

電力取引リスク管理のための 市場価格データ分析技術

Electric Power Market Price Analysis for Trading Risk Management

伊藤 保之

■ ITOH Yasuyuki

2005年4月に、わが国において卸電力の市場取引が開始された。取引のリスク管理を行ううえで不可欠なことは、電力の市場価格の変動にかかわるリスクの大きさを評価することである。

東芝はこの目的で、電力市場で取引されるスポット商品及び先渡し商品の価格変動の分析技術を開発した。これにより、翌日スポット価格の予測や先渡し価格の長期予測とそれらの信頼区間を推計し、かつ価格変動のシミュレーションを行うことが可能となった。

Wholesale electric power trading commenced in Japan in April 2005. Risk management of power trading requires estimation of the magnitude of market price risk.

For this purpose, Toshiba has developed techniques for electric power market price analysis. These techniques enable users to forecast electric power spot prices and forward prices with confidence intervals and to perform long-term simulations.

1 まえがき

2005年4月に、わが国において日本卸電力取引所(JEPX)が開設され、卸電力の市場取引が開始された。卸電力市場は、翌日渡しの電力を30分単位で取引するスポット市場と、将来の受渡し期間を通じて出力一定の電力を受け渡す先渡し定型市場、そして先渡し掲示板市場から成る。

一般に電力市場価格の変動は非常に大きく、しかも電力貯蔵が基本的に不可能であることから、取引量が增大していくとそのリスク管理が重要な課題となる。

取引リスクの大きさを表す指標(リスク指標)としては、例えば、バリュアットリスク(VaR)や収益アットリスク(EaR)がある。VaRやEaRは、所有する資産の価値や事業収益に対して、将来の定められた時点におけるこれらの変動の信頼区間の中で想定される、最大の損失として定義される。そしてこれらのリスク指標は、最悪の事態に備えるべき資本(リスク資本)の大きさの目安となる。

このような資産や収益の変動にかかわるリスクの大きさの計量において欠かせないのが、市場で取引される個々の資産や商品の価格データの分析であり、電力取引の場合には、スポット価格や先渡し価格のデータ分析である。ここでは、これらの分析技術について述べるとともに、海外の電力取引データを用いた分析の結果を提示する。

なお、スポット価格の分析には米国のPJM卸電力市場における翌日スポット価格データを、また、先渡し価格については米国のニューヨーク商品取引所(NYMEX)の電力先物

価格データを用いた。

2 電力スポット価格の分析

電力スポット価格の変動を、確定変動と確率変動に分けて分析する。確定変動とは時間、曜日にかかわる周期的な変動や季節的な変動などをいう。確率変動については基本的に定常過程であるとして分析を行う。

2.1 周期成分

電力スポット価格データの特徴として、その変動に時間、曜日、そして季節的な月単位の周期成分が含まれる。時間と曜日にかかわる周期成分は、元データを移動平均することによってトレンド(時系列データの長期的な動き)を求め、元データとトレンドとの差を分析することによって抽出することができる⁽¹⁾。

一般に、電力価格は夏冬の需要期に高くなる。このような季節変動に対し、価格データが1年以上あれば月単位の周期成分を求めることができる。ただし、電力取引の年数が少ないと、確率的なトレンドか周期的変動かの判断は困難なものとなる。ここでは、スポット価格の変動が定常過程であり、長期的な変動は予測可能な確定トレンドであると判断する。月単位の周期成分の推定には、価格の時系列データから上記周期成分を差し引いた時系列データのフーリエ級数展開を行えばよい。また、この分析には、必要に応じて直線トレンドの除去を行う。

米国のPJM卸電力市場の翌日電力スポット価格データ

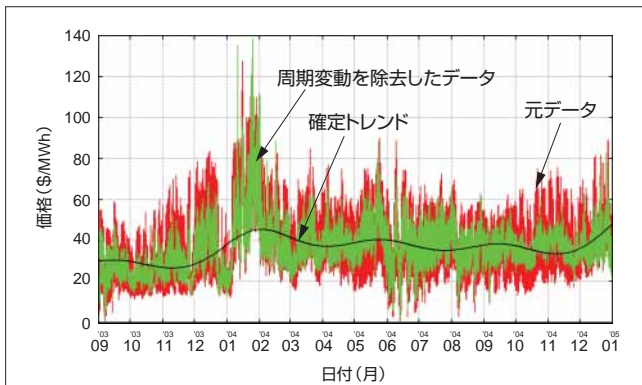


図1. 米国 PJM の電力スポット価格データ — 元データから周期成分を除くと、不確実な価格変動成分が得られる。
Spot price data of PJM power market

(2003年9月～2004年12月)を図1に示す。図中の赤い線は元データ、緑の線は時間と曜日にかかわる周期成分を元データから除いたもので、価格変動がいくぶんか低減されている。また、黒の線は季節変動と直線トレンドの和である価格データの確定トレンドを示す。したがって、この確定トレンドと緑の線の差が電力スポット価格の確率的(不確実)な変動となる。

2.2 自己回帰分析

元データから既知関数としての周期成分及び確定トレンドを取り除いた時系列データはおおむね定常過程と見なすことができるので、これを分析し翌日価格を予測するために、自己回帰 (AR: AutoRegressive) モデルを適用する⁽¹⁾。

ARモデルは、変量の現在の値が過去のいくつかの値に依存するものとし、それらの線形結合とランダムに変動する誤差項との和で表すものである。このようなARモデルを電力価格データの確率変動成分に当てはめれば、翌日の価格は、誤差を0とする1期先予測を行うことにより求められる。

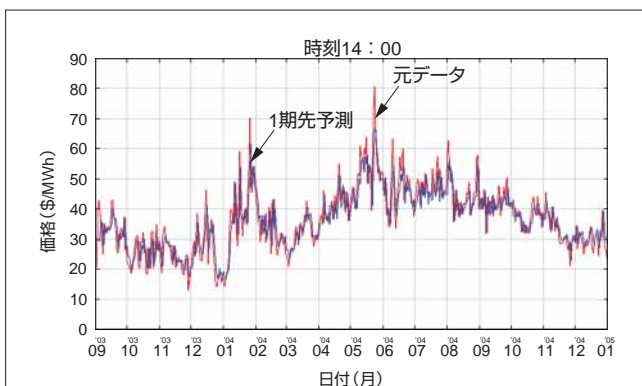


図2. ARモデルを用いた米国 PJM 電力スポット価格の1期先予測 — スポット価格から周期成分と確定トレンドを除いたデータで、赤の線が元データ、青の線が予測値を表す。
Result of autoregressive (AR) model analysis

その結果の一例を図2に示す。元データ(赤)と予測値(青)の差が予測誤差となる。

2.3 予測誤算の分析

ARモデルで予測した翌日の電力スポット価格には誤差が生じる。この分析の結果を図3に示す。図中の赤の線は対数価格(価格(S)の対数: $\ln(S)$)の予測誤差の2乗をプロットしたもので、特に冬場の誤差が非常に大きい。このように、予測誤差に対しても季節的な変動が見られ、その分散(標準偏差の2乗)は一定ではない。そこで、分散変動モデル⁽²⁾を用いて予測誤差を分析する。

分散変動モデルとしてGARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) モデルを用いた。GARCHモデルは、現在の分散をその1期前の値と予測誤差の2乗との線形和で記述するものである⁽²⁾。

図3中の黒の線が、計算で得られた変動分散の一例である。こうして各時刻の価格に対する分散変動モデルのパラメータが得られれば、それらの翌日予測誤差の標準偏差を推定できる。

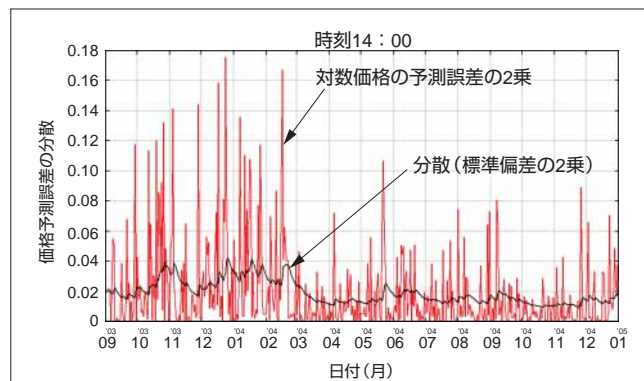
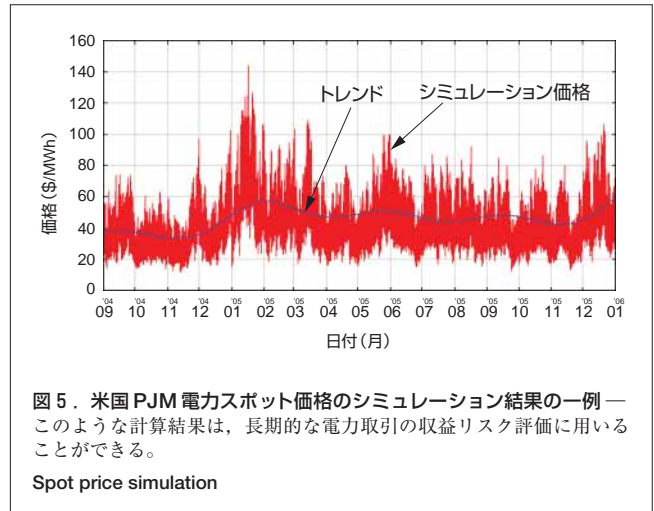
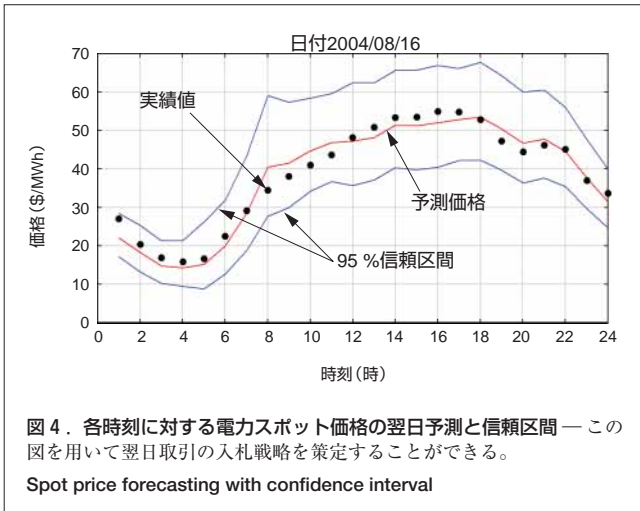


図3. GARCHモデルで得られる翌日予測誤差の分散 — 不確実な価格変動の分散も時間的に不確実な変動をする。
Result of generalized autoregressive conditional heteroskedasticity (GARCH) model analysis

2.4 翌日価格の期待値と信頼区間

以上、電力スポット価格データから周期成分とトレンドを取り除いた不確実な変動の時系列データをARモデル及びGARCHモデルを用いて分析し、各時刻ごとの翌日価格の予測とその誤差の標準偏差を求めた。予測の信頼水準を95%とすれば、信頼区間は予測値 $\pm 1.96 \times$ 標準偏差で与えられる。

図4はそれらの計算結果をまとめたもので、予測価格はARモデルによる予測値にトレンドと周期成分を加えたものである。信頼区間は毎日、毎時異なり、電力スポット商品の売買取引成否の必要度に応じて、この値と予測価格とから翌日の入札価格を検討することができる。



2.5 スポット価格シミュレーション

電力スポット価格の分析により、そのトレンド、周期成分及び不確実な変動のモデルパラメータを定めれば、長期的な将来の価格シミュレーションを行うことができる。ここでは、スポット価格の対数の確率変動が平均回帰過程 (AR (1) モデル) に従うものとしてモンテカルロシミュレーションを行った。平均回帰過程は、変量がブラウン運動をしつつ、ある時定数でその平均値に戻ると仮定するものである。スポット価格の確率変動の大きさを表す分散については、それが時間的 (季節的) に変化するものとし、図3で示されるような GARCH モデル分析で得られる分散のトレンドを求めて与えることにする。すなわち、分散の変動は確率的ではなく、季節的であると考える。

各時刻ごとのシミュレーションを行った結果の一例を時系列的に図5に示す。この図から、図1と同様の価格変動の性質をおおむね再現できていることがわかる。

3 先渡し電力価格の分析

先渡し価格は金利一定のもとで先物価格と等しくなるので、ここでは商品先物価格理論 (スポット価格モデル^{(3), (4)}) を採用して、米国の NYMEX で取引される電力先物価格データを分析した結果について述べる。スポット価格モデルでは、取引の決済日 (満期又は限月) ごとに定められる先物価格が、スポット価格の将来の期待値として与えられるものと仮定される。

3.1 スポット価格モデル

スポット価格モデルとして、Schwartz-Smith の2因子モデル⁽⁵⁾を採用した。このモデルはスポット価格の対数が、平均回帰過程に従う変量 χ とブラウン運動をする変量 ξ との和 (2因子) で表現できると仮定するものである。

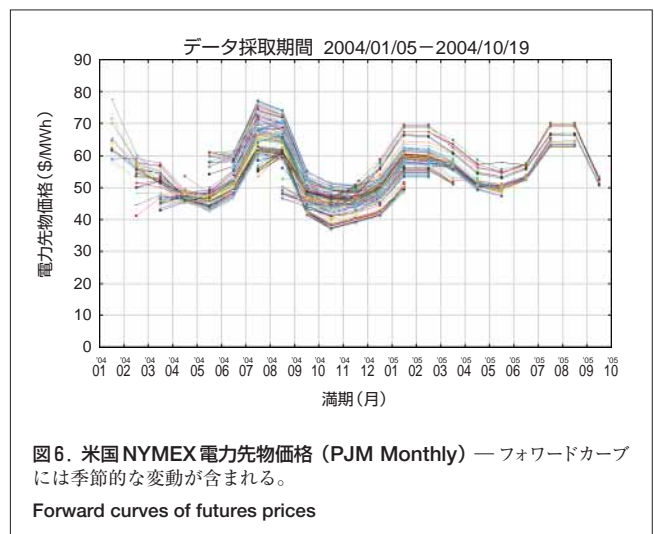
スポット価格の将来の期待値と分散を求めることにより、

先物価格のフォワードカーブのモデル式が得られる。ここでフォワードカーブとは、満期ごとに与えられる先物価格を線でつないだものである。市場より取得した各限月ごとの先物 (先渡し) 価格の時系列データから得られる毎日のフォワードカーブを、得られたモデル式でフィッティングすれば前記の未知の時系列データ、 $\chi(t)$ と $\xi(t)$ を推定することができる。

このようにしてモデルパラメータを価格の時系列データから抽出することにより、将来の先物価格を予測し、その信頼区間を求めることが分析の目的となる。

3.2 電力先物価格分析例

米国 NYMEX の電力先物価格 (商品銘柄: PJM Monthly) の時系列データから得られるフォワードカーブを図6に示す。JEPX を意識し、図6では最長満期が1年までのものをプロットした。この先物は、PJM 卸電力取引市場におけるリアルタイムスポット市場のピーク時間帯平均価格を原資産とするものである。電力先物価格のフォワードカーブには季節成分が重畳されているため、前記のスポット価格モデルを



用いて分析するには、この季節成分を確定関数として除去する必要がある。

図6の先物価格データから季節成分を抽出し除去したうえで、フォワードカーブモデル式で関数近似した結果を図7に示す。データ採取期間が短く、最長満期も1年としたため、関数近似において良好な精度は期待できない。関数近似によって得られる前記の時系列データ $\chi(t)$ と $\zeta(t)$ を分析することにより、モデルパラメータが得られる。

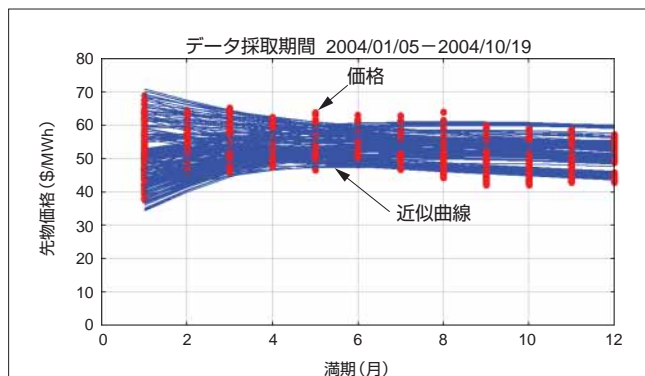


図7. 季節成分を除いた米国 NYMEX 電力先物価格 (PJM Monthly)
— このカーブを用いてスポット価格モデルのパラメータを抽出し、将来の価格予測を行う。

Forward curves without seasonal variations

モデルパラメータを抽出すると、将来の先物価格の予測とその信頼区間を推定することができる。2004年10月19日時点で6か月先物商品(限月: 2005年3月)の将来価格を推定した結果を図8に示す。先物価格は、その限月までの期間が短くなるにつれて変動の激しいスポット価格に近づくため、図6からわかるように、信頼区間が急激に増大していく。モンテカルロシミュレーションの結果も併せて図8に提示した。

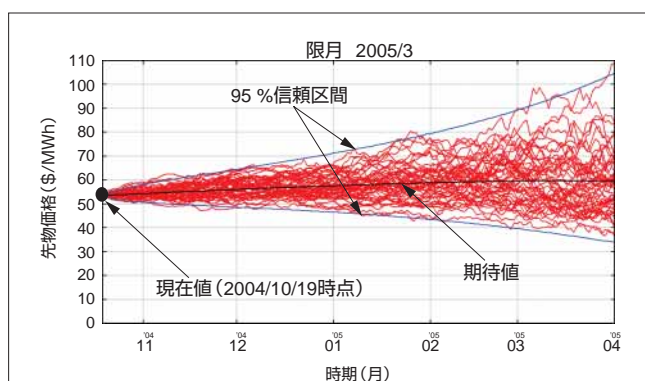


図8. 米国 NYMEX 電力先物価格 (PJM Monthly) の予測と 95 % 信頼区間及びモンテカルロシミュレーションの結果 — 将来の先渡し取引のリスク分析・評価に用いる。

Forecasting of futures prices with confidence interval

4 あとがき

電力取引のリスク管理に要求される電力市場価格の分析技術について述べた。

スポット価格の分析により、その変動を確定変動と確率変動に分け、後者を AR-GARCH モデルで分析することによって、翌日価格の予測とその信頼区間を推計するとともに長期的な価格シミュレーションが可能となった。一方、先渡し(先物)価格については2因子のスポット価格モデルを採用し、先物価格の長期予測と信頼区間を推計できるようにした。

国内の卸電力市場取引は始まったばかりである。スポット市場の価格シミュレーションを考えた場合、それが可能となるには、市場特性が定着しかつデータが蓄積されるまで待たねばならない。また、先渡し市場について言えば、現時点での最大の問題は、フォワードカーブを描いて分析できるほどには取引がないということである。

しかしながら、国内市場の発展とともに取引のリスク管理は重要なものになっていくので、今後これに備えるべく、市場データの蓄積とともにそれにふさわしい分析技術の確立に努めていく。

文献

- (1) Brockwell, P. J.; Davis, R. A. Introduction to Time Series and Forecasting. New York, Springer-Verlag, 1996, 456p.
- (2) 渡辺敏明. ボラティリティ変動モデル. 東京, 朝倉書店, 2000, 145p.
- (3) Clewlow, L.; Strickland, C. Energy Derivatives: Pricing and Risk Management. London, Lacima Group, 2000, 237p.
- (4) Eydeland, A.; Wolyniec, K. Energy and Power Management, New Jersey, John Wiley & Sons, 2003, 504p.
- (5) Schwartz, E.S.; Smith, J.E. Short-Term Variations Long-Term Dynamics in Commodity Prices. Management Science. 46, 2000, p.893-911.



伊藤 保之 ITOH Yasuyuki, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
エネルギーソリューション開発部参事, 工博. 金融工学応用の研究・開発に従事. 日本原子力学会, 日本金融・証券計量・工学学会会員.

Power and Industrial Systems Research and Development Center