

地震リスクスワップの成立性と条件設定に関する研究

FEASIBILITY STUDY ON SEISMIC RISK SWAP AND ITS CONDITION SETTING

矢代晴実*, 福島 誠一郎**, 都築 充雄***

Harumi YASHIRO, Sei'ichiro FUKUSHIMA and Mitsuo TSUZUKI

Recently, some seismic risk management measures are utilized reflecting the quantitative and qualitative assessment of seismic risk. These measures are categorized into risk control and risk financing; the former is essential to mitigate seismic risk and the latter is effective to cover the unexpected loss caused by unforeseeable and complicated seismic events. In this paper, a seismic risk swap using a parametric trigger is employed as a risk financing measure. Portfolios consisting of 50 facilities in Tokyo, Osaka and Fukuoka are employed in order to examine the feasibility of seismic risk swap assuming that the exchanged annual expected losses are identical. Through the examination, it is also proposed the procedure to determine the parameters used in parametric trigger based risk swap, from the viewpoint of reduction in probabilistic maximum loss.

Keywords: *Portfolio of buildings, Risk management, Seismic risk, Risk transfer, Risk swap*
建物群, リスクマネジメント, 地震リスク, リスク移転, リスクスワップ

1. はじめに

近年, 中央防災会議等で, 地震による被害想定や経済的損失といった地震リスクに関する定量的な評価結果が発表されている。これを受けて, 自治体や企業においても地震リスクに対応するための様々な施策が行われるようになってきた。特に, リスクに先進的な企業においては地震リスクを企業存続のリスクの1つと捉え, 他のリスクと並列に扱って施策を考えることが多くなっている。これらの施策は, 地震に関するリスクマネジメントの「リスクの処理」に対応し, 耐震性の向上, 免震構造の採用, 建物の分散配置といった「リスクコントロール」と, 経済的な損失を補填する「リスクファイナンス」に大別され, 実施されている。

地震災害を軽減するには, 被害そのものを低減するリスクコントロールが最重視されるべきではあるが, 地震災害が低頻度・甚大災害であり, 被害状況の確定的な把握が困難であることから, リスクコントロールとリスクファイナンスを組み合わせて地震リスクを処理することが合理的であることが指摘されている^{1),2)}。また, リスクマネジメントとして他の重大なリスクと同等に取り扱う場合には, リスクへの投資の観点からリスクファイナンスが重要になってきている。

リスクファイナンスとしては, 保険が代表的な手法といわれてきたが, 近年, 金融工学の発達により, 代替的リスク移転(ART: Alternative

Risk Transfer) といわれる手法が注目され, 従来の保険では得られないようなカバーが得られるようになってきた。ART には, リスクの証券化, デリバティブ取引, コンティンジェント・クレジット・ライン等の手法がある^{3),4)}。

デリバティブとは元々, 通貨, 債券, 株式, 商品等の資産の価格変動を対象としたオプション, 先物, スワップといった取引であったが, 現在では, 天候や自然災害も対象とし, これらに関する指数(気温, 風速, 地震マグニチュード等)に基づいた取引が行われるようになってきている。

例えば, シカゴ商品取引所における自然災害に対するヨーロッパ・オプションや, バミューダ商品取引所における気象災害に対するオプションがある⁵⁾。また, 店頭市場においては, 天候デリバティブ等の多様なデリバティブが取引されている。日本においても天候デリバティブとして, 気温をインデックスとした電力会社とガス会社のスワップ取引が行われている。また, 自然災害デリバティブとして, 保険会社や再保険会社間で以下のようなスワップ取引が行われている。

- ・南関東の地震リスクとニューマドリードの地震リスク
- ・南関東の地震リスクとカリフォルニアの地震リスク
- ・南関東の地震リスクとヨーロッパのウインドストームリスク
- ・日本の台風リスクとヨーロッパのウインドストームリスク

* 東京海上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)
*** 中部電力(株) 工修

The Tokio Marine Risk Consulting Co., Ltd., Dr. Eng.
Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., Dr. Eng.
Chubu Electric Power Company, M. Eng.

一方、日本建築学会における「保険制度と危機管理調査研究特別委員会」においては、金融工学の知識を応用して将来の災害に備える資金の確保を検討するというので、複数の自治体による災害時のリスクスワップを提言の中で言及している⁶⁾。各自治体・事業体は、災害に対して復旧のために一定の準備金を積んでいる場合が多いが、甚大災害に対して賄えるほどではないことから、地震リスクが同時に発生しないような地域間でリスクスワップを行うことは、甚大災害に対して不足する復旧費用を調達する一手法として有効であると考えている。

以上を鑑み、本研究では、自治体における地震災害復旧費用の調達、事業体の地震災害復旧資金・運転資金の調達を目的として、日本の地域間における地震リスクスワップの手法および条件の設定に関して考察を行う。

2. 地震リスクスワップの考え方

2.1 スワップ取引

スワップは、2つの契約主体があらかじめ合意した条件でキャッシュフローを交換する2者間の相対取引である¹¹⁾。このようなスワップの手法は純粋リスクである地震リスクにも適用でき、スワップ契約が成立するためには、交換するリスクが等価であると契約当事者同士が判断すればよい。

スワップ取引の特徴を、表1にまとめる。地震リスクスワップは、契約にプレミアムを支払う必要がないため、すなわち、リスクマネジメントに要する費用(リスクコスト)が原則として発生しないために、リスクコストを要する他の手法と併用することで、全体のリスクコストを抑えることができる。例えば、リスクカーブを使ってリスクの処理に関する施策を構築する場合、図1に示すように、損失と年超過確率に基づいてレイヤーを分け、リスクに対応する施策を組成することとなる。具体的には、保険料の設定に支配的な免責額を引き上げ、その部分をリスクスワップで賄うことにより、より安価なリスク対応が可能になる。

表1 スワップ取引の特徴

メリット	リスク対応コストの軽減
	契約にプレミアムが支払われることはない
	柔軟性 相対取引であるため、スワップ取引の契約当事者のニーズにあった条件を無制限に作り出すことができる
デメリット	長期契約 保険と異なり10年以上の長期の取引が可能
	未成熟 契約内容が標準化されていない
	信用リスク 取引相手の倒産や資金繰り不足の信用リスクが不可避

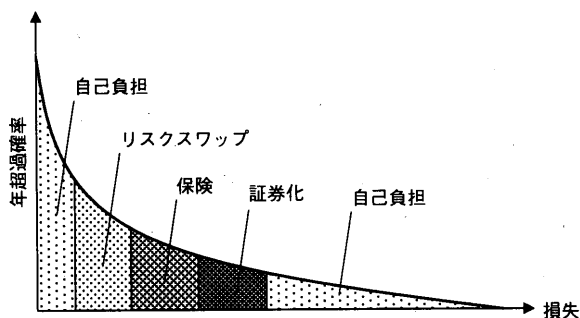


図1 リスクカーブに基づくリスクファイナンスの組み合わせ

2.2 リスクスワップの役割

リスクスワップの役割を明確にするため、ここでは、同一の地震危険度と同額の準備金を有する2つの事業体AとBを考える。事業体Aの地震リスクの年発生確率を p_A 、準備金を C_A とする。事業体Bについても同様に p_B と C_B を定義する。すなわち、

$$p_A = p_B \equiv p \quad (1a)$$

$$C_A = C_B \equiv C \quad (1b)$$

である。また、災害が発生した場合には、契約相手の準備金を100%復旧費用に用いることができると仮定する。

事業体Aについて考えると、被災時に使用できる復旧費用は自身の準備金 C_A と事業体Bからの補填額 C_B の和 $2C$ である。また、地震リスクの同時発生の確率が0であると仮定すると、1年間に準備金を失う確率は p_A と p_B の和 $2p$ となり、準備金の年期待喪失額は $2pC$ となる。

一方、リスクスワップなしに、事業体Aが同額の復旧費用を得るには、準備金として $2C$ を用意する必要がある。この場合、1年間に準備金を失う確率は p であることから、準備金の年期待喪失額は $2pC$ となる。

以上から明らかのように、リスクスワップの役割は、準備金喪失のリスクを、時間軸上で平準化することにある。多額の準備金を用意すること自体が不可能な場合もあるが、損失の変動をリスクと捉えることにより、リスクスワップの優位性がより明らかになる。

2.3 地震リスクスワップ

(1) 地震リスクスワップの方法

地震リスクスワップの契約条件としては、損害金額をインデックスとする「実損害によるスワップ」や特定の施設・構造物の損害金額のスワップあるいはマグニチュード等をインデックスとしたスワップが考えられる。

本研究では地震リスクスワップの契約条件としては、地震リスクの証券化と同様、パラメトリックトリガーを用いる^{7),8)}。この方法は、定められた範囲(以下、グリッド)内で、一定規模(以下、トリガーマグニチュード)以上の地震が発生した場合に、損失が補填されるものである。実際の損害ではなくマグニチュードをインデックスとしたのは、取引に透明性を与える必要があることと、地震直後の損失補填という観点から、損失評価に要する時間を省略するためである。

(2) 地震リスクスワップの成立条件

地震リスクスワップが成立する条件として、本研究では、以下の4条件を設定した。

- ① 支払額は準備金以下: 元本に対する制約条件で、自社の損失に対する準備金以上の支払をすることはあり得ないことに対応
- ② 年期待補填額が同一: 交換するリスクが等価であることに対応
- ③ 補填額が同一: 年期待補填額(保険料に相当)が同一であるならば、受け取り金額(保険金に相当)も同一であると考えることが自然
- ④ 地震被害が同時に発生しない: 同一の地震では被害が発生しないような地点に施設を有すること、あるいは、各事業体の施設に影響するような異なった地震の同時発生の確率が無視しうる程度に小さいこと

3. 地震リスクスワップ成立に関する検討

地震リスクスワップを行うためには、前記の条件を充たす必要がある。ここでは、図2に示すように、東京都内、大阪府内、福岡県内に施設を持つ3つの事業者の地震リスクスワップを考え、スワップ契約が成立するための条件を考察する。

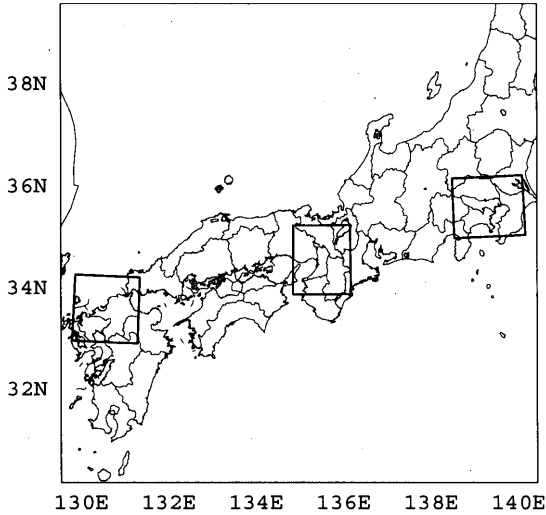


図2 リスクスワップの対象地域

3.1 施設群の設定

地震リスクスワップの対象として、東京都内、大阪府内、福岡県内に50の施設からなる施設群（以下、ポートフォリオ）を配置した。各施設の評価額は一律に100とした。これらの配置を図3に示す。なお、同図にはスワップ契約に必要なグリッドを併記している。

施設の耐震性はフラジリティ曲線の加速度耐力の中央値とばらつきで定義した。建物の耐力は設計用地震力に依存するため、ここでは、加速度耐力の中央値が地域係数に比例すると仮定した。設定した値を表2に示す。同表には、各被害モードに応じた費用も併記している。なお、これらの値は文献⁹⁾を参照して設定した。

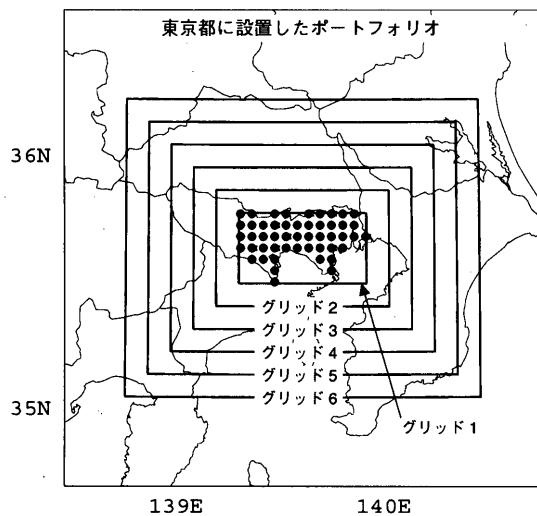


図3(1) 施設群の配置とグリッド（東京都）

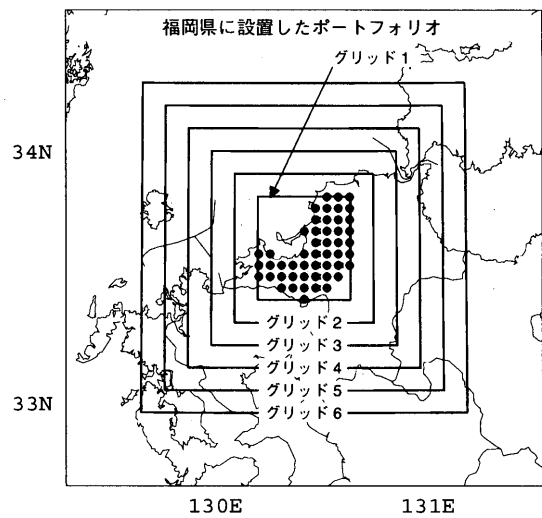
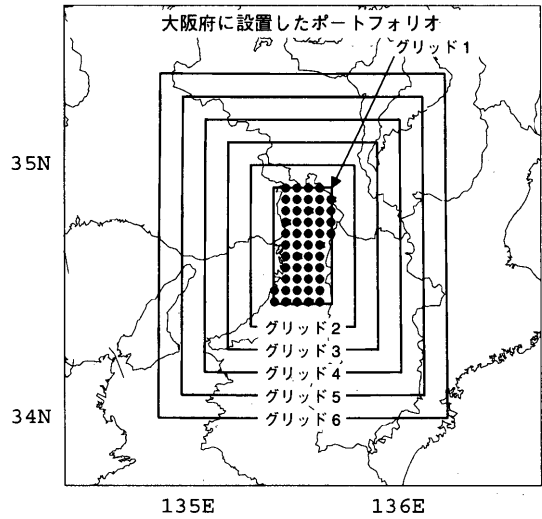


図3(2) 施設群の配置とグリッド（大阪府、福岡県）

表2 施設の諸元

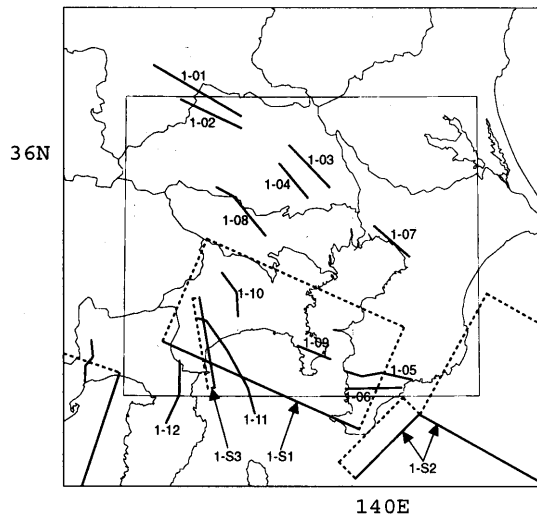
被害程度	フラジリティ		費用	
	中央値 (Gal)	対数標準偏差	初期費用	被害額
小破	200Z	0.4	100	5
中破	600Z	0.4	100	10
大破	1000Z	0.4	100	30
倒壊	1400Z	0.4	100	100

Z: 地域係数

3.2 地震環境

地震環境については Annaka & Yashiro¹⁰⁾を基に設定した。同文献では、日本列島全体について地震活動域モデルを設定しており、大地震発生活動域と背景的地震発生活動域に大別している。活動域モデルの例を図4と図5に示す。

図4は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。地震発生に関しては固有地震モデルを採用した。一方、図5は背景的地震発生活動域として、内陸の地殻内で発生する地震の活動域区分を示している。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、*b*値は一律に0.9と設定した。表3に地震活動域の諸元を示す。



(1) 東京都周辺の活動域

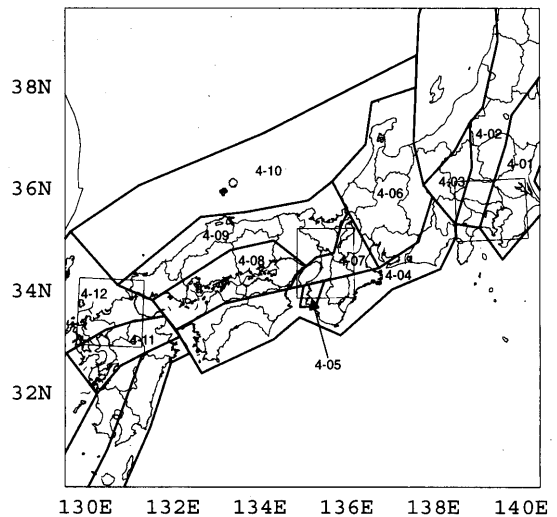
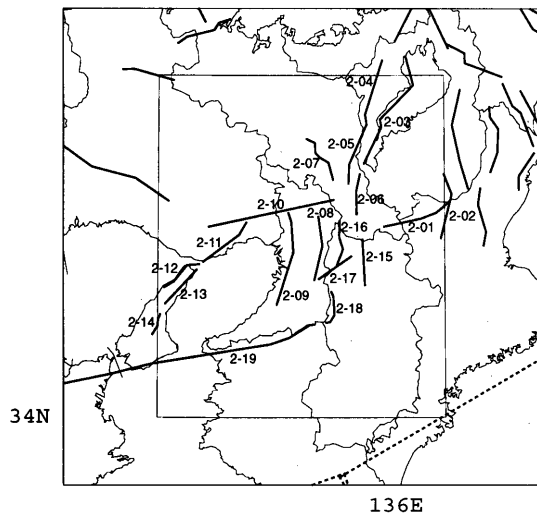
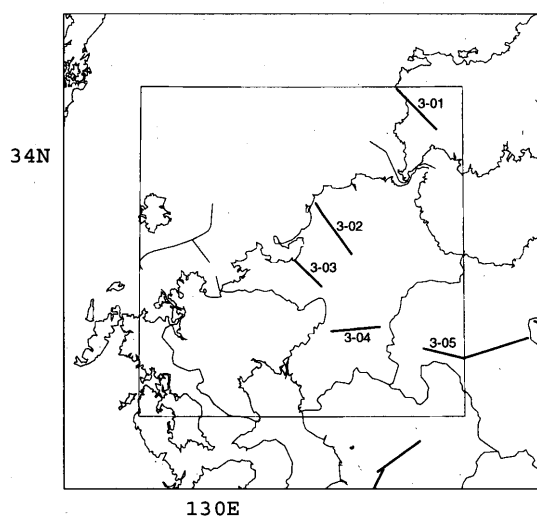


図5 中小地震発生活動域



(2) 大阪府周辺の活動域



(3) 福岡県周辺の活動域

図4 大地震発生活動域

表3 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

b値は一律0.9

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。

$$\log A = 0.61M + 0.00501h - 2.203\log(d) + 1.377 \quad (2)$$

$$d = (\Delta^2 + 0.45h^2)^{0.5} + 0.22\exp(0.699M)$$

ここに、Aは最大加速度 (cm/s²)、Δ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。

3.3 スワップ取引に関する諸条件の設定

(1) 補填額

補填額は地震災害に対する準備金であり、図1に示したように、地震保険の免責額程度と考える。ここでは、既往の研究⁷⁾を参照し、総資産(5000)の2%を補填額とした。具体的には、 $5000 \times 0.02 = 100$ である。

なお、前述のスワップ成立条件の③より、この値は各事業体について共通とした。

(2) スワップを実行する地震の規定

どのような地震に対してスワップを実行するかは、スワップ取引の設計において重要な検討項目である。補填される側の立場では、より小さな規模、あるいはより広範な範囲で発生する地震に対しても補填されることが望ましいが、過度に対象地震(リスクスワップの対象となる地震)を増やした場合には不必要な補填に繋がるだけでなく、引き受けるリスクも大きくならざるを得ない。

一方、対象地震を限定しすぎる場合には、引き受けるリスクは小さく抑えられるが、自身が被災した場合に本来必要な補填が行われな可能性が増し、リスクマネジメントの観点からは望ましくない。

したがって、交換するリスクを等価に維持しながら、自分自身のリスク回避を実現するような地震をスワップの対象地震とする必要がある。ただし、このような地震の抽出方法は試行錯誤によらざるを得ないのが現状である。

本研究では、このような地震の抽出に関する知見を得るため、複数のトリガーマグニチュードとグリッドの組み合わせに対し、ポートフォリオの地震リスク評価を行う。トリガーマグニチュードに関しては、5.5, 5.9, 6.3, 6.7, 7.1, 7.5の6段階を設定した。このように広い範囲でマグニチュードを設定したのは、東京都と福岡県のように、地震活動度が大きく異なる地域でのリスクスワップの可能性を検討するためである。

一方、グリッドに関しては、当該ポートフォリオに外接するグリッドを先ず設定し、これを基準(グリッド1)として、10km刻みで10~50kmまで、グリッド1の外側を通るグリッドを設定した(グリッド2~6)。設定したグリッドは前述したように、図3に示した。

3.4 リスク解析手法

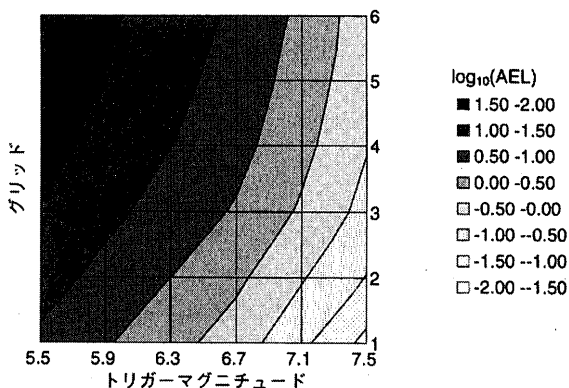
ポートフォリオのリスク評価は、既往の研究⁷⁾で提案した手法を用いた²⁾。同手法は、リスクを低減する側(リスクヘッジャー)のリスクカーブとリスクを引き受ける側(リスクテイカー)のリスクカーブを評価するもので、それぞれのリスクカーブを基に、年期待損失(AEL: Annual Expected Loss)や予想最大損失(PML: Probable Maximum Loss)を求めることができる³⁾。地震リスクスワップでは、リスクテイカーのリスクカーブから評価したAELを、リスクスワップの対象とする。

3.5 期待補填額に対する諸変数の影響

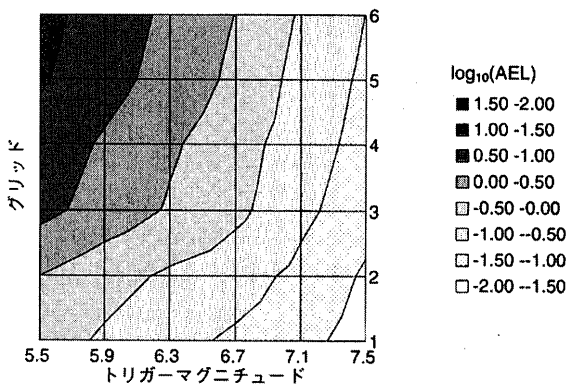
3.3に示したトリガーマグニチュードとグリッドの各組み合わせについて、それぞれの事業体に対する補填額の期待値を求めたものが図6である。同図の期待値は、トリガーマグニチュードとグリッドにより確定されるリスクテイカーのリスクカーブから得られたものである。これは間接的ではあるが、図1に示したようにリスクカーブから

一部のレイヤーを切り出し、切り出したレイヤーについて期待値を求めることに相当する。

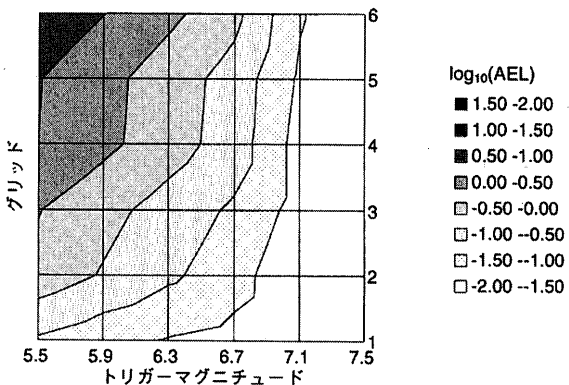
同一コンター上の組み合わせであれば、交換する年間期待リスクが等しく、2.3(2)で示した条件②が満足され、リスクスワップが成立する。なお、条件①は準備金=支払額により、条件③は解析条件により成立しており、また、地震リスクの同時発生は、事業体が互いに大きく離れていることから成立している。



(1) 東京都の事業体の期待補填額



(2) 大阪府の事業体の期待補填額



(3) 福岡県の事業体の期待補填額

図6 諸変数と期待補填額の関係

図6から明らかなように、東京都→大阪府→福岡県と、地震危険度が小さくなるに従い、期待補填額に相当する AEL の値が小さくなる。したがって、例えば、大阪府の事業体とのリスクスワップを考える場合、東京都の事業体は AEL を低減するため、トリガーマグニチュードを増大させるか、グリッドを小さくする必要が生じる。福岡県の事業体は反対に、トリガーマグニチュードを低減するか、グリッドを大きくする必要はある。

また同様の理由により、地震危険度の差が大きいほど、リスクスワップが成立するトリガーマグニチュードとグリッドの組み合わせが限定されることがわかる。

例えば、東京都の事業体の期待補填額が 10.0 程度になるような組み合わせを設定した場合、大阪府の事業体は極めて低いトリガーマグニチュードと不必要に大きいグリッドの選択を迫られる。また、福岡県の事業体は、今回の検討範囲内では、これに見合うような条件設定を行うことができない。

4. 地震リスクスワップの条件設定

3.ではトリガーマグニチュードとグリッドの組み合わせにより、地震リスクが同時に発生しない 2 地域間のリスクスワップが可能であることを示した。ところで、図6からも明らかなように、交換するリスクが等価になる組み合わせは多数あるため、交換するリスクが等価という条件だけでは、この組み合わせを確定することはできない。

ここでは、事業体のリスク低減の観点から、地震リスクスワップの条件設定の可能性を検討する。

4.1 比較するリスク

図6に示した AEL はリスクテイカーの AEL であるが、これは等価なリスクを引き受ける事業体の AEL でもある。すなわち、事業体は自身の地震災害に関する AEL とリスクスワップの契約相手の AEL の両方を負担することになる。前者の AEL を低減するには、多くのリスクを他者に移転することとなり、結果として後者の AEL が増大する。両者の和は一定であり、それは、リスク移転がない場合の AEL に等しい。したがって、AEL という観点では、条件設定における意思決定を行うことができない。

ここでは、リスクマネジメントにおける損失の指標として用いられることの多い PML に着目して、トリガーマグニチュードとグリッドの組み合わせを決定する方法を検討する。なお、PML は年超過確率 1/475 に対応する損失の 90% 非超過値として求めた^り。

4.2 PML の低減に対する諸変数の影響

3.3 に示したトリガーマグニチュードとグリッドの各組み合わせについて、それぞれの事業体に対する PML の低減率を求めたものが図7である。なお、PML の低減率 r_{PML} は次式のように定義した。

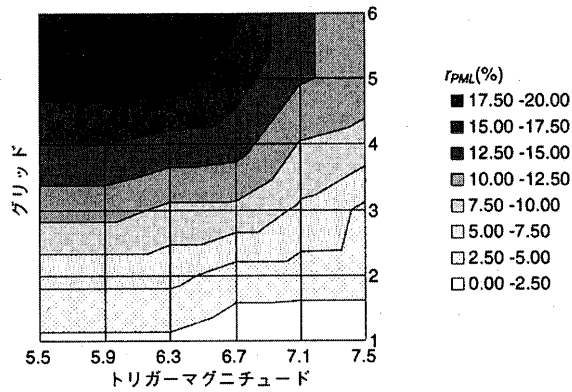
$$r_{PML} = (PML_0 - PML_1) / PML_0 \quad (3)$$

ここで、 PML_0 はリスク移転がない場合のリスクカーブから求められる事業体の PML、 PML_1 は、リスクスワップを実施した場合のリスクカーブから求めた PML である。

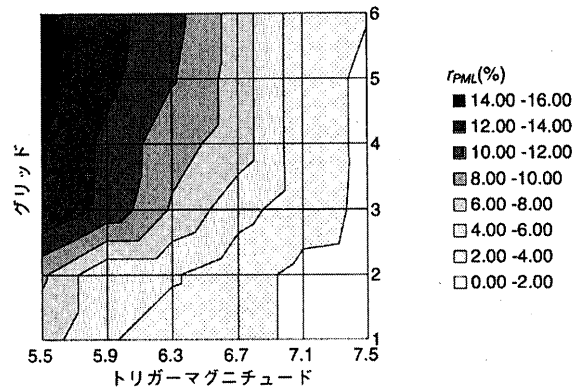
図7からは、東京都の事業体の PML はグリッドのサイズの影響を受け易いに対し、福岡県の事業体の PML はトリガーマグニチュー

ドの影響を受け易いことがわかる。大阪府の事業体の PML は両者の中間的な傾向を有している。

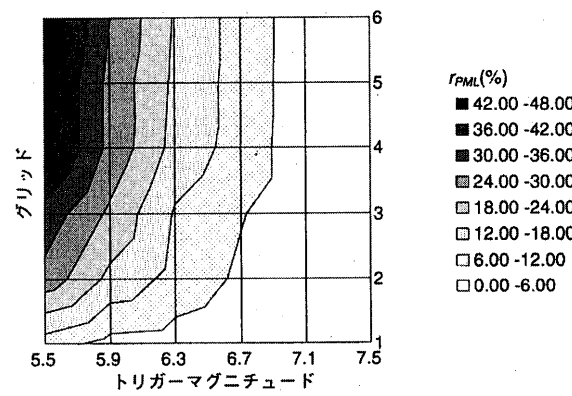
東京都の事業体の PML は関東地震（活動域番号：1-S1）が支配的であり、この地震とグリッドの位置関係が PML を支配することになる。福岡県の事業体の場合は、活断層による地震の再現期間が極めて長いためにその影響が PML に現れにくく、Gutenberg-Richter 式でモデル化される中小地震発生活動域の地震の寄与が大きくなる。そのため、トリガーマグニチュードが PML を支配することになる。大阪府の事業体の場合は、大地震発生活動域と中小地震発生活動域の寄与がそれほど極端でないため、中間的な傾向になったと考えられる。



(1) 東京都の事業体の PML の低減率



(2) 大阪府の事業体の PML の低減率



(3) 福岡県の事業体の PML の低減率

図7 諸変数と PML の低減率の関係

以上の傾向を参照すれば、トリガーマグニチュードとグリッドの組み合わせを、事業体のリスク低減の観点から設定することができる。例えば、東京都の事業体はグリッドサイズが大きくなるような条件設定を行うことで、PMLの低減を効率的に行うことができる。一方、福岡県の事業体はトリガーマグニチュードが小さくなるような条件設定を行うことが合理的である。

より正確に条件設定を行うのならば、図6と図7を重ね合わせ、交換するリスクを一定にするという条件で、リスク低減率が最大となるように諸変数を設定すれば良い。

以上の検討から明らかなように、諸変数の設定は、スワップ契約を結ぶ相手の事業体と独立して行うことができる。図7では、PMLを年超過確率1/475に対応する損失の90%非超過値として、その低減率を求めているが、この定義は各事業体によって変えることができる。

なお、ここでは2者間のスワップを検討したが、3者以上の場合には、2者の組み合わせのそれぞれに対し、リスクスワップを行うことになる。

5. まとめ

本研究では、自治体における地震災害復旧費用の調達、事業体の地震災害復旧資金・運転資金の調達を目的として、地震リスクスワップを取り上げ、その役割および成立条件を整理した。また、自然災害リスクである地震リスクを対象に、リスクスワップの枠組みを提案し、東京都、大阪府、福岡県の事業体のリスクスワップの成立性を解析例から考察した。さらに、リスクスワップが成立するという条件で、リスクスワップの諸変数（トリガーマグニチュード、グリッド）の設定の手順を示した。以上の検討を通じて以下の結果を得た。

- 1) リスクスワップが成立する条件を示した。
- 2) 地震リスクスワップが成立する条件は地震危険度の差に影響され、地震危険度の差が大きいほど、条件設定の範囲が狭まる。
- 3) 交換するリスクの大きさが決定されたならば、各事業体は、自身で定めたリスク指標（例えば、PML）が最適化されるような諸変数を選択することで、地震リスクスワップの設計が可能となる。

本研究の解析例では、交換するリスクとしてAELを、諸変数設定の判断指標としてPMLを用いたが、これは、当事者同士が長期に亘り契約を結ぶこと、地震被害をPMLで考えることを前提としたものである。実際の契約では、事業体のリスク回避傾向、地震危険度の切迫性、等から、より複雑な意思決定のプロセスが採られるものと考えられる。この点に関しては今後の課題としたい。

謝辞

本研究の実施に際し、東電設計(株)安中正氏には地震活動域モデルならびに距離減衰式に関する貴重なご意見を頂きました。ここに記して謝意を表します。

注記

[1] スワップ取引

現在最も頻繁に取引が行われているのは金利スワップであり、例えば、契約者の一方が変動金利で名目元本の貸付を行うと同時に、固定金利で同額の名目元本の借り入れを行うというような双務的金融貸借契約となる。この場合、貸し付けた金額と同額を借り入れることになるので元本の金額はさほど重要で

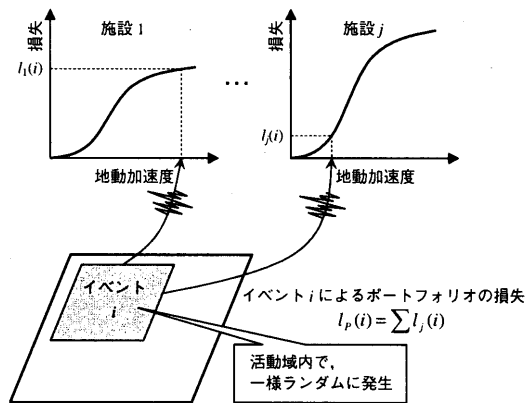
ない。この金利スワップの契約は、変動金利を固定金利に入れ替えたり、逆に固定金利を変動金利に入れ替えるのに使われている。市場参加は、変動金利や固定金利に対する選好が異なるためスワップ契約が成立し、プレミアムの支払は行われない。

また商品スワップの例としては、価格変動をする原油やジェット燃料を契約期間内では固定価格で買い入れる契約を金融機関と結ぶことが挙げられる。これは商品の変動価格と固定価格のスワップになり、変動価格の商品を買い入れる企業にとっては安定した価格で買い入れることになりリスクをヘッジすることができる。

[2] ポートフォリオ解析の概念

筆者らは地震ハザード解析をベースとした建物群（以下、ポートフォリオ）の地震リスク評価手法を提案してきた。その多数の地震源による多数建物の評価であるポートフォリオ解析の概念を図Aに示す。同図で、 $l_j(i)$, $j=1, \dots, n$ はイベント*i*（地震ハザード解析で用いる個々の要素地震をイベントと称する）による建物*j*の損失を示す。 n は建物総数、 $l_p(i)$ はイベント*i*によるポートフォリオの損失である。多数のイベントによる損失をその大きさに従って順位付け、所与の損失レベルを超過する発生確率を求める。この関係を示したものがリスクカーブである。

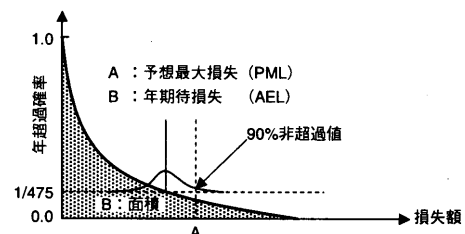
また、 $l_p(i)$ をリスクヘッジャー（リスクを回避する側）とリスクテイカー（リスクを引き受ける側）に按分し、上記の手順を行うことで、リスクヘッジャーのリスクカーブと、リスクテイカーのリスクカーブを、それぞれ求めることができる。



図A ポートフォリオ解析の概念

[3] リスクカーブによる損失評価

多数のイベントによる損失をその大きさに従って順位付け、所与の損失レベルを超過する発生確率を求める。この関係を示したものがリスクカーブである。図Bに示すように、リスクカーブを基にAELとPMLを評価することができる。



図B リスクカーブと損失の関係

参考文献

- 1) 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
- 2) 福島誠一郎, 矢代晴実: リスク移転を考慮した耐震性能レベルの考え方, 日本建築学会構造系論文集, No.567, pp.197-204, 2003.5

- 3) 矢代晴実: 地震リスクとリスク移転について, 土木学会地震災害マネジメントセミナー 地震リスクマネジメントを考える, 2002
- 4) トーア再保険株式会社: 再保険, 損害保険事業総合研究所, 1999
- 5) Swiss Re: The Picture of ART, *Sigma* 2003, No.1, 2003
- 6) 神田順: 自然災害低減のための危機管理と保険制度に関する提言, 建築雑誌, pp.21-23, 2001
- 7) 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
- 8) David Mocklow, John DeCaro and Matthew McKenna: Catastrophe Bonds, Alternative Risk Strategies, *Risk Books*, 2002
- 9) 中村孝明, 中村敏治: ポートフォリオ地震予想最大損失額(PML)評価, 日本リスク研究学会誌 12(2), pp.69-76, 2000
- 10) T. Annaka, 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

(2004年6月1日原稿受理, 2004年9月9日採用決定)