

京都大学工学部 学生員 ○グエン フク デイン  
 京都大学防災研究所 正会員 多々納 裕一  
 京都大学防災研究所 正会員 岡田 憲夫

1 はじめに 自然災害が発生した後に、資金不足等で災害から復興ができず、社会発展に影響を及ぼす可能性がある。このような2次的経済的被害を軽減し、災害後の復興を円滑に進めるためには自然災害に対する金銭的な備えを事前に講じておくことが大変重要である。

地震のような自然災害は、生起頻度が小さく、発生した場合の被害が大規模なものとなる。この条件下では大数の法則が成り立たない。このため、保険数理的に公正な保険は、大地震を引き金に同時に生じる巨額の被害に対し、保険金が支払われなくなる可能性が十分にあり、保険会社が倒産してしまうことも考えられる。そのために保険金の不払いの可能性を考慮した保険料率の設定が、必要である。

さらに、保険料率の決定問題は、その背後に想定する再保険や政府保証等の制度にも依存する。本研究では、この種の制度的条件を与件とした保険料率の決定問題を保険構造の設計問題と呼び、その分析のための基礎的フレームワークを示すとともに、ケーススタディーを通じて提案する保険構造の有効性を検討する。

2 対象地域 本研究の方法論では地震断層や住民所得情報等が知っていれば最適保険構造設計を行えるが、ケーススタディーにおいては兵庫県内の95市区町村を対象とした。地域ごとに異なる保険料率とカバー率をとりうる保険構造の設計を行う。また、兵庫県に被害を及ぼしうる15の活断層等の地震ハザードを特定し、それぞれの再現周期を考慮した上で向こう100年間の地震シナリオを10万件設定した。その上で、これらのシナリオそれぞれに応じた地震被害の発生状況を反映した保険構造の設計を行う。

3 モデル構築と目的関数の定式化 対象地域内の各地域は  $j = 1 \dots m$  とし、地震シナリオは  $\omega = \{\omega_t, t = 0 \dots T-1\}$  で定義され、確率空間  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{P})$  に従う。

保険会社の災害準備金を  $R^t$  とすると

$$R^{t+1}(\omega) = R^t(\omega) + \Pi + N(S^t(\omega)) - S^t(\omega) - M^t \quad (1)$$

$$t = 0 \dots T-1, \omega \in \Omega$$

$R^0$  は災害準備金の初期値、 $\Pi$  は保険会社が得る保険料の総額、 $S^t(\omega)$  は保険金額、 $M^t$  は再保険料である。 $\Pi$  や  $M^t$  は地震事象シナリオによらない。また、共同保険形の再保険でレイヤーの上限がない場合の再保険を取り上げることとする。再保険会社が保険会社に支払う保険金額  $N(S^t(\omega))$  は次のように決定される。

$$N(S^t(\omega)) = \begin{cases} 0 & (S^t(\omega) < N_0) \\ \alpha(S^t(\omega) - N_0) & (S^t(\omega) \geq N_0) \end{cases} \quad (2)$$

最保険料は保険数理的に公正な保険料に付加率  $\gamma$  をかけた水準に定まっているものとする。すなわち、 $M^t = \gamma \mathbf{E}[N(S^t(\omega))]$  となる。地震による損害額は被害関数  $L_j^t(\omega)$  で与えられ、損害  $L_j^t(\omega)$  に対して、保険会社が保有する保証のカバー率を  $\{0 \leq q_j \leq 1, j = 1 \dots m\}$  とすると、保険会社のカバー率と保険金額  $S^t(\omega) = \sum_{j=1}^m L_j^t(\omega) q_j, t = 0 \dots T-1$  となる。

一方、地域  $j$  に住む世帯の純所得  $x_j^t(q_j, \pi_j, \varepsilon^t(\omega))$  は  $x_j^t(q_j, \pi_j, \varepsilon^t(\omega)) = y_j^t - \pi_j q_j g_j - (1 - q_j) l_j^t(\varepsilon^t(\omega))$  となる。ここで、 $y_j^t$  は代表的個人の(粗)所得で、 $\pi_j$  はプレミアム率である。 $g_j$  は地域  $j$  の個人平均資産額である。また、 $l_j^t(\varepsilon^t(\omega))$  は一世帯当たりの損害額であり、地震被害シミュレーションにより与えられる。状態変数  $\varepsilon$  は保有資産の損傷度である。

この地域の厚生水準がベンサム型社会的厚生関数である期待効用の和で与えられるとすると  $w(q, \pi, \omega) = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} \sum_{j=1}^m \sum_{\varepsilon=0}^3 n_j^t(\omega, \varepsilon) u\{x_j^t(q_j, \omega_j, \varepsilon)\}$  となり、ただし、ここの  $r$  は社会的割引率であり、 $n_j$  は地域  $j$  の人口である。

本研究では保険制度が持続可能な範囲内で住民の厚生を最大化するような保険制度の設計問題を与える。保険会社が倒産するということは災害準備金が負になることがあれば、その時刻が  $T$  年内にあることである。次のような数理計画モデルを定式化する

目的関数  $W(q, \pi) = \mathbf{E}w(\mathbf{q}, \pi, \omega) \rightarrow \max$   
 subject to  $0 \leq q_j \leq 1, 0 \leq \pi_j \leq 1, P\{\tau(q, \pi, \omega) < T\} \leq \beta$   
 ただし、 $\tau(q, \pi, \omega) = \min\{t : R^t(q, \pi, \omega) < 0, t > 0\}$

この目的関数の確率制約をラグランジェ緩和を実施

表 1 各保険構造の比較

|         | 現行保険       | 公正な保険      | 最適化保険      |
|---------|------------|------------|------------|
| 社会的厚生   | 7507178974 | 7509790051 | 7496014706 |
| 不払確率(%) | 16.26      | 51.56      | 6.00       |

し、確率制約にラグランジェ乗数を乗じて目的関数に加えることで拡張された目的関数を構成できる。

拡張目的関数

$$W(q, \pi, \omega) = \mathbf{E}\{\mathbf{w}(\mathbf{q}, \pi, \omega) - c\chi(\tau(\mathbf{q}, \pi, \omega))\} \rightarrow \max$$

subject to  $0 \leq q_j < 1, 0 \leq \pi_j \leq 1$

ただし、 $\chi(\tau_\omega) = \{1: \tau_\omega \leq T; 0: \tau_\omega > T\}$  と定義する。

拡張した目的関数は確率制約を含み微分不可能な関数を有しており、また期待値で定義する項もあり、シナリオや次元数が多数存在するときは通常の計画法では計算できない。本研究は、確率重勾配法<sup>1)</sup>を用いることによってこの難点を克服することにした。確率重勾配法は解の改善方向を求めるのにシナリオを部分的しかに用いない。さらに、差分計算自体は一つの方向を定めるのに数回のみが必要となる。

**4 実証分析** 再保険の有無や保険料率・カバー率等の保険構造の違いによる地震による損害住民への帰着構造を検討するために、各々の保険構造に対応したリスク曲線、社会的厚生、保険システムの破綻確率について計算を行った。図1、図2は第50年目の各保険構造別のリスク曲線である。表1には各保険構造の社会的厚生と保険不払確率を示している。再保険を導入したことによって、飛躍的に保険破綻確率が減少した。現行保険に対して保険不払確率が16.26%から14.86%に減少した。保険不払確率が同じく6%のときは再保険のあるケースは再保険のないケースと比べ、保険カバー率とリスクカバー率が向上することが分かった。そして、保険料率もほとんどの地域において減少する傾向が見られ、実際に適用できるような料率になってきていることが分かる。平均値で見ると平均保険カバー率は0.499、平均料率は6.988である。再保険を導入しない時と比べてカバー率が増大、料率が減少した。ただし、再保険のないときはそれぞれ0.477と8.311であった。

**5 結論** 本研究では、大数法則が成り立たない条件下に保険システムそのものの持続可能性を保証した上で社会的厚生最大となる保険制度の設計方法論に関して検討を行うとともに、兵庫県を対象とした実証分析を通じて提案した手法の有効性を確認した。また、確率重勾配法を適用することで、十分実用に耐える手

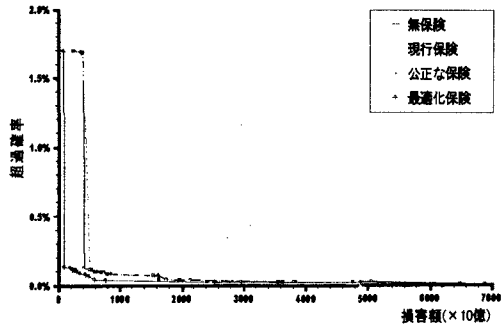


図1 第50年における各保険制度のリスクカーブ

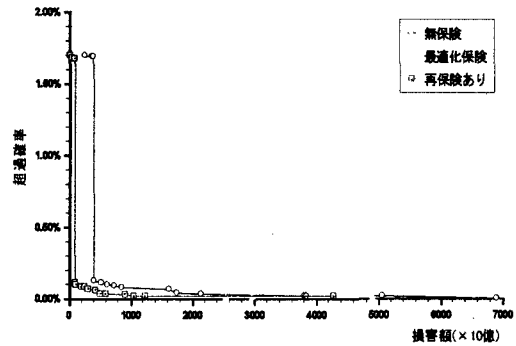


図2 第50年における再保険ケースのリスクカーブ

法として構成し得たと分かった。

提唱した保険構造は再保険が導入されていない場合でも、社会的厚生は現行の地震保険の場合に比べて若干減少するが、保険システムの破綻のリスクは大きく改善されることが分かった。再保険を導入したケースでは同じ破綻確率水準での比較を通じて、再保険を導入したケースでは再保険のないケースと比べて保険カバー率が増加する傾向が読み取れた。再保険は保険システム自体の破綻リスクを軽減し、付加料率を軽減させる働きがあることがこの結果から見出された。

しかしながら、本研究は、「全員加入」を前提とした分析にとどまった。また、保険会社に関しても完全な規制下にある場合を想定しており、自由な保険市場を通じた災害保険の提供に関しては分析を行っていない。今後は住民の保険購入行動を内生化し、市場メカニズムを活性化して検討を進めていかなければならないと考えている。

**参考文献**

1) Y.M. Ermoliev, *Numerical Techniques for Stochastic Optimization*, Springer-Verlag, pp141-168, 1988.