

金村宗氏 博士論文審査要旨

近年、市場の自由化を背景に、エネルギー商品の取引やリスク管理手法の高度化が、実務上及び学問上高度な先端的問題として活発に研究されている。金村氏の研究は、このような要請に答え、電力、天然ガス、原油を具体例に、エネルギー商品の価格やそのボラティリティーの決定、天候デリバティブを用いたリスク管理等を論じるものである。

この分野の先行研究には、(主に金融証券市場を対象として発展したファイナンスの応用として、) 価格のみを対象変数として扱うものが多い。これに対し、金村氏の研究は、エネルギー価格の背景にある需要と供給を明示的に扱うという点に特徴がある。実は、金融資産とは異なり、エネルギー商品は生産され価格に応じて供給量が変化する。このことがエネルギー商品の価格変動に、金融商品の価格変動にはない特性を生み出す。このため、需要供給を明示的に扱うことで、エネルギー商品の価格やボラティリティーをより正確に描写するモデルの構築が可能となる。

このような観点から、本研究では、具体的な対象が電力、天然ガス、原油と異なる場合がありつつも、「需要と供給の関係によって価格を特徴付ける。」という統一的な視点に基づいて分析が進められる。そして、まず、電力を対象に需要供給関係に基づく価格決定モデル(構造型モデル)が構築され、PJM(米国東部の代表的電力市場)のデータについて、電力市場で重要となる価格スパイク(短期的・劇的な価格上昇)を既存モデルよりも正確に把握できることが実証的に示される。また、これを利用して揚水発電の最適運用が求められ、価格スパイクをレジーム・スイッチング・モデルで表現する既存研究の問題点も議論される。次に、需給関係に基づくモデルの価格収益率のボラタリティー特性が分析され、適当な条件の下「価格が高いほどボラタリティーが大きい。」というエネルギー商品に特徴的なボラタリティーの変動特性を容易に表現できることが示される。また、実証分析で利用される GARCH-M モデルに理論的な根拠を与えられること、米国の天然ガスのデータについてはその効果が実証的に観察されることが示される。さらに、需給関係に基づく価格モデルが、重要な先行研究である Schwartz のモデルの一般化であり、現実のデータからはそのような一般化が要請されることが示される。最後に、構造型モデルに基づき、天候デリバティブを利用した電力会社のリスク管理の分析が行われる。

以上のように、金村氏の研究は、需給関係という観点からエネルギー価格全般の特性を統一的な方法で把握できることを新たに示すばかりでなく、この方法が実証的にも既存研究より適合度が高いことを示している。また、需要と供給という背景にある市場の実態を明示的に扱うため、既存モデルに比較して現象の理解も容易になり、その意味で学問的のみならず実務的にも有用である。このような点で、金村氏の研究は、実務上の先端的問題に理論的アプローチによる解決法を与えるという本研究科金融戦略講座の目標を体現するものであり高い評価に値する。よって審査員一同は、金村氏の博士学位請求論文が、博士学位を与えるに十分値すると判断する。

金村氏の博士学位請求論文は、以上の研究成果を 7 つの章に分けて記述している。第 1 章は、本研究の目的と本論文の構成を説明している。

第 2 章は、電力価格の決定モデルを構築する。この背景には、1990 年代以降わが国を含む世界各地で進行する電力市場の自由化がある。自由化によって、電力価格は需給を一致させるため変動するようになり、電力会社は価格変動リスクにさらされることになる。さらに、多くの電力市場では夏場や冬場に価格のスパイク（短期的・劇的な価格上昇）が生じ、電力市場固有の大きなリスクを生み出す。このような状況に直面する電力市場参加者にとって、電力市場の特性を反映する新たなリスク管理の手法の開発は不可欠である。既に述べたように、このため本論文は、需要供給関係に基づく電力価格の構造型モデルを構築する。具体的には、供給曲線が Hockey-stick の形状をした折れ線で表され、需要量が確定的な平年需要量と Orenstein-Uhlenbeck プロセスに従う乖離の和として表されるモデルを想定する。そして、PJM のデータを用い、先行研究に示された既存モデルとの比較を行う。その結果、特に価格スパイクの正確な描写に関して、構造型モデルがどの既存モデルよりも現実のデータに適合すること その意味で優れていることが示される。また、この構造型モデルに基づき、仮想例の揚水発電の最適運用を求め、ジャンプ・ディフュージョンモデルといった既存の複雑なモデルに基づくよりも、簡明なしかし背景の需給関係を明示した構造型モデルに基づくことで、より現実的かつ複雑な最適運用政策を表現できることを示す。さらに、価格スパイクをレジーム・スイッチング・モデルで表現しようとする既存研究の問題点を議論し、需要量が価格スパイクの発生確率を把握する重要な状態変数となることを指摘する。

第 3 章は、需給関係に基づくモデルに基づく収益率のボラタリティーの特性を分析する。そして、需要の変動と供給曲線の形状に関する適当な条件の下、価格収益率のドリフトにボラタリティーの影響が出ることを示す。また、供給関数が逆 Box-Cox 変換で表現できるという仮定の下、「価格が高いほどボラタリティーが大きい。」というエネルギー商品に特徴的なボラタリティーの変動特性が容易に表現できること、また離散化されたモデルにおいて GARCH-M モデルに理論的な根拠を与えられることを示す。さらに、米国の天然ガスのデータを用い、モデルが示唆する GARCH-M 効果が実証的に観察されることを示し、その分析の頑健性を需要を観察不可能とする拡張 Kalman フィルター、及び需要と供給の同時推定を扱う非線形 2 段階最小二乗法で確かめている。

第 4 章は、供給曲線が逆 Box-Cox 変換、需要量がドリフト付きブラウン運動と Orenstein-Uhlenbeck プロセスの和として表され、それらから均衡価格が求められる商品価格モデルを構築し、このモデルが商品価格の重要な先行研究である Schwartz モデルを特殊例（供給曲線を指数関数とする特殊例）として含むことを示す。この意味で、このモデルを拡張シュワルツモデルと呼ぶ。そして、NYMEX（ニューヨーク商業取引所）で取引される天然ガス先物、WTI 原油先物、暖房用油先物の先物価格を用い、スポット価格とコンビニエンスイールドを観測不可能な変数として、拡張カルマンフィルターを用いてモデル

を推定する。この結果、現実のデータとの適合という観点からは、Schwartz モデル（指数関数）よりも急激な供給曲線の傾きの変化を表現できる拡張シュワルツモデルの利用が望ましいことが示唆される。

第 5 章は、再び電力市場に戻り、気温インデックスを原資産とする天候デリバティブの価格評価と、それを利用した電力会社のリスク管理を分析する。不完備市場の問題として、天候デリバティブの価格評価には、Cochrane and Saa-Requejo の Good Deal Bounds を利用する。そして、東京の気温と日経 225 のデータを用い、仮想例として 6 月の累積 CDD を原資産とするヨーロッパ型コールオプションの価格を求める。また、電力市場からスポット価格で電力を調達し固定価格で顧客に販売する電力会社を想定して、この電力会社のヘッジ需要に適合した新たな天候デリバティブをデザインし、今度は PJM のデータを用いてその価格を計算する。最後に、商品取引所で取引される天候デリバティブを連続的に取引することで天候リスクをヘッジする場合の取引戦略を計算する。

第 6 章は、本論文の結果の総括と今後の課題を議論する。

以上のように、金村氏の研究は、需要と供給の関係に基づく簡明なモデルが、エネルギー商品の価格の特性をより正確に把握するため大変役に立つことを示しているが、もちろん今後の発展の余地はある。その何点かを以下に記す。

まず、第 6 章にも指摘されていることだが、供給曲線の変動を明示的に扱うことである。本論文では、供給曲線が短期的には安定的であると仮定し、分析対象期間内には変動しないものと仮定して扱っている。しかしながら、例えば電力の供給曲線であれば、発電燃料 - 例えば、石油、天然ガス、石炭 - の価格が変化すれば供給曲線も変化する。また、事故や点検によって稼働しない発電設備が生じれば、供給曲線は変動する。現実の問題に対処するためまた長期の分析を行うためには、このような条件の変化を考慮できるモデルを構築する必要がある。

また、需要の変動についても、本論文で仮定した近似がどれほど適合するのか、より深い精査が必要である。実際、第 5 章で扱った気温については、詳細な分析の結果長期的な温暖化の傾向や GARCH 効果等が示されている。電力需要が気温の影響を大きく受けることを考えると、同様の傾向に関する精査が電力需要にも必要であろう。このような詳細を包摂しつつかつ簡明さを保つことは、今後のモデル構築の課題である。

最後に、現実への利用に際しては、エネルギー、天候、環境商品全体を同時に扱うモデルの構築が望まれる。例えば、発電の最適化を行うには、販売電力価格の変動、燃料価格の変動、天候の変動による需要の変動、排出権価格の変動等、多方面に渡る同時最適化が必要となろう。これらを同時にかつ有機的に処理するモデルの開発は、エネルギー産業における意思決定支援に重要な基盤となるに違いない。

以上