

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 4 月 23 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2012

課題番号：20241037

研究課題名（和文） OR 指向ファイナンスにおける意思決定支援モデルの開発

研究課題名（英文） Exploring Decision Support Models in OR-oriented Finance

研究代表者

木村 俊一 (KIMURA TOSHIKAZU)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号：50143649

研究成果の概要（和文）：

「OR 指向ファイナンス」とは、数理ファイナンス理論をオペレーションズ・リサーチ (OR) における意思決定支援という観点からそのモデル作りを見直そうという本研究の基本概念である。この基本概念の下に、5つの研究テーマ(1) オプション価格評価；(2) 仕組債の価格評価；(3) 数理ファイナンス理論 (4) 企業ファイナンスにおける価値評価；(5) リアルオプションに対する数理モデルの開発とそれらの応用に関する研究を行い、数多くの国際的な研究成果を得た。

研究成果の概要（英文）：

The basic concept of this research is called “OR-oriented finance,” which reconstructs financial modeling from the view point of decision making in Operations Research. Under this concept, we have developed various mathematical models on (1) valuing options; (2) valuing structured bonds; (3) pure mathematical finance; (4) valuation in corporate finance; and (5) real options.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2009 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2011 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2012 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
総計	35,200,000	10,560,000	45,760,000

研究分野：OR

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学／社会システム工学・安全システム

キーワード：OR, 数理ファイナンス, 金融工学, 確率モデル, 意思決定, オプション評価, ポートフォリオ最適化, リアルオプション

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の社会的背景

わが国の金融市場を再生させるための金融システム改革（いわゆる日本版ビッグバン）の進展に伴い、投資信託・外貨預金・デリバティブ等の多様な金融商品が身近になりつつある。しかし、金融商品についての知識・情報が乏しい顧客に対する業者の説明が不十分なために、元本割れなどを生じた場合に、金融商品の販売・勧誘をめぐるトラブルが増加している。近年、顧客の保護のための法的な整備が進められてはいるものの、業者と顧客との間の情報格差には依然として大きな開きがある。契約解除やオプションの早期行使に関する顧客の最適行動を支援する情報については、金融商品を設計する業者は知り得ても、顧客に対しては開示されていない。この情報非対称性は、金融技術に対する社会的な認識不足を象徴すると同時に、業者・顧客双方にとって扱い易いモデルの必要性を示している。

(2) OR 指向ファイナンスとは

金融技術は、確率解析を基礎とする数理ファイナンス理論によって裏付けられる。本研究のめざす OR 指向ファイナンスとは、数理ファイナンス理論を OR における意思決定支援という観点からそのモデル作りを見直そうという取り組みであり、研究代表者が日本オペレーションズ・リサーチ学会北海道支部と共催した金融工学シンポジウム（2006年9月、北海道大学）において最初に提唱された。数理ファイナンスの代表的な適用問題としてオプション評価とポートフォリオ選択の2つが知られている。前者の中で、電力や不動産価格などの実物資産に対するリアルオプションズ・アプローチは、まさに OR 指向ファイナンスのさきがけと言えるが、市場の非完備性に起因する未解決な問題点も多い。金融オプションに対するアプローチは、完備市場として定式化される問題に対してすら、最適な意思決定を支援するツールとして十分に研究・整備されているとは言い難い。他方、資産の最適配分に関するポートフォリオ選択は、本来的に意思決定支援に係わっているが、市場の非完備性と最適化する目的関数を測るリスク測度に関して、多くの問題が残されている。本研究は、こうした問題に対する意思決定支援ツールとしての新しいモデルの構築をめざしている。

2. 研究の目的

研究代表者・研究分担者をコアとして、次の5件の研究テーマ：

(1) オプション価格評価モデルの開発とその応用

- (2) 仕組債の価格評価モデルの開発
 - (3) 数理ファイナンスの理論的研究
 - (4) 企業ファイナンスにおける価値評価モデルの開発
 - (5) リアルオプションモデルの開発とその応用
- を掲げて研究を進める。

3. 研究の方法

2節で示した5つの研究目的に対して、次の研究方法を用いる。

- (1) 早期行使の起こり得るインストールドメントオプション、ゲームオプション、ストックオプション等の評価モデルを開発し、数値実験による検証を踏まえて、明示的な評価公式とオプション保有者の最適権利行使時期を与える。
- (2) 実務で要請される償還、契約解除、早期行使などの複雑な条項を付与された仕組債の価格評価モデルを開発し、価格評価アルゴリズムの開発・実装と債券保有者の最適政策を与える。
- (3) 長期記憶をもつ市場における長期間最適投資と非完備市場・コヒーレント・リスク制約下での期待効用長期最適化に関する投資モデルを開発し、最適運用指針を与える。
- (4) 最適資本構成などの企業ファイナンス問題に対する実務からの要請に、十分に柔軟に対応可能な価値評価モデルを開発し、その数値解法と最適政策を与える。
- (5) 資源・環境政策、M&A戦略、投資プロジェクトなどの評価に対するリアルオプションモデルを開発し、最適政策の定性的および定量的評価を与える。

4. 研究成果

5年間の研究期間に、83件の雑誌論文（うち査読付き論文50件）、228件の学会・国際会議発表（うち招待講演15件）、8件の図書刊行を行った。上記各研究テーマに関して、これらの研究成果は以下のようにまとめることができる。

- (1) インストールドメントオプション、ゲームオプション等のエキゾチックオプションに対する価格評価、ラプラス変換を用いたアメリカンオプションの数値解析、ストックオプション公正価値評価の問題に対する連続時間モデルの開発を行った。また、ジャンプをもつ原資産上に書かれた買い手と売り手の両者が権利行使可能なロシアンオプションの価格評価と早期行使境界の導出を行った。この結果は、大災害債券等の価格評価に適用することが可能であり、社会的にも大きな意義が

あると考えられる。意思決定支援ツールとしての操作性をより高めるために、早期行使境界の明示的な近似解の開発等が今後の課題となる。

- (2) 買戻し請求権付き他社株転換社債やレジームスイッチのある償還条項付き新株予約権に対する資産評価モデルの開発を行った。今後、経済の状態が直接には観測できない問題に対し、レジームスイッチングの生起に関する不確実性をモデルに組み入れる拡張を検討している。
- (3) デフォルトのある条件付き請求権に関する優複製確率の最大化問題およびヘッジ損失の割引期待値最小化の問題を非完備市場の枠組みにおいて定式化し、最適ポートフォリオを導出した。また、非マルコフ型市場モデルにおいて有用な予測理論に基づくフィルタリング手法を多次元へ拡張する方法を見出した。確率分布の最適量子化を用いた law invariant comonotonic コヒーレント・リスク測度の新しい近似手法を開発した。フラクショナル・ブラウン運動過程に対する新たな理論的成果を得た。さらに、動的従属性解析のためのフィルタリング手法に関して、1次元離散時間過程を多次元に拡張することに成功した。この結果は、ファイナンス理論に現れるモデルを連続時間に拡張するための重要なステップになると期待される。
- (4) 最適資本構成の問題に対し、実務家の要請する柔軟性を考慮した負債価格評価モデルを分析した。また、社債のリスク評価において、企業の信用力を観測できない隠れた確率変数として、有形資産の価値を定期的に観測できる確率変数としてモデル化し、信用力の代理変数である有形資産価値から真の信用力を推定した。さらに、債務を持ち合う企業のクレジットリスクを評価する手法として、連鎖倒産アルゴリズムを開発し、2国間の債務の持ち合いが双方のクレジットリスクに及ぼす影響を分析した。
- (5) 発電プラント建設・廃棄・減価償却における投資、資金調達を考慮した投資、施設の配置と投資の同時決定、M&A、不完全情報下での外国直接投資、官民連携事業に関する投資、転換社債による資金調達と投資時期決定、償還条項付き新株予約権評価、ITセキュリティ投資、R&D投資プロジェクト選択などの多様な意思決定問題に対して、リアルオプションの枠組みを用いて分析を行った。いずれも従来のリアルオプション・アプローチを用いた研究では十分考察されていなかった点を明らかにしたことで、当該分野の研究発展に大きく寄与したと考えている。

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 83 件)

1. Yagi, K. and Takashima, R., “The Impact of Convertible Debt Financing on Investment Timing,” *Economic Modelling*, 査読有, **29**, 2012, 2407-2416; 10.1016/j.econmod.2012.06.032
2. Siddiqui, A. and Takashima, R., “Capacity Switching Options under Rivalry and Uncertainty,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **222**, 2012, 583-595; 10.1016/j.ejor.2012.05.034
3. Nakano, Y., “On Approximating Law-invariant Comonotonic Coherent Risk Measures,” *ASTIN Bulletin*, 査読有, **42**, 2012, 343-353; 10.2143/AST.42.1.2160746
4. Bingham N. H., Inoue, A. and Kasahara, Y., “An Explicit Representation of Verblunsky Coefficients,” *Statistics & Probability Letters*, 査読有, **82**, 2012, 403-410; 10.1016/j.spl.2011.11.004
5. Kimura, T., “American Fractional Lookback Options: Valuation and Premium Decomposition,” *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 査読有, **71**, 2011, 517-539; 10.1137/090771831
6. Nakano, Y., “Partial Hedging for Defaultable Claims,” *Advances in Mathematical Economics*, 査読有, **14**, 2011, 127-145; 10.1007/978-4-431-53883-7_6
7. Kimura, T., “Alternative Randomization for Valuing American Options,” *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 査読有, **27**, 2010, 167-187; 10.1142/S0217595910002624
8. Kimura, T., “Valuing Executive Stock Options: A Quadratic Approximation,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **207**, 2010, 1368-1379; 10.1016/j.ejor.2010.06.041
9. Yagi, K. and Sawaki, K., “The Pricing and Optimal Strategies of Callable Warrants,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **206**, 2010, 123-130; 10.1016/j.ejor.2010.02.002
10. Yagi, K. and Sawaki, K., “The

- Valuation of Callable-Putable Reverse Convertible Bonds,” *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 査読有, **27**, 2010, 189-209; 10.1142/S0217595910002636
11. Suzuki, A. and Sawaki, K., “The Valuation of Russian Options for Double Exponential Jump Diffusion Processes,” *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 査読有, **27**, 2010, 227-242; 10.1142/S021759591000265X
 12. Takashima, R., Yagi, K. and Takamori, H., “Government Guarantees and Risk Sharing in Public-Private Partnerships,” *Review of Financial Economics*, 査読有, **19**, 2010, 78-83; 10.1016/j.rfe.2009.10.001
 13. Goto, M., Takashima, R. and Tsujimura, M., “Irreversible Investment, Operating Flexibility, and Time Lags,” *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 査読有, **27**, 2010, 271-286; 10.1142/S0217595910002685
 14. Kimura, T., “Valuing Continuous-Installment Options,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **201**, 2010, 223-230; 10.1016/j.ejor.2009.02.010
 15. Naito, Y., Takashima, R., Kimura, H. and Madarame, H., “Evaluating Replacement Project of Nuclear Power Plants under Uncertainty,” *Energy Policy*, 査読有, **38**, 2010, 1321-1329; 10.1016/j.enpol.2009.11.010
 16. Kimura, T., “American Continuous-Installment Options: Valuation and Premium,” *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 査読有, **70**, 2009, 803-824; 10.1137/080740969
 17. Kawahara, Y., Pourahmadi, M. and Inoue, A., “Duals of Random Vectors and Processes with Applications to Prediction Problems with Missing Values,” *Statistics & Probability Letters*, 査読有, **79**, 2009, 1637-1646; 10.1016/j.spl.2009.04.005
 18. Kijima, M., Suzuki, T. and Tanaka, K., “A Latent Process Model for the Pricing of Corporate Securities,” *Mathematical Methods of Operations Research*, 査読有, **69**, 2009, 439-455; 10.1007/s00186-008-0246-5
 19. Okawa, M. and Tsujimura, M., “The Value of a Merger and Its Optimal Timing,” *Applied Financial Economics*, 査読有, **19**, 2009, 1477-1485; 10.1080/09603100902984319
 20. Kimura, T., “Valuing Finite-Lived Russian Options,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **189**, 2008, 363-374; 10.1016/j.ejor.2007.05.026
 21. Inoue, A., Kawahara, Y. and Phartyal, P., “Baxter’s Inequality for Fractional Brownian Motion-type Processes with Hurst Index less than 1/2,” *Statistics & Probability Letters*, 査読有, **78**, 2008, 2889-2894; 10.1016/j.spl.2008.04.014
 22. Ohyama, A. and Tsujimura, M., “Induced Effects and Technological Innovation with Strategic Environmental Policy,” *European Journal of Operational Research*, 査読有, **190**, 2008, 834-854; 10.1016/j.ejor.2007.08.006
 23. Takashima, R., Goto, M., Kimura, H. and Madarame, H., “Entry into the Electricity Market: Uncertainty, Competition, and Mothballing Options,” *Energy Economics*, 査読有, **30**, 2008, 1809-1830; 10.1016/j.eneco.2007.05.002
- [学会発表] (計 228 件)
1. 井上昭彦, 笠原雪夫, Pourahmadi, M., “Application of Multivariate Extension to Representation Theorems in Prediction Theory,” 日本数学会 2012 年度年会, 2013 年 3 月 26 日, 東京理科大学
 2. Nakano, Y., “An Approximation Scheme for Optimal Stochastic Control Problems,” 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Application, 2012 年 11 月 2 日, 国土館大学
 3. Yagi, K. and Takashima, R., “The Effects of Executive Stock Option Grants on Financing Decisions,” INFORMS Annual Meeting 2012, 2012 年 10 月 17 日, Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona, USA
 4. Suzuki, A. and Sawaki, K., “Game Russian Option with the Finite Maturity,” INFORMS Annual Meeting 2012, 2012 年 10 月 14 日, Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona, USA
 5. 木村俊一, “Approximating the Early Exercise Boundary for American-style Options,” 平成 24 年度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」, 2012 年 9 月 18 日, 京都大学

6. Tsujimura, M., “Sequential Investment in Pollution Control Equipment under Uncertainty, ” 16th Annual International Conference on Real Options, 2012年6月29日, London Business School, London, UK
7. Suzuki, T., “Life Insurance and Annuities with Positive Premium Loading: A Life Cycle Model with Borrowing,” Bachelier Finance Society Seventh World Congress, 2012年6月19日, Hilton Sydney Hotel, Sydney, Australia
8. Goto, M., Nishide, K. and Takashima, R., “Irreversible Investments under Competition with Markov Switching Regime,” Workshop on Probability and Statistics in Finance 2012, 2012年5月31日, UCB, Berkeley, USA

[図書] (計8件)

1. 木村俊一, ミネルヴァ書房, 『ファイナンス数学』, 2011, 300
2. 澤木勝茂・鈴木淳生, ミネルヴァ書房, 『コーポレート・ファイナンス』, 2011, 190
3. 木島正明・鈴木輝好・後藤 允, 朝倉書店, 『ファイナンス理論入門: 金融工学へのプロローグ』, 2011, 198

[その他]

ホームページ等

<http://www2.itc.kansai-u.ac.jp/~t.kimura/workshop/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 俊一 (KIMURA TOSHIKAZU)
関西大学・環境都市工学部・教授
研究者番号: 50143649

(2) 研究分担者

澤木 勝茂 (SAWAKI KATSUSHIGE)
南山大学・ビジネス研究科・教授
研究者番号: 80065482
井上 昭彦 (INOUE AKIHIKO)
広島大学・理学研究科・教授
研究者番号: 50168431
鈴木 輝好 (SUZUKI TERUYOSHI)
北海道大学・経済学研究科・教授
研究者番号: 90360891
辻村 元男 (TSUJIMURA MOTOO)
同志社大学・商学部・准教授
研究者番号: 40335328
鈴木 淳生 (SUZUKI ATSUO)
名城大学・都市情報学部・准教授
研究者番号: 60513702

(3) 連携研究者

高嶋 隆太 (TAKASHIMA RYUTA)
千葉工業大学・社会システム科学部・准教授
研究者番号: 50401138
八木 恭子 (YAGI KYOKO)
秋田県立大学・システム科学技術学部・助教
研究者番号: 80451847
後藤 允 (GOTO MAKOTO)
北海道大学・経済学研究科・
准教授
研究者番号: 30434286

(4) 研究協力者

中野 張 (NAKANO YUMIHARU)
東京工業大学・
イノベーション・マネジメント研究科・准教授
研究者番号: 00452409