

資本市場からの資金調達に基づく防災まちづくり事業のリスク評価 RESEARCH ON THE EVALUATION OF THE RISK FOR FUNDING METHODS BY ISSUE OF BOND TO PROMOTE URBAN POLICY

新井伸夫*, 矢代晴実**, 福島 誠一郎***

Nobuo ARAI, Harumi YASHIRO and Sei'ichiro FUKUSHIMA

The funding method by issue of bond founded on the benefits by a project had been proposed. In this paper, quantitative evaluation of the risk for the proposed funding method was discussed. Based on the evaluation method of the risk premium for large earthquakes proposed, a model project, which retrofitted the existing old wooden houses so that the fire extension could be avoided, was examined quantitatively. Since the risk premium of the model project was not seriously high, the economic liability of each citizens remained payable. Through examinations it was concluded that the funding method by issue of bond was realistic from the point of view of an investing public, municipalities that would promote urban policy and each citizens.

Keywords: Risk Management, Urban policy, Market principal, Funding method, Issue of bond,
リスクマネジメント, 都市政策, 市場原理, 資金調達手法, 証券の発行

1. まえがき

都市の地震による直接的な被害の軽減, 発災後の対応にかかる財政負担の軽減には, 建物の耐震性の向上が有効であることが指摘されている。さらに, 建物の倒壊は出火を誘発し, 倒壊建物が多数発生することは延焼拡大につながりやすいことから, 地域の被害軽減のためには, 単独建物の耐震補強に加え, 地域としての面的な耐震性向上も重要となる。

都市の面的な耐震性向上は, 公園などの公共空地や道路の整備などとも関連していることから, 公共事業としての整備が主となることは必然と考えられるが, 昨今の社会経済情勢を反映し, それら整備事業を推進するための財源の確保が困難になってきている。税収が減少しているために財源確保が困難となり, よって地域の耐震性の向上が遅々として進まないという事態が生じていることは, 東海地震のみならず東南海・南海地震等, 広域に甚大な被害をもたらす大地震発生の切迫性が指摘されつつある今, 深刻な社会問題として認識されるべきことと考える。

一方, 近年の金融工学の発達に伴い, 地震リスクマネジメントに要する原資を資本市場に求める動きが活発になってきている。資本市場は極めて巨大であり, ここに都市の耐震化事業の資金を求めることは, 都市の耐震化にかかる財源確保の問題を解決する一手法になると期

待される。

筆者らは, このような状況を勘案し, 耐震補強の財源を資本市場に求める事業モデルを提案した¹⁾。同モデルは, 債券を発行することにより事業資金を得た後, 耐震化事業により便益(被災リスクの軽減)を得る住民から事業目的税を徴収し, 一般投資家への償還資金を確保するものである。また, 老朽木造建物密集地域を有する仮定の都市に同モデルを適用し, 住民負担額の面から当該事業モデルによる耐震化事業実施の実現可能性を検討した。

ところで, 当該事業モデルは一般投資家に耐震化事業の財源を求めるものであるから, 事業が成立するかどうかは, 住民の負担が妥当な範囲にあるとともに, 発行される債券が一般投資家にとって魅力的な金融商品であることが必要となる。具体的に言えば, 一般投資家が, 彼らのポートフォリオの中で1つの投資対象としてこのモデルによる事業を捉えられるよう, 発行する債券をある程度のリスクとそれに見合うプレミアムを持つ商品とすることが必要ということである。また, 既往の検討において示したように, 波及効果の高い(広範な地域に被災リスクの軽減をもたらす)耐震化事業であるほど住民負担を小さくすることが可能となるが, さらに, 被害をもたらすような大地震が償還期間中に発生することによるリスク(被災により償還資金の支払能力を喪失してしまうにもかかわらず, 経費負担を継続しなければ

* 勸日本気象協会 理修

** 東京海上日動リスクコンサルティング(株) 博士(工学)

*** 東電設計(株) 博士(工学)

Japan Weather Association, M. Sci.

Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd., Dr. Eng.

Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., Dr. Eng.

ならないこと)を何らかの形で一般投資家に移転することができれば、住民にとって当該事業がさらに有意義なものになると考えられる。

つまり、当該事業モデルを実現可能とするには、住民、自治体、一般投資家のそれぞれの立場から、負担するリスクとそれに見合う便益を定量化し、事業モデルに参加する全員が合意できる商品設計を行う必要があるということである。

本研究では以上を鑑み、先に提案した事業モデルについて、償還完了までに当該地域に被害をもたらすような大地震が発生することによるリスクを定量化し、それに対応するリスクプレミアムと自治体、住民の負担の観点から、事業の実現性を検討する。

2. 提案した資金調達手法

2.1 事業モデルの概要

筆者らは、防災まちづくり事業実施による間接的な便益(被災リスクの軽減)を原資として債券を発行することで事業資金を資本市場から調達し、その償還は、便益を享受する住民から事業目的税を徴収することで行うという事業モデルを提案した。

図1に、提案した事業モデルのスキームを示す。この事業モデルにおいては、まず、自治体が、防災まちづくり事業を計画・立案し、その実現のため、SPV (Special Purpose Vehicle) を設立する。資金の流れは以下のようなものである。

- ① SPVは一般投資家に債券を発行して事業資金を得る
- ② 徴収した事業資金を防災まちづくり事業に充てる
- ③ 事業者は防災まちづくり事業を実施し、住民はその便益を享受する(便益は損失の軽減分として費用換算される)
- ④ 住民は、事業目的税のような形式で、便益に見合う経費負担分を自治体に支払う
- ⑤ SPVは、自治体を介して当該事業のために徴収した事業目的税をもとに一般投資家に元本(事業資金)と利息を支払う
- ⑥ 自治体は、必要な場合には、劣後債を購入することにより信用補完をする

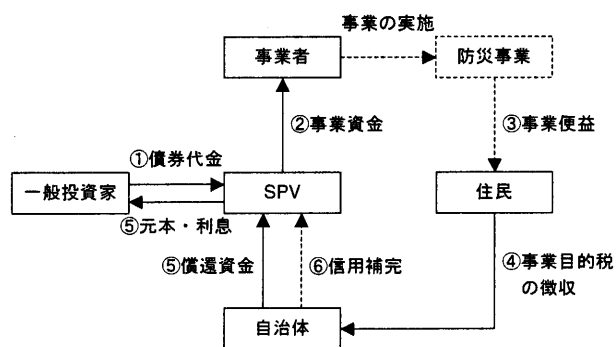


図1 提案した事業モデルのスキーム

2.2 事業モデルに内在するリスク

図1に示した事業モデルに内在するリスクは、事業の立ち上げにかかるリスクと、事業期間中に発生するリスクに大別できる。前者は、住民の理解が得られない、一般投資家から十分な資金が集まらないといったリスクであり、これは専ら、住民とのリスクコミュニケーションや債券の設計を行うなど、事業の計画立案の役割を担う自治体が行うものである。

後者の事業期間中に発生するリスクは、住民からの事業目的税の徴収が滞ることにより、自治体、SPV、一般投資家のいずれか、あるいはそのいくつかが相互に保有するリスクである。税の滞納が発生する要因としては、転居等の住民個々の事情によるものと、自然災害の発生等による支払い能力の喪失によるものが考えられる。

3. 地震リスクの定量化

3.1 検討対象とするリスク

本研究で検討対象とするリスクは、前述したリスクの内、事業期間中に発生するリスクとする。また、事業目的税の滞納原因については、住民個人の問題は事業全体に与える影響が小さいこと、自治体が保有する過去のデータに基づき適切なリスクプレミアムを設定できると思われることから、ここでは自然災害による支払い能力の喪失を検討対象とする。

3.2 債券の設定

提案した事業モデルにおいて、償還期間中に当該地域に被害を生じさせるような地震が発生した場合、当該地域住民の支払能力の低下、喪失が生じることが想定される。そこで、そのような地震が発生した場合、住民は、当該事業のために設定された事業目的税の支払を一部免除されることとする。このことは、償還に充てる資金が減少してしまうことにつながり、結果として、一般投資家が所定の元本・利息を得られないことになる。これは、債券を購入する一般投資家に地震発生によるリスク(以下、「地震リスク」と呼ぶ)の一部を移転することである。

ただし、そのような設定としたために過度なリスクプレミアムが必要となり、それが住民の負担増につながることで、事業そのものが成立し難くなってしまっても考えられる。このことを防ぐため、住民の支払い能力の喪失の一部を自治体が負担する、具体的には、地震発生により免除された事業目的税(償還資金)の一部を、当該自治体が補填する仕組みを導入することとする。

この2つの仕組みの導入により、債券の地震リスクは、投資家と自治体が分けて持つことになる。

3.3 地震リスク評価の枠組み

(1) 地震リスクの考え方

償還期間中に被害をもたらすような地震が発生したとき所定の元本・利息が得られないことを一般投資家の地震リスクと考え、その地震リスクの事業期間中の期待値を評価する。ここでは、リスクプレミアムは考えずに、被災住民の償還緩和、自治体の償還負担といった諸条件が一般投資家の受取額に与える影響を定量化する。定量化においては、以下の仮定を置いた。

- ① 被害を発生させるような地震の発生回数は、償還期間中(防災事業完了から返済完了まで)2回以上になることはない
- ② 地震発生年以降の事業目的税には、被害の程度に応じた緩和係数を乗じる
- ③ 税収不足分の一部を自治体が補填する

以上の仕組みを模式的に示したものが図2である。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。なお、 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。

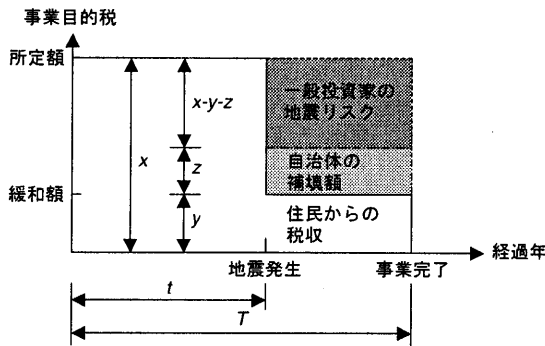


図2 一般投資家と自治体の地震リスク

(2) 地震リスクの定量化

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 は損傷レベルが 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、図2に示したように次式で与えられる。

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

よって、その総額 $l(j,t)$ は、次式で表される。

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

$p(j,t)$ 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。

$$r(j) = \frac{(x - f(j)x - g[f(j)x])(h_j - h_{j+1})[h_1(T+1) + (1 - h_1)^{T+1} - 1]}{h_1^2} \quad (5)$$

さらに、次式に示すように、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。

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

3.4 諸変数が地震リスクに与える影響

(1) 諸条件の設定

(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、図1に示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^{[註1])}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^{[註2])}ならびに距離減衰式については、福島・矢代²⁾のものを用いた。得られた地震ハザード曲線を図3に示す。また、建物のフラジリティ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。

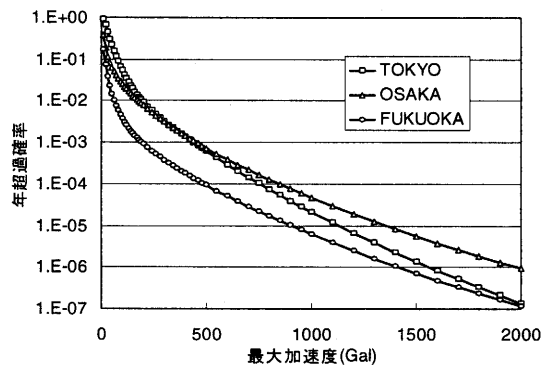


図3 モデル地点における地震ハザード曲線

表1 建物のフラジリティ

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 4 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。

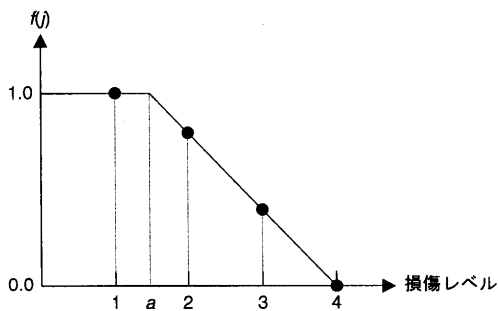


図 4 損傷レベルと償還緩和関数 $f(\cdot)$ の関係

(2) リスク評価結果

図 5 に、被害をもたらすような地震が発生した年以降の一般投資家が失う利益の年額 (2) 式の値) を、損傷レベル毎に示す。なお、損失額を見積もるにあたっては、事業目的税の年額を 1 ($x=1$) とした。

図からは、住民に対する事業目的税の支払免除が損傷レベルの低い段階から適用されるほど、また自治体の補填割合が少ないほど一般投資家の損失利益は大きくなり、損傷レベル 4 (倒壊) にあたる事象が発生した場合には、事業目的税額に相当する損失を一般投資家と自治体の 2 者が負うこととなるのが分かる。

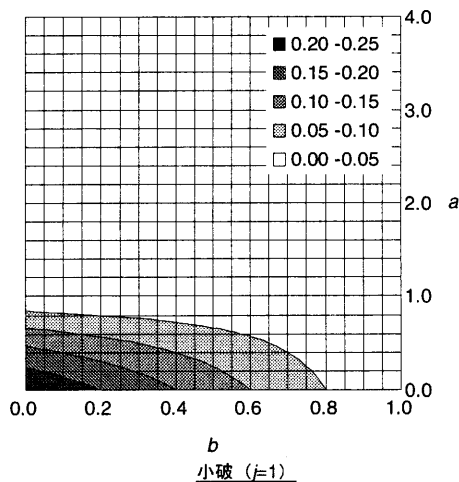


図 5(1) 損傷レベルと一般投資家の損失年額の関係 (事業目的税の年額を 1 とした場合)

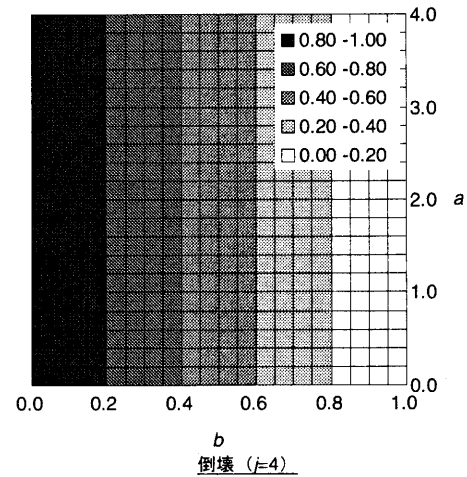
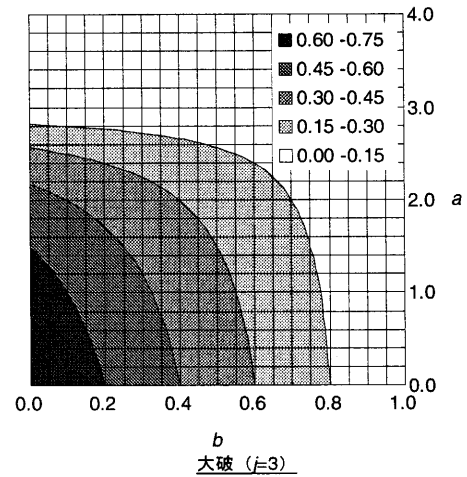
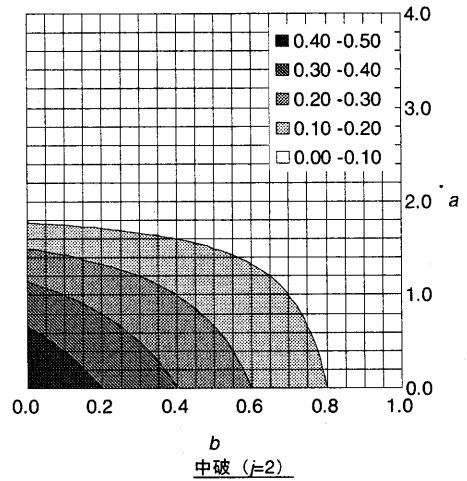


図 5(2) 損傷レベルと一般投資家の損失年額の関係 (事業目的税の年額を 1 とした場合)

東京、大阪、福岡における一般投資家のリスク R_1 を図 6 に、自治体のリスク R_2 を図 7 にそれぞれ示す。

一般投資家のリスク R_1 と自治体のリスク R_2 は、その定義により、 $b=0.5$ を境として鏡像関係にある。また、一般投資家のリスクは、いずれも図 5 の $j=1$ (小破) の場合の損失額とよく似た形状をしており、これは、倒壊をもたらすような大地震の発生間隔が償還年数に比して十分ながいため、その発生確率はほとんどリスクに影響を与えず、ここで検討しているリスクに主として寄与するのは、小破レベルの損傷の発生確率であることを示している。

変数 a , b により一般投資家のリスクは変化するが、より a の設定に敏感であり、住民がどのレベルから事業目的税の支払を免除されるのかを定めることが、より重要であることがわかる。また、1.0 以上の a に対しては、リスクが極めて小さくなる。これは前述のように小破レベルの損傷にリスクが支配されるからである。

3 地域の結果を比較すると、被害をもたらすような地震の発生確率が低い福岡において、一般投資家のリスクが極めて小さくなっており、言い換えれば、福岡地域にてこの事業モデルを適用した場合、一般投

資家のリスクはほとんど存在しないことがわかる。一般投資家のリスクが最大となるのは、小破レベルの被害が発生するような地震が起きたときから住民は償還額の一部を免除され、かつその免除分を自治体は補填せず、免除分がすべて投資家のリスクとなる場合である ($a=b=0$)。その最大値は、東京で約 0.27、大阪で約 0.24、福岡で約 0.03 となり、償還総額が 15 (年額 1, 償還年数 15 年) であることを勘案すると、最もリスクの大きい東京において、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。

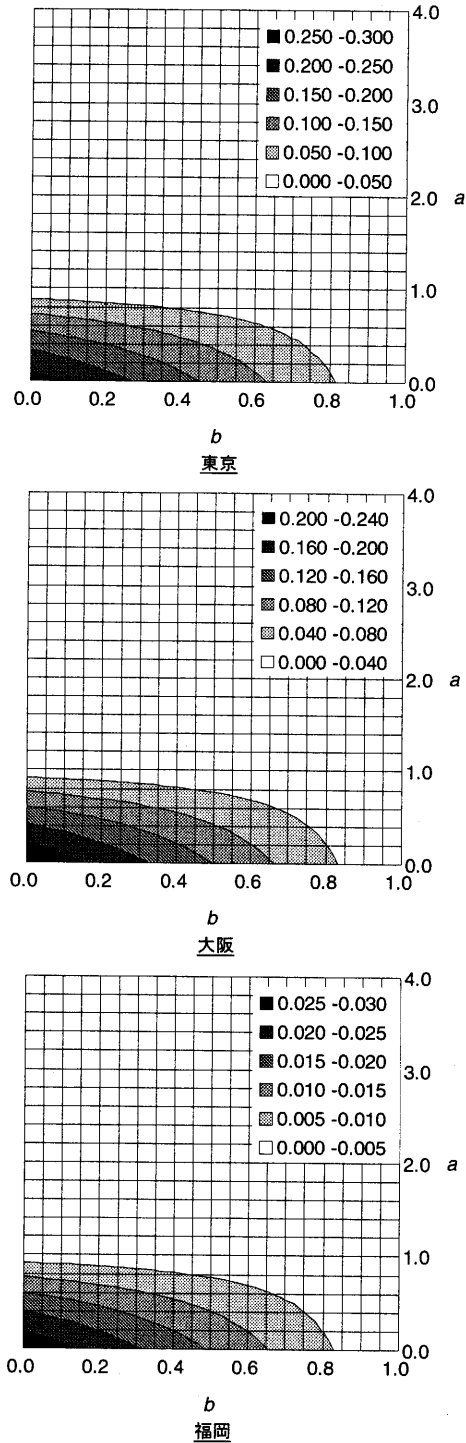


図 6 一般投資家の地震リスク
(事業目的税の年額を 1 とした場合)

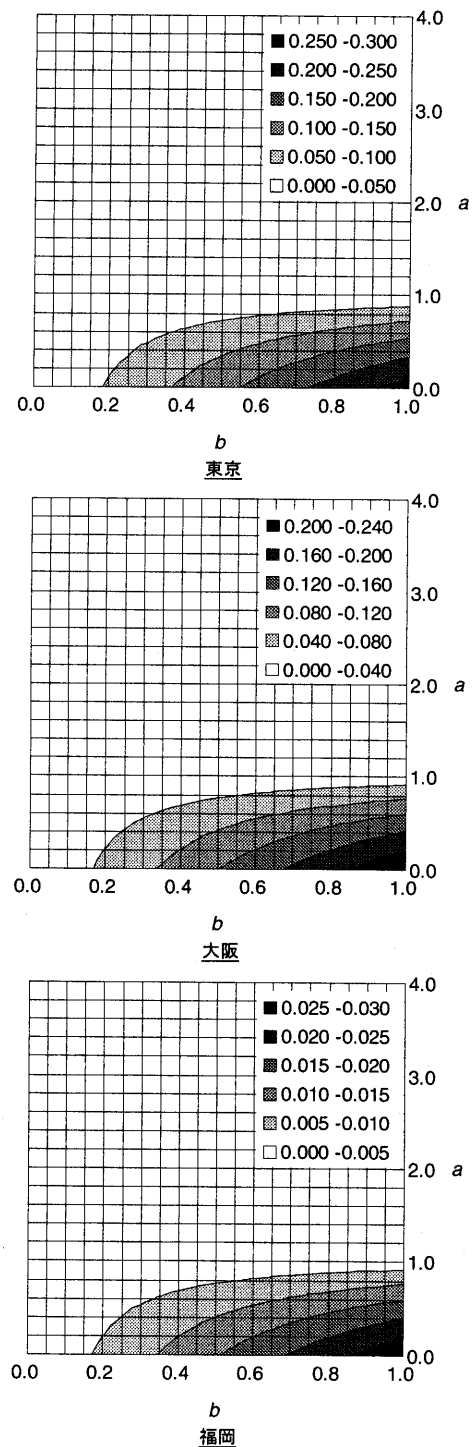


図 7 自治体の地震リスク
(事業目的税の年額を 1 とした場合)

4. 事業モデルの実現性評価

4.1 リスクプレミアムの定義

地震リスクの評価において設定した地震環境には不確実な要素も存在し、また適用した距離減衰式等にもばらつきが存在する。そこで、それらの不確実さを考慮し、評価された地震リスクの α 倍に相当する額を、リスクに見合った利息として償還額に上乗せすることとし、それをリスクプレミアムと設定する。

なお、リスクには、一般投資家が担うリスクと自治体が担うリスクが存在するが、自治体は、住民の負担を軽減するために自らのリスクに対する補償は求めないこととする。つまり、自治体のリスクは、リスクプレミアムには考慮しない。

したがって、防災事業費用の償還に上乗せすべき利息(リスクプレミアム) I_R は、償還年数を T 、長期金利を β とすると、

$$I_R = \alpha \cdot R_1 (1 + \beta)^T \quad (10)$$

となる。

4.2 リスクプレミアムの評価

一般投資家のリスク R_1 に対応するリスクプレミアム I_R が、設定した償還年数で付与されるようにするには、リスクプレミアムに相当する年間の利率を γ とすると次式が成立すれば良い。

$$C_B (1 + \beta)^T + I_R = C_B (1 + \beta + \gamma)^T \quad (11)$$

ここで、 C_B は防災事業の総事業費であり、(11)式に(10)式を代入すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \alpha \cdot R_1 (1 + \beta)^T &= C_B [(1 + \beta + \gamma)^T - (1 + \beta)^T] \\ &\approx C_B (1 + \beta T + \gamma T - 1 - \beta T) \\ &= C_B \cdot \gamma T \end{aligned} \quad (12)$$

これより

$$\gamma \approx \frac{\alpha \cdot R_1 (1 + \beta)^T}{T \cdot C_B} \quad (13)$$

が得られる。

(13)式により、リスクプレミアムに相当する年間の利率 γ は、一般投資家の地震リスク R_1 と比例関係にあることがわかる。一般投資家のリスク R_1 は、(6)式及び(9)式に示したように事業目的税の年総額 x と線形の関係にある。また、 x は次式に示すように防災事業の総事業費 C_B と比例関係にある。

$$x = \frac{C_B (1 + \beta)^T}{T} \quad (14)$$

したがって、 R_1 は C_B と比例関係にあることになり、(13)式では分子と分母で C_B が相殺され、結局 γ は、防災事業対象地域の地震環境、被害を生じさせるような地震が発生したときの住民の事業目的税免除の割合、自治体の補填割合により変動することになる。

この(13)式を用いて図6に示した一般投資家のリスクをリスクプレミアムに相当する年間の利率に換算した。なお、図6の一般投資家の地震リスクは、事業目的税の年額を1($x=1$)、償還年数を15(年)として評価したものと述べたが、新井・他¹⁾の検討にて用いた長期金利2%($\beta=0.02$)を用いれば、総事業費 C_B を11.145と仮定したこ

とになる。また、換算にあたっては、 α の値を設定する必要があるが、現在、金融市場においては一般的に5倍程度の値が採用されていることから、ここでは、 $\alpha=5$ と設定した。

図8に東京におけるリスクプレミアムに相当する年間の利率を示す。

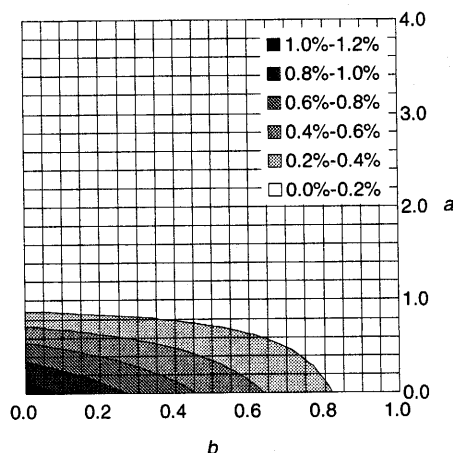


図8 リスクプレミアムに相当する年間の利率

先に、東京地区での一般投資家のリスクの最大値は約0.27であるとして述べたが、このリスク量に対応する γ は、1.102%となる。つまり、最も一般投資家のリスクを大きく見積もったケースにおいても、事業目的税の設定において、年率換算で1.2%程度のプレミアムを考慮すればよいということになる。

4.3 一般投資家、自治体及び住民から見た事業モデルの実現性

筆者らは、図9に示すようなモデル都市における老朽木造密集地域の耐震事業を対象に、図1に示した事業スキームを提案し、住民負担の観点から当該事業モデルによる耐震化事業実施の実現可能性を検討した¹⁾。

住民負担額の算定にあたって、2%の長期プライムレートに、5%のリスクプレミアムを上乗せして7%という利率を設定したとしても、事業目的税は、住民にとって負担可能な範囲にあることを示した。

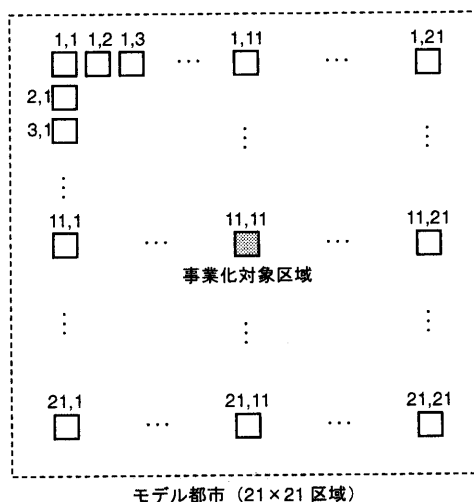


図9 試算に際して設定した都市と区域

この点からすると、4.2 で得られたリスクプレミアムは、住民の側から見て十分に負担可能な範囲にあると判断される。

また、リスクプレミアムに相当する年利を5%としても負担可能であると仮定すれば、リスクプレミアム α を20程度に設定しても事業は成立する。これは、ここで検討した地震リスク以外のリスクをも十分に織り込む余地を有していること、資本市場からの資金調達をより確実にするために(一般投資家にとってより魅力的な債券とするために)ある程度の利息の上乗せを行ったとしても事業は成立することを示している。

リスクプレミアムが住民負担の範囲にあることから、自治体が住民の償還免除に対する補填をしなくとも事業が十分成立すると考えられる。

5. まとめ

本研究では、既往の研究において提案した事業モデルについて、償還完了までに当該地域に被害をもたらすような地震が発生することによるリスクを対象とし、当該リスクの定量化方法を提案するとともに、リスク負担と債券発行におけるリスクプレミアムの観点から、事業の実現性を検討した。また、検討を通して以下の知見を得た。

- ① 建物の小破が与える損失が、地震リスクに対して最も大きな寄与を示す。
- ② 地震発生に伴い住民がどの被害レベルから事業目的税の支払を免除されるのかを定めることが、地震リスク定量化において重要である。
- ③ 純粋リスクの5倍のリスクに対応するリスクプレミアムを一般投資家が受け取ると仮定した場合でも、年間利率の上乗せは最大で1.2%程度であり、十分実現可能な値である。
- ④ 既往研究を基に5%の年間利率の上乗せを可能とするなら、他のリスクを織り込んでプレミアムを設定すること、一般投資家にとって魅力的な商品とするために利息を上乗せすること、が可能になる。

本検討により、資本市場から防災事業の資金を調達し、その償還を、防災事業により便益を得る住民が事業目的税を支払うことにより行うという事業モデルの実現可能性が、明らかになったと考えている。

今後、事業モデルの実現に向けて、さらに具体的な検討を行っていく予定である。

注記

[1] 提案した事業モデルにおける償還年数と利率の関係

事業モデルが成り立つためには、適正な利息がSPVから一般投資家に支払われること、事業便益に見合った税が住民から自治体を介してSPVに支払われることを確保する必要がある。

債券を発行して事業費用 C_b を事前調達し、それを償還年数 T 年、利率 β で返済することを考える。返済は、事業効果を受受する地域の n 世帯が、それぞれが享受する便益に見合った負担を毎年 T 年間にわたって払うことによると想定する。それぞれの世帯の負担は毎年均しいとし、その毎年の負担額の世帯当りの平均を x_1 とすると、

$$C_b \times (1 + \beta)^T = T \times n \times x_1 \quad (A.1)$$

となり、次式が得られる。

$$x_1 = C_b \frac{(1 + \beta)^T}{T \times n} = \frac{C_b}{n} \frac{(1 + \beta)^T}{T} \quad (A.2)$$

(A.2)式は下に凸の曲線であり、 T について微分すると、

$$\frac{dx_1}{dT} = \frac{C_b}{n} \frac{(1 + \beta)^T (\ln(1 + \beta) T - 1)^T}{T^2} \quad (A.3)$$

が得られる。

よって、 $\ln(1 + \beta)^T - 1 = 0$ となる場合に、年間の返済額が最小になる。また、 $\ln(1 + \beta)^T - 1 > 0$ となる場合は、償還年数がより短く年間返済額がより低額となる T と β の組合せがあることを意味する。すなわち、 $\ln(1 + \beta)^T - 1 > 0$ となる T と β の組合せを選択することは合理的ではない。

[2] 評価に用いた地震活動モデル

地震環境については大地震発生活動域と背景的(中小)地震発生活動域に大別して設定している。活動域モデルの例を図A.1~図A.4に示す。

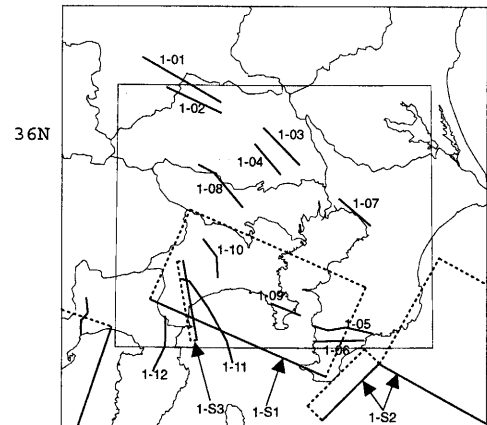
図A.1~図A.3には、東京、大阪および福岡付近の大地震発生活動域を示しており、プレートに沿った地震の活動域(歴史地震)と活断層に対応している。大地震の発生に関しては固有地震モデルを採用した。一方、図A.4は背景的地震発生活動域の内、内陸の地殻内で発生する地震の活動域を示している。背景的地震に関しては、Gutenberg-Richter式により地震発生をモデル化した。なお、この地殻内の活動域については、 b 値は一律に0.9と設定した。図A.1~図A.4にある地震活動域の諸元を表A.1に示す。

中小地震の発生頻度に関連する A 値は、東京周辺が最も大きく、次いで大阪、福岡の順となっている。また、低頻度大規模地震に関与する大地震発生活動域を比較すると、大阪周辺に活動域が多く、次いで東京、福岡となっている。これは、図3に示した地震ハザードカーブの特徴である、

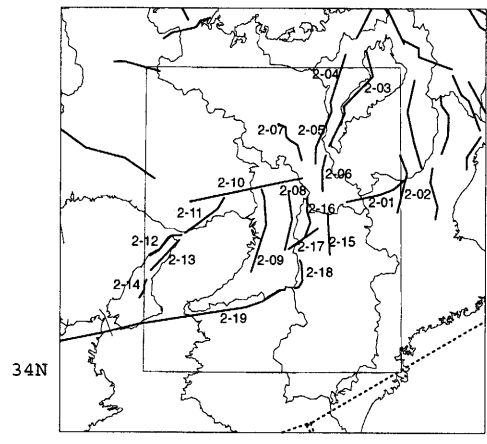
①最大加速度の小さい領域では東京の年超過確率が最も大きい、最大加速度が大きくなると大阪における年超過確率の方が大きくなること

②福岡における最大加速度の年超過確率は、東京、大阪に比して有意に小さいこと

と調和的である。



140E
図A.1 東京都周辺の大地震発生活動域



136E
図A.2 大阪府周辺の大地震発生活動域

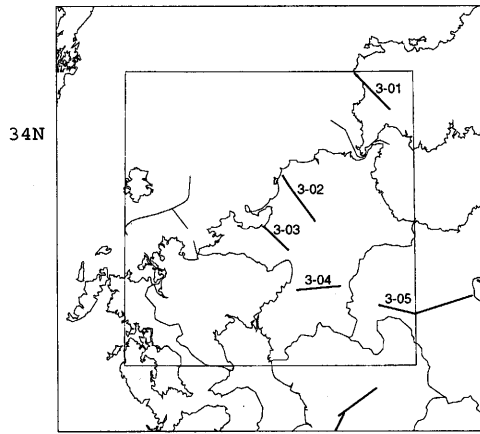


図 A.3 福岡県周辺の大地震発生活動域

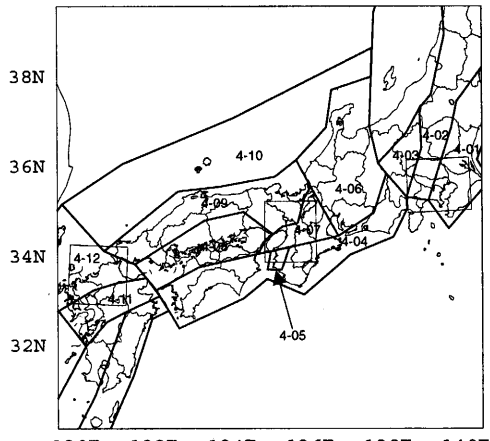


図 A.4 中小地震発生活動域

表 A.1 地震活動域の諸元

活動域番号	Mの範囲	再現期間(年)	活動域番号	Mの範囲	再現期間(年)
1-01	7.0-7.6	1182	1-09	6.6-7.0	1365
1-02	6.9-7.3	5212	1-10	6.9-7.3	7239
1-03	7.0-7.4	79283	1-11	7.5-7.9	1625
1-04	6.8-7.2	5931	1-12	7.1-7.5	877
1-05	7.1-7.5	2842	1-S1	7.8-8.2	200
1-06	7.0-7.4	2639	1-S2	7.8-8.2	1000
1-07	6.8-7.2	5676	1-S3	6.8-7.2	73
1-08	7.1-7.5	8710			
2-01	7.1-7.5	8682	2-11	7.0-7.4	2471
2-02	7.1-7.5	9028	2-12	6.8-7.2	1879
2-03	7.5-7.9	4740	2-13	6.8-7.2	1799
2-04	7.1-7.5	9119	2-14	7.1-7.5	2717
2-05	7.0-7.4	7415	2-15	6.8-7.2	5676
2-06	6.7-7.1	4838	2-16	6.8-7.2	5703
2-07	6.9-7.3	6488	2-17	6.7-7.1	4971
2-08	7.1-7.5	9306	2-18	6.7-7.1	5453
2-09	7.0-7.5	1117	2-19	7.8-8.3	1825
2-10	7.4-7.8	3489			
3-01	7.0-7.4	8180	3-04	6.9-7.3	7108
3-02	7.0-7.4	7362	3-05	7.0-7.6	1101
3-03	6.7-7.1	16839			

活動域番号	Mの範囲	A値	活動域番号	Mの範囲	A値
4-01	5.0-7.0	2,344	4-07	5.0-7.0	3,601
4-02	5.0-7.0	4,235	4-08	5.0-7.0	2,344
4-03	5.0-7.0	1,645	4-09	5.0-7.0	4,469
4-04	5.0-7.0	2,344	4-10	5.0-7.0	3,390
4-05	5.0-6.5	3,645	4-11	5.0-7.0	4,293
4-06	5.0-7.5	4,509	4-12	5.0-7.0	3,390

参考文献

- 1) 新井伸夫, 矢代晴実, 福島誠一郎: 防災まちづくり事業推進のための市場原理に則った資金調達手法に関する基礎的検討, 日本建築学会環境系論文集, No.584, pp.91-98, 2004.10
- 2) 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

(2004年10月8日原稿受理, 2004年12月3日採用決定)