

### 3.1.4.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成18年度業務目的

##### (2) 平成18年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
  - 1) 研究の背景
  - 2) ベーシスリスクに着目したトリガーの設定
  - 3) モデルポートフォリオによるトリガー設定
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京海上日動リスクコンサルティング株式会社 開発グループ	グループリーダー 主任研究員	矢代晴実 林 孝幸	

### (c) 業務の目的

都市の防災能力を高める事は、安全で安心な生活を実現する上で必要不可欠な事項である。そのためには、行政だけでなく、企業・個人の防災意識を高め自発的な防災活動への取り組みを行うような社会システムの構築が重要である。

地震防災で大きな問題として木造密集地域における既存不適格建物の存在がある。この既存不適格建物として1981年の耐震基準以前の建物と考えると、日本の建物の半数以上、木造建築では70%以上と言われている。これらの建物の耐震改修を進めないと将来の地震発生時に多くの人的・経済的被害が出ることは明らかである。それにもかかわらず、耐震改修・耐震補強や地震保険加入が大きく広がらない現状がある。

本研究では、現状の地震保険と耐震改修・耐震補強を推進する社会システムを実現するために、日本における耐震補強による地震保険割引制度の実態、米国における地震保険の耐震補強における割引制度の実態調査を実施した。そして、洪水リスクに関して米国では、自治体による土地利用制限や住宅ローンの融資条件と洪水保険を関連付ける仕組みを構築している例がある。ここで、このシステムの実態に関する調査を行い、耐震診断・耐震補強の実施、地震保険の加入へのインセンティブの働く社会システムに関して研究を行ってきた。

昨年までの研究において、保険等のリスクファイナンス手法を活用して、耐震改修・耐震補強をといったリスクコントロールにインセンティブを与えようとする社会システムを構築するとためには、リスクファイナンスとリスクコントロールの融合を如何に考えるかが必要であることがわかった。

そこで、本研究ではリスクファイナンスの有効性に着目し、その普及の障害となっていると考えられる事項に関して研究を行う。

### (d) 5カ年の年次実施計画

#### 1) 平成14年度：

日本の地震保険における耐震補強による保険料率割引に関する調査を行なった。  
その結果、耐震補強法の内容、検定等のスキームに関して明らかにした。

2) 平成15年度：

米国・カリフォルニアにおける地震保険における耐震補強による保険料率割引に関する調査を行なった。その結果、耐震補強法の内容、検定等のスキーム、補強を実現するための融資制度に関して明らかにした。そして、日米の地震保険による料率割引制度の差異を明らかにした。

3) 平成16年度：

防災対策の推進を保険という手法をインセンティブとして利用している、米国の洪水保険の調査を行い、自治体を巻き込んだ防災対策推進の取組に関する研究を行った。そして日本での地震保険と自治体の対応を組合せた、防災対策の推進に関して考察を行った。その結果からリスクコントロールとリスクファイナンスの相互協力関係の重要性に関して考察を行った。

4) 平成17年度：

以前の研究により、住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険のあり方に関して、自然災害リスクマネジメントという視点からリスクコントロールとリスクファイナンス相互協力関係を深める必要があることがわかった。このことから、リスクコントロールとリスクファイナンスの分担割合に関する研究を行った。

5) 平成18年度：

リスクファイナンスの有効性に着目し、その普及の障害となっていると考えられるベースリスクの着目し、ベースリスクを最小化できる損失に基づくトリガーとパラメトリックトリガーの両者の特徴を有するリスクファイナンス手法を構築する研究を行う。

(e) 平成18年度業務目的

リスクファイナンスにおいても従来の保険といった限られた手法だけでなく、金融・資本市場を利用したものでは地震デリバティブ、地震リスクの証券化、融資枠契約を活用したものは、コミットメントライン、コンティンジェントデット等の各種の手法が現れてきている。それらの手法とリスクコントロールを有効的に結びつけることにより耐震力を向上させる社会システムが構築可能になるであろうと考え、リスクファイナンスとリスクコントロールの組み合わせの最適化に関して研究を行った。

リスクファイナンスでは、支払い基準として、地震の発生位置と地震規模等の客観的な値（以下、パラメトリックトリガー）を用いており、補填額の評価に透明性と迅速性を与えている。一方、パラメトリックトリガーを用いるリスクファイナンス手法には、実際の損失と補填額との乖離によるリスク（以下、ベースリスク）が存在する。

ベースリスクによる不利益を、不十分な補填に伴うリスクと、過度な補填に伴うリスク対策コストに大別し、これらが互いにトレードオフの関係にあると考えられる。また、そのために地震保険に比べてリスクヘッジに要する費用が割高であり、普及の阻害要因となっている。

そこで、本研究ではリスクマネジメント主体にとっての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に関する研究を行う。具体的には、細分化されたグリッド毎に地震規模とヘッジ対象損失への寄与率の関係を陽の形で表した上でトリガー設定を行う合理的な設計手法を構築し、単一長方形グリッドおよび元本没収関数による従来型のトリガー設定との比較検討により、提案手法がベースリスクの低減に有効であることを確認する。

## (2) 平成18年度の成果

### (a) 業務の要約

リスクマネジメント主体にとっての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を提案する。具体的には、細分化されたグリッド毎に地震規模とヘッジ対象損失への寄与率の関係を陽の形で表した上でトリガー設定を行う合理的な設計手法を提案した。

ここで提案した手法は、地震リスクデリバティブの設計上重要な問題として考えられてきたベースリスクを系統的な手順を用いて低減するものである。リスクマネジメント主体は本手法により、適切に地震リスクデリバティブを設計できる。

### (b) 業務の成果

#### 1) 研究の背景

代表的な巨大自然災害リスク（Catastrophic Risk）である地震リスクの減災対策としては、耐震設計法や耐震補強等のハード的な減災対策（リスクマネジメントの分野ではリスクコントロールと呼ばれる）だけでなく、リスクファイナンスを利用したリスク処理の重要性が広く認識されている。しかし、リスクファイナンスの代表手段である地震保険については、保険・再保険市場全体での保険引受能力（キャパシティ）の収縮や日本の地震リスクに関する引受条件の厳格化等の諸条件に伴い、そのリスク移転機能が十分に活用されていない状況といえる。特に、企業分野の地震保険についてはその傾向が強く、企業が合理的な地震リスクマネジメントを構築する際の支障となっている。このような背景から、近年、代替的リスク移転（以下、ART：Alternative Risk Transfer）と呼ばれる保険以外のリスクヘッジ手法が注目されている<sup>1)</sup>。

ARTの代表格として挙げられるのが、異常災害債券（Catastrophic bond）である。異常災害債券は、保険金支払基準が従来の保険と異なり、地震のマグニチュード等、客観性の高い指標に基づく支払トリガーを設定することが通常である。また、リスクの移転先は従来の保険と異なり、債券を購入した投資家となる。異常災害債券は、支払金額および決済手続きが単純かつ迅速であるため罹災後の資金繰り対策等にも有効であることや、キャパシティの大きい資本市場からリスクキャピタルを確保出来ること等、従来の保険にないメリットを持つ。なお本研究では、異常災害債券を代表としたオプション取引を含む金融商品を地震リスクデリバティブと総称する。

地震リスクマネジメントの主体にとっては、地震リスクデリバティブの利用により、地震保険や自家保有等のリスク処理手法と組み合わせながら、より柔軟な地震リスク処理ス

キームの構築が可能になると考えられるが、一方で、流動性リスク、ベシスリスク、信用リスク等、保険商品には無いリスクを関係者は負うことになる。

保険契約や異常災害債券は一種のオプション契約であり、その際のベシスリスクは、支払トリガーが発生した場合の実際の損害額（リスクマネジメント主体が補填したいと考える額）と補填される金額の差と捉える事ができる<sup>1)</sup>。すなわち、リスクマネジメントの主体は、補填が不十分になる、あるいは、補填が過剰となりその結果リスクファイナンスに要する費用（以下、リスクコスト）が増大する、といったベシスリスクに起因する不利益を潜在的に有しているといえる。そのため、ベシスリスクに関しては、地震リスクデリバティブの商品設計上重要な問題として考える必要がある。

本研究では、上述のような状況に鑑み、リスクマネジメント主体にとってのベシ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を提案する。具体的には、細分化されたグリッド毎に地震規模とヘッジ対象損失への寄与率の関係を陽の形で表した上でトリガー設定を行う合理的な設計手法を提案した。

## 2) ベシスリスクに着目したトリガーの設定

### a) ベシスリスクの定義

ベシスリスクとは、リスク移転における補填額と実際の損失との差を意味する。ただし、現実のリスクマネジメントにおいては、高頻度低額の損失について補填を行うことはなく、一方、極めて低頻度かつ巨額の損失に対して全額を補填することも合理的ではない。地震保険では、前者については免責額により、後者については引受限度額により、現実的な範囲内で補填額を規定している。

本研究では、このような現実的な補填についてベシスリスクを考えると、「計画された補填額と実際の補填額との差」と捉える。従って、地震保険のように損失に応じて補填額が決定される方法（以下、損失トリガー）ではベシスリスクは発生せず、異常災害債券のように損失以外の指標により補填額が決定される方法（以下、パラメトリックトリガー）にベシスリスクが発生することになる。また、損失トリガーが規定する補填額を上記の「計画された補填額」と位置づける。

損失トリガーによる補填額を  $c_l$ 、パラメトリックトリガーによる補填額を  $c_p$  とすると、その大小関係により、以下に示す 2 種類のベシスリスク  $br_1$  と  $br_2$  が発生する。

$$br_1 = c_l - c_p, \quad \text{if } c_l > c_p \text{ (1a)}$$

$$br_2 = c_p - c_l, \quad \text{if } c_l < c_p \text{ (1b)}$$

$br_1$  は  $c_l$  よりも  $c_p$  が小さいことによるリスク、すなわち不十分な補填と捉えられるベシスリスクである。一方、 $br_2$  は過剰な補填が行われるリスクであり、これはリスクファイナンスに要する費用の増大につながるベシスリスクである。

### b) トリガー設定方法

#### i) 提案方法の概念

従来の地震リスクデリバティブでは、単純なグリッドと元本没収率を用いてトリガーを設定しているが<sup>2)</sup>、このようなトリガー設定は、ポートフォリオを構成する建物の配置や地震環境の空間的な差異の影響を適切に反映することができない。また、その結果として

$br_1$  と  $br_2$  が発生する。

そこで本研究では、複数のグリッドと、グリッド別に設定した元本没収関数を用いたトリガーを採用する。トリガー諸元の設定では、補填の対象とすべき地震の発生位置と規模、補填の対象としない地震の発生位置と規模を求め、それに応じてグリッドと元本没収関数を得る。

### ii) トリガー設定の手順

トリガー設定の手順を図 1 に示す。本手法では対象とする損失に対して、2 段階のスクリーニングにより、当該損失に寄与するグリッドと地震規模を設定する。さらに、スクリーニングを複数の損失について実施することで、グリッド毎に損失と地震規模の関係を求め、元本没収関数の設定に資する。

図 2 は、損失に寄与するグリッドと地震規模から元本没収関数を設定する手順を示したものである。グリッド毎に、地震規模と損失の関係が求められ、元本没収関数が設定される。

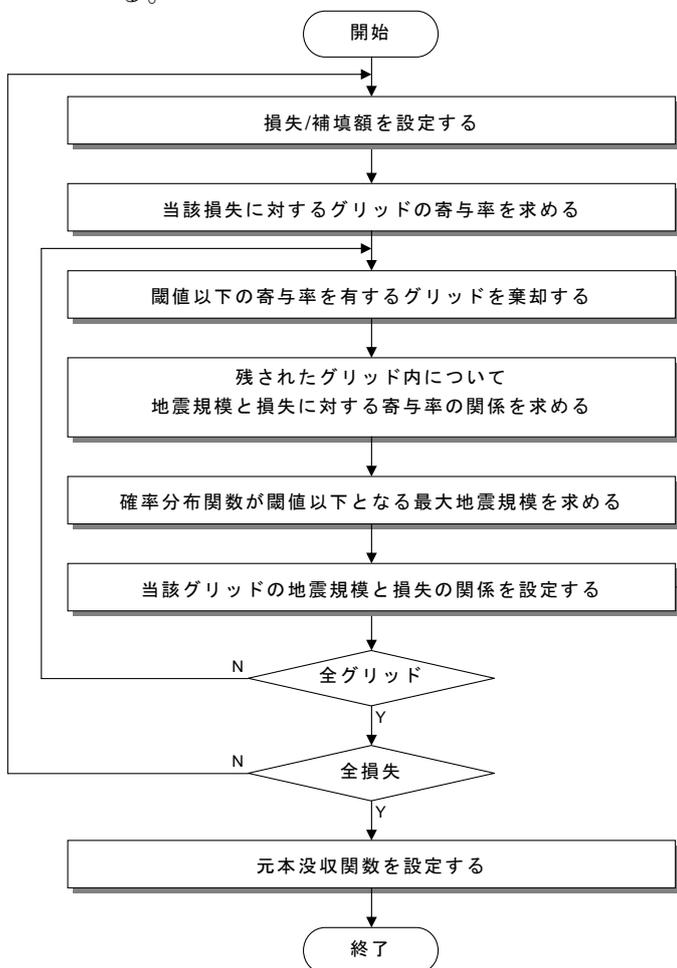


図 1 トリガーの設定手順

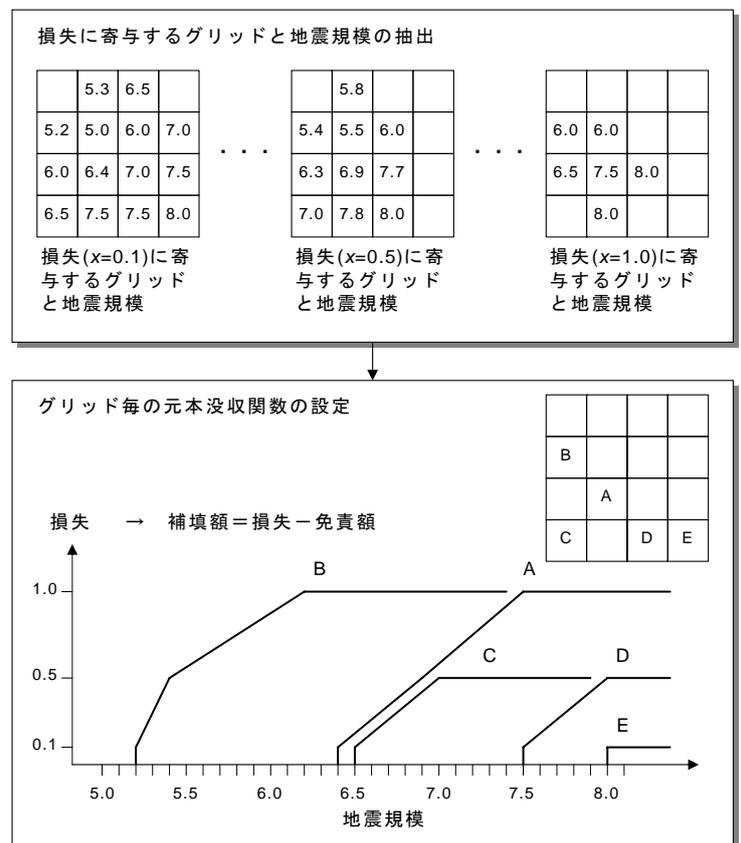


図 2 元本没収関数の設定手順

### iii) 補填の対象とするグリッドと地震規模の抽出

グリッドの抽出においては、損失  $x_c$  に対するグリッド  $j$  の寄与率  $\alpha_j(x_c)$  を次式で算出し、所与の閾値以下の寄与率を持つグリッドを棄却する。

$$\alpha_j(x_c) = \sum_{i \in S_j} v_{ij} / \sum_{j=1}^n \sum_{i \in S_j} v_{ij} \quad (2)$$

ここに、 $v_{ij}$  はグリッド  $j$  内で発生するイベント  $i$  の年発生頻度、 $n$  はグリッド数である。なお、イベントの発生手順は、福島・矢代<sup>3)</sup>による。 $v_{ij}$  は次式で評価する。

$$v_{ij} = v_i \times p_{ij} \quad (3)$$

ここに、 $p_{ij}$  は断層面が当該グリッドに含まれる割合（面積比）である。また、集合  $S_j$  は次式により定義する。

$$S_j = \{i | x_{ij} \geq x_c\} \quad (4)$$

ここに、 $x_{ij}$  はグリッド  $j$  内で発生するイベント  $i$  による損失である。

一方、補填の対象とする地震規模  $m_j$  については、次式で与える寄与率  $\beta_{m_j}(x_c)$  が所与の閾値以下となるようなマグニチュードの最大値として設定する。

$$\beta_{m_j}(x_c) = \int_0^{m_j} f_{m_j, x_c}(m) dm \quad (5)$$

ここに、 $f_{m_j, x_c}(m)$  は、グリッド  $j$  内で発生し、かつ、損失  $x_{ij}$  が  $x_c$  以上となるイベントに関するマグニチュードの確率密度分布である。

### 3) モデルポートフォリオによるトリガー設定

#### a) 諸条件の設定

##### i) 対象ポートフォリオ

南関東地域に配置された 10 棟の建物からなるポートフォリオを設定した。建物群の配置を図 3 に示す。また、建物の再調達価額を 100 とし、耐震性能および地震時被害額については、福島・矢代<sup>3)</sup>を基に表 1 に示す値を採用した。なお、地震動強さの指標については、実際の被害率との相関が良いという点で最大速度の採用が望ましいが最大加速度を採用しても本研究の主旨は損なわれないと判断した。

表 1 被害程度別のフラジリティ特性値と被害額

被害程度	フラジリティカーブの特性値*		被害率 (%)
	中央値 (Gal)	対数標準偏差	
小破	200	0.4	5
中破	600	0.4	10
大破	1000	0.4	30
倒壊	1400	0.4	100

\* フラジリティカーブの確率分布は、対数正規分布を仮定

##### ii) 地震環境

地震活動域モデルについては Annaka & Yashiro<sup>4)</sup>を用いて設定した。大地震発生活動域は、海域ではマグニチュード 7.5、陸域ではマグニチュード 7.0 を目安として、それ以上の地震が繰り返し発生する領域とし、固有地震モデルを用いた。中小地震発生活動域についてはゲーテンベルグ・リヒターモデルを用い、1885 年 1 月～1997 年 7 月のマグニチュード 6 以上の地震数を求め、それに基づき  $b$  値を仮定してゲーテンベルグ・リヒター式の  $Y$  切片である  $A$  値を求めた。なお、マグニチュード 6 以上の地震が発生していない場合は、1926 年 1 月～1997 年 7 月のマグニチュード 5 以上の地震数に基づいた。図 4 に設定した地震活動域を、表 2 に地震活動域の諸元を示す。

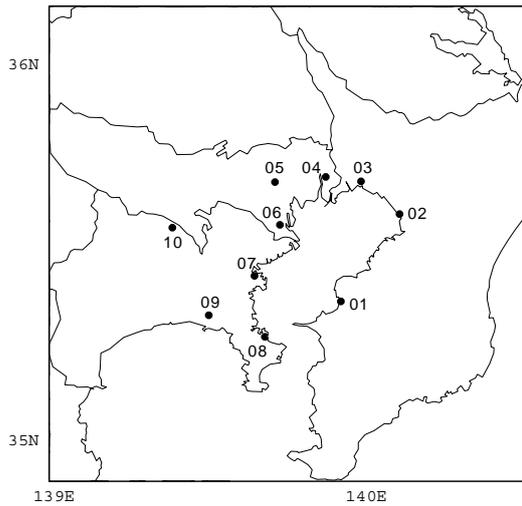


図3 建物群の配置

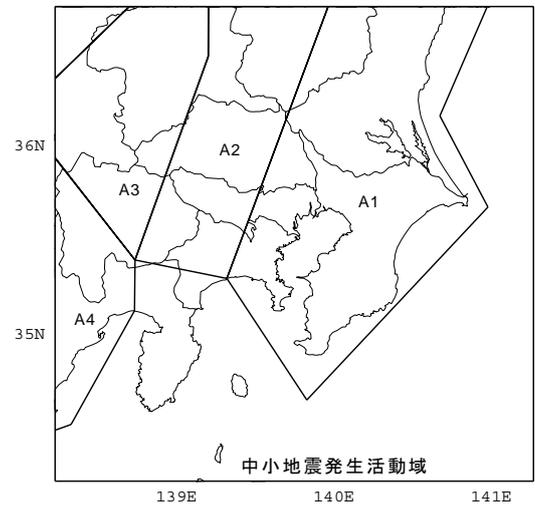
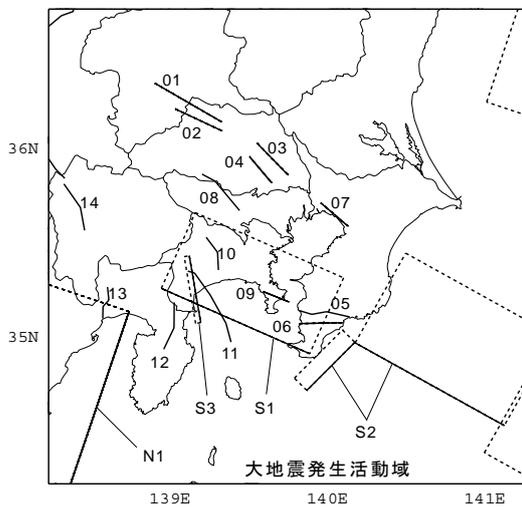
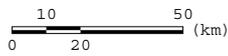


図4 設定した地震発生活動域

表2 地震発生活動域の諸元

活動域番号	Mの範囲	発生間隔(年)	活動域番号	Mの範囲	発生間隔(年)
01	7.0-7.6	1182	02	6.9-7.3	5212
03	7.0-7.4	79283	04	6.8-7.2	5931
05	7.1-7.5	2842	06	7.0-7.4	2639
07	6.8-7.2	5676	08	7.1-7.5	8710
09	6.6-7.0	1365	10	6.9-7.3	7239
11	7.5-7.9	1625	12	7.1-7.5	877
13	6.8-7.2	1917	14	7.1-7.5	2851
S1	7.8-8.2	200	S2	7.8-8.2	1000
S3	6.8-7.2	73	N1	7.6-8.0	130
活動域番号	Mの範囲	A値	活動域番号	Mの範囲	A値
A1	5.0-7.0	2.344	A2	5.0-7.0	4.235
A3	5.0-7.0	1.645	A4	5.0-7.0	3.344

中小地震発生活動域のb値は一律に0.9と設定

距離減衰式についても同文献に従い、以下の安中式を採用した<sup>5)</sup>。

$$\begin{aligned} \log a &= 0.61M + 0.0050h - 2.203\log(d) + 1.377 \\ d &= \sqrt{\Delta^2 + 0.45h^2} + 0.22\exp(0.699M) \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 $a$ は最大加速度 (cm/s/s)、 $\Delta$ は震央距離 (km)、 $h$ は震源深さ (km)、 $M$ はマグニチュードである。距離減衰式のばらつきを表す対数標準偏差は、自然対数で 0.5 と設定した。

### iii) トリガー設定に係る諸元

補填の対象とする損失については、リスクファイナンスを考慮しない場合のリスクカーブを基に得られる免責額 $l_A$ と引受限度額 $l_E$ から設定する。比較的短い期間である程度発生すると考えられる前者については年超過確率 1/30 (20 年 50%非超過確率に相当) に対応する損失の 50%非超過値を、供用年間中に稀に発生すると考えられる後者については年超過確率 1/475 (50 年 10%非超過確率に相当) に対応する損失の 90%非超過値を割り当てた。リスクカーブの評価は、福島・矢代<sup>3)</sup> に示した方法を用いた。得られたリスクカーブを図 5 に示す。これより、 $l_A=10$ 、 $l_E=100$ とし、補填の対象とする損失 $x_c$ を 10~100 まで 10 刻みで設定した。

グリッドについては、当該ポートフォリオの外側約 50km を取り囲む長方形(東経 138.75 ~140.75°，北緯 34.8~36.2°)を考え、図 6 に示すように、東西方向に 8 分割、南北方向に 7 分割した。細分化されたグリッドは約 20km 四方であるが、地震イベント発生の最小単位が約 5km 格子であり、ある程度の地震イベントを含むことから、(2)式を用いたグリッド抽出が十分に機能する解像度であると判断した。

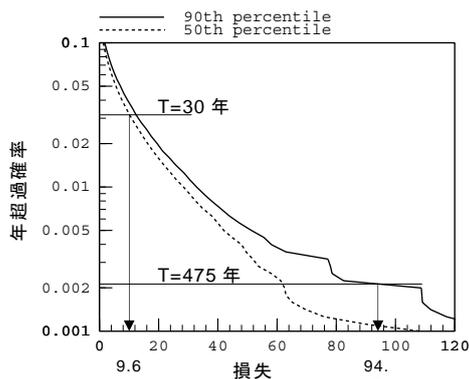


図 5 リスクファイナンスを考慮しない場合のリスクカーブ

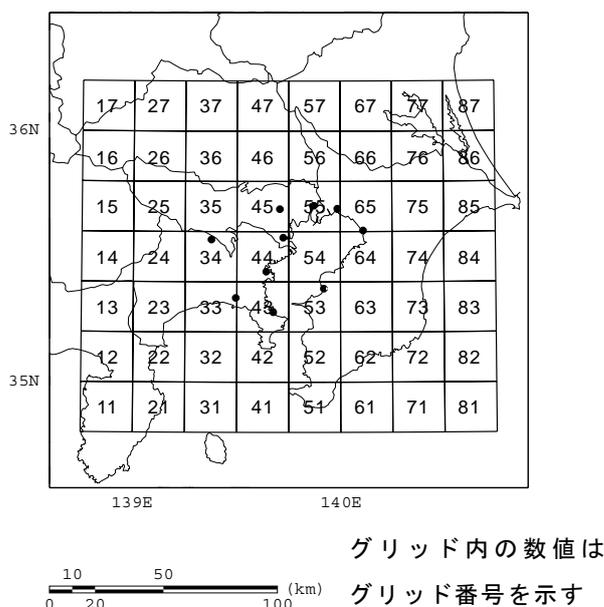


図 6 設定したグリッド

b) 評価結果

i) グリッドの設定

(2)式に従いグリッドの寄与率を求めた。グリッド抽出の判断となる閾値を 0.01, 0.05, 0.10 としたときの、グリッド配置の変化の様子を図 7 に示す。なお、グリッドの寄与率は対象とする損失  $x_i$  に依存するため、全ての  $x_i$  について求めた寄与率の最大値を評価に用いた。

閾値が大きくなる（すなわち、棄却するイベントが増える）に従い、グリッドが南関東地震（地震活動域番号：S1）とその周辺の地震に限定されるようになる。

また、ポートフォリオを構成する建物が必ずしも抽出されたグリッドに含まれるわけではない。このことは、損失に対する寄与の観点からは、中小地震の影響が大きいことを示している。

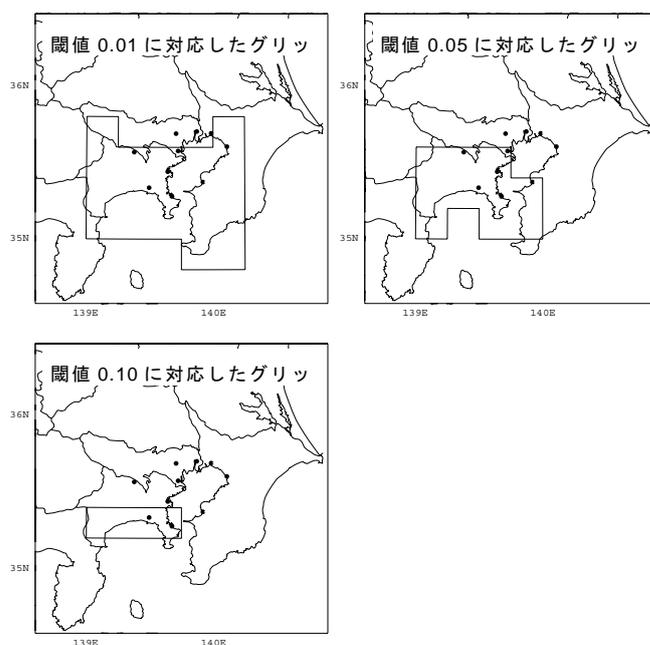


図 7 閾値とグリッド配置との関係

ii) 損失と地震規模の関係

閾値 0.05 に対応したグリッド (グリッド番号: 22, 23, 24, 33, 34, 42, 43, 44, 52, 53) を対象に, 補填の対象とする地震規模と損失の関係性を求めた。その結果を図 8 に示す。なお, 地震規模の設定における閾値は, 0.01, 0.05, 0.10 とし, 同図中に重ね描いている。本研究では, 図 8 に示した関係から元本没収関数を設定する。没収額は地震保険における

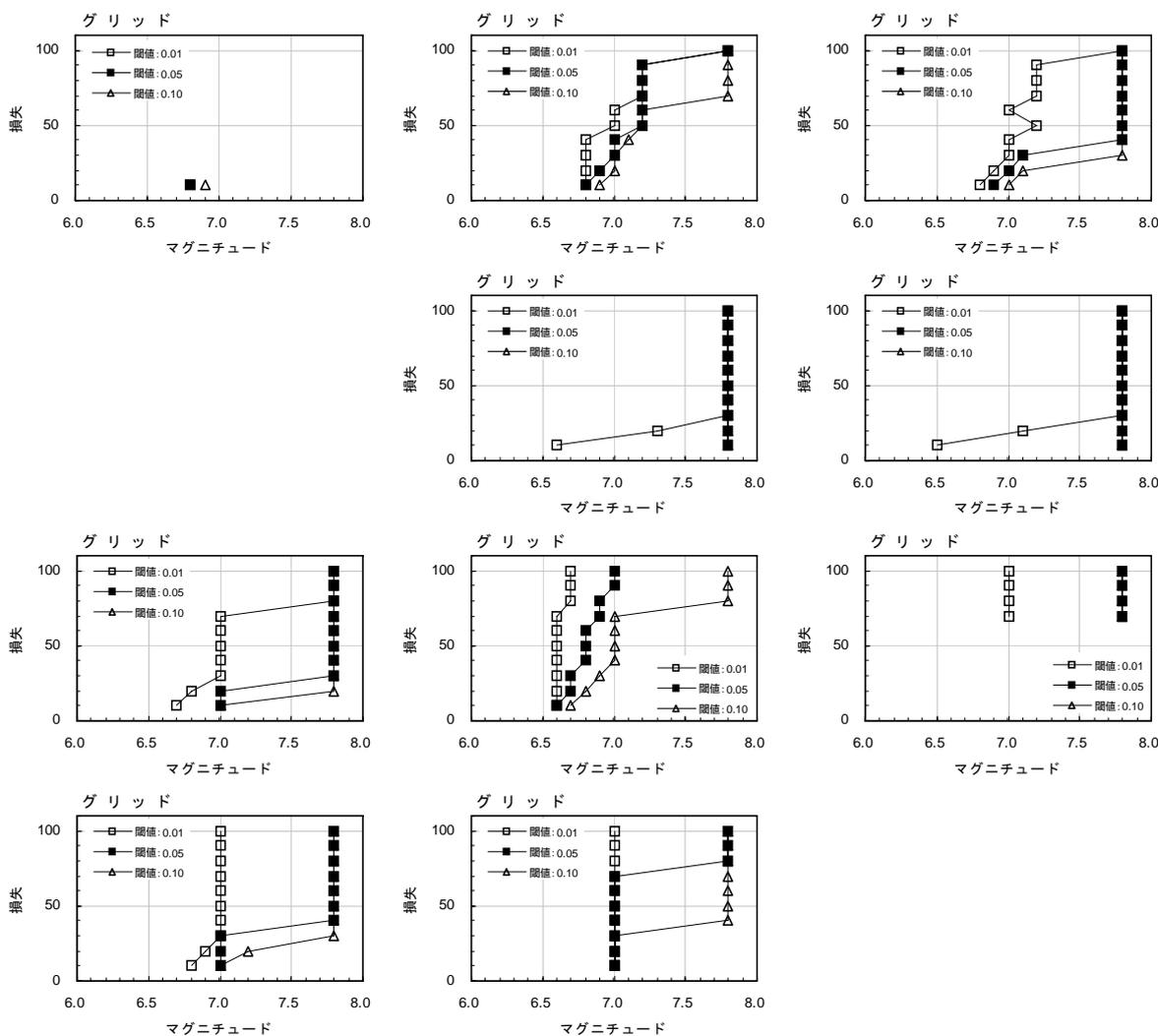


図 8 元本没収関数の評価例

支払い額に相当することから, 図 8 の損失から免責額を除いたものを元本没収関数とする。地震規模と損失の関係は, グリッドにより大きく異なり, 例えば, 閾値が 0.05 の場合には以下のような傾向となっている。

- ・ グリッド 22 : M6.8 以上で損失が発生するが, 免責額  $I_A$  にとどまる。
- ・ グリッド 23 : M6.8 から損失が発生し, M 7.8 で引受限度額  $I_E$  に達する
- ・ グリッド 33 : M7.7 以下では損失が発生せず, M 7.8 以上であれば引受限度額  $I_E$  となる。また, いくつかのグリッドでは, 地震規模と損失の関係には不連続点が見られる。

これは, 支配的な地震が, 中小地震から大地震に移行したことによると考えられる。例えば, グリッド 42 では, 損失が小さい場合には地震活動域 A1 が支配的であり, ある程度大

きな損失は地震活動域 S1 が与えている。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、地震リスクデリバティブの合理的な設計手法の確立を目的として、ベースリスクの低減に着目したパラメトリックトリガーの設定方法を提案・構築した。

1)本研究で採用したようなフラジリティを有する建物の損失に寄与する地震規模は比較的大きく、結果として、大規模地震発生活動域に対応したグリッドが抽出された。これは、従来のように建物群の配置に対してグリッドを設定することが必ずしも適切ではないことを示している。

2)ポートフォリオの損失と地震規模の関係は、グリッドにより大きく異なる。これは、各グリッドに含まれる地震の活動度が異なるためであり、従来のように広範囲のグリッドと1つの元本没収関数を用いることの不合理さを示している。

3)本提案手法によれば、ポートフォリオの損失に対する寄与の観点から、 $br_1$ （補填が不十分となるリスク）の増大を避けながら、 $br_2$ （過度な補填となるリスク）を小さく留めることができる。すなわち、リスクヘッジャーのリスクの増大を避けながら、リスクテイカーのリスクを低減でき、リスクコストの削減に繋げることができる。

今後の課題として、リスクファイナンスの原資となる資金調達を市場から集める際に防災対策の有効性により調達コストに差が発生する透明性の高いスキームを開発する必要がある。

#### (d) 引用文献

- 1) 日吉信弘：代替的リスク移転（ART）－新しいリスク移転の理論と実務－，保険毎日新聞社，2000.6
- 2) 福島誠一郎，矢代晴実：地震リスクの証券化における条件設定に関する解析，日本建築学会計画系論文集，No. 555，pp. 295-302，2002.5
- 3) 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. 169-176，2002.2
- 4) T. Annaka and H. Yashiro：A seismic source model with temporal dependence of large earthquake occurrence for probabilistic seismic hazard analysis in Japan，Risk Analysis，WIT PRESS，pp. 233-242，1998

#### (e) 成果の論文発表・口頭発表等

特になし