

統計学とアクチュアリーの現代的課題¹⁾

田 中 周 二*, 松 山 直 樹**

Current Issues in Statistical Science and Actuarial Profession

Shuji Tanaka* Naoki Matsuyama**

統計とアクチュアリーの関係は、統計学の黎明期においては非常に密接に関連しながら発展してきた。しかしながら、わが国に限って言えば、保険大国にもかかわらず、アクチュアリーと統計学は比較的、疎遠な関係になってしまった。統計学自体は、この間、飛躍的な進歩を遂げ、実務的な応用にも利用できる数々のツールを提供してきているにもかかわらず、残念ながら、産学のパートナーシップはあまり進展していないのが現状である。他方、ここ10年間で発展した金融工学は、わが国でも産学が共同しつつ研究と実務への適用が着々と進展している。彼我の差は、アクチュアリー実務家の怠慢とも言えるが、いろいろな意味で実務界と学界との相互の関心が不足していたことにも原因があろう。しかし、保険業界も大競争時代を迎えた今、従来のアクチュアリーが利用していた統計学の素養だけでは、近い将来、訪れると考えられる、より大きな挑戦的な課題に応えることはできない。アクチュアリーは、最新の統計学を積極的に吸収することにより、アクチュアリアル・サイエンスの復権を図る必要がある。

本稿では、第1部において、わが国のアクチュアリーが現在、利用している統計学の現状について簡単にレビューしたあと、発展を続けている最新の統計学が利用できるアクチュアリー分野について、その将来展望を概括的に紹介する(田中担当)。第2部では、特に統計学との関連において生保分野の新たな課題について焦点を絞り、「統計学のフロンティアとしての生命保険分野」と題し、ニューリスクと変額年金の統計的問題を比較的詳しく論ずることにする(松山担当)。

At the dawn of statistical science, statistics and the actuarial profession had evolved together in tight and fruitful cooperation. Though Japan has grown to the largest insurance market in the world, the actuarial profession unfortunately has become rather alienated from statistical science, a discipline which has made rapid progress, and provides useful methods and solutions for practitioners. In sharp contrast, the development of financial engineering has involved many statisticians, econometricians and mathematicians in the past 10 years. This obvious difference is due in large part to the mutual indifference of academicians and actuaries. In the new era of intense competition confronting Japan's insurance industry, actuaries will not be able to respond to new challenges without relying on the latest statistical knowledge and techniques.

This paper outlines current statistical technicalities that Japanese actuaries use, and examines the prospective statistical knowledge and literacy that actuaries need in traditional fields like life, health, casualty, pensions and in new frontiers.

¹⁾ 本稿は、2003年9月4日に名城大学で行われた統計学会の企画セッション「統計学と保険」で田中および松山が発表した内容にもとづくものである。当日のオーガナイザーである国友、大森両氏には当日の発表について貴重なサジェスションを頂いた。記して感謝する。

* ニッセイ基礎研究所 金融研究部門、日本アクチュアリー会論文委員長、〒100-0006、東京都千代田区有楽町1-1-1

** 明治安田生命 企画部、日本アクチュアリー会 ALM 研究会座長、〒100-0005、東京都千代田区丸の内2-1-1

第1部 アクチュアリーと統計学

1. アクチュアリーと統計学の関係

アクチュアリーと統計学は、ハレー彗星で有名な天文学者の Halley (1656-1742) が作成した生命表を例にあげるまでもなく、歴史的には密接な関連をもって発展してきた。ところが、私見では、少なくともわが国では、残念ながら、実務家のアクチュアリーには統計学の最新の成果を採り入れようとする機運が段々、薄れてきてしまったかのように思われる。同じ金融分野でも、金融工学という新しい応用統計学の分野では、盛んに多くの研究者や実務家が研究に参画し、多くの成果を挙げつつあるにもかかわらず、アクチュアリー分野では同じような変化が起きていない。少なくとも、アクチュリアルな実務的問題は山積しており、この解決には最新の統計学の応用が俟たれている分野も決して少なくないと思われるにも拘らずである。その理由は、アクチュアリー自身にも、アクチュアリーが所属する業界にも問題があるように思われるが、商品開発、料率設定、保険債務評価、リスク管理いずれの分野をとっても、やるべき仕事は10～20年前にくらべ格段に増えている。最新の統計学の発展にも追いついて、それを実務的に利用してゆく態勢を再構築してゆく時期に入ったという認識がアクチュアリー（会）に拡がることを願っている。

2. アクチュアリーの伝統的業務

わが国のアクチュアリーが活躍する伝統的業務分野は、生命保険、損害保険および年金の三分野であり、いずれも保険数理、年金数理にもとづく保険料と責任準備金と呼ばれる契約債務の評価を中心とした計算業務を中核にして発展してきた。そのため、アクチュアリーは、生保会社、損保会社、信託銀行の年金部門、あるいは社会保険を担当する厚生労働省や公的共済組織、あるいは年金ないし保険のアクチュアリー系コンサルティング会社、会計監査法人などに所属して、数理計算業務に携わっているのが通例であった。2003年3月末現在、わが国では、アクチュアリー会会員は約3,400名おり、一人前と看做される正会員資格保持者は1,000名を超えている。会員の所属する会社は、生保会社に約1,400名、損保会社に約500名、信託銀行に約400名、その他官庁、コンサルティング会社などとなっている。これに対し、米国では2003年4月現在で会員数は約17,300名と日本の約5倍で、正会員は約10,000名と約10倍の規模である。この中で生損保会社のアクチュアリーは約7,200名でコンサルティング会社は約6,000名とコンサルティング会社の割合が非常に大きくなっている。しかし、弁護士や会計士などに比べると圧倒的に少数派の専門職となっている。

表1 日本のアクチュアリー会員数
(2003年3月末現在)

	正会員	準会員	合計
生命保険	431	341	1,405
損害保険	151	118	502
信託銀行	164	93	376
その他	267	267	1,133
計	1,013	819	3,416

(注) 賛助会員(107)を除く

表2 米国のアクチュアリー会員数
(2003年4月現在)

	正会員	準会員	合計
保険会社	4,219	2,846	7,173
コンサルティング	3,364	2,640	6,004
官庁	180	223	303
その他	2,169	1,679	3,863
計	9,959	7,388	17,343

(注) 賛助会員(107)を除く

保険にせよ、年金にせよ、その財政運営は、他の金融機関とは大きく異なっており、アクチュアリー的な専門性が必要であることは多くの国の金融当局からも認識されており、そのため法令の中でアクチュアリー資格が公認されている。わが国では、生損保では「保険計理人」、年金では「年金数理人」が公的資格の名称となっている。それでは、次に、それぞれの業態におけるアクチュアリーの仕事を見てゆくことにする。

2.1. 生命保険

歴史的にはアクチュアリーの職業が成立したのは生命保険分野からであったとされる。北川(1968)によれば、冒頭、紹介した Halley の作成した生命表が、実際の生命保険事業に利用されたのは「1762 年の Equitable 設置後のことであった」にもかかわらず、「統計学のあけぼのにおいて生命保険の果たした役割はきわめて重要であった」とされる。

生命保険は、数十年という長期にわたり、人の生存や死亡、疾病などを対象にあらかじめ約束された保険金・給付金を支払う制度である。生保会社の経営を健全に保つためには、まず保険契約者から徴収する保険料が適正でなければならない。そこで、アクチュアリーは、過去の統計をベースに死亡率などの保険事故発生率を作成し、経済環境などを考慮した上で保険料を設定している。毎年決算においては、このようにして蓄積された保険料が将来の保険金の支払いにあたって十分なものでなくてはならない。しかし、生命保険契約自体が超長期の約束であるため保険金の支払いは遠い将来の事象である。従って、現在保有する積立金(資産)が将来の保険金支払いに備えるための責任準備金の額(保険債務)と比較して十分であるかどうかを評価することが問題となる。責任準備金の評価は将来事象にわたるので極めて困難であるため、この評価は適正な保険数理にもとづいて算定すべきものとされる。そこで、生命保険アクチュアリーの保険料算定と並ぶ、もう一つの重要な仕事は責任準備金の水準が適正であることを確認することである。さらに、健全性の確保のため、現在の責任準備金の積立水準が将来的にも十分であることを将来収支分析(保険収支のシミュレーション)を行うことによって確認する。有配当保険を販売している保険相互会社では、毎年損益分析によって、契約者配当が公正・衡平であることを確認することも極めて重要な仕事となっている。商品開発面では、死亡率のリスク細分化、生前給付型保険、介護、医療保険などの複雑な商品の設計や基礎率調査などが大きな課題になってきており、この分野での調査研究が俟たれている。また、リスク管理面では、生命保険の ALM や全社的なリスク管理の必要性が今後、特に大きな課題となってくる。

2.2. 損害保険

損害保険は、将来の一定期間内の偶然の事故・災害による経済的損失を補償する保険である。生命保険と異なり、歴史的には、海上輸送の危険を担保する海上保険から始まり、企業向けの火災や事故などにもとづく経済的損失の補償に拡大し、現在は、家計向けの火災保険、自動車保険にまで対象分野を拡大してきた。さらに、最近では天候デリバティブなどの保険派生商品、金融保証、信用保険、ART (Alternative Risk Transfer) などの新しいリスクに対する保険や保険関連領域も積極的に開拓している。損害保険では保険期間が1年未満の商品が多いが、保険料や責任準備金の算定に当たっては保険事故の発生頻度(frequency)や損傷率(severity)の確率の評価や予測を正確に見積もることが必要となる。損害保険に関しても、アクチュアリーは商品開発、改定に参加し、準備金の算定・評価や採算性の分析を行うことが主要な業務内容となる。また損害保険においては、通常、顧客の保険リスクを全て引き受けるのではなく、再保険に付することが多く、再保険についての統計的理論も大きな分野となっている。最近ではリスク細分型料率の自動車保険、カタストロフリスク保険、積立型保険などの保険料や準備金の算定に関与することが多くなっている。新しい統計学の知識が必要になってきている。例

例えば、自動車保険のリスク細分型料率は、年齢、性別、車種、地域などのリスク要因を反映して料率算定を行う必要があるが、単純な回帰分析手法ではうまくいかず GLM（一般化線形モデル；Generalized Linear Model）などの利用が必要となる。またカストロフリスクについては EVT（極値理論；Extreme Value Theory）などの日本のアクチュアリーには馴染みのない統計学が必要となる。また、金融工学の知識も天候デリバティブや金融保証商品（financial guarantee）では必須の知識となってきている。

2.3. 企業年金

年金制度においては、将来の年金給付を賄うために、保険料を拠出し、積立金が形成される。加入者や受給者の動向や積立金の資産運用の動向は年金財政に大きな影響を与えるため、絶えず保険料が適正であるか、年金資産の積立てが予定通り進んでいるかを検証する必要がある。このように企業年金アクチュアリーも、年金制度の制度設計、保険料計算と毎年の決算や再計算（後述）に関わる点は、保険アクチュアリーと変わるところはない。わが国では、ここ 2～3 年の間に企業年金二法が成立し、従来の厚生年金基金と適格退職年金に対する数理業務だけでなく、新たにできた確定給付企業年金にも「年金数理人」の数理業務の関与が義務づけられることになった。もう一方の確定拠出年金にはアクチュアリーの関与は大きくないが、制度の移行や確定給付企業年金との併設などのコンサルティングその他でアクチュアリーの関与なしには進まない仕事も多い。また、2000 年度末より導入された年金および退職金に関する新たな会計基準である退職給付会計の「年金債務」の評価にも年金アクチュアリーが関わっている。そのため、企業会計の知識も要求されるようになってきている。企業年金に関与するアクチュアリーの大きな特徴は、保険会社の内部アクチュアリーと異なり、外部者として当該企業の年金制度の運営に関わる点である。このため、第三者として客観的な立場に立っているため企業側からは中立的な助言を受けられる専門職として期待されている。

2.4. 社会保険

社会保険には、厚生労働省を中心とした様々な公的な制度がある。アクチュアリーが関与する分野としては、厚生年金・国民年金などの公的年金制度の財政運営に関わる数理業務がある。また、医療では健康保険組合、国民健康保険などの財政運営にもアクチュアリーが関与している。その他、介護保険、各種共済制度などにもアクチュアリーが関与している。これらのアクチュアリーは、法律にもとづいて各種制度の財政運営に関与しており、民間保険とは異なって、必ずしも収支の均衡をとることが要請されているわけではないが、政府予算の中で社会保障の位置づけが極めて重要となる時代になってきており、社会保障制度改革を実現するためには政府部内のアクチュアリーの一層の活躍が欠かせない。

2.5. コンサルティング

この他に欧米では、保険会社や年金基金に対して、コンサルティング業務を行うアクチュアリーが大きな割合を占めている。わが国では、主に民間のアクチュアリーは信託銀行ないし生保会社に所属しているが、最近ではアクチュアリー系のコンサルティング会社や会計監査法人のコンサルティング部門に転職する人も増えてきた。

先に述べたように米国ではアクチュアリーの 1/3 がコンサルティング会社に勤務しているのが実態である。米国では、その数 2,000 とも言われる保険会社の中にはアクチュアリー機能その他関連業務をアウトソーシングしたり、助言を受けたりする会社が多いことがその理由と思われる。また、一般企業向けにも、年金・医療その他の企業福祉の設計にアクチュアリーが欠かせないため、年金を中心とし、更にその他の領域もカバーするコンサルティング会社が発展してきている。

3. 保険（年金）数理の原理と実務

3.1. 保険数理の原理

保険料決定の原理は、保険給付・反対給付対応の法則とか収支相等原理などと呼ばれているものであろう。これは、1 期間モデルであれば、保険給付請求額の確率変数 X の期待値が、保険料と等価になるように保険料 P を決定するという原理である。

$$P = E[X] \quad (1)$$

多期間モデルの場合には、将来の保険給付のキャッシュフローの確率変数列 $\{X_t\}$ ($t=1,2,\dots$) に対し、保険料のキャッシュフロー列 $\{P_t\}$ ($t=1,2,\dots$) を対応する方法を表わす。ただし、給付と保険料のキャッシュフローは、予定利率（正数 i とする）と呼ばれる割引率で現在価値に引き戻して評価することになる。

$$E[\sum (1+i)^{-t} P_t] = E[\sum (1+i)^{-t} X_t] = \sum (1+i)^{-t} E[X_t] \quad (2)$$

これが原則であるが、これでは確率 50% で制度は赤字になってしまう。そこで、保険料決定の「保守性の原則」ということが言われる。すなわち、予定利率 (i) を市場実勢よりも低くし、またキャッシュフロー列 $\{Y_t; Y_t \geq X_t\}$ を X_t の代わりに使用することにより制度の破綻を免れるようにコントロールする。このようにして、保険制度は健全に維持される。しかし、このようにある程度リスクに対応できる保険料を決定しても、長期的に保守的な予定利率と考えられていた水準よりも金利が低下することもありうるし、保険給付請求額の分布が予測していたものから大きく悪い方向に偏ることもないとは言えない。さらに、保険会社は予定利率で運用しているわけではなく、株式や不動産など必ずしも金利に連動しない資産でも運用している。従って、長期間経っても予定調和的に事態が推移することは必ずしも保証されない。

そこで、上述の「保守性の原則」を理論的に定式化したものとして、いわゆる「保険料計算原理」があり、多くの研究の蓄積がある分野となっている。例えば、(1) 式の $P = E[X]$ は純保険料原理と呼ばれるが、より現実的な保険料計算原理としては、期待値原理 ($P = (1+\delta)E[X]$)、標準偏差原理 ($P = E[X] + \delta \text{Std}[X]$; Std は標準偏差を表す作用素)、さらには標準偏差の代わりに VaR (Value at Risk) に使用する分位原理などがある。また、測度変換を使った保険料計算原理もあり、古くから知られている Esscher 原理 ($P = E[X \cdot \exp(\delta X)] / E[\exp(\delta X)]$) は、Gerber-Shiu (1994) で初めて測度変換に対応することが明らかにされ、ファイナンスの価格決定理論の視点から注目を集めることとなった。

3.2. 生命保険数理

生命保険の場合、典型的な保険事故は人の生死ということになる。そこで、保険給付請求額の確率変数 X を特徴づけるパラメータとして死亡（確）率が大きな役割を果たすことになる。経験的に死亡率は、年齢や性別によって大きく変化することが知られており、この事実から「生命表」が作成されることになった。生命表の作成には、過去の人口と死亡数の統計資料が必要である。経験死亡率はある人口に対する死亡数の割合として定義されるが、性別や年齢その他の区分ごとに分子・分母を集計することで様々な切り口による死亡率が算出される。特に、年齢別死亡率 q_x は、 x 歳の人在今后 1 年間の間に死亡する確率をいう。この年齢別死亡率から、生命表が作成できる。生まれたばかりの 0 歳の人口 l_0 を 100,000 人とする、1 歳になるまでに $100,000 \times q_0$ 人の人が死亡し、1 歳の生存人口 l_1 は、 $l_1 = l_0 p_0 = l_0 (1 - q_0) = l_0 - d_0$ という等式に従って決定される。ここで、 p_0 は生存確率、 d_0 は死亡数と呼ばれる。生命表は年齢別死亡率が決まれば、上の関係式を $x+1$ 歳まで延長することにより、 p_x, d_x, l_{x+1} が順次、得

られることになる。このような x の関数を生命関数と呼ぶが、これにもとづいて将来の保険給付請求額の確率変数列 X_t を求めることを考える。

簡単のため、 x 歳加入の n 年満期定期保険（保険金 1）の例を考える。定期保険とは、加入後 n 年間は死亡のときに限り保険金を支払うもので、その後は保証のない掛け捨ての保険のことである。保険料は一定で年払いとし保険年度の期初に払い込み、保険金は死亡時の保険年度の期末に支払うものとする。このときの（2）式の右辺および左辺は、

$$E[\sum_{t=1}^n (1+i)^{-t} P_t] = P \sum_{t=1}^n (1+i)^{-t} l_{x+t}/l_x = P \cdot (N_x - N_{x+n})/D_x \quad (3)$$

$$E[\sum_{t=1}^n (1+i)^{-t} X_t] = \sum_{t=1}^n (1+i)^{-t} d_{x+t}/l_x = (M_x - M_{x+n})/D_x \quad (4)$$

これを組み合わせると、

$$P = (M_x - M_{x+n}) / (N_x - N_{x+n}) \quad (5)$$

という純保険料の公式が得られる。ここで、計算基数と呼ばれる記号を導入したが、その意味は以下のとおりである。

$$D_x = (1+i)^{-x} l_x; N_x = \sum_{t=0}^{\infty} D_{x+t}; C_x = (1+i)^{-x-1} d_x; M_x = \sum_{t=0}^{\infty} C_{x+t} \quad (6)$$

実際には、この他にローディングと呼ばれる事業運営にかかる事業費などを組み込んで営業保険料を算出することになるが、原理的には同様の計算を行っている。

次に、 x 歳加入の定期保険加入者集団が死亡のみで減少してゆく状況を考える。このとき、この集団に対し会社はどのくらいの資金を準備しておかなければならないのか、というのが責任準備金の概念である。（5）の保険料は、保険期間中で一定にした平準保険料であり、本来は年齢別の死亡率を 1 年割り引いた保険料を毎年もらえば良い。従って、平準保険料では保険期間の前半では保険料はもらいすぎだが、後半は不足する。従って、前半の過剰な収支残は蓄積されて積立金を形成し、後半に取り崩されてゆく。この金額を責任準備金と称する。これを計算式で表現する。経過 t 年の時点で、責任準備金と t 年以降の保険料収入の現在価値を加えたものが、 t 年以降の保険金給付の現在価値に等しいはずであるから、責任準備金 V_{x+t}^F は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} V_{x+t}^F &= \sum_{s=t+1}^n (1+i)^{-s} d_{x+s}/l_x - \sum_{s=t}^{n-1} (1+i)^{-s} P \cdot l_{x+s}/l_x \\ &= (M_{x+t} - M_{x+n})/D_{x+t} - P \cdot (N_{x+t} - N_{x+n})/D_{x+t} \end{aligned} \quad (7)$$

これは、将来法と呼ばれており、過去法と呼ばれる以下の式に一致する。

$$V_{x+t}^F = P \cdot (N_x - N_{x+t})/D_{x+t} - (M_x - M_{x+t})/D_{x+t} \quad (8)$$

この責任準備金は、純保険料式責任準備金と呼ばれ、わが国では現在でも主な保険種類で実際に使われている保険負債の評価方法となっている。この、評価された保険負債と保有資産を比較することにより、保険会社の財務健全性の検証や配当財源の計算が行われることになる。しかし、多くの国で法定されている責任準備金評価方式は実は極めて多様性があり、また会計上は別の方式を採用するなど共通の評価方法について国際的コンセンサスはまだできていない。しかし、後述の国際会計基準の検討の中で、少なくとも会計上の保険負債評価について共通の考え方で整理しようとする動きが出てきている。年金数理で述べるように、年金負債については国際会計基準が採択され、多くの国がその考えに従って共通ないし類似の負債評価を行うようになっている。

3.3. 生命保険会社のリスク管理と規制

保険料では、収支相等の原則により、通常のリスクに対する備えしかない。したがって、保険会社のソルベンシー維持のための保険監督上のコンセンサスとしては、いわゆる通常のリスクに備えるための法定の保険負債以外に、自己資本を保有することによって「予想を超えるリスク」へ対応することが必要とされる。この予想外のリスク対応に必要と考えられる資本を「支払い余力」（ソルベンシー・マージンとかリスク・ベイスト・キャピタルとも呼ばれる）と言う。しかし、更にそれを超えてリスクが顕在化する場合には、保険会社の存続ができなくなる可能性もある。この場合には、保険会社が破綻しても契約者の保険金の支払いはできるだけ保護されることが望ましい。資本の注入を行なうなどして救済を申し出る他の会社があれば、一定の契約者保護がなされることになるが、救済会社が現れない場合には、保険会社の支払保証機構として「契約者保護機構」のような機関を設置して救済を図ることになる。

3.4. 損害保険数理

損害保険の場合、保険期間が1年という商品が多い。しかし、保険種目は海上、火災、自動車、賠償責任、障害、介護など多岐にわたっており、そこで用いられる数理もより広範な統計学の知識を要する。まず、保険給付請求額の経験分布を良く知られた確率分布で近似する手法が実務的には重要である。保険事故の損害額の分布を求めるには、まずその事故の発生頻度を表現するモデルを考える。単純なポアソン分布から、二項分布、負の二項分布、幾何分布などが利用される。次に損害規模分布（ロス分布）のモデルがある。裾の長い分布となる場合が多いため、正規分布ではなく対数正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布などが利用される。総ロスの分布は、この二つの分布によって求められる。すなわち、 $S(\text{総ロス}) = X_1 + X_2 + L + X_N$ の X_j , N を別々の分布として表現することにより、実用的なモデリングが可能となる。このような分布論が、損保数理の一つの分野となっている。1年契約の場合、責任準備金はあまり問題ではないが、損害保険でも賠償責任保険のように保険金の支払いが裁判の結審まで猶予されるような保険契約では、事故発生と支払い時期が大幅にずれることになる。このような保険契約においては支払備金を積み立てる必要があり、このための理論モデルが構築されている。また、歴史的には損保数理固有の問題として危険論（Risk Theory）が北欧諸国で研究されてきており、応用確率論として損保数理の一章となっており、損保会社のリスク管理モデルの構築に際しては、今でも基本的な原典と言える。

3.5. 年金数理

年金数理と言っても、生保数理と大きく異なるわけではない。しかしながら、年金制度の場合には、あくまでも企業ないし年金基金が保険者機能を果たすことになり、アクチュアリーは財政計画の立案や実施のサポートを行うに過ぎない。確定給付企業年金の財政は、事前積立が原則だが、財政方式について選択肢は数多くある。しかも、保険料を決めて長期間経過する中で財政状態に問題があれば、再計算を行って保険料改定や給付規定の見直しを行う余地があるなど、保険商品に比較するとオーダーメイドで柔軟に対応できる点が大きく異なる点である。そのため、年金数理における計算基礎率は「最善の予測」にもとづくべきであるという考え方が一般的になっている。年金アクチュアリーは、財政と制度設計、年金運用の間で財政上の規制を遵守しつつ年金スポンサーの良き意思決定に資する助言機能が求められる。

もう一つの年金数理の特徴は、退職率、給与上昇率、物価上昇率、障害率など複雑な給付内容を反映するために多くの計算基礎率を駆使した複雑なモデルを作成することが求められる点である。これは、将来の年金財政を予測する場合にも必要であり、シミュレーションを中心とする数理統計的な手法が採り入れられている。

4. アクチュアリアル・サイエンスの現代的課題

4.1. ニューリスクに関する統計的諸問題

生保におけるニューリスクとしては、1つには「第三分野」とよばれる複雑な医療・介護関連保険の急速な発展に伴う商品開発上の課題がある。これは、医療・介護・傷害などの生損保共通の保険分野を指して命名された経緯がある。生保業界では、大手会社を中心として主契約である定期付終身（または養老）保険に付加する特約として災害、医療、介護などの諸給付を提供してきた。ところが保険市場の成熟化と人口高齢化に伴い、消費者のニーズは、これら「第三分野」の保険に向かってきており、各社とも単品でこれらのニーズに応えるようになっている。一方、伝統的な死亡保険も、非喫煙者割引、高額契約割引など価格競争的が熾烈化しつつある。また損保特有の問題として、最近導入された自動車保険を中心とした料率細分化の問題がある。これらに共通する統計学上の課題として、発生率統計が不十分ないし未整備の中で、公表されている統計と社内統計を組み合わせで適正と考えられる予定率に導くプロセスが必ずしも確立していないことがある。統計学上の最新理論を踏まえた料率決定プロセスを早急に検討することが求められていると言えよう。

さらに、これらの保険についてのプライシング・バリュエーションのアクチュアリアルな取り扱いについても、(セミ)マルコフ連鎖モデルなどの統計モデルを導入した方が、見通しが良くなる場合もあり、新しいモデリング手法の研究も必要になって来ている。

4.2. 金融工学との接点に関わる統計的諸問題

金融工学との接点となる領域においては、従来から国際アクチュアリー会の中で専門の国際会議 (AFIR SECTION) を設置するなどアクチュアリーの中でも研究の蓄積がある。わが国でもアカウント型保険 (米国で言うユニバーサル保険)、変額年金・保険、株価連動年金 (Equity Indexed Annuity) などの投資型商品の発展により、一層の研究が求められている。これらの商品の難しさは、死亡保険、最低保証オプション、利率保証オプション、解約オプションなどの金融・非金融オプションが組み込まれているので伝統的なアクチュアリアル・サイエンスでは到底、解決できない問題を含んでいる。損保分野でも天候・地震等の資本市場を通じた保険デリバティブの発展は、損保アクチュアリーに関わる一大分野になりつつある。これら商品のプライシングはもちろんであるが、法定の責任準備金の概念とその決定方式、ヘッジ戦略の策定などのリスク管理がこれからの大きな課題であると考えられる。これらは、金融工学との親近性がより強い分野であるが、いわゆる完備市場ではなく、非完備市場を扱う点で、挑戦的な課題となっている。

4.3. 国際会計基準 (保険、年金) との関わり

以上のようなアクチュアリー固有の問題に加えて、保険や年金の会計基準からもアクチュアリアル・サイエンスは挑戦を受けている。年金会計では、1985年に米国のFASB (財務会計基準審議会) の基準書FAS87号において、「年金債務」の時価評価 (公正価値) が導入されて以来、この考えが国際会計基準IAS19号 (従業員給付) やわが国の「退職給付会計」、英国のFRS17号などに導入されている。この会計自身が、PBO (Projected Benefit Obligation) と呼ばれる年金数理を用いた計算方法にもとづいており、年金債務計算は実態上は年金アクチュアリー業務となっている。ただ割引率については、年金財政上で用いる予定利率ではなく、市場金利を反映した金利を使うので、時価的な債務評価になっている点が異なっている。

保険会計も、同じ文脈で保険負債の公正価値評価の議論がされておりIAA (国際アクチュアリー会) でもIASB (国際会計基準審議会) に対し、様々な意見を述べている。保険の国際会計基準は、暫定基準 (Phase I) を2005年度から、包括基準 (Phase II) を2007年度から施

行する予定である。

それとともに、年金および保険の国際会計基準はアクチュアリーにも大きな影響を及ぼしている。これらの動きは、伝統的なアクチュアリー実務とは相容れない部分もあるが、年金・保険債務の時価評価などの問題は、リスク管理の観点からも重要であり、実務的にどのように受け入れてゆくかは今後の最重要課題の一つである。

4.4. アクチュアリアル・コントロール・サイクル

アクチュアリーの業務は、伝統的な分野からより広い関連分野に拡大すべきであるという議論が各国のアクチュアリー会から出されている。平成 15 年度のアクチュアリー会年次大会におけるオーストラリア・アクチュアリー会副会長のアンドリュー・ゲイル氏は『アクチュアリー：その役割、専門性と活動領域』と題する特別講演の中で、アクチュアリー会が切り開いた未開

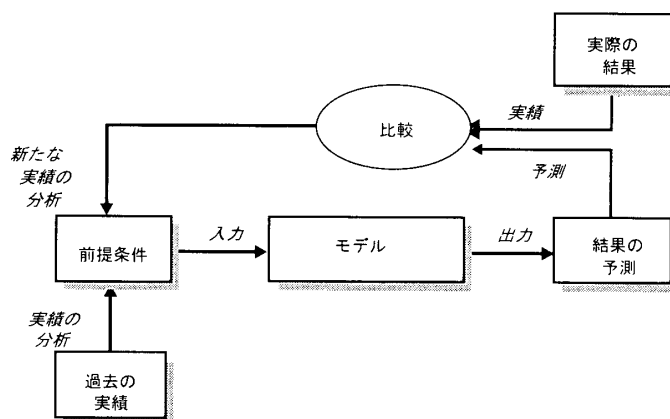


図1 アクチュアリアルコントロールサイクル

拓分野として「政府の健康保険財政」への関与、気候変動リスクへの対応、エネルギー産業、銀行、ファイナンス、プロジェクト・ファイナンス、遺伝学などの分野を挙げている。

このような分野拡大にとって指針となったのは、アクチュアリアル・コントロール・サイクルの考え方であり、これは現英国アクチュアリー会会長の Jeremy Goford 氏によって 1985 年に初めて提案され、現在では欧米のアクチュアリーの基礎的な素養となっているほど浸透している。下の説明図を見ると、そのアイデアが一目で分かる。

表3 IAA の教育ガイドラインと日本のアクチュアリー試験科目

	IAA 教育ガイドライン	日本の試験制度（現行）		
1	ファイナンスの数学	数学 生保数理 損保数理 年金数理 会計・投資理論・経済		
2	確率と数理統計学			
3	経済学			
4	会計学			
5	モデリング			
6	統計学的手法	生保Ⅰ 生保Ⅱ	損保Ⅰ 損保Ⅱ	年金Ⅰ 年金Ⅱ
7	保険数学			
8	投資とアセットマネジメント			
9	アクチュアリアルマネジメントの諸原則			
10	プロフェッショナリズム			

まず、アクチュアリーは対象となるシステムを記述するモデルを作成し、実績の分析にもとづいて設定される前提条件をそのモデルに入力する。モデルから予測結果が出力され、これが実際の結果と突き合わされる。その両者を比較することにより、あらたな実績の分析が行われ、このプロセスが円環を描くように繰り返されてゆく。

この考え方は、非常に強力であり、アクチュアリアルなモデリングの特徴を良く表わしている。

5. アクチュアリー教育と統計学

アクチュアリー業務の基本は統計分析とアクチュアリアルなモデリングにあるため、従来よりアクチュアリー試験において確率論・統計学は基礎科目として重視されてきた。しかし、伝統的業務の中でも新しい動きが強まってきており、従来の教育の見直しが議論されている。特に、基礎的分野では、投資商品への対応から金融工学、専門家としての倫理教育、アクチュアリアルなモデルを作成する能力を強化するアクチュアリアル・モデリング、最新の統計的手法の摂取が大きな課題となっている。

IAA（国際アクチュアリー会）では、1998年に各国アクチュアリー会の教育内容の共通化のためのガイドラインとシラバスを公表しているが、10項目中、3つが統計学関連となっている。

6. ま と め

以上のように、国際的なアクチュアリー会のレベルでは統計学的知識の重要性が再認識されつつあり、わが国でも、統計学や統計モデルについての知識や能力を高めてゆくことが益々求められるようになるであろう。このためには、関連する分野の統計学者の援助が必要であり、アクチュアリー会やアクチュアリー個々人も、今まで以上にその摂取に努力することが求められている。

（以上、田中周二）

第2部 統計学のフロンティアとしての生命保険分野

アクチュアリー技術と統計学との接点は生命保険分野を嚆矢としたが、その後は、主に集合的危険論という切り口から統計学との接点が大きかったのは損害保険数理分野であり、特に個人保険に関する生命保険数理分野では現代的な統計学との接点はあまり意識されてこなかった。この背景としては、大量販売による比較的均質なリスクをもつ契約の確保という生命保険のビジネスモデルの特性から、死亡リスクに代表される伝統的保険リスクには大数の法則による収斂性が期待できたことが大きい。一方で、生命保険のもう一つの特徴である長期性及びそれに付随する長期の利率保証は大きな金融リスク（特に金利リスク）の内包を意味し、結果的に生命保険会社のリスク管理としては、保険リスクよりも逆鞘問題に代表される金融リスク管理上の課題が注目を集めるようになった。

そのような中で、最近の生保商品開発は、少子高齢化の進行や超低金利の長期化をうけて、保険リスク分野では伝統的な死亡保障分野から医療・介護保障分野へ、金融リスク分野では長期の利率保証から利率変動型商品や変額年金等の運用実績連動商品の最低保証に重心が移行しつつある。こうした商品開発のトレンドは、商品に内在するリスクの質的变化とそれに伴うアクチュアリー技術の変革を促し、新たに現代的な統計学との接点を模索する必要性も生じてきている。

1. 医療・介護分野における商品開発の現状と課題

医療・介護分野における商品開発のトレンドは、①ニューリスクへの拡張、②保険期間の長期化と整理することができる。前者の具体例としては、入院給付における入院日数限度の緩和（長期入院の容認）や特定治療・特定状態給付の拡充があげられ、後者の具体例としては終身医療保障の登場があげられる。

ニューリスクへの拡張に際しての最大の問題点は基礎となる統計にある。保険会社といえども自社で蓄積できるデータは既存商品の給付データだけで、ニューリスクへの拡張に際しては「患者調査」「国民生活基礎調査」のような公的医療統計に依存せざるをえず、公的医療統計の状態定義と保険給付の状態定義のミスマッチをいかに調整するかが課題となる。また、公的医療統計の調査方法は横断調査と追跡調査に分類できるが、横断調査は観測母数が多いものの、ある時点で観測された年齢別患者数差異から年齢別の新規発生率を推定しなければならないため何らかのモデルの設定が必要になり（定常状態の仮定を置くのは乱暴すぎる）、追跡調査は新規発生率を捉えやすいが、観測母数が少なく地域的な偏りがあることも多いため補整が必要となる。

商品開発の実務では、こういった公的医療統計の限界を認識しつつ、自社データにおける類似商品の既存給付実績、給付査定部門の経験等を勘案しながらニューリスクの発生率を推定することが行われている。しかしながら、このように情報の質的制約のある公的医療統計からの給付発生率推定及び推定誤差の評価の技法については標準的な方法論が確立しているとはいえないのは事実である。

以上の背景から、ニューリスク商品では保険期間を短期に制限し、更新時に料率を見直すことで、発生率推定にかかる大きな「誤差リスク Risk of Error」を縮減することが一般的であったが、更新時の料率アップを嫌い保険料負担を長期に固定したいとする顧客ニーズに対応するため、終身医療保障に代表される保険期間の長期化というもう一つのトレンドが存在する。

保険期間の長期化は、保険期間中の医療制度の変化や、医療検査技術の発達によって、例えば微小がんや前立腺がんの発見が容易になることによるがん給付の増加などリスクが構造的に変化することによる「変化リスク Risk of Change」を増幅させることに繋がる。しかしながら、この変化リスクの推計についても標準的方法論が確立しているとはいえない状況にある。

このような医療・介護分野の商品トレンドは、保険事象の確率分布がほぼ特定できているこ

（参考）＜生命保険商品開発におけるリスク分類＞

リスクの分類	内容	特徴
偶発変動リスク Risk of Random Fluctuation	（保険事象の確率分布を特定できている前提のもとで）常に残存するリスク	・危険準備金積立による軽減可能 ・契約規模拡大・均質化あるいは再保険によるリスク軽減が可能
誤差リスク Risk of Error	商品開発プロセスにおいて前提条件や結論を誤るリスク	・契約規模に比例的 ・ニューリスクや保険料保証のある長期契約で顕著
変化リスク Risk of Change	リスク構造における予想外の変化で、保険料が不足するリスク	・契約規模に比例的 ・保険料保証のある長期契約で顕著
巨大災害リスク Catastrophe Risk	巨大災害事象の発生で給付請求が集積するリスク	・商品開発プロセスで明示的に考慮されない ・再保険によるリスク軽減が可能

（出所）Pokorski-Nieder（2003）より抜粋

とを前提とした伝統的な「偶発変動リスク Risk of Random Fluctuation」中心の管理からの質的転換を促しており、アクチュアリーにとっても新たな技術的チャレンジが必要となってきた。

一般に統計学の実務へのインプリケーションは、個別データというマイクロレベルの情報の処理プロセスを見直す形で得られることが多いが、こと生命保険分野のニューリスクに関しては、プライバシーの問題からマイクロレベルの情報を民間企業が入手することは不可能であり、公的医療統計のようなマクロレベルの公開情報だけから何を引き出すことができるかという点でのチャレンジも求められている。

2. 変額年金商品開発における現状と課題

貯蓄性商品の分野では、近年の世界的な金利低下傾向と、特に米国において堅調な株式相場が長期に続いたことで、生命保険分野で投信と生命保険の融合商品ともいえる変額年金という新たなトレンドを生み出した。変額年金は米国でヒットしたあと、日本でも1999年になって販売が始まり、2002年には銀行窓販が認められたことが契機になって市場は大きく拡大した。

変額年金は本質的には投信であり、特別勘定内の投信の運用成果により、受け取る年金額もしくは解約時のキャッシュバリューが変動するものであるが、これに死亡時の元本保証（最低死亡給付保証：Guaranteed Minimum Death Benefit (GMDB)）あるいは年金開始時の最低年金額保証のような生存時の元本保証（最低生存給付保証：Guaranteed Minimum Living Benefit (GMLB)）のような最低保証が付加されていることによって生命保険と位置付けられるものになっている。さらに、死亡時に特別勘定残高の過去最大値を保証するような一種のエキゾチックオプションを付与するものまで現れている。

ここで注意しなければならないことは、変額年金では特別勘定の投信自体には最低保証の構造は組み込まれておらず、顧客の意思による投信の自由な組替え（スイッチング）も随時認めた上で（保険会社側から見ると、主体的に運用リスクを制御できないことになる）、会社の自己資本と繋がる一般勘定が最低保証を行うという金融商品では他に類を見ない構造をとっている点にある。加えて、一般勘定が保証の対価（オプションプレミアム）として受け取る保証料は、特別勘定残高比例で日々変動し、投信価格の下落により最低保証リスクが増大する局面で保証料が減少するというポジティブフィードバック構造を有している点にも注意が必要である。

このような商品構造では市場でのヘッジも限界的なものに留まらざるをえないが、当初は主に再保険会社が最低保証リスクを引き受けることで市場が成長した。しかしながら2002年に米国の再保険大手のシグナ社がGMDB再保険で7億2千万ドルの含み損を認め、準備金を計上したことを契機に再保険市場も事実上機能停止し、同商品のリスク管理の難しさが再認識されることとなった。

また、米国では変額年金の最低保証に関する責任準備金制度（AG34, AG39）が存在したものの、決定論的モデルによるものでリスクの実態把握から程遠かったことも市場の成長要因の一つとなった。

このような商品の登場は、いうまでもなくアクチュアリー技術の大きな変革を要請するものであるが、単なる金融工学との接点だけでなく、通常の金融工学の範疇を超えた長期のモデル推定の実務に関連して現代的な統計学と接点を持つ必要性が生じつつある。

2.1. 北米における変額年金の責任準備金規制

変額年金の最低保障のプライシングに大きな影響をもつものは、いうまでもなく金融リスクの評価技術であるが、とりわけ、規制上のリスク評価基準であり、その積み立てが強制される責任準備金の評価方法が重要になる。その際に、伝統的な生命保険のリスクとは異なり、特に

＜カナダの左側テイル検定基準テーブル＞

累積期間	2.5%点	5 %点	10%点
1 年	0.76	0.82	0.90
5 年	0.75	0.85	1.05
10 年	0.85	1.05	1.35

(注) たとえば 5 年 5 %点の読み方は、「5 年累積収益率が 0.85 以下となる確率が 5 %以上、あるいは 5 年累積収益率分布の下位 5 %点は 0.85 以下」

株式収益率分布において典型的な Fat Tail リスクを正当に評価する必要性が認識されている。

この分野で先行的な規制を導入したカナダにおいては、カナダアクチュアリー会（CIA）が作成した報告書：Report of the CIA Task Force on Segregated Fund Investment Guarantees において、十分な Fat Tail を持つ確率モデルによる CTE（Conditional Tail Expectation）による評価を要請している。具体的には、最低保障リスクの評価（TGCR）を CTE（95%）：損失のワースト 5 %の平均として、このうち CTE（60～80%）を責任準備金で積み立て、残りを最低資本準備要件（MCCSR）でカバーすることを求めている。

加えて、特に長期の株価下落リスクに対応できる十分な左側 Fat-tail を確保するために、保険会社が責任準備金評価に使うことのできる株価収益率モデルは、モンテカルロ法で生成された長期累積収益率分布が、テイル検定基準テーブル（Quantile Calibration Criteria）で指定される %タイル点の値（累積収益率）を下回ることを要請している。

さらに、長期（40 年以上）のトロントの株式市場データ（TSE300）上において、一般的な対数正規モデル、ARCH、GARCH モデル等との AIC や SBC を用いた比較で、適合性が高いという事実を背景に、2 局面の期待収益率と標準偏差 $(\mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2)$ と局面間の推移確率 (p_{12}, p_{21}) の 6 変数からなる、局面転換対数正規モデル RSLN2（2-Regime Switching Log Normal）が、このテイル検定基準をクリアする代表的なモデルとして推奨されている。

$$\begin{aligned} \text{RSLN2: } \log S_t / S_{t-1} &\sim N(\mu_1, \sigma_1) \\ &\quad p_{12} \downarrow \uparrow p_{21} \\ &\quad N(\mu_2, \sigma_2) \end{aligned}$$

以上のようなカナダのフレームワークは、米国でも概ね踏襲される方向で検討が進んでおり、極めて珍しいケースではあるが、一種のグローバルスタンダードを形成する可能性もある。わが国においては、現時点では変額年金の最低保障に関する責任準備金規制は存在せず検討の過程にあるが（日本アクチュアリー会（2004）参照）、今後のプライシングにおいては相当程度意識しなければならないものであることは事実である。以下では日本の環境下でカナダ流のフレームワークを適用しようとした場合の技術的課題を概観する。

2.2. RSLN の相関構造の課題

RSLN はその形状からして資産間の相関構造を入れることが困難であることが想像できるが、前述の CIA Report でも、「全ての資産種類が同じ時期に同じ局面（regime）にあり、同時に転換（switch regimes）する」としたモデルの簡便化の工夫の跡は見られるものの、論理的に整合的な形で相関構造の導入には成功していない。

また、CTE 評価を想定した場合、分布のテイル部分では一般に通常の相関構造は成立しないため、EVT（極値理論）の視点での分析が必要になるが、変額年金では確率過程上での問題となるために EVT でよく知られた成果を適用することも難しい状況にある。

現実的な方策としては、予め指定された資産配分比で各資産のインデックスを合成して 1 変

<初期値に依存する推計値の例 (TOPIX1983.4~2003.3)>

	μ_1	σ_1	p_{12}	μ_2	σ_2	p_{21}	尤度
初期値①	1.25%	3.56%	3.45%	-2.20%	7.73%	39.57%	—
推定値①	0.27%	5.29%	0.92%	-2.93%	10.67%	15.88%	348.25
初期値②	2.00%	2.00%	15.00%	-1.00%	7.00%	5.00%	—
推定値②	1.70%	2.86%	13.02%	-0.43%	6.36%	4.41%	348.86

数化したデータから RSLN モデルを推計することが考えられる。この方法を標準化するには、様々な資産配分比に応じて RSLN モデルの推定が容易かつ安定的に行えることが前提となるが、特にわが国では以下に述べるような特殊事情が存在する。

2.3. RSLN のパラメータ推定の課題

前述の CIA Report では、モデルの開発に当たって最尤推定法（もしくは同様の統計手法）によるパラメータ推定を求めているが、TOPIX 上において最尤推定法で RSLN2 のパラメータ推定を行った場合、初期値によりソルバーの収束値（尤度の極大値）が異なるという解の不安定性があることが判明した。ちなみに、CIA Report を始めとする変額年金の実務に関する報告書を見る限りでは同様の事実の指摘はなく、実際 TSE300 や S&P500 上で試行したところでは初期値に依存する収束値（推計値）を見つけることはできなかった。

TOPIX 上でのモデル推定にあたっては、6 次元空間上で初期値を動かしながら最尤推定を繰り返すことは現実的とはいえないため、大域的な分析により優れた初期値の事前選択を行うことが必要になる。たとえばベイジアンアプローチにより、推定したい母数の事後分布密度の形状を求めることが考えられる。Kim - Nelson (1997) では、まさに Regime-Switching モデルの問題にマルコフ連鎖モンテカルロ法のひとつである Gibbs Sampler を用いている。ただし、前述の 2-2 との関連において、この手法を実務の標準として要請することは現時点では厳しい。

2.4. テイル検定基準の課題

<ブートストラップ法で再構成されたカナダのテイル検定基準>

累積期間	2.5%点	5 %点	10%点
1 年	0.75	0.83	0.90
5 年	0.76	0.86	1.00
10 年	0.92	1.08	1.32

(出所) Hardy (2003) 70 頁

カナダのテイル検定基準の作成プロセスは、詳細が開示されていないため忠実な再現は困難であるが、長期累積収益率の経験分布もとに、サンプル不足を補うために RSLN, SVLN (Stochastic Volatility Log Normal) 等のモデルで補外したとある。しかしながら、モデル検定基準という本来の意味からは、あらかじめモデルを仮定するパラメトリックなアプローチではなく、長期累積収益率の経験分布から出発したノンパラメトリックなアプローチのみで構成されることが望ましい。

一方で、CIA Report では、観測期間の重なりを排除した独立なサンプリングを強く求めるため、特に、5 年、10 年の累積収益率の経験サンプルは極めて少なくなってしまうという問題が生じ、上記のような作成プロセスにならざるをえなかったものと考えられる。

このため、Hardy (2003) ではブートストラップ法によるサンプリングを行ってノンパラメトリックな手法によるテイル検定基準の再構成を試みているが、時系列データ上でのブートス

トラップ法は一般的に確立した手法とはいえず, Hardy のとったサンプリング方法(開始時点をランダムにえらんだ 6 ヶ月ごとのまとまり)の合理性も含めての検証が必要と考えられる.

3. おわりに

最近の生保商品開発のトレンドから派生したアクチュアリーにとっての技術的課題と統計学の接点を簡単に概観したが, マルコフ連鎖モンテカルロ法を始めとする新しい統計手法について, アクチュアリーは殆ど馴染みがないため, 普及のためには今後の教育カリキュラムの見直しも必要となってこよう. また, 研究面でも統計学者との交流による新たな発展が期待されるところである.

参 考 文 献

- [1] Canadian Institute of Actuaries (2002), *Report of the CIA Task Force on Segregated Fund Investment Guarantees*. (カナダ・アクチュアリー会 Web サイトより入手可能)
- [2] 二見 隆 (1992), 生命保険数学 ('92 改訂版), 上下巻, 生命保険文化研究所.
- [3] Gerber and Shiu (1994), Option Pricing by Esscher Transforms, *Transactions of the Society of Actuaries*, **46**, 99-140.
- [4] Goford, Jeremy (1985). *The Control Cycle: Financial Control of a Life Assurance Company*, Paper presented to the Institute of Actuaries Students Society, Feb. 1985.
- [5] Hardy, M. (2001), A Regime Switching Model of Long Term Stock Returns, *North American Actuarial Journal*, **5**(2), 41-53.
- [6] Hardy, M. (2003), *Investment Guarantees*, John Wiley & Sons.
- [7] 金村慶二, 松山直樹他 (2002). パネルディスカッション: 生命保険商品とアクチュアリー, 日本アクチュアリー会会報, **56**, 第一分冊, 13-104.
- [8] Kim, C. J. and Nelson, C. R. (1997), *State-Space Models with Regime-Switching*, MIT Press.
- [9] 北川敏夫 (1968). 統計学の認識, 白揚社.
- [10] 日本アクチュアリー会 (1995). 年金数理 (改訂版), 日本アクチュアリー会.
- [11] 日本アクチュアリー会 (2000). 損保数理, 日本アクチュアリー会.
- [12] 日本アクチュアリー会 (2004). 変額年金保険等の最低保証リスクに係る責任準備金の積立等について, 日本アクチュアリー会会報別冊, 第 213 号.
- [13] Pokorski, R. J. and Nieder, Dirk (2003). Product Development and Pricing, (邦題) 医療技術の進歩と商品開発・料率算定, アクチュアリージャーナル, **51**, 1-27.

【関連ホームページ】

- 日本アクチュアリー会 : <http://www.actuaries.jp/>
- 米国アクチュアリー会 : <http://www.soa.org/>
- カナダ・アクチュアリー会 : <http://www.actuaries.ca/>
- 国際アクチュアリー会 : <http://www.actuaries.org/>