

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01264

研究課題名(和文) 長寿リスクに対する金融工学的ヘッジ戦略

研究課題名(英文) Hedging strategy for longevity risk by financial engineering

研究代表者

浦谷 規 (Uratani, Tadashi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：80126268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：年金制度の長寿リスクに対して、2種類の長寿派生証券を研究した。長寿債券と長寿スワップである。長寿債券は初期に資金を必要とする欠点があるが、長期割引によって小さくなる初期費用から、年金ポートフォリオ組み込み可能である。年金基金では一般の生存率より変動リスクが大きい。その削減のための長寿債券を含めた費用最小化問題の数値解析を行った。長寿スワップは変動する生存率に対する保険料と固定保険料を交換する契約であり、それをを用いて管理された年金ポートフォリオ・リスクに対して、ジャンプを含む最小マルチンゲール確率を利用する局所最小化によって理論的スワップ価格を求め、シミュレーションも行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平均寿命の改善が与える年金基金のリスク資金は20～30兆ドルになるとされ、世界的には長寿デリバティブと呼ばれる近年急速に拡大した市場となっている。我が国ではGPIFのポートフォリオばかりではなく民間年金基金も長寿リスクに対する対応を検討しなければならない。本研究は、米国およびヨーロッパの保険企業が拡大させているLongevity derivativeの理論的研究を行った。年金の支払い基金は長寿化による資金不足に直面し、その拡大を回避するための金融イノベーションの派生証券についての研究である。理論的には金利スワップから派生した仕組みであるが、生存率という保険数理に依存するところに特徴がある。

研究成果の概要(英文)：For the risk management of pension fund there exists new derivatives; Longevity bond and Longevity swap. Longevity bond has theoretical potential to longevity risk management instead of the significant front-end investment cost, which is shown by the numerical simulation. The market popularity of longevity risk management is to longevity swap. The portfolio to minimize longevity risk of pension fund is to include longevity swap to pension portfolio. The optimal portfolio including longevity swap is calculated by minimal martingale probability. The algorithm is derived by local risk minimization. We calculated the optimal portfolio which includes longevity swap or longevity bond in numerical simulation.

研究分野：金融工学

キーワード：年金基金のリスク 金融デリバティブ 最小マルチンゲール確率 ポートフォリオマネージメント

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

#### 1. 研究開始当初の背景

年金基金における長寿リスクの再保険化についての研究開始当時は、その市場が未発達で Over-the-counter basis であったが、近年の長期に亘る低金利と平均寿命の改善が与える年金基金の世界全体のリスク資金は 20~30 兆ドルと推定される。確定給付年金 (DB) 制度の存在する諸国ではその長寿化リスクの対応策を検討している。年金給付期間の長期化に伴い年金基金の積立金不足への対策が必要であり、有効な対策の 1 つはそのリスク管理に金融デリバティブによるリスク移転の機能の活用である。

#### 2. 研究の目的

本研究では長寿デリバティブによるリスクヘッジの有効性を長寿スワップ (Longevity Swap) と長寿債券 (Longevity Bond) によって年金における資産不足リスクをヘッジするための条件を明らかにする。長寿デリバティブでは、生存者数が変動する年金給付額を固定支払と交換する取引によって変動リスクを回避する仕組みである。さらに、そのリスク管理のための金融工学理論のリスクヘッジ戦略と極値理論にもとづく再保険とを補完的に組み合わせることによって生まれる補完関係を理論的に明らかにする。

#### 3. 研究の方法

寿命に対する非システムのリスクに対する金融工学的研究の基礎は生存確率の確率過程によるモデル化であり、金融工学において発展してきた債券価格理論の応用分野である。長寿スワップ (Longevity Swap) あるいは、長寿債券 (Longevity bond)、その先渡し価格を、金利の期間構造モデルを生存確率の構造に拡張した年金保険価格モデルによって解析した。Longevity Swap を中心にしたリスク管理の理論に Longevity Bond を含めた拡張したポートフォリオによるヘッジ戦略を研究方法とする。年金基金の収支変動は、生存者数のプロセスが計数過程であるから、ジャンプを含む確率微分方程式でモデル化される。金融工学における価格決定とリスクヘッジのためのポートフォリオ決定に必要な確率測度変換定理を適応するためには、Vandaele [2008] が指摘している理論的制約が問題となる。年金積立金に対する非完備市場におけるリスク最小化ポートフォリオは、Moller [2004] によって提案されたヘッジングの自乗誤差のリスク中立確率による期待値を最小化する方法はこの問題点を克服していなかった。2018 年の EURO 学会発表の Uratani et al [2018] やその理論的基礎となった Henriksen [2015] で用いられた最小マルチンゲール確率 (Minimal martingale measure) を用いたリスク管理方法がそのジャンプを含むリスク最小化への解決策の 1 つである。そこで用いた方法は最小マルチンゲール確率を利用する Foellmer & Schweizer [Foellmer 2005] の局所最小化 (Local Risk Minimization) 法である。ここでは、価格決定のためのリスク中立マルチンゲール確率と現実に観測される生存確率の差が非完備な年金ポートフォリオに対してリスクの過小評価をもたらすことを明らかにする。

#### 4. 研究成果

我が国の確定給付年金 (DC) では、低金利による投資収益率の悪化による支払いリスク管理の問題が多くの企業において発生するリスクが懸念されている。年金基金のリスク管理問題の研究では、初めに完備市場におけるヘッジ戦略を考えた。その結果を参考にして、非完備市場におけるリスク最小化戦略を求めた。ヘッジポートフォリオに長寿債と長寿スワップを組み入れた完備市場では長寿リスクがヘッジできることを示し、非完備な場合におけるリスク最小のポートフォリオ戦略を導いたのが次のスイスでの学会発表である。

- ・ Uemura, D. & Uratani, T. “ Longevity risk management for annuities by longevity and swaps ”, Perspectives on Actuarial Risks, PARTY, Monte Verita, Switzerland 2017 March

さらに、完備市場と非完備市場のそれぞれに対するリスクヘッジ戦略のポートフォリオの比較はカナダ・ケベック市での国際オペレーションズ・リサーチ学会での発表で行った。

- ・ Uratani, T. & Uenuma, D. “ Longevity risk management for annuities by longevity derivatives, ” IFORS 2017 Quebec City, Canada 2017 July

非完備市場におけるリスクの最小化をリスク中立確率で国田-渡辺マルチンゲール分解定理に依存する方法の欠点を補う新しい方法の研究をはじめ、Foellmer-Schweizer 分解定理を利用した最小マルチンゲール確率測度による方法の特徴を明らかにした。その成果は以下の国際アクチュアリー学会で発表した。

- ・ Uratani, T. & Uenuma, D. “ Risk management for annuity by longevity bond and longevity swaps, ” 31<sup>st</sup> International conference of Actuaries 2018 Berlin, Germany 2018 June

さらに、最小マルチンゲール確率を用いて年金基金のポートフォリオ Hedging risk の最小化問題における数値解析の方法を明らかにする研究をおこなった。最小マルチンゲールによる方法を提案した Henriksen & Moller [2015]では解決できていなかったポートフォリオ選択の数値的な解法を明らかにし、EUR02018 において発表した。

- ・ Uratani, T. & Uenuma, D. “ Annuity risk management by longevity swaps in Minimal martingale measure, ” 29<sup>th</sup> European Conference on Operational Research 2018, Valencia, Spain 2018 July

年金基金のリスク最小化ポートフォリオの数値シミュレーションに関するプログラミングおよび数値解の特性とその問題点は次のワークショップの発表で明らかにした。

- ・ Uratani, T. & Uenuma, D. “ Simulation analysis of risk minimization for longevity risk, ” 5th workshop on Recent developments in dependence modelling with applications in finance and insurance, Aegina, Greece 2018 September

さらに、EUR02018 の研究発表を聞き、関心を持ってくれたイタリア・サレルノ大学の教授 Prof Valeria D’ Amato, Department of Economics and Statistics, University of Salerno からの招待で行った最小マルチンゲール確率を用いた年金に対する長寿スワップの投資戦略に関する総括的研究発表である。

- ・ Uratani, T. & Uenuma, D. “ Annuity risk management by longevity swaps in Minimal martingale measure ”, UNISActuarial SCHOOL 2018, Paestum, Italy 2018 September

年金基金のポートフォリオ問題の理論的なリスク最小化の構造と問題点が明らかになった結果を踏まえて、最近の長寿デリバティブ市場で長寿リスクの新しい解決策として近年盛んに用いられる「長寿デリバティブと再保険の組み合わせによるリスク最小」という最適スワップのポートフォリオと再保険の組み合わせの最適条件を理論的に検討したのが次の発表である。

- ・ 浦谷規 柏原悠生 保険リンク債と再保険のモデル 日本アクチュアリー会・JAPRIIP 2019年1月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 浦谷規	4. 巻 2029
2. 論文標題 年金保険の長寿リスク	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 43-64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Uratani, T. D. Uenuma
2. 発表標題 Risk management for annuity by longevity bond and longevity swaps
3. 学会等名 ICA 2018, Berlin, Germany (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Uratani, T. D. Uenuma
2. 発表標題 Annuity risk management by longevity swaps in Minimal martingale measure
3. 学会等名 EURO 2018 Valencia, Spain (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Uratani, T. D. Uenuma
2. 発表標題 Simulation analysis of risk minimization for longevity risk
3. 学会等名 5th workshop on Recent developments in dependence modelling with applications in finance and insurance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Uratani, T. D. Uenuma
2. 発表標題 Annuity risk management by longevity swaps in Minimal martingale measure
3. 学会等名 UNISActuarial School 2018, Paestum (SALERNO), ITALY (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦谷 規 柏原 悠生
2. 発表標題 保険リンク債と再保険のモデル
3. 学会等名 日本アクチュアリー会・JARIP共催 第2回研究集会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadashi Uratani
2. 発表標題 Longevity risk management for annuity by longevity derivatives,
3. 学会等名 IFORS 2017, Quebec city, Canada (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金銅 孝明, 浦谷規
2. 発表標題 長寿リスクを考慮した生命保険会社のリスク最小戦略
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野田 英希, 宮崎 段, 浦谷 規
2. 発表標題 長寿債券を含む最適ポートフォリオ戦略
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柏原 悠生 浦谷規
2. 発表標題 CAT債券価格とシミュレーション
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年秋季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Uenuma, D. Uratani, T
2. 発表標題 Longevity risk management for annuities by longevity bonds and swaps
3. 学会等名 Conference Perspectives on Actuarial Risks in Talks of Young researchers (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----