

防災まちづくり事業推進のための資本市場からの資金調達にかかる地震リスクの評価

その2: 地震リスクの定量化

正会員 ○矢代 晴実*
 正会員 新井 伸夫**
 正会員 福島誠一郎***

都市政策 資金調達 市場原理
 地震リスク 証券の発行

1. はじめに

本研究(その1)に示した, 提案した事業モデルにおける地震リスクの定量化を試みる。

2. 地震リスクの定量化

償還年数を T とし, 被害を発生させるような地震が償還開始後 t 年目に発生すると仮定する。所定の事業目的税の年総額を x , 地震発生後の事業目的税の年総額を $y = f(j) \times x$ とする。ここで, $f(\cdot)$ は償還の緩和を定めるための関数である。 j は被害の程度を表す変数で, $j=1$ は小破に, $j=2$ は中破に, $j=3$ は大破に, $j=4$ は倒壊にそれぞれ対応する。

また, 自治体負担額を $z = g(y) = g[f(j)x]$ とする。ここで, $g(\cdot)$ は自治体の負担額を定めるための関数である。

t 年後に損傷レベル j の生じる確率を $p(j, t)$ とすると, $p(j, t)$ は次式で与えられる。

$$p(j, t) = (1 - h_j)^{t-1} \cdot (h_j - h_{j+1}) \quad (1)$$

ここで, h_j は損傷レベル j 以上となるような地震動強度の年超過確率である。また, $h_5 = 0$ である。

一方, 損傷レベル j の被害を与える地震が発生した後の一般投資家が失う利益の年額 $l(j)$ は, 次式で与えられる。

$$l(j) = x - f(j)x - g[f(j)x] \quad (2)$$

よって, その総額 $l(j, t)$ は, 次式で表される。

$$l(j, t) = l(j)(T - t + 1) \quad (3)$$

$p(j, t)$ と $l(j, t)$ の積を求め, これを全ての t について足し合わせることで, 損傷レベル j についてのリスク $r(j)$ を求めることができる。これを表すのが次式である。

$$r(j) = \sum_{t=1}^T p(j, t) \cdot l(j, t) \quad (4)$$

(4)式に(1)式と(3)式の右辺を代入すると, 損傷レベル j についてのリスク $r(j)$ は次式のように整理される。

$$r(j) = \frac{(x - f(j)x - g[f(j)x])(h_j - h_{j+1})[h_j(T+1) + (1 - h_j)^{T+1} - 1]}{h_j^2} \quad (5)$$

さらに, 全ての損傷レベルについて $r(j)$ を足し合わせることで, 一般投資家のリスク R_1 が求められる。

$$R_1 = \sum_{j=1}^4 r(j) \\ = \frac{h_1(T+1) + (1 - h_1)^{T+1} - 1}{h_1^2} \sum_{j=1}^4 (x - f(j)x - g[f(j)x])(h_j - h_{j+1}) \quad (6)$$

同様に, 自治体のリスク R_2 は次式で求められる。

$$R_2 = \frac{h_1(T+1) + (1 - h_1)^{T+1} - 1}{h_1^2} \sum_{j=1}^4 g[f(j)x](h_j - h_{j+1}) \quad (7)$$

3. 諸変数が地震リスクに与える影響

(6)式あるいは(7)式によれば, 地震リスクに影響を与える要因として以下の項目が挙げられる。

- ① 償還年数: T
- ② 被害の年超過確率: h_j
- ③ 償還の緩和を定めるための関数: $f(\cdot)$
- ④ 自治体の負担額を定めるための関数: $g(\cdot)$

これらの内, ①と②については, 提案した資金調達モデルにおいて, 対象とする地域や事業内容によりほぼ必然的に設定されると考えられる。これに対し, ③と④は, 事業モデルを設計する際に, 任意に設定できるものである。そこで, ここでは, ①と②を固定した場合に, 一般投資家及び自治体のリスクが③と④によってどのように変化するかを検討する。

検討にあたり, 償還年数については, 地方債や国債の償還年数を参考に 15 年とした。また, 地震ハザードについては, 地震危険度の差異が地震リスクに与える影響を検討するため, 東京都庁, 大阪府庁, 福岡県庁の所在地における地震ハザード曲線を求めた。

地震環境ならびに距離減衰式については, 福島・矢代¹⁾のものを用いた。得られた地震ハザード曲線を図1に示す。

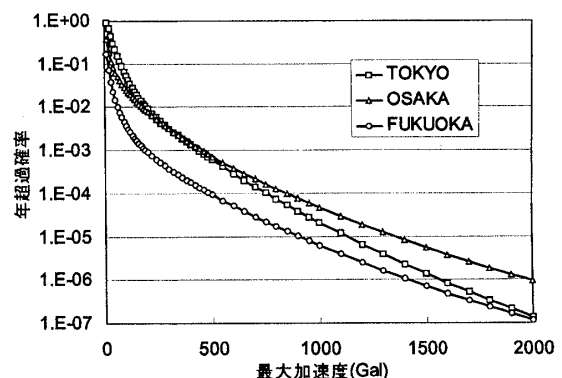


図1 モデル地点における地震ハザード曲線

Evaluation of the seismic risk in the funding method to promote urban policy

Part 2: Quantitative evaluation of the risk

Harumi YASHIRO*

Nobuo ARAI**

Sei'ichiro FUKUSHIMA***

また、建物の fragility についても同文献を参照し、表 1 に示す値を採用した。これらから得られる年超過確率 h_j を表 2 にまとめる。なお、図 1 の地震ハザードの定義位置は工学的基盤位置のものであるが、ここではこれを建物入力値と読み替えて表 2 の値を求めた。

表 1 建物の fragility

損傷レベル	中央加速度耐力 (Gal)
小破	200
中破	600
大破	1000
倒壊	1400

表 2 被害レベルと年超過確率の関係

損傷レベル	年超過確率		
	TOKYO	OSAKA	FUKUOKA
小破	9.21×10^{-3}	7.78×10^{-3}	9.18×10^{-4}
中破	2.91×10^{-4}	3.87×10^{-4}	5.05×10^{-5}
大破	2.10×10^{-5}	4.67×10^{-5}	6.18×10^{-6}
倒壊	2.29×10^{-6}	8.28×10^{-6}	1.07×10^{-6}

関数 $f(\cdot)$ については、倒壊時には返済額が 0 となること ($f(4) = 0$) を条件として、次式を用いた。

$$f(j) = \min \left[1, \frac{4-j}{4-a} \right] \quad (8)$$

ここで、 a は $f(\cdot)$ の形状を決定するための変数であり、 $f(\cdot)$ は図 2 に示す線上の値として求められる。

また、関数 $g(\cdot)$ については次式で定義した。

$$g[f(j)x] = b[x - f(j)x] \quad (9)$$

ここで、 b は自治体の補填の程度を表す変数であり、 $b=0$ ならば自治体はリスクを負わず、 $b=1$ ならば自治体が一般投資家のリスクを全て負うことになる。

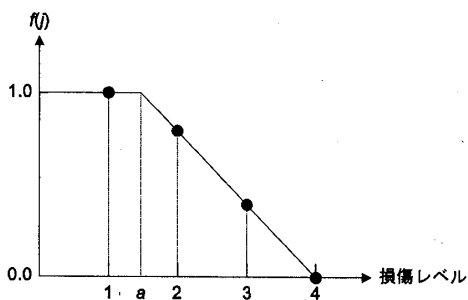


図 2 損傷レベルと償還緩和関数 $f(\cdot)$ の関係

これらの設定条件に加え、事業目的税の年額を 1.0 ($x=1.0$) として計算される、東京、大阪および福岡における一般投資家のリスク R_i を図 3 に示す。

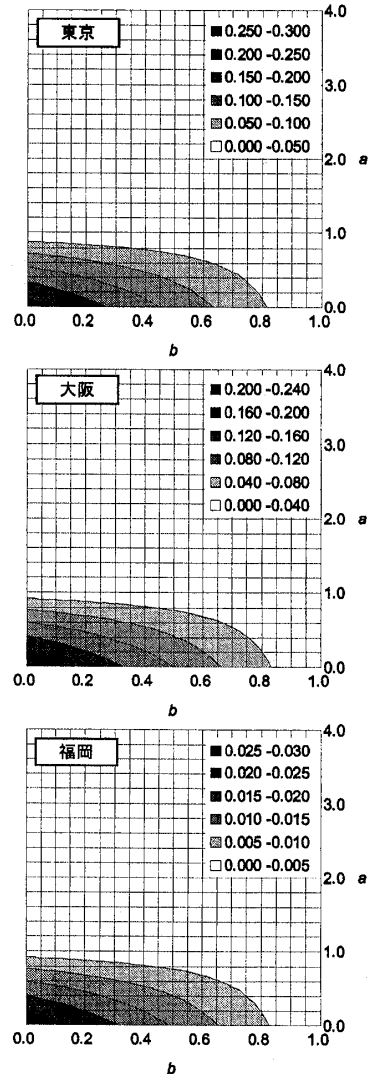


図 3 一般投資家の地震リスク (事業目的税の年額を 1.0 とした場合)

一般投資家のリスクが最大となるのは、小破レベルから住民は償還額の一部を免除され、かつ免除分がすべて投資家のリスクとなる場合である ($a=b=0$)。東京におけるその最大値は約 0.27 となり、償還総額が 15 であることを勘案すると、一般投資家のリスクは、本来得られるべきリターン約 1.8% 程度となる。

4. まとめ

事業実施個所、住民負担率、自治体負担率を変数として、提案したモデル事業の地震リスクを定量化した。

参考文献

福島誠一郎, 矢代晴実: 地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価, 日本建築学会計画系論文集, No.552, pp.169-176, 2002.8

*東京海上日動リスクコンサルティング(株)
 ** (財)日本気象協会
 ***東電設計(株)

* The Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.
 ** Japan Weather Association
 *** Tokyo Electric Power Service Co., Ltd.