

## 研究論文

## 変額年金保険のリスク管理

松山直樹\*

2005年6月7日投稿

2005年7月19日受理

## 概要

近年急速に市場が拡大した最低保証付き変額年金のリスク管理の実務は、金融市場あるいは伝統的保険数理の方法論とは一線を画しており、内部管理面でも監督規制面でも固有の論点が数多く存在する。本稿では、内部管理と監督規制の両面から変額年金の最低保証のリスク管理の現状と課題を概観し、今後のあるべき方向性を考察する。特に、変額年金で特徴的な責任準備金規制について、世界に先駆けて確率論的手法を導入したカナダのCTEアプローチにスポットをあて、①CTEによるリスク評価の課題点と、②RSLN等の特徴的なモデリング手法を日本に適用した場合の統計的課題を指摘するとともに、2004年度に整備された日本の責任準備金規制の標準的手法を視野に、保険料計算原理の文脈の中でリスク中立評価を含むリスク調整済み期待値アプローチと対比する。変額年金ではモデルリスクが特に大きくなる懸念されるため、複数のアプローチを併用した保守的な判断が推奨される。

キーワード：最低保証，責任準備金，リスク調整済み期待値，CTE，RSLN

## 1 変額年金保険(VAGMB)の概要

少子高齢化の進展，個人可処分所得の低迷といった環境要因を背景に，わが国の生命保険業界は逆風下にあるが，その中でも銀行窓販という新販売チャネルの解禁に伴い近年著しい成長を見せている生命保険商品が変額年金保険(VA: Variable Annuity)である。この商品は投資商品と保険商品の二面性をもつが，投資商品としての特徴は，顧客資金は特別勘定や特別勘定を経由した保険会社の外部の投資信託で運用され，所定の範囲内で投信の選択・変更(スイッチング)の自由が顧客に与えられている点にある。保険商品としての特徴は，特別勘定運用成果に係わらず最低給付保証(GMB: Guaranteed Minimum Benefit)が付与されている点にある。GMBは，最低死亡給付金保証(GMDB: Guaranteed Minimum Death Benefit)または最低生存給付金保証(GMLB: Guaranteed Minimum Living Benefit)に大別され，GMLBには年金開始時の年金原資保証(GMMB)・年金年額保証(GMIB)，解約返戻金保証(GMWB)あるいはGMSB等のバリエーションがある。こういった，最低保証付きの変額年金保険は特にVAGMBと呼称される(以下ではこの呼称を用いる)。

日本で売られているVAGMBの一般的な商品形態は保険料一時払いであり，販売・事務費及びGMBの保証料に相当する一定率の保険関係費用(概ね年1%~2%台後半)や運用関係費用(信託報酬等)が顧客の特別勘定資産(投信残高)から毎日控除される。そして，最低保証が有効となる場合は，今まで諸費用で控除された部分も含めて最低保証額まで補填されることになるため，GMBは諸費用相当の連続的な配当支払いのある原資産のオプションになっ

明治安田生命 企画部 〒100-0005 千代田区丸の内2-1-1 email: naoki\_matsuyama@meijiyasuda.co.jp

ている。加えて、本質的な意味で保険料率に相当する保険関係費用率は、伝統的な個人生命保険商品の定石とは異なり年齢・性別・体況を問わず一定とされていることが多い。

上記の商品特性が、生命保険会社のリスク管理に多くの課題をもたらすことは容易に想像がつく。たとえば、保険会社側がリスクを事後的に制御できない外部の投信を原資産とする長期オプションのアンダーライトや(対応する先物・オプション等の市場デリバティブがない投信も多い)、特別勘定残高比例の GMB 保証料収入構造により、GMB リスクが上昇するほど(インザマネーの程度が深くなるほど) GMB 保証料収入が減少するポジティブ・フィードバック構造をもつことなどである。このことは、前提条件によっては、GMB リスクを保証料で吸収する解がない可能性があることも示唆している。

このような VAGMB の特徴は、主に米国でヒットした商品の形態に習ったものであるが、本家である米国において VAGMB の商品構造の進化を支えたものは、GMB に関する決定論的で比較的寛容な規制(例えば GMLB に関しては当該最低保証料を責任準備金として積み立てればよい(AG39))と、再保険会社によるリスクの引き受け(受再)であった。このうち再保険会社によるリスクの引き受けは、米国の株安を受けて 2002 年に米国の再保険大手の CIGNA 社が GMDB に関する受再で 7 億 2 千万ドルの損失計上を行ったことをひとつの契機として事実上機能停止に陥った。このため、保険会社は GMB リスクを自前でヘッジする必要性にせまられているが、前述のとおり必ずしもヘッジを前提にしていない商品であるため様々な課題を抱えている。また、GMB に係る責任準備金や必要資本規制は確率論的な手法を採用する方向に向かっており、先行したカナダに続いて、日本(2005 年度～)や米国でも確率論的手法が導入されることとなっている。

以下では、主に実務の視点から、現行の VAGMB で特徴的なリスク管理上の考え方・論点について見ていくこととしたい。

## 2 保険リスク管理上の論点

伝統的な保険(死亡)リスク管理の視点だけから見ても VAGMB は十分に特徴的である。伝統的な生命保険数理では死亡リスクを生命表に従う決定論的なモデルとして取り扱ってきたが、これは各被保険者の死亡事象が独立としたとき被保険者数を増やすことで大数の法則が働くことを前提としている。VAGMB の実務も、死亡については生命表を用いた伝統的な生命保険数理の文法に従うものになっている。

しかしながら、VAGMB の場合は、特別勘定を原資産とするオプションのペイオフに対応する投資リスク( $Y$ )が共通に関与するため、各被保険者のリスクの独立性は失われ、大数の法則は機能しない。実際、各被保険者の死亡事象を表す 0 または 1 の値をとる確率変数(独立かつ同一の分布  $X_i (n \geq i \geq 1)$ ) とするとき、GMB の給付に関する期待値、分散は次式で与えられる。

$$E\left[Y \cdot \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}\right] = E[X] \cdot E[Y]$$
$$Var\left[Y \cdot \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}\right] = E[Y^2] \frac{Var[X]}{n} + (E[X])^2 \cdot Var[Y]$$

分散の式から、被保険者数を増やすことでは制御しきれないリスク  $(E[X])^2 \cdot Var[Y]$  が残ることがわかる(同式中の  $Y$  の分散は後述のヘッジによってある程度小さくはできるが限界がある)。

このことは、VAGMB においては、伝統的商品の保険リスク管理よりも慎重な態度、より安全マージンを見込んだプライシングや商品設計の必要性を示唆している。しかしながら、現実の VAGMB 商品は、「年齢・性別分布を仮定

した一律の最低保証料率」や、日本の銀行窓口に特有の「職業のみによる（加入時の健康状態を問わない）危険選択」など、伝統的商品にはない、やや突出した保険リスクを許容するものとなっている。実際、60歳台と80歳台では死亡率で10倍近い開きがあることから、年齢・性別分布等の仮定に起因するミスプライシングのリスクだけでも、後述する金融リスクに比べて決して小さいとはいえない。

### 3 金融リスク管理上の論点

金融リスク管理の視点から VAGMB を特徴付けるものは、GMB の原資産となる特別勘定内にリスク制御の仕組みを持たず、一般勘定だけで GMB オプションのリスクを包括的に引き受けている構造である。加えて、このオプションの原資産である特別勘定の投資信託が契約者の意思によって一定範囲内で随時入れ替え可能であることや、死亡・解約といった非金融的要素の存在や保険期間の超長期性が、GMB の金融リスクのヘッジを難しいものになっている。GMB オプションの評価は典型的な非完備市場問題のひとつであり、完備市場の場合と異なり現時点ではリスク評価についての標準的手法が確立しているとはいえない。

そのような中、最近では、非完備市場におけるリスク評価の道具として伝統的な「保険料計算原理」が注目されている。

#### 3.1 保険料計算原理の再認識

古典的な生命保険数理における純保険料は、期待値における「収支相等」で算出されるため、予定死亡率や予定利率といった基礎率の推定が高い精度で行われていると仮定すると、概ね 50% の確率で保険会社は赤字になり保険は事業として成立しえない。実際には、期待値を取る前に基礎率に安全マージンを織り込む、あるいは最終的な保険料に安全マージンを織り込む「保守性の原則」が必要とされる。この安全マージンの織り込みかたを定式化したものが伝統的な「保険料計算原理」である。良く知られている保険料計算原理には以下のようなものがある。

- a. 期待値原理  $E[X] + \alpha \cdot E[X]$
- b. 分散原理  $E[X] + \alpha \cdot \text{Var}[X]$
- c. 標準偏差原理  $E[X] + \alpha \cdot \sqrt{\text{Var}[X]}$
- d. 分位原理  $\inf\{x \in R : F(x) \geq 1 - \alpha\}$ ,  $F$  は分布関数,  $1 \geq \alpha \geq 0$
- e. エッシャー原理  $E[X \cdot \exp(\alpha X)] / E[\exp(\alpha X)]$

伝統的な生命保険商品では、基礎率への期待値原理、標準偏差原理の適用が一般的であったが、近年、ファイナンスの分野では、非完備市場におけるリスク評価の問題においてエッシャー原理・エッシャー変換が注目されるようになった。実数  $h$  に対応する次のような積率母関数  $M(z) = E[\exp(z \cdot X)]$  の変換をエッシャー変換と呼ぶ。

$$\frac{M(z+h)}{M(h)}$$

エッシャー原理の式 e は、上記のエッシャー変換を施した後の確率分布での期待値として得られる。また、エッシャー原理は、ある種の効用関数のもとでのリスクの均衡価格として意味付けがなされている (Bühlmann (1980))。

上述のエッシャー変換は積率母関数が求まらない場合は有効でないが、最近では確率分布を直接変換する手法が注目されており、実数  $\lambda$  に対応する次のような確率分布関数  $F(x)$  の変換を Wang 変換と呼ぶ (Wang (2002))。

$$\Phi(\Phi^{-1}(F(x)) - \lambda)$$

(ここで  $\Phi$  は標準正規分布関数、 $\Phi^{-1}$  はその逆関数)

Wang 変換では、シミュレーションでしか表現できない確率分布も対象にできる点で、より広い応用分野が期待されている。また、エッシャー原理と同じように、Wang 変換後の確率分布の期待値はリスクの均衡価格としての意味付けが可能で、実数  $\lambda$  に対応して次式で与えられる。

$$E \left[ \frac{X \cdot \Phi(\Phi^{-1}(F(X)) - \lambda)}{\Phi(\Phi^{-1}(F(X)))} \right]$$

このように確率を変換したリスク調整済み期待値アプローチは現代的な期待値原理とみなすこともできる。後述する GMB の責任準備金評価に際して、日本ではリスク調整済み期待値アプローチが標準的方式として採用され、北米では分位原理アプローチの一種が採用されている。

## 3.2 ヘッジとリスク評価

現実に GMB のリスクをいかに評価するかということは、ヘッジに対する考え方とも密接に関係している。GMB のヘッジの目的としては、大まかに、(a)GMB の経済的価値のヘッジ、(b)GMB に係る資本の枯渇リスクのヘッジ、(c)GMB の会計的価値のヘッジ、の 3 パターンが想定される。

### 3.2.1 経済価値のヘッジ

経済価値のヘッジは、デリバティブによる経済価値の複製を意図するものであり、最も標準的なヘッジの考え方である。経済価値の変動リスクを、原資産価格に対する感応度である Delta や、原資産ボラティリティに対する感応度である Vega、金利に対する感応度である Rho といったリスクパラメータ (Greeks と呼ばれる) に分解して把握する。デリバティブも、Delta は主に先物、Vega はオプション、Rho はスワップなどが用いられ、先物等を使った動態ヘッジと、長期のオプション等の買いもちによる静態ヘッジ、あるいはそれらの混合が考えられる。

ここでいう経済価値は、市場でのヘッジ手段と平仄のとれたリスク中立期待値として (Q 測度) 評価したものを意味し、現代的な期待値原理に対応している。GMB のキャッシュフローを市場で完全に複製することは不可能であるため、経済価値は GMB リスクを完全にカバーするものではないが、GMB オプションの行使日に近づくほど経済価値は GMB リスクの真の価値に接近する。さらに、ヘッジのしやすさを意図した簡便化として、GMB の保証料収入に関するリスクを無視して、GMB の給付に関するリスクのみをヘッジ対象とすることもある。

通常、経済価値のヘッジでは会計とのミスマッチは不可避である。ヘッジポジションは全て時価評価されるのに対し、会計上の GMB の (負債) 価値は必ずしも時価評価 (経済価値評価) されないためである。しかしながら、米国の一般目的会計 (GAAP) では、GMMB や GMSB は金融商品とみなして経済価値評価を求めており (FAS133)、会計とのミスマッチがない。また、日本で導入予定の GMB の責任準備金の標準的方式は、モデルパラメータが固定されているものの、足元では経済価値に近く、会計とのミスマッチが比較的小さいものとなっている。

### 3.2.2 資本の枯渇リスクのヘッジ

株価の大幅下落等のストレスシナリオ下における GMB の損失によって GMB に対応するリスク資本が枯渇しないこと、すなわちストレスシナリオ下でのバランスシートの防衛をヘッジ目的とする考え方である。ストレスシナリオに対応するアウトオブザマネーのプットオプションの買い持ちによる静態ヘッジであれば、比較的ローコストで済むというメリットがある。

ここでのリスク評価はヘッジの残余リスクを評価することが求められるが、現実確率 (P 測度) 下のシミュレー

ションで想定最大損失額を評価する分位原理アプローチが直感的にも最も馴染みやすい。また、リスク調整済み期待値アプローチによる場合には、リスク中立よりも厳格なリスク調整が必要である。

なお、この場合も、会計とのミスマッチは不可避で、表面的にはデリバティブだけを投機目的で保有する場合と区別できない状況になる。

### 3.2.3 会計的価値のヘッジ

GMB の会計的（負債）価値（監督目的会計では責任準備金）の変動、すなわち損益計算書（P/L）に現れるリスクをヘッジしたいという経営の切実なニーズが存在する。当然のことながらこれが実現できれば会計とのミスマッチはない。

GMB の経済価値は、将来の給付と保証料収入のネットポジションであることから原理的に正または負の値をとり得る。一方で責任準備金は経済価値と異なり制度上負の値を取らないことから、責任準備金に対応する経済価値の符号の反転時にジャンプが生ずることになるため、デリバティブでの複製は極めて困難になる。また、そもそも責任準備金とデリバティブの評価の確率測度が一般には一致しないため符号の問題がなくても、デリバティブによる責任準備金の複製は困難である。

上記の障害が回避され会計的価値のヘッジがワークする稀有な例が、前述の米国の一般目的会計(GAAP)のFAS133によるGMBの経済価値評価である。しかしながら、監督目的会計(SAP)の責任準備金では上記の障害が存在している(日本では監督目的会計と一般目的会計が一致している)。

## 3.3 ヘッジの限界

GMBの保険期間に対応するような長期のオプション市場は極めて薄く、GMBの対象となる全ての原資産（投信）に対して先物やオプションが利用できるわけではない。また、オプションの供給や会計とのミスマッチの問題が払拭されたにせよ、ヘッジには誤差がつきものであり、モデル・エラーやトラック・エラーは不可避であるが、特にGMBの場合は解約率モデルの影響が大きいに注意が必要である。実務の経済価値評価や責任準備金評価では、解約率は静態的もしくは動的なモデル（最低保証水準と資産価格の関係や解約控除期間・満期までの期間等で解約率が意的に決まるもので、契約者の裁定行動は仮定しない）として組み込まれることが多いが、解約率の実績と見通しのズレにより、保険期間に対応するような長期間では大きなオーバー・ヘッジ、アンダー・ヘッジが発生しうる。このため、解約率モデルの信頼性が十分でない場合は、ポジション調整にコストがかさむ長期のオプションを用いた静態ヘッジは経済的ではない。

## 4 責任準備金等の監督規制における論点

前章でヘッジに関する論点にふれたが、ヘッジをしない場合にはどれだけの資金準備が必要かという論点も存在する。仮にGMBが単純でフルヘッジ可能なものであったとしても、経済価値（リスク中立期待値）はフルヘッジする場合の複製ポートフォリオの価値であるから、ヘッジしない場合は、経済価値の将来変動リスクを反映したマージンの上乗せが必要になる。その意味で経済価値は必要な資金準備額の一つの下限を与えている。

資金準備の内訳は、会計的には責任準備金と広義自己資本に分かれる。責任準備金は負債に計上され積み立てを強制されるもので、責任準備金の増加は費用認識され、責任準備金を越えるリスクは広義自己資本でカバーできていることを求められる。リスクのうち、どこまでを責任準備金でカバーし、どこから広義自己資本でカバーすべき

かについての一般的法則はないが、負債計上額が事後的なヘッジ方針に影響されると利益操作の余地が生まれるため、責任準備金の理論的なメルクマールの一例としては、最も効率的なヘッジ戦略をとった場合の必要資金額とすることが考えられる。

GMBのようなフルヘッジできないリスクに対する最も効率的なヘッジ戦略は何かという問題は、非完備市場におけるリスク評価問題として現代ファイナンス理論における重要課題の一つに帰着するが、現時点では決定的な解決策は見出されていない。

しかしながら、理論的な解決を待つことなく、すでに、GMBに関する責任準備金や最低要求資本に関する確率論的な規制は実用段階にある。以下では、現実の規制で用いられている考え方について具体的に見ていくことにする。

#### 4.1 CTE アプローチ

確率論的アプローチで先行したカナダでは、既に分位原理の一種であるCTE(Conditional Tail Expectation)を用いた規制が導入されている(カナダアクチュアリー会のレポート SFTF2002 に詳しい)。SFTF2002 では、CTE 採用の理由として、従来商品の責任準備金評価手法との平仄がとれるP測度評価であること、非完備市場問題であるためリスク中立評価が適さないこと、分布のテイル部分のリスクが大きいGMBリスク評価に適したリスク指標であること、等が挙げられている。

CTEはT-VaR(Tail Value at Risk)、C-VaR(Conditional Value at Risk)、あるいは期待ショートフォールともよばれ、VaRとの対比において近年注目されているリスク指標である。具体的には、信頼水準 $\alpha(1 \geq \alpha \geq 0)$ に対して、

$$CTE(\alpha) = E[X | VaR(\alpha) \geq X], \quad VaR(\alpha) = \inf\{x \in R : F(x) \geq 1 - \alpha\}$$

で与えられる。

カナダでは、特別勘定の資産価格変動のモンテカルロシミュレーションによって最低保証に関する将来各年度の収支の現在価値の分布を求め、CTEの信頼水準 $\alpha$ として責任準備金については60~80%、必要資本要件(MCCSR)については95%を要請することとしている。また、米国でも、カナダの確率論的な規制を手本に、責任準備金とRBC規制(自己資本規制)の見直しが進められている。

CTEは、金融リスク管理手法として最もポピュラーなVaRの弱点である信頼区間外のリスクの規模を把握できないという問題点を克服し、Artzner et al. (1999)で提唱された以下のような望ましいリスク指標の性質(Coherent Risk Measureの要件)を満たすものとして知られている。

- $\rho: L^\infty \rightarrow R$  : Risk Measure,  $X \in L^\infty(\Omega, F, P)$
- 1)  $X_1 \geq X_2 \rightarrow \rho(X_1) \leq \rho(X_2)$  : 単調性 monotonicity
  - 2)  $\rho(X_1 + X_2) \leq \rho(X_1) + \rho(X_2)$  : 劣加法性 subadditivity
  - 3)  $\rho(\lambda X) = \lambda \cdot \rho(X), \lambda \geq 0$  : 正の同次性 positive homogeneity
  - 4)  $\rho(X + C) = \rho(X) + C, \forall$  定数  $C$  : 平行移動不変性 transition invariant

上述のように、CTEは優れたリスク指標であるが、計算負荷の大きさもあって実務への適用から日が浅く、いわゆる「使用上の注意」は一般的とはなっていないため、以下でCTEの実用上の留意点を具体的に見ていくことにする。

4.1.1 CTE の理論的留意点

最近の研究 (Artzner et al. (2002)) では、CTE を多期間のリスク指標として見た場合に「安定性」に関する潜在的弱点があることも明らかになってきている (後述のリスク調整済み期待値では該当しない) が、GMB の責任準備金問題は、正に多期間リスク指標としての CTE の活用には他ならない。

例えば、以下の例は時点  $t=2$  のみで GMB のペイオフが発生するツリーであるが、時点  $t=0$  で CTE(99%) 評価したリスク (=9.375) が、時点  $t=1$  で CTE(99%) 評価したリスク (=9) と整合的になっていない。

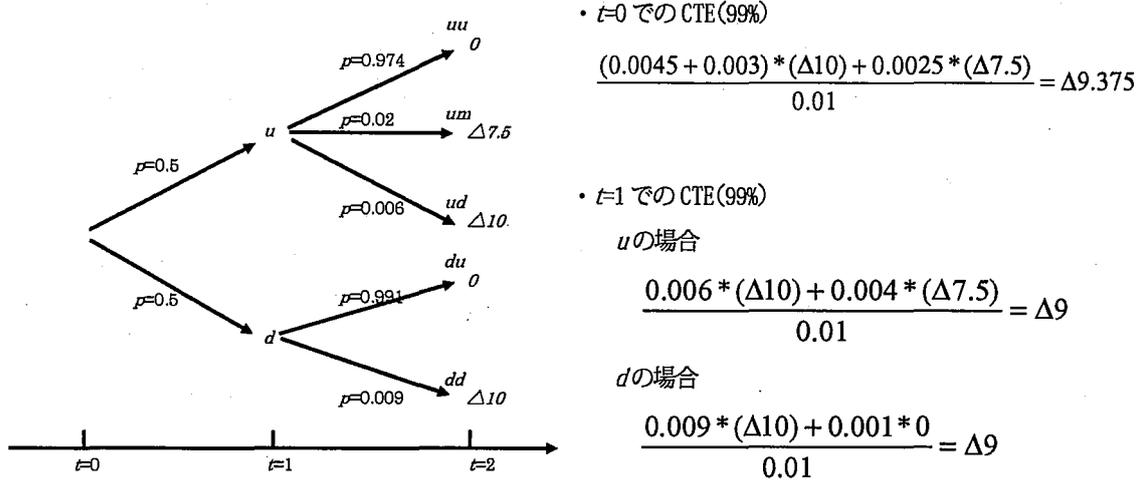


図 1. CTE が時系列で整合的とならない例(Artzner et al. (2002)参照)

この例のようなペイオフ構造は必ずしも一般的とはいえないが、複雑な最低保証のついた VAGMB を販売した場合や、複雑なヘッジポジションをとった場合には、こういった理論的懸念が顕在化する可能性は排除できない。また、CTE は、均衡理論や無裁定理論といった価格決定理論との接点をもたないことから、責任準備金を負債の価値と考えた場合、客観的な意味付けが困難という論点もある。

4.1.2 CTE の技術的留意点

a 全体方式と個別方式

CTE の計算にあたっては、CTE(X%) に対応するテイルシナリオを保有契約全体の合算キャッシュフローから選択する全体方式と、個別契約ごとに選択する個別方式が考えられるが、カナダでは全体方式が標準となっている。個別方式はより保守的だが、統計量としての意味は全体方式の方が明瞭である。

全体方式の場合、個別契約単位では必ずしも CTE(X%) になるテイルシナリオが選ばれているとは限らないことに注意が必要である。このことは、個別契約単位でみた CTE が、責任準備金の計算単位となる同じ保険群団に属する他契約の状態によって (たとえば販売方針の変更によって) 変化することを意味する。

この結果、全体方式の場合、契約異動 (解約・新契約) の CTE に与える影響が従来商品と異なり非線形で予測しにくくなることから、リスクコントロール上も注意が必要である。

全体方式と個別方式の差異は、保険期間 (年金据置期間) のばらつきと信頼水準の高さに起因するところが多い。実際、元本保証の GMMB+GMDB 商品で「30 歳加入男性、保険期間 (年金据置期間) 20 年」と「80 歳加入男性、(同) 10 年」の 2 契約があったとして、「個別方式」と「全体方式」の CTE により、契約直後の GMB リスクを試算・比較してみると以下ようになる。

表1. CTEの個別方式と全体方式の試算例<sup>1</sup>

	30歳20年	80歳10年	個別方式	全体方式	個別-全体
CTE(0%)	130.33	350.35	480.69	480.69	0.00
CTE(60%)	325.52	854.58	1,180.09	1,178.31	1.78
CTE(80%)	647.43	1,489.18	2,136.61	2,105.90	30.71
CTE(90%)	1,279.36	2,225.84	3,505.20	3,297.79	207.42
CTE(95%)	2,463.50	2,921.62	5,385.11	4,605.42	779.69
CTE(99%)	4,504.52	4,128.64	8,633.16	7,341.02	1,292.14

b ヘッジ効果の反映

カナダでは、監督当局が認定するヘッジ計画を基に、シミュレーションに基づくヘッジ効果の最大5割までCTEで算出したTGRを削減することを認めている。しかしながらヘッジポジションはQ測度で価値評価されるため、P測度で評価したCTEをヘッジ効果で削減することは、異なる確率測度の混用を意味し、不自然なヘッジ行動を誘発しないよう慎重な取り扱いが必要である。

特にCTEの計算では一定水準まではVaRの右側のリスクは無視されるため、一定水準以内でのVaRの右側でのデリバティブでの（ヘッジではない）リスクテイクが選好されることになる。

以下の具体例では、GMB(最低保証額=9)のリスクを0.5単位のPut買い(行使価格=9)でヘッジしたポートフォリオAと、Aに加えて0.5単位のCall売り(行使価格=9)をしたポートフォリオBを考える(Bのヘッジは実質的にフォワード売りと同等)。CTE(75%)では、BのCall売りのリスクは評価されず、AよりBの方が、プレミアム収入分リスクが小さいと評価される。さらに、ヘッジとはいえないCall売りだけでも、GMB+Call売りのCTE(75%)はC-2となることから、GMB(CTE(75%)=-2)に対しリスク削減効果が認められる。

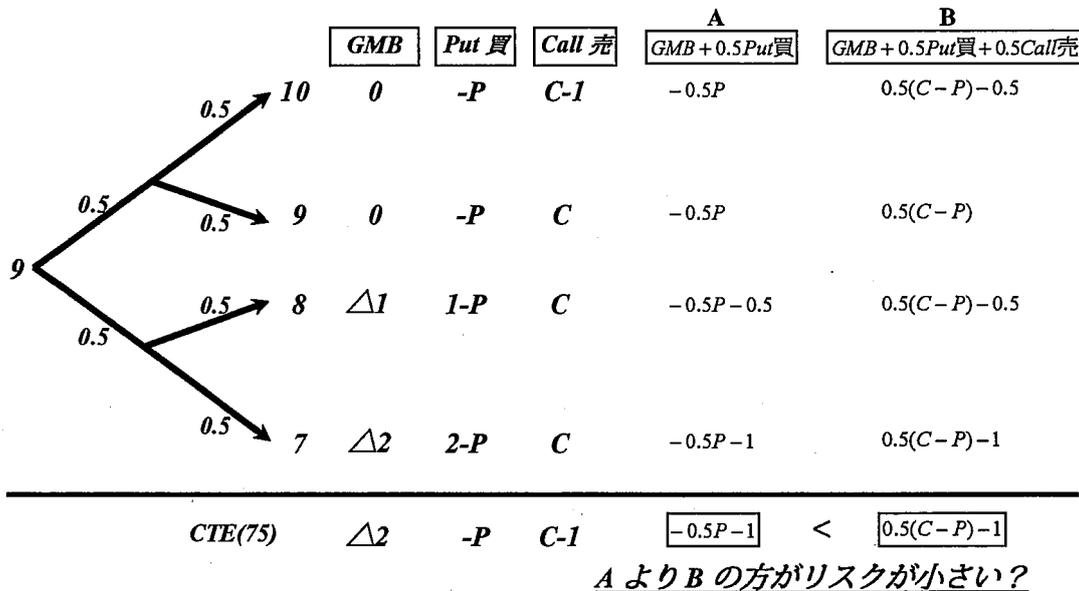


図2. CTEがVaRの右側のリスクを無視する例

<sup>1</sup>資産モデルはカナダの実務に倣い、TOPIX(1964年12月~2004年2月)から推定したRSLN2(後述)を使用。各契約の一時払い保険料を10000とし、簡単のため保険関係費用と解約率は0とした。

上記のリスク評価は通常のリスクに対する考え方と整合的でないことはいままでもないが、モデルの前提条件に大きく依存しており、原資産の価格分布が1割上方シフト（最大値が10→11）しただけで、一転してCall 売りが最悪の判断と評価されるようなデリケートな評価となっていることにも注意が必要である。

#### 4.1.3 CTE の実用にあたって

上記のような留意点を踏まえた場合、GMB に関する実用範囲内で問題を生じないことが立証できないかぎり CTE のみに依存したリスク管理は推奨できないが、デリバティブと平仄のとれる経済価値（リスク中立期待値）評価を併用することによってミスリード懸念は実質的に回避できるものと考えられる。

また、ヘッジ効果で CTE を削減する場合も、いくらヘッジしても GMB の経済価値は不変だから、どれだけヘッジ効果を見込んでも経済価値を割り込むことは出来ないという原則の確認が必要である。

## 4.2 リスク調整済み期待値アプローチ

GMB に係る責任準備金評価の第二の方法としては、保険料計算原理でふれた現代的な期待値原理が考えられる。日本の GMB に関する責任準備金規制（2005 年度～）は、日本アクチュアリー会が 2003 年 12 月に取りまとめた報告書「変額年金保険等の最低保証リスクに係る責任準備金等の積み立てについて」をベースとして、リスク調整済み期待値アプローチを標準的手法としている。

最もポピュラーな設定を採用し、特別勘定資産の収益率が対数正規分布  $LN(\mu, \sigma)$  に従うものとして<sup>2</sup>、リスク調整として Wang 変換を適用すると、実数  $\lambda$  に対し（ここでは負債評価なので  $\lambda$  は負であることに注意）、以下のよう期待収益率のシフトが対応する。

$$\begin{aligned} F(x) = \Phi\left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right) &\rightarrow F^w(x) = \Phi\left(\Phi^{-1}\left(\Phi\left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right)\right) - \lambda\right) \\ &= \Phi\left(\frac{\log x - \mu - \lambda\sigma}{\sigma}\right) \\ \therefore LN(\mu, \sigma) &\rightarrow LN(\mu + \lambda\sigma, \sigma) \end{aligned}$$

ここで、変換後の期待収益率  $\mu + \lambda\sigma$  を改めて  $\mu$  とおき、評価日年齢  $x$  歳、評価日時点の特別勘定残高を  $S_0$ 、残存保険期間  $m$  年、割引率（リスクフリーレート） $r$ 、特別勘定からの控除費用率  $\varepsilon$ （このうち最低保証料部分を  $\varepsilon_1$ ）、特別勘定の最低保証額を  $X$  とすると、GMB は控除費用率相当の配当支払いのある原資産のオプションに相当し、以下のようにクローズドフォームで表現可能となる。

給付現価については、(1) 最低死亡保証部分、(2) 最低満期（年金原資）保証部分はそれぞれ次式で与えられる。

$$\sum_{t=0}^{m-1} \frac{d_{x+t}}{l_x} \cdot A_{t+1/2} \quad (1)$$

$$\frac{l_{x+m}}{l_x} \cdot A_m \quad (2)$$

ただし、 $A_T = e^{-rT} \cdot \{X \cdot N(-d_2) - S_0 \cdot e^{(\mu-\varepsilon)T} \cdot N(-d_1)\}$

<sup>2</sup>対数正規分布では積率母関数が存在しない。

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + (\mu - \varepsilon + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}, \quad d_2 = \frac{\ln(S_0/X) + (\mu - \varepsilon - \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}$$

収入現価については、次式で与えられる。

$$\sum_{i=0}^{m-1} \frac{d_{x+i}}{l_x} E(\bar{a}_{i+1/2}) + \frac{l_{x+m}}{l_x} E(\bar{a}_m), \quad \text{ただし, } E(\bar{a}_T) = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon + r - \mu} S_0 \{1 - e^{-(\varepsilon+r-\mu)T}\}$$

責任準備金は上記の算式を用いて、「給付現価-収入現価」で与えられる。

日本のGMBに関する責任準備金規制の標準的方式は、概ねリスク中立期待値に相当するものを標準責任準備金とし（上式で $\mu = r$ とする）、別途決定論的に定められた水準の危険準備金とソルベンシーマージン（広義自己資本）の積み立てを求めるものとなっている。なお、責任準備金を越えるリスクを、責任準備金と同様にリスク調整済み期待値原理で評価しようとする場合には、 $\mu < r$ となるようなリスク調整が必要である。

リスク調整済み期待値アプローチは、上記のようなBlack Scholes型の設定を用いた場合にはクローズドフォームを得やすいというメリットがあるが、対数正規分布に従うという前提は、後述するRSLNのようなファットテイルを持たず、特に長期の資産収益率を扱うGMBの評価に相応しいものあるとは考えにくい。しかしながら、超長期オプションのインプライド・ボラティリティーを用いて、マーケットの価格情報を反映することによって、Black Scholes型モデルの現実的修正が可能になるものと考えられる。

## 5 モデリングに関する論点

カナダのCTEアプローチではモデリングに関しても特徴的なセットアップがみられる。資産収益率モデル選択に当たっては特に株式のテイルリスクの再現性を重視し、RSLN2（二局面転換対数正規）モデルを推奨する一方で、株式収益率モデルに長期の経験累積収益率分布を元に作成したテイル検定基準の充足を求めている。また、CTEアプローチでは解約率のモデリングが重要な役割を担っている。

### 5.1 RSLN について

カナダのCTEアプローチでは、モデリングに際し簡易な関数でテイルを表現できることや、北米の株式市場への適合性の高さを理由に、RSLN2を推奨している。RSLN2は二局面の局面転換対数正規モデルであり、2局面を表す2ペアの平均・標準偏差と、2局面の間の転換確率 $p_{1,2} \cdot p_{2,1}$ の6つの変数で表現される。

$$\text{Log}(S_t/S_{t-1}) \sim N(\mu_1, \sigma_1)$$

$$p_{1,2} \downarrow \quad \uparrow p_{2,1}$$

$$N(\mu_2, \sigma_2)$$

ここで、局面1または2にいる確率 $\pi_1$ 、 $\pi_2$ は $\pi_1 = p_{2,1}/(p_{1,2} + p_{2,1})$ 、 $\pi_2 = p_{1,2}/(p_{1,2} + p_{2,1})$ となる。

ファットテイルを持つモデルとしては自己回帰モデルがよく知られているが、TOPIX上でモデル推定を行いAIC（赤池情報量基準）とSBC（シュワルツベイズ基準）のスコアで適合性を評価して基本的な自己回帰モデルと比較すると、期間40年以下ではGARCH(1,1)の適合性が高く、期間30年以上ではRSLN3やRSLN2の適合性が高いという結果になった。

表2. 各種モデルの適合性比較 (TOPIX)

モデル	50年 (1953/4~2003/3)			40年 (1963/4~2003/3)			30年 (1973/4~2003/3)			20年 (1983/4~2003/3)			10年 (1993/4~2003/3)		
	logL	SBC	AIC												
LN	935.5	929.1	933.5	750.9	744.8	748.9	558.8	552.9	556.8	342.3	336.8	340.3	183.7	178.9	181.7
AR(1)	936.5	926.9	933.5	752.3	743.0	749.3	559.2	550.4	556.2	342.5	334.3	339.5	183.9	176.7	180.9
ARCH(1)	939.2	929.6	936.2	755.8	746.5	752.8	565.6	556.8	562.6	345.0	336.8	342.0	183.9	176.7	180.9
ARCH(2)	948.5	935.7	944.5	761.6	749.3	757.6	572.6	560.8	568.6	346.4	335.5	342.4	184.0	174.5	180.0
GARCH(1, 1)	956.6	943.8	952.6	774.0	761.6	770.0	582.8	571.1	578.8	347.8	336.9	343.3	184.5	174.9	180.5
GARCH(2, 2)	958.0	938.8	952.0	774.3	755.8	768.3	584.3	566.6	578.3	349.1	332.7	343.1	190.0	175.7	184.0
RSLN2	964.2	945.0	958.2	779.3	760.8	773.3	588.3	570.6	582.3	348.3	331.8	342.3	184.5	170.2	178.5
RSLN3	974.0	935.6	962.0	786.7	749.7	774.7	594.9	559.6	582.9	353.7	320.9	341.7	187.1	158.5	175.1

しかしながら、北米で推奨されているような30年40年という期間での観測は、日本経済では、高度経済成長期を含み、大きな構造変化を経験していることになるためモデルの推計に相当であるとは考えにくい。

より観測期間を短くした場合は、観測期間によるRSLN2のパラメータの変化は大きなものとなるが、TOPIXの場合は、滞留頻度の高い安定局面（期待収益率が高い局面1が安定的である場合は $p_{1,2} < p_{2,1}$ ）が観測期間によって入れ替わるという、TSE300では見られない変化も観測された。

表3. RSLN2パラメータの観測期間による安定性比較 (TOPIXとTSE300)

指標	TOPIX				TSE			
	期間1	期間2	期間3	期間4	期間1	期間2	期間3	期間4
観測期間	1993/4 ~2003/3	1983/4 ~1993/3	1973/4 ~1983/3	1963/4 ~1973/3	1990/1 ~1999/12	1980/1 ~1989/12	1970/1 ~1979/12	1960/1 ~1969/12
局面1の安定性	×	×	○	○	○	○	○	○
$\mu_1$	2.78%	1.63%	0.80%	1.37%	1.10%	1.65%	1.61%	1.52%
$\sigma_1$	4.48%	2.81%	2.15%	4.13%	3.67%	3.60%	3.13%	2.75%
$p_{12}$	18.45%	7.98%	6.55%	2.53%	0.85%	4.08%	17.60%	2.96%
$\mu_2$	-1.55%	0.07%	-0.01%	-13.99%	-22.45%	-2.61%	-0.09%	-5.14%
$\sigma_2$	4.95%	7.55%	4.55%	0.96%	0.10%	9.12%	6.22%	8.12%
$p_{21}$	4.97%	5.41%	9.59%	99.99%	99.99%	16.55%	22.26%	70.73%
$\pi_1$	21.23%	40.41%	59.40%	97.53%	99.16%	80.24%	55.84%	89.70%
$\pi_2$	78.77%	59.59%	40.60%	2.47%	0.84%	19.76%	44.16%	10.30%
尤度	184.50	172.71	242.48	201.14	222.76	194.91	195.83	237.42

また、TOPIXの過去20年の観測では、最尤法による推定結果が初期値に依存し、殆ど同じ尤度にもかかわらず全く異なる分布を推計してしまう現象も見られた。

表4. RSLN2の推定が初期値に依存する例 (TOPIX 1983.4~2003.3)

	推計1		推計2	
	初期値	推計値	初期値	推計値
$\mu_1$	1.25%	0.27%	2.00%	1.70%
$\sigma_1$	3.56%	5.29%	2.00%	2.86%
$p_{12}$	3.45%	0.92%	15.00%	13.02%
$\mu_2$	-2.20%	-2.93%	-1.00%	-0.43%
$\sigma_2$	7.73%	10.67%	7.00%	6.36%
$p_{21}$	39.57%	15.88%	5.00%	4.41%
$\pi_1$		94.52%		25.28%
$\pi_2$		5.48%		74.72%
尤度		348.25		348.86

このことは、単純な最尤法だけではTOPIX上でのRSLN2の推計作業を標準化できない可能性を示唆しており、他

の手法、たとえば Gibbs Sampler のような MCMC 法の活用も視野に入れる必要があるものと考えられる。加えて、構造的に RSLN 2 通りの相関構造推計には困難が予想されるが、SFTF2002 では、通常の相関係数を用いながら、全資産の局面転換の同時性を仮定するなど、統計的にやや荒っぽい相関構造モデルが示されている。また、統計学的に妥当な方法論で相関構造の推計ができたとしても、それがテイル部分で成立する保証はないことにも注意が必要である。

## 5.2 テイル検定基準について

カナダの CTE アプローチでは、上記のような RSLN2 を推奨する一方で、他のモデルも排除しないとして、株式についてのみテイル検定基準（キャリブレーション・ポイント）を設けている。これは、CTE 計算用の株式収益率モデルが十分なテイルをもつかどうかの判定基準であって、たとえば、下表では、5 年累積収益率の下方 5% 点は 0.85 以下であることが求められる。

表 5：カナダのテイル検定基準

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

このテイル検定基準は、TSE300（1956.1～1999.12）から重ならない長期累積収益率をサンプリングすることから出発しているが、サンプル数が不足するため RSLN を含むいくつかのモデルで補外されたものとされている。しかしながら、不特定のパラメトリックなモデルのテイルが現実的に即しているかどうかの判定基準であるとするれば、純粋にノンパラメトリックな方法論によって構成されるべきである。ノンパラメトリック統計の方法論では必ずしも重なりを排除したサンプリングに拘る必要はなく、Hardy（2003）は 6 ヶ月ごとのブロックを用いたブートストラップ法によってカナダのテイル検定基準を検証している。日本でも国友・一場（2004）により、ブートストラップ法による TOPIX の累積収益率分布の推定の研究がなされている。このように、テイル検定基準は統計学的にも興味ある話題を提供しているが、現時点では決定的な解決策は得られていない。

## 5.3 解約率について

モデリングにおける最大の難関は、解約率の推計であり、この影響は極めて大きい。カナダ OSFI（金融機関監督局）の MCCR ガイドライン（2001 年 12 月）では一律 8% の解約率が使用されており、GMSB の場合は保証水準から 15% 以上インザマネーの場合は解約率が 100% になるとしている。最低保証水準と資産価格の関係、インザマネー・アウトオブザマネーの程度、GMLB 行使期日までの期間や、解約返戻金控除の残余期間等を変数として解約率を変化させる動的な解約モデルを推定するにはとりわけ多くのデータが必要となる。

日本では VAGMB 発売からの経過が浅く解約率の十分な観測実績がないことから、VAGMB の解約率のモデリングが特に難しい。また、税制や販売チャネル等の違いにより外国事例や他商品の事例を引用することは適当ではない。GMMB がインザマネーの状況で契約者が解約すると GMMB オプションのバリューを丸ごと放棄することになるにもかかわらず、現実にはそのような非合理的な解約行動は発生するが、多くの場合、それは GMMB オプションの価値が非開示・非精算であることによる保険会社と契約者の間の情報の非対称性によってもたらされるものであることに注意

が必要である。

VAGMBは金融的に複製できる部分が伝統的商品に比しても大きいため、ヘッジのための経済価値や責任準備金の計算で見込んだ解約率が将来にわたってサステナブルであるためには、解約しないことで組織的な裁定機会（法人等による裁定を意図した契約や既契約買取（債権譲渡）が生じないような保険関係費用のプライシング・商品設計への配慮も必要となる。裁定行動によって実績の解約率が大幅に低下するリスクがあるからである。具体的には、たとえばGMLBでは解約率0として評価した「年金開始を満期とする割償価格+保険関係・運用関係費用相当の配当支払いのある原資産のCall」の価値を保険料や解約返戻金が大きく下回る状況が生ずる場合は、裁定可能性に留意すべきである。

解約率の推計はプライシングだけでなくヘッジでも直面する課題であり、現行の商品性（GMB オプションを一般勘定が引き受け）ではどうやっても最終的に保険会社が飲み込むしかないリスクになる。解約率に関わるリスクからフリーになるためには、GMB オプションを特別勘定内で引き受け（GMMBであれば割引債を特別勘定で保有すれば簡単である）、GMB オプション価値を特別勘定に反映するような商品設計への変更が考えられる。

## 6 今後の展望

### 6.1 ヘッジへの対応

日本のGMBに関する規制では、ソルベンシーマージン基準のリスク評価へのヘッジ効果反映が可能となった。このことはヘッジのインセンティブに繋がると考えられるが、ヘッジ効果適用には高いトラック率（80%～125%）が求められることから、商品そのものの構造をヘッジしやすいものに変えていくインセンティブにも繋がるものと考えられる。具体的には、ヘッジを意識した投信の選別やスイッチング自由度あるいは保証料のポジティブ・フィードバック構造の見直しなどが考えられる。

これまで述べてきたとおり、現行VAGMBは必ずしも高度な数理統計・金融工学技術の上に発達してきた商品ではなく、商品を技術が追いかけている状況にある。新たな規制や金融工学的技術の進歩が、現行の商品性を引き続き存続可能なものとするのかどうか、現時点では判断できない。

### 6.2 モデルリスクへの対応

従来ALM・リスク管理では、確率論的手法で計算された内部管理指標が会計と乖離することを余儀なくされてきたが、GMBでは会計基準である責任準備金規制に確率論的手法が導入されたからといって、責任準備金が内部管理と会計を統一する万能のリスク管理指標であるかのように錯覚することは避けねばならない。

GMBで用いられる超長期の資産モデルの推計は極めて大きなモデルリスクを伴うことに注意が必要である。

カナダの責任準備金規制ではP測度によるCTEアプローチが単独で用いられるが、米国ではCTEアプローチと決定論的な標準シナリオ方式（一種のストレステスト）を併用し何れか保守的なものを用いる方向で検討が進められている（別途FAS133に従う商品ではリスク中立期待値評価も併用）。また、日本の責任準備金規制では、標準的方式（概ねリスク中立期待値に相当）以外の代替的方式を用いる場合は標準的方式と対比して10%以内の乖離しか認めないものとなった。

こういった規制そのものへの評価は別として、単一のモデルに依拠することなく複数のモデルを比較して保守的な判断を行うことは、モデルリスクを回避する上で必要な態度であり、今後実務で標準化されていくべきものと考えられる。

その際、特にリスク中立期待値は GMB 評価のひとつの下限を与えるものであるとともに、インプライド・ボラティリティあるいはオプション価格そのものによって現実のマーケット情報を参照できることから、モデルリスクのチェックに有益であると考えられる。

## 謝辞

本稿は、21 世紀 COE プログラム「日本・アジアにおける総合政策学先導拠点」の「金融工学による保険・保証の分析」グループによって 2004 年 3 月・9 月に開催された保険・年金リスク研究会での報告に基づいています。同研究会で貴重なコメントをいただいた方々に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 岩城秀樹(2000), 「ファイナンスと保険」, 『アクチュアリージャーナル』, 40, 4-23.
- [2] 国友直人, 一場知之(2004), 「多期間リスク管理法と変額年金保険」, 『CIRJE-J-113 (ワーキングペーパー)』.
- [3] 田中周二・松山直樹(2004), 「統計学とアクチュアリー」の現代的課題」, 『日本統計学会誌』, 34, 1, 41-55.
- [4] 日本アクチュアリー会(2004), 「変額年金等の最低保証リスクに係る責任準備金等の積み立てについて」, 『会報別冊』, 第 213 号.
- [5] 浜野雅章・森本祐司・田口茂(2003), 「保険の国際会計基準と損害保険の時価評価」, 『アクチュアリージャーナル』, 48, 15-67.
- [6] 森平爽一郎(2004), 「保険価格決定理論 保険数理とファイナンス理論の融合」, 『アクチュアリージャーナル』, 54, 5-66.
- [7] 森本祐司(2000), 「金融と保険の融合について」, 『アクチュアリージャーナル』, 40, 24-75.
- [8] Artzner, P., F. Delbaen, et al. (1999), "Coherent Measures of Risk", *Mathematical Finance*, 9, No. 3, 203-228.
- [9] Artzner, P., F. Delbaen, et al. (2002), *Coherent Multiperiod Risk Measurement*, RiskLab, ETH Zurich.
- [10] Bühlmann, H. (1980), "An Economic Premium Principle", *ASTIN Bulletin*, 11, 52-60.
- [11] Canadian Institute of Actuaries (2002), *CIA Task Force on Segregated Fund Investment Guarantees*.
- [12] Gerber, H. U. & Shiu, E. S. W. (1994), "Option Pricing by Esscher Transforms", *Transactions of the Society of Actuaries*, 66, 99-140.
- [13] Hardy, M. (2003), *Investment Guarantees*, John Wiley & Sons.
- [14] Wang, S. S. (2002), "A Universal Framework for Pricing Financial and Insurance Risks", *ASTIN Bulletin*, 32, No. 2, 213-234.