

地震保険研究 1

地震危険度指標に関する調査研究

～ 地震PMLの現状と将来 ～

平成 14 年 12 月

損害保険料率算出機構

はじめに

PML (Probable Maximum Loss : 予想最大損失額) は元来、米国の火災保険で保険情報の一つとして生まれた概念である。日本の家計地震保険では昭和 41 年の創設以来、総支払限度額の設定根拠として PML が用いられており、保険制度運営上重要な指標となっている。

最近、企業のリスクマネジメントや不動産価値の評価などにおいて地震リスク評価が行われるようになり、PML が算出されている。特に、不動産の証券化では地震危険度の指標として PML が用いられるようになった。このように従来、保険分野の専門用語であった PML が建設業界・不動産業界などにも広まってきている。しかし、ひと言に PML と言っても、それぞれの利用目的に応じて定義、算出され、統一されていない。

本報告書は、PML が地震危険度の指標として広く用いられるようになり、また、その定義も様々である現状を踏まえて、PML を中心とした地震危険度指標の歴史的変遷や、利用の実態、将来の方向性等について、幅広く調査したものである。

本報告書が今後の地震保険等の PML を考える上で参考になれば幸いである。

目 次

各章の概要	1
第 1 章 米国における危険度指標の歴史	9
1.1. 初期の決定論	9
1.1.1 歴史的背景	9
1.1.2 火災リスク評価（危険度指標の発祥）	10
1.1.3 地震リスク評価	11
1.2. 決定論から確率論へ	13
1.2.1 リスク定量化に向けた最初のステップ	13
1.2.2 断層活動率をベースにした最大想定地震	13
1.2.3 地域ハザードに基づいた最大想定イベント	15
1.2.4 ハザード超過確率曲線	16
第 2 章 米国における危険度指標の変遷と各業界の取り組み	19
2.1. 危険度指標の変遷	19
2.2. 地質学者および建設業界の取り組み	20
2.2.1 地震ハザードマップの作成（米国、主としてカリフォルニア州）	20
2.2.2 ATC の取り組み（建物の脆弱性評価）	26
2.2.3 SEAOSC の取り組み	26
2.2.4 Steinbrugge による PML の定義	27
2.3. 保険業界の取り組み	28
2.3.1 CDI（カリフォルニア州保険庁）	28
2.3.2 NDC（自然災害連合）	30
第 3 章 地震危険度指標の算出例	31
3.1. 地震リスク分析の基本的考え方	31
3.2. 地震活動度モデル	33
3.3. 地震動予測モデル	36
3.4. 損失予測モデル	38
3.5. 定量的リスク評価方法－超過確率曲線－	43
3.6. 損失予測の不確実性の取り扱い	44
3.7. ポートフォリオ地震リスク分析	47

第4章 危険度指標の日本での利用状況	49
4.1. 損害保険業界	49
4.2. 建設業界	50
4.3. 不動産業界.....	51
第5章 今後の地震危険度指標の考え方	55
5.1. 危険度指標の提案.....	55
5.1.1 ASTM（アメリカ材料試験協会）	55
5.1.2 社団法人建築・設備維持保全推進協会（BELCA）	56
5.1.3 WCE（Worst Conditional Expectation）	57
5.2. 今後の地震危険度指標の考え方	58

図表類目次

図 2-1 危険度指標の推移（決定論より確率論へ）	19
図 2-2 地震予測マップ（Ulrich 1948）	21
図 2-3 地震地域マップ（Richter 1958）	21
図 2-4 地震ゾーニング・マップ（UBC 1979）	22
図 2-5 50年間の超過確率が10%の確率加速度マップ（Algermissen and Perkins 1976）	23
図 2-6 有効最大加速度マップ（ATC 1978）	24
図 2-7 50年間の超過確率が10%の確率最大加速度マップ(Algermissen et al 1982)	24
図 2-8 50年間の超過確率が10%の地表最大加速度マップ（USGS 1996）	25
図 3-1 地震リスク分析フローチャート	32
図 3-2 ランダム地震域モデルの概念.....	34
図 3-3 地震活動域のモデル化の例（損害保険料率算定会 2000）	35
図 3-4 地震動伝播過程の概念図	36
図 3-5 水平最大加速度の距離減衰曲線とデータ値（Fukushima and Tanaka 1991）	37
図 3-6 国土数値情報を用いて設定した表層地盤の地震動増幅率分布の例（翠川・松岡 1995）	38
図 3-7 損失率曲線の一例	38

図 3-8	各損傷程度の建物被害率から建物損失率を求める一例	40
図 3-9	地震リスク評価におけるイベントツリーの一例 (中村 2001)	41
図 3-10	建物構成要素の分類 - 建物地震損失予測の方法	42
図 3-11	損失率曲線の作成方法 - 建物地震損失予測の方法	42
図 3-12	イベントカーブの作成	43
図 3-13	損失予測の不確実性をあらわすベータ確率分布	44
図 3-14	90 パーセントイル損失のイベントカーブ	44
図 3-15	リスクカーブの作成方法	45
図 3-16	各種イベントカーブとリスクカーブの比較	46
図 3-17	不確実性の大きさとリスクカーブ	47
図 3-18	加算による不確実性の変化を示す一例	48
図 5-1	リスクカーブと WCE	57
図 5-2	東京と福岡の建物のイベントカーブ比較	59
表 2-1	ゾーン A (サンフランシスコ) における PML	29
表 3-1	各損傷程度の建物被害率から建物損失率を求める一例	39
表 4-1	性能マトリックスの例	50
表 5-1	10 年累積信用リスク比率 (ある格付け取得後 10 年以内に経営困難に陥る比率)	61

各章の概要

第1章 米国における地震危険度指標の歴史

PML (Probable Maximum Loss : 予想最大損失額) は米国の火災保険分野における保険情報の一つとして生まれ、その後、地震保険などの巨大災害のリスク評価の分野でも用いられるようになった。火災リスクの世界ではPMLの他に、NLE(Normal Loss Expectancy)、MFL(Maximum Foreseeable Loss)、MPL(Maximum Possible Loss)などの概念があり、スプリンクラーを代表とする防火システムの作動・奏功と関連付けて定義されていた。この方面については内外のリスクマネージメント関係の文献に詳しい記述がある。

地震災害分野での初期のPMLの算出方法は、最大の被害をもたらす特定の状況を設定して損失を予測するというもので、今日で言うところの決定論的アプローチが主流であった。即ち当該地域に強震動をもたらす恐れのある主な活断層をリストアップし、それらから地震動の距離減衰式を用いて基盤レベルの地震動を推定し、表層地盤の増幅率を用いて各サイトにおける最大となる地震動を評価して耐震設計に利用するというようなものである。例えば、カリフォルニア州保険庁は、ゾーンA (サンフランシスコ地域) におけるPMLをサンフランシスコ地震(1906年 : M8.25)の再来による保険損失と定義した。その後、PMLに地震の活動度(再現期間)を考慮すべきであるとの議論が起こり、1960年代後半に地震の発生確率を考慮したPML算出方法の開発が始まった。1970年代には、確率論的な地震ハザード分析の研究が、原子力施設、石油化学プラント、ダムなどリスクの高い産業施設を対象に行われるようになった。

1980年代に入ると保険業界でも地震リスク分析の研究が開始された。地震の発生確率を考慮したMCE (Maximum Credible Earthquake : 最大想定地震) の概念が導入され、MCEは断層ごとに50年間の超過確率が10%になる地震(すなわち再現期間が475年となる地震)と定義された。これで危険度の高いいくつかの断層についてMCEを特定し、それらの地震によるポートフォリオの損失のうち最大のものをPMLとすることができるようになった。このMCEをPMLの決定に活用することで、決定論的アプローチの問題点が改善された。つまり発生確率の低い大地震よりも、活動がより切迫している地震に注意を向けることが可能となったといえることができる。

その後のコンピュータ技術の進展により、特定地域の地震危険度を評価する際に、潜在的に影響するすべての地震を確率的に考慮したCornellの方法が実用化された。この考え方の基本には地震という現象を確率現象としてどのようにモデル化するかという見解が必要になる。ごく一般的にはポアソン過程などが利用されるが、現在もなおいろいろな提案が行われている。

いずれにせよそれぞれの地点における地表地震動の大きさとその発生確率の関係を表した地震ハザード曲線が作成されるようになったことは大きな進展である。米国の建築基準の一つである UBC (Uniform Building Code) の 1994 年版では、建物や構造物における人命安全設計 (人命保護) の要件として、地震動の大きさは 50 年間の超過確率が 10% となる値 (再現期間 475 年に相当) として定められている。この地震動の大きさは地震ハザード曲線から求めることができる。

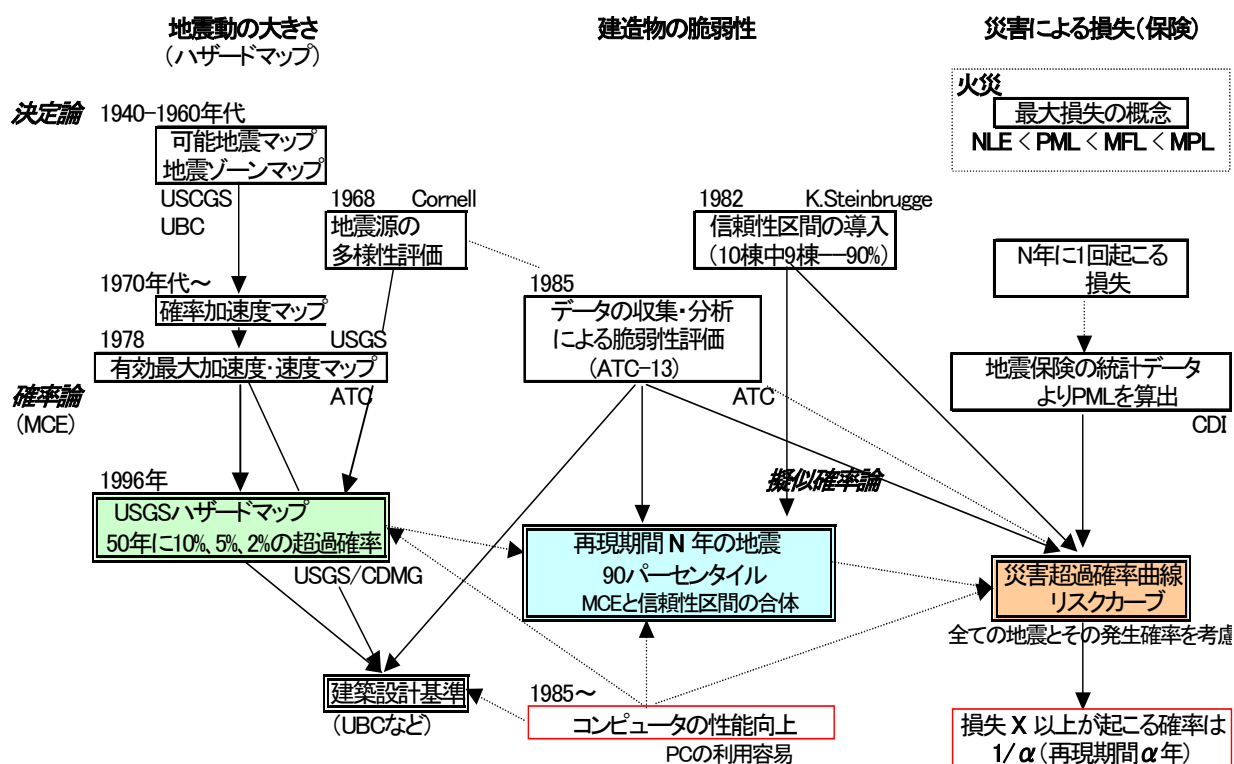


図 1 危険度指標の推移 (決定論から確率論へ)

第 2 章 米国における危険度指標の変遷と各業界の取り組み

米国においては、地質学者、建設業界、あるいは保険業界とでは、それぞれ危険度指標に対するニーズが異なるため、その取り組みにかなり違いがある。地質学者にとってはどの地域の地震動が大きいのか、建築技師は耐震設計のためにどの程度の地震動を見込むべきか、また保険業界では支払保険金がいくらになるのかが課題である。

建設業界では、耐震設計のため地質学者の協力を得て各種の地震ハザードマップを作成した。全米的な地震ハザードマップは 1930 年代から発表されており、1948 年 UBC に採用された。当初は決定論的な地震マップとして作成されていたが、その後、地震学者 Richter

により地震の発生頻度の概念を導入した地震ゾーンマップなどが発表され、次第に確率論的な地震ハザードマップに変化していった。

最新の全米的な地震ハザードマップとしては、1996年に USGS (United States Geological Survey : 米国地質調査所) が発表したものがある。このマップは、50年間の超過確率が10%、5%、2%の3種類と、起こりうる地表加速度の4種類(最大地表加速度、0.2秒周期加速度、0.3秒周期加速度、1.0秒周期加速度)が組み合わせられた計12種類のハザードマップとなっている。

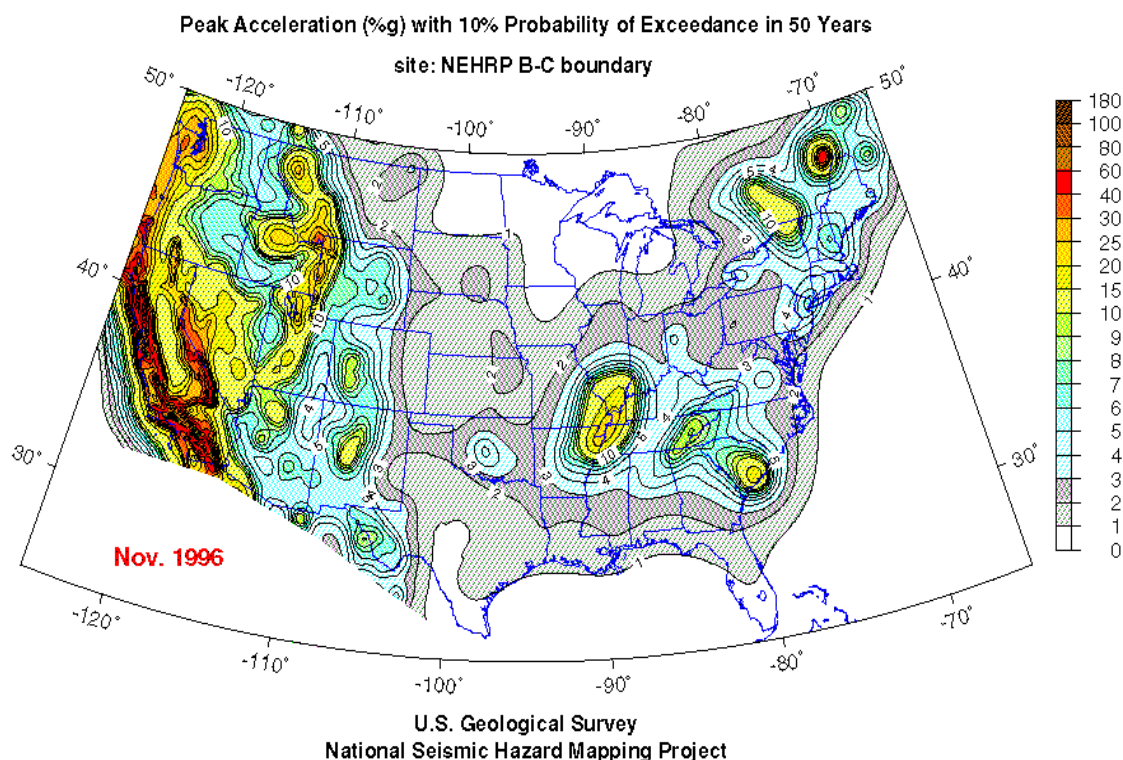


図 2 50年間の超過確率が10%の地表最大加速度マップ (USGS 1996)

この中で、よく引き合いに出されるのは50年間の超過確率が10%である最大地表加速度のハザードマップである。この50年という値は、一般的な建物の耐用年数に近く、人間が現実的に感知しうる長さであるということから、米国では1970年代半ば頃より定着してきたようである。また、50年間の超過確率が10%という値、すなわち再現期間475年の値は、船舶の構造設計の目安が100年に1回の最大波高としていることと対比すれば、発生確率が小さく、不確定要素も大きい地震に対しては妥当な水準として用いられてきた印象がある。

米国の ATC (Applied Technology Council : 応用技術協議会) は、建築技術者の集まりである SEAOC (Structural Engineers Association of California : カリフォルニア構造技術者協会) により 1971 年に設立された、設計実務者に技術開発の成果を普及促進することを目的とする組織である。ATC は、1985 年 FEMA (Federal Emergency Management Agency : 連邦危機管理局) の依頼を受けて、地震被害評価に関する調査研究報告書 (ATC-13) を発行した。この調査研究の特徴は被害データを詳細なクラスに分類して地震動と建物被害の関係 (脆弱性の評価) を明らかにしたことであり、その成果は地震被害予測を行う上で大きな役割を果たしただけでなく、保険業界においても PML を含めた確率論的損失予測等に大きく貢献した。また、SEAOSC (Structural Engineers Association of Southern California : 南カリフォルニア構造技術者協会) は、地震リスク評価の一環として、PML を 50 年間の超過確率が 10% に相当する地震動に対しての損失と定義している。

CDI (California Department of Insurance : カリフォルニア州保険庁) は、保険業界を監督する立場から、1978 年以降すべての保険会社に地震被害を対象とする保険エクスポージャーに関する種々の項目の報告を求めている。これは各保険会社の負担する地震リスクと財務状態を関連付けて監視することに利用されている。CDI はこれらの報告に基づき、2 年ごとに 8 ゾーン別の PML を公表している。

また、保険会社により組織されたグループの一つである NDC (Natural Disaster Coalition : 自然災害連合) では、PML を 500 年の再現期間をもつ損失と定義している。

第 3 章 地震危険度指標の算出例

地震危険度指標を算出するためには、地震リスク分析を行う必要がある。地震リスク分析は、将来発生する可能性のある大地震が保有資産にもたらす経済的な損失の大きさと、その発生確率とを分析するものである。地震リスクの大きさを定量的に表す方法として、最近よくリスクカーブが用いられている。

実用化されている比較的簡便な地震リスク分析手法は次の手順で行われる。まず、"地震活動度モデル"を用いて、日本全国の分析対象について被害を与える可能性のある大小の想定地震を多数設定する。これらの想定地震が発生した場合の地震動の大きさは"地震動予測モデル"(地震動の距離減衰式など)を用いて分析対象地ごとに求められる。

次に、"被害損失予測モデル" (地震動の大きさと損失率の関係曲線) を用いて、上記で求めた地震動の大きさにより分析対象建物の予想損失額を算出する。さらに、多数の想定地震による予想損失額のデータを用いて、イベントカーブ (予想損失額に対する年超過確率の関係曲線) を作成する。

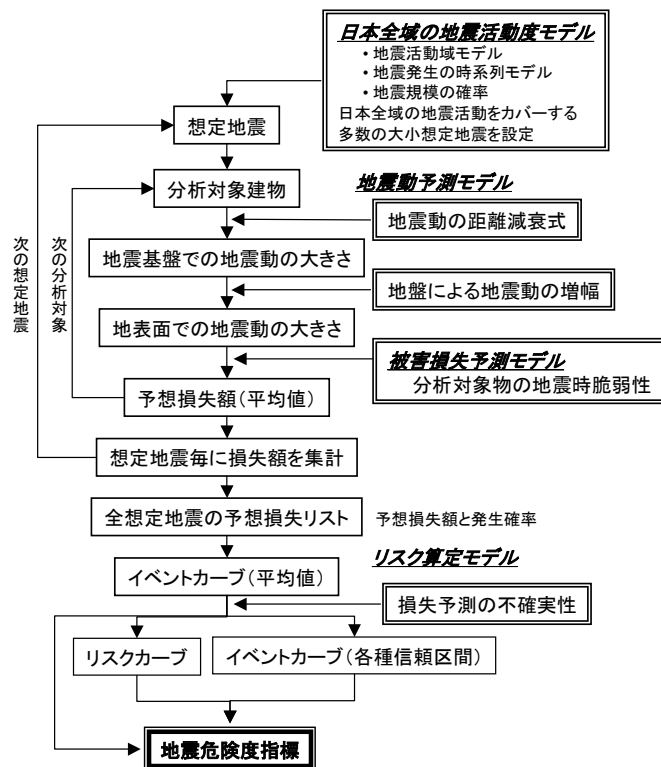


図 3 地震リスク分析フローチャート

しかし、地震動予測モデルや被害損失予測モデルによる計算値にはさまざまな不確実性が存在する。それらの多くはモデル作成の際、実際の観測データと予測値との間に差異が生じるためである。そこで、イベントカーブに予測の不確実性を考慮したリスクカーブ（予想損失額に対する年超過確率の関係曲線）を作成する。このリスクカーブを用いて地震危険度指標を算出する。イベントカーブとリスクカーブとは不確実性が大きくなればなるほど乖離が大きくなる。

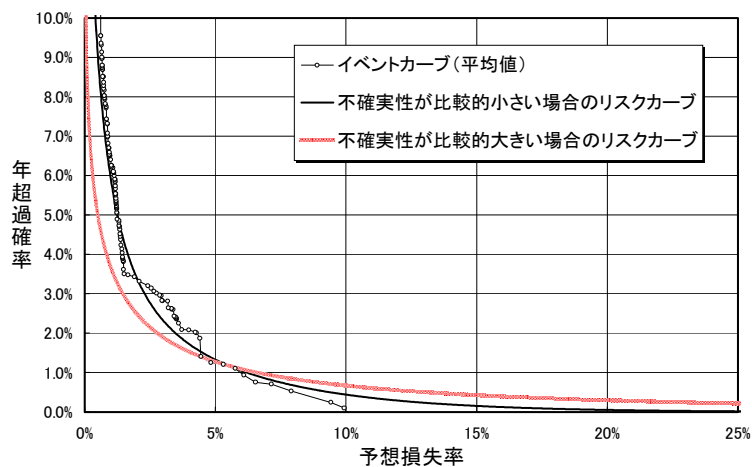


図 4 不確実性の大きさとリスクカーブ

第4章 地震危険度指標の日本での利用状況

日本の保険業界の企業分野における地震保険では、保険引き受け可否の判断材料、保険料算定の基礎資料、再保険の際の判断基準として PML が利用されている。また、リスク管理業務部門では、大地震にみまわれた際に想定される最大の保険金支払い額の程度を表す指標としても利用されている。PML は頻繁に用いられているものの、保険業界内で統一された明確な定義はない。

日本の建設業界では、PML などの指標が広く利用されているわけではないが、近年不動産業界で地震リスクの大きさを表す指標として PML の概念が普及してきた。これに伴って、建築主から設計者に PML の提示を要請されることが増えており、今後さらなる増加が予想される。建設業界で使用されている PML の定義は、予測損失を大きめに評価している"再現期間 475 年相当の地震動の大きさにおける 90%非超過確率 (90 パーセントイル) に相当する物的損失額の再調達価額に対する割合"が一般的である。なお 90 パーセントイルとは、ある事象の結果のばらつきを「確率」をもって表現したときに、それより小さくなる確率が 90%となる水準を意味する。(期待される現象のサイズがその損失未満で収まる可能性が 90%であるといえる。) 建築の性能表示が進展、定着するようになれば、その建物がどの程度の地震動に対して、どの程度の損傷を許容しているのかが明示されることになる。SEAOC では Vision2000 と呼ばれる報告書の中で、設計地震動レベルと耐震性能レベルについてマトリックスで表現したものが提示されている。

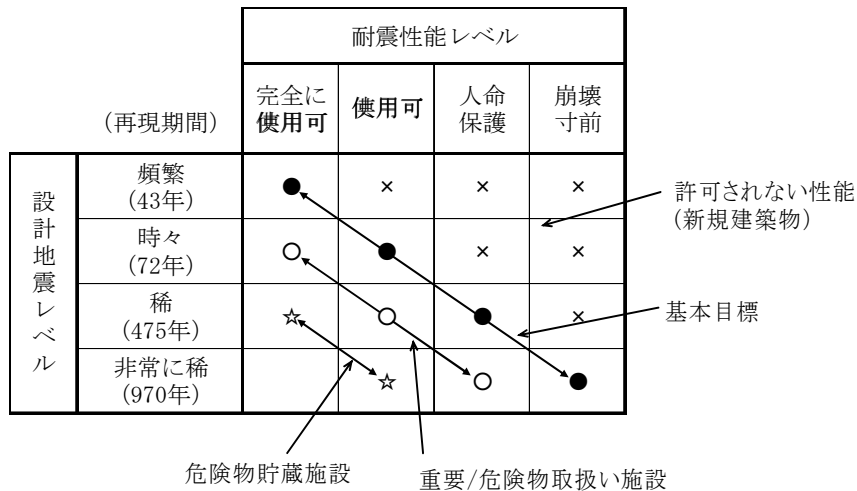


図5 性能マトリックスの例

日本の不動産業界では、バブル経済崩壊後の市場の活性化を目的として、1998年より不動産の証券化が可能となり、2000年には不動産投資信託（不動産ファンド）が可能となった。このような状況から不動産価値評価に対する考え方が大きく変化し、近年では対象不

動産が将来生み出すであろう純収益の現在価格の総和をもってその不動産の価値とする収益還元法が主流となってきた。不動産の将来の収益を予測するため、需要供給の動向や賃貸料の変動など様々なリスク要因が考慮されるが、地震国日本においては地震リスクを評価する必要があり、その大きさを判断する指標として PML が用いられている。不動産業界での PML の定義は、建設業界と同様に再現期間 475 年の 90 パーセンタイル損失とすることが多い。不動産証券化の際に PML が一定の値（再調達価額に対する割合）を超えている場合、地震リスクが大きいと判断されて地震保険の購入や準備金の積み立てが求められる。その対応がとられれば、地震リスクは移転されたものとして考え、将来の収益予測検討過程において、地震リスクを考慮する必要がなくなる。

第 5 章 今後の地震危険度指標の考え方

現在、地震危険度指標としていくつかの提案がなされている。米国の ASTM (American Society for Testing Materials: アメリカ材料試験協会) は、1999 年版標準ガイドの中で、PML には多くの定義が存在し混乱しているため、PML の代わりに明確に定義された 5 つの指標 (SL、SEL、SUL、PL、PLN) の利用を提案している。

- ・ SL: Scenario Loss (特定の想定地震による損失)
- ・ SEL: Scenario Expected Loss (特定の想定地震による期待損失)
- ・ SUL: Scenario Upper Loss (特定の想定地震による 90 パーセンタイル損失)
- ・ PL: Probable Loss (特定の年超過確率の予想損失)
- ・ PLN: Loss by Return Period N year (再現期間 N 年の予想損失)

また、日本の建築・設備維持保全推進協会(BELCA)は、2001 年に不動産を適正に評価するためのエンジニアリング・レポートに記載する地震リスク評価についての統一基準として、PML を「対象施設あるいは設備群に対して最大の損失をもたらす再現期間 475 年相当の地震が発生し、その場合の 90%非超過確率に相当する物的損失額の再調達価格に対する割合」と定義している。

地震危険度指標の定義は、地震学的知見の蓄積、コンピュータの能力向上による地震被害予測技術の発展とともに、より科学的で合理的なものに変化してきている。しかし、PML という指標が普及し始めた近年においても、未だその定義が明確に統一されていないのが現状である。

地震リスクをどのように捉えるかは、それに関わる人の立場や目的などによって異なる。したがって、地震危険度指標として統一した PML の定義を目指すより、明確な定義に基づく各種の地震危険度指標を設定し、地震リスクの大きさと不確実性を十分に把握した上で、その目的や立場に応じた適切な指標を選択するのが望ましいと考えられる。

