

Prepared by:

Joshua Corrigan, FIA, FIAA, CFA, BEc
Jethro De Decker, FFA
Takanori Hoshino, FSA, FIAJ, CERA, CMA
Lotte van Delft, AAG
Henny Verheugen, AAG

2009年9月



リスクの統合と資本の配分





目次

1.	はじめに、背景	3
2.	リスク測定基準	5
2.1.	はじめに	5
2.2.	(非) 期待損失	7
2.3.	分散	7
2.4.	バリュー・アット・リスク	7
2.5.	デフォルト・プットオプションのコスト	9
2.6.	測度変換	9
2.7.	破産確率	10
2.8.	その他手法	11
2.9.	様々な測定基準の適用状況	11
3.	リスクおよびリスク分布	12
3.1.	はじめに	12
3.2.	市場リスク	12
3.3.	信用リスク	13
3.4.	生保引受リスク	13
3.5.	事例	15
4.	リスク評価手法	17
4.1.	はじめに	17
4.2.	即時ストレス	17
4.3.	プロジェクション・シナリオ	17
4.4.	多変量ストレステスト	17
4.5.	キャリブレーション・モデルおよび ESG モデル	18

5.	統合手法	20
5.1.	はじめに	20
5.2.	相関係数	20
5.3.	コピュラ	22
5.4.	多変量手法	24
6.	資本の配賦	25
6.1.	プライシングおよび技術的準備金	25
6.2.	リスクの予算化および資本の配賦	25
6.3.	リスク調整後の業績測定	26
7.	資本の配賦	30
7.1.	はじめに	30
7.2.	マージナル・アプローチ	31
7.2.1.	比例配分／線形マージナル・コントリビューション	31
7.2.2.	離散型マージナル・コントリビューション	31
7.2.3.	連続型マージナル・コントリビューション	32
7.2.4.	Myers-Read 配賦手法	32
7.3.	ゲーム理論	33
7.4.	その他のアプローチ	34
8.	エコノミック・キャピタル・フレームワークの運用	35
8.1.	アウトプット要件（理想的世界において）	35
8.2.	運用プロセス要件	35
8.3.	ミリマンが支援できること	37
A.	参考文献	39

1. はじめに、背景

リスク管理およびリスク測定は、現在二大トピックとなっています。2008年の金融危機は、適切なリスク管理とリスクのモニターこそが、困難な時期を生き抜くカギとなることを明らかにしました。しかしながら、単に高度なリスク管理を実施するだけでは、安全な未来は保証されません。

多くの会社が直面するリスクの特定および定量化については、スイス・ソルベンシー・テスト (Swiss Solvency Test, SST)、英国で使用されている個別資本評価基準 (Individual Capital Assessment Standards, ICAS)、米国で使用されている C3 フェーズ II 基準 (C3 Phase II)、そして現在 EU で策定中の統一ソルベンシー II (Solvency II) など、近年の監督目的の進展もありますので、あまり大きな議論はありません。保険会社のエコノミック・キャピタル・モデリング実務において、今後議論の中心となってくる課題として、リスクの統合および資本の配分に関わる諸問題があります。

現時点では、エコノミック・キャピタルの計算に主眼が置かれていますが、一方で、あらかじめ割り当てられたリスク限度額や最適リスク/リターン・バランスに基づいて様々な事業戦略上の意思決定を行っていかなくてはなりません。エコノミック・キャピタルは、保険会社の監督、商品のプライシング、リスク評価、リスク管理とヘッジ、資本配分/プロジェクト・ファイナンス、業績管理、そして財務報告といった分野において中心的役割を果たします。

保有資本 (Available capital) は、想定外の損失が生じた場合、それを吸収するための資金源として定義されます。こうした資本は、保険契約者からの保険金請求が想定外に多い場合、バッファーとして機能します。エコノミック・キャピタル (必要資本) は、何らかのリスク測定基準に基づいて計算します。様々なリスク測定基準が存在しますが、用途に応じて、適切なリスク測定基準を用いて計算を行います。

全社ベースのエコノミック・キャピタルは、商品、事業ライン、事業ユニット、地域および法制地域など、様々なレベルで計算された必要資本を統合することにより計算されます。一般的に、各リスクの間に何らかの分散効果を反映するため、統合後の必要資本は、リスク毎に算定される必要資本の単純合計よりも小さくなります。

必要資本は、まず一番低いセグメント (例えば、事業ラインごと) で計算します。次に、リスク間の相関関係 (例えば、年金と死亡保障商品といった 2 つの事業ラインの相関関係) を織り込んで統合を行うことで、より高次のセグメント (例えば、事業ユニット) での必要資本およびリスク額を算定します。このような統合を繰り返すことにより、最終的に持ち株会社レベルでの必要資本が求められます。

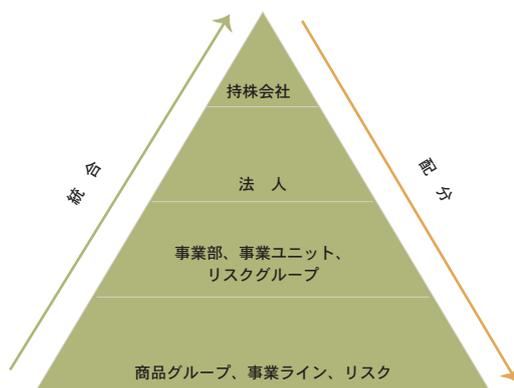
従って、(例えば、グループ・レベルでの) 総必要資本は、(例えば、商品レベルでの) 個別の必要資本の単純合計よりも小さくなります。(例えば、プライシングや業績評価などの) 目的によっては、総必要資本をより低いレベルのセグメント毎に割り振り直す必要があるでしょう。つまり、リスクを統合することで得られた分散効果を、各セグメントの個別のリスクに再配分する必要があります。これを実行するためのアプローチは、やはり目的に応じて複数存在します。資本配分は、保険商品のプライシングには必須で、プランニングおよびコントロールのサイクル (リスクの予算化とリターンの測定) において重要な役割を果たします。

2008年の金融危機は、適切なリスク管理とリスクのモニターこそが、困難な時期を生き抜くカギとなることを明らかにしました。しかしながら、単に高度なリスク管理を実施するだけでは、安全な未来は保証されません。

資本配分は、保険商品のプライシングには必須で、プランニングおよびコントロールのサイクル (リスクの予算化とリターンの測定) において重要な役割を果たします。

下の図は、統合と配分のプロセスを例示したものです。

図 1



本論では、資本の統合および配分に関する様々な手法を客観的に分析し、我々の見解を述べます。適切な手法は状況によって異なりますので、計算を実行する担当者だけでなく、計算結果を使用するマネージャーも、本論に示す手法を十分に理解することが重要です。

本論は、エコノミック・キャピタルの統合および配分について理解を深めたいと考えていらっしゃるアクチュアリーやリスクマネージャーを読者として想定しています。エコノミック・キャピタル・モデルの開発担当の方にとっては、特に興味深いでしょう。本論では、資本の統合および配分に関する様々な手法を客観的に分析し、我々の見解を述べます。適切な手法は状況によって異なりますので、計算を実行する担当者だけでなく、計算結果を使用するマネージャーも、本論に示す手法を十分に理解することが重要です。資本の統合および配分手法については、目下様々な議論が展開されていますので、実務に携わっている方は、常に最新情報をご確認いただくことをお勧めします。なお、本論では生命保険に焦点を置いています。

第2章では様々なリスク測定基準を紹介し、第3章と第4章ではリスクおよびリスクの分布について述べます。第5章では、いくつかの資本統合手法を紹介し、第6章と第7章では資本配分手法とその適用方法について記します。そして最後に、第8章ではエコノミック・キャピタル・フレームワークについての実務面の問題について述べます。

2. リスク測定基準

2.1. はじめに

リスクは、期待損失、損失の分散、一定金額を越えて損失が発生する確率、あるいはその超過損失の平均金額など、多くの方法で定義することができます。対象となるリスクの定義に応じて適切なリスク測定基準を選ぶ必要があります。

リスク測定基準には様々なものがあります。それぞれ特性が異なるため、保険会社が採用すべきリスク測定基準は専らその使用目的に依存します。様々な使用目的がありますが、例えばプライシング、資本配分の決定、リスク管理／ヘッジ、ソルベンシー要件および資本充分性の決定やリスク許容度の分析などが挙げられます。

リスク測定基準の複雑性は多岐にわたっており、単純に名目金額を積み上げるだけ（分散効果を無視）のものから、複雑なオプション・プライシング・アプローチを用いるようなものまで存在します。

本セクションでは、リスク測定基準が持つ主要な特徴を概観します。また、その後のセクションでは、いくつかの測定基準についての詳細を述べます。

様々な使用者からの視点

リスクおよび資本の見方は、その使用者によって異なり、それぞれの立場からリスク評価が行われます。

- **株主**は、業績評価という観点からリスクを見ます。株主は主に投資した企業の資本に対するリターンを向上させることに主眼を置きます。株主は、通常、破産レベルを超えた極端な状況については関心がありません。
- **保険契約者および監督規制当局**は、保険金支払能力に影響を及ぼすような異常危険に最も関心があります。破産に至らないような事象にはほとんど関心がありません。
- **リスク管理者**は、プライシングに反映すべきリスク・ローディングを決定したり、事業区分や商品ごとの業績を評価したり、株主と保険契約者双方のニーズのバランスを保つことのできるような手法により資本を配分するといった実務に適用できる健全性基準を必要とします。

リスク選好度の決定

保険会社がエコノミック・キャピタルの計算やリスク調整後ベースで業績管理を行うためには、リスク選好度を設定する必要があります。リスク選好度は、会社が積極的に取るリスクおよび取るべきではないリスクを定義するものです。リスク選好度は、保険会社の株主が許容できる損失額やデフォルト確率に大きく依存しています。また、多くの場合、デフォルト確率を一定値以下とするため、信用格付目標を設定します。

新契約

エコノミック・キャピタルの計算に将来の新契約を織り込むかどうかという判断は重要です。法定必要資本を計算する際は、新契約は一般的に除外されます。しかし、会社が様々な意思決定を行う際には、エコノミック・キャピタル計算に新契約を見込むことで、重要な情報が得られる場合があります。ただし、必ずしも全ての新契約を織り込む必要があるわけではないことに注意してください。保険会社によっては、新契約のうち大型のもの（例えば、大規模団体年金契約）だけを選んでいますが、このようにすれば、エコノミック・キャピタル必要額が翌年以降どのように変動するか、より現実的なベースでモニターできるようになります。

コヒーレントなリスク測定基準

リスク測定基準には様々なものがありますので、一連の必要条件に照らして適切なリスク測定基準といえるかどうか、つまりコヒーレントなリスク測定基準が満たすべき条件に照らして評価を行っていくことが考えられます。

リスク選好度は、会社が積極的に取るリスクおよび取るべきではないリスクを定義するものです。リスク選好度は、保険会社の株主が許容できる損失額やデフォルト確率に大きく依存しています。また、多くの場合、デフォルト確率を一定値以下とするため、信用格付目標を設定します。

以下の条件を満たす場合、リスク測定基準はコヒーレントであるといえます。

- **平行移動不変性 (Translation invariance)** : 損失分布に一定額を加えた場合、リスクも同じ金額だけ変化します。
- **劣加法性 (Sub-additivity)** : 2つのポートフォリオを合併しても、追加のリスクは発生しません。
- **正の同次性 (Positive homogeneity)** : ポートフォリオを相似拡大/縮小すると、同じだけリスクが変化します。
- **単調性 (Monotonicity)** : より大きな損失につながるポジションは、よりリスクが高く、より多くの資本を必要とします。

測定期間

保険会社は、リスクを測定するための基準となる期間を決定しなくてはなりません。監督目的（例えば、ソルベンシーII）では、エコノミック・キャピタルの計算基準として1年間という期間がよく用いられます。

保険会社は、リスクを測定するための基準となる期間を決定しなくてはなりません。監督目的（例えば、ソルベンシーII）では、エコノミック・キャピタルの計算基準として1年間という期間がよく用いられます。ここでの目的は、異常危険シナリオが実現した場合でも、当該期間経過後に負債時価を積み立てたうえで、十分な資本が確実に残存するようにすることです。ここでは以下の三種類の期間の概念の違いに留意が必要です。

1. **ショック適用期間**: ショックを適用させる期間。ソルベンシーIIでは、標準フォーミュラ手法を使用する場合、ショックは瞬時に適用すると定義されていますが、プロジェクション手法に基づく内部モデルを使用する場合には1年間とすることも認められています（セクション4.5参照）。
2. **ショック計測期間**: ショックの計測期間。ソルベンシーIIでは、（計測されたショックは通常瞬間的に適用しますが）1年間に発現するショックを計測します。
3. **影響期間**: ショック適用期間後の期間で、契約終期までの期間となります。

「ショック適用期間」中に主要な変数にショックを与えると、「影響期間」にわたり結果に影響を及ぼします。エコノミック・キャピタルには、計算基準日における影響額が反映されます。

内部管理目的では、1年とは異なる期間の方が適切な場合もあります。生存リスクはたいてい長期リスクと考えられており、一方、死亡リスクや解約失効リスクは短期リスクと考えられています。これは、死亡や解約失効ショックの影響は、通常「ショック期間」に発現し、「影響期間」にはわずかな影響しか及ぼさないためです。

リスク統合を行うには、各種リスク測定基準のベースとなっているリスク測定期間を統一しておくことが必要です。

以下の章では、下記のリスク測定基準について順次述べていくこととします。

- (非) 期待損失
- 分散
- バリュースコア・リスク
- デフォルト時のプットオプションのコスト
- 測度変換
- 破産確率

2.2. (非) 期待損失

期待損失は、以下のように確率論的に定義された損失分布の期待値です。

$$E[X_i] = \sum_i X_i / n$$

ここで、 $X_i, i=1, 2, \dots, n$ は、損失分布から得られる n 個の損失です。

これは、ポートフォリオから発生すると見込まれる損失金額で、リスク測定基準というよりも平均的な契約引受コストとして解釈できます。この測定基準は、準備金の計算や、市場整合的な手法による最低保証のプライシングおよびダイナミック・ヘッジによく用いられます。リスク測定の目的では、非期待損失の方がしばしば好まれます。非期待損失は、実際の損失と期待損失の差を測定します。

2.3. 分散

損失分布の分散は、将来損益の不確実性の程度を表します。これは、損失金額のばらつき具合を測定するもので、以下のように定義されます。

$$\text{Var}[X_i] = \sum_i (E[X_i] - X_i)^2 / n$$

損失が正規分布であると仮定されている場合、損失分布を完全に特定するために必要となるのは分散および期待損失のみです。分散と標準偏差は、ファンドマネジメント業界で用いられる最も一般的なリスク測定基準で、ポートフォリオ・リスク（リターン標準偏差）や、アクティブ・リスク、トラッキングエラー（超過リターン標準偏差）を測定するために用いられます。

分散は、損失が（少なくとも概算上は）対称に分布するリスクについてのみ有効です。損失分布が非対称の場合には、以下のとおり定義される準分散（Semi-variance）あるいは下方分散（down-side variance）とよばれる測定基準を用いることができます。

$$\text{Semi-Var}[X_i] = \sum_{i: X_i < E[X_i]} (E[X_i] - X_i)^2 / n$$

分散は、コヒーレントなリスク測定基準が満たすべき条件のうち、単調性の要件に適合しません。これは、A と B の 2 つのポートフォリオを用いて例示することができます。A は、分散が大きく、利益 10 または損失 10 がそれぞれ等確率で発生します。ポートフォリオ B は、(分散がゼロで) 確実に損失 10 が発生します。A は、明らかに「よりよい」リスクですが、より不安定であるため、通常より多額の資本が配分されてしまいます。

2.4. バリュース・アット・リスク

バリュース・アット・リスク（VaR）は、保険会社および銀行の定量的リスク管理に最も広く用いられているリスク測定基準の一つです。VaR は、一定の期間内に所与の信頼水準の下で起こりうる損失の最大値を表します。損失の確率分布をまず指定する必要があり、VaR は当該確率分布上のある分位点を表すに過ぎません。VaR は、銀行業界で一般的に用いられており、統計学上、以下のように定義されます。

$$\text{VaR}(\epsilon) = \inf\{x \in \mathbb{R} : F_X(x) \geq \epsilon\}$$

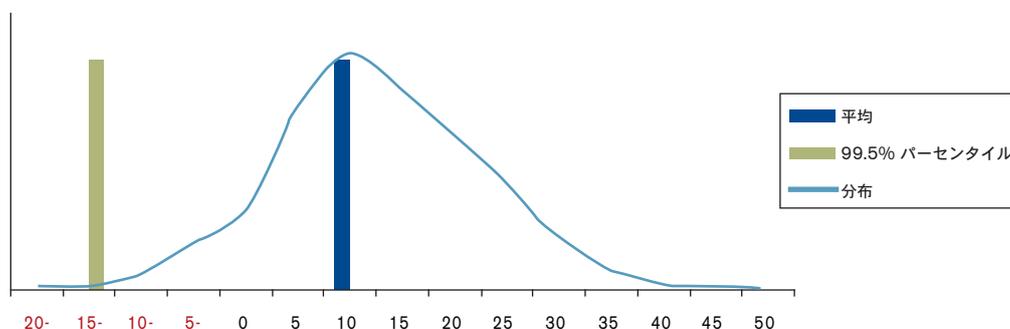
ここで、 $F_X(x)$ は、リスク X の損失分布の累積分布関数です。

バリュース・アット・リスク（VaR）は、保険会社および銀行の定量的リスク管理に最も広く用いられているリスク測定基準の一つです。VaR は、一定の期間内に所与の信頼水準の下で起こりうる損失の最大値を表します。

期間は1年とされることが多く、信頼水準はリスク許容度や使用目的により異なります。例えば、市場リスクを考える場合、期間は日数単位で指定されるでしょう。VaRはソルベンシーIIのリスク測定基準として用いられており、ソルベンシー資本要件 (Solvency Capital Requirement、SCR) は信頼水準99.5%、最低資本要件 (Minimum Capital Requirement、MCR) は信頼水準85%と定められています。英国の内部資本評価 (Internal Capital Assessment、ICA) でも信頼水準99.5%のVaRを用いています。VaRは、劣加法性を除きコヒーレントなリスク測定基準の要件を全て満たしています。

以下のグラフは、期待利益 (X) の分布と、平均および99.5%パーセンタイル点を示しています。ここで、利益は固定値60で、損失Xは正規分布N(10,10)に従うと仮定しています。1000シナリオを用いたモンテカルロ確率論的シミュレーションに基づく、信頼水準99.5%におけるVaRは15.9となります。これは、以下の図に示すとおりです。

図 2



VaRの欠点は、選択された信頼水準を超えて発生する損失の程度について、まったく情報が得られないことです。テイル・バリュー・アット・リスク (Tail VaR) を使用すれば、この問題は解決されます。

VaRの欠点は、選択された信頼水準を超えて発生する損失の程度について、まったく情報が得られないことです。テイル・バリュー・アット・リスク (Tail VaR) を使用すれば、この問題は解決されます。Tail VaRは、損失がVaRを超過するという条件の下で期待値を計測する条件付期待損失のことで、以下のように定義されます。

$$\text{Tail VaR}(\epsilon) = E[X_i | X_i < \text{VaR}(\epsilon)]^1$$

Tail VaRは、理論的にはVaRの欠点のいくつかを克服しているものの、実務上は、テイル部分の分布を適切にモデルするには十分なデータ量が必要となることに注意が必要です。テイル部分のモデルを適切に行えるだけのデータがあるというケースはほとんどないでしょう。

信頼水準 α のTail VaRとは、損失分布の $1-\alpha$ の部分で起こりうる損失の期待値となります。スイス・ソルベンシー・テストでは、リスク測定基準として信頼水準99%のTail VaRが用いられています。Tail VaRは、コヒーレントなリスク測定基準の要件の全てを満たしています。

1 Tail VaRおよびCTE (条件付テイル期待値) は、確率分布が連続であれば同等となります。実務では、Tail VaRとCTEはどちらもVaRのシミュレーション値のうち所与のVaR(ϵ)を超過する値を平均することにより計算されるでしょう。

図2の事例では、損失分布の $1-\alpha$ の部分には5つのシナリオ（1,000シナリオの0.5%）が該当し、各シナリオにおける損失額は以下のとおりとなっています。

- 22.58
- 22.57
- 19.03
- 16.56
- 16.03

これらの結果に基づくと、この事例の Tail VaR は 19.4 となります。

xTVaR は、Tail VaR と似ていますが、VaR を超える全ての損失の平均ではなく、平均を超える超過損失額の平均を表します。この事例では、xTVaR は $9.4 (= 19.4 - 10.0)$ と等しくなります。

wxTVaR（加重平均超過 TVaR）は、xTVaR と同じですが発生確率に調整を施しており、多額の損失にはより大きな加重をかけます。これにより、VaR を超過した損失を線形的に取り扱うという TVaR の問題を克服します。

2.5. デフォルト時のプットオプションのコスト

株主は有限責任ですので、会社の保有資本を超えて生じる債務について責任を負う必要はありません。そのため、株主はデフォルト時のコストを保険契約者と債券保有者に転嫁できるというオプションを有していると考えられます。このオプションの価値をリスク測定基準として用いることができ、通常、Black-Scholes オプション・プライシング理論に基づき評価されます。

株主は有限責任ですので、会社の保有資本を超えて生じる債務について責任を負う必要はありません。そのため、株主はデフォルト時のコストを保険契約者と債券保有者に転嫁できるというオプションを有していると考えられます。

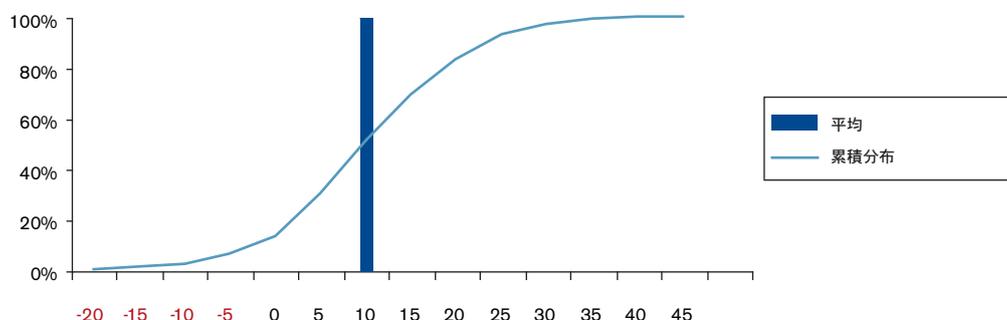
2.6. 測度変換

意思決定を行う際に、アップサイドまたはダウンサイドのリスクにより大きな重みづけをしたいという場合がありますが、この場合、元の確率分布の一部に調整を施して、新たな確率分布を導出することができます。この場合、新たな分布の平均と元の分布の平均の差をリスク測定基準として使用することができます。測度変換の例として、以下のものがあります。

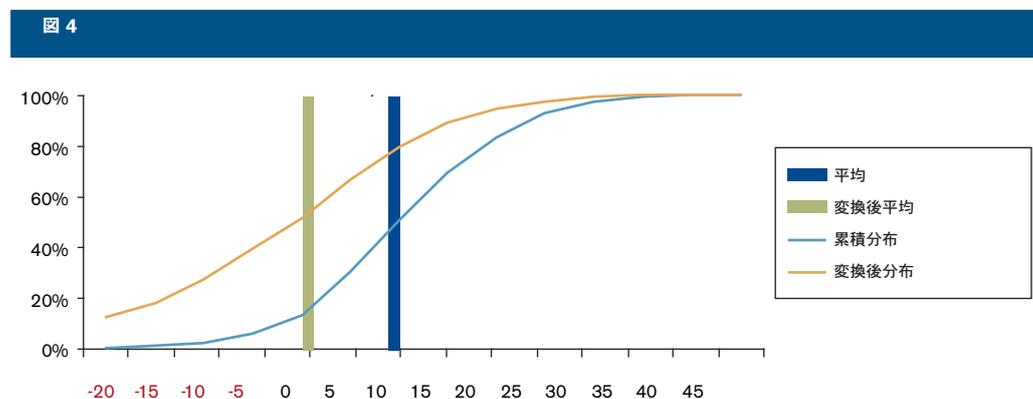
- 選択した乗数で累積分布を累乗する比例ハザード変換
- Wang および Essher 変換
- 望ましくない結果に大きな重みを与える集中チャージ

例として X 社の期待利益は以下の累積確率分布に基づいているとします。

図 3



例えば、累積分布を 1/3 乗した場合、分布は以下のようになります。



この変換は、より望ましくない結果に対してより高い比重をかけています。ここでは、左側のテイル部分の結果の発生確率は増加しますが、右側のテイル部分は増加しません。この結果、変換後分布の平均は元の分布の平均よりも 10 減少します。2 つの分布の平均の差をリスク測定基準として用いることができます。つまり、変換過程で望ましくない結果をどのように加重するかによって、この値が定められることとなります。

破産確率をリスク測定基準として用いることができます。これは、累計損失が保有資本を超過する確率です。

2.7. 破産確率

破産確率をリスク測定基準として用いることができます。これは、累計損失が保有資本を超過する確率です。これは、VaR の逆関数で、以下のように定義されます。

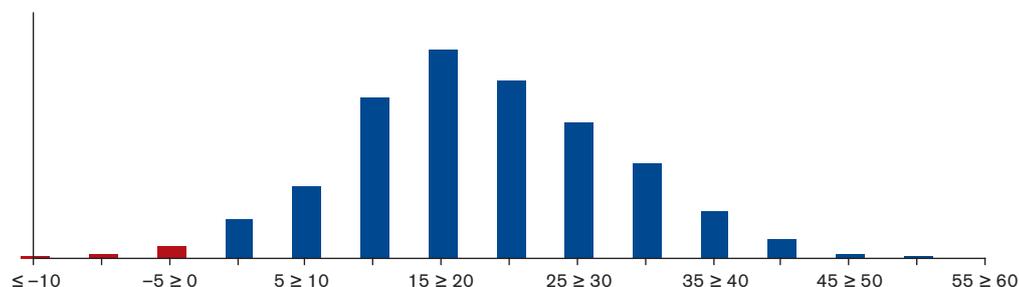
$$\text{破産確率} = 1 - \epsilon$$

ここでは、 $\text{VaR}(\epsilon)$ に対応する資本金額を損失に対するバッファーとして用いることができると考えられます。なお、 $\text{VaR}(\epsilon)$ と破産確率 $1 - \epsilon$ の概念的関係に注意してください。 $\text{VaR}(\epsilon)$ に相当する資本を保有しているなら、損失が $\text{VaR}(\epsilon)$ を超過した場合に保険会社は破産し、その発生確率は $1 - \epsilon$ となります。

破産確率のアプローチは、損害保険の分野で幅広く用いられています。

X 社の現時点の保有資本が 10 である場合、保有資本に累計利益を加えた額の分布は以下のとおりで、左側の 3 本の赤い棒はこの額が負値となっていることを意味しており、19 シナリオが該当します。負値となっているシナリオでは、保有資本 (10) を超える損失が発生していることとなります。

図 5



X社の破産確率は、1.9%です。これは、上記赤の部分のシナリオ数を合計することで計算されます。

2.8. その他の手法

測定対象となるリスクの種類に応じて、他にも多くの業績測定指標をリスク測定基準として利用することが可能です。

- 利益のシャープ・レシオを何らかの基準または事前に定義したベンチマークと比較することができると思います。これは、利益の変動リスクを測定するもので、業績測定指標として、あるいは会社価値のリスク管理指標として利用することができます。ファンドマネジメント・ビジネスで、広く利用されているリスク測定指標です。
- 期待リターンを、想定されるダウンサイド・リスクの金額値とダウンサイド・リスクの発生確率の積で除して得られる値を Risk Coverage レシオと呼びます。これにより、期待リターンによりリスクの何倍がカバーされているかを測定することができます。
- Omega 関数は、想定されるアップサイド・リスク（一定の基準額を超過して発生する期待超過収益）を想定されるダウンサイド・リスクで除すことにより計算されます。これは、期待される「勝ち数」を「負け数」で割ったものと解釈できます。

2.9. 様々な測定基準の適用状況

CEIOPS の内部モデル・エキスパート・グループ (Internal Model Expert Group) が行った保険業界における内部モデルの利用に関する調査²によると、ほとんどの会社は、1年間のバリュー・アット・リスク (VaR) アプローチを使用しており、信頼水準は 99.5% から 99.95% のレンジにあり、99.93% や 99.97% といった場合もあります。会社によっては、Tail VaR を使用しています。Tail VaR の場合もやはり典型的に 1年間で、信頼水準は 99.0% とされる傾向が見られます。また、VaR や TailVaR の定数倍をエコノミック・キャピタル必要額として使用している会社もあります。1年間を超える期間を使用している会社もあり、最長 25年までの例が見られました。

CEIOPS の内部モデル・エキスパート・グループ (Internal Model Expert Group) が行った保険業界における内部モデルの利用に関する調査によると、ほとんどの会社は、1年間のバリュー・アット・リスク (VaR) アプローチを使用しております。

2 保険業界における内部モデル利用状況調査

3. リスクおよびリスク分布

3.1. はじめに

本セクションでは、生命保険会社にとって重要ないくつかのリスクについて概説します。それぞれのリスクについて簡単に説明を行った後、そのリスクに対する必要資本額を計算する際に各リスクを通常どのように評価するか考察します。

3.2. 市場リスク

市場リスクは、多くの保険会社にとって最も重大なリスクの一つです。ソルベンシーIIフレームワーク指令書 (Solvency II Framework Directive) 第105条は、現在検討が進められているソルベンシーIIで基本ソルベンシー資本要件 (Basic Solvency Capital Requirement, BSCR) を計算する際にどのような市場リスクを考慮すべきか解説しています。以下の各リスクを計算し、これを統合することにより市場リスクを計算することもできますが、第6章で詳しく述べる通り、全てのリスクを同時に反映する経済シナリオを用いて計算することもできます。市場リスクとしては、以下に示すような金融市場に係るリスク・ファクターが挙げられます。

金利

金利リスクは、あらゆる資産および負債から生じるもので、純資産価値が金利の期間構造または金利ボラティリティーの変化に応じて変化してしまうリスクです。典型的に、パラレルシフト・リスク、ツイスト・リスク、主要金利またはデュレーション・バケット・リスク、その他のイールドカーブの形状変化リスクに細分化することができます。

金利ボラティリティー・リスクは、資産または負債の価値が債券のボラティリティーに依存する場合、または金利のオプションを保有する場合、常に存在します。この場合、債券の評価には、Vasicekモデル、Black-Karasinskiモデル、Hull-Whiteモデルなどの確率論的モデルを使用することが考えられます。

金利リスクに対する必要資本は、金利および金利ボラティリティーに、上向きまたは下向きのショックを与えることで評価でき、一般的には、ショックを与えた場合の純資産価値の変動額として計算することができます。(例えば、フォワードレートの水準と形状に対するショックを別々に与えるなど) 複数の異なるショックの下で計算を行い、その最大値を必要資本額とすることもできます。

株式

株式リスクは、将来の株価の水準およびボラティリティーの不確実性によって生じるリスクで、しばしば市場リスクの中でも大変重要な構成要素となります。

株式リスクは、会社の保有する株式にショックを与えた場合の純資産価値の変化額を計算することで評価することができます。

株式ボラティリティー・リスクは、資産または負債の価値が株式のボラティリティーに依存する場合、または株式のオプションを保有する場合、常に存在します。このような有価証券の評価を行うにあたっては様々な確率論的モデルを使用することができ、ボラティリティーの取り扱い方によっておおまかな区分分けをすることができます。単純なモデル (例えば、古典的なBlack-Scholes対数正規モデル) ではボラティリティーを一定としますが、Hestonモデルなどより複雑なモデルでは、ボラティリティーを経過や株式の水準経過に応じて変化させることができます。

不動産

不動産リスクは、不動産の市場価格の水準およびボラティリティーの不確実性によって生じるリスクです。不動産リスクは、市場リスクの中でも重要な構成要素となりえます。

不動産リスクに対する必要資本額は、不動産ポートフォリオの価値にショックを与えることにより評価することができます。

不動産を確率論的にモデル化する場合、通常、ボラティリティーを一定とする株式モデルを用いて行いますが、GARCH³モデルを用いて時系列相関を反映することもできます。

以下の各リスクを計算し、これを統合することにより市場リスクを計算することもできますが、全てのリスクを同時に反映する経済シナリオを用いて計算することもできます。

株式ボラティリティー・リスクは、資産または負債の価値が株式のボラティリティーに依存する場合、または株式のオプションを保有する場合、常に存在します。このような有価証券の評価を行うにあたっては様々な確率論的モデルを使用することができ、ボラティリティーの取り扱い方によっておおまかな区分分けをすることができます。

3 General Autoregressive Conditional Heteroscedasticity

スプレッド

スプレッド・リスクは、リスク性資産のイールドの水準やボラティリティーが、リスクフリー・イールドカーブと異なる動きをすることに係るリスクです。

必要資本額は、信用スプレッドの水準またはボラティリティーを変化させた場合の純資産価値の変動額を測定することで評価できます。信用スプレッドのボラティリティー・リスクは、資産または負債に組み込まれたオプションの価値が、社債のボラティリティーまたは社債利回りに依存する場合、常に存在します。

為替

為替リスクは、為替レートの水準またはボラティリティーの変化によって生じるリスクです。

為替リスクに対する必要資本額は、各外国通貨の為替レートに（上向きと下向きの）ショックを与えることで評価することができます。通貨ごとに、上向きまたは下向きのショックを与えた場合のどちらか影響額が大きい方を採用します。このようにして計算される必要資本額を全ての通貨に対して足し合わせた額が、為替リスクに対する必要資本額となります。

為替リスクに対する必要資本額は、各外国通貨の為替レートに（上向きと下向きの）ショックを与えることで評価することができます。

市場リスクの集中

集中リスクは、特定の市場リスクに対して大きなエクスポージャーを持つ場合に発生します。特定の企業等に集中投資した場合、当該企業等がデフォルトした場合に大きな損失が発生してしまうことに加え、資産ポートフォリオが分散されていないことにより、ボラティリティーが増加するという追加的なリスクが発生します。

当該カウンターパーティーの信用格付を用いて、このリスクに対して保持すべき資本金額を決定することができます。

3.3. 信用リスク

信用リスクは、カウンターパーティーの格付の変化に伴い生じる損失（または財務状況の悪化）として定義されます。

信用リスクに対する必要資本額は、カウンターパーティーの想定外のデフォルトや格付の悪化により生じる損失を十分カバーできる額でなくてはなりません。信用リスクは、通常、各カウンターパーティーに対して計算し、それを統合することにより保険会社全体の信用リスクを求めます。

信用リスクに対する必要資本金額を決定するための手法は数多くあり、対象となる契約やカウンターパーティーの性質に応じて異なります。例えば、再保険契約については、デフォルトが発生したときの損失（loss-given-default、LGD）を用いることができます。

LGDは、取引先の再保険会社がデフォルトした場合に元受保険会社が晒されることになる損失で、再保険回収率、再保険貸、再保険契約による保険引受リスクのリスク軽減効果、再保険会社から拠出された担保などを考慮に入れる必要があります。

格付変動を確率的に評価するモデルには様々なものがあります。よく利用されるモデルの一つがJarrow-Landow-Turnbull（JLT）モデルです。このモデルは、二つの重要なインプットを必要とします。一つ目は格付推移行列で、通常、過去データに最小二乗法による回帰式を適用して推定を行います。二つ目のインプットは信用リスク・プレミアムの確率過程で、初期値は現在の市場データと整合的となるように設定し、長期的な分布は過去データと整合するように設定します。

3.4. 生命保険引受リスク

生命保険引受リスクは、保険事業そのものを表す伝統的なコア・リスクです。IFRSやUS GAAPをはじめとする数多くの会計基準において、このリスクの大きさにより、保険商品と金融商品の区分が決定されます。このリスクはソルベンシーIIフレームワーク指令書（第105条）の中核をなすものでもあり、指令書では具体的にどのようなリスク・ファクターを考慮する必要があるか概説されています。

生命保険引受リスクは、保険事業そのものを表す伝統的なコア・リスクです。IFRSやUS GAAPをはじめとする数多くの会計基準において、このリスクの大きさにより、保険商品と金融商品の区分が決定されます。

このリスクは、トレンド、水準、ボラティリティーの各リスクに細分化することができます。トレンド・リスクは、過去に観察されたトレンドは不確実なものであるということとして説明できます。つまり、ベストエスティメートは変化していくものであるということ、また、不知のトレンドがベストエスティメートの前提条件に悪影響を及ぼしうることを考慮します。水準リスクは、ベストエスティメートの前提条件の見積もりが実際と異なるリスクです。このリスクは、不正確な情報に基づいたり、誤った計算基準を採用するといったことにより発生する可能性があります。ボラティリティー・リスクは、ベストエスティメート前提の実現値が前提値のまわりを統計的に変動するというリスクです。各リスクは、それぞれ異なる確率分布に従います。

本セクションでは、保険引受リスクとして考慮すべきリスクを列挙し、各リスクに対する必要資本額をどのように求めるか、また、モデル化する際にどのようなことを考慮すべきか、簡単に説明を行います。

死亡リスク

死亡リスクは、会社が保険契約者の死亡時に一回以上の支払いを行うことを合意することにより発生します。

死亡リスクに対する必要資本額は、想定よりも多くの保険契約者が死亡するリスクに加えて、死亡率の水準、トレンド、ボラティリティーの変動による死亡率前提条件の不確実性についても対応したものでなくてはなりません。

死亡リスクに対する必要資本額は、想定よりも多くの保険契約者が死亡するリスクに加えて、死亡率の水準、トレンド、ボラティリティーの変動による死亡率前提条件の不確実性についても対応したものでなくてはなりません。

死亡リスクは、ベースとなる死亡率を一定量または一定割合増加させることにより評価するのが一般的です。この増分には、上述の水準、トレンド、ボラティリティーに係るリスクが反映されていなければなりません。必要資本額は、死亡率を永久に増加させた場合の純資産価値の変化額として計算することができます。

長寿リスク

長寿リスクは、死亡率が減少することにより技術的準備金が増加するリスクです。これは、保険契約者の寿命が延びることにより生じるリスクで、ほとんどの先進国において大変重要なリスクとなっています。

必要資本額は、死亡率を永久に減少させた場合の純資産価値の変化額として計算することができます。

障害・罹病リスク

障害・罹病リスクの対象となるのは、一般的に疾病、災害、障害を保障する契約です。罹病リスクは二つのリスク・ファクターから構成されます。一つは保険金・給付金請求件数が予定よりも多いリスクであり、二つ目は保険金・給付金支払期間が予定よりも長いリスクです。

必要資本額は、以下の二つの要素の合計として計算することができます。

- 発生率の増加による純資産価値の変化
- 回復率を永久に減少させた場合の純資産価値の変化

事業費リスク

事業費リスクは、生命保険契約を提供するために必要な事業費が予定よりも多いことにより発生するリスクです。事業費の水準、トレンド、ボラティリティー（将来の事業費インフレ率の不確実性を含む）に係るリスクを、事業費リスクの資本要件に反映しなくてはなりません。

必要資本額は、将来の事業費および事業費インフレ率を増加させた場合の純資産価値の変化額として計算することができます。

条件変更リスク

条件変更リスクは、保険金支払過程で想定外の条件変更により、保険会社による年金支払い金額が増加するかもしれないリスクです。

必要資本額は、条件変更リスクの対象となる年金契約の年金額を増加させた場合の純資産価値の変化額として計算することができます。

解約リスク

解約リスクは、失効、満了、解約、払済等による脱落が予定よりも高い、あるいは低い場合に発生します。これらの率は複雑に関係しあっているため、解約リスクに対する必要資本額を正確にモデル化することは困難です。

ソルベンシー II では、簡易な手法により解約リスクに対する必要資本額を決定することが提案されています。必要資本額は、下記のそれぞれのケースのうち純資産価値が最も減少するケースにおける純資産価値の変化額とすることができます。

- 解約失効率を永久に増加させるケース
- 解約失効率を永久に減少させるケース
- 一時に大量の解約が生じるケース

生命保険異常危険リスク

異常危険リスクは、上述の他のリスクでは十分に捉えられないような異常な事象から発生します。例えば、パンデミックに伴い死亡率が異常に上昇するといったリスクが考えられるでしょう。ファットテイル・リスクには、規模を拡大することにより軽減できるリスクとは本質的には異なるリスク管理上の問題があることを経営陣は理解すべきです。

必要資本額は、例えば、1年間にわたって死亡率が X パーセント増加した場合の純資産価値の変化額として計算することができます。

その他のリスクとして、オペレーショナル・リスク、健康保険引受リスク、損害保険引受リスクなどがあり、それぞれのリスクを必要に応じて特定のリスク・ファクターにさらに細分化することができます。

3.5. 事例

上述のリスク・ファクターを決定するにあたって考慮すべき過去の事例は多数存在します。エコノミック・キャピタルを計算するために用いるストレステストの規模と種類を検討するにあたっては、このような過去の事例を考慮に入れることが重要です。

市場リスクの例

- 1929年 – ブラックマンデー株式市場の暴落（一日に -13%）、さらに、ベアマーケットの長期化
- 1987年 – ブラックマンデー株式市場の暴落（一日に -23%）
- 1997年アジア通貨危機 – タイ・バーツ、インドネシア・ルピー、韓国ウォンを含む複数通貨の暴落
- 2008年 – 株式、不動産のベアマーケット（長期にわたる下降）、リスクフリー金利の著しい下落、およびクレジット・スプレッドの拡大

興味深いことに、これら事例の多くでは、「即時（瞬間的）」に暴落が起こったうえで、その後継続的に大きな下落が起きている。

生保リスクの例

- 長寿リスク – 1990年代および2000年代における死亡率の継続的な改善
- 死亡リスク – SARS、鳥インフルエンザ、豚インフルエンザの発生などのパンデミック・リスク。1980年代半ばの HIV/AIDS のリスク
- 解約リスク – 英国において1990年代に金利が下落し続け、保証年金オプションの価値がイン・ザ・マネー化した際、動的解約リスクの影響を考慮していなかったというリスク

解約リスクは、失効、満了、解約、払済等による脱落が予定よりも高い、あるいは低い場合に発生します。これらの率は複雑に関係しあっているため、解約リスクに対する必要資本額を正確にモデル化することは困難です。

信用リスクの例

- 2008 年 – Lehman brothers、Bear Sterns、Merrill Lynch の破綻
- 2008 年 – アイスランドの銀行制度の崩壊およびそれに続く国有化によりアイスランドの銀行の信用格付の暴落

4. リスク評価手法

4.1. はじめに

リスク要因の特定ができれば、次に各リスク・ファクターに対して必要なエコノミック・キャピタル額を決定するステップとなりますが、これには様々な手法が利用できます。例えば、即時にストレスを与える場合もあれば、シナリオを用いてプロジェクトを行う場合もあります。一つのリスク・ファクターにストレスを与える場合もあれば、複数のリスク・ファクターにストレスを与える場合もあります。本セクションでは、これらのアプローチについてやや詳しく説明します。

4.2. 即時ストレス

即時にストレスを与えるアプローチでは、現時点 ($t=0$) でリスク・ファクターにストレスをかけます。資産および負債を $t=0$ において再評価し、純資産価額の変化額を計算します。収入保険料、支払保険金、利息収入などのキャッシュフローの受取りや支払いのうち、資産および負債の計算に必要なものは除いて計算します。将来の経営施策およびダイナミック・ヘッジの影響も、この手法を用いる場合には除きます。計算結果が資本を減らす方向に働く場合には、当該資本減少額を必要資本額とします。資本が減少しない場合は、(他のストレス・シナリオを検討しないのであれば) ゼロに設定します。

これは SST、ICA、ソルベンシー II で採用されている手法です。このアプローチの長所は、計算するのも理解するのも比較的単純なことです。逆に、このアプローチの短所は、長期にわたって発現するようなリスクの影響、ならびに当該リスクの軽減効果の影響を捉えられないことです。

4.3. プロジェクション・シナリオ

即時ストレス・アプローチの限界に対処するための方法として、プロジェクション・シナリオ手法を利用すれば、より正確により広範囲のリスク・シナリオの影響を捉えることができます。長寿リスクや市場リスクなどのリスク・ファクターは、瞬時に異常危険をもたらすというよりは、長期にわたってリスクが発現してくるため、このような場合には特に重要です。

この手法では、各リスク・ファクターに対して想定するシナリオがショック適用期間にわたって生起してくることを前提としています。ショック適用期間は、2つの不連続な時点 ($t=0$ および $t=n$) として扱うこともできますし、多数のより細かい時間ステップに細分化することもできます。経路依存型 (パス・ディペンデント) の負債の場合、または、動的リスク管理戦略を反映している場合には、時間ステップを細分化する必要があります。

各時間ステップにおける資産・負債の価値は、リスクの大きさを考慮することはもちろん、解約や最低保証のイン・ザ・マネーの度合い等が他のファクターに及ぼす動的な影響、および動的リスク管理戦略の影響をも加味して計算されます。損益計算書およびバランスシートのプロジェクションが行われるため、保険料、保険金、利息収入などのキャッシュフローも計算されます。

最後に、正味損益の現在価値を必要資本とします。

この手法には、動的な相関やリスク管理戦略の影響や、キャッシュフローに与えるインパクトを捉えることができるといった数多くの利点があり、したがって (将来各時点の) 損益計算書およびバランスシートを実際に作成することができます。また、どのようなシナリオがどのような悪影響を与えているのか考察・特定するにあたって、非常に柔軟に対応でき、かつ現実的な視点から分析を行うことができます。

この手法を利用する際の課題の一つは、ネステッド・ストキャスティック手法を必要とするかもしれないことです。ネステッド・ストキャスティック手法は複雑で、コンピュータに大きな負荷がかかります。とはいえ、グリッド・コンピューティングの出現により、この課題はかなり解決しており、相当数の会社が定期的にこの手法を利用しています。

4.4. 多変量ストレステスト

上述のセクションでは、いずれの手法においても、単一のリスク・ファクターに対するエコノミック・キャピタルの評価手法について説明を行いました。一方、これらの手法は、2つ以上のリスク・ファクターを同時に取り扱うシナリオに対しても適用することができます。このような手法を採ることにより、当該シナリオで想

プロジェクション・シナリオ手法を利用すれば、より正確により広範囲のリスク・シナリオの影響を捉えることができます。長寿リスクや市場リスクなどのリスク・ファクターは、瞬時に異常危険をもたらすというよりは、長期にわたってリスクが発現してくるため、このような場合には特に重要です。

定されるすべてのリスク・ファクターに対応するエコノミック・キャピタルの金額を計算することができます。つまり、この手法は、セクション5で詳述するリスク・キャピタル統合のための手法ともなり得ます。

たいていの場合、多変量ストレス・アプローチにより求められる必要資本額は、個別のリスク・ファクターにストレスを与えることで求められる必要資本額の単純合計値とは異なります。これは、リスク・ファクター間の相関（クロス・グリーク・リスクとしても知られる）を考慮しているためです。リスク・ファクター間の相関は、保有する商品や有価証券、資本市場の状況により大きく異なります。実際、個別リスク・ファクターにストレスを与える手法では、こうした相関関係を捉えられないことがその短所の一つとして指摘されています。

即時ストレス手法を使用する場合は、複数のリスク・ファクターに即時にストレスをかけます。このような手法は、例えば2008年にリーマンが破綻した日のように、複数の資産区分に同時に影響を及ぼすようなクレジット・イベントの影響を捉えようとする場合に有効です。

プロジェクション・シナリオ手法を用いる場合は、複数のリスク・ファクターに適用するプロジェクション・シナリオを用意する必要があります。この場合、経済シナリオを生成するモデルが必要になります。使用すべき全てのシナリオを事前に特定するのは非現実的であるため、どのようなモデルを選択すべきか、どのようにキャリブレーションすべきか、そして別々のモデルにより処理される複数のリスク・ファクター間の相関関係をどのように反映するかといったことを検討しなければなりません。これらの課題については、次のセクションで詳述します。

この手法の重要な利点の一つは、一連の前提条件およびリスク管理手法の下での損益の分布を完全に生成できることです。シナリオのキャリブレーションはリアルワールド・ベースで行われ、エコノミック・キャピタルの信頼水準とは無関係に生成されるため、この手法では様々な信頼水準のエコノミック・キャピタルを最終計算結果から導出することが可能であると考えられます。また、複数のリスク管理戦略のそれぞれの長所・短所を分析したり、ショック適用期間あるいはそれ以降に問題となる様々な経営管理上の懸念事項について分析を行うこともできると考えられます。経済シナリオ・ジェネレータ（ESG）は、「平時」および「危機的状況」の双方の市場環境を生成するため、一組の計算結果があれば、テイル部分の結果を重視するエコノミック・キャピタル分析にも、分布の中心付近の結果を重視する収益性分析にも用いることができます。一方、複雑なモデリングを必要とし、計算負荷が非常に高いことが欠点となります。

4.5. キャリブレーションおよび ESG モデル

単一のリスク・ファクター手法を用いる場合、各リスク・ファクターに与えるストレスのキャリブレーションは、通常は社外の組織（例えば、SST については IFSRA、ソルベンシー II については CEIOPS）が直接指定します。しかし、内部管理の目的でモデルを開発している場合、これらのキャリブレーションを決定するのはアクチュアリーの責務かもしれません。この場合、キャリブレーションは、過去のデータを分析することから始めるのが一般的です。ここで、ショック測定期間とショック適用期間の違いを認識しておくことが大切です。一般的にこれらの期間は整合的とすべきですが、（ソルベンシー II の場合がそうであるように）必須というわけではありません。

モデルのキャリブレーションにおける主要な論点の一つは、マーケット・コンシステント・アプローチとリアル・ワールド・アプローチの違いです。マーケット・コンシステント・アプローチを用いる場合、ESG に適用するパラメータは、一連の金融商品の市場価格をモデルが再現できるようにキャリブレーションします。したがって、これらは客観的に決定されます。これと対照的に、リアル・ワールド・アプローチを使用する場合は、リスク・ファクターの分布が現実的な見込みに沿うようにパラメータをキャリブレーションすることを意味します。エコノミック・キャピタルを算定する際に使用するリスク・ファクターのストレスは、一般的にリアル・ワールド・アプローチにより決定します。

単一または複数のファクターに即時にストレスを与える手法や、単一ファクターのプロジェクション手法で適用するストレスをキャリブレーションするには、セクション 3.5 に列挙したような特定の過去の出来事を使用

モデルのキャリブレーションにおける主要な論点の一つは、マーケット・コンシステント・アプローチとリアル・ワールド・アプローチの違いです。

することも有用で、比較的客観的な方法と考えられます。複数リスク・ファクター・プロジェクション手法で使用する ESG のパラメータをキャリブレーションする場合は、過去データを使用することが考えられます。

以下は、網羅的なものではありませんが様々なリスク・ファクターをモデル化するために利用できる各種 ESG モデルの一覧です。これらモデルの多くは、マーケット・コンシステント・アプローチおよびリアル・ワールド・アプローチのどちらを利用してもパラメータをキャリブレーションすることができます。

図 6

リスク・ファクター	典型的な分布	モデル
金利	金利変化は正規分布 名目金利はゼロおさえ	Hull-White ; Libor マーケット・モデル インフレ率および実質金利については Jarro-Yildirim モデル 債券リターンは金利、信用スプレッド、デフレーションの 関数
株式	株式時価利回りは正規分布	リスクフリーレートを超える超過リターンについて対数正 規ブラウ運動を用いたモデル 必要に応じて、配当計算用に ARCH モデルまたは GARCH モデル ファット・テイルのモデリングには単一レジームのモデル を使う場合も、レジーム・スイッチング・モデルを使う こともある
不動産	不動産時価利回りは正規分布	株式モデルと類似したモデルを使用するのが一般的 時系列相関を捉えるためには GARCH モデルの利用が適 切かもしれない
スプレッド	信用格付の推移行列 信用スプレッドの変動は正規分布	Jarrow-Landow-Turnbull
為替	為替変動は正規分布	対数正規 ブラウン運動モデル 無裁定モデルも使用可能
相関	一定とするのが一般的	テイルの相関を表現するため、レジーム・スイッチング・ モデルを用いることもある

5. 統合手法

5.1. はじめに

リスク測定基準を決定し、リスクを計算したら、次のステップとして、異なる商品、事業ライン、地域等の別に計算されたリスクを統合する作業が必要です。統合後の必要資本は、統合前の各リスクに対する必要資本の単純合計よりも少なくなるのが一般的です。適切なリスク管理を行っている会社において、ほとんどのリスクについてはその通りだと思われそうですが、オペレーショナル・リスクについては、特別な配慮が必要であり、それについては本論の議論の対象外とします。

最近の金融危機の経験から、リスク間に顕著な相関がありうる事実が強調されています。こうした相関関係は相乗的な影響を持つ場合があります。例えば、信用リスクと市場リスクは、状況によって、一方の悪化が他方の悪化につながるというスパイラル的な関係を持ちえます。

一方、最近の金融危機の経験から、リスク間に顕著な相関がありうる事実が強調されています。こうした相関関係は相乗的な影響を持つ場合があります。例えば、信用リスクと市場リスクは、状況によって、一方の悪化が他方の悪化につながるというスパイラル的な関係を持ちえます。このようなケースでこれらのリスク間に何らかの分散効果を想定してリスクを統合すると、統合リスクを大幅に過小評価しかねません。

信用リスクと市場リスクの相関は、現在大きな注目を集めています。銀行を監督するバーゼル委員会は、調査報告書 16 号 (Working Paper number 16) を今年始めに公表しました。この報告書は、信用リスクと市場リスク間の相関を検証し、トップダウン・アプローチ (つまり、必要資本を各リスク個別に計算し、その後統合する) に基づいた場合、信用リスクおよび市場リスクの双方に対して必要な総資本を過小評価しようと示唆しています。ボトムアップ・アプローチ (各契約に対する信用リスクおよび市場リスクを総合的に考慮して必要資本を計算する) の方がこれらのリスクに対する必要資本を決定するには適切な手法であると提案しています。例えば、金利とデフォルト確率間の相関も捉えることができます。

リスクの相関の詳細については、Neil Cantle の記事「Make proper allowances for risk interactions (リスクの相関に適切な引当を行う)」をご参照 (www.milliman.com/expertise) ください。

本セクションでは、必要資本を統合するための 2 つのトップダウン・アプローチ、相関係数とコピュラを検討します。

5.2. 相関係数

相関係数とは、確率変数間の一次関係の強度と方向を表す指標です。統計的には、以下のように測定します。

$$\text{Corr}(X, Y) = E((X - E[X])(Y - E[Y])) / \sigma_X \sigma_Y$$

相関係数は、2 つの変数が互いにどのように連動するかを表し、-1 から +1 の間の値となります。また、変数の大きさに影響を受けない統計値です。例えば、

- 2 つの変数が動きの大きさに関わらず同じ方向に動く傾向がある場合、相関係数は +1 に近くなります。
- 2 つの変数が動きの大きさに関わらず反対の方向に動く傾向がある場合、相関係数は -1 に近くなります。
- 2 つの変数が動きの大きさに関わらず互いに完全にランダムな方向に動く傾向がある場合、相関係数は 0 に近くなります。

リスクは、以下のフォーミュラのとおり統合されます。

$$\text{総リスク} = \left(\sum_i \sum_j \rho_{ij} X_i X_j \right)^{1/2}$$

ここで、 $i, j = 1, 2, \dots, n$ (n は、統合対象のリスクの数)

ρ_{ij} は、リスク i とリスク j 間の相関係数

X_i は、リスク i のリスク額 (例えば、VaR)

下表は、上記フォーミュラを用いて事業ライン (生命保険、損害保険、銀行) 別に測定された各リスク (市場、信用、保険) がどのように統合されるか例示したものです。各ライン別に計算された各リスク額を単純に合算すると 189 となります。これは、分散効果を一切反映しない場合の必要資本額です。

図 7

	市場	信用	保険	合計	相関を考慮した 合計
生命保険	34	14	12	60	47
損害保険	16	20	11	47	36
銀行	31	42	9	82	67
合計	81	76	32	189	150
相関を考慮した合計					132

リスク間の相関係数を用いて相関行列を作成し、これを上記フォーミュラに適用して各行の統合リスク量を計算することができます。各事業ラインに対する必要資本額は、そのラインのリスク間の相関を考慮すると単純合計値よりも低くなります。例えば、生命保険事業に対する総必要資本額は、60 から 47 に減少します。事業ライン毎の必要資本額を単純合計すると 150 になります。リスク間の分散効果により、分散を一切考慮しない場合の必要資本額である 189 から減少しています。

リスク間の相関係数を用いて相関行列を作成し、これを上記フォーミュラに適用して各行の統合リスク量を計算することができます。

最終的な必要資本額は、さらに事業ライン間の相関を表す別の相関行列を適用して統合します。これにより、最終的な総必要資本額は、150 から 132 にまで減少します。

相関係数アプローチでは、リスクは正規分布に従い、相関関係は周辺分布たる各正規分布に対して指定することとなります。そのため、各リスクの結合分布は、多変量正規分布となります。従って、こうした前提条件がために、リスクが正規分布でない場合には、許容不能問題が生じる可能性があります。

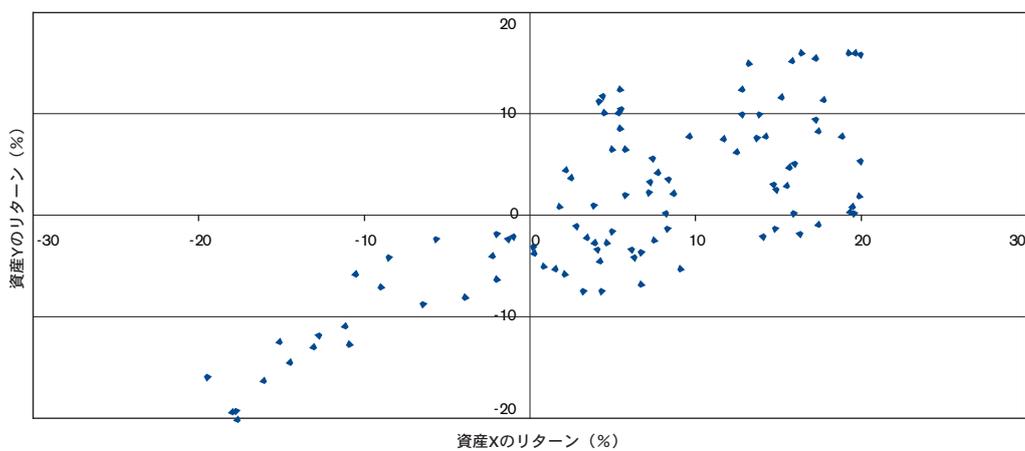
異常な状況の下では、平時と異なった相関関係に移る傾向があります。例えば、死亡率と資産時価は通常相関がないと考えられますが、テロが起きた場合、資産時価の下落と死亡率の急増が同時に起こりえます。そのため、異常な状況下では、正規分布を前提とした相関関係 (テイル部分が相関しない) を死亡率と資産時価の間に仮定することは不適切となってしまいます。必要資本はそもそもこうした異常事態への対応額として計算されるため、損失分布のテイル部分こそが最大の関心時です。こうしたストレスのかかった状態において、相関係数アプローチによるリスク統合手法がうまく機能しないということになります。

以下のグラフは、 X と Y という 2 種類の資産の年間リターン散布図です。2 資産間には明確に強い正の相関があり、相関係数は 0.79 です。しかし、リターンが大きくマイナスになるにつれ相関がより強くなり、リターンが正值の場合には相関が弱くなるように見えます。 X のリターンが負値の場合の相関係数は 0.91 ですが、

物事がうまくいっている時には、資産間の相関は少ないかもしれませんが、ネガティブな事象が資産に影響を及ぼす時には、資産間により大きな相関が見られると考えられます。

正值の場合の相関係数は 0.46 に過ぎません。また、X のリターンが正值となっている観測値の方が多くあります。ある資産のリターンがマイナスとなる場合よりもプラスとなる方が多いと考えるのは決して非現実的なことではないでしょう。物事がうまくいっている時には、資産間の相関は少ないかもしれませんが、ネガティブな事象（例えば、芳しくない経済見通しや、もっと極端な例として、テロの発生）が資産に影響を及ぼす時には、資産間により大きな相関が見られると考えられます。

図 8: 資産リターン間の相関



こうした資産リターンの過去データの分析に基づいた場合、相関係数はたいてい区間 [0.46, 0.79] の間にあると推論されることが多いでしょう。エコノミック・キャピタルの算出を目的とする場合、(X および Y ともに負値のリターンとなる) テイル部分の相関が低く評価されてしまうため、これでは相関を著しく低く評価してしまうことになります。つまり、資産ポートフォリオ内の 2 つの資産間の分散効果を過大評価していることとなるため、不適切な必要資本額が算出されてしまいます。この点に対処するための一つの方法として、相関係数の設定にあたりレジーム・スイッチング手法を適用した ESG を使用して、複数リスク・ファクター・プロジェクション手法を用いることが考えられます。

5.3. コピュラ

コピュラのアイディアは、Sklar の定理からきています。Sklar の定理は、以下のようにまとめることができます。

- $M(x)$ および $N(y)$ が、二変量分布 $Z(x,y)$ の 2 つの周辺分布だとします。
- $Z(x,y) = C(M(x), N(y))$ となるような関数 C が存在します。
- この関数 C は、コピュラと呼ばれます。
- 全ての連続多変量関数には、一意なコピュラがあります。

エコノミック・キャピタル計算に当てはめた場合、 M および N は、2 つのリスク分布（関数）として見なすことができます。相関係数アプローチでは、リスク測定基準（例えば、VaR）をこれら分布のそれぞれに適用してリスク量 M' および N' を計算し、リスク M および N 間の相関前提条件（例えば、相関係数 0.4）に基づいて統合を行うことで、総必要資本額を算出することとなります。この点こそ、相関係数アプローチがうまく機能しない部分であり、 M および N 間の相関は、全ての $M(x)$ および $N(y)$ に対して一定としています。

例えば、仮に、 M は株式リスク、 N は解約リスクで、通常は 0.4 の相関があるとします。しかし、 $M(x)$ が大きなマイナスのリターンを示した場合、相関ははるかに高く（例えば 0.75）なるかもしれません。エコノミック・キャピタル計算を目的とする場合は、こうしたより極端な状況（とその際の相関）が主たる関心事項となります。

コピュラを使えば、この問題を解決することができます。関数 C は平面（この場合は二次元ですが、追加リスクを加えれば、 n 次元平面まで拡張することができます）で、 M および N 間の相関が、 M および N の分布上の各点で異なる値を取るよう指定することができます。

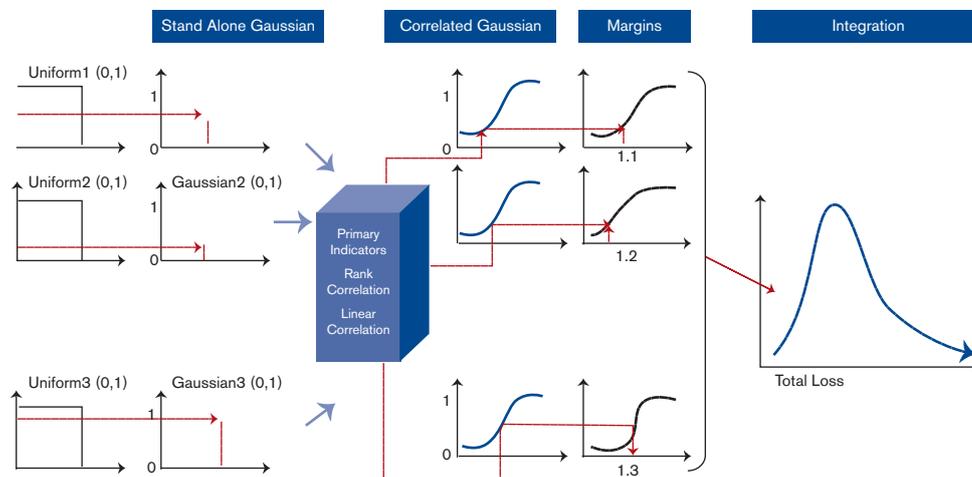
実務では、 M および N は、しばしば元のリスク分布そのものではなく、それを変換した分布を用います。このようにすることで、コピュラをより簡単に定義できるようになります。各リスクは、区間 $[0, 1]$ における一様分布に変換されます。

これを行うための一つの方法は、各リスクの累積分布関数を用いることです。

コピュラの構造が特定できれば、周辺分布や統合後のリスク分布をシミュレーションすることは比較的簡単な作業です。まず、各リスクについて、それぞれ一様なランダム変数をシミュレーションします。例えば、一様なランダム変数を p と q とします。次に、各リスク分布の累積分布上の値を p, q に対して求めます。この例では、分布 $M(x)$ および $N(y)$ は、元になるリスクの累積分布とするため、 $M(p)$ および $N(q)$ を計算することとなります。そして、 $r = C(M(p), N(q))$ を計算して $M(x)$ および $N(y)$ 間の相関を捉えます。最後に、 M および N の逆関数を用いて、各周辺分布の相関反映後のリスク額を計算します。つまり、本試行における損失は $M^{-1}(r)$ および $N^{-1}(r)$ となり、この試行に対する総損失は、この2つの金額の合計額となります。この手順を適切な回数繰り返すことで、総損失の分布が求められます。

下図は総損失のシミュレーションを示したものです。ここで周辺分布は標準正規分布 $N(0,1)$ です。青色の四角は、周辺分布間の相関を考慮する際に用いられる様々な手法を表しています。これらアプローチの一つがコピュラです。

図 9: コピュラを用いた総損失のシミュレーション



出典: Morone, M., Cornaglia, A. & Mignola, G., Economic Capital Assessment via Copulas: Aggregation and Allocation of Different Risk Types, Intesa-Sanpaolo, 2007.

上図の「Stand Alone Gaussian」の部分に示される周辺分布は、エコノミック・キャピタル計算の場合、市場リスク、信用リスク、保険リスク等の各リスク分布を意味します。また、これらの周辺分布は、正規分布である必要はありません。

5.4. 多変量手法

セクション 4.4 では、エコノミック・キャピタルを計算するための多変量手法について記述しました。複数のリスク・ファクターにストレスを与える場合、全てのリスク・ファクターが同時に考慮され、リスク統合の影響も直接的にエコノミック・キャピタルの計算結果に反映されます。このアプローチは、市場リスク計算を行う場合によく用いられます。動的解約の影響を反映する場合に用いられることもあります。なぜなら、これらのリスク・ファクターは非常に高い相互依存関係にあるためです。リスク統合の仕組みは ESG モデルに組み込まれています。つまり、各リスク・ファクターの生成モデル間には直接あるいは間接的に相関関係が反映されます。

このアプローチの利点は、リスク・ファクターの関係または相関がリスク・ファクターそのものに対して明示的に定義されていることです。この点においてセクション 5.2 で概説した相関係数アプローチと異なります。相関係数アプローチでは、エコノミック・キャピタル額（すなわち、テイル・シナリオ）の相関が定義されます。

複数リスク・ファクターを同時に評価するのと同様の要領で、複数の商品グループ、地域、法人に対する必要資本額の統合を、それらを同時に評価することにより行うことができます。

複数リスク・ファクターを同時に評価するのと同様の要領で、複数の商品グループ、地域、法人に対する必要資本額の統合を、それらを同時に評価することにより行うことができます。この手法においては、各種商品グループ、地域、法人間のあらゆる相関が直接的に捉えられるため、分散効果は暗示的にモデル化されることとなります。

6. 資本の配賦

会社レベルの資本およびリスクは、様々な目的に応じて（事業ユニット、ライン、商品など）細区分に配賦されます。総資本を計算する主たる理由は多くの場合監督官庁への報告目的ですが、保険会社はリスクに対する認識を高めてきており、以前よりも積極的に資本やリスクの配賦を行うことで、より適切なプライシングや業績測定を行おうとしています。本セクションでは、資本の配賦について述べます。

6.1. プライシングおよび技術的準備金

資本を事業ユニット、ライン、商品に配賦する目的の一つは、プライシングを行う際に資本コストを適切に反映させることです。資本コストは、通常、商品に配賦される資本金額と、当該資本に対する要求リターンにより計算されます。そのため、リスクがより集中している（分散が少ない）場合にはより多額の資本が配分されるため、ターゲット・プライスは、通常、高くなります。

同様に、リスクがうまく分散されている場合は、配分される資本は少なくなり、したがって、プライシング時に反映される資本コストは低くなります。ここで問題となるのは、資本を配賦する手法は一通りではないということです。その結果、ある事業ラインのリスクに対して割り当てられる資本金額は、保険会社によって大きく異なる場合があります。したがって、同じリスクを引き受けるとしても保険会社によって保険料が異なる結果となります。

ある商品が抱えるリスクのプライシングを行う場合、市場が求めるリスク・プレミアムを反映すべきで、自社の固有の状況に基づく分散効果が織り込まれた自社のリスク資本を反映させるべきではないという主張があります。また、株主の報酬が、単に個別の商品ラインに資本を配分する経営手法によって変わってしまうのも問題です。しかしながら、こうしたプライシングや株主の報酬は、資本要件をどのように設定するか依存しています。

マーケット・バリュー・マージン・アプローチを用いて必要資本を設定した場合は、リスクの時価が反映されているはずですが、マーケット・バリュー・マージンは、負債ポートフォリオを移転するに当たり第三者に支払う必要のある金額だからです。自社のソルベンシー資本要件を用いて事業ラインの必要資本を定義する場合、分散効果やリスク選好度は会社によって異なるため、必要資本額は各社の社内構造によって当然異なり、故に同じリスクであっても必要資本額は会社によって異なります。

類似した事業に対するソルベンシー資本要件が会社によって異なれば、類似した負債の「マーケット・コンシステント」な評価額も変わってきます。この手法では、あらゆるヘッジ不能リスク間の分散効果を反映してソルベンシー必要資本を計算し、これにより資本コストの負荷を計算するため、いくつかの短所があります。この場合の技術的準備金は、会社を事業ユニット毎に分割して第三者に移転する場合に必要な技術的準備金よりも少なくなってしまう。最近の金融危機で見られた事例から明らかなように、金融機関は事業継続上の問題が生じた場合、会社の一部を第三者に売却する手段を取れるようにしておく必要があります。

Neil Cantle の記事「The Big Picture: Enterprise risk management can reveal key pricing concerns to insurers that may help prevent losses（概説：全社的リスク管理を実行することで保険会社のプライシング上の重要な問題を明らかにできれば損失を防ぐことができるかもしれない）」が www.milliman.com/expertise に掲載されており、ERM およびプライシング時の懸念事項について詳述されておりますのでご覧ください。

6.2. リスクの予算化と資本の配賦

リスクの予算化とは、管理者がどの分野（ライン、商品、地域等）でリスクを取るべきか決定を行うプロセスのことです。まず最初に、会社全体の統合リスクに対する予算を設定します。次に各分野に対するリスク・ターゲット（予算）を設定します。通常、これをトップダウン、つまり、全社レベルから始めて、事業ユニット、ラインという順に行います。総リスク予算を各階層の各区分に配賦して予算を定めるには、何らかの資本配賦手法が必要です。

総資本を計算する主たる理由は多くの場合監督官庁への報告目的ですが、保険会社はリスクに対する認識を高めてきており、以前よりも積極的に資本やリスクの配賦を行うことで、より適切なプライシングや業績測定を行おうとしています。

総リスク予算を各階層の各区分に配賦して予算を定めるには、何らかの資本配賦手法が必要です。

各区分の予算が決定されたら、管理者はこれをその区分で実際に取っているリスク量と比較することができます。比較を行うことにより、どこで追加資本が必要か、またどこで資本を減らせるかといった意思決定を行えるようになります。予算は、管理者に対して責任を割り当てる際にも利用できます。例えば、ファンドマネージャーは、取ることが許されるリスクの範囲内で権限を与えられるかもしれません。さらに、事業ユニット、ライン、商品といった各区分のリスクに対して明示的な予算があることで、管理者はよりリスクに対する認識を高めるようになります。これにより、保険会社全体のリスク管理レベルを向上させることができます。

保険会社は再保険やヘッジなどのリスク軽減戦略を策定し、各事業ユニットがこれを実行に移します。こうしたリスク管理施策が事業ユニットレベルで実施される場合、その事業ユニットのリスク・ポジションに影響があるのはもちろん、全社ベースのリスク・ポジションにも影響を与えます。ただし、グループ内の資本移動に制限がある場合、グループの一部が行った再保険やヘッジプログラムの影響は、グループの他の部分には限定的な影響しか与えないこととなることに注意してください。この点については、2つの重要な概念があります。1つ目は、グループ内のどこで資本を保有しようと、どこで損失が発生しようと、その損失を資本で吸収することができるという資本の流用可能性 (fungibility of capital) です。2つ目は、移転の時間およびコストを考慮した上で、1つの事業ユニットがグループの別のユニットに資産や負債を移転することが実際にできるという資本の移動可能性 (transferability of capital) です。

異なる事業ユニット、ライン、商品に資本を配賦することは、保険会社のリスク選好度の管理にも役立ちます。

異なる事業ユニット、ライン、商品に資本を配賦することは、保険会社のリスク選好度の管理にも役立ちます。例えば、事業ユニットに資本が配分されると、その資本金額は、管理者がそのユニットで取ることを認められているリスクの上限になります。例えば、運用部門にリスク予算を割り当てるといった具合です。業績評価に取ったリスク量を考慮する（かつ、リスク予算を超過した場合は報酬を下げる）など、リスク予算を超過することを躊躇させるような逆のインセンティブを与えることが考えられます。事業ユニットに資本を配賦することはまた、意思決定を行う際にも重要なツールとなります。リスクに関する各種意思決定は、組織全体のリスク選好度にどのような影響を及ぼすかという観点からより明確に行われることになるでしょう。

リスクの予算化に対する別のアプローチとして、リスクが発生する事業ユニットや地域にかかわらず、資本をリスク種類別に配賦する手法が考えられます。この手法は、子会社が引き受けたリスクの総額をリスクの種類別に管理する際に役立ちます。

リスクの予算化に対する別のアプローチとして、リスクが発生する事業ユニットや地域にかかわらず、資本をリスク種類別に配賦する手法が考えられます。この手法は、子会社が引き受けたリスクの総額をリスクの種類別に管理する際に役立ちます。しかし、特定のリスクに対して割り当てられた予算をどのように活用するかが明確ではないため、経営上の意思決定にはあまり役立たないかもしれません。

実務では、分権型のリスク管理と中央集権型のリスク管理を組み合わせている例がよく見られます。ラインの管理者は、予算内でのリスク管理はうまくできるかもしれませんが、多くの場合、全社レベルのリスク原則を意識していません。これでは、結果的に「サイロ型」リスク管理になってしまいます。

エコノミック・キャピタルとリスク引受可能額の間には、十分なバッファーを維持する必要があります。このバッファーは、2つに分けることができます。

1. 戦略的バッファー：新契約の引受ならびに新規ビジネス開拓、あるいは監督規制の強化に備えるためのバッファー。経営陣の戦略的構想に基づいて、このバッファーの規模を決定することになります。
2. 技術的バッファー：エコノミック・キャピタル計算時に考慮した1年間という期間では捉えられないビジネス・サイクルの影響や自己資本のボラティリティに備えるためのバッファー。自社の財務状態の分析を行うことが、このバッファーを決定するために重要です。

6.3. リスク調整後の業績測定

総資産利益率 (ROA)、自己資本利益率 (ROE)、リスク調整後資本利益率 (RAROC) およびリスク調整後資本に対するリスク調整後利益率 (RARORAC) は、全て一般的な業績指標で、最後の2つのみがリスク調整後の業績指標です。

RAROC および RARORAC は、業績指標としてよく利用されます。これらは、ポートフォリオの収益性を測る指標ですが、利益を生成するために取ったリスクを考慮しています。これらリスク調整後の指標は、ROE

や ROA などの伝統的な利益率指標に比べて、より正確に（ポートフォリオや保険会社の業績を）比較することができると考えられます。

伝統的な業績指標は、会計上のバランスシート項目に対してパフォーマンスを測定します。これらには 2 つの短所があります。

1. 総資産と対比させる場合、レバレッジの影響が無視されます。これが ROA の短所ですが、ROE はレバレッジの影響を考慮します。
2. 資産種類やリスクの程度について区別がありません。ROE も ROA もリターンを達成するために取ったリスクを考慮していません。

RAROC は、リスク調整後のリターン（長期的な視点に立ち、保険のビジネス・サイクルを平準化したベースで期待されるリターン）を保有資本で除して計算します。

$$\text{RAROC} = \text{リスク調整後のリターン} / \text{資本}$$

RARORAC は、リスク調整後のリターンを必要資本で除して計算します。必要資本は、分子（経済価値ベースのリターン）を生成するために保険会社が取ったリスクを捉えるもので、会社レベルでのリスク間の分散効果も反映されます。

$$\text{RARORAC} = \text{リスク調整後のリターン} / \text{必要資本}$$

$$= (\text{収入} - \text{費用} - \text{損失期待値}) / \text{必要資本}$$

株主の視点からは、RAROC の方が重要です。これは、株主が拠出した総資本に対するリスク調整後リターンを表す指標です。RARORAC は、リターンを生み出すために必要な資本に対するリターンを測定するため、内部管理目的に用いるのがより適切です。RARORAC は必要資本を超えて保有する追加的な資本（必要資本と保有資本の差）を考慮しないため、RARORAC と RAROC を比較し差異を分析することで、様々な洞察が得られることが多いです。

RAROC に用いられる総資本と RARORAC に用いられる必要資本との差は、前セクションで述べた 2 つのバッファ、戦略的バッファと技術的バッファから構成されます。この差の一因は、配賦された資本予算を使い切っていない事業ユニットがある、あるいは、配賦されていない資本があるといった理由によるものかもしれません。

RARORAC は、業績比較を行うことが望まれるあらゆるレベルで計算できます。例えば、会社レベル、事業ユニットレベル、商品レベルです。この計算を行う際に重要なのは、リスクに対応するために必要な資本を正しく配賦することです。例えば、生命保険事業に対する資本を生命保険商品に配賦してそれぞれの RARORAC を計算することで、生命保険事業内の各商品ラインの相対的なパフォーマンスを分析することができます。これにより、どの商品ラインを拡大すべきか、あるいはどのラインへの割当資本を減らすべきかといった経営判断を行うために有用な多くの情報が得られるでしょう。

エコノミック・キャピタルを単純なフォーミュラ・アプローチにより算定することで、リスク調整後業績指標をよりよく理解することができます。例えば、今後 1 年間に 100 年に 1 度の事象に相当する巨大災害が生じた場合に、資産 A が（倒産せずに）サポートできる負債ポートフォリオの最大値を L と定義し、当該損失期待値を I （資産に対する比率として表したもの）とすると、

$$L = A (1 + r_a) (1 - I) / (1 + r_l)$$

ここで、 r_a は、その年の資産に対する利益率、また r_l はその年の負債の増加率です。そして、この損失に備えるために必要なエコノミック・キャピタル (EC) は資産と負債の差額となります。

$$EC = A \{ 1 - [(1+r_a)(1-l) / (1+r)] \}$$

ABC 社の保有資産は 100 で、その 60% を資産 X (期待リターン 7.8%)、40% を資産 Y (期待リターン 7.5%) に投資しているとします。加重平均リターンは 7.68% となります。負債は翌年度に 6% の増加が見込まれるものとします。さらに、100 年に 1 度の巨大災害が生じた場合、資産 X は 20% 下落 (つまり、X に対して $l = 20\%$)、資産 Y は 10% 下落するものとし、資産 X と Y の相関は 0.5 であるとしています。(X および Y 間の分散がないとした場合) ポートフォリオの下落率は 16% となります。このようなシナリオに対して必要なエコノミック・キャピタルは、以下のようになります。

$$EC = 100 \{ 1 - [(1 + 7.68\%) (1 - 16\%) / (1 + 6\%)] \} = 14.67 \text{ (分散を無視)}$$

$$EC = 100 \{ 1 - [(1 + 7.68\%) (1 - 14.4\%) / (1 + 6\%)] \} = 13.07 \text{ (分散を考慮)}$$

X および Y 間の相関を考慮すると、ポートフォリオの下落率は 14.4% となり、必要なエコノミック・キャピタルは 13.07 まで減少します。この 13.07 が ABC 社が保有するエコノミック・キャピタルであるとすると、ABC 社の負債は 86.93 になります。

ここで資産 X と資産 Y のリターンを比較したいとします。これをリスク調整後の基準で行うためには、各資産に資本を配分しなくてはなりません。資本は、上記と同様のフォーミュラを用いて配分できます。以下は、分散を考慮しない状態で計算した各資産に対する必要資本です。

$$EC(X) = 60 \{ 1 - [(1 + 7.8\%) (1 - 20\%) / (1 + 6\%)] \} = 11.18 \quad (76\%)$$

$$EC(Y) = 40 \{ 1 - [(1 + 7.5\%) (1 - 10\%) / (1 + 6\%)] \} = 3.49 \quad (24\%)$$

比例配分方式を使用すると、総資本の 76% ($76\% \times 13.07 = 9.96$) は資産 X に配分され、24% (3.11) が資産 Y に配分されます。下表は、資産区分別に年始のバランスシート項目をまとめたものです。

図 10

	区分X	区分Y	合計
資産	60.00	40.00	100.00
負債	50.04	36.89	86.93
EC	9.96	3.11	13.07

次のステップでは、各資産に対するRARORACを計算します。この例では、RARORACフォーミュラは以下のように変形できます。

$$\begin{aligned} \text{RARORAC} &= (\text{収入} - \text{費用} - \text{損失期待値}) / \text{必要資本} \\ &= (A \times r_a - L \times r_l - \text{損失期待値}) / \text{EC}_0 \\ &= \text{EC}_1 / \text{EC}_0 \end{aligned}$$

翌年の損失期待値(分散効果考慮後)は、資産Xについて1.2%、資産Yについて1%であるとしします。この結果、年末のバランスシート項目は、下表のとおりとなります。

図 11

	区分X	区分Y	合計
資産	63.90	42.57	106.47
負債	53.04	39.10	92.14
EC	10.86	3.47	14.33

資産は、増加率で増加し、期待損失分減少します。例えば、 $63.90 = 60 \times (1+7.8\%) \times (1 - 1.2\%)$ です。負債は負債増加率分だけ増加し、年末の資産と負債の差として新たにECを計算します。RARORACは、この段階で各資産について計算できます。

$$\text{RARORAC}(X) = 10.86 / 9.96 - 1 = 9.0\%$$

$$\text{RARORAC}(Y) = 3.47 / 3.11 - 1 = 11.5\%$$

資産Xの方が期待リターンは高いですが、リスク調整後リターンに基づくと資産Yの方が魅力的な投資になります。これは、資産Xのリスクの方が（翌年に発生しうる巨大災害リスクと期待損失という点で）高いために、より多くの資本が必要になるためです。リスク調整後の業績指標に基づいてポートフォリオを比較する場合、単独のポートフォリオに必要な資本ではなく、統合ポートフォリオに対して必要な資本のうち当該ポートフォリオに対応する額を分母とすることが重要です。ですから、例えば、RARORAC(X)に対する分母は、単独ベースの必要資本（11.18）ではなく、統合ポートフォリオの必要資本のうち資産Xに対応する額（9.96）でなくてはなりません。

7. 資本の配賦

7.1. はじめに

分散効果を考慮しリスクを統合したら、次のステップとして、今度は様々な目的のために各セグメントへ資本を配賦したいという場面があると思います。つまり、リスク統合時に考慮した分散効果を、セグメント毎のリスクに配賦することが必要であるということです。どのように資本を配賦するかによって、リスク/リターン分析は大きな影響を受けますし、保険商品のプライシングや、(リスクの予算化およびリターンの測定といった)経営企画/コントロール・サイクルにおいても不可欠なプロセスです。

資本の配賦方法としては様々なアプローチがありますが、目的によって適切なアプローチは異なります。以下に示すような様々な基準により資本を配賦することが可能です。

- リスク
- 商品/商品グループ
- 地域
- 法人/組織

「適切な配賦手法」が満たすべき条件を定義することで、様々な配賦手法の優劣を比較することができます。例えば、当該手法がコヒーレントであるといえるかどうかという基準が考えられます。

「適切な配賦手法」が満たすべき条件を定義することで、様々な配賦手法の優劣を比較することができます。例えば、当該手法がコヒーレントであるといえるかどうかという基準が考えられます。配賦手法は、以下の条件を満たしている場合、コヒーレントであると考えられます。

- 減損なし (No undercut) : 当該セグメントへの配分量は、そのセグメント単独の必要資本を超えない。
- 対称性 (Symmetry) : 2つのセグメントのリスクが(採用したリスク測定基準で評価した結果)同じであれば、リスク配分量も同一となる。
- リスクフリー区分に対する配分 (Risk-free allocation) : リスクフリーの事業ラインに配分される資本はゼロである。

本セクションでは、いくつかの資本配賦手法を紹介し、以下に示す実務例に沿って例示を行います。

X、Y、Zという3社のポートフォリオを考えます。各ポートフォリオから生じる損失は、 $X \sim N(50,10)$ 、 $Y \sim N(40, 7)$ 、 $Z \sim N(70,12)$ の正規分布に従うものとします。ポートフォリオの利益は、 $X: 60$ 、 $Y: 50$ 、 $Z: 80$ で固定値であるとし、各ポートフォリオを1,000回シミュレーションし、それらのシミュレーションにおける損失のVaR (99.5)を各ポートフォリオに対する必要資本とします。VaRは一例で、実務では他の測定基準を用いることもあります。VaRはフォーミュラを用いて解析的に直接計算することも可能ですが、以下の結果は有限個のシミュレーション結果に基づく近似値であることに注意ください。

3つのポートフォリオ間には以下の相関係数を仮定します。

図 12

	X	Y	Z
X	1.0		
Y	0.8	1.0	
Z	0.3	0.2	1.0

下表は必要資本の計算結果をまとめたもので、この結果を本セクションの事例すべてに用います。XYZを統合したトータル・ポートフォリオに対する必要資本は、分散効果を考慮し、各ポートフォリオの必要資本を統合することにより求めます。

図 13

ポートフォリオ	必要資本
X	15.9
Y	8.8
Z	22.7
XYZ 合計	47.4
XYZ 合計 (分散効果反映後)	37.0

注：各ポートフォリオの必要資本の単純合計（47.4）よりも、統合ポートフォリオの必要資本（37）の方が小さくなっています。本セクションの目的は、この37をX、Y、Zの各ポートフォリオに再配分することです。

以下のアプローチについて詳しく見ていきましょう。

- マージナル・アプローチ
- ゲーム理論

7.2. マージナル・アプローチ

資本配賦を行うために使用可能なマージナル・アプローチは数多くあります。本セクションでは、以下のアプローチを分析します。

- 比例配分／線形マージナル・コントリビューション
- 離散型マージナル・コントリビューション
- 連続型マージナル・コントリビューション
- Myers-Read 配賦手法

7.2.1. 比例配分／線形マージナル・コントリビューション

比例（線形）的な資本配賦は、最も単純なアプローチです。XYZ 統合ポートフォリオの（分散効果反映後の）必要資本を、X、Y、Z それぞれに比例的に配分します。例えば、ポートフォリオ X には $37 \times (15.9/47.4)$ が再配分されます。

このアプローチでは、ポートフォリオ全体の分散効果を、各ポートフォリオの個別必要資本に比例するよう配分します。そのため、高い相関を持つポートフォリオにペナルティを与えるような配分にはなりません。同様に、全体の分散効果を高めるポートフォリオを優遇することはありません。

下表は、資本を比例配分させた結果です。

図 14

ポートフォリオ	比例配分
X	12.4
Y	6.9
Z	17.7
XYZ	37.0

7.2.2. 離散型マージナル・コントリビューション

離散型マージナル・コントリビューション手法では、まず特定のポートフォリオを除外して統合ポートフォリオの資本を計算し直します。例えば、ポートフォリオ YZ の資本は 25.9 です。次に、統合ポートフォリオの資本からこの資本（25.9）を減算し、除外したポートフォリオの統合ポートフォリオに対する貢献金額を求め

離散型マージナル・コントリビューション手法では、まず特定のポートフォリオを除外して統合ポートフォリオの資本を計算し直します。

ます。したがって、ポートフォリオ X の離散型マージナル・コントリビューションは、 $37.0 - 25.9 = 11.1$ となります。

離散型マージナル・コントリビューション手法では、各ポートフォリオの貢献度の合計が統合ポートフォリオの必要資本と等しくなるよう相似拡縮（この例では係数 37/30 を乗じる）を行うことにより、最終的なスケールド・マージナル・コントリビューションを求めるのが一般的です。離散型マージナル・コントリビューションは、連続型マージナル・コントリビューション・アプローチの近似的手法と位置づけられます。

下表は、離散型マージナル・コントリビューションおよびスケールド・マージナル・コントリビューションの計算結果を示します。

図 15

ポートフォリオ	当該ポートフォリオを 除いた場合の VaR	離散型 マージナル・ コントリビューション	スケールド・ マージナル・ コントリビューション
X	25.9	11.1	13.6
Y	31.4	5.6	6.9
Z	23.6	13.4	16.5
XYZ		30.0	37.0

7.2.3. 連続型マージナル・コントリビューション

連続型マージナル・コントリビューション・アプローチは、Euler 手法としても知られています。この手法は、各個別ポートフォリオ・リスクの統合ポートフォリオ・リスクに対する微分係数を計算します。個別ポートフォリオのリスク額に微分係数を乗じたものがそのポートフォリオの連続型マージナル・コントリビューションとなります。

例えば、ポートフォリオ X の VaR が 1% 増加すると、ポートフォリオ XYZ の資本要件は 0.81% 増加します。従って、ポートフォリオ X の連続型マージナル・コントリビューションは、 $0.81 \times 15.9 = 12.9$ です。各ポートフォリオの連続型マージナル・コントリビューションの合計は、統合ポートフォリオ XYZ に対する総必要資本に一致することに注意してください。このアプローチの短所は、個別ポートフォリオ間に負の相関がある場合、コントリビューションが負値になりうることです。

下表は、連続型マージナル・コントリビューションの計算結果を示したものです。

図 16

ポートフォリオ	統合VaRの変化 / 個別ポートフォリオVaRの変化	連続型マージナル・ コントリビューション
X	0.81	12.9
Y	0.71	6.2
Z	0.79	17.9
XYZ		37.0

7.2.4. MYERS-READ 配賦手法

Myers-Read 手法には、マージナルの増加分を合計すると総資本に一致するという他のマージナル手法にはない長所があります。

会社の株主は、保険会社の保有資本を超えて発生する損失に対してプットオプションを保有しています（株主は、保険会社に保険金支払能力がある間の損失に対してのみ責任があるため、超過損失については保険契約者に転嫁することができるわけです）。Myers-Read 手法では、通常、総損失金額は正規分布または対数正規分

布に従うとします。従ってデフォルト・プットオプションの価値は、Black-Scholes オプション・プライシング・フォーミュラにより決定できます。

いかなるポートフォリオであっても、リスク・エクスポージャーを増やせばそのポートフォリオに対するデフォルト・プットオプション価値も増大します。一方、ポートフォリオに資本を追加すると、デフォルト・プットオプション価値は減少します。Myers-Read 手法は、ポートフォリオヘリスクを追加するコストを、当該リスクの増分に対して必要となる追加資本額として計算します。追加リスクに対する必要資本は、デフォルト・プットオプション価値の損失期待値に対する率が一定となるように計算されます。

追加リスクに対する追加コストの計算は、ポートフォリオ内のすべての単位リスクについて行い、その総計が総必要資本に到達するまで行います。

7.3. ゲーム理論

ゲーム理論は、利害の対立がある状況下での意思決定に広く用いられるアプローチです。リスクの配賦を行うにあたっての利害の対立とは、各個別ポートフォリオ間の分散効果をどのように配分するかということです。各個別ポートフォリオは、より大型の分散効果のあるポートフォリオの一部であることにより恩恵を受けますが、一方で分散効果の一部を放棄することにもなっています。

Lloyd Shapley は、提携関係を結ぶというゲームに対する安定的ソリューションとして「Shapley Value」を導入しました。プレーヤーの人数に制限はありませんが、プレーヤーの人数は整数でなければならないという制限があります（詳細は、Aumann-Shapley コントリビューションの説明をご参照ください。）

Shapley Value は、当該対象が最初に追加された場合、最後に追加された場合、そして追加順位が最初でも最後でもないすべての場合の平均に基づきます。上記の例では、ポートフォリオが3つしかないので、最初でも最後でもないケースとしては2番目に追加された場合しかありません。最初に追加された場合の値は、前セクションの比例配分手法による計算値と同じです。最後に追加された場合の値は、離散型マージナル・コントリビューションと同じ、つまり、当該ポートフォリオがXYZポートフォリオに最後に追加された場合の貢献額となります。

2番目に追加された場合の値は、当該ポートフォリオが2番目に追加されるあらゆるケースについて計算を行います。例えば、ポートフォリオXについて、Xは、ポートフォリオXYまたはXZに2番目に入る可能性があります。2番目に追加された場合の値は、Xがこれらポートフォリオのそれぞれに対して2番目に追加された場合の貢献額により計算されます。

- ポートフォリオXYの配分（前セクションの表より23.6）からポートフォリオYが最初に追加された場合の貢献額（6.9）を減算すると、ポートフォリオXYに対してXが2番目に追加された場合の貢献額（ $23.6 - 6.9 = 16.7$ ）が計算できます。
- ポートフォリオXZの配分（前セクションの表より31.4）からポートフォリオZが最初に追加された場合の貢献額（17.7）を減算すると、ポートフォリオXZに対してXが2番目に追加された場合の貢献額（13.7）が計算できます。

Xが2番目に追加された場合の平均値（15.2）は、Xが2番目に追加される全てのケース（この場合XYとXZ）の貢献額を平均することによって計算されます（つまり、15.2は、16.7と13.7の平均）。

下表は、Shapley Value による配分結果を示したものです。

いかなるポートフォリオであっても、リスク・エクスポージャーを増やせばそのポートフォリオに対するデフォルト・プットオプション価値も増大します。一方、ポートフォリオに資本を追加すると、デフォルト・プットオプション価値は減少します。Myers-Read 手法は、ポートフォリオヘリスクを追加するコストを、当該リスクの増分に対して必要となる追加資本額として計算します。

図 17

ポートフォリオ	最初に追加	2番目に追加	最後に追加	平均	2番目に追加された場合の計算	
X	12.4	15.2	11.1	12.9	16.7	13.7
Y	6.9	9.7	5.6	7.4	11.1	8.2
Z	17.7	19.0	13.4	16.7	18.9	19.0
XYZ				37.0		

最後に相似拡縮をする必要はありません。各ポートフォリオへの配分額を積み上げれば自動的に合計値に一致します。しかし、2つほど短所もあります。まず、莫大な計算作業を必要とすること、つまり、ポートフォリオが増えると飛躍的に計算行程が増えてしまいます。また、プレーヤーの数が整数である必要があるという問題があります。例えば、ポートフォリオ X をポートフォリオ X1 と X2 に分けると、4つのポートフォリオに対して再度計算を行う必要があり、Y および Z への配分額が変わってしまう可能性があります。これは、配賦手法として望ましい性質ではありません。

Aumann および Shapley は、プレーヤーの数に端数がある場合でも機能する Aumann-Shapley value を開発しました。Aumann-Shapley value は、リスクの増加率を表します。つまり、小規模なポートフォリオを加えたときにどの程度のリスクが追加的に生じるかを計測するものです。リスクを測定するにはリスク測定基準を定める必要がありますが、上述したいずれのリスク測定基準も使用可能です。上記の Myers-Read アプローチは、リスク測定としてデフォルト・ブットオプションを用いた Aumann-Shapley の特別なケースと考えられます。

Aumann-Shapley value は、シミュレーション技法を用いて計算できます。これは、Ruhm-Mango-Kreps (RMK) 条件付リスク・アルゴリズム (Ruhm & Mango の論文に詳述) を用いて行います。RMK アルゴリズムは、様々なリスク測定基準に適用でき、Myers-Read value を計算するためにも利用できます。

当該論文では、10,000 シミュレーションのランを行い、各シミュレーションに対して (Myers-Read に基づく) 必要資本を計算しています。そしてこれらのシミュレーション結果を、必要資本の低い方から多い方へ順番に並べます。破産確率 2.275% を許容可能水準とし、9,723 番目から 9,822 番目の区間を選択します。破産確率 2.275% に相当するのは 9,772 番目から 9,773 番目であり、この近傍を区間としていることに注意してください。最後に、この区間のシミュレーション結果を平均することにより必要資本額を算出しています。

7.4. その他のアプローチ

総資本を計算するために用いたリスク測定基準と整合的でありながら、配賦後の資本を合計すると総資本に一致するような配賦手法として Co-measures が開発されました。例えば、リスク測定基準が TVaR の場合、あるポートフォリオの co-TVaR は、そのポートフォリオから生じる損失のうち総 TVaR へ貢献する部分を平均した値 (例えば、VaR 閾値を超える損失シミュレーション値の平均) となります。co-TVaR を足し上げると自動的に総 TVaR に一致します。

リスクの相対的な大きさが等しくなるよう資本を配賦することも可能です。つまり、損失期待値に対するリスクの率が各ポートフォリオで同一となるようにリスクを配賦します。

8. エコノミック・キャピタル・フレームワークの運用

本セクションでは、エコノミック・キャピタル・フレームワークを運用するための要件について述べます。

8.1. アウトプット要件（理想的世界において）

（外国為替市場に代表されるように）金融市場は常に変動していますので、会社が抱えている資産／負債リスクや、エコノミック・キャピタルもまた、常に変動します。無限のリソースを利用可能な理想的世界であれば、こうしたリスクおよびエコノミック・キャピタルについての情報をリアルタイムに入手することができるでしょう。リスク管理や経営戦略に関する意思決定はエコノミック・キャピタルの情報に基づきますので、可能な限り正確かつ最新の情報を使用することが必要です。

（外国為替市場に代表されるように）金融市場は常に変動していますので、会社が抱えている資産／負債リスクや、エコノミック・キャピタルもまた、常に変動します。

当初、特に保険会社においては伝統的なリスク管理が行われており、資本の評価がそれほど頻繁に行われることはなかったため、このようなエコノミック・キャピタルの情報をリアルタイムに入手することは行き過ぎのように見られていたかもしれません。しかし、最低保証付きの変額年金などが抱える市場リスクへの認識が高まり、そういった商品や伝統的な有配当商品に対してダイナミック・ヘッジ戦略を取る必要性が新たに認識されるようになったことを受け、今ではリアルタイムにリスクおよびエコノミック・キャピタルに関する情報を入手することが、現実的に必要になっています。さらに、市場が大きく変動しているような時には、経済価値ベースの正味のリスク・エクスポージャーも大幅に変動する可能性があるため、情報をさらに高い頻度（例えば、リアルタイム）で入手することの必要性がさらに増加します。「どれだけのリスク・エクスポージャーを抱えているのか?」「まだ支払い余力はあるのか?」「市場がどれだけ変動すると支払い不能になるのか?」といった質問にタイムリーに答えられるような体制を整えることがますます現実的なものとなってきています。これらの質問に適切に回答するためには、あらかじめ準備をしておく以外に方法はありません。

これは夢のような話に聞こえるかもしれませんが、実際、この分野でのグローバル・ベスト・スタンダードとなるような大手企業では、現実にもこのような体制を構築してきているのです。近年、ヨーロッパでは変額年金が販売されるようになりましたが、これが追い風となりました。ダイナミック・ヘッジ・プログラムを採用している会社は、負債とそのリスク感応度を毎晩一件別に計算して、リスクとそのヘッジ資産をリアルタイムにモニターすることが一般的です。市場の変動に伴い残存リスクのバランスが崩れた時には、すぐさまヘッジ資産をリバランスします。一部の企業にとっては、世界中のどこかで金融市場がオープンしていますので、ヘッジ資産のリバランス・プロセスは、ほぼ 24 時間継続的に行われます。

ヘッジ・プログラムのために生成される情報は、エコノミック・キャピタルを求めるために必要とされる情報とたいへんよく似たものです。したがって、このフレームワークに追加のランを組み込むことで、必要な追加情報を生成することができます。こうしたプログラムを、複数の事業ブロック、異なる地域、様々な商品区分に適用させることができますし、実際に行われてもいます。このようにして、日々の意思決定に使用できるような頻度で、エコノミック・キャピタル計算を行うことが可能になります。適切に設計されたインフラとシステムがあれば、エコノミック・キャピタルを、個別の商品ライン、事業ユニット、リスク・ファクターにまで分解することで、さらに幅広く利用することができます。

理論的には、このようなプロセスを持つ会社は、より強固で効率的なリスク管理、エコノミック・キャピタル管理を通じて競争上優位に立つことができるはずです。

8.2. 運用プロセス要件

こうしたフレームワークの運用を検討する会社にとって、実際の運用を行うために必要な条件がいくつかあります。これらは主に、負債モデリング、資産モデリング、エコノミック・キャピタル・モデリングの3つの分野に分けられます。それぞれの分野において、人材の育成、システムの構築、プロセスの設計を行う体制を確立する必要があります。

負債モデリング

まず初めに、会社の負債モデルを設計し構築します。通常、これには2つのアプローチがあります。1つ目は、全ブロックの全契約を一件別にモデルし、頻繁に（例えば、毎晩）ランを行う方法です。変額年金ブロックを持つ会社では、このようなモデルを既に持っているという会社も多いでしょう。しかし、変額年金ブロックがなく、伝統的な商品を多く持つ会社にとっては、負担の大きい業務になります。負債評価に必要な一連のデータを生成するためには、契約管理システムから最新契約データを取得し、モデルのキャリブレーションに必要な

マーケット情報その他に基づく前提条件を更新し、その上で負債評価用システムをグリッド・コンピューティング・システムを用いて分散処理させることが必要となるからです。

あるいは、上記プロセスを簡便化するため、複製ポートフォリオ技法を用いることができます。複製ポートフォリオは、通常モデルポイント・ベースの負債ブロックを、その大まかな特徴やリスク感応度といった特性が似通った単純な金融商品（例えば、オプション）にマップすることによりモデル化するものです。これら金融商品を負債の代替（すなわち、複製ポートフォリオ）として用いるわけです。これら金融商品の価値評価は解析的に（クローズド・フォーム・フォーミュラを用いて）行うことができるため、通常は比較的単純に行うことができます。精度と計算効率のトレードオフがここでは重要です。定額年金のような商品区分は、この方法でかなり正確にモデル化できる一方、複雑な変額年金商品などの区分には、この種のアプローチは使えません。

複製ポートフォリオ技法では、負債を資産ポートフォリオにマッピングしますが、この方法に代えてクラスター・モデリングと呼ばれる手法を用いることもできます。この手法では、代表的な負債モデルポイントに他のモデルポイントをマッピングすることにより、負債ポートフォリオ全体をモデルするものです。そのためには、モデリング担当者が適切な変数をいくつか決め、その変数に対する属性が類似しているかどうかという観点から、全契約を比較的少数の均質なクラスターにグループ分けします。各契約がどのクラスターに属するかが決まったら、当該クラスター内の契約を代表的なモデルポイントにマップしていきます。

類似性を測定するために用いられる変数には、保有ファイル情報（積立金の各ファンドへの配分比）に基づくものと、キャリアレーション・シナリオにおける1件別の計算結果（特定シナリオにおける各契約の将来キャッシュフローの現在価値など）に基づくものがあります。これらの変数は、モデルの利用目的によって選択を行うことができます。例えば、利用目的によって、全シナリオの平均値が近くなるようにしたり、死亡率や解約率を変更した場合の結果と合うようにしたりすることが考えられます。

いずれのアプローチを取るにしても、システムおよびインフラが決定的な役割を果たすことは明らかです。契約データおよび金融市場データの抽出、各データの検証、評価プログラムの実行、結果のチェックといった一連のプロセスを自動化することが必須となります。そして、このプロセスを管理する人材として、とりわけモデルのキャリアレーションと結果の検証を行うのに、アクチュアリーなどの専門家が必要とされます。

資産モデリング

本質的には、資産に対しても負債と同様のことを実行する必要があります。とはいえ、負債と比べて資産のモデリングの方が通常簡単です。株式や固定利付債券などの実物資産は、株価指標やデレシオン、クレジット・エクスポージャーなどのリスク・ファクターに直接マッピングしてモデル化できます。先物、スワップ、オプションなどのデリバティブ商品は、ほとんどの場合は解析的に（クローズド・フォーム・フォーミュラを用いて）評価できますが、エキゾティク・デリバティブは確率論的にモデル評価することが必要かもしれません。資産のデータベースを管理すると共に、Bloombergなどの市場データシステムから直接金融市場データを取得できるような体制を整える必要があります。このようにすることで、資産とそのリスク感応度の評価を、リアルタイムに実施することができます。そして、これを負債情報と合わせることで、会社のネット・リスク・エクスポージャーの状態を正確に計算することができます。このような情報が、まさにダイナミック・ヘッジ・プログラムのリスク管理で使用されているのです。このアプローチの利点は、同じシステムとフレームワークを使用することにより、エコノミック・キャピタルをリスク管理と密接に関連づけることができ、ソルベンシーIIの内部モデルの使用テストの条件をクリアできることにあります。

エコノミック・キャピタル・モデリング

リスク管理に必要なリスクに関する情報を計算するために前提条件にストレスを与えて計算を行いますが、エコノミック・キャピタルを求めるためには、さらにショックを与えた場合の計算を行う必要があります。エコノミック・キャピタル・モデルにこの情報を設定することにより、エコノミック・キャピタルを計算します。理想的なエコノミック・キャピタル・モデルは、各事業ユニット、商品区分、地域に対して計算されるエコノミック・キャピタルの統合や再配賦が柔軟にできるように設計されたものです。

負債と比べて資産のモデリングの方が通常簡単です。株式や固定利付債券などの実物資産は、株価指標やデレシオン、クレジット・エクスポージャーなどのリスク・ファクターに直接マッピングしてモデル化できます。

ここでも、こうした情報を効率的に生成するためにテクノロジーが重要な役割を担っています。エコノミック・キャピタル・モデルが最新のリスクポジションを反映させることができるように、資産・負債モデルからのデータを直接リンクさせるようなシステムを構築する必要があります。このプロセスを管理するには、適切な専門知識と経験を持つ専門家を十分な人数確保することが必要となります。そして最も重要なことは、この計算結果を関係者に対して発信し説明することです。

8.3. ミリマンが支援できること

これまでに示したフレームワーク、システム、プロセスを設計し実行することは、容易ではありません。これをタイムリーかつ費用の観点からも効率的に行うためには、専門知識と経験が必要です。ミリマンのコンサルタントは、エコノミック・キャピタルの分野で多岐にわたる専門性と経験を有しており、お客様はこれを有効に利用することができます。ミリマンは、世界中の多くのお客様とともにお仕事をした経験を通じて、グローバル・ベスト・プラクティス・スタンダードを満たすための必要条件に精通しています。

EC フレームワーク

第一ステップとして、ミリマンは、お客様がエコノミック・キャピタル管理の全体的なフレームワークを構築する際のお手伝いをさせていただきます。理論的手法およびプロセスに関して決定を行う際には、お客様の事業の特性、企業文化、現行プロセス、法規制、マーケットからの要求、アナリストからの要求、監査人からの要求といった数多くの要因が影響を及ぼすことになります。

最も重要な目標は、採用された手法が理論的に正しく、経営陣や社外関係者への説明が容易でかつ理解しやすいものであり、また、経営陣の意思決定のサポートに繋がられるものであるということを確認にすることです。

ミリマンは、エコノミック・キャピタル・フレームワークの初期開発のサポートを行うだけでなく、既存アプローチの精緻化のサポートも行っております。

モデルの設計と開発

全体的なフレームワークの構築が完了した後も、ミリマンは引き続き、お客様のモデルの設計と開発についてのサポートを行うことができます。ミリマンのサポートは、モデリング手法に関するハイレベルな議論から、ピアレビューや実務のお手伝いまで様々です。

この段階で私どもがお手伝いできることとしては、モデルプロセスの設計、モデル構造の設計、データソースとモデルの連結、コーディング、レポートの設計、様々な目的に使用される計算結果のダウンロードや共有化などがあります。

一貫性の確立

本論に記したように、エコノミック・キャピタルは、監督官への報告、商品のプライシング、リスク評価、リスク管理とヘッジ、資本配賦、プロジェクトへの資金投入、業績管理、財務報告など、非常に多くの経営目的を達成するために重要な役割を担っています。

時代に合わないシステムやプロセスを使用しているために、これらの仕事が断片的に行われ、その結果、非効率的であったり、使用目的によって矛盾した結果が算出されることがしばしばあります。やむを得ない理由により複数のシステムを使用しなければならないこともあるかもしれませんが、ミリマンはお客様と連携し、プロセスを効率化したり統合したりすることで、効率的に計算結果を生成し、その結果を精査し、さらにはその結果を主な関係者間で共有できるようにサポートを行います。

計算結果の分析

ミリマンは、算出された計算結果に対して分析を行い、経営陣や社外関係者への報告プロセスについてもサポートいたします。

全社リスク管理 (ERM) との統合

ミリマンは、エコノミック・キャピタルを全社リスク管理フレームワークに統合するお手伝いをいたします。

最も重要な目標は、採用された手法が理論的に正しく、経営陣や社外関係者への説明が容易でかつ理解しやすいものであり、また、経営陣の意思決定のサポートに繋がられるものであるということを確認にすることです。

ミリマンは、エコノミック・キャピタル・フレームワークの初期開発のサポートを行うだけでなく、既存アプローチの精緻化のサポートも行っております。

エコノミック・キャピタルの管理は、一般的には、より広範な全社リスク管理の一部であると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。

全社リスク管理の分析においては、フィナンシャル・リスクとノンフィナンシャル・リスクを同時に一体的に評価し、リスク・ファクター間の相互作用を考慮する必要があります。

CRisALISは、全社的な視点から包括的にリスクを分析するための最先端のアプローチです。全てのリスク要素について、それらの相関関係を説明することにより、リスクを明示的にモデリングしたり、相関関係を織り込んでリスクを評価することが可能になるだけでなく、経営者が現実的な経営の視点からリスクを理解できるように支援します。

エコノミック・キャピタルの管理は、一般的には、より広範な全社リスク管理の一部であると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。一方、ECとERMを密接に関連し合った別々のプロセスであると考えられています。

自社の視点からリスクをどう見なすか、どの程度リスクを許容するのか、そしてリスク管理に関する様々な意思決定事項は、各事業ユニットにどれだけの資本を配分するかという判断に影響を与え、また、必要資本の水準にも影響を与えます。これらに関する決定が、利益率やソルベンシー比率に影響を与え、規制当局、アナリスト、投資家からの評価に影響をあたえ、ひいては会社の活力や経営に対しても重要な影響を与えます。

全社リスク管理の分析においては、フィナンシャル・リスクとノンフィナンシャル・リスクを同時に一体的に評価し、リスク・ファクター間の相互作用を考慮する必要があります。ミリマンが開発したCRisALISは、複雑性理論の技法を全社的な視点から包括的なリスク管理を行う場合に応用するもので、フィナンシャル・リスク、オペレーショナル・リスク、戦略リスクが相互にどのように関連するか、経営陣の理解を促進するために使用することのできるツールです。これは、ERM業務の本質的な要素であり、エコノミック・キャピタルの計算やリスク統合に関する様々な経営判断に直接的に影響を与えるものです。

CRisALISは、全社的な視点から包括的にリスクを分析するための最先端のアプローチです。全てのリスク要素について、それらの相関関係を説明することにより、リスクを明示的にモデリングしたり、相関関係を織り込んでリスクを評価することが可能になるだけでなく、経営者が現実的な経営の視点からリスクを理解できるように支援します。これにより経営陣は、今まで以上にリスク統合に関して定性的・定量的な観点からより明快な洞察を得ることができます。また、複雑で相互に関連し合った様々なシグナルを捕捉しモニターすることにより、伝統的手法よりも早期に新しいタイプのリスクが出現していることに警告を発することも出来るようになります。自社の保有するリスクの挙動を全社的な視点から正しく理解することで、局所的な視点から積み上げ計算するサイロ・アプローチに比べ、より現実的なベースでシミュレーションを行い、将来予測を行うことが可能となります。CRisALISを使って、リスクの計算と管理を統合すれば、リスク管理に対する経営資源の投資効果をより付加価値の高いものとする事ができるでしょう。

A. 参考文献

Aziz, A., Rosen, D., Capital Allocation and RAPM, PRM Handbook, 2004

Bergman, B., Capital: It's Overrated!, Staple Inn Actuarial Society, 13 January 2009

Consultation Paper No. 49, CEIOPS, 2 July 2009

Dorey, M., Why Aren't Copulas Far More Popular?, Professional Investor, February 2006

Kaye, P., A Guide To Risk Measurement, Capital Allocation And Related Decision Support Issues, Risk Measurement in Insurance, Casualty Actuarial Society, 2005

Morone, M., Cornaglia, A. & Mignola, G., Economic Capital Assessment via Copulas: Aggregation and Allocation of Different Risk Types, Intesa-Sanpaolo, 2007

Ruhm, D. & Mango, D., A Risk Charge Calculation Based on Conditional Probability, 2003

Ruhm, D. & Mango, D., A Method of Implementing Myers-Read Capital Allocation in Simulation

Venter, G., Capital Allocation Survey With Commentary, North American Actuarial Journal (volume 8 number 2)

Venter, G., Strategic Planning, Risk Pricing and Firm Value



Milliman, whose corporate offices are in Seattle, serves the full spectrum of business, financial, government, and union organizations. Founded in 1947 as Milliman & Robertson, the company has 51 offices in principal cities in the United States and worldwide. Milliman employs more than 2,300 people, including a professional staff of more than 1,100 qualified consultants and actuaries. The firm has consulting practices in employee benefits, healthcare, life insurance/financial services, and property and casualty insurance. Milliman's employee benefits practice is a member of Abelica Global, an international organization of independent consulting firms serving clients around the globe. For further information visit www.milliman.com.

Joshua Corrigan
joshua.corrigan@milliman.com

Jethro De Decker
jethro.dedecker@milliman.com

Takanori Hoshino
takanori.hoshino@milliman.com

Lotte van Delft
lotte.vandelft@milliman.com

Henny Verheugen
henny.verheugen@milliman.com

europe.milliman.com