

# 内部モデルの基本原則

講師: *Michel M. Dacorogna*  
SCOR科学アドバイザー

日本アクチュアリー会 第5回例会: 2014年2月17日東京開催

**SCOR**

## 免責条項

---

本プレゼンテーションで示される見解や意見、または本プレゼンテーションにあわせて配布される資料は、その作成者の見解のみを反映したものであり、プレゼンテーション担当者の雇用主の見解や意見を反映させることを目的としておらず、またそう見なされるべきではありません。

本プレゼンテーションで提供される情報、表明、意見、書類その他の資料は、特定の目的に対する正確性、完全性、適合性の保証を含め、明示または黙示を問わず、なんら保証されるものではありません。

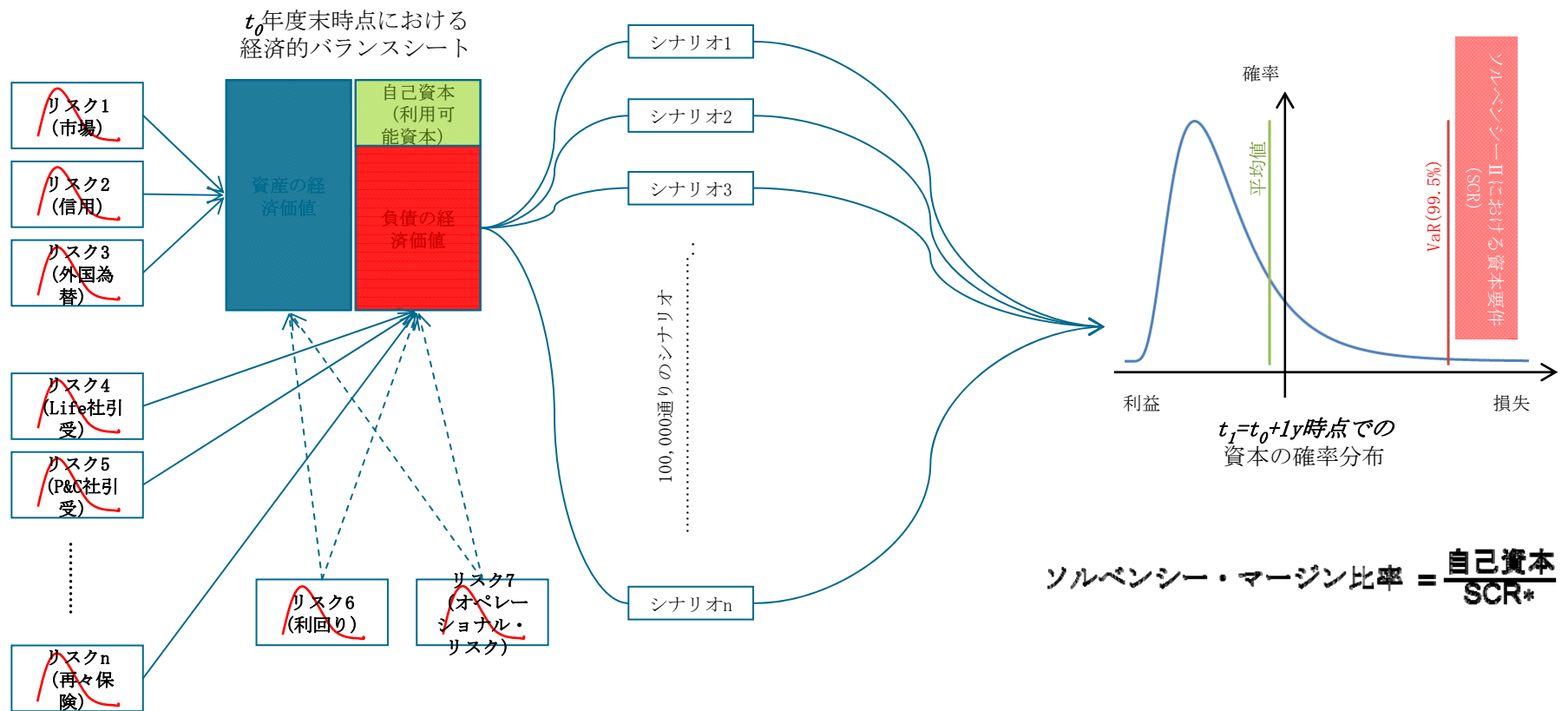
## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 自社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

# 内部モデルとは？

- 内部モデルは、保険会社の経済価値ベースのバランスシート上の **リスク** を評価することを目的としています。



\*) 計測は $t_1$ 年度時点、割引は $t_0$ 年度時点

## リスクの集合にはリスクの分散効果がある

- 内部モデルでは、リスク分散効果の計測が可能になります。
- リスクを**組み合わせる**ことによって必要資本がどのように減少するかを、簡単な例でご説明します。

計測	ハリケーン	地震	ポート フォリオ	分散 効果 <sup>1)</sup>
期待値	62	16	78	0%
標準偏差	84	60	104	28%
VaR (99%)	418	332	544	27%
VaR (99.6%)	596	478	690	36%
TVaR (99%)	575	500	678	37%
TVaR (99.6%)	700	598	770	41%

# 内部モデル：その開発

現実



化素簡



モデル (抽出)



Concerning the second point, the top-down allocation process, the requirement expressed in terms of copulas is that, for a portfolio dependency-free with baskets  $X \subseteq Y \subseteq S$ , the copula  $C_{X,S}$  can be calculated from the copula  $C_{X,Y}$  and  $C_{Y,S}$ , in fact,

$$C_{X,S} = C_{X,Y} * C_{Y,S},$$

where the composition of two copula  $C_1, C_2$  is defined as

$$(C_1 * C_2)(u, v) = \int_0^1 \partial_y C_1(u, v) \partial_x C_2(x, v) dx.$$

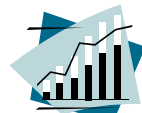
To show this, note that suitability implies that the random variables  $X$  and  $S$  are independent given  $Y$ . The claim then follows by conditioning on  $Y$  in the equality

$$C_{X,S}(u, v) = P[X \leq F_X^{-1}(u), Z \leq F_Z^{-1}(v)],$$

and using that, e.g.,

$$P[X \leq F_X^{-1}(u) | Y] = F_Y^{-1}(v) = \partial C_{X,Y}(u, v).$$

方法論



データ

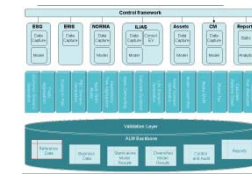
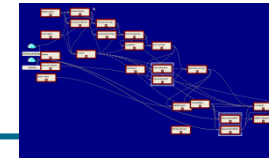


前提条件

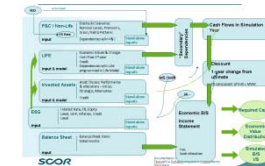
モデルのルール  
化業事



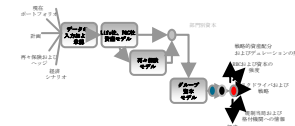
モデルの実現



概念上の  
フレームワーク



実施上の  
フレームワーク



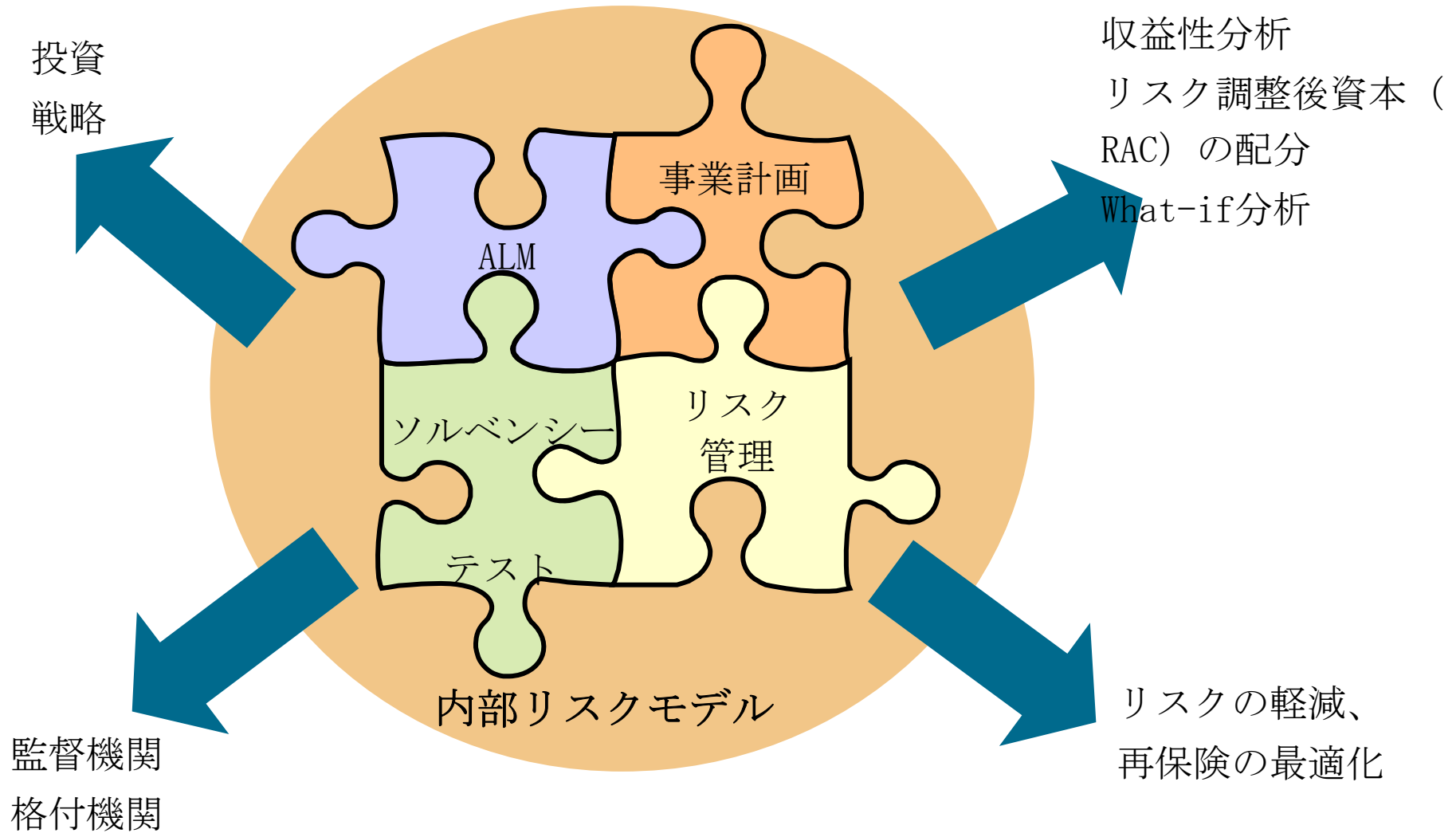
プロセス

## 内部モデルの目的

---

- ❑ 内部モデルは、想定されるリスクをカバーするための**必要資本**の評価手法を提供します。
- ❑ 内部モデルは、社内および外部の利害関係者（ソルベンシー要件、格付機関、投資家）との間で**リスクについて議論するための統一された方法**を提供します。
- ❑ 内部モデルは、リスクとリターンのバランスが取れた**戦略的な意思決定**をするためのフレームワークを設定する、いわゆる「フライト・シミュレーター」となります。
- ❑ 内部モデルは、分散効果をモデル化することで、資産と負債の両方のポートフォリオの**最適化**を可能にします。
- ❑ 内部モデルは、さまざまな事業部門の**経済的パフォーマンスの計測**を可能にします。

# 内部リスクモデル: その適用とメリット





## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 自社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

## なぜ内部モデルなのか？

---

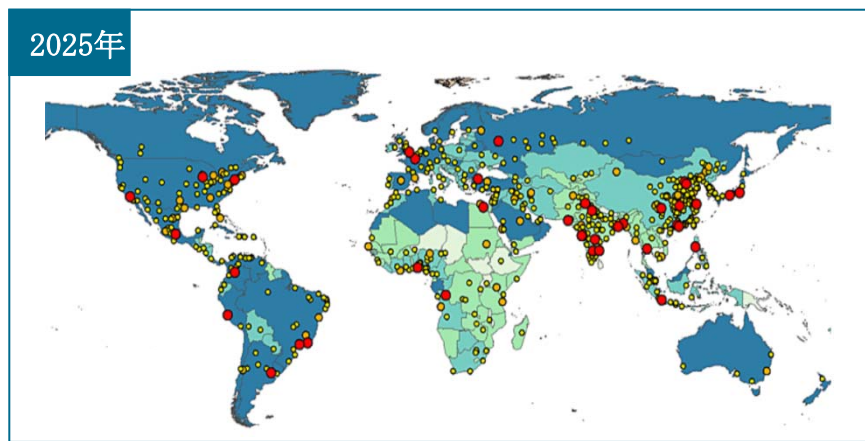
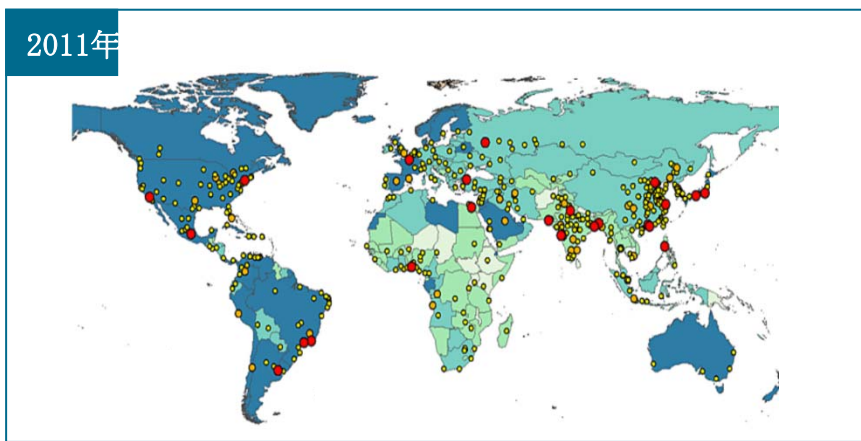
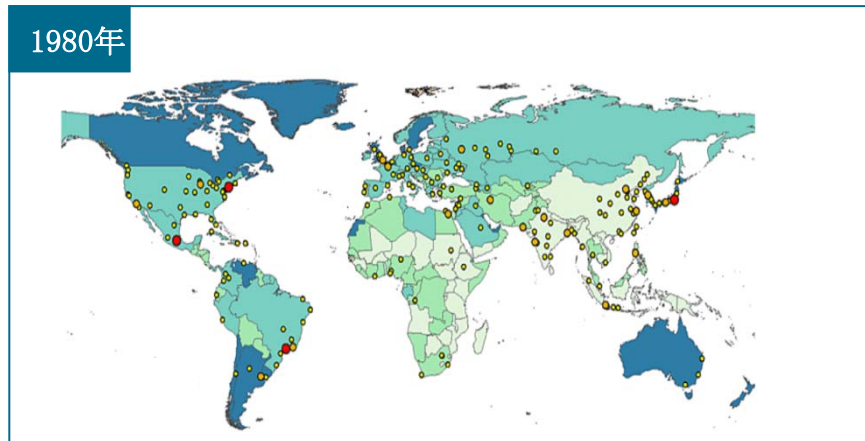
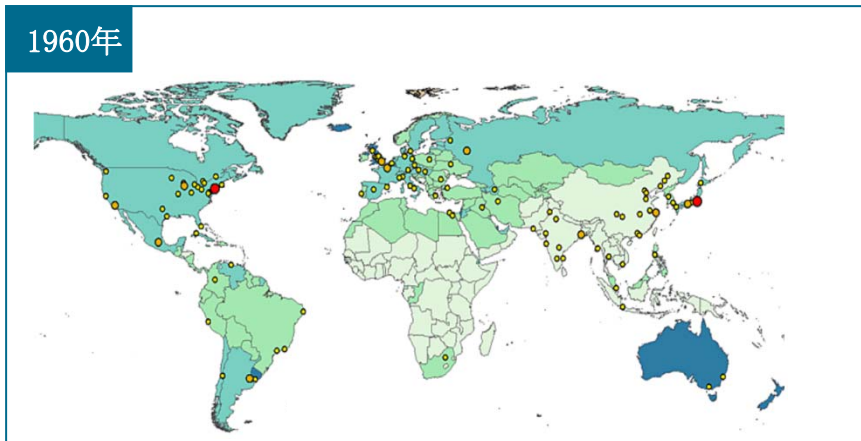
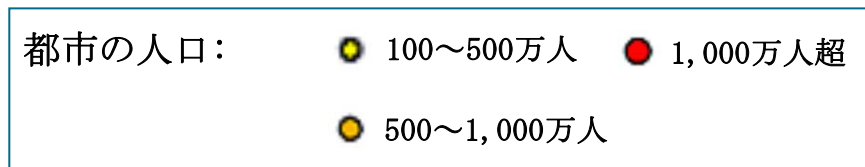
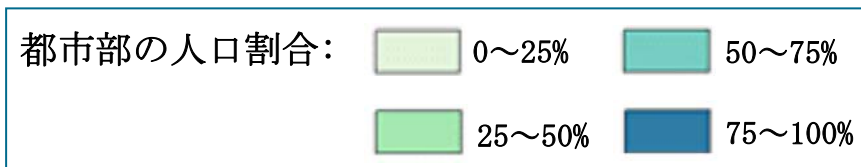
- 内部モデルは資本管理の中核において、「どの程度の資本が必要か」という問いに対する答えを導き出します。したがって以下の理由により、この手法は保険業界において不可欠なものとなっています。
  - ピークリスクが増加している
  - 規制当局が保険会社に対して、ソルベンシー評価を求めている（ソルベンシーⅡ、SST）
  - 株主からの要求や関心が高まっている（株主資本利益率、新会計規則）
  - 世界の金融市場の統合により、資本のより効率的な活用が求められ（金融機関どうしの競争）、さまざまなリスクの相互依存性が高まっている
  - 保険会社のリスク分析と資本配分の手法は、すでに技術的に成熟している

## ピークリスクが増加している

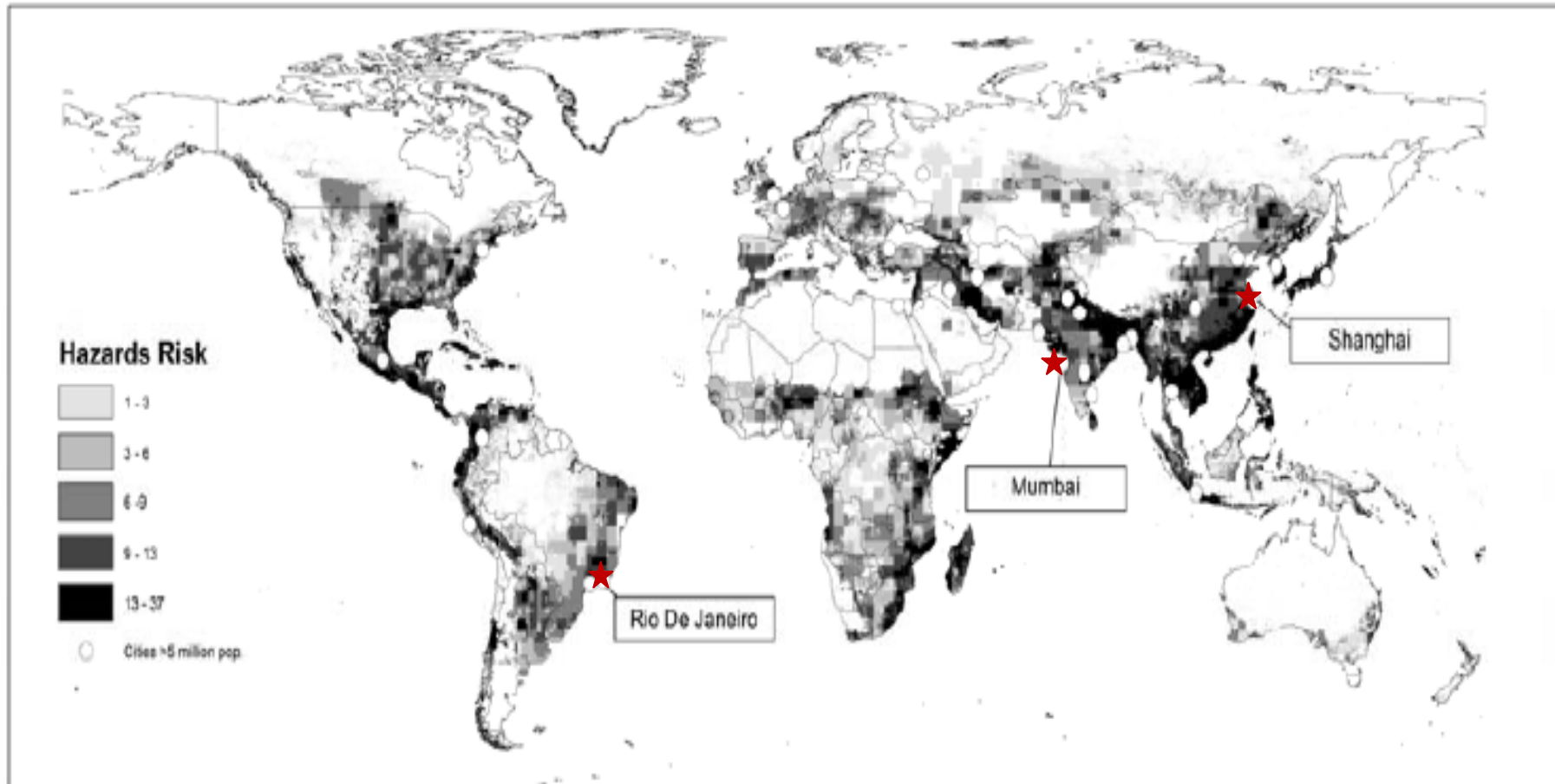
---

- 以下を理由として、ピークリスクが増加しています。
  - **人口動態の変化**：危険地域への人口の集中、人々の移動による病気の蔓延（エイズ、SARS、新型インフルエンザなど）
  - **社会的・政治的な変化**：生活水準の向上、人々の要求の高まり（賠償責任の追及など）、法制度の進化、テロリズム、産油地域の政治不安など
  - 新たなリスクを生じさせ得る**新技術**：ナノテクノロジー、携帯電話、新薬（VIOXX）など
  - **新たな金融商品**（特に生命保険や信用商品）：金融危機では、このような金融商品が無防備な投資家にもたらし得るリスクが明らかになった

# ピークリスクの増加は、都市部の人口増加と密接に関係している<sup>1)</sup>

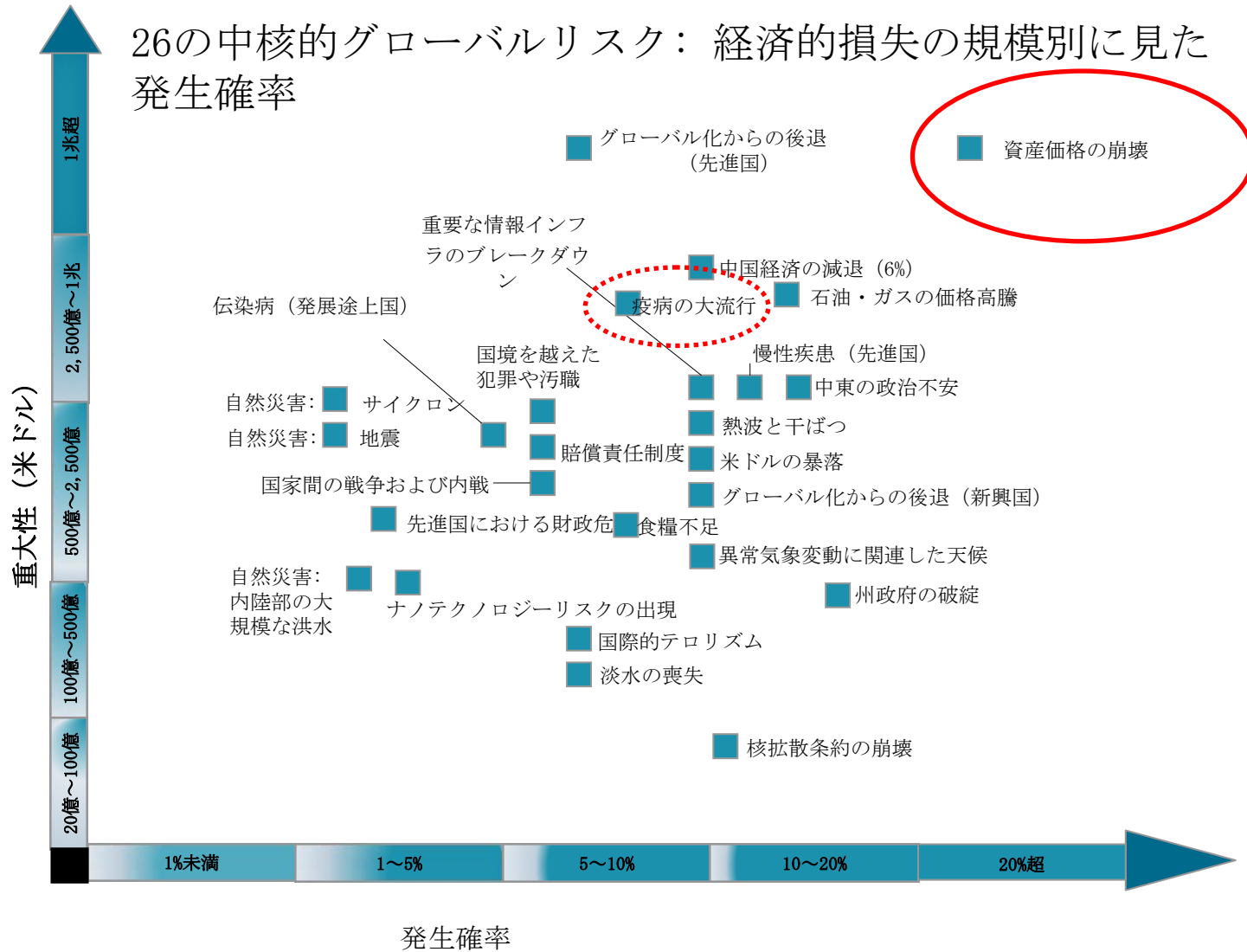


## 都市部の人口はリスクが最も高い地域に集中している<sup>1)</sup>



□ 疫病の大流行や自然災害などによって経済的、人的な被害が発生する可能性が高まっています。

# 重大性および発生確率の異なる新たなリスクが増大している



# 内部モデル:歴史的な進化

デ・フィネッティの定理  
1940年

リスクベース・ソルベンシー  
1995~2000年

資本管理  
~2005年

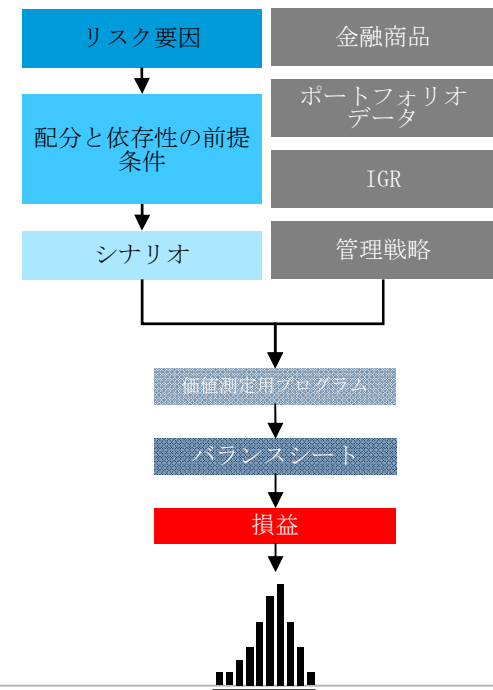
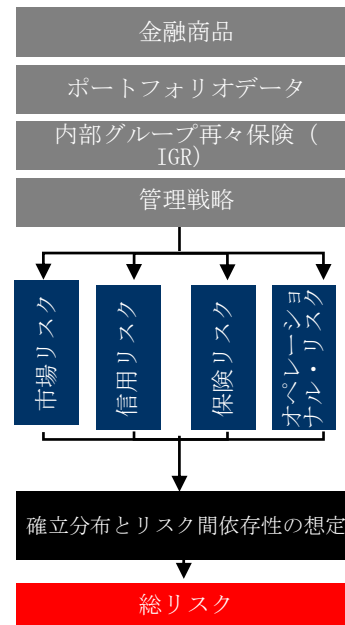
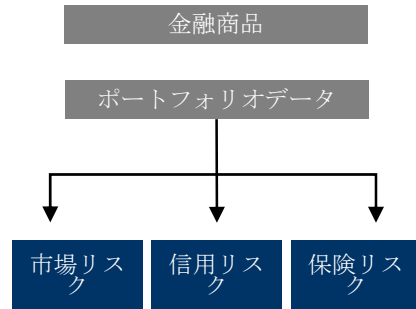
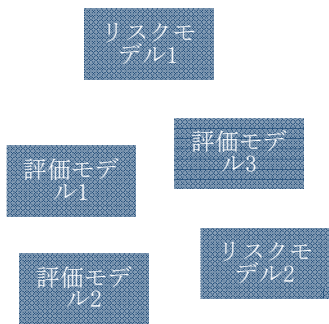


リスクの各要素を定量化するサブモデルの蓄積

ポートフォリオ効果を伴う異なるリスクタイプの定量化

リスクタイプを集約し、保険会社の総リスクを算出

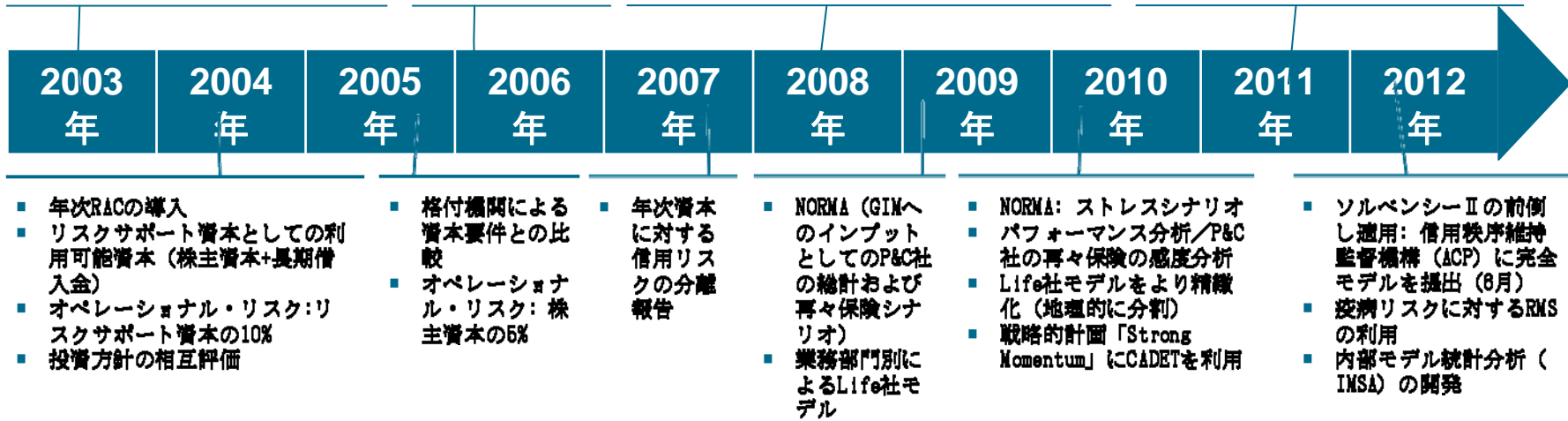
潜在的リスクドライバのモデル化と全体配分の重視



本スライドはPhilipp Keller氏より発想を得たもの

# SCORの内部モデルと報告の進化

- ESG（経済シナリオ・シエネレーター）に基づいた可受リスクに関する市場見通しの報告
- 感度試験を含む運用資産の分析
- 5%の資本不足を前提としたリスクドライバ
- P&C社の再々保険モデルを含む、グループ内部モデル（GIM）内のモデル統合
- RemetricaからIglooへ移行
- ヘッジファンド投資のパフォーマンスレビュー
- 全面適用開始：Life社モデル、部門分割、負債の金利ボラティリテイの分散／純利益に対する金利効果、純利益に対する為替リスク分散の計測
- 初めてとなるSST報告：「ドレイヤーチェンジ」、リスクマージン、CoPITプロジェクト
- ソルベンシーII（利用可能資本）の適用とVaR99.5%の利用
- TaReポートフォリオのILIAS（Life社モデル）への統合
- P&C社リスクに対する依存性を調整するための新手法：PrObEx



- ❑ モデルは、改善、適応、処理の加速、データ制御の向上、報告の向上によって、継続的に進化します。
- ❑ 当社では、運用上の柔軟性があり、かつ安定を求める規制当局のニーズも満たす内部モデル方針策定の最終段階に入っています。



## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 自社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

## モデルの種類

---

- モデルは大きく以下のように分類されます。
  - **決定論的モデル**: 複数の要因を推定し、数量の計測に適用します（保険料収入など）。
  - **確立分布ベースモデル**: 異なるリスクの確率分布を決定し、集計します。
  - **シナリオベースモデル**: 世界中のさまざまな国で事業展開する保険会社の価値を算出するために複数のシナリオ（通常は多数）を生成します。
- 多くのモデルは、これら3つすべてのアプローチを混合したものです。
- 決定論的モデルには、変化するリスクエクスポージャーを計算に入れるために、基礎的要素を定期的に更新しなければならないという難点があります。
- 配分ベースモデルとシナリオベースモデルは同価値になる可能性があります。配分ベースモデルは計算上の効率性が高い一方で、シナリオベースモデルはより直観的で柔軟性に富んでいます。

## 内部モデルはすべての利害関係者の要件を満たす必要があるか？

---

- ❑ 保険会社に対する見方はさまざまであり、リスクを評価するモデルもさまざまです。
- ❑ 一例を挙げれば、格付機関には内部モデルとは異なる独自の資本モデルがあります。
- ❑ 規制当局はリスク査定に関していくつかの原則を定めつつありますが、これらは保険会社の経営に必要なものとは必ずしも一致しません（年次か最終か）。
- ❑ 内部モデルはすべての要件を満たすようにすべきですが、それら要件に依存すべきではありません。
- ❑ 保険会社は、規制当局や格付機関を満足させるためではなく、**自社のポートフォリオをコントロール**するために内部モデルを設計する必要があります。

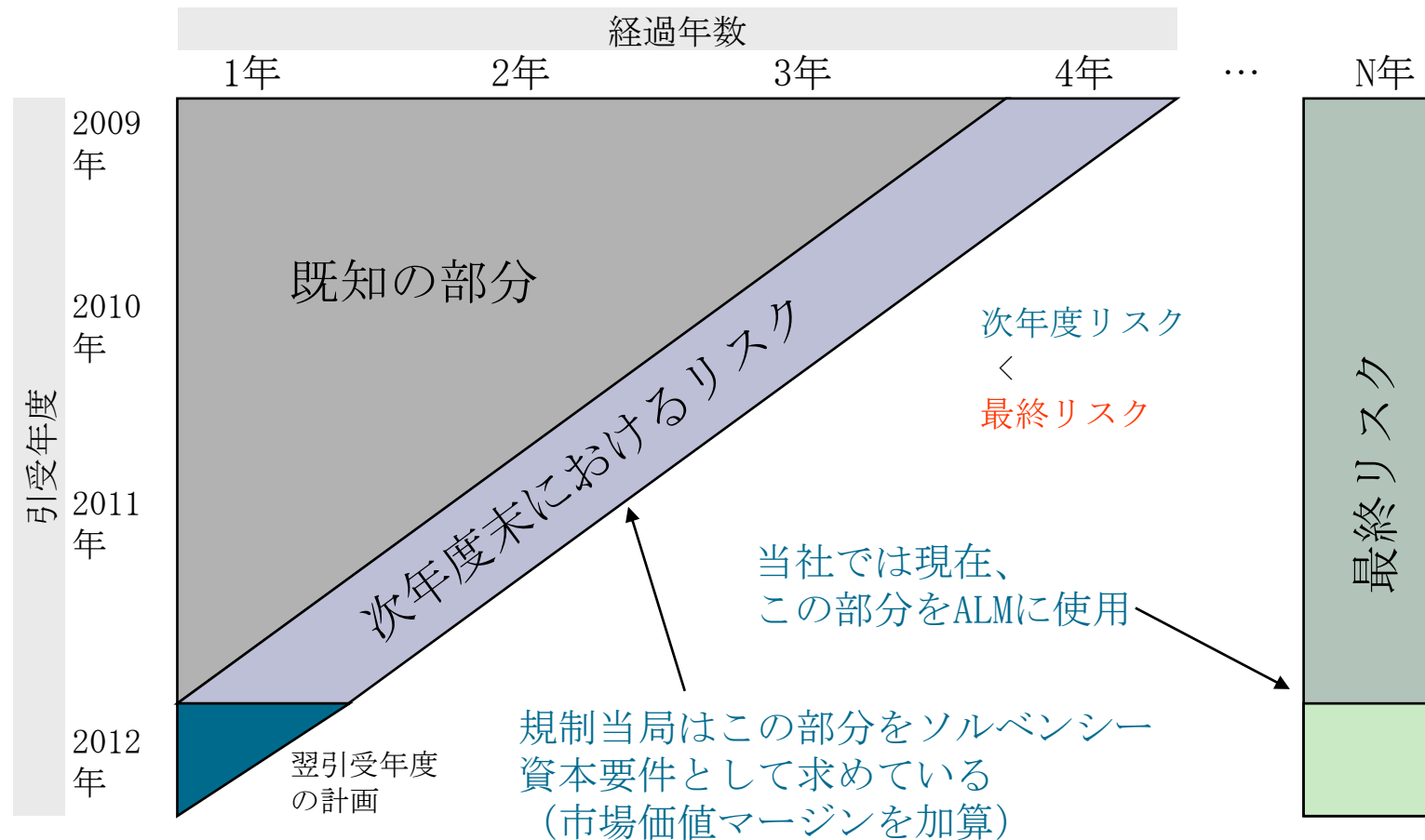
## SCORの内部モデル： ソルベンシーⅡ とスイス・ソルベンシー・テストにGIMを適用

---

- ❑ ソルベンシーⅡ とSSTについて、対象となるリスクは規制を受ける法人のリスクであり、業務部門のリスクではありません。
- ❑ そのためモデル上は、法人間のリスクと業務部門間のリスクを分ける必要があります（変数とパラメーターの数が増えることとなります）。
- ❑ ソルベンシーⅡ とSSTにおける暦年の資本は、**準備金とその他のリスクの年間変動額**を基準にしており、最終的な損失値に基づいたものではありません。
- ❑ 規制当局は、1年間生き長らえ、その間に自社の責任を放置したり売却したりする保険会社が出てくることを懸念しています。
- ❑ SCORのGIMでは、資本管理およびALMへの適用性とモデルの汎用性を失うことなく、こういった制限に適応する必要がありました。

## リスクに対する規制当局の要件と保険会社の見方の相違点：P&C社における準備金の例

- P&C社の準備金の三角図では、当社の内部モデルと規制当局の要件に明らかな相違があることが分かります。



## ソルベンシー II で求められる資本要件への移行の影響

□ 2010年報告における資本要件（xtVaR99%でのリスク計測による「リスク調整資本」）から

□ VaR99.5%でのリスク計測による「ソルベンシー資本要件」への移行

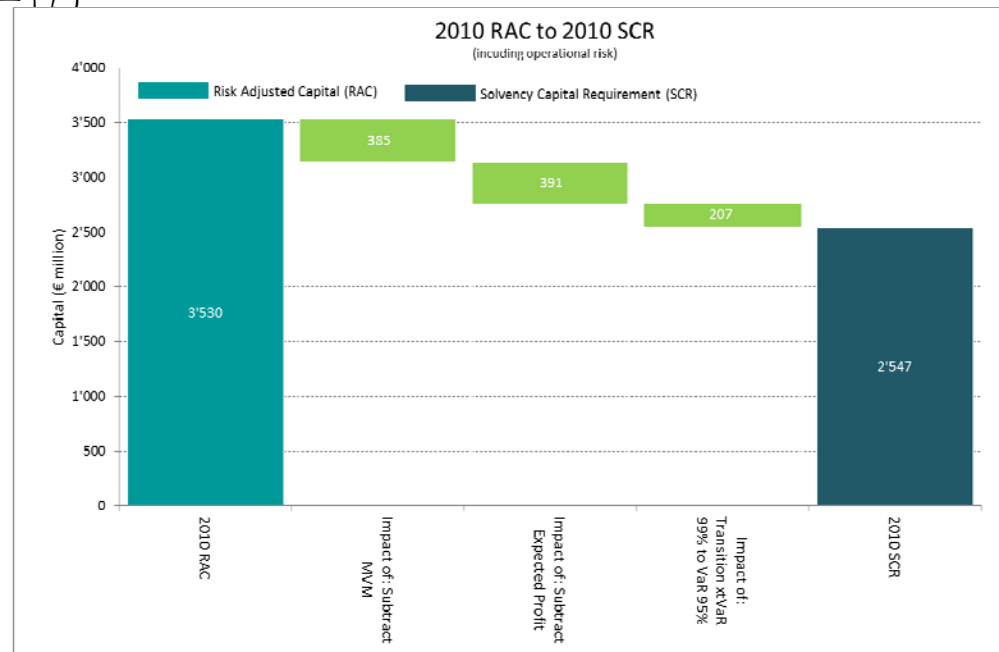
手順：

- リスクマージンを差し引く（Life社の場合、3億8,500万ユーロ）
- 利益を差し引く（3億9,100万ユーロ）
- リスク計測の変更（2億700万ユーロ）

□ 利用可能資本からリスクマージンと利益が差し引かれていることに留意

□ 結果：

- RAC = 35億3,000万ユーロ
- SCR = 25億4,700万ユーロ



## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 貴社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

## 依存性を調整するには？

---

依存性は線形相関係数のように一つの数字で表現できるものではありません。

当社では、依存性のモデル化に**コピュラ**を利用することが可能であることを確認したところです。

保険の世界では、コピュラを推定するに足りる負債データが十分でないことがよくあります。

それでも、ポートフォリオにおける依存性についてのひとつの見解をモデルに変換するのにコピュラを利用できる可能性があります。

- 適切なコピュラを選択します。
  - **テール依存性が高まります。**
    - この現象は過去の保険損失データで見られます。
- 「特定のリスクの危険性が非常に高いことが判明した場合はどうか」と問うことによって条件付きの確率の推測を試みます。
  - ポートフォリオにおける**逆のシナリオ**を検討します。
  - リスク間の**因果関係**を検討します。



# 内部モデルを統計的にテストすることは可能か？

---

- RACは確率1%または0.5%で計算されます。これは100年に1回、または200年に1回の出来事であることを意味します。
- 保険がかけられたリスクの大部分について、そのような出来事はこれまで確認されたことがないか、わずか1回確認されたのみです。
- そのため確率のテール部分のリスク値は、最も恵まれた場合でも過去10～30年間のデータから推測せざるをえません。
- したがって100年に1回のRACは、理論上推測される損失の規模に基づいたものとなります。
- これは現実的なリスク担保というよりはゲームのルールであると考えられます。
- 統計的に推測できないため、単純な賭けと何もしないこととの間の妥協であるといえます。

# モデルのストレステストは不可欠

---

- バカーニンはかつて、「現実社会はいかなる信条よりも常に広範である」と述べていました。言い換えれば、モデルは現実を簡略化したものでしかないということです。
- そのため、内部モデルの結果についての信任を得て、その限界を理解するためには、その出力データをテストすることが不可欠です。
- モデルを統計的にテストすることは、困難であるか、または不可能であることが分かっています。可能なのはストレステストを実施することだけです。
- モデルのストレステストには、少なくとも4つの方法があります。
  1. パラメーターの感度をテストする（感度分析）
  2. 現実の結果と予測を比較テストする（歴史的テスト）
  3. シナリオとモデルを比較テストする
  4. モンテカルロ・シミュレーションにおける極端なシナリオの合理性を調査する（逆ストレステスト）

# シナリオを用いて確率論的モデルをテストする

---

- シナリオは、将来あり得る世界の状況についての思考実験であると考えられます。
- シナリオは、たった一つの変数の（小さな）変化による影響を評価する感度分析とは異なります。
- シナリオ結果は、そのシナリオの発生確率を評価する目的で、シミュレーション結果と比較できます。
- 内部モデルが導き出したシナリオの発生確率と、そのシナリオの期待頻度とを比較することによって、内部モデルが現実的であるかどうか、リスク間の依存性を十分に考慮したかを評価できます。
- モンテカルロ・シミュレーションにおける極端な結果を調査することで、その妥当性を見極めることが可能です。

## シナリオベース・シミュレーションと分布ベースシミュレーションの比較

### シナリオベース

#### メリット

リスクがその発生源でモデル化されます。同一のシナリオにおいてより多くの確率変数がモデル化される場合は、その依存性が自動的に記録されます。

- 例：「資産価値 $A$ 」と「負債価値 $L$ 」という確率変数に影響を及ぼす経済シナリオ

#### デメリット

多くのリスクについて、確率変数がモデル化できないか、またはモデルの調整が非常に困難です。

### 分布ベース

#### デメリット

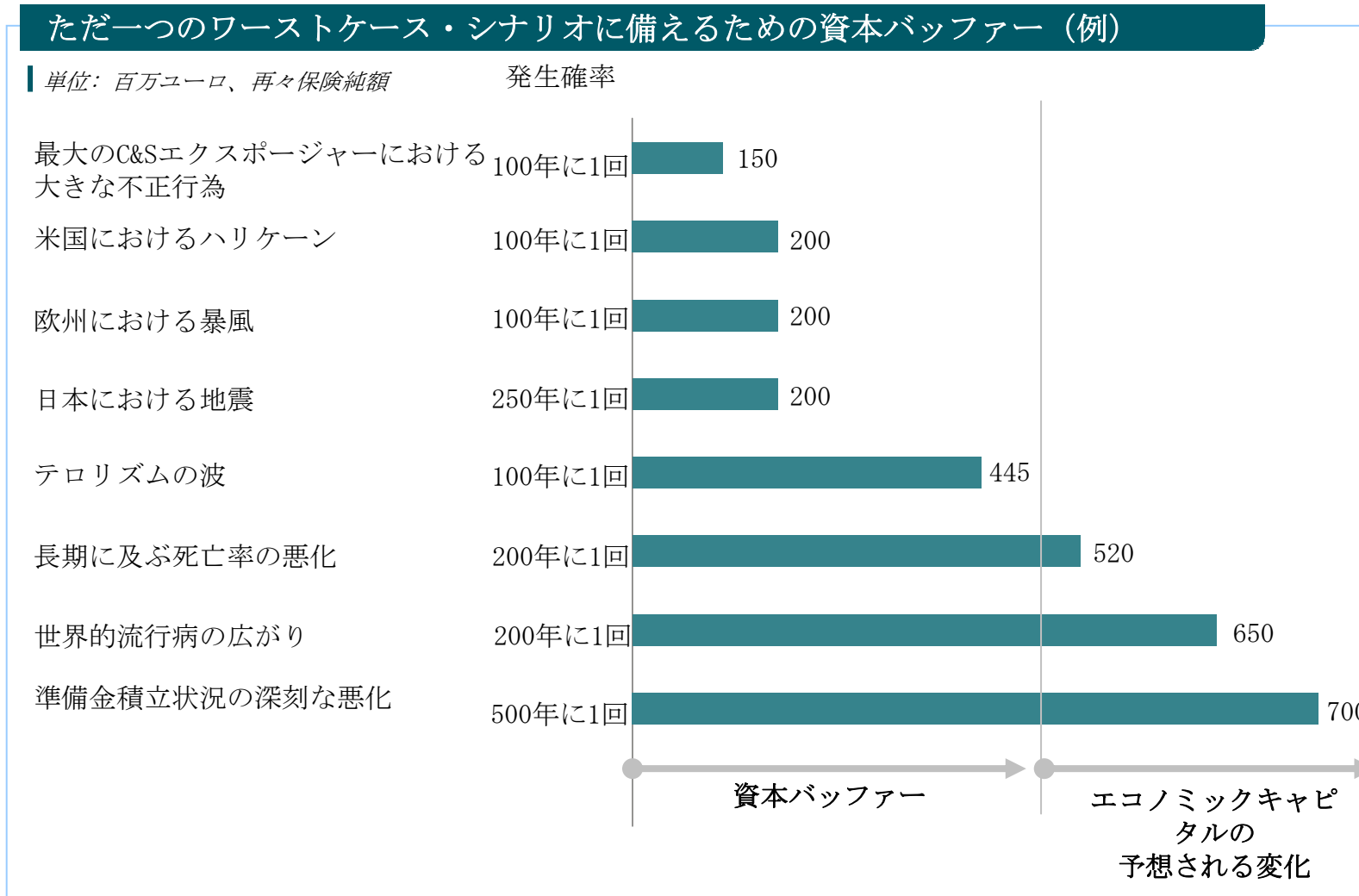
リスクの発生源は無視されます。適切な依存性を組み込むことがより困難、または不可能です。

- 異なるシナリオを区別できません。（異なる結果を生じさせる）他のリスクの依存性を適切に記録できません。

#### メリット

多くのリスクにおいて確率変数をモデル化することは困難、または不可能ですが、確率論を用いて分布を推定できます。

# ただ一つのワーストケース・シナリオを吸収するための資本バッファー



# モデルの欠陥から会社を守る

---

- モデル上の避けられない欠陥から会社を守るには、極端な各シナリオへのエクスポージャーに限度を設定します。
- 例えば、いかなるシナリオにおいても利用可能資本の15%を使用限度に設定します。
- モデルから厳密に求められる **資本に対し、一定のバッファ**を追加できます。
- **特定のリスクに対する資本のエクスポージャーを制限する**のも優れた方法です。例えば、テロリズムに対する利用可能資本のエクスポージャー限度を5%に設定します。
- 集積管理システムを開発し、純粹にエクスポージャー合計に対する限度を設定します。

## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 自社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

## SCORモデルの主要原則

### リスクをその発生源でモデル化

- ❑ 対応する事業の責任者がデータを入力し承認します（NormaについてはP&C社、ILIASについてはLife社）。
- ❑ モデルは関連部門（NORMAとILIAS）において、FinModチームとの密接な協力のもとで開発されます。このチームはGIMおよび全リスクモデル統合の最終責任部門です。
- ❑ パラメーター化と部分的なモデルのライフサイクルについては部門が責任を持ちます。

### 依存性のモデル化の重視

- ❑ 反転クレイトン・コピュラによる非線形処理によって強力なテール依存性を確保します。
- ❑ エコノミック・シナリオ・ジェネレータ（ESG）では、経済変数間の過去の依存性を保存し、一貫性のあるシナリオを生み出すために、ブート処理を利用します。
- ❑ 依存性は、科学的に妥当なPrObExフレームワークにおける専門的判断も利用して調整されます。

### フルバランスシート・アプローチ

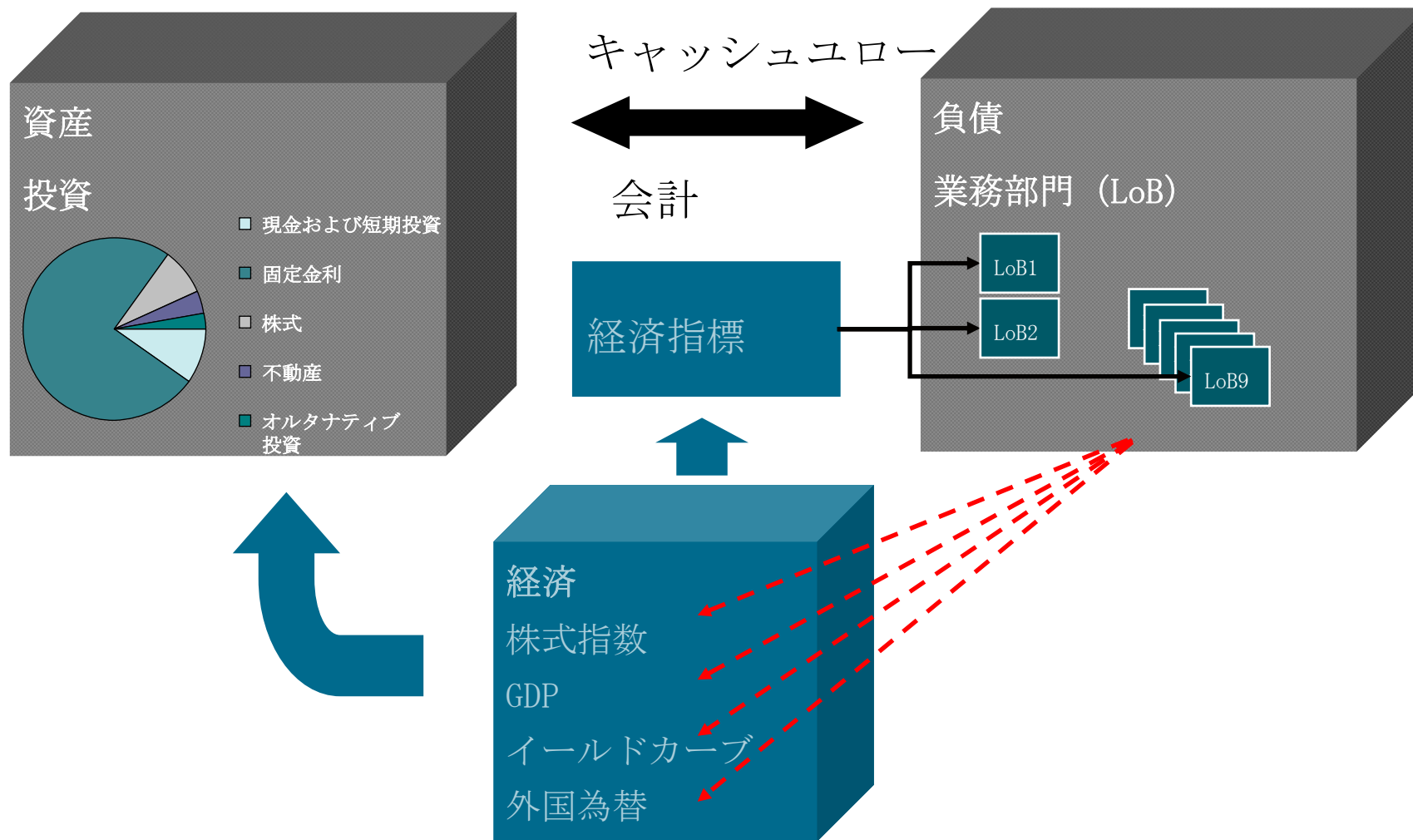
- ❑ 将来のバランスシートの確率論的な1年予測を現在のバランスシートから算出します。
- ❑ 引受、市場、利回り、信用、海外、為替といったすべてのリスクを考慮します。
- ❑ すべてのバリュエーションは市場の動きに沿って行われます。

### オイラーの原理に基づいた資本配分

- ❑ 経済価値配分のすべての変化を生成します。
- ❑ 異なる基準や異なるリスク計測における期待利益と資本要件を算出します。
- ❑ 資本配分は、TVaRに対する限界利益（オイラーの原理）によって算出し、RoRaCの整合性を維持します。



# アプローチにおける全モデルの統合



## SCORのグループ内部モデルについてのまとめ

### 一流の同業他社レベルのGIM

- ❑ SCORは、定量的リスク管理に関する（再）保険の議論の最前線において、「青書」<sup>1)</sup> やさまざまな研究論文の出版に携わっています。
- ❑ ESG、Norma、Iliasの開発により、SCORは確率論的モデル化において業界をリードする基準を確立しました。

### SCORの戦略に完全に組み込まれたGIM

- ❑ グループ内部モデルは、資本重視という当社の戦略に完全に合致しています。
- ❑ 当社の「Strong Momentum」計画での主要数値の算出において、CaDeTとともに活用されました。
- ❑ M&A活動に活用されています（Transamerica RE）。

### 会社に組み込まれたGIM

- ❑ 数多くの部署と約100名の関係者が、稼働に向けたデータ、前提条件、分析に貢献しました。
- ❑ 生成された結果は、リスクのモデル化についての当社の経験をクライアントと共有することから、投資家に対するプレゼンテーションまで、SCORの多くの活動に利用されています。

### 完全に機能するGIM

- ❑ ここ数か月で30～40のモデルが稼働したことで、グループ内部モデルが完全に機能するようになり、事業への追加的な価値をもたらすことが可能になりました。
- ❑ 内部モデルはSCOR内で十分に確立され、多様な分析を提供することによって、当社の事業（M&A活動、再々保険の最適化、投資戦略、企画立案）の理解に貢献しています。

## アジェンダ

---

1	内部モデルとは？	
2	内部モデルの開発	
3	モデルの設計 - 自社のモデルに求められるものとは？	
4	モデルの調整とテスト	
5	SCORのグループ内部モデル (GIM)	
6	まとめ	

## まとめ

---

- ❑ 内部モデルの開発は、リスク認識を高め、リスク管理とガバナンスをより深く業界の業務実践に根付かせるのに役立ちます。
- ❑ 内部モデルによって、価値化された評価（特に相対的な観点から）や、意思決定のためのガイドを得ることができます。
- ❑ 戦略的な選択や、それに伴って起こり得る結果についての合理的な議論を促進します。
- ❑ 内部モデルは徐々に重要な役割を担うようになることが予想され、すでに保険会社や再保険会社のビジネスモデルの転換において重要な影響を及ぼしています。
- ❑ 適応可能な戦略を持つ完全にダイナミックなモデルを作り出すことが、今後の課題です。