

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540136

研究課題名(和文) 確率力学系理論によるリスク分析研究の展開

研究課題名(英文) Risk analysis for the evaluation of investment in the framework of stochastic dynamical theory

研究代表者

三澤 哲也 (MISAWA, Tetsuya)

名古屋市立大学・経済学研究科(研究院)・教授

研究者番号：10190620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、投資に伴う不確実性を持つキャッシュフローの現在価値(RNPV)を確率系とみなしたうえで、リスクを伴う事業投資の価値評価問題に確率力学的観点からアプローチすることを目的としている。その結果、(1)期待値不変性的一种である効用無差別価格概念より導かれる「リスク鋭感的価値尺度」が「規模のリスク」の評価と「カタストロフィー債券」の評価に有効な評価法であること、(2)発電事業投資問題への応用を通して、その尺度ならびにそれを近似したRNPVプロビットモデルが実務的にも有用であることを示した。また(2)に関連して日本電力卸市場価格の定量的評価の分析も行った。

研究成果の概要(英文)：The present study focuses on the evaluation of financial assets and project investment with risks on the basis of stochastic dynamical theory. The net present value of the time series of cash flow with uncertainty from an investment, called a random net present value (RNPV), is regarded as a stochastic dynamical system. The risk-sensitive value measure (RSVM) is formulated by utility indifference pricing which is regarded as an “invariance” for the stochastic system, and RNPV probit model is derived from the approximation of RSVM. In the framework, the following results have been obtained: (1) We have shown that the measure is effective for the valuation of scale risk or the evaluation of catastrophe bond. (2) Through the application to evaluation of thermal and solar power plant projects, we have examined that the RSVM and RNPV probit model are suited to practical use. As a topic related to (2), we have also quantitatively investigated electric power market price in Japan.

研究分野：確率論

キーワード：確率力学系 リスク 期待効用無差別価格 プロジェクト事業投資 リスク鋭感的価値尺度 ランダムNPV 規模のリスク 発電事業

1. 研究開始当初の背景

一般に力学系の力学構造の解明には、系が許容する保存量(不変量)やそれを生み出す対称性の概念に着目することが重要である。この観点から代表者・三澤哲也は、これまで確率力学系における対称性・保存量概念の拡張定式化とその応用、確率力学系の構造再現性を有する数値近似法に関する研究行ってきた。

ところで、確率論が重要な役割を担う研究対象として、現象やシステムにかかわる様々な不確実性を一種のリスクとみなしてモデル化・分析する「リスク分析研究」がある。いわゆる数理ファイナンスや金融工学における確率論の役割がまさしくその典型例であるが、近年における当該分野の急速な発展は、そうした研究の重要性の証左といえよう。この観点からすると、**確率力学系理論とリスク分析の話題とは関連付けられるか、またそれは有用か、**という話題を扱うことは自然なことと思われるが、国内外でそのような研究はあまり見られないようである。

以上を背景に、代表者は、平成 21 年度～23 年度・科研費・基盤研究(C)「確率力学系理論によるリスク分析」において、数理ファイナンスを専門とする宮原孝夫、電力システムを専門とする宮内肇を分担者として当該課題に取り組み、そこで得られた諸成果から、**以下の主題について、さらなる研究の展開可能性を考えるに至った。**

1 つめは、**期待保存量概念に関連するリスク価値尺度の特性分析とその近似統計モデルの拡張定式化**である。

現在、数理ファイナンス分野においては、市場化されていないプロジェクト事業や設備投資、電力など市場化されていても流動性に著しく欠ける商品のリスクを考慮した価値評価問題が先端的話題の 1 つになっており、対応して確率論的観点からはリスク尺度の定式化や性質の数理解析研究が進んでいる。そこで代表者らは、リスクを含む投資リターンの現在価値(Random Net Present Value, 以下 RNPV)を確率力学系として捉え、期待値の意味での保存量に対応する効用無差別価格よりリスク価値尺度の定式化を行い、さらにその簡約化から投資家の過去ないしシナリオ投資行動データより新規投資の判断を行う統計モデルを上記科研費課題において提案した。その中で、「**リスク鋭感的価値尺度**」と名付けられた価値尺度が、投資規模の影響を反映した「**規模のリスク**」の評価に有効となる特性を有する可能性があること、さらに上記**価値尺度の簡約化統計モデルの拡張**により、投資意志決定のより精緻な分析が可能となりうること、が見いだされるに至った。いずれも当該研究課題のさらなる進展が期待される事柄である。

2 つめは、**上記成果の電力事業における投資問題への応用とそのシミュレーション**である。

ここ数年の世界や日本における電力自由化の動きや再生可能型電源の大規模な導入による需給調整の不確実性に関連して、電力事業におけるリスク評価分析への関心が高まっており、関連する研究が可及的に待たれている。こうした観点から、先の科研費課題の中で、**火力電源設備投資問題に対し上記リスク尺度や統計モデルを適用し、様々なシナリオシミュレーションを通じて理論の有用性や結果の妥当性を検証**してきた。そのさい、実務的により現実的な成果を得るための課題として、先に述べたリスク価値尺度や近似統計モデル研究の深化と共に、精緻なシナリオシミュレーションのための確率モデルの構築に向けて、**電力市場価格等の関連ファイナンスデータの統計計量分析の必要性**を認識するに至った。以上を踏まえた応用シミュレーションにより、先の理論結果の有用性についてより実務的視点から考究することが可能になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1. で述べた背景に基いて、これまで代表者が分担者と共に行ってきた、**期待保存量概念に関連する効用無差別価格理論による事業リスク価値尺度と投資意志決定統計モデルの定式化、ならびにそれらの電力事業分野への応用について、さらなる研究の展開を図ること**である。具体的にはこれまでに得た諸成果を深化させ、主として以下の課題について取り組む。

課題 1) リスク鋭感的価値尺度の特性、特に「**規模のリスク**」把握にかかわる特性を詳細に分析する。

課題 2) 上記尺度の簡約化により得られる事業投資意志決定統計モデルを拡張定式化し、投資家のより詳細な投資意志決定が可能か検証する。

課題 3) シナリオシミュレーションを通じて、1) 2) の成果を電力事業投資問題に適用することで、その実務的な有用性を検証する。

課題 4) あわせてより精緻かつ現実的なシミュレーションを行うため、関連するファイナンスデータの統計計量分析をおこなう。

3. 研究の方法

先に述べた研究目的の遂行にあたり、それぞれの項目について代表者・分担者による単独ないしは連携研究を進めた。研究目的で示した各課題のタイトル名と担当者は以下のとおりである。

課題 1) 「リスク鋭感的価値尺度と規模のリスク評価特性」: 担当は分担者・宮原孝夫。主として数理ファイナンスの立場から、当該リスク価値尺度の特性分析、特に規模のリスク評価に関わる性質を探索した。

課題 2) 「RNPV による投資意志決定統計モデルの拡張」: 担当は代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇。1) のリスク価値尺度を近似

して得られる、RNPV 上の 2 値 2 次型投資意志決定プロビットモデルを多値型や RNPV 高次モーメントを含む形に拡張し、有用性を検証した。

課題 3) 「電力事業における投資問題への応用シミュレーション」: 担当は分担者・宮内肇と代表者・三澤哲也。太陽光発電を題材とした課題 1) の成果の検証、ならびにより現実的なシミュレーション設定のもとでの課題 2) の成果の検証を行った。

課題 4) 「わが国の電力卸市場価格の計量分析」: 担当は分担者・宮内肇 (一部・三澤哲也が協力)。課題 3) におけるより精緻かつ現実的なシミュレーションを行うため、関連するファイナンスデータの統計計量分析を行った。

これらの課題遂行にあたっては、代表者、分担者個々に各自の課題にかかわる研究情報収集や考究を実行するとともに、年数回、それぞれが主催するセミナー等に相互に参加し、研究情報の共有を通じて共同研究を推進した。あわせて論文公表、学会発表等の研究成果の公表を国内外で行い、その中でさらなる研究成果の展開可能性を相互に探り、最終的には三澤が全体のとりまとめを行った。

4. 研究成果

上記各課題に対応して順に成果を述べる。

課題 1) 分担者・宮原孝夫は、これまでリスクを含む RNPV を確率系として捉え、その上の期待値の意味での保存量に対応する期待効用無差別価格の考え方から、リスクを含む事業の価値評価法の一つである「リスク鋭感的価値尺度」を定式化した。本研究課題ではその有効な適用対象と適用法特性を検討した。この評価法はリスクと価値をバランスよく評価するための優れた評価法であり、種々の分野に適用可能であるが、それらの中で、特に「規模のリスク」の評価と「カストロフイー債券」の価値評価に注目して、この評価法の有効性と適用法を示した (論文: 、 、)。

課題 2): 代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇は、RNPV 確率系に対する期待効用無差別価格に基づくリスク価値尺度に対し、その近似を通じて、投資家の過去ないしシナリオ投資行動データより新規投資の判断を行う統計モデルを定式化してきた。本研究課題ではそれを「多値型」RNPV プロビットモデルとして拡張定式化し、その有効性を火力発電設備投資事業に関わる簡便なシナリオシミュレーションを通じて検証した。特に 3 値型の場合、事業決定「保留」の選択肢を設けその保留範囲を変えることで、事業者のリスクに対する態度をより精密に表現した価値評価になりうるということがわかった。ただし、「保留」による延期オプション効果について、リスク鋭感的価値尺度による結果との乖離があり、今後の検証すべき課題として残った (論文:)。

課題 3): 代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇は、課題 1) に関連して、九州 2 地区 (福岡、熊本) の太陽光発電事業を題材に、「リスク鋭感的価値尺度」による当該事業の規模リスク評価をシナリオシミュレーションから検証した。その結果、それぞれの地区における当該事業の最適な規模や最大限度規模を求めることができた (論文)。また課題 2) に関連して、より現実的な設定に精緻化した火力発電設備投資事業シナリオ、すなわち、電力市場価格や火力発電の原料となる天然ガス価格などの価格変動設定、火力発電の定格運転設定における先行研究や実際の運転プランを参考に、より現実的に精緻化したシナリオシミュレーションを想定し、その下での高次モーメントを考慮した RNPV プロビットモデルによる事業採否の有効性を検証した。その結果採否判断の妥当性を確認した (論文)。なお論文 は the 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE) 2014 における電力エネルギーの経済経営に関連するセッションにて公表され、当該国際会議の "Best Paper Award" を受賞した。

課題 4): 分担者・宮内肇 (一部、三澤哲也が協力) は、課題 3) におけるシナリオシミュレーションで用いる電力ファイナンス関連のモデルを精緻化することを念頭に、我が国の電力卸取引所における電力システムプライスである JEPX データや電力需要消費データに関する統計計量分析を行った (論文: 、 、)。論文 では JEPX 開設 2 年目の 2007 年から 2013 年までの 7 年間の夏季 (6 月 ~ 9 月) を対象に、2004 年に提案した宮内 = 三澤の回帰モデルを適用、各年の回帰係数比較を通じて JEPX システムプライスの価格構造の経年変化を検証した。その結果、システムプライスや土日祝を表すダミー変数に対する回帰係数はここ数年変化が縮小する一方、買い入札量に対する回帰係数は大きく変動していることが明らかになった。論文 では、東日本大震災を挟んだ 2006 年と 2012 年における各季節の JEPX プライス時系列に対しそれぞれのカオス性の検証を Cao の手法や Wayland 検定を通じて行い、その結果、両者におけるプライスのカオス構造の変化を見出した。論文 、 、 では、住宅地、商業地、工業地等、電力需要地の特性が電力消費や需要の形態に与える影響を回帰分析モデルを用いて計量的に実証した。

以上を踏まえて、今後の研究の課題・深化の方向としては以下の事柄が挙げられる。

(1) 理論面に関しては、リスク鋭感的価値尺度やその近似である投資意志決定の統計モデルについて、規模のリスクを含めた特性の数理解析を行ったのち、それを利用した総合的なリスク管理の理論体系の確立を模索する。

(2) リスク鋭感的価値尺度は優れた事業価値尺度であるが、ベースとなる効用関数が指

数型に限定されてしまう。その欠点を補うため、他のタイプのリスク尺度を保存量の考え方から考究し、これまでのものとの関連性を探求する。

(3) 電力事業に関わるデータの統計・計量分析結果をシミュレーションモデルに反映させ、さらにより実際的で精緻なシナリオモデル設定のもとで、リスク鋭感的尺度や投資意志決定統計モデルにかかわるこれまでの結果を再検証し、実務における本研究課題の有用性をアピールする。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Yuta Ide, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Value Assessment of Power Generation Project by UNPV Method Considering Scale Effects", Proc. of 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI), 査読有, vol.MICEEL2014, 2014, pp.23-27, DOI:10.1109/MICEEI.2014.7067303.

Yoshio Miyahara, "Evaluation of the Scale Risk", 京都大学数理解析研究所講義録「ファイナンスの数理解析とその応用」(研究代表・木村俊一), 査読無, vol.1886, 2014, pp.181-188, <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/195713/1/1886-14.pdf>.

Masaya Hayashida, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Asset Evaluation of Thermal Power Plant Project by Probit Model", Proc. of 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE 2014), 査読有, vol.PSO-2004, 2014, pp.666-670.

宮原 孝夫, 「プロジェクトの総合評価法(1)」, リアルオプションと戦略, 査読無, 第6巻, 2014, pp.23-28.

Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Regression Analysis of Electric Power Market Price of JEPX", Journal of Power and Energy Engineering, 査読有, vol.2, 2014, pp.483-488, DOI:10.4236/jpee.2014.24065.

Junki Sakaguchi, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Risk Assessment of Power Plant Investment by Three Level Ordered Probit Model Considering Project Suspension", Proc. of 2013 IREP Symposium, Bulk Power System Dynamics and Control-IX, Optimization, Security and Control of Emerging Power Grid, 査読有, vol.2013 IREP, 2013, pp.1-5

DOI:10.1109/IREP.2013.6629398.

Y.S.Akil and H.Miyauchi, "Seasonal Peak Electricity Demand Characteristics: Japan Case Study", International Journal of Energy and Power Engineering, 査読有, vol.2, 2013, pp.136-142

DOI: 10.11648/j.ijep.20130203.18.

Yusri Syam Akil and Hajime Miyauchi, "Seasonal Regression Models for Electricity Consumption Characteristics Analysis", Engineering, 査読有, vol.5, 2013, pp.108-114,

DOI: 10.4236/eng.2013.51B020.

蜷津 勝志, 宮内 肇, 「各季節における電力市場価格に対するカオス時系列解析」, 平成25年電気学会電力系統技術研究会資料, 査読無, vol.PSE-13-009, 2013, pp.45-48.

Yusri Syam Akil and Hajime Miyauchi, "Summer Electricity Consumption for Residential and Commercial Area: A Demand Characteristics Analysis", 平成25年電気学会電力系統技術研究会資料, 査読無, vol.PSE-13-012, 2013, pp.59-64.

宮原 孝夫, 「規模のリスクとその評価」, オイコノミカ, 査読無, 第49巻, 2013, pp.45-56, https://ncu.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=865&item_no=1&page_id=13&block_id=17.

[学会発表](計 18 件)

井出 裕太, 宮内 肇, 三澤 哲也, 「期待効用理論に基づく太陽光発電事業の事業価値評価」, 平成27年電気学会全国大会, 2015年3月24日~2015年3月26日, 東京都市大学世田谷キャンパス(東京都世田谷区).

Yuta Ide, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Value Assessment of Power Generation Project by UNPV Method Considering Scale Effects", 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI), 2014年11月26日~2014年11月30日, Electrical Engineering Department, Hasanuddin Univ., Makassar, Indonesia.

宮原 孝夫, 「リスク鋭感的価値尺度とその周辺」, 第4回数理ファイナンス合宿型セミナー(招待講演), 2014年11月7日~2014年11月7日, 慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川県横浜市港北区).

井出 裕太, 宮内 肇, 三澤 哲也, 「プロビットモデルによる火力発電事業における撤退オプションの評価」, 平成26年

電気学会電力・エネルギー部門大会、2014年9月10日～2014年9月12日、同志社大学京田辺キャンパス（京都府京田辺市）。

Masaya Hayashida, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, “Asset Evaluation of Thermal Power Plant Project by Probit Model”, The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE 2014), 2014年6月15日～2014年6月19日, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea.

宮内 肇、三澤 哲也、「回帰分析によるJEPXシステムプライスの経年変化に関する検討」、平成26年電気学会全国大会、2014年3月18日、愛媛大学城北キャンパス（愛媛県松山市）。

林田 政弥、宮内 肇、三澤 哲也、「プロビットモデルによる火力発電事業価値評価」、電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会、2014年3月6日、鹿児島大学工学部共通棟（鹿児島県鹿児島市）。

宮原 孝夫、「規模のリスク評価」、京都大学数理解析研究所研究集会「ファイナンスの数理解析とその応用」、2013年11月22日、京都大学北部総合教育棟増川ホール（京都市左京区）。

宮原 孝夫、「規模のリスクとその評価」、日本リアルオプション学会・2013年度研究発表大会、2013年11月8日、早稲田大学日本橋キャンパス（東京都中央区）。

Junki Sakaguchi, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, “Risk Assessment of Power Plant Investment by Three Level Ordered Probit Model Considering Project Suspension”, Proc. of 2013 IREP Symposium, Bulk Power System Dynamics and Control-IX, Optimization, Security and Control of Emerging Power Grid, 2013年8月29日, Aquila Rithymna Beach Hotel, Rethymnon, Crete, Greece.

阪口 淳生、宮内 肇、三澤 哲也、「電力価格変動と運転時間を考慮した順序プロビットモデルによる火力発電事業価値評価」、平成25年電気学会全国大会、2013年3月20日、名古屋大学東山キャンパス工学部（愛知県名古屋市）。

Yusri Syam Akil and Hajime Miyauchi, “Summer Electricity Consumption for Residential and Commercial Area: A Demand Characteristics Analysis”, 平成25年電気学会電力系統技術研究会、2013年1月29日、熊本大学黒髪南キャンパス総合研究棟（熊本県熊本市）。

蜷津 勝志、宮内 肇、「各季節における電力市場価格に対するカオス時系列解析」、平成25年電気学会電力系統技術研究会、2013年1月29日、熊本大学黒髪南キャンパス総合研究棟（熊本県熊本市）。

宮内 肇、三澤 哲也、「回帰分析による夏季JEPX市場価格の年次変化に関する一考察」、平成24年度（第65回）電気関係学会九州支部連合大会、2012年9月24日、長崎大学文教キャンパス総合教育研究棟大講義室（長崎県長崎市）。

蜷津 勝志、宮内 肇、「電力市場価格に対するカオス時系列解析」、平成24年度（第65回）電気関係学会九州支部連合大会、2012年9月24日、長崎大学文教キャンパス総合教育研究棟大講義室（長崎県長崎市）。

阪口 淳生、宮内 肇、三澤 哲也、「事業の採否保留を考慮した三値プロビットモデルによる火力発電事業価値評価」、平成24年電気学会電力・エネルギー部門大会、2012年9月12日、北海道大学工学部（北海道札幌市）。

宮内 肇、三澤 哲也、「ラン検定によるJEPXシステムプライスの無作為性に関する基礎的考察」、平成24年電気学会電力・エネルギー部門大会、2012年9月12日、北海道大学工学部（北海道札幌市）。

Yoshio Miyahara and Yoshiki Tsujii, “Applications of Risk-Sensitive Value Measure Method to Portfolio Evaluation Problems”, Bachelier Finance Society 2012, 2012年05月19日、Hilton Hotel, Sydney (Australia).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
名古屋市立大学研究者データベース：
<https://nrd.nagoya-cu.ac.jp/profile/ja.v5mK-KhKHFmvDar4KPrbvA==.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三澤 哲也 (MISAWA, Tetsuya)
名古屋市立大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：10190620

(2) 研究分担者

宮原 孝夫 (MIYAHARA, Yoshio)
名古屋市立大学・大学院経済学研究科・名誉教授
研究者番号：20106256

宮内 肇 (MIYAUCHI, Hajime)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：20181977

(3) 連携研究者

()

研究者番号：