

## 【論文内容要旨】

### 構成要素のリスク寄与率に着目したポートフォリオの 地震リスク処理手法に関する研究

佐藤 一郎

不確実性の高い現代社会において、「見える化」が企業経営などのあらゆる分野で重要なキーワードになっている。「見える化」とは、問題を可視化して自律的な問題解決に役立てる活動を指すことが多く、製造業の品質向上や効率化といった実務的な領域だけでなく、企業経営や政策全体にも適用しうる概念である。特に十分なリスク管理が要求される銀行や保険会社といった金融機関においては、企業活動に関わるリスクを定量化し、自己資本と照し合せて安全性を判断することが一般的になってきた。

このようなリスクの見える化の重要性の高まりは、企業などの事業体が有する潜在的なリスクが多様化し、かつ複雑化していく傾向と無縁ではない。企業に大きな影響を与える地震リスクについても、新たなリスク処理手法<sup>脚注1</sup>の登場により、リスク処理の自由度がより高まる一方、手法の高度化・規模の多様化に伴い、その実体リスク量の適切な把握と透明性の高い説明がさらに重要視されることとなった。リスク移転・共有の過程において情報の非対称性は不可避であり、それが故にリスクプレミアムが存在するが、地震リスクは確率論的にリスクを定量化することが可能であり、リスク評価の実施主体者は、規模の大小や複雑さによらず、可能な限り実態を反映したリスク評価を遂行し、透明性の高い説明を行う責務がある。

さて、地震リスクの最大の特質の一つとして、広域同時被災に至らしめるカテゴリー性が挙げられる。すなわち、大規模地震による地震リスクを内在するのは、単一地点の建物や施設単体だけでなく、ある一定の領域に存在する建物や構造物（ポートフォリオ）であるのは自明であり、当事者が、そのポートフォリオに対してリスク処理を検討することは当然といえる。これらのリスク処理の意思決定に際して、ポートフォリオ地震リスク分析が実施される。ポートフォリオ地震リスク分析は、地震活動域モデルの整備や計算機性能の向上を背景に普及し、現在では、地震発生を発生位置や規模によって細分化したマルチイベントモデルによる大規模ポートフォリオの地震リスク分析が広く行われるようになった。ここで、ポートフォリオの地震による損失は、各構成要素の損失の総和となるが、構成要素の損失が確率変数であることから、近似的にポートフォリオの確率分布を推定しポートフォリオ地震リスクが算出されることが多い。

一方、ポートフォリオリスクに影響を与えるリスクファクターの寄与度についてはこ

---

<sup>1</sup>例えば、金融商品の世界では、金融工学や証券化スキームの発達により、地震リスクそのものを証券化する異常災害債券（CATBOND）が登場するなど、様々なリスクを源泉とする証券化商品の市場取引が可能となった。また、企業向け地震保険でも、複数多地点の施設を保険対象とする多構内特殊包括契約（マルチロケーション契約）が普及し、サブミット方式と呼ばれる一部にのみ二次的な支払限度額を設定する複雑な契約も可能となった。

れまで強く意識されることがなかったが、近年、信用リスク管理を主とする金融リスク管理の分野で、統合的なマクロのリスクを個別商品に配分するための適切な手法の研究が行われるようになってきた。ポートフォリオの地震リスクについても、ポートフォリオ全体でのリスク管理・リスク処理だけでなく、それぞれ個別のファクター（各構成要素：地域的に分散された各資産やその属性、地震の震源など）の寄与に応じた合理的かつ透明性の高いリスク管理・リスク処理が今後重要になると考えられるが、本課題に着目した研究は非常に少ない。

以上を背景として、本研究では、3つの具体的な課題設定を行い、それぞれに対して以下の成果を得た。いずれも地震リスク評価におけるインプット（入力項目）とアウトプット（リスク指標）の関係に着目した課題設定となっている。なお、「第1章：序論」では、研究の背景と、各章それぞれの研究テーマの相対的な位置づけを説明している。また、「第5章：結」では、研究全体の成果と課題をまとめている。

## **第2章：モンテカルロ応答解析に基づく建物フラジリティの一般化**

実際の地震リスクマネジメントで用いられるフラジリティの要件を以下とし、

- ☑ 現実的に利用可能なパラメータに基づくこと（実用性）
- ☑ 入力と結果の関係が明確であること（説明性）
- ☑ 観測された被害率を説明できること（妥当性）

第1・2項に資するフラジリティ構築手法を提案した。これは、実際の被害を説明する妥当性の高いフラジリティの構築は引き続きの課題としつつ、現実的なリスクマネジメントへの展開を念頭に置き、現状で分かっている情報・理論等に基づく説明性と実用性を兼ね備えたフラジリティ構築手法が必要である、という実務的な問題意識によるものである。得られた成果と課題は以下のとおりである。

（成果）

- ☑ 現実的に利用可能なパラメータに基づくこと（実用性）
  - ・階数、 $I_s$  値、設計年代、構造種別といった基本的な建物属性から任意の被害状態に対応するフラジリティ曲線の算出が可能となった。
- ☑ 入力と結果の関係が明確であること（説明性）
  - ・モンテカルロ応答解析結果の回帰式により、各属性値とフラジリティパラメータ（速度耐力中央値）との関係が明確化された。
  - ・回帰式により、あるパラメータの変動が耐力中央値に与える影響の把握も容易となった。このことは、実被害や既往評価結果とのキャリブレーション

ションも容易となり、リスク評価結果の相対的な変動に対する説明性の向上に寄与すると考えられる。

(課題)

- ☑ 現実的に利用可能なパラメータに基づくこと (実用性)
  - ・ピロティや偏心などフラジリティに影響するその他の属性の反映
- ☑ 観測された被害率を説明できること (妥当性)
  - ・本提案手法で得られたフラジリティパラメータ推測式は、モデル化や入力条件設定下で得られた結果に基づくものであり、汎用的に利用されるために条件設定の妥当性と、結果の再現性について更なる検証が必要である。
  - ・特に、表層地盤増幅や相互作用による減衰効果の取扱、余剰耐力の評価、 $I_s$  値と実耐力の関係、といった評価項目は、フラジリティ関数の評価精度に影響を与えると考えられ、精度向上は、今後の課題である。

### **第3章：ベースリスクに着目した地震リスクデリバティブの設計手法の提案**

ポートフォリオリスクの処理手法として、マグニチュードや発生位置といった客観的な指標を損失補填の発動条件 (トリガー) とする、異常災害債券を代表とする地震リスクデリバティブの合理的な条件設定手法を提案した。

リスク移転先を引受能力が潤沢な市場 (投資家) に求める地震リスクデリバティブは、客観性の高い支払トリガー条件を採用する必要がある、実損填補である保険であれば生じ得ないベースリスク (実際の損害と補填との差) をその購入者は負うことになるが、本提案手法により、伝統的な支払条件設定 (一つの長方形グリッド) よりも、ベースリスクの総量 ( $b_{n1} + b_{n2}$ ) を縮減することが可能となった。

すなわち、本提案手法により、地震リスクデリバティブのメリットを保持しつつ、地震リスクデリバティブのデメリットであるベースリスクの縮減化を達成し、より保険機能の代替性を向上することが可能となる。

地震動観測記録を用いたトリガー設定方法など、ベースリスクのさらなる低減を目的とした手法構築は今後の課題となる。

### **第4章：地震損失の空間相関を考慮したポートフォリオ地震リスク設計規範式の提案**

ある特定の地震によるポートフォリオ損失が各拠点の損失の確率変数 (相関をもつ非正規変数) の線形和で表されることに着目し、相関を考慮した一次信頼性解析手法 (FORM) を用いて、ある信頼性指標 (超過確率) に対応するポートフォリオ損失と、その損失に対する各拠点の最尤点 (設計点) の関係を陽にすることを試みた。さらに、荷重耐力係数設計法の分離係数・荷重係数の概念を導入し、地震による各拠点の損失

平均値と拠点係数（荷重耐力係数設計法の荷重係数に相当）により **FORM** を用いずに最尤点（設計点）を算出する設計規範式を提案した。

同規範式の活用試算例として、保険料の各拠点への按分比の算出例を取り上げ、支払区間に含まれるポートフォリオ損失を生じさせる各拠点の損失組合せの最尤点を提案手法により設計点として算出し、支払区間を条件とする年支払期待値の内訳（各拠点の寄与率）と、支払区間を限定しない全区間の年損失期待値の内訳（各拠点の寄与率）とを比較した結果、差があることが分かった。すなわち、実態リスクに応じて保険料を配分する必要がある場合には、ポートフォリオ損失に対応する各拠点の設計点（最尤点）に基づいた支払期待値の各拠点別の寄与率に基づく必要があることが分かった。

提案した設計規範式は、特定イベントに対する各拠点の損失平均・ばらつき、資産ウェイト・相関で記述されることから、地震以外の自然災害にも応用可能と考えられる。より汎用的に適用するには、損失率に異なる確率分布を設定した場合の設計式の導出とその適用限界の検証が今後の課題となる。

以上の各章の成果をポートフォリオの地震リスクマネジメントに活用することにより、保険等の商品購入者や投資家、保険会社といったステークホルダーが、ポートフォリオ地震リスクに特有な複雑性（震源と個別要素などの組合せが多岐に亘ることに起因）に影響されること無く、合理的なリスク対応が可能になると期待される。