慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	アクチュアリーとファイナンスにおけるベイジアン・モデリング
Sub Title	Bayesian modeling for actuary and finance
Author	中妻, 照雄(Nakatsuma, Teruo) 杉田, 勝弘(Sugita, Katsuhiro) 谷崎, 久志(Tanizaki, Hisashi) 小暮, 厚之(Kogure, Atsuyuki) 浅井, 学(Asai, Manabu)
Publisher	
Publication year	2013
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2012.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究課題では、アクチュアリーとファイナンスにおける定量的リスク評価のための新たなベイズ的手法の研究を行った。そして、金融機関の事務処理ミスに関するリスク(オペレーショナル・リスク)、年金加入者の長命化のリスク(長寿リスク)、市場価格の変動に伴うリスク(市場リスク)、分析に使用するモデルの定式化の誤りに関するリスク(モデル・リスク)などの評価に対して満足な成果を得た。
Notes	研究種目：基盤研究(A) 研究期間：2008～2012 課題番号：20243017 研究分野：社会科学 科研費の分科・細目：経済学・経済統計学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20243017seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ－１９

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5月１５日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究（A）
研究期間：2008～2012
課題番号：２０２４３０１７

研究課題名（和文）　アクチュアリーとファイナンスにおけるベイジアン・モデリング

研究課題名（英文）　Bayesian modeling for actuary and finance

研究代表者
中妻　照雄（NAKATSUMA　TERUO）
慶應義塾大学・経済学部・教授
研究者番号：90303049

研究成果の概要（和文）：
本研究課題では、アクチュアリーとファイナンスにおける定量的リスク評価のための新たなベイズ的手法の研究を行った。そして、金融機関の事務処理ミスに関するリスク（オペレーショナル・リスク）、年金加入者の長命化のリスク（長寿リスク）、市場価格の変動に伴うリスク（市場リスク）、分析に使用するモデルの定式化の誤りに関するリスク（モデル・リスク）などの評価に対して満足な成果を得た。

研究成果の概要（英文）：
In this research project, we studied new Bayesian methods for quantitative risk assessments in actuary and finance. We achieved satisfactory results in modeling the risk of losses related to internal mishandling in financial institutions (operational risk), longer lifespans of pensioners (longevity risk), movements in market prices (market risk), and the use of misspecified models (model risk).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2008 年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2009 年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2010 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2011 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2012 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
総　計	34,300,000	10,290,000	44,590,000

研究分野：社会科学
科研費の分科・細目：経済学・経済統計学
キーワード：　経済統計学、ベイズ分析、アクチュアリー、ファイナンス、リスク分析

１．研究開始当初の背景

職業としてのアクチュアリーは、確率論や統計学などの数理的手法を駆使して生命保険、損害保険、年金などのリスクを評価し適切な保険料率を算定する専門家をさす。しかし、近年アクチュアリーは保険や年金の商品設計やリスク管理など保険料率算定以外の業務にも深くかかわるようになっている。一方、研究領域としてのアクチュアリーは職業としてのアクチュアリーの実務にかかわる様々な問題を解決するための手法を研究することを目的としており、アクチュアリアル・サイエンスとも呼ばれる。保険・年金業務を主たる対象とするアクチュアリーは、銀行・証券業務を主たる対象とするファイナン

スとは永らく独立に発展してきた。しかし、アクチュアリーとファイナンスは商品の設計と価格付け、基金の運用とリスク管理などの面で関係が深いことが双方の研究者と実務家によって近年認識されるようになった。わかりやすい例としては、年金基金と投資信託の運用が共にポートフォリオ選択問題として分析可能であることがあげられる。また、保険もオプションなどの金融派生商品も条件付請求権の一種とみなせるため、条件付請求権の価格付け理論という共通の枠組みにおいて両者を分析できる。さらに、保険業務における保険支払請求の発生と銀行業務における融資先企業の破綻は、共に計数データのモデリングによって対応可能である。このような分析手法の共通性に加えて、実際の業務においても両者の融合は進みつつある。例えば、保険に代わるリスク回避の手段として天候デリバティブなどの金融派生商品を損保会社が販売し始めている。以上述べたような流れを受けて、今後アクチュアリーとファイナンスの研究は連携をますます強めると予想される。

一方、近年データ分析の一手法としてのベイジアン・モデリングが、様々な分野で急速に発展・普及してきている。ベイジアン・モデリングは、分析に使用する確率モデルをデータに依拠する情報とデータ以外の主観的情報（専門家の意見や「業界の常識」など）を総合的に利用して推測し、モデルに基づく予測や意思決定を行う定量的分析手法の一種である。データに依拠する情報と主観的情報の総合にはベイズの定理が使われる。ゆえに「ベイジアン」の名称がつけられている。ベイジアン・モデリングは、主観的情報を有効活用できるという利点に加えて、

（1）　逐次入手されるデータに基づく予測と意思決定の実行が比較的容易である。

（2）　観測されないリスク・ファクターを階層構造 を持つ潜在変数として扱うことで処理することが可能である。

（3）　マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法に代表される高度な数値計算手法を駆使することで複雑なモデルも分析可能である。

（4）　ベイズ型モデル平均(BMA)と呼ばれる手法で モデルの定式化の不確実性を織り込んで予測や意思決定を行うことができる。

という利点を持つため、アクチュアリーとファイナンスの融合を進めるにあたって特に有効なアプローチであると考えられる。

２．研究の目的

本研究課題では、アクチュアリーとファイナンスの実務で応用可能なベイジアン・モデリングを駆使したリスクの定量的評価法の開発を目指す。アクチュアリーやファイナンスの日々の業務において、複雑な保険・年金契約、金融派生商品などのリスクの定量的評価は必要不可欠な作業である。これらは数理ファイナンスの手法を駆使して行われているが、たとえ高度な数学を用いて複雑な契約のリスクを評価しても、前提となる確率モデルが間違っているのであれば実務に耐えうるものとはなりえない。しかしながら実務において使用する確率モデルの妥当性を統計学的に考慮しつつ分析が行われることは少ない。

しかも伝統的な統計学に基づく手法を使おうとすると実務家にとって馴染み深い主観的情報（アナリストやエコノミストなどの専門家の意見や業界で共有されている経験知など）を利用できなくなってしまう。先に述べた特徴を持つベイジアン・モデリングを活用すれば、統計学的にしっかりとした基礎を持ちデータ以外の実務家が使っている情報も利用できる定量的リスク評価がアクチュアリーとファイナンスの実務において可能となることが期待される。

しかしながら、他の分野と比較してアクチュアリーとファイナンスにおけるベイジアン・モデリングの普及は不十分である。そこで研究プロジェクトのメンバーを国内外の研究集会へ派遣し、研究成果の報告と他の研究者との研究交流および情報収集を図るとともに、海外のアクチュアリーとファイナンスの研究者を日本に招いて有益な研究交流を深めることも目指す。

３．研究の方法

本研究課題では、アクチュアリーとファイナンスにおいて実務家が直面する様々なリスクをベイジアン・モデリングによって評価し、複雑なリスクの管理を支援する手法の開発を目指す。アクチュアリーとファイナンスの実務において、我々は様々なリスクに直面している。特に本研究課題では

（1）　金融機関が融資先企業の破綻、誤発注のような事務処理ミスや大規模なシステム障害などに関して損害を被るイベント・リスク

(2)　年金加入者の長命化やローンの期限前償還など契約の継続時間の不確実性に関連する継続期間リスク

(3)　年金基金や金融機関などが保有する金融資産の価格変動に関する市場リスク

(4)　分析に用いるモデルの信頼性に関するモデル・リスク

の 4 種類のリスクを主たる分析対象として、ベイズ的アプローチによるリスク評価の在り方を探求することを目指す。

最後のモデル・リスクを除いて、これらのリスクは現実に発生したときには保険会社や金融機関などの収益性に悪影響を及ぼすが、前もって予測できない性質のものである。しかし、これらのリスクの原因は複雑に入り組んでおり、適切なリスク発生メカニズムのモデリングを抜きに現実的なリスク管理は不可能である。さらにリスクのモデリングにおいては、誤った確率モデルを使用することでリスクを過大にあるいは過小に評価してしまうモデル・リスクは避けて通れない課題である。

適切なリスクの定量的評価には、リスクの特性に応じたモデリングが欠かせない。本研究では、各リスクのモデリングを以下の方針で行った。

(1)　イベント・リスク
極値分布に基づいて極稀に起きるイベントを説明するモデルを構築し、イベント・リスクの定量的評価に利用する方法を研究する。

(2)　継続期間リスク
契約の継続期間モデルとして広く使われるハザード・モデルを利用し、年金などのリスク管理に利用する方法を研究する。

(3)　市場リスク
金融市場における資産価格変動の分散は正の相関を持って日々変動することが知られている（ボラティリティ・クラスタリング）。これを ARCH 型モデルや SV モデルなどのボラティリティ変動モデルで評価する方法を研究する。さらに複数の資産市場の間でのリスクの伝播を多変量ボラティリティ変動モデルでとらえることも目指す。

(4)　モデル・リスク
ベイジアン・モデリングでは、各モデルが正しいと仮定したときの事後分布をモデルが正しい事後確率で加重平均することでモデル・リスクを織り込んだ予測や意思決定を行うベイズ型モデル平均(BMA)と呼ばれる手法がある。この BMA をリスク管理に利用する方法を研究する。

4．研究成果

本研究課題の研究代表者および研究分担者は，各々の専門分野の強みを生かしてリスク分析手法の研究を積極的に行ってきた。その結果、過去 5 年間に雑誌論文 31 件、学会発表 37 件、図書 11 件という研究成果を上げることができた。以下に主な成果の概要を説明する。

(1)　イベント・リスク
イベント・リスクの中でも特に金融機関における事務処理ミスやシステム障害などに関するオペレーショナル・リスクをベイズ的アプローチで評価する手法を研究した。特にイベント発生に伴う損失額に対して極値分布（一般化パレート分布）を想定したモデリングを行い，それをベイズ推定してバリュー・アット・リスク(VaR)などのリスク測度を評価することでオペレーショナル・リスクの管理を行う手法の開発を行った（学会発表⑤)。

(2)　継続期間リスク
年金加入者の長命化に伴う年金支払いの増加のリスク（長寿リスク）を評価し、このリスクを適切にヘッジする手法の開発を行った。具体的には加入者の死亡率のベイズ予測を Lee-Carter モデルに基づいて行い、長寿リスクがヘッジ可能な金融商品の構築とその適正な価格評価のための手法を開発した（雑誌論文②、学会発表⑦)。さらに同様のベイズ的手法をリバース・モーゲージのリスク評価にも適用した（学会発表②)。

(3)　市場リスク
ボラティリティ変動モデルの様々な拡張を行うとともに（雑誌論文①、⑥)、多変量ボラティリティ変動モデルを利用して、異なる金融資産の市場間および世界の主要金融市場間におけるリスク伝搬のモデリングを行った（雑誌論文③、⑤)。

(4)　モデル・リスク
ベイズ型モデル平均(BMA)を用いて資産の収益率のモデルに関する不確実性を

反映させた最適ポートフォリオを構築する手法を研究し，その有効性を検証した（雑誌論文④）。

さらに研究を進めていく中で MCMC 法によるベイズ分析の「必要な計算時間が長くなり過ぎる」という弱点の克服が不可欠であるという認識を強くし、GPU (graphics processing unit) を利用した並列計算の可能性も追求した（学会発表①）。この研究の結果、GPU による並列計算でベイズ分析の高速化が実証された。

また、本研究課題のベイズ分析の研究成果を公表するとともに研究者間の交流を促進するため、ベイズ分析をテーマとした国際研究集会を

(1) International Workshop on Bayesian Econometrics and Statistics 2010 年 2 月 4-5 日、東京大学山上会館

(2) International Workshop on Applied Bayesian Statistics and Econometrics 2011 年 2 月 1-2 日、京都私学会館

(3) 「ベイズ分析のための数値計算技法とその経済・ファイナンス分析への応用」2011 年 11 月 19-20 日、下関市立大学

と 3 回にわたり開催した。これらの研究集会では、国内外より第一線で活躍される研究者をお招きして最新のベイズ分析に関する研究成果を発表していただくとともに、本研究課題の進め方に関する有益な助言もいただいた。

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 31 件）

① Manabu Asai and Michael McAleer, “Alternative asymmetric stochastic volatility models,” Econometric Reviews, 30, 548-564, 2011, 査読有

② Atsuyuki Kogure and Yoshiyuki Kurachi, “A Bayesian approach to pricing longevity risk based on risk-neutral predictive distributions,” Insurance: Mathematics and Economics, 46, 162-172, 2010, 査読有

③ Manabu Asai and Michael McAleer, “The structure of dynamic correlations with multivariate stochastic volatility models,” Journal of Econometrics, 150, 182-192, 2009, 査読有

④ Teruo Nakatsuma, “A Bayesian model averaging approach for portfolio selection,” MTEC Journal, 21, 3-41, 2009, 査読無

⑤ Hisashi Tanizaki and Shigeyuki Hamori, “Volatility transmission between Japan, UK and USA in daily stock returns,” Empirical Economics, 36, 27-54, 2009, 査読有

⑥ Manabu Asai and Michael McAleer, “A portfolio index GARCH model,” International Journal of Forecasting, 24, 449-461, 2008, 査読有

⑦ Katsuhiro Sugita, “Bayesian analysis of a vector autoregressive model with multiple structural breaks,” Economics Bulletin, 3, 1-7, 2008, 査読有

〔学会発表〕（計 37 件）

① Hiroaki Katsura, Kenichiro McAlinn, Teruo Nakatsuma, “Parallel particle learning for Bayesian state space modeling,” CSDA International Conference on Computational Finance and Econometrics, 2012 年 12 月 3 日, オビエド（スペイン）

② Atsuyuki Kogure, “A multivariate Bayesian framework for pricing reverse mortgages in Japan,” Eighth International Longevity Risk and Capital markets Solutions Conference, 2012 年 9 月 8 日, University of Waterloo （カナダ）

③ Manabu Asai, “Heterogeneous markets effects for asymmetric dynamic conditional correlation model with stock return and range,” CSDA International Conference on Computational Finance and Econometrics, 2011 年 12 月 19 日, ロンドン（イギリス）

④ Manabu Asai, “Continuous time dynamic correlation model,” European

Meetings of Econometric Society, 2011 年 8 月 27 日, オスロ（ノルウェー）

⑤ Teruo Nakatsuma, “Bayesian risk assessment with threshold mixture extreme value models,” CSDA International Conference on Computational Finance and Econometrics, 2010 年 12 月 10 日, ロンドン（イギリス）

⑥ Manabu Asai, “Stochastic Covariance Models,” Econometric Society World Congress 2010, 2010 年 8 月 20 日, 上海（中国）

⑦ Atsuyuki Kogure, “A numerical Bayesian technique for pricing insurance and financial risk with applications to longevity-linked security valuation,” World Risk and Insurance Economics Congress, 2010年7月26日, シンガポール（シンガポール）

⑧ Teruo Nakatsuma, “A full Bayesian implementation of the Black-Litterman approach,” The 9th Columbia-JAFEE International Conference, 2010 年 3 月 10 日, ニューヨーク（アメリカ）

⑨ Manabu Asai, “Modeling and forecasting daily volatility with noisy realized volatility measures,” Far Eastern Meeting of the Econometric Society, 2008 年 7 月 16 日, シンガポール（シンガポール）

〔図書〕（計 11 件）

① 中妻照雄, 朝倉書店,『実践ベイズ統計学』, 2013, 180 ページ

② 中妻照雄, 朝倉書店, 第 13 章「階層ベイズ・モデルによる資本コストの推定―主観確率に基づく企業価値評価の試み」蓑谷千凰彦・牧厚志　編『応用計量経済学ハンドブック』,2010, 455-496

③ 小暮厚之, 朝倉書店,『R による統計データ分析入門』, 2009,162 ページ

④ 小暮厚之・長谷川知弘, 東京大学出版会, 第 8 章「生命表の統計学」, 国友直人・山本拓　編『21 世紀の統計科学 I:社会・経済の統計科学』, 2008, 199-222

⑤ Shigeyuki Hamori and Hisashi Tanizaki, Nova Science Publishers, “Structural VAR approach to the sources of exchange rate fluctuations in sub-Saharan African countries,” Economics of Developing Countries (T.N. Calderia eds.), 2008, 1-17

６．研究組織

(1)研究代表者

中妻　照雄（NAKATSUMA　TERUO）
慶應義塾大学・経済学部・教授
研究者番号：90303049

(2)研究分担者

杉田　勝弘（SUGITA　KATSUHIRO）
琉球大学・法文学部・准教授
研究者番号：50377058

谷崎　久志（TANIZAKI　HISASHI）
大阪大学・経済学研究科（研究院）・教授
研究者番号：60248101

小暮　厚之（KOGURE　ATSUYUKI）
慶應義塾大学・総合政策学部・教授
研究者番号：80178251

浅井　学（ASAI　MANABU）
創価大学・経済学部・教授
研究者番号：90319484