

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03421

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Dynamical Risk Sensitive Value Measure and its Application to Valuation of Project

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで基礎的研究を行ってきたリスクを考慮した様々な投資の価値を評価する「リスク鋭感的価値尺度(RSVM)」について、確率力学系の視点からの動学化などの設定や適用対象の拡張を試み、RSVMに基づく投資価値評価の理論を深化させた。またRSVMを用いた事業価値評価事例として再生可能エネルギー事業を取り上げ、平均・分散アプローチによる評価との比較を行い、リスク回避的事業者にとってのRSVMの適切さを確認した。

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ことからその学術的、社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have proposed the risk sensitive value measure (RSVM), which evaluates the value of various investments in consideration of risk, and have conducted basic research on it. In this study, we attempted to expand the setting of RSVM, such as dynamic from view of stochastic dynamical systems, and the target of application, and thereby deepened the theory of value evaluation based on RSVM. As a case study of business valuation using RSVM, we focused on renewable energy business. A comparison was made between RSVM and the mean and variance approach, and the appropriateness of RSVM for risk-averse businesses was confirmed.

研究分野：応用数学および統計数学関連

キーワード：リスク鋭感的価値尺度 プロジェクト事業価値評価 確率力学系 効用無差別価格 リスク管理 内部リスク回避度 太陽光発電事業 固定価格買い取り制度

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」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。そこで、我々はリスクを含む事業プロジェクト価値を評価する尺度として「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」から定義される。その基礎的な性質として、損失リスクに鋭感的な投資家の評価と統合的な価値尺度であること、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、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など、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優れた点が多くあることを確認した。

2) 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。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。

2. 研究の目的

上述のような確率力学系理論とも関連が深いRSVMのリスク価値尺度としての妥当性や有用性に関するこれまで得られた一連の研究成果を鑑みると、さらにこの尺度がどこまで拡張できるのか、また応用範囲を広げることが可能か、という問いを考えることは、学問的にも実務上も自然な事であろう。この視点から本研究では、以下のような課題に取り組むことを目的としている。

1) RSVMの動学的な拡張とそれにもとづく事業プロジェクトの時間的組み換えを考慮した最適ポートフォリオ問題を定式化すること

2) 投資家の設定としてリスク回避的投資家に限定しない、またリスク価値尺度の適用対象として民間事業投資だけでなく公共投資あるいは証券投資など、より多様な設定の下で、RSVMが効力を発揮するかどうかを検証すること

3) これまで知られているリスク尺度との関連性や標準的な事業価値評価との比較研究を通じて、RSVMのアドバンテージを明確にすること

4) 実務的な有用性の検証のため、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー電源事業投資の価値評価へのRSVMの応用とその有効性を示すこと

なお、当初は1)がRSVM拡張定式化研究の中心であったが、RSVM研究の進展と共に、2)のより多様なRSVM拡張研究、3)の基礎的な性質研究、4)の再生エネルギー事業評価への応用研究において興味深い結果が得られたため最終的にはこれらを中心に成果報告するに至っている。

3. 研究の方法

研究目的で述べた主題1)～4)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の動学化とそれに基づく事業ポートフォリオ価値の最適化

三澤哲也と宮原孝夫が主として取り組んだ。宮原の離散時間上の動学的RSVMに関するパイロット研究に基づき、それを評価関数に組み込んだ事業ポートフォリオ問題を設定、RSVMの視点による最適な事業組み換えを行う有用性を探った。

(テーマ2) RSVMの拡張 双方向型価値評価、ならびに公共投資、証券投資への応用

宮原孝夫が中心となって取り組み、証券投資の実証部分で三澤哲也も加わった。リスク回避的投資家の設定や防災関連公共投資、さらには東証株式市場における証券投資を題材とするRSVMから導かれる内部リスク回避度(IRRA)による投資銘柄の安全性に重点を置いたパフォーマンス評価について分析した。

(テーマ3) RSVMから導かれる内部リスク回避度と他のリスク指標との関連性

宮原孝夫が中心となって取り組んだ。これまでの研究で明らかにされた内部リスク回避度(IRRA)の性質から、これが投資対象の一種の「安全性」を測る指標として有効に働きうることが示唆されている。このことを実証的に検証すると共に、他のリスク指標との関連性についても考究した。

(テーマ4) 再生エネルギー事業評価へのRSVMの応用

宮内肇・三澤哲也が担当した。不確実性リスクが増大している発電事業において、特に再生可能エネルギーを中心とする事業価値評価へのRSVMの応用とその効用を検証した。

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、何からの形で公表し、最終的には代表者・三澤哲也が全体のとりまとめを行った。

4. 研究成果

3.の各テーマに対して得られた成果ならびに関連する今後の展望は以下の通りである。

(1) (テーマ1)について。

企業が事業投資を考えると、経営上、複合事業投資戦略、すなわち事業ポートフォリオが重要となる。そのさい、時間の経過と共に各事業への投資配分比率を変更しながら、結果として最適な事業投資を選択することは重要である。そこで本テーマでは3景気状態のランダムな離散時間変動下での2事業ポートフォリオモデルを想定し、RSVMでその価値を計量した汎関数を最大化するスキームを明示し、あわせてそれに基づく数値シミュレーションを実行した。その結果、景気パラメータや事業間キャッシュフロー相関等に関する感度分析などの考察を通じて、リスク回避的な企業家にとって妥当な戦略が得られることが確認された。また動学的RSVMがもつ「時間的整合性」が本質的に問題を簡便にしていることも判明した(学会発表:佐々木、三澤、宮原(2019))。

なお現在、当該モデルを連続時間に拡張したものを研究中であり、本結果と合わせて論文化を検討している。またさらなる本研究の展望として、本手法が事業プロジェクト等の経営戦略に有効な理論と手法として通じるかを検証していきたい。

(2) (テーマ2)について

RSVMは必ずしも市場をベースとしないリスクを含む投資価値評価法であるため、今まで適切な評価法の確立されていなかった公共事業などへの有効性が期待される。この観点から一例として防災事業の価値評価への応用を試み、得られた結果から、事業者の内部的なリスク価値評価が適切に反映され、公共事業にふさわしい投資評価になることが確認できた。(論文:宮原(2019))。逆に、市場によるリスク価値評価をベースとする証券投資にもRSVMを応用した結果、RSVMが下方的リスクに鋭感的に反応する尺度であることから、通常平均=分散アプローチに基づくリスク尺度やシャープレシオとは異なる価値評価結果を与えることが確認された(論文:Hodoshima, Misawa, Miyahara (2019))。またリスク回避度の取る値の範囲を拡張することで、リスク嗜好的な投資家も取り込み、かつ、リスクと収益のバランスを考慮した「双鋭感的価値尺度(BSVM)」が定式化できることも判明した(論文:宮原(2020))。

今後は上述のRSVMの適用分野の拡張、RSVM設定の拡張にかかわる各種パイロットスタディの内容を深め、RSVMおよびその拡張尺度の幅広い有効性を検証していきたい。

(3) (テーマ3)について

「リスク鋭感的価値尺度(RSVM)」と関連して導入された「内部リスク回避度(IRRA)」が同時に経済学の分野で導入された「Aumann-Serrano performance index (以下AS指標)」と本質的に同じものであることを示した(論文: Hodoshima, Miyahara(2020))。IRRA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くなり、結果として対象の「安全性評価」が高くなると解釈される(論文: Miyahara(2020))。ただしその定義から、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は明らかであり、IRRAと本質的に同じAS指標とRSVMを比較したとき、やはり後者の方が同様の評価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。

今後の展望としては、上述のAS指標を手掛かりにしたIRRA、さらにはRSVMの応用はもとより、IRRAの安全性指標としての性質に着目し、投資リスク評価への活用だけでなく、信頼性工学的な観点からの活用など、多様なリスク対象の安全性指標としての可能性も探っていく予定であり、すでにいくつかの試みが開始されている。

(4) (テーマ4)について。

RSVMを用いた事業価値評価を、特に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー電源事業に適用した。これら再生可能エネルギー電源からの出力は、現在は全量固定価格買い取り制度(FIT)で買入れられているため売電価格に変動はないものの、太陽光発電は日射量に、風力発電は風速によって出力が変動するため、収入に不確実性が存在する。これらの不確実性を考慮して、再生可能エネルギー電源による事業をRSVMと平均分散アプローチ(MV法)とで価値評価した。その結果、分散をリスクと見るMV法では事業が正しく評価できない場合があるのに対し、RSVMでは正方向の分散をリスクと見ず事業が正しく評価されることが示された(論文: Miyauchi et.al (2020))。

今後の展望としては、再生可能エネルギー電源の収入は、FIT制度から市場に連動するFIP(Feed in Premium)制度への移行も検討されていることから、さらに不確実性が増すものと予想される。したがって、より正しく事業価値を評価することが必要となり、RSVMを用いた事業価値評価手法はその有効な一手段となり得ると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hodoshima Jiro, Misawa Tetsuya, Miyahara Yoshio	4. 巻 27
2. 論文標題 Stock Performance Evaluation Incorporating High Moments and Disaster Risk: Evidence from Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets	6. 最初と最後の頁 155 ~ 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10690-019-09287-z	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 27
2. 論文標題 Inner Rate of Risk Aversion (IRRA) and Its Applications to Investment Selection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets	6. 最初と最後の頁 193 ~ 212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10690-019-09289-x	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 Hodoshima Jiro, Miyahara Yoshio	4. 巻 86
2. 論文標題 Utility indifference pricing and the Aumann-Serrano performance index	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Economics	6. 最初と最後の頁 83-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmateco.2019.12.002	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 Miyachi Hajime, Yoshimoto Daigo, Koga Takahiro, Izutsu Harumi, Misawa Tetsuya	4. 巻 53
2. 論文標題 Evaluation of Renewable Energy Project by Risk Sensitive Value Measure Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 12201 ~ 12206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2020.12.1080	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 宮原 孝夫	4. 巻 11
2. 論文標題 リスク鋭感的価値尺度 (RSVM) の拡張とその応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 リアルオプションと戦略	6. 最初と最後の頁 55-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 宮原 孝夫	4. 巻 20180720-21
2. 論文標題 防災事業の価値評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 統計数理研究所・共同研究レポート「極値理論の工学への応用」	6. 最初と最後の頁 90-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 宮原 孝夫	4. 巻 10
2. 論文標題 ランダム環境下でのプロジェクトの価値評価法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 リアルオプションと戦略	6. 最初と最後の頁 58~67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Miyauchi Hajime、Yoshimoto Daigo、Koga Takahiro、Izutsu Harumi、Misawa Tetsuya
2. 発表標題 Evaluation of Renewable Energy Project by Risk Sensitive Value Measurement
3. 学会等名 IFAC World Congress 2020, July 11-17 Germany (Online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮原孝夫
2. 発表標題 双鋭感的価値尺度 (BSVM) とその応用
3. 学会等名 日本金融・証券計量・工学学会 (オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮原孝夫
2. 発表標題 リスク鋭感的価値尺度 (RSVM) の拡張とその応用
3. 学会等名 日本リアルオプション学会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井筒晴海, 宮内 肇, 三澤哲也
2. 発表標題 リスク鋭感的価値尺度に基づく再生可能エネルギー大量導入下における新規火力発電事業の事業価値評価
3. 学会等名 令和2年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮原孝夫
2. 発表標題 内部リスク回避度 (IRRA) とその活用法
3. 学会等名 日本リアルオプション学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉本大悟、宮内 肇、三澤哲也
2. 発表標題 RSVM法による風力発電事業の事業価値評価とそれに基づく投資規模と年平均風速の相関
3. 学会等名 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井筒晴海、宮内 肇、吉本大悟、古賀貴裕
2. 発表標題 RSVMに基づく燃料調整コストを考慮した新規火力発電事業の事業価値評価
3. 学会等名 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木宏大、三澤哲也、宮原孝夫
2. 発表標題 動学的リスク鋭感的価値尺度を用いた事業ポートフォリオの価値評価法
3. 学会等名 電力経済勉強会、熊本大学大学院自然科学研究科
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀 貴裕、宮内 肇、三澤 哲也
2. 発表標題 RSVMとMV法による太陽光発電事業の事業価値評価に関する考察
3. 学会等名 平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉本 大悟、宮内 肇、三澤 哲也
2. 発表標題 RSVM法による規模のリスクを考慮した風力発電事業の評価に関する一考察
3. 学会等名 平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮原 孝夫
2. 発表標題 Applications of RSVM Method to Investment Strategy
3. 学会等名 日本金融・証券計量・工学学会（JAFEE）夏季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮原 孝夫
2. 発表標題 ポアソン型リスクを持つプロジェクトの価値評価
3. 学会等名 日本リアルオプション学会
4. 発表年 2018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)	

6. 研究組織（つづき）

	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	宮内 肇 (MIYAUCHI 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