

電力価格モデリングを用いた 意思決定についての一考察 モデルの例示とその課題を中心として

大藤 建太*、巽 直樹**

【要旨】

電力取引の市場制度設計や入札戦略立案のため、市場モデリングの試みは先行市場を中心に種々行われている。本稿では、主に金融工学分野における代表的価格モデリング手法を整理し、とくに電力価格の挙動をよく表現するものとして一般に用いられているOrnstein-Uhlenbeck過程によるものを取り上げ、そのアプローチと留意点について確認する。また、その適用前提となる、道具としてのモデリング行為の留意点と対策を考察し、現状の本邦電気事業における有用性と今後の方向性について基礎的検討を行う。

【目次】

1. はじめに
2. リスクマネジメント手法
 - 2.1 オペレーショナル・ヘッジとファイナンシャル・ヘッジ
 - 2.2 ファイナンシャル・ヘッジと価格モデリング
 - 2.3 リアルオプション評価における価値評価の順序
 - 2.4 価格分析の新しい手法
3. 価格モデル
 - 3.1 確率モデル
 - 3.2 回帰分析モデル
 - 3.3 パラメータに拠らないモデル
 - 3.4 相対取引を考慮したモデル
4. リアルオプションアプローチによる発電資産価値評価の例
 - 4.1 目的・背景
 - 4.2 市場価格モデル
 - 4.3 仮定となる前提
 - 4.4 シミュレーション手順

* 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科

** 学習院大学経済学部

- 4.5 シミュレーション結果
- 5. 活用に向けて
 - 5.1 価格モデリングの前提と現状分析
 - 5.2 活用に向けた課題と方向性
 - 5.3 むすび

1. はじめに

2005年には、日本卸電力取引所（JEPX）による卸取引が開始され、高圧50kW以上需要家の自由化が実施された本邦の電力業界にも、自由化の進展による収益管理の考え方に対する影響、あるいは従前にはなかった金融的リスクマネジメント手法の導入等に関して以前にも増して活発に議論されてきていることは良く知られているとおりである。市場取引を含む規制緩和の先行する欧米において観察されたさまざまな事例に啓発され¹、本邦電力業界においても、収益管理のためのツールとして、リスク管理・統合リスクマネジメント等の経営管理用語が取りざたされるようになって久しいが、本稿では、経営にまつわる各種リスクのうち、電力事業における市場リスク把握管理の基礎的な考え方と、市場モデリングの例、ならびに、現状の本邦電力業界における位置づけについて概観する。

2. リスクマネジメント手法

2.1 オペレーショナル・ヘッジとファイナンシャル・ヘッジ

電気事業を行う企業を「生産流通設備」と「金融資産」のミックス・ポートフォリオ・ホルダーと見ると、生産流通設備は一般に広く市場取引されない資産であるのに対し、金融資産は金融市場を介して十分流動的に取引される点が大きな差異である。ここでは、それぞれ、取引

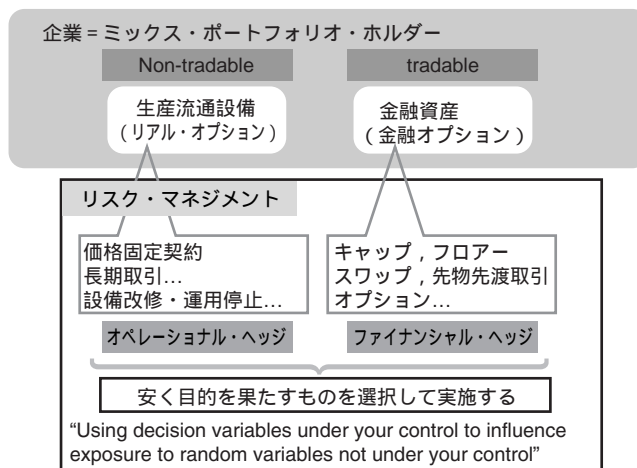


図1 ミックス・ポートフォリオ・ホルダーとしての企業と、リスク・マネジメント

1 Kaminski [1997] 等多くの文献がある。

されない財を「non-tradable asset」および市場取引される財を「tradable asset」として呼び分かつことにする。さて、製造業企業の場合 non-tradable asset にまつわるリスクとしては、原料価格・販売価格・運用障害等のランダムな変動・発生による便益の増減がある。一方、tradable asset の代表である金融資産としては金利、為替などのランダムな変動による価値の増減がある。図1にその概略を示す。

同図に示すように、Non-tradable asset である電力設備には「オペレーショナル・ヘッジ」として、価格固定契約や長期契約、長期取引の設定による売上の固定、設備改修・運用停止による費用の固定などの手段がある。一方、Tradable asset である金融資産には金融オプションや先物先渡取引などの「ファイナンシャルなヘッジ」手段がある。いずれも、ランダムに発生する経営変数を、多くの場合固定するため、制御できる変数もちいてそのランダムさを低減または除去しようとする動機が根底にある。こうした複数の手段のうち、企業の大目的に照らして、主に取引コストの面でより安価に目的を果たすものを選択のうえ実施する、というのがリスクマネジメントの考え方である。そして、その前提として、経営変数がランダムに発現するという経営環境上の前提がある。

「リスクマネジメント」なる語がよく耳にされるようになって久しい。その語が意味するところは非常に多義的であると思われ、企業内での議論でも、まず「何の」リスクのマネジメントなのか、について認識合わせをるところから始めるという必要が往々にしてあると思われる²。

料金規制の存在から当然のことではあるが、電気事業においては従前、収入のランダムさを意識する機会が他業界に比して少なかったと思われるため、リスクマネジメントといってもそれを必要とする場面も動機もそれ以外の事業会社とは異なると思われ、社内的に「何の」リスクをマネジメントするのか、そもそも計量する必要のあるリスクなのか、というところから再点検する場合すらあるように思われるのである。以下では、電気事業のうち財務的リスクマネジメントを考えた場合に着目し、例としてファイナンシャルなヘッジに着目して、そのためのツールである卸市場価格のモデリングについて概観する。

2.2 ファイナンシャル・ヘッジと価格モデリング

一般にファイナンシャル・ヘッジは、キャッシュフローの i) 安定化、または ii) 予見を目的とし、それに備えた経営判断を行うためのものとされる（図2）。

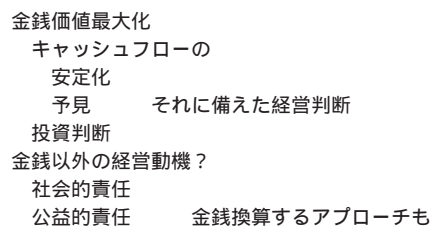


図2 ファイナンシャル・ヘッジの動機（前提）

2 電力産業におけるリスクマネジメントの、主に米国の事例に関して Froot et al. [1994], Headley and Tufano [1994], Tufano [1996] を参考とした。国内電力産業におけるリスクマネジメントの考え方や事業環境について穴山 [2005] を参考とした。

ここでは、ファイナンシャル・ヘッジの一形態として、設備のリアルオプション性を行使したときに市場のランダムさからくる付加価値を評価する一手法としてのリアルオプション価値について考える。具体的には、電力市場に電力を供給する発電設備の運用を適宜設定することにより、その資産価値を最大化させることが出来る例について述べる。その評価ステップについて、以下記載する。

2.3 リアルオプション評価における価値評価の順序

設備価値の評価については、まず管理会計的な意味でその設備に対応するコストと売上を、正確に把握するという段階であるように思われる。次の段階として、オプション性の行使によるランダムさの利用、ランダムさからの防御がある。図3にその概略を示した。

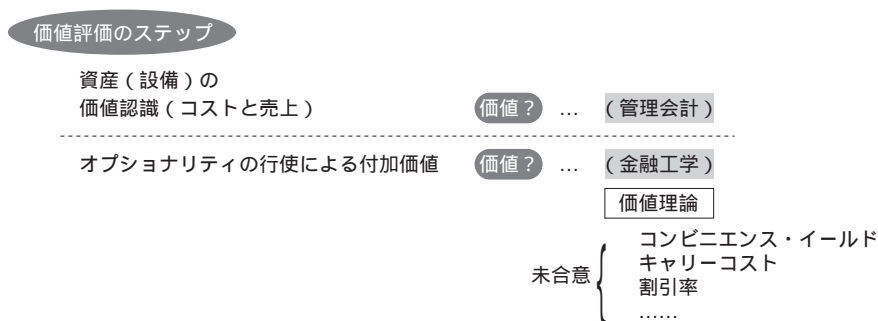


図3 設備価値評価の順序

2.3.1 管理会計的価値把握

現状で、まずその設備起因のコストと売上の正確な把握が必要で、これらはこの次のオプション価値評価の前段として非常に基本的な情報となるために、欠かすことの出来ないステップである。具体的には、人件費、燃料費、修繕費、減価償却費、公租公課、等の各費目を、可変費・固定費別に区分把握したもの³の設備毎のトレンド把握が最初のステップとなる。これにより、オプションナリティを行使しない場合の「生」の価値把握を行う。

2.3.2 オプションナリティの行使による付加価値把握

つぎに、オプションナリティを行使した場合の付加価値計量を行う。ここからいわゆる金融工学的な価値評価手法が登場する。本稿で取り上げるリアル・オプション価値評価はそのうち代表的なもののひとつである。

このとき、電力財について言えば、i) 保存できない、ii) 系統制約などによるデリバリー障害が存在する場合がある という財の特色を反映した価値理論について、現状まださまざまな研究が行われている段階であり、農作物や株式などの貯蔵財についてみられるような「コンビニエンス・イールド」「キャリアコスト」「割引率」などに関する、一般的に受容された価値理論がまだ未確立という段階にあるため、市場先渡し取引価格の理論的表現について十分な合意

3 平成11年通商産業省令 卸供給・供給約款各料金算定規則等（出所）経済産業省ホームページ
<http://www.meti.go.jp/>

があるわけではないが、設備価値評価のための材料としては市場価格があれば十分であるので、それを用いることが多いようである。本邦においては、まだ取引行為自体黎明期であるということもあり、卸市場取引において十分な量のデータが出てきているとはいえないため、もうすこしデータの蓄積を待つ必要があると思われる。

2.4 価格分析の新しい手法

ところで、近年、実価格のトラクタビリティ（再現可能性）において、金融工学分野のモデル群にかかわる可能性を秘めた新しい学問分野が注目を集めている。経済物理学（econo-physics）と呼ばれるそれは、高密度な価格変移データを用いることにより、経済現象である価格変動に自然現象の複雑系との関連を見出した新しい学問分野である。電力財の場合、市場価格変移の確率分布をプロットしたときに正規分布よりも「すそ野」部分の分布がかなり多く出るため、正規分布価格変移モデルの妥当性に対する疑問⁴に対して、金融工学の立場からも種々の検討が行われてきたが、経済物理学では変移の分布がべき分布に従うことを示し、それは正規分布などの一般的統計分布を包含すると主張されている⁵。

電力市場価格解析等に関する適用検討例は筆者らの知る限りまだないが、今後の研究動向によっては、電力市場価格をよく理解説明するものとして注目を浴びる可能性がある。

3. 価格モデル

電力財の市場価格モデルとしては、代表的なものとして i) 確率モデル, ii) 回帰分析モデル, iii) パラメータに拠らないモデル 等があると思われる。大略、それぞれ下記のような特徴を備えている⁶。

3.1 確率モデル

代表として a) ランダムウォーク, b) 平均回帰モデルがある。後に例を引く Ornstein Uhlenbeck 過程もこのひとつである。

$$dPt = \mu Ptdt + \sigma dWt \dots (1)$$

（ただし、 W_t はウィーナー過程）において、 μ 、 σ の値を、時間関数の形も含めて様々に定義することが出来る。平均回帰モデルは、中央値 μ の値に戻る“速さ”を較正できるようにしたものであるし、確率ボラティリティモデルは、ボラティリティ σ に時間に関するランダムウォーク性を取り入れたものである。関数形の定義によっては、季節性や曜日などさまざまな時季要因も織り込むことが可能である。このモデルの場合、市場価格データを用いて上記の各パラメータを較正するが、欠点としては、価格変移を単なる数列として模擬しているだけであるから、需給のファンダメンタルなど、電気の需給の現象論的な理解にたつてパラメータの物理的意味を認識するのが困難であるという点がある。

3.2 回帰分析モデル

主として過去データに基づく線形フィッティングによるマルチファクターモデルである。時

4 いわゆる「ファット・テール問題」。

5 経済物理学一般については、高安 [1986], 高安他 [2001], 高安 [2004], 戸田 [2005]などを参考とした。

6 本章は Bunn and Karakatsani [2003], Hull [1997]などを参考とした。

間に関する記憶項 (auto-regression terms) を入れた AR モデルなどは、平均回帰モデルの別表現といえる。また、需給ファンダメンタルに着目した Nogales et al.[2002] のようなファクターモデルもある。このモデルの場合、過去データはある程度のボリュームが必要であるが、マーケットに構造的な変化が起きた場合やイレギュラーなショックがあった場合のデータの取り扱いや、どこまでのデータを元に関数形を推定するかについて議論の余地を残すのは、他分野の時系列モデルと同様の性質である。

3.3 パラメータに拠らないモデル

前項までに見たような、パラメータのチューニングによって良好なフィッティングを得ようとするものとは異なるアプローチで、各市場参加者の行為や意思決定機構を模擬することにより市場ダイナミクスそのものを模擬しようとする手法である。a) マルチエージェントモデル、b) ニューラルネットワーク (NN) を用いた強化学習モデル、c) ファジー関数を用いたファジーモデル 等がある。いずれも、行為関数の定義を変えることによりさまざまな市場ダイナミクスを模擬できる点が利点であるが、ミクロな反復的意思決定から結果を抽出するという性質上、価格形成においてどの経済的ファクターが効いているのかが直感的にわかりにくいという面がある。

3.4 相対取引を考慮したモデル

まだ多数の例があるわけではないが、本邦電力取引形態として相対取引が圧倒的に多量であるという経営実態に立って、近年相対取引を考慮したモデルの検討が報告されている。たとえば熊野他 (2005) のように、相対市場を中心としつつも、取引市場と相対市場との間でそれぞれの市場価格に応じて顧客が流動する経営モデルを構築する試みがある。これらモデルはまだ検討の途上にあると思われるが、近年の本邦電気事業の取引構造によく当てはまっていると思われるので、引き続き注目を要するところである。

4. リアルオプションアプローチによる発電資産価値評価の例

以下では、上記 3.1 確率モデル に分類される価格モデルを用いた発電資産のリアルオプション価値評価の例をあげる。この例は実際に、あるビジネススクールの金融工学のケースとして用いられたものをモチーフとしている。

4.1 目的・背景

所与の卸市場に対する天然ガス焚き火力プラントの運転パターン (起動・停止) を最適化することにより、市場変動から得られる収益機会を計量し、プラント価値 (in \$) を試算すること。

設備は、燃料用の天然ガスをガス市場より調達しており、ガスと電力の市場価格を見ながら、一定の起動停止条件により起動停止を任意に行えて、設備価値を最大化するような運用を行うことが出来るものとする。

4.2 市場価格モデル

平均回帰性を表現できる Ornstein-Uhlenbeck (O-U) 過程を用いて電力価格，ガス価格を表現する。

4.2.1 電力

電力に関しては，上記にポアソン Jump 過程を加算したものをを用いる。すなわち，O-U 過程

$$\begin{aligned} dCC_t &= \alpha_c [\theta_c(t) - CC_t] dt + v_c(t) CC_t dW_{t_c} \\ dJC_t &= \beta [0 - JC_t] dt + dq t \quad \dots (2) \\ dC_t &= dCC_t + dJC_t \end{aligned}$$

において，電力価格 C_t は平均回帰部分 CC_t とポアソン Jump 過程 JC_t の代数和であり，回帰速度 α_c と参照値 $\theta_c(t)$ を市場フォワードカーブに併せて較正する。ボラティリティ $v_c(t)$ は季節性を有し，電力需要ピークの夏季とその他季とで異なる値（定数）を取る。Jump 部分はポアソン分布 dq に従う速度 β の緩和過程とする。ここに， W_{t_c} はウィーナー過程である。

4.2.2 ガス

ガスに関しては，価格変動が電力のそれと一定の相関係数を有する O-U 過程に従うとする。すなわち，ガス価格 GC_t に関して，

$$dGC_t = \alpha_g [\theta_g(t) - GC_t] dt + v_g(t) GC_t dW_{t_g} \dots (3)$$

における W_{t_g} は W_{t_c} と相関 ρ を持つ。電力の場合と同様に，回帰速度 α_g と参照値 $\theta_g(t)$ はフォワードカーブから較正する。 W_{t_g} はウィーナー過程である。

4.3 仮定となる前提

今回のシミュレーションでは，下記が満たされることを前提とした。

a. 設備の運営目的が金銭価値の最大化であること

たとえば停止に伴う社会コスト等を考慮しなくて良いことを含む。

b. 電力の十分な市場供給があること（市場流動性が確保されていること）

オプションリティを任意に行使できること。流動性リスクがある場合は，別途その定量化が必要となる。

c. 供給義務がないこと

a. ~ c. は本来同根のことである。いずれも，オプションリティの行使を理想化する条件であって，これら条件は別途緩和が可能であるが，緩和の手法については本稿では取り扱わない。

4.4 シミュレーション手順

4.4.1 市場データの取得

電力・ガスの両方について，フォワードカーブ，スポット値のヒストリカルデータを取得する。

4.4.2 市場パラメータの推定

取得した市場データについて，緩和速度（(2)(3) 式の $\alpha_c, \alpha_g, \beta$ ），ボラティリティ（ $v_c(t), v_g(t)$ ），ジャンプ確率 qt と振幅を求める。推定は，取得したヒストリカルデータから適宜期間のものを選択して推定に用いる。このときの論点を述べる。

a. 過去時点範囲の切り出し 過去のどの範囲を参照してパラメータ推定に用いるかは，あ

る程度の統計精度を得るための最低必要データ量と、そのうちどの範囲のデータを用いるかということについて決まったやり方はなく、最良と思われる範囲を用いることとなるが、推定してみたパラメータで価格パスを生成してみて、ヒストリカルデータとフィッティングしてみるなどによることが多いと思われる。

b. パラメータの将来有効性 パラメータはヒストリカル（過去）データに基づくものであるから、将来においても市場がそれに基づく挙動をするかどうかについてまったく保証はない。一度作成したモデルを適切な時間間隔で市況に合わせて更新するのは、従って必須のことといえる。

4.4.3 価格パスの生成・較正

正規乱数を発生し、(2)(3)式に従って価格パスを発生させ、それらの期待値から、4.4.1で取得したフォワードカーブをもとに $\theta_c(t), \theta_g(t)$ を較正する。具体的には、生成した全価格パスにわたる各時間断面での期待値（すなわちスポット価格の将来期待値）が市場フォワード価格に一致するという前提で、モデルから生成する期待値が市場フォワード価格と等しくなるように $\theta_c(t), \theta_g(t)$ の値を調整する。効率市場仮説に基づいているわけである。

4.4.4 推定リアルオプション価値から起動停止条件の決定

起動停止条件をひとつ決定すると、リアルオプション価値を推定することが出来る。設備価値は今回正味現在価値により評価する。正味現在価値は今回各 dt における貢献利益の総和として求めている。この価値を最大化するような起動停止条件を、種々シナリオを試行することにより決定する。

以上手順によるが、今回の諸元をまとめて図4に示す。簡単化のため、1年を48週、単位時間 dt を1週間としたが一般性は失われない。生成パス数は簡単化のため100パスとした⁷。ヒストリカルデータは、実市場ではなく仮想的市場を想定の上、別途生成した値を用いた。設備の初期状態は運転中であるとし、設備価値は市場環境の変化や金利の変動などを考慮し、向こう2年間について算定するものとした。

市場現況	設備
電力	100万KW, LNG
当初スポット \$35	ヒートレート 12mmBTUs/MWh
Jump部分	燃料費以外の変動費 \$5/MWh
\$75/MWh以上で、振幅\$75/MWhのジャンプ	起動/停止
ジャンプ $\mu=20$, ジャンプの確率 $q_t: 8.3\%/dt$,	起動
Mean-reverting部分 $c=7/\text{年}$,	起動費: \$3/MW,
夏季 $v_c(t)=28.87\%/dt$, その他季 $v_c(t)=10.83\%/dt$	起動ラグ: 1単位時間
ガス	停止は即時
当初スポット \$3/mmBTUs	
$v_g(t)=7.22\%/dt$	
電力との価格相関 0.3 (ジャンプ分含まず)	
$g=3.0/\text{年}$	
リスクフリーレート 5%/年	

図4 モデリング諸元

7 要求する精度上、一般にモンテカルロシミュレーションでは10,000パス程度以上を生成することが多いようである。

4.5 シミュレーション結果

以下結果を述べる。

4.5.1 生成した価格パス

図5(a)(b)に生成した電力、ガスの各価格パスの例を示す。電力・ガスともに需要逼迫する夏季に価格ピークを有する季節性（Seasonality）が再現されており、ガスとの時間的相関も見られることがわかる。ここで、横軸は dt （1～48週（1年）～96週（2年））である。また、100パス程度ではまだ生成パスにばらつきがあることもわかる。電力においてはジャンプ性のピークを含む表現が得られている。

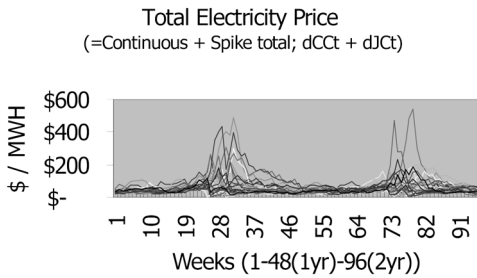


図5(a) 電力価格生成パスの例

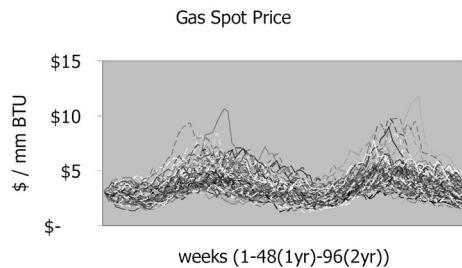


図5(b) ガス価格生成パスの例

4.5.2 リアルオプション価値の算定例

推定したリアルオプション価値を最大化するような起動停止の条件として、今回「 $2dt$ 分の現在価値を先読みしてその計が負にならない場合には継続運転または起動させ、負になる場合は即時停止するもの（*）」とし、以下、これを「常時起動のまま」という条件と比較することとする。前者は市場にらみで運用を変更するため「オプションナリティありのケース」、後者を「オプションナリティなしのケース」と呼ぶことにする。両者の比較を、各パラメータの感度解析と併せて図6、7に示す。図6では設備価値の金利依存性の推定例を、オプションナリティのあり/なし（奥列/手前列）で比較している。奥列と手前列の差がすなわちオプションナリティの価値である。この例では、オプションナリティありの場合の価値が、なしの場合の100%程度相当に達していることがわかる。また、価格の表現として金利の要素を含んでいないため影響としては割引だけであるから、ここに示した範囲では設備価値の金利依存性はそれほど大きくないことがわかる。続いて、図7では市場ボラティリティ依存性の推定例を示している。（a）は

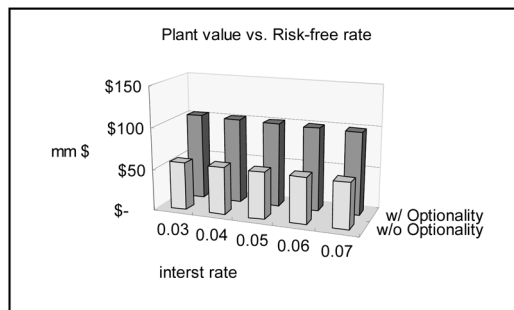


図6 設備価値の金利依存性の例

電力ボラティリティ，(b) はガスボラティリティそれぞれの依存性である。(a)(b) 両方のケースについてボラティリティの増加に伴うオプションナリティ価値（奥列と手前列の差）の顕著な増加が見て取れるのは直感と整合的である。

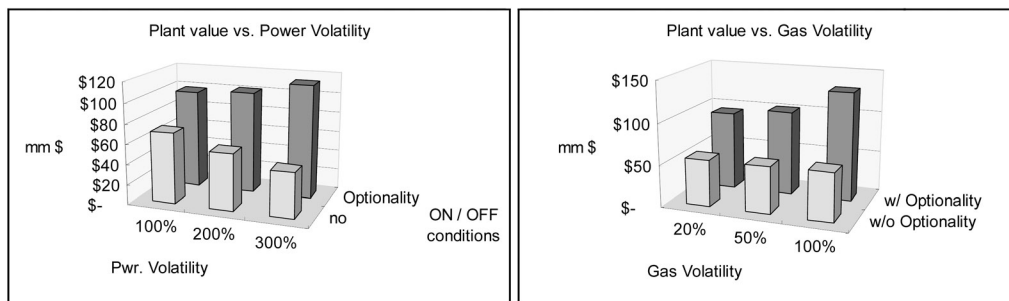


図7 設備価値の市場ボラティリティ依存性の例
(a) 電力ボラティリティ依存性 (b) ガスボラティリティ依存性

次に、オプションナリティなしの場合で (a) においては電力ボラティリティの増加が設備価値を低下させるのは納得性があるが、(b) においてはガスボラティリティの増加が設備価値をわずかだが増加させるのは、ガス価格と電力価格間の相関のために、ガスボラティリティの増加がいわゆるスパークスプレッド⁸の増加につながるためと思われる。実際、ガスボラティリティの増加に対してスパークスプレッド累計値を比較すると増加傾向が見られる（表1）。

以上、オプションナリティの価値評価と、金利およびボラティリティに関する感度分析を行った。他の変数についても同様の感度分析が可能であるし、起動停止の考え方についても前記(*)に示したものとどまらない、さまざまなケースを柔軟に検討することが出来る自由度を有している点で、このような手法は優れているといえる。

表1 スパークスプレッドの
ガスボラティリティ依存性

Gas Vol. (annual)	spark speed (undiscounted)
20%	958.98
50%	963.28
100%	976.60

4.5.3 固定費部分の考慮

また、今回はコストの構成要因として図4右半面に示したように、コストを燃料費と燃料費以外の変動費、および起動費に限って簡略表現したが、固定費用も考慮する必要がある場合が想定される。このような場合についても、固定費としての会計整理をされている費目について適切な費用組成を考慮することにより、同じ枠組みに適用することは可能である。すなわち、

8 電力価格 - (ガス価格 × ヒートレート)

現行の会計規則⁹において表2のような一連の固定費目が想起できるが、これらについても、着目している期間内にどこまでを「変動費」と見るかに基づく方針決めによって、今回のモデルの変動費に繰り入れることが可能であると思われる。たとえば、年平均修繕費については変動費に繰り入れ、翌年で回収するような設備運営をする、という方針決めなどである¹⁰。

表2 固定費の会計整理の対象費目（部分）

役員給与	修繕費
給料手当	補償費
退職給与金	賃借料
厚生費	委託費
委託検針費	損害保険料
委託集金費	減価償却費
雑給	固定資産除却費
廃棄物処理費	共有設備費等分担額
消耗品費	

会計規則 - 営業費用内の費目一覧のうち、
汽力内燃力設備に相当するもので、燃料
費(明らかな可変費)および税以外の費目

5. 活用に向けて

これまで、市場価格モデルをひとつ例に挙げ、それによる発電設備のリアルオプション的資産価値評価の例について述べた。前提となる条件を種々設定し、市場価格を適当に表現することにより、資産価値評価を行える例を示した。ただし、前項まででも取り上げているように、本邦の電気事業の現状にたって考えた場合に、まだこうした手法の必要性が認識されるには距離があり、関係者に一樣な認識を醸成するのにも時間がかかるというのが筆者らの認識である。そのせいで、前項までに紹介したような財務的なモデルは市場のダイナミクスを大略理解したりするには有用でも、現状の事業全体を考えた場合には、市場がまさにダイナミクスさを欠いていることにより、少なくともこのようなモデルの有用性に対する検証が欠けていることは致し方ないことと考えている¹¹。

このような場合、理想化した前提を保持したまま精密な議論を行う傾向と、経営環境全体を念頭に置けるようズームアウトし、多角的な検討を行う傾向と2者に分けられると思われるが、以下では後者の立場にたち、主に経営組織論・戦略論的分析の観点から、とくに取引と収益管理にかかわる意思決定における問題点について分析を試みる。なぜなら、前提となる種々の事柄が満たされず、実務的感覚からもズレがあっても、それを単に前提が満たされないからといって排除することなく、「現断面の意思決定」に有用な方法論として、逆にそれに意味を与えることのできる短期的なロードマップとしての経営組織論・戦略論方向性は、現状の経営環境でも十分与えうると考えられるからである。

9 平成11年通産省令 供給約款料金算定規則（出所）経済産業省ホームページ <http://www.meti.go.jp/>、東京電力株式会社 [2005]などを参考とした。

10 ただしこれらは現状、原価の構成要素であるために、実際の方針決めは別の検討が必要であると思われる。

11 念のため断っておくが、産業全体への影響をあまり考慮せず、また健全な市場育成という思想に反するような、単に電力市場にダイナミクスを与えることを目的化したような本末転倒の議論を筆者らが肯定しているわけではない。

5.1 価格モデリングの前提と現状分析

4.3項で紹介したように、このような財務的価値評価アプローチには下記の様な前提がある。

- a. 設備の運営目的が金銭価値の最大化であること
- b. 電力の十分な市場供給があること（市場流動性が確保されていること）
- c. 供給義務がないこと

これらについては、現状、次のような制約があるものと思われる。

a. 金銭価値最大化に関して

現状、設備運用の動機としては、売電収入の最大化のみならず、停電コストを最小つまり信頼度とのバランスで決定するような動機が一般的である。これまで述べたような市場価格モデルはそのうちの金銭価値のみに着目しているもので、停電コストを足し合わせないと現状での設備運用の動機を正しく反映することは出来ない。

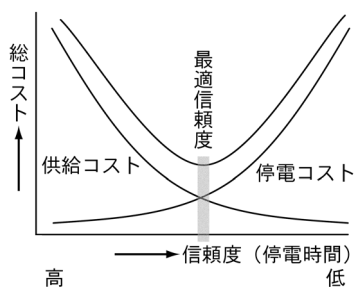


図8 経済合理的信頼度の一般概念

停電コストを計量するような試みも少数ながら存在する¹²。米国等の例を見ても、主に電力系統工学上の信頼度評価によるものと、社会厚生上の評価によるものとの両面で考えるのが一般的であると思われる¹³。経済合理的な概念として一般によく紹介されるのは、停電に伴う社会的コストと供給コストの総和は信頼度（停電時間）に対して双曲線を描くので、その最小値を与えるような信頼度を達成すべきであるという概念である。図8に示したように、供給コストと停電コストはトレードオフの関係にあるから、それらの総和が最小値を与えるような信頼度を選ぶのがマクロ的な意味において経済合理性を備えている、との考え方であるが、実務においては供給信頼度の金銭価値を意識することはほとんどないのが現状であるだろう。金融モデルのみを用いた設備運用が、供給実務者には敬遠されるのはこの部分の皮膚感覚の相違が小さくないと思われる。電気事業においては、停電の社会的影響が極めて大きいため、日常的な経営行為としては安定供給を、すくなくとも「金銭価値」という表現によっては把握せずに、まったく別格の重要度を置いているように思われる。そしてそれは電気供給の社会的重要度からすれば、自然なことである。

12 栗原，谷口 [2003] 等に数例紹介されている。

13 Oak Ridge National Laboratory (for the U.S. Dept. of Energy) [2004] 等を参考とした。

b. 十分な市場供給・市場流動性

現状、本邦では卸取引市場を利用した部分の割合は事業収入全体に比して無視できるほど小さい。非規制部門では相対取引が収入の太宗を占めるが、それはこのように卸市場のプレゼンスが、着実に育っているとはいえまだそれほど大きくないことに加え、従前の固定契約の延長が商慣習として残っているためでもある。こうした現状では、経営全体から見た市場リスクの計量把握の重要度が低いのは当然のことである。また、プレゼンスが大きくならないうちは参加者も拡大せず、参加者が拡大しなければプレゼンスも成長しないという一種の消極的な均衡状態にあるものと思われる。市場規模が小さければ、流動性も生成されず、ファイナンシャル・ヘッジツールも普及しない、ゆえに参加者も増大しない、という均衡状態である。図9は、市場がそのプレゼンスを増すために必要な要素について概念的に示したが、同図のように、参加者の増大により市場プレゼンスが増大し、それにより流動性が高まり、それによりファイナンシャル・ヘッジツールが普及することで市場の使い勝手が高まり、それによりさらに参加者の流入を促す、という循環が本邦で観察されるまでには、もう少々様子見が必要であると思われる。そして、これが成立しない場合、4．項までに見た金融的モデリングの実体性・有用性は高まらないのである。

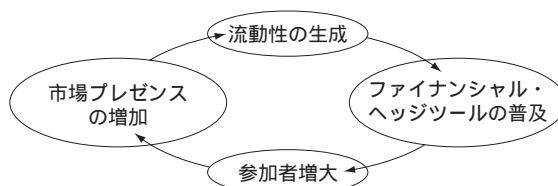


図9 電力市場プレゼンス増加のための循環

c. 供給義務

a., b. と関連するが、規制部門についての供給義務が残存するので、義務のある需要家に対しては、実際のところ金銭的な理由のみで供給を停止することはほとんど不可能である。停電コストの総体的計量評価が設備運用の実務上あまり意識にあがってこないのは、供給義務に対して、a. で論じたと同様、ほとんど絶対的な価値が付与されているためであるともいえる。また、規制部門以外の顧客に対しても、信頼度に対しては規制部門の顧客と同様またはそれ以上の信頼度を要求されるのが実際である。十分な市場供給と市場流動性がなければ市場運営化での供給保障は果たされないため、この供給義務はa, b. とロック・インされてやはり均衡状態を形成していると思われる¹⁴。

以上、4．3項の前提条件に関して現状を考察した。

5．2 活用に向けた課題と方向性

価格モデルの活用、ひいてはランダムに変化する経営環境に対する対応のための課題と、今後の方向性について、5．1項を踏まえて i) 財務論的観点と、ii) 経営組織論・戦略論的観

14 供給に関して現行のような高い信頼度と社会保安が保たれる限り、現状のような均衡状態に対して筆者らは何ら否定するものではない。

点と2つの見方から分析を試みる。それぞれの課題を概観すると、表3のように整理されると思われる。

表3 種々の前提と財務的 / 組織論・戦略論的観点からの課題

現状	財務的観点	組織論・戦略論的観点
a. 金銭価値最大化でない	停電コストの金銭換算	組織内コミュニケーション 規制・取引制度対応 事業戦略組成による対応
b. 十分な市場供給がない	データの不十分さ 流動性リスクの存在	
c. 供給義務がある	オプションリティ行使の不自由性	

まず、a. 金銭価値最大化 については、財務的観点からは、5. 1項で述べたような停電コストを金銭換算する課題が考えられるが、これにはたとえば供給停止により供給を受けられなかった需要家が、市場や他の事業者から供給を受けられるような状態を保障する必要があるので、規制や制度の状況に大きく依存すると考えられる。また、b. 十分な市場供給 に関しては、財務的観点からは、フィッティングのためのデータ量の不十分さや、流動性リスクを別途評価することなどが課題となり、両方とも結局モデルの精度の問題¹⁵になってしまうが、組織論・戦略論的観点では、取引制度に対応した上で、非完備市場を前提としつつも、取引を積極的または消極的に活用していく事業戦略組成の問題としてみるのが出来よう。最後に、c. 供給義務 に関しては、財務的観点からはオプションリティ行使の不自由性（つまりオプションリティの価値低下）を意味するが、組織論・戦略論的観点からは供給義務に代わる新しい顧客信頼を勝ち取る機会の出現といった捉え方が出来ると思われる。すなわち、価格モデリングで課題とされた各項について、現状ではそれらのいずれもが静的な均衡状態にあって今後の変化の兆しも見えにくい、組織論・戦略論的分析枠組みの援用により、これらに方向性を与えて4. 1項で行ったような金融的分析に別な意味を与えることが出来るものと思われる。

5. 2. 1 財務論上の課題

財務上の課題として、4. 3項 a. ~ c. のような状況が市場の成熟によって解決される必要がある。ゆえに図9に挙げたような展開が必要とされるわけであるが、ほかに重要と思われることとして値付けの問題があると思われるので、付記する。

5. 2. 1. 1 先渡し値付けの問題¹⁶

2. 3. 1項で管理会計的価値把握の必要性について触れたが、値付けを考えた場合には実は先渡し商品の価格根拠の問題も残っている。それは先渡し価格の価値理論の問題である。取引実績の長い、主に欧米市場においては市場機能の一環として先渡し価格の形成がすでに見られるところであるが、理論的な合意には至っていないというのが筆者らの認識である。また本来的には、先渡し価格に関する合意なくして市場リスクマネジメントも成立しようがないというのが筆者らの問題意識である。

すなわち、貯蔵財については無裁定条件があるために、先渡し価格はデリバリー時点におけるスポット価格の期待値として一意に定まるとされる。すなわち、たとえばa) 市場からスポット調達し、b) 先渡し時点まで保有して、c) 先渡し時点において売り切り、という一連の行

¹⁵ モデルリスクと称する場合がある。

¹⁶ ここでの「先渡し値付け」の意味は、先物価格理論によるプライシングの一般的な考え方を指している。

為において、先渡し時点でのスポット価格に対して裁定が成立しない、ということと等価である。ここで、b) 保有において保管コストと保管便益があれば、その分の価値補正が先渡し価格の時間依存性すなわち期間構造を与える。さて、非貯蔵財である電力財の場合を想起すると、b) 保有ができないことから、先渡しとスポットとの価格連関性について、少なくとも上のような意味では無裁定を根拠とした先渡し価格類推が出来ないことになる。これに対して Bessembinder and Lemmon [2002], Routledge et al.[2000], Routledge et al.[2001], Longstaff and Wang [2002], Dong and Liu [2003], 石井, 手塚 [2004] など種々のアプローチが試みられているが、先渡しプレミアム¹⁷ に関して、大別して想定需要、ひいてはスポット値との連関を見出す考え方と、貯蔵財である燃料（天然ガスなど）貯蔵量およびその消費にまつわるオプションリティ価値との連関を見出す考え方に代表されるように思われる。ただし本邦の場合同じ問題を考える際に、電源種別の組成（水力、火力、原子力等）やその一体運用についての考えがこれら検討と異なる点を留意する必要があると考える。

このように、非貯蔵財である電力財、およびその生産設備としての発電設備については、先渡し価格理論について引き続き議論の余地があると思われ、同時にこのことは値付けとリスクマネジメントに関連した重要な事項なので、引き続き動向を注視する必要がある。

5.3 むすび

こうした困難さを内在しつつも、既に変化が始まった電力業界において経済合理的な電源や設備の運用について議論することは時代の要請であると思われる。本稿ではパワートレーディングの発展による電力市場の可能性を中心に議論を行ったわけではあるが、併せてこれまで問題視されながらも体系的に論じられることが少なかった課題をも同時に論じてきた。電力を金融市場においてあたかも貨幣や有価証券のように取り扱うことが困難なことは、直感的に理解されやすいと思われる。しかし、諸外国では電力もカテゴライズされている商品市場において取引対象とされる他の財と比較しても、電力の取り扱いにはさまざまな困難さが伴う。それにより生じる未解決の課題については本稿でも見てきたとおりであるが、問題はこのような課題が存在することにより、電力自由化本来の目的が歪められることである。すなわち、金融市場や他の商品市場の存在理由は究極的には「資源配分の最適化」であり、電力においてもこれを目指すことを放棄することは許されないからだ。

これまでもコスト削減を中心とした効率化努力がなされてきたが、効率化そのものへの合理的な評価が欠如した状態のままでの過度の効率化は、安定供給を損なうリスクを高めかねない。さらに言うと、コストに関する金銭価値の絶対的な低下のみを便益として評価することは、5.1項でも見たとおり、停電コストのような評価が難しい問題を内包しているだけに困難を極めることは想像に容易い。しかしながら、このような問題に関する評価方法確立に向けての継続的な努力は、今後より重要になると考えられる。

この問題に対しては、市場取引によって決まる電力の価値についてのより深い洞察が必要不可欠となる。本稿でも新しい価格分析の手法について言及しているが、このような手法による分析は今後の課題としたい。またその上で、電力ビジネス全体への包括的なアプローチが可能となるモデルの枠組を構築することが最終的な課題であると筆者らは認識している。

17 先渡し価格と先渡し時点におけるスポット期待値との差。

一方で組織内の意思決定にかかわる一種のモラルハザードは、上述のような困難さに乗じて発生する可能性が残る。その防止に関しては、一般的には定量的評価体系をルールとして定めておくことが有効である。しかし、5.1項のような問題を抱えたままではこれを具体化することもまた容易ではないことが現実である。本稿では5章に財務的価値評価アプローチに基づくモデルケースを活用する上での課題をまとめて示したが、この中で市場が具備すべき必要条件以外にも、5.1項のように電力会社における「組織の論理」にまで言及したことは、電力市場の今後の進退に重要な関係性を持っていると筆者らが考えているからである。

この他にも電力会社のような、従来規制下に置かれた組織が規制改革により直面するコペルニクスの思考転換の要請によって生じるさまざまな問題が存在する。このような経営組織論・戦略論に基づく課題について、本稿では十分な議論ができなかったことから、別の機会に改めて議論を行うこととしたい。

参考文献

- Bessembinder, H. and M. L. Lemmon [2002], "Equilibrium Pricing and Optimal Hedging in Electricity Forward Markets", *The Journal of Finance*, 57-3, pp.1347-1382.
- Bunn, D.W. and N. Karakatsani[2003], "Forecasting electricity prices", Energy Markets Group Working Paper, London Business School.
- Dong, L. and H. Liu [2003], "Equilibrium Forward Contracts on Nonstorable Commodities in the Presence of Market Power" working paper, Washington University St. Louis, Olin School of Business.
- Froot, K.A., D.S. Scharfstein, and J.C. Stein. [1994], "A Framework for Risk Management", *Harvard Business Review*, November - December 1994, pp.91-102. (「デリバティブ・マネジメントの六条件」, 『ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス・レビュー』, 1995年8-9月号)
- Headley, J.S. and P. Tufano [1994], "Why Manage Risk?", *Harvard Business School case study* #9-294-107
- Hull, J.C. [1997], "Options, Futures and Other Derivatives, Third Ed.", Prentice Hall.
- Kaminski, V. [1997], "The Challenge of Pricing and Risk managing Electricity Derivatives", in R. Jameson (ed.), *The US Power Market*, pp.149-171, Risk Publications.
- Longstaff, F. and A. Wang [2002], "Electricity Forward Prices: A High-Frequency Empirical Analysis", Working Paper, University of California, Anderson Graduate School of Management.
- Nogales, F.J. , J. Contreras, A.J. Conejo and R. Espinola [2002], "Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models", *IEEE Transactions on Power Systems*, 17-2, pp. 342-348.
- Oak Ridge National Laboratory (for the U.S. Dept. of Energy) [2004], "Measurement Practices for Reliability and Power Quality: A Toolkit of Reliability Measurement Practices", ORNL/TM-2004/91.
- Routledge, B.R., D.J. Seppi and C.S. Spatt [2000], "Equilibrium Forward Curves for Commodities", *The Journal of Finance*, 52-3, pp.1297-1338.
- Routledge, B. R., D.J. Seppi and C.S. Spatt [2001], "The "Spark Spread:" An Equilibrium Model of Cross-Commodity Price Relationships in Electricity", Working Paper, Carnegie Mellon University.
- Tufano, P. [1996], "How Financial Engineering Can Advance Corporate Strategy", *Harvard Business Review*, January - February 1996, pp.136-146.
- 穴山梯三 [2005], 『電力産業の経済学』, NTT出版。

- 石井昌宏，手塚広一郎 [2004]，「電力取引市場におけるスポット・フォワード価格の形成 Bessembinder and Lemmon モデルの一般化とその適用」，『公益事業研究』56-3, pp.61-70。
- 熊野照久，森啓之 [2005]，『相対取引とスポット市場との間の流動性を考慮した電力市場シミュレーション』，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会，PE-05-167, PSE-05-174。
- 栗原郁夫，谷口治人 [2003]，「電力自由化と系統問題」，南部鶴彦編『電力自由化の制度設計 系統技術と市場メカニズム』，東京大学出版会。
- 高安秀樹 [1986]，『フラクタル』，朝倉書店。
- 高安秀樹，高安美佐子 [2001]，『エコノフィジクス 市場に潜む物理法則』，日本経済新聞社。
- 高安秀樹 [2004]，『経済物理学の発見』，光文社。
- 東京電力株式会社 [2005]，『平成16年度有価証券報告書』ほか，東京電力株式会社。
- 戸田直樹 [2005]，「経済学を問い直す『経済物理学』の可能性 最新の物理理論の参入は経済学に変革をもたらすか？」，『エネルギーフォーラム』，2005年10月号，pp.168-9。