シミュレーションモデルを用いた死亡率の推定と保険料の評価

Estimating mortality and evaluating premiums using simulation models

経営システム工学専攻　田村 祐輝

1　はじめに

保険は大きく, 生命保険, 損害保険, 医療保険に分類される. 共通しているのは, 多くの人から事前に少額のお金を集め, 偶然の出来事によって損失が発生した人に, 多額のお金を支払う仕組みであるということである. 保険とは, 多数の加入者が集まり, 何らかのリスクを第三者に移転し軽減することの手段であるともいえる. そして, そのリスクを引き受ける第三者が公的な保険制度や民間の保険会社であり, それらが損失を保障する.

ここからは生命保険会社に関して話を進めていく. 保険は, 対価（保険料）を払ってリスクを移転, 軽減する手段であるが, その際保険会社は, 事前にどのくらいお金を集める必要があるかを, 確率論, 統計に基づいて計算する必要がある. 保険料の計算には 3 つの重要な計算基礎率が用いられる. 予定利率, 予定死亡率, 予定事業費率である.

3 つの基礎率のうち, 予定死亡率について説明をする. 予定死亡率とは保険会社において, 保険料の計算に用いられる死亡率のことを指す. 予定死亡率は, 基礎データを用意した後, 必要に応じて安全割増, 平滑化をする. 予定死亡率の設定は保険会社毎に異なり, どの基礎データを使用し, どのような加工をするかを決める必要がある. 先行研究 [2] ではいくつかの死亡率推定モデルの比較をしており, そのうちの 1 つにシミュレーションモデルがある. 本研究では, [2] に関する改善点, 及び応用を検討する. [2] のシミュレーションモデルにおける, 第 3 傷害因子「突然死」は, 各年齢での発生率は一様であるとしている. この「突然死」は「自殺」と「死亡事故」に分解できると仮定する. その場合, 各年齢の発生率が一様であるとは考えづらい. [9], [11] では各年齢階級別, 男女別の自殺, 死亡事故件数が公表されている. これを用いて各年齢階級別の自殺, 死亡事故の発生率を推定し, モデルに組み込むことでより精度がより高くなるのではないかと考えられる.

また, 完全生命表と同じ手法を用いて平滑化をし, 先行研究でのモデルの当てはまりについて再検討する必要があると考えられる.

また自殺, 事故死を組み込んだシミュレーションモデルによって推定された死亡率を, 予定死亡率として用いた場合の保険料について考察をする.

2　生命表と生保数理理論

2.1　生命表とは

生命表とはある大きさを持つ出生者の集団について年齢に伴う脱退 (減少) の推移のうち死亡による脱退原因のみを扱ったものである. これを生命表 (life table) または死亡表 (mortality table) という.

3　日本の生命表

3.1　完全生命表

「完全生命表」は, 国勢調査による人口（確定数）と人口動態統計（確定数）による死亡数, 出生数を基に 5 年ごとに作成される. 「完全生命表」は, 国勢調査の確定人口をはじめとする確定データを基に, 毎年作成している簡易生命表より精密な方法で作成しているものであり, 生命表の確定版という性格を持っている. 2021 年 2 月現在, 平成 27 年度の国勢調査と人口動態統計に基づいた第 22 回生命表（完全生命表）が最新のものである.

4　シミュレーションモデル

ここでは, 文献 [1], [2] を参考に, 本研究で用いるシミュレーションモデルの説明する.

4.1　バイタリティ関数

$V(t)$ を時刻 t におけるバイタリティ関数とする. ここで t は 0 から最終生存年齢までの整数値をとる. また u と v をそれぞれ 0 歳, 1 歳の Vaitality 値とする.

1 歳から 20 歳まで直線的に増加し, 20 歳から 30 歳にかけて最大値 100 を維持し, それ以降は最終生存年齢まで直線的に減少していくものとする. 0 歳の Vaitality 値に関しては実績値と適合するような値を見つけてくる.

4.2　ハザード関数

$H(t)$ を時刻 t におけるハザード関数とする. ここで $H(t)$ は以下のような再帰式を持つとする.

$$H(t) = H(t-1) + I \cdot X_1(t) + X_2(t) + X_3(t) - (I-1)\cot X_1(t-1)$$

また X_1, X_2, X_3 はそれぞれ傷害因子 (Hazard Factor) を表しており, さらにそれらは

$$
\begin{aligned}
X_1(t) &= B_1(t) \cdot S_1(t) \\
X_2(t) &= 0 (t \leq 5) \\
&= B_2(t) \cdot S_2(t) (t \geq 6) \\
X_3(t) &= 100 \cdot B_3(t)
\end{aligned}
$$

というように分解できるとする.
ここで $B_i(t)$ はパラメータ p_i のベルヌーイ分布 $(i = 1, 2, 3)$, $S_j(t)$ はパラメータ k_j の指数分布 $(j = 1, 2)$ に従うとする.

ここで X_1, X_2, X_3 をそれぞれ第 1 傷害因子, 第 2 傷害因子, 第 3 傷害因子と呼ぶことにする. 第 1 傷害因子は一生を通じて起こりうる病気や怪我などを表しており, それらは比較的高い確率で発生するとする. つまり, 確率 p_1 で発生し, その大きさは $I \cdot S_1(t)$ である. そして翌年には (1) 式, 第 5 項の $(I-1) \cdot S_1(t)$ のように回復し, 人体には $S_1(t)$ が蓄積されるとする. 第 2 傷害因子は人体に深刻なダメージを与える事象を表している. これは, 第 1 傷害因子と比べると, 発生確率は低いが, 1 度発生すると回復することはなく, それによるダメージは人体に蓄積されるものとする. つまり, 確率 p_2 で発生し, その大きさは $S_2(t)$ である. 第 2 傷害因子は 6 歳以降で発生するとする. 第 3 傷害因子は偶発的な死亡を表している. 本研究ではこの第 3 傷害因子を「自殺」と「事故死」に分けて考える. それぞれの発生率は公的な統計結果を基に推定する.

4.3 確率モデルの設定

以上の条件に従ってモンテカルロシミュレーションをし, 基礎データ, 生存率曲線, 死亡率曲線, 対数死亡率曲線を取得する. まず, 累積傷害因子の値を 0 にセットした後, 年齢に応じた生命力の変化, 傷害因子のサイズ, 回復率, 年間の各傷害因子の発生率, 初期人口を入力する. その年の傷害因子の和と, 累積傷害因子の総和が, その年の生命力値を超えたとき, その個体は死亡したとして死亡年齢を記録し, 次の個体の演算に移る. 死亡が発生しなかった場合, 翌年に第 1 傷害因子のみ一定の割合で回復し, 次の年齢の演算に移る. この演算は入力したすべての初期人口に対して行う. 本研究では初期人口を 100 万人, 最大生存年数を 117 歳とする.

4.4 自殺発生率の推定

文献 [11] では年齢階級別 (5 歳区切り), 男女別の「自殺死亡者数及び自殺死亡率」を公表している. また文献 [10] では年齢階級別 (5 歳区切り), 男女別人口を公表している. 本研究では, 男性の各年齢階級別自殺死亡者数を各年齢階級別人口で除した数値を, 年齢階級別自殺発生率とする.

4.5 死亡事故発生率の推定

文献 [9] では年齢階級別 (5 歳区切り), 男女別の「不慮の事故による死亡者数」を公表している. また文献 [10] では年齢階級別 (5 歳区切り), 男女別人口を公表している. 本研究では, 男性の各年齢階級別事故死亡者数を各年齢階級別人口で除した値を, 年齢階級別死亡事故発生率とする.

5 数値実験

先行研究で使用されたシミュレーションモデルのソースコードがないため, 改めて実装する. 実装には python を用いる.

5.1 パラメータの設定

本研究では, 先行研究で「第 3 傷害因子」として扱っている「突然死」の場合について,「自殺」及び「事故死」に分解して考える. それぞれの発生率は我が国が公表している公式統計データを用いて推定する. それぞれの統計データは完全生命表の作成された平成 27 年度のものを用いる. 自殺の発生率に関しては, 文献 [8], [10] を用いて推定する. 死亡事故の発生率に関しては, 文献 [9], [10] を用いて推定する. 第 3 傷害因子以外のパラメータは [2] と同様に設定する. 基礎データを取得した後, 平滑化した各生命確率を図は以下である.

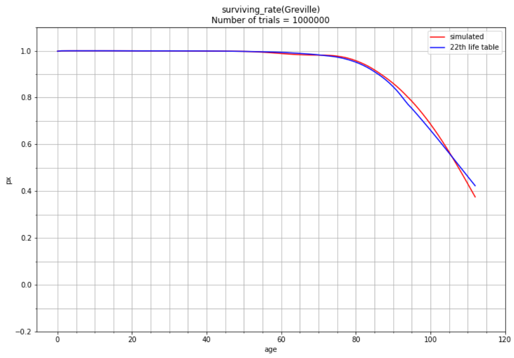

図 1 平滑化した生存率：本研究

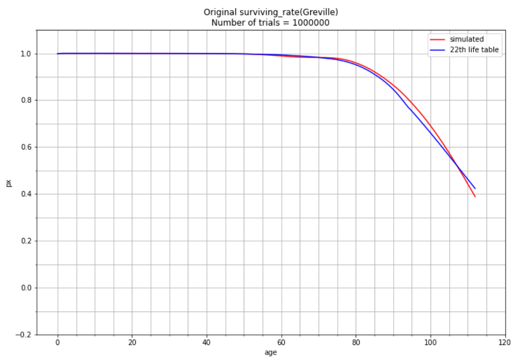

図 2 平滑化した生存率：先行研究

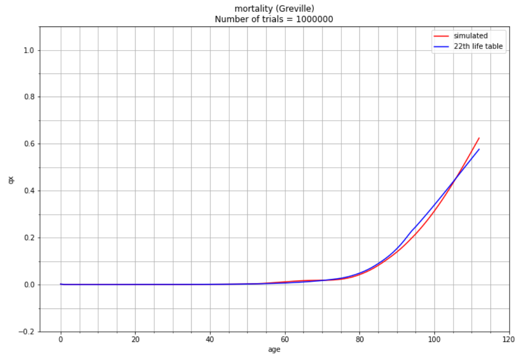

図 3　平滑化した死亡率：本研究

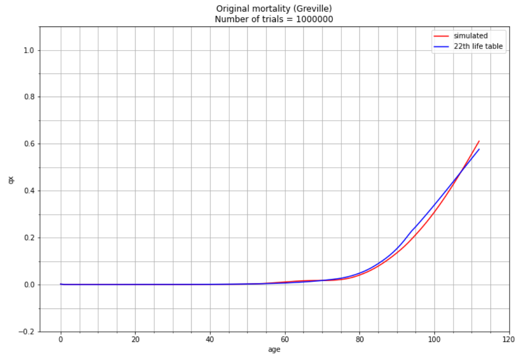

図 4　平滑化した死亡率：先行研究

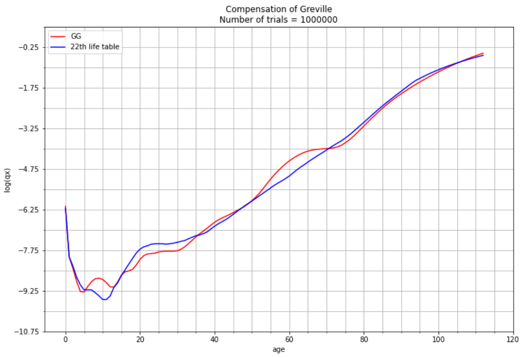

図 5　平滑化した対数死亡率：本研究

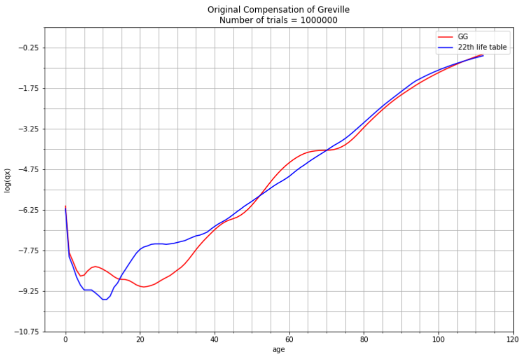

図 6　平滑化した対数死亡率：先行研究

図 1, 2, 3, 4 を見ると, いづれも完全生命表の生存率, 死亡率の形状の特徴を良くとらえていることがわかる. 図 5, 6 を見ると, 本研究での対数死亡率の形状は, 完全生命表のそれと比較すると, 5 歳から 10 歳のあたり, 55 歳から 70 歳のあたりで誤差が生じていることが観察される. 先行研究 [2] での対数死亡率の形状は, 完全生命表のそれと比較すると, 5 歳から 35 歳のあたりで大きく誤差が生じていることが観察される. また 55 歳から 70 歳のあたりで誤差が生じていることが観察される.

5.2　相対誤差の比較と改善率

次に, 本研究と先行研究で推定された死亡率の, 第 22 回完全生命表の死亡率に対する相対誤差を求める. また本研究により, どの程度死亡率推定に改善が見られたかを調べる.

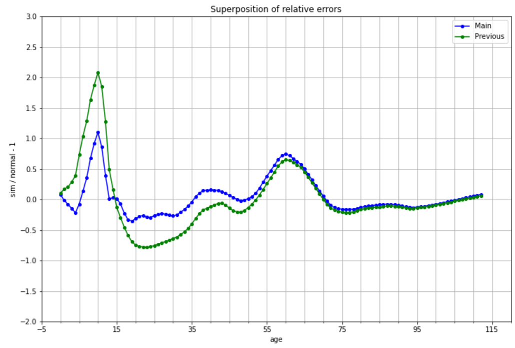

図 7　相対誤差

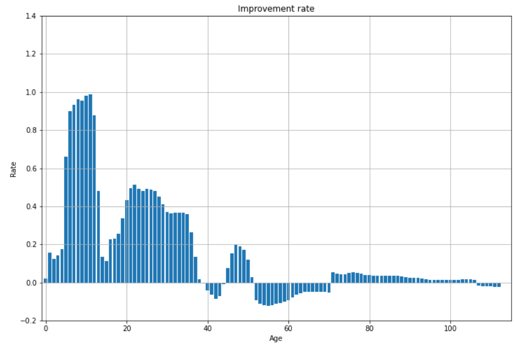

図 8　誤差改善率

図 5.2 は年齢ごとの完全生命表に対する, 本研究, 先行研究の相対誤差のグラフである. 図 5.2 「相対誤差の図と表」をみると, 先行研究では, 5 歳から 13 歳付近にかけて, 20 歳から 33 歳付近にかけて大きく誤差が生じている. 完全生命表より大きく見積もっているところでは, 10 歳で 208.26%, 低く見積もっているところでは, 23 歳で-78.13% の誤差が生じている.

一方で本研究では, 完全生命表より大きく推定しているところでは 10 歳で 110.20%, 低く推定しているところでは, 19 歳で-35.39% の誤差が生じている.

5 歳から 13 歳にかけては, 本研究, 先行研究ともに死亡率が高く推定されている. 両研究とも 6 歳付近から推定死亡率が上昇しているが, これは第 2 傷害因子が加わる年齢と一致する. 第 2 傷害因子の発生率は比較的低く設定されているので, 数年連続して発生することは考えづらい. よって一度の第 2 傷害因子の発生により, 死亡となるケースがこの年齢区間で多発しているものと考えられる.

55 歳から 70 歳にかけて相対誤差が山のように膨らんでいることが観察される．この年齢区間では本研究と先行研究で, あまり変化が見られなかったため, 第 3 傷害因子以外に要因があると考えられる．

各年齢の相対誤差改善率を見ると, 5 歳から 13 歳付近にかけて 50 % 以上の大幅な改善, 20 歳から 35 歳にかけて 40 % 前後の改善がみられる．

以上のことから, 先行研究では突然死の発生率を, 5 歳から 13 歳付近で高く, 20 歳から 33 歳付近にかけて低く推定していたことにより, 大幅な相対誤差が生じていたと考えられる．また, 各年齢階級別の自殺, 死亡事故発生率を統計データから推定することで, 5 歳から 35 歳付近で相対誤差の改善が確認される．

6　保険料の計算

本研究, 先行研究で作成した生命表を用いて保険料の計算をする．計算では予定死亡率を生命表の死亡率として計算をする．完全生命表を用いて計算した保険料と比較してどの程度の誤差があるか求める．文献 [4] を参考にする．今回計算する保険は, 契約年齢は 25 歳から 50 歳まで 5 歳区切り, 保険期間は 10 年, 保険金額 100 万円の死亡定期保険とする．

先行研究の保険料は, 契約年齢 25 歳から 45 歳まで少なめに算出している．この年齢区間で死亡率を低めに推定していたので, それが保険料に反映されている．契約年齢 45 歳の保険料は誤差 10% 以内に収まっていることがわかる．本研究の保険料は, 契約年齢 30, 40, 45 歳で誤差が 10% 以内に収まっていることがわかる．

7　おわりに

先行研究で提案されているシミュレーションモデルについて, 突然死を自殺と事故死に分解し, それぞれの発生率を推定, 組み込むことで一定の改善がみられる．特に 5 歳から 35 歳付近にかけて大幅な改善がみられるので, 有効であると考えられる．以上より, 第 3 傷害因子は, 自殺と死亡事故の発生率と深く関係していることがわかる．つまり, 将来の自殺や死亡事故の発生率を予測できれば, 将来の死亡率をも予測できる可能性があることを示している．

一方で, 55 歳から 65 歳にかけては, 大幅な誤差が生じており, 本研究では改善が見られない．第 3 傷害因子以外の項目に関して, さらに検討が必要と思われる．

本研究の今後の課題をいくつか述べる．1 つ目は, 第 2 傷害因子がどのような事象と関係があるかを明らかにすることである．突然死には含まれないが, 人体に大きなダメージを与える病気や, 怪我などの発生率や程度を特定できれば, それをモデルに組み込むことで, より高い精度で死亡率を推定できると思われる．

2 つ目は, 責任準備金の計算にシミュレーションモデルを用いることである．保険会社では, 将来の保険金支払いに備えるため, 責任準備金を積み立てておく必要がある．責任準備金は, 保険会社にとっては負債にあたり, その扱いは重要である．シミュレーションモデルを導入した際, 保険会社にとってどのような課題があるかを検討する余地がある．

参考文献

[1] 古川俊. 寿命の数理. 朝倉書店（1996）.

[2] Masakazu Ozeki. Application of Mortality Models to Japan. Society of Actuaries.(2005).

[3] 山内恒人. 生命保険数学の基礎 アクチュアリー数学入門第３版. 東京大学出版会.（2020）.

[4] 成川淳. Excel で学ぶ生命保険. オーム社（2017）.

[5] 二見隆. 生命保険数学上巻. 日本アクチュアリー会（1998）.

[6] 厚生労働省. 生命表について. https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/seimei/list54-57-01.html (最終閲覧日 2021 年 2 月 24 日)

[7] 厚生労働省政策統括官 (統計・情報政策担当). 第 22 回生命表. 一般財団法人　厚生労働統計協会（2017）.

[8] 厚生労働省. 自殺対策白書. https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/jisatsu/16/index.html (最終閲覧日 2021 年 2 月 24 日)

[9] 厚生労働省. 人口動態調査. 人口動態統計. https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html (最終閲覧日 2021 年 2 月 24 日)

[10] 総務省統計局. 平成 27 年国勢調査. https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/index.html (最終閲覧日 2021 年 2 月 24 日)

[11] 厚生労働省. 人口動態統計に基づく自殺死亡数及び自殺死亡率. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi˙kaigo/seikatsuhogo/jisatsu/jinkoudoutai-jisatsusyasu.html (最終閲覧日 2021 年 2 月 24 日)