

損失に対する主観金額を考慮した 地震保険の最適化

望月智也¹・中村孝明²・木村正彦³・星谷勝⁴

¹正会員 工修 株式会社篠塚研究所 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 4-5-1 幸伸ビル新宿 3F)

²正会員 博士(工学) 株式会社篠塚研究所 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 4-5-1 幸伸ビル新宿 3F)

³非会員 博士(工学) 東急建設株式会社 (〒150-8343 東京都渋谷区渋谷 1-16-14)

⁴正会員 Ph.D. 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

保険による損失移転の範囲は免責と支払い限度により設定されることが一般的である。本論文は、被保険者にとって最適な地震保険の評価方法を示した。この方法は、地震損失の確率関数を評価することで、免責と支払い限度にもとづく被保険者および保険会社の損失を定量的に示すことができる。また、評価方法は、損失に対する主観金額を考慮することで、被保険者が許容できる保険料の条件を示すことができ、その条件で損失が最小となる免責および支払い限度を評価するものである。適用性の検討と地震保険の効果は、事務所ビルを対象とした数値解析により示した。

Key Words : earthquake insurance, net premium, loading, subjective loss, probability mass function

1. はじめに

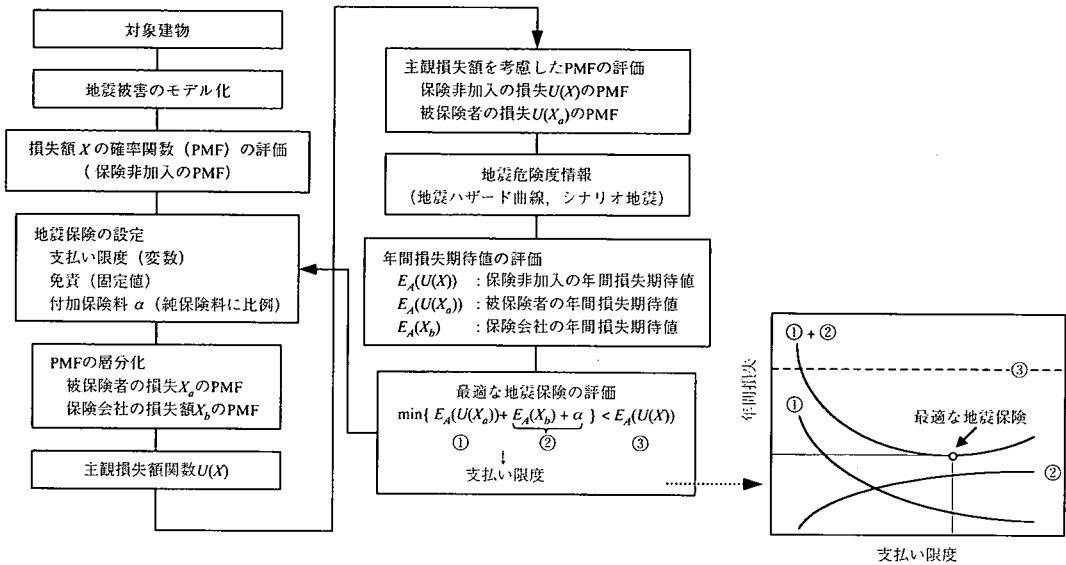
建築や土木施設に実施される地震防災対策の多くは、構造物そのものを強くすることに力が注がれる。特に、土木施設における防災は、人命保全や機能維持、被害そのものの軽減が優先されるため、耐震補強や免震装置の設置など、物理的な対策の実施が求められる。一方、財産保護という観点からは、地震保険による損失移転も効果的である。政府および損害保険会社が運営する一般住宅の地震保険は、1964年の新潟地震を契機に、1966年に制度化されたものである。現状は、火災保険に任意に付帯して付保する仕組みとなっており、地震保険のみの付保はできない。地震保険の付保割合は火災保険の保険金額の30%以上50%以下(但し、建物5,000万円、家財1,000万円限度)と定められている。文献1)では、地震保険の加入者は1996年の全国平均で12.6%、また、JA共済が提供する建物更生共済については32.8%とある。保険は損失に対する自己防衛手段として、一般的に認知度が高いにも関わらず、これまで地震防災対策として、その効果を検討した研究例は少ない。損失軽減の効果を定量的に示すことができれば、地震保険は、地震防災における有効な対策の一つとなり、また、被害を被る当事者にとっては、リスク管理を行う上での有益な情報になると思われる。

地震損失は、様々な不確定性を前提に確率・統計的な方法を用いて評価される。その際、損失の代表値として

示されるのは年間損失期待値である。保険料 (premium) は、保険会社に移転する年間損失期待値に相当し、移転分の範囲は免責 (deductible) や支払い限度 (limit) により設定されるものである。実際には、保険会社への移転分を純保険料 (net premium) と呼び、これに付加保険料 (loading) を加えたものが保険料となっている。純保険料は、保険金に充当され、付加保険料は保険会社の運営費や営業利益となる部分である。

地震保険は被害が生じて初めて機能する仕組みであり、仮に契約期間中に被害が生じなければ、被保険者にとって保険料の支払いは支出となる。さらに被害が生じた場合でも、支払われる保険金は純保険料に相当するため、付加保険料は支出となる。このような仕組みのもとで、保険加入者が存在する理由は、損失に対する主観金額(以降、これを主観損失額と呼ぶ)を用いることで説明される。主観損失額は、個人が地震被害で被る実質損失額に対して認知する主観金額であり、これを考慮した損失期待値の比較により保険加入の意志決定が行われる。支払う保険料が保険非加入の場合の主観損失額から算定した損失期待値より小さければ、保険加入は選好される。しかしながら、免責と支払い限度の範囲によっては、保険料が高くなり、保険加入が選好されない場合もある。被保険者に許容される保険料を見出すには、主観損失額をふまえた免責や支払い限度の設定が必要となる。

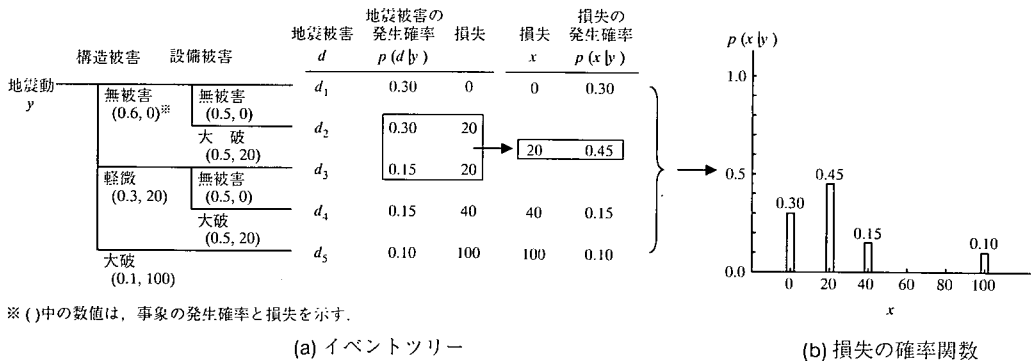
本論文は、地震防災対策の一案となることを目的として、被保険者にとって最適な地震保険の評価方法を示す



(a) 評価フロー

(b) 最適な地震保険

図-2 最適な地震保険の評価方法



※ ()中の数値は、事象の発生確率と損失を示す。

(a) イベントツリー

(b) 損失の確率関数

図-3 イベントツリーによる地震被害のモデル化と損失の確率関数

建物に作用する地震動を発端事象とし、被害誘引の要因として構造被害、設備被害の2つを設定している。そして、構造に関しては無被害、軽微、大破の3事象、設備に関しては、無被害、大破の2事象を設定している。構造が大破した場合には、設備も大破となることを想定し、イベントツリーの最終帰結は5つとなっている。

ETAでは、各誘引事象の発生確率は地震動の大きさyの条件付き確率で与えられ、これは地震損傷度曲線 (Seismic Fragility Curve ; SFC) ^{23,24)}により求めることができる。SFCは構造信頼性理論にもとづき解析的、あるいは統計的に評価される。最終帰結は地震被害dを表し、その発生確率p(d|y)は、各誘引事象の発生確率の積として、また、損失は、各誘引事象による損失の和と

して求めることができる。

最終帰結に示す損失は、地震被害の発生確率との関係より、損失の確率関数 (Probability Mass Function ; PMF) として表すことができる。図-3(b)では、損失をxとして、そのPMFをp(x|y)として示している。図-3(a)では、最終帰結は5つになるものの、地震被害d₂、d₃の損失は事象として同一であるため、図-3(b)に示すxは4つとなる。

一般に、保険に加入した場合の被保険者および保険社の損失は、正規分布や対数正規分布のようなモデル分布ではなく、任意の確率分布となる。また、主観損失額は被保険者の損失dに考慮されることから、PMFの評価が必要となる。

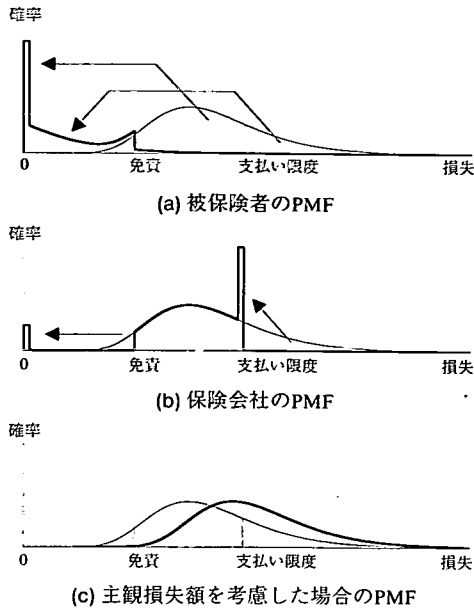


図-4 確率関数の層分化の概念図

(2) 地震保険による確率関数の層分化

被保険者および保険会社の損失の確率分布は、以下に示す PMF の層分化により求めることができる。

地震保険の免責と支払い限度を x_D , x_L とする。被保険者および保険会社の損失の PMF は、中村ら⁹⁾の研究にもとづき図-4 のように層分化される。同図は、概念図として PMF を連続的に示したものであり、保険非加入の PMF (細線) が、免責、支払い限度により矢印が指す PMF (太線) になることを表している。

被保険者の場合 (図-4(a))、まず、 $0 \leq x \leq x_D$ では、損失は被保険者自らが負担するので分布は変わらない。 $x_D < x \leq x_L$ では、損失は保険会社の負担となるので、この範囲の分布は $x=0$ に上乘せされる。 $x_L < x$ では、 x_L まで保険会社が損失を負担するため、被保険者の損失は $x - x_L$ となり、分布は $x - x_L$ に上乘せされる。

一方、保険会社の場合 (図-4(b))、 $0 \leq x \leq x_D$ では、免責となるので、この範囲の分布は $x=0$ に上乘せされる。 $x_D < x \leq x_L$ では、保険会社が損失を負担するので PMF は変わらない。 $x_L < x$ では、保険会社は x_L までしか負担しないため x_L に分布は上乘せされる。

損失 x に主観損失額関数 $U(x)$ を考えると、PMF は x が $U(x)$ により変数変換されたものとなる (図-4(c))。

(3) 地震危険度情報を考慮した年間損失期待値の評価

地震被害の評価では、構造物の所在地周辺でどのような地震動が発生しうるか、特定の地震が発生した場合は、地点ではどのような地震動が推定されるかを考慮する必要がある。これは、一般に地震危険度情報として地震ハザード曲線やシナリオ地震などにより示されるものであ

る。地震危険度情報を考慮し、年間損失期待値は次式により求めることができる。

$$E_A(X) = \int_0^{\infty} g(y) \sum_{\text{all } x_i} x_i p(x_i | y) dy \quad (7)$$

ここに、 x_i は損失、 $p(x_i | y)$ は損失の発生確率、 y は地震動の大きさ、 $g(y)$ は y の年間発生確率を示す。 $g(y)$ は、地震ハザード曲線 $G(y)$ より、 $g(y) = -dG(y)/dy$ となる。なお、 $G(y)$ は y の年間超過確率である。

宇賀田⁹⁾は、日本全国を対象として、シナリオ地震となり得る震源データを整備し、それらを用いた地震危険度評価を行っている。この方法では、構造物の所在地が設定されれば、複数のシナリオ地震が選択され、各地震の年間発生確率および所在地での地震動の大きさが求められる。すなわち、地震動の大きさ y の年間発生確率 $g(y)$ が求められ、年間損失期待値を次式により求めることができる。

$$E_A(X) = \sum_{j=1}^m g(y_j) \sum_{\text{all } x_i} x_i p(x_i | y_j) \quad (8)$$

ここに、 m はシナリオ地震 j の個数を示す。

(4) 最適な地震保険の評価

被保険者、保険会社の年間損失期待値は、それぞれの PMF を式(7)、あるいは式(8)に代入し求めることができる。そして主観損失額関数 $U(X)$ が設定できれば、被保険者に許容される保険料の条件式は、式(6)より次式のようなになる。

$$E_A(U(X_a)) + E_A(X_b) + \alpha < E_A(U(X)) \quad (9)$$

ここに、左辺 X_a , X_b は被保険者、保険会社の損失、 $E_A(U(X_a))$, $E_A(X_b)$ はそれぞれの年間損失期待値、 α は付加保険料を示す。また、右辺は保険非加入の場合の年間損失期待値を示す。

最適な地震保険は、式(9)を満足し、左辺が最小となる免責と支払い限度が選択される。但し、保険の実情を考えると、一度設定した免責を大幅に変更することは考えにくいので、免責は固定値とする。また、付加保険料は純保険料に比例するものとし、その条件のもとで、損失が最小となる支払い限度を選択するものとする。

図-2(b)に選択方法についての概念図を示す。同図の横軸は、支払い限度を表し、縦軸が被保険者、保険会社の損失を示している。同図より、支払い限度を増加させることで、被保険者 (①)、保険会社の損失 (②) が変化し、式(9)の左辺 (①+②) が最小となる支払い限度が

表-1 SFC情報および損失情報

被害誘引の要因	誘引事象	z_m (cm/s)	ζ	損失 (百万円)
構造被害	軽微	345	0.4	120
	中破	830		240
	大破	1005		721
	倒壊	1140		2,404
電気設備被害	大破	520	0.45	283
衛生設備被害	大破	865	0.45	75
空調設備被害	大破	525	0.45	257
防火設備被害	大破	790	0.45	25
火災	部分焼	2590	0.71	240
	全焼	3695		2,404

※ z_m は中央値, ζ は対数標準偏差

表-2 年間損失期待値 (免責5%, 支払い限度30%)

主観損失額	年間損失期待値 (百万円)		
	保険非加入	被保険者	保険会社
考慮しない	2.02	0.61	1.41
考慮	5.96	1.78	

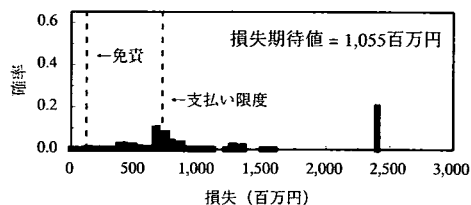
選択される。また、図中の③は、保険非加入の場合の年間損失期待値を示し、保険への加入は、①+②がこれより小さくなることで説明される。

4. 数値計算例

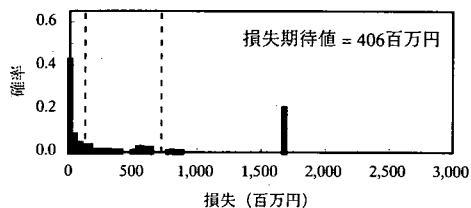
(1) 評価条件

数値計算例として東京を所在地とした鉄骨鉄筋コンクリート造 11 階建ての事務所ビルを対象に解析を行う。被害誘引の要因は、構造被害、電機設備被害、衛生設備被害、空調設備被害、防火設備被害、火災の7つとする。また、誘引事象は、構造被害については、無被害、軽微、中破、大破、倒壊の5つを、火災については、無被害、部分焼、全焼の3つを、その他の誘引事象については、無被害、大破の2つを設定する。なお、損失は物的損失額のみを対象とし、構造および設備被害による損失と火災による損失は単純に足すものとする。また倒壊および全焼が発生した場合は全損になるものとする。

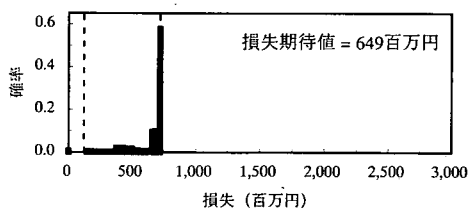
各被害の発生確率は、SFCにより算定する。本解析では、SFCは対数正規分布の累積分布関数を仮定し、その中央値は基盤最大加速度で表せるものとした。表-1に各誘引事象の中央値および対数標準偏差を示す。構造および各設備被害については実際の耐力値を、火災規模については文献7)を、その発生確率については、文献8)を参照し設定している。また、表-1には、各事象による損失についても付記した。全損となる倒壊および全焼の損失が対象建物の再調達価格となっている。



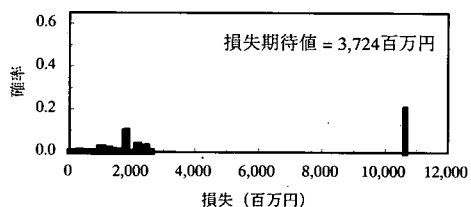
(a) 主観損失額を考慮していない保険非加入のPMF



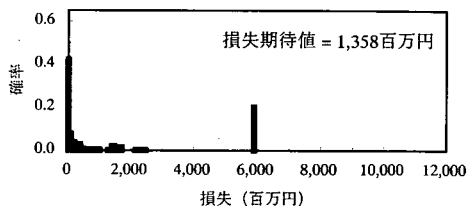
(b) 主観損失額を考慮していない被保険者のPMF



(c) 保険会社のPMF



(d) 主観損失額を考慮した保険非加入のPMF



(e) 主観損失額を考慮した被保険者のPMF

図-5 被保険者、保険会社の損失の確率関数 (免責5%, 支払い限度30%, 基盤最大加速度800cm/s²)

地震危険度情報については、地震ハザード曲線を適用することとした。これは建築物荷重指針⁹⁾を参照し、次式により作成した。

$$G(y) = \left\{ 100 \cdot (y/a_0)^{0.54} \right\}^{-1} \quad (10)$$

ここに、 y は標準地盤の最大加速度 (cm/s²) であり、解

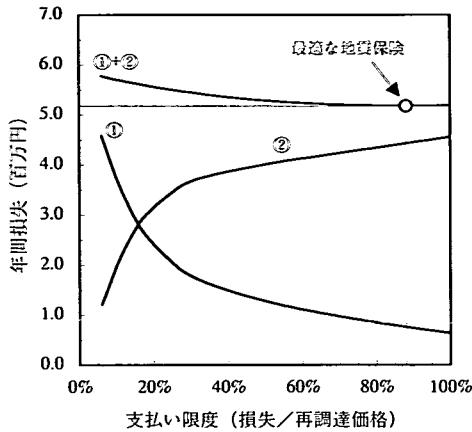


図-6 年間損失と支払い限度の関係
(付加保険料を純保険料の1.6倍とした場合)

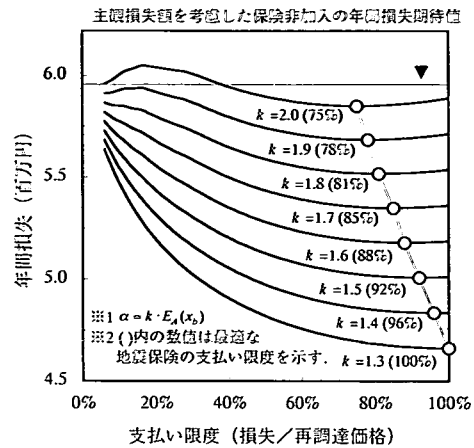


図-7 付加保険料を変化させた場合の
支払い限度の推移

析では、これを基盤最大加速度として用いる。また、 $G(y)$ は y の年超過確率、 a_0 は基本最大加速度で、建物の所在地である東京から $a_0=200\text{cm/s}^2$ を設定した。

主観損失額関数については、既往の研究を参照し、柴崎・家田¹⁰⁾ が評価した以下の被害額認知関数を適用する。

$$U(x) = x + 1880 \{ \exp(0.0007x) - 1 \} \quad (11)$$

ここに、 x は損失、 $U(x)$ は x の主観損失額を示す。

式(11)は、日経金融行動調査(日経 RADAR)の地震保険加入世帯 96 サンプルを統計情報として、損失額が増加すると主観損失額は通増し、また損失額が小さい場合は損失額に一致する関数という条件で推定されている。

(2) 被保険者および保険会社の損失の評価結果

基盤最大加速度を 800cm/s^2 とし、保険による免責を建物の再調達価格の 5%、支払い限度を 30%とした場合の損失の PMF を図-5 に示す。また、同図には各者の損失期待値を示した。

保険非加入の場合の PMF (図-5(a)) は、損失 0~1,600 百万円の範囲に分布が集中し、それ以外の損失では、再調達価格である 2,404 百万円の方に分布している。これは倒壊または全焼が発生した場合と他の被害との損失の差が大きいためである。

主観損失額を考慮していない被保険者の PMF (図-5(b)) は、保険に移転された損失が 0 円に上乘せされている。また、図-5(a)で示される支払い限度以上の分布が損失の小さい方にスライドしている。これは、再調達価格の最大 30%までは、損失を被らないことから、それ以上の損失が差し引かれたためである。

一方、保険会社の PMF (図-5(c)) は、再調達価格の 5~30%の範囲しか損失を被らないことから、その範囲に分布が集中している。また、免責までの分布は損失 0 円に、そして支払い限度以上の分布は、支払い限度に上乘せされている。

主観損失額を考慮した PMF (図-5(d), (e)) は、主観損失額を考慮していない PMF (図-5(a), (b)) の損失が、主観損失額関数により変数変換された分布となっている。

図-5 中に示した損失期待値は、被保険者 406 百万円、保険会社 649 百万円となり、これらを足しあわせると保険非加入の場合の損失期待値 1,055 百万円となる。主観損失額を考慮した場合の損失期待値は、保険非加入の場合は 3,724 百万円、被保険者は 1,358 百万円となり、これらは主観損失額を考慮しない場合の 3.5、3.3 倍となっている。柴崎・家田¹⁰⁾ の研究では、損失の主観量は実際の損失の 2~3 倍程度とあり、解析結果はそれを反映したものとなった。

年間損失期待値については、表-2 に示す結果となった。主観損失額を考えない場合で見ると、保険非加入の場合の 2.02 百万円に対して、被保険者は 0.61 百万円となり、保険加入により年間当たり 1.41 百万円の損失が移転される結果となった。一方、主観損失額を考慮した場合は、保険非加入の 5.96 百万円が、被保険者 1.78 百万円と、4.18 百万円の損失が移転される結果となった。

(3) 最適な地震保険の評価結果

次に、最適な地震保険の評価結果を示す。付加保険料 α は純保険料の 1.3~2.0 倍で変化させるものとした。また、免責は再調達価格の 5%とした。

図-6 は、付加保険料を純保険料の 1.6 倍と設定した場合の支払い限度と被保険者の損失の関係であり、これは

図-2(b)と同義である。同図より、被保険者の損失は、図中に示す①主観損失額を考慮した被保険者の年間損失期待値、②純保険料+付加保険料を足しあわせたものとなる(①+②)。この結果より、最適な地震保険となる支払い限度は、①+②で示される曲線が最小となる点となり、これは再調達価格の88%となっている。

図-7は付加保険料を変化させた場合の被保険者の損失(図-6の①+②に該当)である。なお、図中に示す k は純保険料と付加保険料の比である。同図より付加保険料が大きくなるに従い、最適な地震保険となる支払い限度が小さくなり、それに応じて年間損失も増大していることが分かる。付加保険料が純保険料の2.0倍の場合には、支払い限度が再調達価格の40%以下の部分で、主観損失額を考慮した保険非加入の場合の年間損失期待値を超えている。したがって、この条件の場合には保険加入が説明されないことになる。また、付加保険料が純保険料の1.3倍の場合には、支払い限度が再調達価格の100%という結果となっている。これは付加保険料が小さければ、すなわち保険料が安ければ、全ての損失を保険会社に転ずる方が効果的であることを示している。

一方、最適な地震保険が得られたものの、支払い限度の変化に伴う年間損失の曲線はゆるやかであり、最適な地震保険と他の解との明確な差は得られなかった。これは主観損失関数あるいは付加保険料による影響と考える。損失に対する主観損失額が式(11)より大きい場合や付加保険料が純保険料の増加に伴い、急激に高く設定されるような場合は、この差が明確になると思われる。但し、このための感度解析は、主観損失額および付加保険料が現実的ではなくなるので、本評価結果にとどめることとする。

5. おわりに

本論文は、地震防災対策の一案となることを目的として、被保険者にとって最適な地震保険の評価方法を示した。この方法は、地震損失の確率関数を評価することで、免責と支払い限度にもとづく被保険者および保険会社の損失を定量的に示すことができる。また、評価方法は、損失に対する主観金額を用いることで、被保険者が許容できる保険料の条件を示すことができ、その条件で損失が最小となる支払い限度を評価するものである。本評価方法の特徴を以下にまとめる。

(1) 地震危険度や地震被害など、損失評価にかかわる不確定性を確率・統計的な方法により取り込むことができる。

(2) 損失の確率関数を用いることにより、免責と支払い限度、付加保険料を考慮した様々な保険の加入方法が検討できる。

(3) 地震保険による損失軽減の効果を年間損失として定量化することができる。

(4) 損失に対する主観金額により、主体者の主観を反映した保険加入の意志決定情報が提供できる。

また、数値計算例として、事務所ビルを対象とした検討を行った。その結果、評価方法を適用することで、保険による損失軽減効果を示すことができた。また、被保険者が許容する保険料の範囲で、最適な地震保険となる支払い限度が得られた。

以上より、本論文で示した評価方法は、地震防災対策として有効であり、また、評価結果はリスク管理を行う上での有益な情報になりうると考える。なお、本論文では、被保険者の損失に対する主観金額は与えられていることを前提としているが、主観は個人により異なり、それを測定することは必ずしも容易ではない。主観の測定に関しては、社会心理学や環境経済学の分野で先駆的に行われている。また、近年、工学の分野においても主観便益の貨幣換算方法として、仮想市場法(Contingent Valuation Method; CVM)などの研究が盛んに行われている。本研究を具現化するためには、これらの知見によるところが大きいと考える。

土木施設に関しては、施設固有のETAおよび表-1に示した情報が整備されれば、本論文で示した評価方法は基本的には適用が可能である。しかしながら、土木施設の多くは国や地方自治体が運営・管理する公益施設であり、損害保険の需要に関する議論は、保険の効果を示す数理モデルを提案する本論文の範囲外と考える。但し、電力、ガス、水道、あるいは港湾施設など民間企業が管理する施設も多数あり、今後は、これら施設への適用も考えていきたい。

最後に、本研究は学校法人五島育英会武蔵工業大学産官学交流センターの研究プロジェクトにおける共同研究(ライフサイクルコストを考慮した建築物の効率的なリスク管理計画)の成果である。

参考文献

- 1) 山口光恒: 現代のリスクと保険, 岩波書店, p.280, 1998.
- 2) 宮越淳一, 林康裕, 渡辺宏一: 1995年兵庫県南部地震の建物被害にもとづく建物の耐震性能評価, 構造工学論文集, Vol.43B, pp.53-59, 1998.
- 3) 山口直也, 山崎文雄: 1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.325-336, 1999.
- 4) Shinozuka, M.: Statistical Analysis of Fragility Curves, Proc. of Asian-Pacific Symp. on Structural Reliability and its Applications, pp.1-18, 1999.
- 5) 中村孝明, 中村敏治, 望月智也: 不確実性を考慮した地震リスク移転と自己負担, 日本リスク研究学会 第13回研究

発表会論文集, pp.1-7, 2000.

- 6) 宇賀田健: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 541 号, pp.95-104, 2001.
- 7) 自治省消防庁: 消防年報平成 10 年度版, p.200, 1998.
- 8) 東京都: 東京都における直下型地震の被害想定に関する調査報告 (被害想定手法編), p.2000, 1997.
- 9) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, p.512, 1993.
- 10) 柴崎隆一, 家田仁: 世帯の保険加入行動を対象とした人間のリスク認知特性の計測, 日本リスク研究学会 第 13 回研究発表会講演論文集, Vol.13, pp.31-36, 2000.

(2001.6.8 受付)

OPTMIZATION OF EARTHQUAKE INSURANCE CONSIDERING SUBJECTIVE LOSS

Tomoya MOCHIZUKI, Takaaki NAKAMURA,
Masahiko KIMURA and Masaru HOSHIYA

In this paper, a method of optimization of risk transfer due to earthquake insurance is proposed, which is aimed to be used for a countermeasure of disaster prevention. In this method, a risk is defined by annual expected loss considering a coverage of insurance and an acceptable premium. The coverage of insurance is determined by deductible and limit, and the loss of insured and insurance company can be evaluated in probability mass function with its coverage. Also the acceptable premium can be provided by the function of loss considering subjectivity of decision-makers. The optimal risk transfer is showed by deductible and limit which minimize the risk of insured. The effectiveness of risk transfer and the validity of the proposed method is demonstrated through the numerical example.