度内の春夏秋冬に対応している。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。取引量、売り入札量、買い入札量がそれぞれ青、赤、オレンジ色の曲線で表されている。各パネルのタイトルのカッコ内の最初の数字は 12:00-12:30 と 5:00-5:30 の 2 つの半時間帯での売り入札量の比率の四半期内週末祝日にわたる中央値であり、2 番目の数字は当該四半期内の取引量・買い比率の四半期内週末祝日 48 半時間帯にわたる中央値である。

ボリュームの週末祝日横断面は、平日横断面に比べて際立った違いが 2 つある。

第 1 に、夏季（Q3）以外の全ての季節で、売り入札量の週末祝日昼間のピークが平日のものより高くなっている。さらに、春季（Q2、図の第 1 列パネル）の山の盛り上がり方は週末祝日の方がより急峻である。2018 年度から 2020 年度の春季における正午（12:00-12:30）と早朝（5:00-5:30）の売り入札の比率は、平日には 1.11, 1.26, 1.38 であったが、週末祝日には 1.35, 1.32, 1.45 となっている。平日昼間は需要が高くなる時間帯であるため、太陽光発電のそれなりの部分が自家消費に回り、取引所に拠出される量が週末の対応する時間帯よりも低くなるのではないか、と推測される。

第 2 に、ボリューム間の関係の日内時間帯ごとの異質性は、平日よりも週末祝日の方が強い。まず、取引量の横断面は、季節を問わずに正午あたりをピークとするなだらかな山型であることが多い（Q2:20 は例外であり後に詳述）。一方、買い入札量の横断面は、夏季の Q3 では正午あたりで多少盛り上がり、冬季の Q1 では逆に正午あたりでその前後よりも落ち込み、需要の端境期である春秋の Q2、Q4 では夜間帯に入るまでゆっくりと上昇していく

ことが多い。このため、特に冬季では買い入札量（正午あたりにへこむ）と取引量（正午あたりに盛り上がる）の昼間の軌跡は逆になっている。これは、平日では冬季でも買い入札量と取引量の横断面が平行に近いことからすると、週末祝日に特有の性質と言える。各パネルタイトルのカッコ内の 2 番目の数字は平日同様に 0.8 から 0.85 を漂っているが、日内の変動はより大きいと推測される。これを示したのが次の図である。

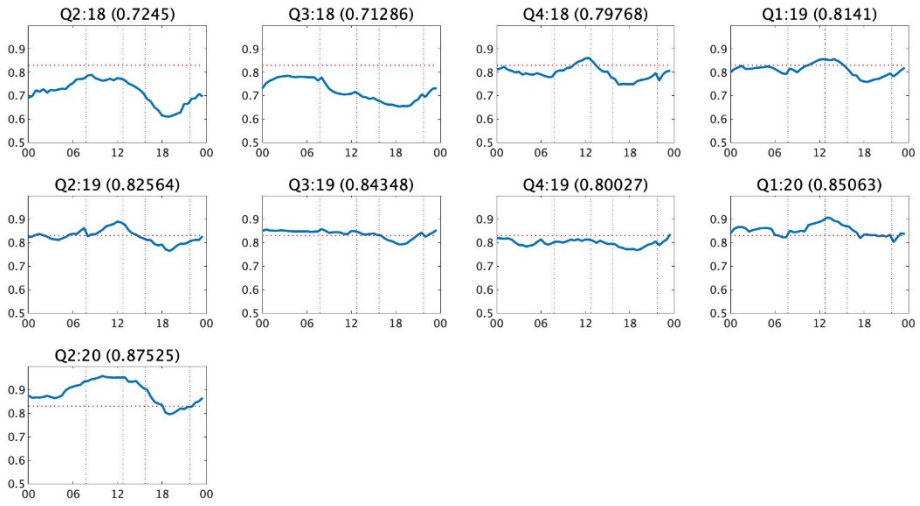


図 12。取引量・買い比率の週末祝日横断面。パネルの行は各年度を、パネルの列は年度内の春夏秋冬に対応している。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。

平日のものに比べると、週末祝日の取引量・買い比率のベンチマーク 0.83 からの乖離幅や季節・時間帯ごとの異質性が大きくなっていることがわかる。

図 11 の第 3 の傾向として、Q2:20 はやはり例外的である。この四半期の買い入札量の横断面は、早い時間帯から落ち込みはじめ、正午ごろに谷底となり、ピークタイムを抜けるあたりから上向き始めている。しかもこの正午ごろの谷はほかのどのパネルの谷よりも深くなっている。正午ごろに買い入札量が落ち込むのは冬季（Q1）週末祝日の特質であり、春季（Q2）にこのような傾向が観察されるのは特異である。これに引きずられるように、取引量も当該時間帯でへこんだ軌跡をたどっている。

5.2. システムプライスの横断的な性質

次の図はシステムプライスの横断面をまとめたものである。

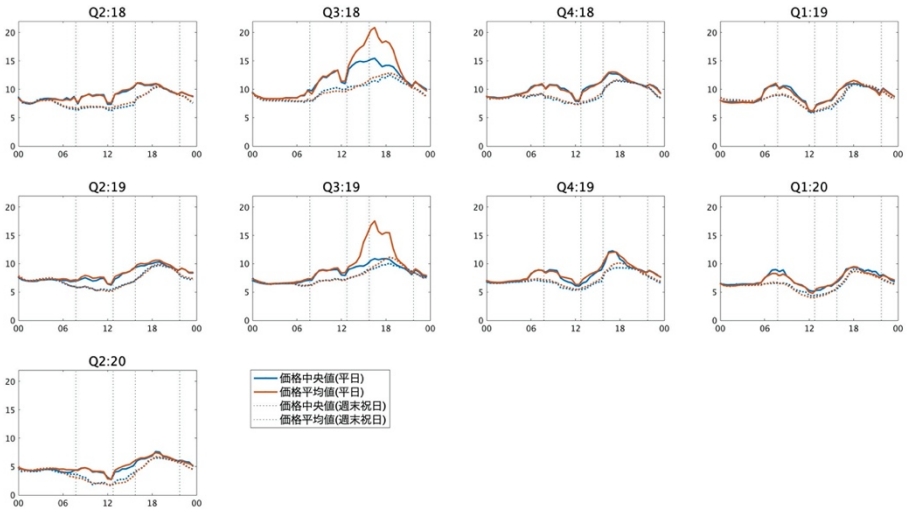


図 13。システムプライスの横断面。パネルの行は各年度を、パネルの列は年度内の春夏秋冬に対応している。各パネル内には、平日と週末祝日の価格の軌跡で中央値と平均値に基づくもの 2 つずつ、計 4 つの軌跡が描かれている。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。

第 1 の傾向は、夏季平日昼間における平均値と中央値の乖離である。平均値に基づくと、夏季ピークタイム（13:00-16:00）で価格が 20 円/kWh 前後に高騰している。更に、ピークタイムを抜けた直後に第 2 のピークが訪れていることがわかる。これは日没に向かうにつれ太陽光発電の出力が急激に落ちていくタイミングと一致している。しかし、夏季昼間は、平均値と中央値が最も乖離する時間帯でもある。少数の外れ値に対して頑健な中央値に基づくと、夏季の価格横断面は昼間の多少の盛り上がりを除けば、春季のものと類似していることがわかる。

第 2 の傾向は、平日でも週末祝日でも、図に含まれたすべての年度で価格横断面が季節ごとに類似していることである。特に、Q2:20 の価格横断面は形としては珍しいものではなく、Q2:19 でも Q2:18 でも同様の軌跡が見られる。すなわち、正午ごろまではおおむね平坦で、12:00-13:00 に少しえぐれた小さな谷があり、その後ピークタイム直後を頂点とするなだらかな山型となる。そして、類似した軌跡の全体的な高さが年度によって上下している。これは他の季節でも同様である。

第 3 の傾向は、すべてのパネルで、同一半時間帯においては平日価格（実線）より週末祝日（点線）の価格の方が低いことである。また、夏季を除き、週末祝日では昼間価格が 1 日の中で最も低くなっている。特に Q2 では Q4、Q1 とも異なり、6 時前から価格が低下し始めている。Q4:19 まで価格は週末昼間でも 5 円/kWh を下回らずに底堅い推移を示してい

たが、Q1:20 からこの底が抜けはじめ、Q2:20 は近年類を見ない低水準になっている。

5.3. 最低入札価格をつけた日の横断面

Q2:20 は、システムプライスの最低入札単位である 0.01 円/kWh が観測された期間であり、近年メディアでも取り上げられた（例えば日本経済新聞（2020)、読売新聞（2020))。この事象をより詳しく見るために、Q1:20 と Q2:20 において、日内半時間帯で価格が 0.01 円/kWh をつけたことがある日を網羅し、日内の価格とボリュームの横断面を以下に図示する。まずは週末祝日（16 日）を分析する。

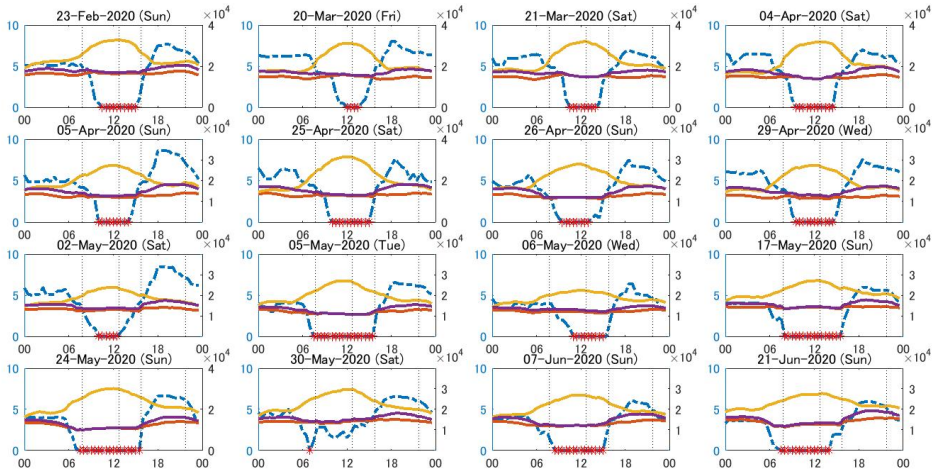


図 14。Q1/Q2:20 で価格 0.01 円/kWh をつけた時間帯がある週末祝日の横断面。破線がシステムプライス、中央付近で盛り上がる曲線が売り入札量、中央でほぼ接している 2 つの曲線が買い入札量（上）と取引量（下）である。赤のアステリスク（*）はシステムプライスが最低入札単位である 0.01 円/kWh となった時間帯を示している。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。左の垂直軸は価格を、右の垂直軸はボリュームを測定している。

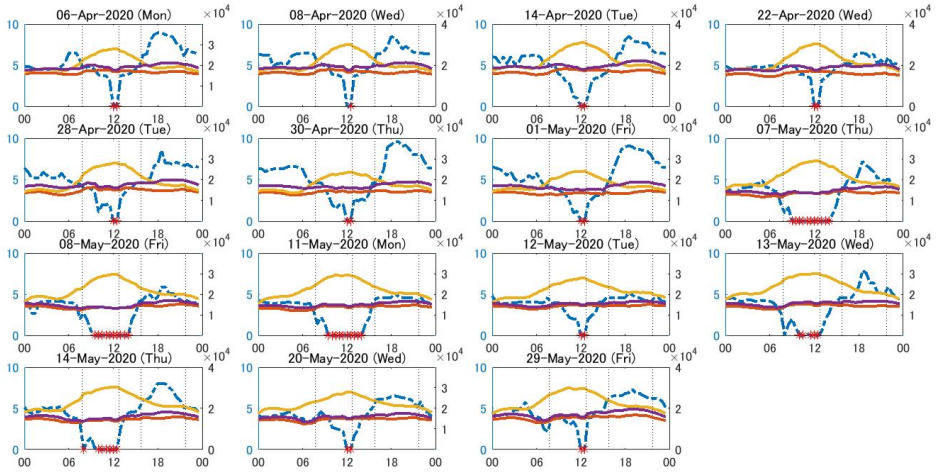
この図から読み取れる傾向は以下の 2 つである。

第 1 に、価格が 0.01 円/kWh となる現象は、16 日間の計 166 コマで発生しており、さらに昼間帯開始直前の 7:00-7:30 からピークタイムが終了する 15:30-16:00 までの 19 コマでのみ発生している（したがって 7:00-16:00 の約 55%のコマで発生)。Q1:20 でそのような現象が見られるのは 3 日間（2 月 23 日（日)、3 月 20 日（金)、3 月 21 日（土)）だけである。初めてこの現象が観測された 2 月 23 日は、2 月 5 日に横浜港におけるダイヤモンド・プリンセス号の 2 週間検疫が終了してからはじめての日曜日であり、新型コロナウイルス蔓延の恐怖による人々の外出自粛が現実味を帯びてきた時期である。3 月 20 日（金）に送受電される電力の取引日は 3 月 19 日（木）であるが、この日は新型コロナウイルス対策の

専門家会議が開催されていた。そこでの議論を踏まえ、翌日 3 月 20 日は首相が改正特措法可決 1 週間後の談話を発表し、北海道の緊急事態宣言後に道民による活動自粛が感染抑制に効果があったとされることを引用しながら、引き続き 3 密を避けるよう国民に要請した。一連の報道や政府談話、および 4 月 7 日の全国的な緊急事態宣言から 5 月末日の解除まで、経済活動のマインドは大きく冷え込んだ。Q2:20 で価格 0.01 円/kWh を記録した 13 日間のうち、4 月と 5 月で 11 日間を占めており、6 月は 2 日間だけである。

第 2 に、価格が最小単位となる時間帯では、夜間帯との比較で、売り入札量が大きく盛り上がっているが、買い入札量は少し下向きにへこんでいる。更に、当該時間帯では買い入札量と取引量がほとんど一致している。当該時間帯内の取引量・買い比率の平均は 0.9786 であり、そのうち 5 日間（3 月 21 日、4 月 4 日、4 月 26 日、5 月 5 日、6 月 7 日）で比率が 1 となるコマが存在する。したがって、当該時間帯の均衡点は需要曲線の右端（端点解）かそれに極めて近いところである。

次に、Q1:20 と Q2:20 の平日で 0.01 円/kWh をつけた半時間帯が存在する日の横断面をプロットする。そのような日は 15 日間あり、そのような半時間帯数は 62 である。



図＊。Q1/Q2:20 で価格 0.01 円/kWh をつけた時間帯がある平日の横断面。破線がシステムプライス、中央付近で盛り上がる曲線が売り入札量、中央でほぼ接している 2 つの曲線が買い入札量（上）と取引量（下）である。パネル内の薄い垂直線のうち、外側 2 本は昼間帯（8:00-22:00）に、内側 2 本はピークタイム（13:00-16:00）に対応している。左の垂直軸は価格を、右の垂直軸はボリュームを測定している。

平日の傾向は週末祝日と異なる。まず、Q1:20 平日には最低価格をつけたコマは存在せず、また Q2:20 も 6 月にはそのようなコマは存在しない。そのような現象が平日で観測されたのは 4 月 6 日から 5 月 29 日までである。これは全国的な緊急事態宣言の期間と重なっている。

次に、最低価格を記録するコマの多くは 12:00-13:00 である。5.1 節の平日ボリューム系列の横断面分析の際にも、買い入札量の軌跡が季節・年度を問わず 12:00-13:00 でその前後に比べて落ち込む傾向を確認していた。買い入札量の横断面が系統的に持つこの特質と、Q2:20 平日の買い入札量と取引量との接近とが組み合わせられることで、当該四半期の平日正午あたりだけで最低価格を記録することが多くなっていると考えられる。

また、当該日における売り入札量の正午あたりの盛り上がりは週末祝日よりも緩慢で幅も狭くなっている。5 月 7 日（木)、5 月 8 日（金)、5 月 11 日（月）は例外的に売り入札量が週末祝日のように盛り上がっているが、これらはゴールデンウィーク最終日の 5 月 6 日（水）とその直後の週末に狭まれているかその直後の月曜であり、傾向としては週末祝日と類似していても不思議ではない。これら 3 日間を除くと、Q2:20 平日における最低価格での約定が正午の 2 コマに集中しているのは自然に思われる。

以上のように、メディアを賑わせた JEPX スポット価格が「ほぼゼロ円」となる現象は、以下の諸要因が複合して発生したと思われる。

1. 週末祝日の昼間は電力需要が平日より低く、その分太陽光発電は自家消費されずに取引所へより多く拠出されていた可能性がある。
2. Q2 は売り入札量の昼間横断面が大きく盛り上がる季節であり、特に週末祝日にその傾向が強くなる。
3. Q2 はそもそも需要の端境期である。
4. Q2 の買い入札量の横断面は昼間で盛り上がることはなく、特に 12:00-13:00 では下方に少しへこんだ軌跡となっている。
5. FIT 送配電取引制度で太陽光発電が原則取引所に拠出されるようになっていた。
6. 前年に規制当局が太陽光発電の 0.01 円/kWh 入札を旧一電に促す議論をしていた。
7. コロナ禍の報道と全国的な緊急事態宣言により国民の消費マインドが落ち込むことで電力需要が後退した。

上記の 1、2、5、6 が供給側の要因である。これらはいずれも供給曲線を内側にシフトしづらくしており、また供給曲線の左下に 0.01 円/kWh の水準で長く平坦な部分を作り出していたと考えられる。また、上記の 3， 4 、7 が需要側の要因である。これらと、時系列分析でみた四半期別需要曲線の分析から、Q2:20 の市場需要曲線は特に右下部分が落ち込みながら平坦化し、供給曲線の長い裾野に引っかかっていたと考えられる。

0.01 円/kWh の卸電力価格は「ほぼ 0 円」と称され、コロナ禍における経済低迷の象徴と

してメディアにとりあげられた。しかし、価格低下そのものは市場や政策の失敗を意味するものではない。むしろ、需要曲線や供給曲線の底値で実際に約定されたという事実は、そこに至るまでの JEPX 活性化の政策的な努力が一定の成果を上げ、「供給が高止まりしているなかで需要が低迷すれば均衡価格は大きく下がる」という経済学的な常識がようやく成立するようになった、という意味において、政策的な措置の成功例であると言える。

5.4　横断面分析の市場需給曲線への含意

より短いスパンで市場需要供給曲線を推定できれば、マクロ経済のほぼリアルタイムでのモニタリングが可能となる。5.1 節で、平日の買い入札量や取引量の日内横断面の軌跡がいわゆる「でんき予報」の形状と相似してきていることを指摘した。これは、JEPX における電力需要を経済全体での電力需要のミニチュア版とみなし得ることを意味する。また、電力需要は経済活動と強く相関する指標の一つであることが知られている（例えば水門他（2019））。このため、JEPX 市場需給曲線の形状変化や余剰に関する分析を通じて、マクロ経済政策をよりリアルタイムに近い時間軸で評価することも可能となろう。

この目的のために必要なのは、横断面の各単位（30 分間隔）で需給曲線を識別するための情報である。第 4 節の最後の段落で述べたように、日内横断面を捨象した時系列的な分析でも Q4:18 以降は売りと買いの強い連動によって操作変数を見つけるのが困難となっている。仮にそのような操作変数が発見できたとしても、日内の横断面を推定するには、横断面の単位ごとに値が変動するような解像度で測定されていなくてはならない。より直接的で効果的だと思われるのは、需給曲線上にある均衡点以外の点に関する情報である。JEPX 入札はブラインドオークションを特徴としており、匿名性を脅かすような市場需給曲線全体の情報公開について市場参加者の理解を得ることは難しいと推測されるが、ごく一部の追加的な情報、例えば市場監視報告書にあるような、約定取引量を 10%増加させた場合の（四半期平均をとる前の）売り手価格や買い手価格の水準については、匿名性をそこまで毀損しないと考えられるため、政策的な市場監視の観点からも公開されるべきではないだろうか。

6．結論

本稿では 2015 年 3 月 30 日から 2020 年 7 月 9 日までの日本卸電力取引所の公表されたシステムプライス・取引量・売り入札量・買い入札量といったデータのみを用いて、データの特質に反映されている政策の流れを把握した。また、監視報告書から四半期別の需要・供給の価格弾力性の値を計算し、市場需要・供給曲線の形や位置を推測した。さらに、日内 48

コマ横断面の変数の横断面を四半期ごとに図示し、特にボリューム変数の横断的な性質を明らかにした。これらを基に、最近メディアにも取り上げられた、卸電力価格が「ほぼ 0 円」となる日の特質を把握し、それらを市場需要・供給曲線の性質と結びつけて議論した。

本稿で発見した、間接オークション開始以後平時における取引量と買い入札量の関係の安定性は、需要曲線の識別に利用できる可能性がある。現在著者はこの点について学術的な検討を進めており、近日中に何らかの報告ができれば幸いである。

本稿の国際的な政策・学術的な含意は 2 つある。第一に、本稿で発見された取引量・売り入札量・買い入札量の強い周期的な連動性が他国の取引所でも見られるのかを調べる価値はある。なぜなら、このような連動性は、電力取引所がかつての発送電一体の地域独占電力会社が社内で行っていた取引の根強さと、それ以外の電力市場参加者の商いの薄さを反映しているからである。これは、類似した電力自由化・発送電分離と市場統合を経たヨーロッパの取引所の挙動に関するユニークな分析視点を与えてくれる。第二に、対数線形性を仮定すれば、逆需要・逆供給曲線の識別にはその線上に乗っている点 2 つに関する情報の公開で十分なことである。これは、国内に類似した電力取引市場を持つ各国の規制当局が市場監査に関してどこまで情報公開を行うかを判断する上で参照すべき観点である。需給曲線の交点に関する情報はどの取引所でも公開しているはずだが、匿名性を毀損しないような別の点の情報を公開すれば、外部の研究者にも市場需給曲線の推測を通じて経済学的な応用研究（比較静学や余剰分析）が可能となる。そのような点としては、本稿で示唆したような約定量を１０％増加させた場合の売り手価格と買い手価格が候補として挙げられる。これらの取引所の情報公開についても国際的な協調が進むことを期待したい。

参考文献

Ikeda, S. S. (2019). Illiquidity in the Japan Electric Power Exchange. Journal of Commodity Markets. 14, 16-39.

気象庁（2020）. 2019/2020 年冬の天候と大気循環場の特徴。
https://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2020/0414_teirei/r02gidai.pdf

北野泰樹（2012）. 需要関数の推定. ＣＰＲＣハンドブックシリーズ No. 3, CPDP-58-J November 2012.

経済産業省（2018a）.「グロス・ビディングの今後の進め方について」、第 28 回制度設計専門会合事務局提出資料、2018 年 3 月 29 日。

経済産業省（2018b）.「今秋の再生可能エネルギー出力抑制時の卸電力市場の状況および今後の対応について」、第 35 回制度設計専門会合事務局提出資料、2018 年 12 月 17 日。

経済産業省（2019a）.「適正な市場メカニズムと需給確保の在り方について」、2019 年 2 月

4 日。
経済産業省（2019b）.「自主的取組・競争状態のモニタリング報告（平成 31 年 1 月～3 月期）」、第 39 回制度設計専門会合事務局提出資料、2019 年 6 月 25 日。
水門義之、和泉潔、坂地泰紀、島田尚、松島裕康（2019）.「高頻度電力需要データを用いた製造業活動のナウキャスティングモデルの構築」、社会における AI 研究会、2020 年 11 月 23 日。
https://jsai.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_uri&item_id=10496&file_id=1&file_no=1
電気新聞（2020）、「JEPX、スポット価格の下落顕著に」、2020 年 5 月 12 日。
日本卸電力取引所、「取引監視・取引検証　四半期報告」。
日本経済新聞（2020）、『電力スポット価格、土日昼間は「ほぼ 0 円」も　法人需要減で下落』、2020 年 4 月 30 日電子版。
https://www.nikkei.com/article/DGXMZO58525810X20C20A4TJ3000/
読売新聞（2020）、『電力の取引価格、頻繁に底値の「ほぼ 0 円」…緊急事態宣言の全国拡大後に「異変」」、2020 年 5 月 10 日オンライン版。
https://www.yomiuri.co.jp/economy/20200510-OYT1T50101/