

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究(c)
 研究期間：2009 年度～2012 年度
 課題番号：21560066
 研究課題名（和文） リスク証券化の社会的影響分析と工学的見地からの最適管理方策
 研究課題名（英文）
 Social effect analysis on securitization of risk and its optimal management from an engineering viewpoint
 研究代表者
 田中 泰明 (TANAKA Hiroaki)
 京都大学・大学院情報学研究科・准教授
 研究者番号：90217068

研究成果の概要（和文）：本研究では、様々なリスクの証券化、および、リスク証券化やリスクマネジメントの影響下でのリスクの最適な制御について理論的な考察を行った。本手法は、リスク事象を記述するに際して極めて広い応用性を有する拡張された確率システムに基づくもので、リスクを定量化するための高速シミュレーションスキームの開発に加えて、確率制御理論に基づいたリスクの最適管理方策について、主に工学的観点からの研究を遂行した。本研究における基本的なアプローチについては、いくつかの実用的な問題への適用を通じて、その有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）： In this study, we have theoretically discussed the effect of securitization of risks and optimal control of such risks including the effect of their securitization and risk managements. Our method is based upon extended stochastic systems having a very wide applicability for describing phenomena associated with objective risks. Further, we have developed a fast simulation scheme for quantifying risks and a method for optimal management of risks based upon the stochastic control theory, mainly from engineering viewpoints. Our basic approach has been applied to some practical problems to demonstrate the efficiency of our study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	2,100,000 円	630,000 円	2,730,000 円
平成 22 年度	600,000 円	180,000 円	780,000 円
平成 23 年度	500,000 円	150,000 円	650,000 円
平成 24 年度	500,000 円	150,000 円	650,000 円
年度			
総計	3,700,000 円	1,110,000 円	4,810,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：リスク解析，リスク証券化，確率モデル，高速シミュレーション，最適管理方策，確率微分方程式

1. 研究開始当初の背景

近年様々な分野において、「リスク」を経済的手法の援用によりカバーするというアプローチ、いわゆるリスクの証券化の重要性

が増してきている。これに伴って、リスクの定量化に関する研究、リスク証券化に関する研究、等が我が国においても盛んになってきているが、これらの研究の多くは基礎的な数学理論に重点を置きすぎたものに偏りがち

であり、実用性を欠いているという性格の強いものがあまりに多いと言わざるを得ない。例えば、証券化の代表的な例であるデリバティブの研究においては、完備金融市場を仮定することの妥当性の検証を一切行わずに、単なる解析上の都合から完備性を仮定して議論を進めるといったケースがあまりに多い。また、数学的に厳密な理論を構築することを目的とするあまり、広範なリスク事象のモデル化に関心を向けず、基本モデルの充実している金融デリバティブに安易に対象を集中してしまっているという事例も非常に多い。この結果、理論的な研究と実用的な問題への応用性との間に非常に大きな乖離が生じてしまっていると言わざるを得ない。

本研究は、このような研究上の問題点を改善する必要性の上に企画遂行されるものである。

2. 研究の目的

リスクおよびリスクの証券化に関する既存の研究が、モデルをあまりに限定的なものとしているために応用性が欠如していると考えられる点、リスク解析の対象が金融を中心とした経済的な問題に限定される傾向が認められる点、そして、リスクの管理方策に対する工学的な側面からの研究という要素が大きく欠けている点、に対処することを念頭に置いて、以下の点を基本的な目標と設定した。

- 多種多様なリスクを対象とし得るような、汎用性の高い確率モデルの開発のための基本的指針を与える。
- リスク証券化の対象とする事象を金融に関連した事象のみに限定せず、非金融的現象にも拡張する。そのために、価格付け理論の基礎となる完備性の仮定を排除し、非完備な状況下で使用し得る方法を考察する。
- リスクの制御・移転・ヘッジ等の様々な管理方法を考慮に入れた上で、最適な管理方策を、工学的な観点かつ理論的な側面から考察する。具体的には、確率制御理論の有効な活用を検討する。
- モデルの拡張に対応し得る、リスク定量化の具体的な手段を提供する。具体的には、微小な生起確率を高精度で推定することが必要となるため、そういった要求に応えることのできる高速シミュレーションの機能を取り入れたツールの開発を行なう。
- これらを実用的問題へ具体的に応用して、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

- 本研究を遂行する上で、最も重要となるのは、様々なリスク事象に対応し得る確率モデルをベースとすることであり、このことは証券化した商品の性質を論じる上でも重要な役割を演ずると期待できる。そこで、まず、確率モデルを Lévy 過程が駆動する確率システムに拡張する。このアプローチについては、既に研究代表者は関連する研究をこれまでに遂行してきているので、その成果を十分に活用する。特に、Lévy-Ito の分解定理により、システムの雑音の一般的な構成に立脚したモデル化を行うことと、雑音の駆動形式についても既存の指数型モデルにとらわれないモデル化を前提とすることを基本とする。
- 次に、このような確率システムを用いてリスク事象の挙動を記述した上で、リスク定量化・証券化したリスクの価格評価について基本的な枠組みを与え、さらにその数値評価スキームについて考察を行う。このプロセスにおいて、研究の目的の項で述べたように、完備でない状況下を想定することを基本とする。数値評価スキームは、Lévy-Ito の分解定理を利用した、確率測度変換法を活用する。特に、測度変換を与えるだけでなく、数値評価をする上で最も効率的な測度の選定法を与える。
- 定量化されたリスクに対して、どのような方策を適用すればそのリスクを最も効果的に制御管理し得るかを考察する。リスクの最も効果的な低減方策は、確率制御理論を活用することで理論的に導出することを目標とする。確率制御理論の立場から論じられるかどうかについて検討する。
- 以上の基本方針の有効性は、いくつかの具体的な問題への適用、例えば、近年社会的にも関心の高い住宅ローンの証券化によるリスク移転の問題や、社会インフラの最適な管理運営問題などへの応用を試みる。

4. 研究成果

- リスク証券化を念頭に置いた場合、必要不可欠となるのが、そのリスクを証券化した場合の均衡価格の妥当な値を導出する基本スキームであり、そのために上記の確率測度変換により均衡を実現し得る確率測度構成する基本指針を示した。特に、完備性が保証されないケースを想定して、付帯条件を付加して合理的に測度を構成する手法についていくつかの提案

- を行なった。
- 証券化したリスクの価格評価に用いたものと同じ型の確率測度変換により、効率的なシミュレーションスキームの構成が可能であることを示し、いくつかの具体例について実際に数値実験を行なってその有効性を確認した。この結果、本提案スキームは、証券の価格評価を行うための測度変換に引き続き、数値評価のためのシミュレーションスキームを構成する測度変換の2段階の合成変換から成るスキームとなっている。なお、今回構築したスキームの構成法は、これまでの研究代表者の研究で議論されてきた手法を特別の場合として含むものであり、この点で構成法の拡張が達成できたと考えられる。特に、リスク解析においては微小な生起確率を精度よく推定することが重要となるので、このような効率的シミュレーションスキームは広い応用性が期待できる。
 - 構成したモデルの特性が、強い非線形性を有する場合については、様々な困難さが生じる可能性が高い。そういった問題にも対応し得るために、いわゆる等価線形化を併用した改良法の提案を行ない、地震リスクの定量評価を例にその有効性を示した。
 - モデル拡張については、いくつかの実用的な適用例を通じてその有効性の考察を行った。具体的には、社会インフラの劣化リスクに対応するための、様々な構造材料の劣化損傷のモデル化、住宅ローンなどのローンプールの時間変動に関するモデル化、保険会社のリスク移転を複数の移転手段に拡張するためのモデル化、について具体的な考察を行った。
 - 工学的見地からのリスク管理方策の最適化という問題に、本研究の基礎を成す拡張確率モデルをベースに、確率制御理論を適用して最適管理方策を考察していく基本的な枠組みを与えることができた。具体的には、社会インフラの長期に渡るメンテナンスプログラムへの適用、保険会社の金融的な手段を援用したリスク移転方策の最適化問題への適用、について考察を与えた。
 - 2段階確率測度変換法による均衡価格の数値評価スキーム、および、Levy-Ito分解を用いた測度変換の基本指針の構成、の2点に基づいて、証券化したリスクの均衡価格を評価する基本的な理論構成全体を再整理した。これは、本研究全体の根幹を成す基礎理論の部分であり、社会的リスクの証券化に関して、新しい解析の方向性を立てることができたと考えられる。特に、基本となる確率モデルを様々

な対象に適用し得るように拡張した場合にも対応し得る方法となっている点が本研究の大きな特徴であり、この有用性を確認するために、住宅ローンリスクの証券化による分散に関する解析、非金融デリバティブの代表例の1つである気温デリバティブを用いたリスクヘッジの解析への適用を試みた。これらの研究については現在論文化している段階で、近々公表する予定である。

- 社会インフラのメンテナンスへの応用研究、特にその中でも、最適性を導出するための基礎的部分に関する研究を進めた。本年度は、さらに細部を精査して実用化に耐え得るよう改良を進め、(i) 基本となる数学モデルにおける駆動雑音の混合型への拡張、(ii) 保守方策を小規模な補修と大規模な補強の2種類に拡張、について重点的に研究を進めた。後者は、リアルオプションの観点から見たオプションの可能性の拡張という点で重要であり、前年度までに得られた最適メンテナンス方策の導出の枠組みの中うまく埋め込めることを確認した。

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 Hiroaki Tanaka and Jun Ogawa, "Importance Sampling for Nonlinear Oscillating Systems driven by Stationary Noise Using a Probability Measure Transformation", *Journal of System Design and Dynamics (JSME)*, Vol. 4, No.3, pp.524-537 (2010), 査読あり。
- ② Hiroaki Tanaka, O. Maruyama and A. Sutoh, "Probabilistic Model for Damage Accumulation in Concrete Tunnel Lining and its Application to Optimal Repair Strategy", *Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (Proc. of ICASP 11, CD-ROM)*, pp.2368-2375, Taylor & Francis Group, London (2011), 査読あり。
- ③ 田中泰明, "Lévy 過程に対する確率測度変換とその高速モンテカルロスキームへの応用", 構造物の安全性および信頼性 (第7回構造物の安全性および信頼性に関する国内シンポジウム (JCOSAR 2011) CD-ROM 論文集), Vol. 7, pp. 677-683, 日本建築学会 (2011), 査読あり。
- ④ 丸山 収, 須藤 敦, 田中泰明, 佐藤 京, 西 弘明, "トンネル覆工コンクリートの確率的予測モデルの構築", 構造物の

安全性および信頼性（第7回構造物の安全性および信頼性に関する国内シンポジウム（JCOSSAR 2011）CD-ROM 論文集），Vol. 7, pp.204-209, 日本建築学会（2011），査読あり。

- ⑤ O. Maruyama, A. Sutoh, Hiroaki Tanaka and T. Satoh, "A Stochastic Prediction Model of Degrading Process for Tunnel Management Systems", Proc. of IALCCE 2012, CD-ROM, pp. 491-496, (2012), 査読あり。
- ⑥ A. Sutoh, O. Maruyama, Hiroaki Tanaka, T. Satoh and H. Nishi, "Probabilistic Model for Damage Accumulation in Concrete Tunnel Lining using Inspection Data", SAFETY, ELIABILITY AND RISK OF STRUCTURES, INFRASTRUCTURES AND ENGINEERING SYSTEMS (Proc. of ICOSSAR 2013), (2013), 掲載決定済, 査読あり。
- ⑦ O. Maruyama, A. Sutoh, Hiroaki Tanaka, T. Satoh and H. Nishi, "A Stochastic Model for Deterioration Process of Tunnel Lining Concrete in Cold Regions", SAFETY, ELIABILITY AND RISK OF STRUCTURES, INFRASTRUCTURES AND ENGINEERING SYSTEMS (Proc. of ICOSSAR 2013), (2013), 掲載決定済, 査読あり。
- ⑧ Hiroaki Tanaka, O. Maruyama, A. Sutoh, T. Satoh and H. Nishi, "Optimal Control of Maintenance Strategies Including Repairs and Reinforcements for Concrete Tunnel Lining", SAFETY, ELIABILITY AND RISK OF STRUCTURES, INFRASTRUCTURES AND ENGINEERING SYSTEMS (Proc. of ICOSSAR 2013), (2013), 掲載決定済, 査読あり。

〔学会発表〕（計6件）

- ① 田中泰明, 中西孝雄, "高速モンテカルロ法によるCDS価格の数値評価", 第58回理論応用力学講演会講演論文集, pp.313-314, 2009.
- ② 田中泰明, 小山昴佑, "再保険契約下での保険会社の最適戦略について", 第58回理論応用力学講演会論文集, pp.315-316, 2009.
- ③ 田中泰明, "2段階確率測度変換を用いたCDSプレミアムのシミュレーション解析", 第59回理論応用力学講演会講演論文集, pp.287-288, 2010.
- ④ 田中泰明, "非線形耐震応答解析に対する高速シミュレーションスキーム", 第60回理論応用力学講演会講演論文集,

論文 No. OS12-09 (USBメモリ), 2011.

- ⑤ 丸山 収, 須藤敦史, 田中泰明, "地域特性を考慮した寒冷地のトンネル覆工コンクリートの劣化予測", 第62回理論応用力学講演会, 論文 No. OS 11-04, 2013.
- ⑥ 田中泰明, 丸山 収, 須藤敦史, "トンネル覆工コンクリート損傷度成長に対する複合 Poisson モデル", 第62回理論応用力学講演会, 論文 No. OS 11-05, 2013.

〔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：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
現在作成中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 泰明 (TANAKA Hiroaki)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号：90217068

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし