

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 2 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04933

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深化

研究課題名(英文) Advanced study on 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・大学院経済学研究科・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)を確率力学系とみなしたうえで、系の「不変量」の観点からリスクを伴う事業投資の価値評価法を定式化することを目的としている。その結果、期待値不変性的一种である効用無差別価格概念よりリスク鋭感的価値尺度(RSVM)を定式化し、その有効性が様々な投資分野で確認できた。また、太陽光や風力などの発電事業投資問題への応用を通して、RSVM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。さらにRSVMが新たな電力供給の信頼度指標として有効であることを示し、簡単な離島系統でその検証を試みた。

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 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, we have confirmed the effectiveness of the RSVM for various investment areas with random risks. Through the application to evaluation of photovoltaic system and wind turbine generation project, we have examined that the RSVM and RNPV probit model are suited to practical use. We also have shown that RSVM can be used as the reliability index on the power system, and investigated a reliability of the power system in a small isolated island by RSVM.

研究分野：統計数理、投資工学

 キーワード：確率系 期待効用無差別価格 リスク鋭感的価値尺度 最適投資規模 内部リスク回避度 ランダムNPV
 プロビットモデル プロジェクト事業価値評価 電力供給信頼度指標

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し評価する「リスク分析研究」がある。いわゆる「数理ファイナンス」における確率論の役割がまさしくその典型例として挙げられるが、当該分野の近年急速な発展は、こうした研究の重要性の証左と見ることもできよう。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で重要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、申請代表者は、平成21年度～23年度・基盤研究(C)「確率力学系理論によるリスク分析」ならびに平成24年度～26年度・基盤研究(C)「確率力学系理論によるリスク分析研究の展開」において確率論・数理ファイナンス、電力システムを専門とする分担者らと当該課題に取り組んだ。そこで得られた諸成果から、以下の研究主題について、上記話題にたいする肯定的回答を得ると同時にさらなる研究の展開・深化の可能性を考えるに至った。

(1) 確率系の期待保存量概念に関連するリスク鋭感的価値尺度(RSVM)の特性分析:

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。そこで申請者らは、リスクを含む投資のリターン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提案してきた。特に分担者・宮原孝夫は、指数型効用関数で表現されるリスク回避的投資家にとっての上記リスク価値尺度を「リスク鋭感的価値尺度(Risk Sensitive Value Measure(RSVM))」と名付け、いくつかのRSVM特有の実務上も有用と思われる性質を解明しつつある。したがって、当該関連研究を深化させ、数理的理論だけでなく実務への適用可能性を探ることで、RSVMを通じた、リスク管理の理論体系が確立される可能性がある。

(2) 確率系の保存量諸概念とリスク価値尺度:

(1)で述べたように、申請者たちは、確率力学系の期待保存量との対応の中でRSVMを定式化した。一方、期待効用無差別価格理論に基づくリスク尺度でも別の効用関数タイプから導かれるものや他の保存量概念から導かれるものなども考えられる。そのさい、得られた特性をRSVMとの関連で検証することも興味深い。

(3) 電力事業における投資問題への応用とシミュレーション:

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。こうした中、申請代表者は分担者・宮内肇とともに、(1)の成果を適用する題材として火力電源設備投資問題を取り上げ、様々なシナリオシミュレーションを通じてその妥当性を検証してきた。ところで、実務への活用の際には、より精緻なシナリオシミュレーションが必要となり、関連ファイナンスデータの統計計量分析に基づく確率モデル化の深化と多次元確率系の数値解析における精度向上が重要となる。そのさい、後者については多次元確率系の構造再現性が無視できない問題として現れうるが、その解決を考えることで、冒頭に示した代表者の過去の確率論的成果のさらなる発展につながる可能性がある。

2. 研究の目的

以上述べてきた事柄を背景に、上記(1)～(3)各主題についての研究を深化させ、同時にさらなる確率力学系理論の展開の可能性を目指すことが研究の主目的である。具体的内容としては以下の事柄を想定した。

(1)については、リスク鋭感的価値尺度(RSVM)の規模のリスクを反映した性質や投資家のリスク回避度に関わる性質を数理解析したのち、それらの実務への展開可能性を様々なファイナンス投資分野の話題に適用すること検証する。そのさい、特に平均分散アプローチとの比較の中で、この評価法の特徴を明確にする。

またRSVMを近似した多値型投資決定統計モデルを定式化し、その応用可能性も探る。

(2)については、対数型効用関数などに対する期待効用無差別価格によるリスク尺度、あるいは別の不変性である確実性等価概念に基づくリスク尺度などの定式化を試みると共にRSVMとの比較などを通じて、新しいリスク価値尺度の特性分析や展開可能性を模索する。

(3)については、より精緻な電力事業投資のシナリオシミュレーションにつながる関連ファイナンスデータの統計分析とともに、特に(1)の成果を適用することで、電力事業実務

における本研究課題の有用性を検証し、さらなる研究の展開可能性を探る。

3. 研究の方法

これまでに述べた主題に対応して最終的には以下の小テーマと担当者を設定し、各研究を遂行した。

(テーマ1) RSVM の特性解析とリスク管理

分担者・宮原孝夫が RSVM 特性の解析を、代表者・三澤哲也が株式や REIT などのファイナンス実務分野への RSVM の展開可能性を担当した。RSVM の規模リスクに対する鋭感性やリスク回避度から定式化される内部リスク回避度の応用可能性を中心に RSVM の有用性を探った。

(テーマ2) RNPV プロビットモデルの展開

代表者・三澤哲也が理論を、分担者・宮内肇がシミュレーションを担当した。RSVM の近似から導かれる投資判断統計モデルである Random Net Present Values (RNPV) プロビットモデルを多値型に拡張するとともに、電力事業への適用可能性を探った。

(テーマ3) リスク価値尺度の拡張展開

代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇は期待無差別価格とは異なる保存量概念からのリスク尺度の導出と RSVM との比較、分担者・宮原孝夫は対数型効用関数を対象とした期待無差別価格に基づくリスク尺度の導出とその性質を探った。

(テーマ4) 電力事業投資への応用

代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇が担当した。不確実性リスクが増大している電力事業投資における事業価値評価、ならびにそのシナリオシミュレーションにかかわる関連データやモデルの統計解析を行った。特にテーマ1)~3)で得られた結果の妥当性、有用性の検証を本テーマを題材に行った。

代表者、分担者はそれぞれ関連する個別研究とともに上記テーマについての研究成果情報の交換、共同研究を実施した。あわせて各テーマの成果を学会、研究会報告、国際会議、論文等で公表し、最後にそれらを総合報告する研究会を開催、個別成果の有機的な関連付けを目指した。最終的には研究代表者・三澤哲也が全体のとりまとめを行った。

4. 研究成果

得られた研究成果と今後の展望について、研究の方法で述べたテーマごとに紹介する。

(テーマ1): 代表者・三澤哲也は分担者・宮原孝夫とともに、宮原が定式化した、一般的な事業投資に対する「リスク鋭感的価値尺度(RSVM)」を株式市場や香港 REIT 市場など、市場をベースとした通常のファイナンス実務で扱われる証券市場投資に適用し、標準的なリスク価値評価である平均分散アプローチ法(MV法)との比較の中でその特性を考察した。その結果、1)RSVMはMVよりも下方リスク、特に大きな下方ショックに鋭敏に反応すること、2)RSVMから定式化できる規模の

リスク指標がMVよりも適切に投資規模のリスクに反応しており、それを利用することで、最適投資規模や最大投資許容規模などがわかること、3)RSVMの零点を実現するリスク回避度を内部リスク回避度(IRRA)と定義する。投資対象ごとのIRRAを求め、その大小を比較することで、複数投資対象間の下方リスク評価が可能となることを示した(論文(1),(5))。

なお、分担者・宮原孝夫は、これまで得られたRSVMとその特性に関わる数理的結果を研究ノートとして総合的にまとめた(図書(1))。また、ファイナンス実務への適用準備として、年金運用に関わるポートフォリオの統計モデル分析にも関わった(論文(6))。

今後の展望としては、RSVMの特性を踏まえて、さらに様々なファイナンス実務の投資シーンでの活用例を増やすことが重要になると考える。また、RSVMで扱われる「規模のリスク」の考え方は、複数投資事業を組み合わせた「事業ポートフォリオ投資」に拡張定式化でき(図書(1))。その視点からの研究の展開も始めだしている(学会発表(3),(4),(7))。また最後のIRRA指標については、新たなリスク管理指標、投資格付け指標として有効に機能する可能性がありそのパイロットスタディが進行中である(学会発表(2))。

(テーマ2): 代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇は、火力発電事業の投資計画を題材に、RSVMの近似として導いたRandom Net Present Values (RNPV)に対する多値プロビットモデルが有効に働くことをより実務的なモデル設定下でのモンテカルロシミュレーションを通じて示した(論文(2))。ただし、採否の間の「保留」区間値の推定精度がまだ高くないので、その推定精度を向上させることが今後の課題である。

今後の展望としては、RSVMのリスク回避度の推定が困難な場合、投資家の過去の投資判断情報を活かすことができる当該近似モデルは実務上も有益と考えられる。そのさいRSVMの規模のリスクやIRRAに対応する指標を近似モデルにおいてどのように反映・定式化できるかも興味深い課題と考えている。

(テーマ3): 分担者・宮原孝夫は指数型同様リスク回避的投資家の効用関数としてよく用いられる、対数型効用関数を対象とした期待無差別価格に基づくリスク尺度について、それが一定の制約条件のもとで存在することを示すと共に、リスク回避的な尺度になることを証明した(論文(3))。ただし、それを陽に書くことは困難であり、それがRSVMとの差でもある。

一方、代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇は、対数型効用関数に対しても陽に関数表現可能なリスク尺度を定式化するため、不変量として確実性等価を採用したリスク価値尺度を構成した。その結果をこれまでの火力発電事業に対するRSVMの結果と比較したところ、リスク回避的な性質も含め、RSVMに近い

結果を出しうることがわかった(学会発表(10))。ただし、リスク回避度を含めたパラメータの設定を統一しての比較ではないので、精緻な比較検証が必要である。

(テーマ4): 分担者・宮内肇は、代表者・三澤哲也とともに、RSVMの電力事業への活用をめざし、特に太陽光や風力発電に関わる事業評価への応用を目指した。まず太陽光や風力発電に関わるシステム・シミュレーションの一助として、それらの自然エネルギー発電の新しい制御法に関わる研究を行った(論文(7)、(8))。つづいて、自然エネルギーの導入により不安定となることが予想される、電力システムの供給信頼度予測に関する研究(論文(4))を行い、その発展として、RSVMがもつリスク回避の性質やIRRA指標などを通じて、RSVMがより精緻な新しい電力供給信頼度指標になりうることを簡単な離島系統で確認した(学会発表(1))。

最後の研究は緒についたばかりであるが、これまで期待値のみで語られてきた信頼度指標が精緻化されるという意味でもRSVMによる指標定式化は今後大きな展開の可能性がある。さらに様々な電力事業をポートフォリオとして捉え、その投資価値評価や事業組み換えなどを考えることは実務上も重要であろう。テーマ1)で述べたように、RSVMには事業ポートフォリオ評価道具としての可能性があり(学会発表(4))、今後の大きな発展が期待される。

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 8 件)

(1)J. Hodoshima, T. Misawa, Y. Miyahara, "Comparison of utility indifference pricing and mean-variance approach under normal mixture", Finance Research Letters, (査読有) Vol. 24, (2018) March, pp.221-229, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.09.008>.

(2)H. Miyauchi, T. Misawa, "Risk Assessment for Generation Investment by Random NPV Probit Model based on UNPV Method", OIKONOMIKA, (査読無), Vol.54, No.1, (2017) pp.75-89.

(3)宮原孝夫, "対数型効用関数の効用無差別価格について", オイコノミカ (査読無), Vol.54, No.1, (2017) pp.55-61.

(4)Lin Ohn Zin, Miyauchi Hajime, "Reliability Forecasting in Distribution System Considering Variable Failure Rate: Combination of Equipment Inspection Method and Weibull Analysis", International Review of Electrical Engineering (IREE), (査読有) (2016).

DOI: 10.15866/iree.v12i1.11054.

(5)L. Ban, T. Misawa, Y. Miyahara, "Valuation of Hong Kong REIT based on Risk Sensitive Value Measure Method", to appear in International Journal of Real Options and Strategy", (査読有), Vol.4 (2016) pp.1-33.

<https://doi.org/10.12949/ijros.4.1>.

(6)臼杵 政治, 三澤 哲也:「賃金上昇率を目標とするポートフォリオ 構造 VAR を用いた分析」, 日本保険・年金リスク学会会報・大会プロシーディングス特集号・研究論文, (査読無) vol.19, (2015) pp.13-32.

(7)F. Ronilaya, H. Miyauchi, "A New Implementation of PID-type Fuzzy Controller for a Battery Grid-supporting Inverter in an Autonomous Distributed Variable-Speed Wind Turbine", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, (査読有) Vol. 10, No. 2, (2015) pp.134-143.

DOI: 10.1002/tee.22045, 2015.

(8)Iwan Setiawan, Ardyono Priyadi, Hajime Miyauchi, Mauridhi Hery Purnomo, "Adaptive B-Spline Neural Network-Based Vector Control for a Grid Side Converter in Wind Turbine-DFIG Systems", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, (査読有) Vol. 10, No. 6, (2015) pp.674-682.

DOI:10.1002/tee.22146, 2015.

[学会発表](計 16 件)

(1)古川 義英, 宮内 肇, 三澤 哲也, 「リスク鋭感的価値尺度による新しい供給信頼度指標の一提案」平成 30 年電気学会全国大会、2018 年。

(2)宮原 孝夫, 「内部リスク回避度 (IRRA) による格付け表の作成とその活用法」日本金融・証券計量・工学学会 (JAFEE) 2017 冬季大会、2018 年。

(3)宮原 孝夫, 「ランダム環境の下でのプロジェクトの価値評価法」, 日本リアルオプション学会 2017 年研究発表大会、2017 年。

(4)Y. Furukawa, H. Miyauchi, T. Misawa, "Basic Study on Thermal Power Plant Investment Portfolio based on Risk-Sensitive Value Measure", 23rd International Conference on Electrical Engineering, 2017 年。

(5)Y. Furukawa, H. Miyauchi, T. Misawa, "Consideration of Relation between the Smoothing Effect and Economics in Wind Power Generation Project Using RSVM", The 70th Joint Convention on Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu (電気・情報関係学会九州支部連合大会国際セッション) 2017 年。

(6)古川 義英, 宮内 肇, 三澤 哲也, 「ならし効果を考慮した風力発電事業のRSVM評価」, 平成 29 年電気学会電力・エネルギー部門大

会、2017年

(7)古川 義英、宮内 肇、三澤 哲也「発電事業投資ポートフォリオのRSVM評価」、平成29年電気学会全国大会、2017年。

(8)Yoshio Miyahara, Yoshiki Tsujii, "Applications of Risk-Sensitive Value Measure Method to Portfolio Evaluation Problems," 日本リアルオプション学会 2016年研究発表大会、2016年。

(9)程島 次郎、三澤 哲也、宮原 孝夫、「期待効用無差別価格理論に基づくリスク測度のシミュレーション」、2016年度 統計関連学会連合大会 2016年度 統計関連学会連合大会 2016年。

(10)宮内 肇、工藤 僚二、三澤 哲也「確実性等価尺度に基づく火力発電事業の事業価値評価」、平成28年度(第69回)電気・情報関係学会九州支部連合大会、2016年。

(11)井手 裕太、宮内 肇、三澤 哲也、「期待効用理論に基づく事業価値評価に使用する効用関数のパラメータ推定」、平成28年電気学会全国大会、2016年。

(12)宮内 肇、三澤 哲也、「回帰分析によるJEPX 価格変化に関する一検討」、平成28年電気学会全国大会、2016年。

(13)班 爛、三澤 哲也、宮原 孝夫、"Valuation of Hong Kong REIT based on Risk Sensitive Value Measure Method," 日本リアルオプション学会 2015年研究発表大会、2015年。

(14)池田 大祐、宮内 肇、「送電損失最小化による調相設備の価値評価に関する基礎的研究」、平成27年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会、2015年。

(15)朴 成讚、押川 博亮、宮内 肇、尹 容兌、朴 種根、「電力会社のインセンティブベース需要管理プログラムに参加するための小売事業者のピーク料金制運営戦略」、平成27年電気学会電力・エネルギー部門大会 2015年。

(16)Koichi Sakada, Hajime Miyauchi, Hiroaki Kitaguchi, "Installation of Photovoltaic System and Energy Storage System in Power System of Isolated Island considering Adequacy" 21st International Conference on Electrical Engineering ICEE15A-196, 2015年。

〔図書〕(計 1 件)

宮原 孝夫、「《研究ノート》プロジェクトの総合的評価理論『リスク鋭感的価値尺度法』」、日本リアルオプション学会 研究叢書 第1号(日本リアルオプション学会機関誌「リアルオプションと戦略」、第9巻 第2号(特別号)95頁、2017年4月。

https://doi.org/10.12949/cjaros.9.2_Monographs_1.

〔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：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

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・大学院先端科学研究部(工)
准教授
研究者番号：20181977

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()