

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24243031

研究課題名(和文)金融工学からERMへ：基礎理論と実証に関する研究

研究課題名(英文)Financial Engineering to ERM: Theoretical and Empirical Investigation

研究代表者

斯波 恒正 (SHIBA, Tsunemasa)

一橋大学・大学院経済学研究科・特任教授

研究者番号：90187386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：統合的、全社リスク管理(ERM)に影響を与える諸要因の研究とリスクの統合の在り方について連携を保ちながら、グループに分かれて研究を行った。具体的には、マクロ・金融時系列データの分析、金融工学とコピュラの研究、高頻度データ・金融市場データの理論と実証の研究、ノンパラメトリックおよびセミパラメトリックモデルを用いた統計的分析、である。とくにコピュラは、リスク統合の手段として非常に重要である。著名研究者を招いて、公開の国際研究会も毎年開催した。

研究成果の概要(英文)：Our research in theoretical and empirical aspects of enterprise risk management (ERM), was conducted in several different groups. The groups kept in close contact with each other, however. We formed the following groups: macroeconomics and financial time series group, financial engineering and copula group, financial high frequency data group, and nonparametric/semiparametric statistics group. Among the above listed areas of research, copula seems to stand out as the most promising important tool for ERM. In each of the four years, we invited top-rated researchers from around the world to hold an international conference, open to the public. These conferences contributed to our understanding of the above areas, and served as great opportunities to present our ongoing research.

研究分野：計量経済学

キーワード：金融工学 計量経済学 統合的リスク管理 計量的リスク管理 コピュラ 高頻度データ 構造変化
ビッグデータ

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、金融工学はまさにその真価を問われていた。数理ファイナンスの基礎論から、無形資産をも含む事業体全資産の統合リスク管理、すなわち ERM(Enterprise Risk Management) に有用かつ強力な数理的理論と広い応用性のあるモデル開発は喫緊の課題であった。研究当初の目的は、同一大学内の統計学・計量ファイナンス・金融工学等の分野の研究者が密接に連携し、基礎理論から ERM をも視野に入れ、理論・応用の両面で実用に耐えうる成果を得る点にあった。長期記憶性やフラクショナルな性質を考察し推定問題や検定問題に取り組み、また金融工学で有用な予測回帰式の統計的推測と資産分布の計量化を考察し、ERM に有用なリスク管理手法の開発と達成をもって主目的とするものであった。

2. 研究の目的

ERM は、金融機関を含む一般事業組織のリスク管理手法として引き続き広く注目を集めている。ところが日本では、学術的な研究の進展が些か遅い状態が、研究開始当初のみならず現在においても続いている。この研究では、以下の(1)から(5)までの項目を中心に金融工学の理論を深化させ ERM への応用を達成し、上記の状況を改善しようとするものであった。

(1)近年度々世界を襲ってきた金融危機、特に 2008 年秋の世界的金融危機以来、金融工学はその真価を問われている。例えば 100 年に一度しか生起するはずのない希な事象がこのように度々起きてくるなど、金融工学や数理ファイナンスはその根底から真価が問われる事態に直面していた。確率解析、統計学・確率論の分野でこれまで多くの重要な業績をあげてきた当研究課題の応募当初のメンバーによるこの分野の研究は、金融工学の基礎理論を究明し、ERM へ応用するための重要な役割を果たした。

(2)金融工学での実証ファイナンスでは、伝統的な株価収益率を財務比率で予測するという「予測回帰式(predictive regression [以下「PR」と略])」がある。ところが PR においては、用いられる変数(predictor)の従属性が非常に強いため、通常の t 検定では予測可能性を正しく検定できないことが知られていた。そのため、local to unity model (以下「LUM」と略)による漸近理論を用いた検定方法が構築されてきた。本研究では、分位点回帰(quantile regression [以下「QR」と略])の理論を LUM に拡張することで、予測分位点回帰式(predictive QR)の理論を構築する。PR においては、また一般には、構築が非常に複雑で片側 5%検定しかできない。さらに LUM のみを想定しているため、従属性がそれほど強くない場合には検定のサイズ

の歪みが著しいことが知られている。本研究では、実証分析で実際により使い易い新たな統計的手法を開発する。しかし、ここでの一つの問題点は、これまで例えば株式収益率の「平均」に関する予測可能性のみに焦点を当てていた点にある。すなわち、「平均」のみに集中することが金融工学的に見て妥当であるかが問題となっている。信用リスク管理などで使われる VaR(Value at Risk)などの例を見るまでもなく、株式収益率の分布全体の予測可能性の検討は、非常に重要である。例えば、株式収益率分布の下側 5%点・下側 10%点など分位点を予測することが可能な変数を発見することは、株価の下落の先行指標を発見することにつながる。従って本研究においてはまず、金融工学で最も重要なリターンの平均の予測と分布についての推測という、二つの面に焦点を当てることとする。

(3)実証ファイナンス的な側面で重要な二つの側面にも焦点を当てる。まず、裾の重さと長期記憶性の両方を同時に捉える。金融時系列分布の長期記憶性については裾の厚さも疑いなく重要な性質である。これらの性質は様々な面から検討されてきたが、本研究ではノンパラメトリックおよびセミパラメトリックモデルを用いて、通常のパラメトリックモデルよりも遙かに柔軟なモデリングを目指すものであった。その後はレジームが状態によって変化する閾値モデルである。状態移行が平滑なものなどにおける、閾値の数などに関する新しい統計的推測方法を提案する。

(4)信用リスク(credit risk [以下では「CR」と略])は、金融工学的にも実務でも極めて重要な問題であって、昨今の金融危機も CR 管理の失敗であるとも言える。CR 管理での一つの重要なトピックとして倒産確率や債権回収率に関する統計的推測が挙げられる。特に回収率に関しては、実務に役立つ研究成果が比較的少ない。本研究では、これらのトピックをしっかりとした理論的仮説に基づいて展開する。

(5)異なる二つ以上の現象の相関関係を記述する接合分布関数(copula コピュラ)を用いたモデル化は独立とは限らない事象間の相関を表すのに有効な手法である。ところが既存の理論では、多くの場合に相関の時間変化を取り扱うものはなかった。リスク管理の観点からは、現象間の相関の時間発展は大変に興味深い対象である。本項目では、コピュラの時間発展方程式を考案し解析追求するものである。

3. 研究の方法

研究の方法は、まず第 1 段階として 2. 研究の目的の(1)~(5)の担当者間で、現在国際的に行われている最先端の研究動向を調査し、それを共有することから始めた。第 2 段階では、

互いの分野の最先端の動向について意見交換を行い、それぞれの分野で未解決の問題を取り上げ、その解決策や新たな統計手法を開発する。第3段階では、互いの解決策や新たな統計手法を互いに検討しあい、より洗練された理論を展開する。この第2段階から連携研究者との打ち合せを深める。また、新たに開発された統計手法を実証分析に適用して経済分析を展開する。新たに開発された統計手法やその実証分析の応用を国内外の学会で発表し、統計・計量経済学的理論を確立するとともに、実証分析から統計理論へのフィードバックも検討する。また成果は、研究集会を開催するなどして、一般に公開することとした。研究の進捗状況、研究動向、メンバーの入れ替わりなどにより、最終的には、(1) マクロ・金融時系列データの分析とリスク管理、(2) 金融工学・コンピュータの研究、(3) 高頻度データ、金融市場データの理論と実証、(4) ノンパラメトリックおよびセミパラメトリックモデルを用いた統計分析、という形で連携を保ちながら研究が行われた。

4. 研究成果

(1) マクロ・金融時系列データの分析とリスク管理：市場リスクを計測する上でマクロ・金融時系列指標の分析や予測は欠かせないものである。本研究においては、マクロ・金融時系列データに関して次のような研究成果が得られた。

株式などの予測は将来のリスク計測に欠かせないものであり、その手法の一つとして予測回帰式が用いられる。ただし、予測回帰式の係数推定を最小2乗法で行うと、推定量に上方バイアスが生じることが知られている。そこで、ジャックナイフ法によるバイアス修正を提案し、修正推定量の標準誤差を導出した。また、開発した新たな手法により、米国の株価の予測可能性について分析した。

計量モデルを用いてリスクを評価する場合、構造変化が起きていると誤ったリスク評価をもたらすことになる。そこで、構造変換の検定が重要となってくるが、一般に使われている sup ワールド検定や CUSUM 検定には、サイズの歪みや検出力の非単調性という問題がある。そこで、両者の問題点を克服した新たな検定手法を開発した。

金融時系列データの分析では因子モデルが広く使われているが、因子負荷行列は時として安定して推定されないことが知られている。因子負荷行列の検定においても先行研究の方法では検出力の非単調性問題が生じるのであるが、これを克服した新たな検定手法を開発した。また、金融時系列データにおいてはしばしばジャンプが観測されることが知られているが、ジャンプを許容したままモデルの推定を行うと、推定量に大きなバイアスが生じることを明らかにした。さらに、ジャンプを検出して取り除く手法を開発し、その手法を用いれば、より信頼性の高いモデ

ルの推定が可能となることが分かった。

(2) 金融工学・コンピュータの研究：金融工学の基礎研究は ERM への応用にとり欠かせない。本研究では、以下の成果を得た。

最適投資問題に現れる非線形偏微分方程式の解析：変動する経済状況のもとで、企業が満期における利益や効用を最適化しようとする問題は、社会科学の数理において重要な課題であり続けてきた。一般には確率制御理論の枠組みで問題を定式化することが多いが、このとき、最適化を特徴付ける必要条件として、解析学の立場から難解として知られる Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程式が現れる。本研究では、この HJB 方程式から特異な非線形偏微分方程式を新たに導出し、そのうちの設定が簡単な場合における特殊解の性質について論じた。導出された方程式の未知関数は、Arrow-Pratt の絶対的およびリスク回避度に関連しているという点で経済学としても意味がある。

コンピュータ(接合分布関数)の発展：必ずしも独立とは限らないリスク要因を記述するのにコンピュータの概念は有効である。コンピュータは、同時分布関数を各周辺分布関数により結びつける関数である。例えば日本あるいはアジア各地域でのリスク要因は周辺分布関数として観測されるが、事業者にとって必要なのはそれらを含めた同時分布関数となる。各リスク要因が独立ということは、各リスク要因の周辺分布関数を単に掛け合わせて全体のリスクの同時分布関数とすることに他ならない。しかしながら多くのコンピュータの研究では、いくつかの例外を除いて、時間変数を含めない静的なものが主流であった。実際にもコンピュータの定義では、時間変数を含めない形で述べられる。ところが実際の現象は、各リスク要因の相関は時間とともに変化するのが自然である。むしろ時間の経過にもかかわらず各リスク要因間の相関が同じと仮定する方が現実とは相容れない。本研究では、コンピュータの時間発展の概念を導入し、為替変動間のある相関関係の分析に応用した。急激な変化の解析には極めて有効であることを実証した。詳細は、一橋大学経済学研究科社会人博士課程院生であった吉容一氏の博士論文(主査：石村直之、副査に本田敏雄)に詳細にまとめられている。

フラクショナルブラウン運動(fBM)で駆動するモデルの基礎研究：ポラティリティのモデリングにおいては変動の持続性を表現できる fBM を用いた方法があり、近年は実務でも注目されている。本研究では、fBM で駆動する長期記憶性を持つ確率微分方程式の密度関数の短時間での漸近展開公式を与え、一般に分布が分からない場合にも簡単に近似計算を行うことができる方法を提案した。

(3) 高頻度データ、金融市場データの理論と実証：本研究では高頻度データを用いた研究

として以下の様な理論的・実証的成果を得た。

株式収益率のモデルである確率的ポラティリティ変動モデルの多変量への拡張を行った(雑誌論文)。分散だけでなく、相関係数も変動するように拡張を行った。さらに前日の収益率の正負によって当日の分散の大きさが変化するというポラティリティの非対称性も導入するモデルを提案し、その効率的な推定方法を提案した。相関一定のモデルやしばしば他の実証分析で使われている多変量 GARCH である BEKK モデルと比較を行い、ポラティリティの予測精度が高くなることを示した。

高頻度取引データを用いて計算される実現ポラティリティと呼ばれる推定量をジャンプの有無など性質の異なるものを複数種類同時に確率的ポラティリティモデルに導入し推定する研究を行った(学会発表)。複数の実現ポラティリティを用いることで、変動を分解することができ、ジャンプの変動を明示的に導入することができる。また単一の実現ポラティリティを導入する場合と比べて収益率の予測精度を高めることができることを示した。

銀行の対顧客為替相場(仲値)は特定の時間(Fixing time)の市場レートにより決定される(Fixing)。近年、Fixing の意図的な操作が問題視されている。本研究では銀行間為替市場の高頻度取引データを用い、米英銀および邦銀による Fixing の市場への影響を流動性および価格形成の効率性の観点から比較した。結果、邦銀による Fixing の以下の特殊性を発見した。Fixing time 時には外貨高の方向に偏った市場為替レートの突発的変動が統計的に有意に高い頻度で発生し、効率的な市場価格の形成が行われていない。加えて各銀行発表の仲値はその市場価格からさらに外貨高に偏向している。これらの特殊性は仲値の決定メカニズムと、外貨取引に銀行を用いるのは輸入産業に偏っていることに原因を求められる。成果を論文にまとめ(雑誌論文)、国際シンポジウムにおいて報告した(学会発表)。

(4) ノンパラメトリックおよびセミパラメトリックモデルを用いた統計的分析: 複雑化した社会に対応するために、高次元データの解析手法を中心に研究を行った。

高次元 Cox 回帰モデルにおける変数選択法の研究: リスク解析に非常によく用いられるコックス回帰モデルについて、高次元の時間変動係数を持つ場合の変数選択問題について研究し、変数選択について一致性を持つ手法を提案し、理論研究と数値実験を行った。研究成果は論文にまとめ(雑誌論文)、国際学会での発表も行った(学会発表)。

高次元経時測定データに関する研究: 経時測定データは、経済学ではパネルデータとも呼ばれ、複数の企業、個人などに対して経時的に調査、測定を行ってデータを得たもので

ある。近年の複雑化した社会では、この種のデータにおいても、高次元な共変量が得られて、変数選択の問題、変数選択後の効率的な推定の問題が重要になっている。ここではとくに、高次元の変動係数モデルから、変数選択と構造の特定化により、半変動係数モデルを得て、その係数について効率的に推定する問題を扱った。

(5) 国際研究会: 2013 年から 2016 年まで毎年 3 月上旬に計 4 回、「Financial Engineering and ERM」というタイトルの、ERM に密接に関連するテーマについての公開の国際研究会を主催した。1 回目は明治大学の刈屋武昭教授(現城西国際大学教授)、台湾の国立東華大学の林金龍教授を招いて計量的なリスク管理を中心に、2 回目は慶応大学の林高樹教授、フンボルト大ポストドクの Markus Bibinger 氏(現マンハイム大学助教授)を招聘して計量ファイナンスを中心に、3 回目は計量ファイナンス理論から実証まで幅広く研究を行っているウィーン大学の Nikolaus Hautsch 教授を招聘して計量ファイナンスとエンピリカルファイナンスを中心に、4 回目はコンピュータ研究で世界的に著名なニューヨーク大学の Andrew Patton 教授、シンガポール国立大の Ying Chen 准教授、香港科技大学の Yingying Li 准教授を招聘してリスク指標、コンピュータ、計量ファイナンスを中心に、講演と討論を行った。研究会では、若手の研究分担者、連携研究者も講演を行った。その他にも、2015 年 5 月末に一橋大学で開催された、計量経済学に関する国際研究会である The 11th International Symposium on Econometric Theory and Applications (SETA 2015)の共催も行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 51 件)

Rasmus Fatum, Yohei Yamamoto.

Intra-safe haven currency behavior during the global financial crisis. Journal of International Money and Finance, 印刷中 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.jimonfin.2015.12.007

Tsunehiro Ishihara, Yasuhiro Omori, Manabu Asai. Matrix exponential stochastic volatility with cross leverage. Computational Statistics & Data Analysis, 印刷中 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.csda.2014.10.012

Daisuke Yamazaki, Eiji Kurozumi.
Improving the finite sample performance of tests for a shift in mean. Journal of Statistical Planning and Inference, 167 (2015), pp.144-173. 査読有
DOI: 10.1016/j.jspi.2015.05.002

Takatoshi Ito, Masahiro Yamada. Was the Forex Fixing Fixed? NBER working paper No.21518 (2015). 査読無
DOI:10.3386/w21518

Toshihiro Yamada. A small noise asymptotic expansion for Young SDE driven by fractional Brownian motion: A sharp error estimate with Malliavin calculus. Stochastic Analysis and Applications, 33(2015), pp. 882-902. 査読有
DOI: 10.1080/07362994.2015.1051232

Toshio Honda, Wolfgang Karl Härdle. Variable selection in Cox regression models with varying coefficients. Journal of Statistical Planning and Inference, 148(2014), pp.67-81. 査読有
DOI: 10.1016/j.jspi.2013.12.002

Naoyuki Ishimura, Daniel Sevcovic. On traveling wave solutions to a Hamilton-Jacobi-Bellman equation with inequality constraints. Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, 30(2013), pp. 51-67. 査読有
DOI: 10.1007/s13160-012-0087-8

〔学会発表〕(計 64 件)

Masahiro Yamada. Was the Forex Fixing Fixed?, Japan Economic Seminar (Columbia University), 2016年3月4日, ニューヨーク(アメリカ)

Naoyuki Ishimura. Recent development of copulas and its applications, 6th International Conference on Applied Physics and Mathematics(ICAPM2016), 2016年1月14日(招待講演), シンガポール(シンガポール)

Tsunehiro Ishihara. Realized Stochastic Volatility Model with Multiple Different Realized Measures, 9th International Conference on Computational and Financial Econometrics (CFE 2015), 2015年12月13日, ロンドン(イギリス)

Eiji Kurozumi. Improving the finite sample performance of tests for a shift in mean, The Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics, 2014年6月26日, ロン

ドン(イギリス)

Toshio Honda. Variable selection in Cox regression models with varying coefficients, The 59th World Statistics Congress, 2013年8月30日, 香港(中国)

Yohei Yamamoto. Forecasting with non-spurious factors in U.S. macroeconomic time series, EEA-ESEM Meeting 2013, 2013年8月28日, ヨーテボリ(スウェーデン)

〔図書〕(計 4 件)

蟻川靖浩、川口有一郎、斯波恒正 他 15名、中央経済社、MBA・金融プロフェッショナルのためのファイナンスハンドブック、2016、200 (138-147)

黒住英司、東洋経済新報社、計量経済学、2016、256

吉田善章、永長直人、石村直之、西成活裕、丸善出版、東京大学工学教程 基礎数学 非線形数学、2016、220 (113-158)

石村直之、共立出版、確率微分方程式入門、2014、168

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.econ.hit-u.ac.jp/~finmodel/jpn/index.jpn/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

斯波 恒正 (SHIBA, Tsunemasa)
一橋大学・大学院経済学研究科・特任教授
研究者番号：90187386

(2)研究分担者

田中 勝人 (TANAKA, Katsuto)
学習院大学・経済学部・教授
研究者番号：40126595
(平成25年より連携研究者)

石村 直之 (ISHIMURA, Naoyuki)
中央大学・商学部・教授
研究者番号：80212934
(平成27年より連携研究者)

本田 敏雄 (HONDA, Toshio)
一橋大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：30261754

黒住 英司 (KUROZUMI, Eiji)

一橋大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：00332643

山本 庸平 (YAMAMOTO, Yohei)
一橋大学・大学院経済学研究科・准教授
研究者番号：80633916

石原 庸博 (ISHIHARA, Tsunehiro)
大阪大学・データ科学教育研究センター・
特任講師
研究者番号：60609072
(平成27年より連携研究者)

山田 昌弘 (YAMADA, Masahiro)
一橋大学・大学院経済学研究科・講師
研究者番号：60732435
(平成26年より研究分担者)

山田 俊皓 (YAMADA, Toshiro)
一橋大学・大学院経済学研究科・講師
研究者番号：50754701
(平成27年より研究分担者)

(3)連携研究者

下津 克己 (SHIMOTSU, Katsumi)
東京大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：50547510

高橋 一 (TAKAHASHI, Hajime)
公立鳥取環境大学・学長
研究者番号：70154838

渡部 敏明 (WATANABE, Toshiaki)
一橋大学・経済研究所・教授
研究者番号：90254135

刈屋 武昭 (KARIYA, Takeaki)
城西国際大学・大学院国際アドミニスト
レーション研究科・教授
研究者番号：70092624

藤田 岳彦 (FUJITA, Takahiko)
中央大学・理工学部・教授
研究者番号：50144316