

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03374

研究課題名（和文）確率系から見たリスク価値尺度の一般化と多様なリスク評価への展開

研究課題名（英文）Generalization of risk value measures from the viewpoint of stochastic systems and its application to various types of risk assessment

研究代表者

三澤 哲也（Misawa, Tetsuya）

名古屋市立大学・データサイエンス学部・教授

研究者番号：10190620

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：不確実性を考慮した様々な投資のリスク価値評価研究は、数理ファイナンス分野はもとより投資実務上も関心が持たれている。研究代表者と分担者は、事業や証券投資で扱われる不確実性を伴うキャッシュフローやリターンを確率系として捉えたうえで、リスク回避的な事業者・投資家にとっての投資価値を測るリスク鋭感的価値尺度（Risk Sensitive Value Measure；RSVM）を定式化し、その数理や電力事業への応用を展開してきた。本研究ではその拡張して、リスク感度が一般的なリスク価値尺度の定式化とベンチャー事業評価への応用、電力事業や供給信頼性評価への応用を試み、それぞれについて有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ファイナンス分野において、理想的市場を想定したうえでの証券投資や資産の標準的な価値評価法あるいはリスクを考慮した事業投資評価法は盛んに研究され利用されている。一方、現実には理想的な設定が必ずしも通用しない状況下でのリスクを含む投資価値評価を扱う事も多く、何らかの対応が必要である。本研究を含む一連のRSVM研究はその視点からなされたものであり、上述の標準的方法と補完しあう成果が期待できる。実際、本研究で主たる応用対象とした電力事業においてその有用性が確認された。以上から、本研究の学術的、社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Research on risk valuation of various investments considering uncertainty has been of interest in the field of actuarial finance as well as in investment practice. The principal investigator and co-principal investigator have formulated the Risk Sensitive Value Measure (RSVM), which measures the investment value for risk-averse business operators and investors, by considering cash flows and returns with uncertainty in project business and securities investment as a stochastic system, and have conducted mathematical research and applied research on the RSVM to electric power and other businesses. In this study, we attempted to formulate a more general risk value measure for risk sensitivity and its application to venture business valuation, and to apply RSVM to system reliability risk assessment, using electric power business as a subject matter, by extending our previous research. As a result, we confirmed the validity of both attempts.

研究分野：統計数学

キーワード：確率系 効用無差別価格 リスク鋭感的価値尺度 双鋭感的価値尺度 プロジェクト価値評価 太陽光発電事業 供給信頼度 安全性リスク

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

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を行ってきた。

一方、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、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」、平成27年度～29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深化」、平成30年度～令和2年度・基盤研究(C)「確率力学系としてのリスク価値尺度の動学化とプロジェクト価値評価」など一連の基盤研究課題を通じて、分担者である確率論・数理ファイナンスが専門の宮原孝夫、同じく電力システムが専門の宮内肇らと当該課題に取り組み、上記話題にたいする肯定的回答として以下のような理論・応用両面での成果を得てきた。

1) 数理ファイナンスの分野において、裁定理論(無裁定市場の存在を前提にした理論)に基づいた資産の評価理論は盛んに研究されているが、裁定理論を前提にできないような資産(実物資産、リアルオプション、プロジェクト、など)の評価理論はまだ十分になされていない。また、リーマンショック以後リスクマネジメントの重要性が認識され、リスク尺度の研究が盛んにおこなわれているが、価値評価という視点からの評価法の議論はあまり進んでいない。これらを踏まえ、リスクを含む事業プロジェクト価値を評価する「リスク鋭感的価値尺度(Risk Sensitive Value Measure: 以下RSVM)」を提唱した。これは投資に関わるキャッシュフロー-確率力学系に対する“期待値不変量”である「期待効用無差別価格」から定義され、現在価値法(NPV)などの旧来の事業評価法やリスク尺度と比べて、以下のような特徴を有することを確認した。i) 損失リスクに鋭感的な投資家の評価と整合的な価値尺度であること、ii) 投資規模のリスク評価を通じて最適な投資規模が議論できること、iii) 内部リスク回避度という投資対象の安全性を測る指標が定式化できること、である。

2) 近年の世界的な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。上記の成果の応用として発電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、上記1)に関連して、リスク価値評価の妥当性や発電事業投資に関わる最適投資規模の導出などへの有用性について確認した。

さらに上記で述べた研究経過の中で、リスク愛好的側面も有する事業者によるベンチャー事業のリスク評価手法の定式化、電力システムの信頼性評価という投資とは異なる視点のリスク評価への活用可能性、など、我々の成果を拡張することで、多様なリスク価値評価の数理解析が可能となりうるということがわかってきた。これが本課題実施当初の背景である。

2. 研究の目的

以上を背景に、本研究では、リスク評価対象や評価主体をより一般化した想定のもとで、これまでのリスク価値尺度を拡張・再定式化し、その数理的性質を解明すると共に、電力事業を対象にその実務的有用性を検証することを目的とした。具体的には以下のテーマにアプローチするに至った。

(テーマ1): リスク鋭感的価値尺度RSVMの拡張定式化と事業価値評価への応用

これまで研究してきたリスク鋭感的価値尺度RSVMの定式化とその数理解析に倣って、より一般的なリスク評価対象と評価主体に基づくRSVMの拡張再定式化と数理的性質の解明に取り組んだ。応用として、新尺度によるリスク愛好的事業者によるベンチャー事業の価値評価問題など、多様な事業価値評価を取り上げた。

(テーマ2): RSVM や内部リスク回避度の拡張適用による多様なリスク評価と電力事業を題材とした実装

RSVM やそれから導かれる内部リスク回避度指標によるリスクを考慮した事業投資価値評価の実務への実装ならびにシステムの信頼性リスク評価への応用について、RSVM の理論ならびにモデルシミュレーション、関連するデータ分析を通じて検証した。特に世界的に進む電力自由化や再生可能型電源の大規模な導入により電力事業に関わる各種リスク評価の重要性が増していることから、題材としては電力事業を主に取り上げた。そのさい、RSVM を実務運用するにあたっての課題とその対応についても考察した。また他事業分野におけるリスク評価へのRSVM 活用の可能性を模索する準備として、医療機器管理における安全性リスク評価問題に取り組んだ。

3. 研究の方法

上記目的のうち、(テーマ1)については主として分担者・宮原孝夫が担当、適宜、代表者・三澤哲也も関連する統計数理的課題に取り組んだ。(テーマ2)については代表者・三澤哲也と分担者・宮内肇が担当し、三澤は主としてRSVM による事業評価、および安全性や信頼性リスク評価へのRSVM の拡張適用に関する統計数理研究、宮内は電力システムの観点から系統運用電力事業における実務的課題への活用研究に重点を置いて課題に取り組んだ。なお、研究全体の取りまとめは代表者・三澤哲也が務めた。

研究の進め方については、研究代表者・分担者らは担当するテーマ研究を遂行するとともに、適宜、進捗に応じて情報交換やテーマ間の共同研究を実施した。あわせて国内外の関連分野学会や学術雑誌等で成果公表をおこなった。なお、シミュレーションやデータ分析のため、既存施設に追加して計算機や関連ソフトを所属する名古屋市立大学や熊本大学に用意した。

4. 研究成果

(テーマ1) について得られた成果は以下の通りである。

分担者・宮原孝夫は、RSVM を拡張した双鋭感的価値尺度(BSVM) を定式化し、その数理的性質の検証を行った(論文:Miyahara(2021)) さらにこれまでのリスク鋭感的価値尺度RSVM と双鋭感的価値尺度BSVM を動学的に拡張定式化したうえで、それらをリスクに関して回避的にも嗜好的にもなりうる“ベンチャービジネス投資”の価値評価への適用する方法とその有効性について示した(論文:Takeuchi, Takezawa, Miyahara(2023))

なお、代表者・三澤哲也は、投資対象の統計分布がモーメントを持たない場合のRSVM の拡張定式化について試み、現在も継続研究中である。成果は論文や学会発表にはまだ至っていないものの、分担者らとの間での小研究会レベルでの経過報告は行った。

(テーマ2) についての成果は以下の通りである。

代表者・三澤哲也は、分担者・宮内肇とともに電力システム分野における発電事業へのRSVM とその活用に関わる数理的性質を改めて整理したうえで、RSVM の特性を考慮した太陽光発電事業評価や電力供給信頼度評価への応用事例を取り上げ、その有用性について検証した。特に後者については、RSVM は停電時間分布の全体情報を反映していることから、従来用いられてきた信頼度指標よりも精緻な指標になりうること、またその有益性を示した(論文:三澤, 宮内(2021) 招待講演:三澤(2023))

なお、RSVM の信頼性工学分野への展開を見据えて、医療機器管理における安全性リスクに関連する医療機器事故報告の統計分析研究も行った(論文:渡邊, 三澤(2023))

分担者・宮内肇は代表者・三澤哲也とともに、電力システム分野におけるRSVM の実務的活用研究と関連する以下の課題について考究した。

まず太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー電源のRSVM による事業価値評価を行った。これらの電源出力は発電力の余剰に伴う出力抑制に加え、2022年4月から再生可能エネルギー電源出力の買取りに使われているFeed in Premium (FIP) 制度への移行とともに不確実性が増している。それを受けて、太陽光発電事業における出力抑制に伴う場合の事業価値やFIP 制度移行後のFIP 基準価格の水準について、RSVM (リスク鋭感的価値尺度) に基づく評価を行った(学会発表:齋藤, 宮内, 三澤(2021) 齋藤, 井筒, 宮内, 三澤(2022) 宮内, 島津, 三澤(2024))。さらに、蓄電池を併設した太陽光発電事業モデルに対するRSVM 評価を行い、太陽光発電の総容量の増加により最適な蓄電池容量が大きくなること、蓄電池容量を大きくするにつれ、太陽光発電がより多く導入される2030年の想定電源構成のRSVM が現状の電源構成のRSVM に近づくことが示された(学会発表:齋藤, 宮内, 三澤(2022) 齋藤, 宮内, 三澤(2023))。

供給信頼度指標については、実証データに基づくその有効性を示すとともに、従来の供給信頼度指標との対比から課題であったRSVM のリスク回避度パラメータの適切な範囲を定める手法を提案した(学会発表:宮内, 小室, 杉本, 三澤(2023) 杉本, 宮内, 三澤(2023))。

最後に上記各成果に関連して、今後の展開や課題について述べる。

まず、RSVM の統計数理的課題としては、リスクパラメータの推定問題やモーメントを持たない統計分布を持つ評価対象への RSVM の拡張定式化問題が挙げられる。これらは RSVM ならびにその拡張尺度の実務への実装上も重要な課題となっている。現在、これらに関してはいくつかのアプローチ案を考えており、その有効性を含めて継続して研究する予定である。

我々の RSVM 研究では、「内部リスク回避度 (IRRA)」というリスク指標を定式化することができる。これは RSVM のゼロとなるようなリスク回避度のことであり、RSVM のリスク回避度に対する単調減少性から、IRRA が大きいほど投資対象を許容する (RSVM が正となる) リスク回避的投資家の範囲が広がることから、結果として対象の「安全性評価」が高くなると解釈される。一方、ファイナンス分野では「Aumann-Serrano performance index (以下 AS 指標)」という投資リスク指標が知られているが、実は IRRA と本質的に同じものであることが判明している。明らかに、IRRA よりも RSVM のほうが投資価値評価にかかわる情報を豊かに含んでいることから、RSVM は AS 指標と比較してもリスク価値尺度としての優位性を持つであろう。AS 指標が経済・ファイナンス分野で注目されている指標の 1 つであることを併せ考えると、RSVM 研究のさらなる発展性や重要性を高まることが期待される。このような AS 指標を手掛かりにした RSVM の事業投資を含むファイナンス分野へのより広範な応用展開、電力供給信頼度評価にみられるような安全性や信頼性リスク評価への展開など、多様なリスク指標としての可能性について考究する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡邊 雅俊、三澤 哲也	4. 巻 93
2. 論文標題 医療機器に関連した医療事故報告の重要性に関する分析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 医療機器学	6. 最初と最後の頁 2~11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4286/jjmi.93.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 三澤 哲也, 宮内 肇	4. 巻 141
2. 論文標題 ファイナンスにおけるリスク評価手法の電力・エネルギー分野への適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 496~499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejjournal.141.496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Miyahara Yoshio	4. 巻 -
2. 論文標題 Both Sensitive Value Measure and its Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets (Online first)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10690-021-09352-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takenouchi Yukio, Takezawa Naoya, Miyahara Yoshio	4. 巻 10
2. 論文標題 Venture Business Project Valuation with the Risk Sensitive Value Measure and Both Sensitive Value Measure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Real Options and Strategy	6. 最初と最後の頁 1~22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12949/ijros.10.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 齊藤美沙, 宮内肇, 三澤哲也
2. 発表標題 FIP制度下における蓄電池をもつ太陽光発電事業のリスク鋭感的価値尺度による事業価値評価
3. 学会等名 令和4年電気学会電力系統技術研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤美紗, 宮内肇, 三澤哲也
2. 発表標題 FIP制度下における蓄電池をもつ太陽光発電事業のRSVMによる事業価値評価
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三澤哲也
2. 発表標題 ファイナンスにおけるリスク評価手法の電力・エネルギー分野への適用
3. 学会等名 東京大学APET第38回イブニングセミナー『電力・エネルギーシステムへの異分野研究の適用』（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齊藤美沙, 宮内肇, 三澤哲也
2. 発表標題 RSVMによるFIP制度下での太陽光発電事業価値評価
3. 学会等名 令和3年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤美沙, 井筒晴海, 宮内肇, 三澤哲也
2. 発表標題 RSVMによる再生可能エネルギー大量導入下における火力発電事業価値評価
3. 学会等名 令和4年電気学会電力系統技術研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮内肇, 小室哲哉, 折本侑馬, 三澤哲也
2. 発表標題 RSVMに基づく供給信頼度指標のパラメータ設定について
3. 学会等名 令和5年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 折本侑馬, 宮内肇, 三澤哲也
2. 発表標題 再生可能エネルギー導入下におけるリスク鋭感的価値尺度を用いた電力系統の供給信頼度評価
3. 学会等名 令和5年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮内肇, 島津優翔, 三澤哲也
2. 発表標題 リスク鋭感的価値尺度による出力抑制を考慮した太陽光発電事業価値評価
3. 学会等名 令和6年電気学会全国大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	宮原 孝夫 (Miyahara Yoshio) (20106256)	名古屋市立大学・大学院経済学研究科・名誉教授 (23903)	
研究 分担者	宮内 肇 (Miyachi Hajime) (20181977)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授 (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------