

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25380403

研究課題名（和文）要介護状態を考慮した長寿リスクのモデリングと評価 ベイズ・アプローチ

研究課題名（英文）Modeling and evaluating longevity risk in consideration with long term care status

研究代表者

小暮 厚之（KOGURE, Atsuyuki）

慶應義塾大学・総合政策学部（藤沢）・教授

研究者番号：80178251

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：平均寿命の増加は、介護状態に陥る可能性の増大を伴う。我が国を始め高齢化を迎えている諸国では、いわゆる「長寿リスク」に加え「介護リスク」に直面している。介護リスクを考察する上で、死亡率がいかに健康状態（要介護度）と関連するかを把握することが重要となる。しかし、関連するデータの欠如によって、死亡率と健康状態のダイナミックな関係に関する研究は乏しい。本研究では、要介護状態別の死亡数データは欠如しているという想定の下で、要介護状態に応じた死亡率を予測する新たなモデルを提案し、ベイズ法による予測の枠組みを構築した。この手法を我が国の介護年金制度のデータに適用し、要介護状態別の死亡率の予測を行った。

研究成果の概要（英文）：Increased human lifetime is accompanied by a greater chance of becoming disabled. Aging populations such as Japan have faced with the so-called long-term care (LTC) risk in addition to the longevity risk. The key element of the solutions is how the mortality is related to health states. However, study on the complicated mortality dynamics between the mortality and the health state is limited due to lack of data. This research has proposed a new methodology to forecast mortality rates by the LTC status under the premise that the death data on the LTC sub-populations are not available, but the corresponding population exposures are available. Based on this model we have constructed a Bayesian methodology to forecast future mortality rates. We have applied the proposed methodology to the data from the Japanese long-term care insurance system and predicted the future mortality rates by the required level of the long-term care.

研究分野：社会科学

キーワード：介護リスク 長寿リスク 確率的死亡率モデル ベイズ アクチュアリアル・サイエンス

1. 研究開始当初の背景

世界有数の高齢化社会である我が国において、依然として平均寿命は延び続けている。それに伴い、高齢者が要介護状態で過ごす期間も長期化している。このような平均寿命の増加や要介護期間の長期化は必ずしも確定的ではなくむしろ確率的であり、「長寿リスク」や「介護リスク」と呼ばれる新たな系統的リスクを生じている。しかし、既存の分析の焦点はもっぱら長寿リスクにあり、要介護リスクを考慮した研究は乏しい。

将来の平均寿命の不確実性のみを対象とする狭義の長寿リスクを記述し証券化するために、これまでに、Milvesky and Promislow (2001 “ Mortality derivatives and the option to annuitize ” *Insurance: mathematics and Economics* (以下 *IME*)), Renshaw and Haberman (2006) “ A cohort-based extension to the Lee-Carter model for mortality reduction factors, ” *IME* や Cairns, Blake and Dowd (2008) “ Modelling and management of mortality risk, ” *Scandinavian Actuarial Journal* などにおいて様々なモデルや証券化スキームが提案されている。このような動向の中で、応募者は、平成 19-21 年科研費「生命リスクのベイズ・モデリングと証券化」及び平成 22-24 年科研費「多変量ベイズ・プライシング：理論構築と長寿リスク評価への応用」による支援を受け、長寿リスクの定量化と評価に関する研究を続けていった。

しかし、その一方で、要介護状態を考慮に入れた研究については、Haberman and Olivieri(1999) “ Actual Models for disability insurance, ” *Chapman and Hall*, Olivieri and Pittacco (2001) “ Facing LTC risks, ” *International Astin Colloquium* 等が散見されるが、基本的には概念的な数理モデルの提示に留まっており、実証的な研究は乏しい。

2. 研究の目的

本研究では、介護リスクを考慮して長寿リスクの測定と評価の問題を考察する。長期の介

護リスクを考慮するためには、健康度の状態と将来の死亡率がいかに関係するかをダイナミックに把握する必要がある。

長寿リスクの下で将来の死亡率や生存率を予測するためには、Lee-Carter 法に代表される確率的死亡率モデルを用いることが通常である。しかし、この確率的死亡率モデルを構築するためには、各年齢における要介護発生率及び要介護者死亡率のデータが必要となる。残念ながら我が国においては「1年間で新たに要介護状態となった人数」といった一般統計は存在しない。ただし、「ある時点における要介護認定者数」は一般統計から把握可能であり、さらにいくつかの人口統計を用いることにより、新たな確率死亡率モデルの構築を行うことが本研究の大きな目的である。さらに、構築した手法を我が国の介護年金制度のデータに適用し、構築したモデルの実際の有用性を検討する。

さらに、このような基礎研究に基づき、具体的な金融保険商品について考察する。英国ではすでに「弱者年金」という介護状態に陥ると被保険者の年金が増額するタイプの保険が導入されている。また、公的年金の中にこのような年金給付の増額メカニズムを導入するような提案もなされている。我が国において、そのような金融保険商品や年金制度の導入の可能性を探りたい。

3. 研究の方法

この論文では、アクチュアリアル・サイエンス(保険数理)の立場から統計的な方法を用いて考察を行う。特に、モデルの推計にあたっては、パラメータ不確実性を考慮してベイズ的なアプローチを取る。

分析の枠組みとなる手法は確率的死亡率モデルである。確率的死亡率モデルは、将来の死亡率の変動を許容するモデルであり、長寿リスクを考慮して将来の死亡率を予測する上で不可欠である。

このような手法を適用する上で困難となる点は、介護状態にある人口集団に対する死亡データが十分に整備されていない点である。もしもそのようなデータが利用できれば、健康状態に応じた各部分集団ごとに

Lee-Carter モデルのような通常の死亡率予測手法を適用すればよい。しかし、実際には我が国の公的データとしてそのようなデータは利用可能ではない。そこで、本研究では、死亡数データが欠如している（しかし人口データは利用可能）という状況下で、健康状態別の死亡率を予測する新たな手法である混合 Lee-Carter モデルを提案する。

混合 Lee-Carter モデルは、要介護状態別の部分集団の死亡率の死力が Lee-Carter に従うとし、全体の集団の死力がそれらの平均として与えられるモデルである。このモデルに基づいて我が国の介護状態別の死亡率の将来予測を行う。

4. 研究成果

(1) 平成 25 年度は、本研究の基盤研究として、長寿リスクを考慮した要介護状態の統計モデリングとその推定及び将来予測に関する基礎的研究を行った。特に、長寿リスクを明示的に考慮するために Lee-Carter モデルをベースモデルに取り込み、ポアソン回帰モデルを用いて要介護状態の将来確率を推定するモデルを考察した。このモデルでは、死亡・生存数に加え、要介護状態の人数を用いている。要介護状態の人数については、詳細なものは公表されていないため、厚生労働省が公表している「介護保険事業状況報告」にある状態区分・性・年齢階級・都道府県別（閲覧第 3 表）を代替的に用いることとした。本研究に関連する成果をアジア太平洋リスク保険学会（ニューヨーク）、長寿リスク学会（北京）、日本金融証券計量工学会（慶應大学）等の研究集会で報告した。また、関連する論文が北米アクチュアリー学会の学会誌に掲載された。

(2) 平成 26 年度は昨年度に引き続き、要介護状態を長寿リスクにいかに関り込むかに関する研究を行った。本研究に関する関連する成果を日本統計学会（東京大学）、米国リスク保険学会（シアトル）等で報告した。

(3) 平成 27 年度は、要介護状態別の部分人口

集団の死亡数データは欠如しているが人口データは利用可能であるという想定の下で、要介護状態別死亡率を予測する新たな手法（混合 Lee-Carter モデル）を提案した。このモデルは、Li and Lee (2005)による「共通因子モデル」や Butt and Haberman (2009)による「階層化モデル」と同じ形をしている。ただし、提案モデルはこれらのモデルと二つの点で大きく異なる。第 1 点は、提案モデルの推定では健康状態別の死亡数を必要としない点である。第 2 点は、健康パラメータに単調性の制約を置いていることである。提案したモデルの最尤法による推定を議論し、それに基づいた推定アルゴリズムを構築した。さらに、公的介護保険のデータに適用し、要介護状態別の将来死亡率の予測を試みた。

(4) 最終年度は、前年度に提案した混合 Lee-Carter モデルに対するベイズ推定法を考案し、それを我が国の介護データに対して適用した。前年度は最尤法による推定を試みたが、その推定結果は不安定であった。また、最尤法を適用する際に用いたアルゴリズムでは、介護状態のカテゴリー数が大きくなると、計算負荷が著しく増加するという欠点があった。最終年度では、これらの欠点を克服するため、内点法による最適化のアプローチを用いた最尤法とともにベイズ法による推定法を新たに考案した。要介護状態を表すパラメータの順序制約を取り込むために階層ベイズ型の事前分布を採用した。

以上の理論構築に基づいて、提案したモデルを我が国の介護データに対して適用した。状態として、非介護状態、要支援 1・2 及び要支援 1 を合併した状態、要支援 2, 3, 4, 5 に対応する 7 つの状態を設定し、要海保状態の死亡率の予測を行った。これらの推定においては、MCMC 法と呼ばれるシミュレーション技術を用いた。これらの成果は、草稿にまとめるとともに日本保険・年金リスク学会（明治大学）、Insurance Risk Research Conference(シンガポール)等で報告した。

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4件)

(査読あり) Kogure, A. and, T. Fushimi S. (2017) "A Bayesian Pricing of Longevity Derivatives with Interest Rate Risks," Accepted with minor revision by *Asia-Pacific Journal of Risk and Insurance*

小暮厚之・神谷信一・伏見考弘(2017), A Bayesian Method for Forecasting Mortality Rates by Health State, Proceedings 「第18回ノンパラメトリック統計解析とベイズ推定」228-239

小暮厚之・伏見考弘(2014) A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates with a Two-factor Lee-Carter Model

Proceedings, 「第14回ノンパラメトリック統計解析とベイズ推定」2014年3月 p.259-275

(査読あり) Kogure, A., Li, J. and Kamiya, S.(2014), "A Bayesian Multivariate Risk-neutral Method for Pricing Reverse Mortgages," *North American Actuarial Journal*, Vol.18, No.1, 242-257

[学会発表](計10件)

Kogure, A., S. Kamiya and T. Fushimi, "A Bayesian Method for Forecasting Mortality Rates by Health State," *Recent Progress in Time Series Analysis in honor of Professor Hosoya*, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)

小暮厚之・神谷信一・伏見考弘「長寿化を考慮した要介護状態死亡率の予測混合リー・カーター・モデルによるアプローチ」日本保険・年金リスク学会, 2016年11月9日, 明治大学中野キャンパス(東京都中野区)

Kogure, A., S. Kamiya and T. Fushimi, "An Extended Lee-Carter Model for

Mortality Differential by Long-term Care Status," *Insurance Risk Research Conference 2016*, 2016年6月15日, シンガポール

Kogure, A. and T. Fushimi "A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates with a Two-factor Lee-Carter Model," *International Conference on statistical Analysis of Large Scale High Dimensional Socio-Economic data*, 2014年11月6日, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)

小暮厚之「長寿リスクのモデリングと評価 ベイズ・アプローチ」日本統計学会 2014年9月5日, 東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)

Kogure, A. and T. Fushimi "A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates with a Two-factor Lee-Carter," *American Risk and Insurance Association Annual Meeting*, 2014年8月5日, アメリカ合衆国シアトル

Kogure, A. and T. Fushimi "A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates with a Two-factor Lee-Carter," *Insurance Risk Research Conference*, 2014年6月26日, シンガポール

Kogure, A. and T. Fushimi "A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates," *日本金融・証券計量・工学会冬季大会* 2014年1月11日, 慶應義塾大学三田キャンパス(東京都港区)

Kogure, A. and T. Fushimi "A Bayesian Approach to Longevity Derivative Pricing under Stochastic Interest Rates," *The Ninth International Longevity Risk and Capital Market Solutions Conference*, 2013年9月6日, 中国北京

Takamatsu, Y and A. Kogure, A Bayesian two-factor Lee-Carter model and its

Application to evaluating longevity risk in reverse mortgages, Asia-Pacific Risk and Insurance Association Annual Meeting, 2013年7月30日, アメリカ合衆国ニューヨーク

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし