

第5章 今後の地震危険度指標の考え方

5.1. 危険度指標の提案

5.1.1 ASTM（アメリカ材料試験協会）

ASTM（American Society for Testing Materials：アメリカ材料試験協会）は、1999年版の標準ガイド E2026 の中で、PML という用語には多くの定義が存在し混乱しているので、PML を使うのをやめて、次の5つの新しい用語を使うことを提案している（文献22）。

- 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パーセントイル損失
- PL（Probable Loss） 特定の年超過確率の予想損失
- PL_N 再現期間N年の予想損失

この提案は、従来 PML として使用されている定義をうまく整理してまとめたもので、特定のシナリオ地震を想定した損失に S を、また、確率論的に算出された損失には P を使用して両者を明確に区別している。以下、ASTM の標準ガイドより主要点を抜粋する。

(1) SL（Scenario Loss：シナリオ損失）

特定の断層における特定のシナリオ・イベントや特定の地震動によって建物に生じる地震損失。収容物や設備の損失は含まない。損傷可能性や地震動の特徴などを予め特定する。SL 値は、建物の建設費用（現時点で再調達価額）に対するパーセンテージとして表示される。SL の計算に使う地震動の特定方法は様々であるが、レポートの中で明確に記述する必要がある。

(2) SEL（Scenario Expected Loss：シナリオ期待損失）

選択したシナリオのもとで発生する特定の地震動によって生じる損失の期待値。通常は被害についての確率分布は対称ではなく歪んでいるため、SEL を超過する確率は50%にはならない。つまり、50%よりも高くなることもあれば、低くなることもある。

(3) SUL（Scenario Upper Loss：シナリオ上限損失）

選択シナリオのもとで発生する特定の地震動によって生じるシナリオ損失のうち、超過確率が10%である損失。

(4) PL and PL_N（Probable Loss：予想損失）

地震による揺れによって発生する建物の損失であり、収容物や設備の損失は含まない。一定期間内に実際の損失がこの値を超過する確率を特定しておく。PL 値は、建物

の再調達価額（現時点での）に対するパーセンテージとして表示される。PL の計算は統計的整合性のある方法で実施し、その地域において予想される地震動レベルや地震動レベルごとの損傷可能性についての確率分布関数を考慮に入れる。地震動レベルは地域ごとの地震エクスポージャによって決まり、確率分布関数によって示す。建物の損傷可能性や耐震性は研究レベルに依存しており、建物の動特性が反映される。損傷可能性の分布は、耐震性に関する過去のデータ、耐震性についての専門家の見積もり、地震動レベルごとの詳細な分析などを組み合わせることによって求める。PL の値は、再現期間を特定して求める場合（PL_N）と、ある期間（1年～50年）の超過確率（1%～50%）を特定して求める場合がある。最もよく使われる再現期間は、72年、190年、475年であり、それぞれ50年間の超過確率50%、20年間の超過確率10%、50年間の超過確率10%に相当する。最もよく使われる超過確率は10%で、最もよく使われる期間は20年と50年である。

ASTM の考え方は、PL 値と SL 値に根本的な違いがあることを認識しての提案である。すなわち、SL 値は、特定の地震による建物の損傷に対する不確実性が考慮されているのに対し、PL 値では、すべての地震動とそれによる建物の損傷性いずれについても不確実性が考慮されていることである。

ASTM の提案の趣旨は、評価目的により使い分け、単に PML という様々な意味で利用される言葉を使わないようにしようということである。

5.1.2 社団法人建築・設備維持保全推進協会（BELCA）

2001年6月に、わが国の社団法人建築・設備維持保全推進協会（BELCA）は、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（文献23）。

この PML の定義では、施設に与える物的損失を対象にしているが、備品や家具・什器の損失は考慮していない。また、施設が使用できないことによる事業損失、休業損失などの機能損失や、人命など物的損失以外の損失は対象にしていない。再現期間475年の地震の根拠は、建物の供用期間を50年とし、50年間に10%の超過確率で発生するであろう地震に相当するものであり、また、90%非超過確率に相当する物的損失の根拠は、Steinbrugge の定義（2.2.4章）に由来するものであり、米国の地震リスク指標の流れをフォローしたものである。

この定義の475年は、50年間に10%の確率で発生する地震を想定しており、建築エンジ

ニアが設計外力を求めるためには、適切な基準といえる。BELCA の定義は、地震動については確率論的手法により算出するが、損失については、前記 3.6 で示したような、損失予測の不確実性を考慮したリスクカーブに基づいたものではなく、90 パーセントイルのカーブに基づいたものとなっている。前述のように、同じ 475 年に 1 回でも、475 年に 1 回発生する規模の地震による損失と 475 年に 1 回発生する損失とは別の値となる。どちらが正しくて、どちらが誤っているということではなく、算出方法と利用目的が合致していることが重要である。一般に保険業界では損失額が問題であり、建設業界では想定外力が重要なファクターになる。

5.1.3 WCE (Worst Conditional Expectation)

第 3 章でリスクカーブについて詳細に述べたが、リスクカーブにおいて年超過確率 a の時の損失 L_a を最大損失とした時に、 L_a 以上のテイル部分の形状の差を無視していることになる。特に保険業界において確率は小さいが損失が極めて大きい部分の保険取引の場合はこのテイル部分の差を示す指標が必要になる。例えば、図 5-1 において、カーブ A とカーブ B は、年超過確率 a の時の損失 L_a は同じであるが、年超過確率 a 以下ではカーブ A の方が損失 L は大きく、最大損失も当然大きくなり、両者を同じ L_a で評価するとその差が反映されないという矛盾が生じることになる。Gordon Woo は、この欠点を補う意味で、WCE (Worst Conditional Expectation) という指標を提唱している。

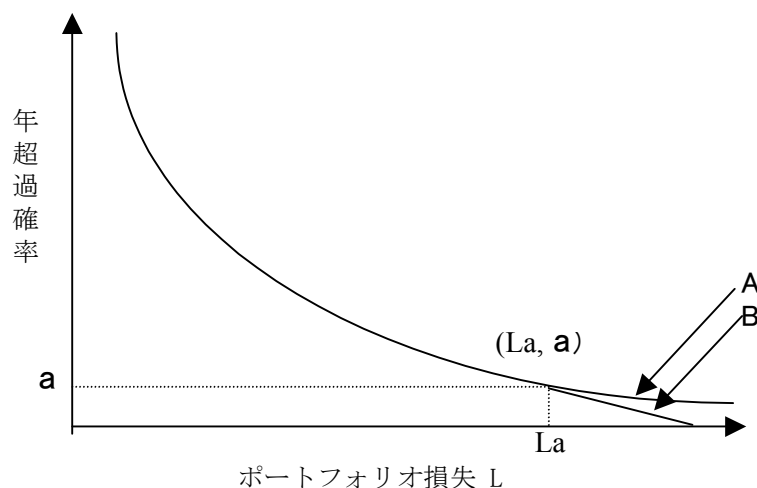


図 5-1 リスクカーブと WCE

この考え方の説明は、モンテカルロ・シミュレーションを使って説明すると容易に理解できる。まず最初に、リスク許容レベルを a に設定する。地域の地震活動について N 年間のシミュレーションを実施するとする。このランダム・シミュレーションにおいては、確率が同じであるとする。各年毎に最悪のポートフォリオ損失を特定するとする。この結果、

N 個のイベント（損失）ができ、この N 個の損失を大きい順にランクづけする。N×a に最も近い整数に切り上げた値を M とする。WCEa は、上位 M 番目までの損失を平均することにより簡単に求めることができる。

簡単な例として、ある地域における地震活動を 1000 年間にわたってシミュレートしたとする。リスク許容レベルを 1/100 とすると M は 10 となる。上位 10 番目までの損失を（105,106 107, 108, 110, 112, 115, 117, 120, 130）とすると WCE は 1130 を 10 で割った値 113 になる。この例では La は 105 であるので、損失の大きい部分を問題にする場合やテイル部分の大きさにより指標を変化させたい場合には有効な指標となり得るものである。

提唱者である Gordon Woo は、厳しいリスク管理を必要とする金融業界では、WCE が将来使われるようになるであろうと予測している。

5.2. 今後の地震危険度指標の考え方

これまで地震危険度指標の由来と変遷と、地震危険度指標としての PML について各業界における利用の現状について述べた。歴史的に見れば、地震危険度指標の定義は、地震学的知見の蓄積、コンピュータ能力の向上も含む地震被害予測技術の発展と共に、より科学的で合理的なものに変わってきているといえよう。しかし、PML という危険度指標が普及し始めてはいるものの、その定義が明確に統一される方向に進んではいない。

一方、地震 PML の利用の現状を見ると、果たして地震 PML の定義を統一できれば、あらゆる関係者が地震リスクの大きさを表す量として PML を受け入れることができるのか、という疑問が生じる。例えば、性能規定型耐震設計において PML を耐震性能の目標値に設定する場合、PML 以上の損失が生じないように設計を行うわけだから、PML は 90 パーセンタイル値を採用するなど、不確実性を保守的なレベルで捉える見方をするのが合理的であろう。一方、保有資産の地震リスクを評価する場合、過剰に評価すれば不必要なリスクコストを考慮することになるため、90 パーセンタイル値ではなく、不確実性を合理的に取り込んだリスクカーブによる予想損失額を考える方が適切であるといえる。

このように、地震リスクをどのように捉えるかは、これに関わる関係者の立場、目的、自己の保有資産あるいは財務力に対するその地震リスクのインパクトの大きさなどによって異なるといえよう。この場合、地震危険度指標として統一した PML の定義を目指すよりも、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把握した上で、その目的や立場に応じた適切な指標値を選択するのが望ましい。PML という言葉を用いるにしても、その定義を明示するなど誤解や混乱を招かないような措置は最低限必要であろう。

最後に、地震危険度指標を考えるに際して、予想損失額とその年超過確率をどのように

考えればよいかについて考察する。年超過確率に関して、不動産業界では PML の年超過確率として 0.21%、再現期間 475 年が一般的に用いられている。しかし、全国一律に再現期間 475 年を採用する理由が明快に示されているわけではない。また、不動産証券の中には、5 年間という比較的短期のものから 30 年という長期にわたるものもある。それらを一律に再現期間 475 年の PML で地震リスクを評価してよいのかという疑問も出されている。地震調査研究推進本部において、時間依存モデルを使った長期的な地震発生確率の評価が行われている（文献 24）ので、長期の不動産証券に対してはこれらの情報を取り込んだ評価をしても良いかもしれない。

この他、保有資産の地震リスクマネジメントを考えると、果たして全国一律に同じ年超過確率を適用してよいのかという問題も提起される。その一例を示そう。地震活動度が高い東京と、地震活動度が比較的低い福岡において、同様な建物が同様な地盤上に建てられているものと仮定して、その地震イベントカーブを比較した図を図 5-2 に示した。

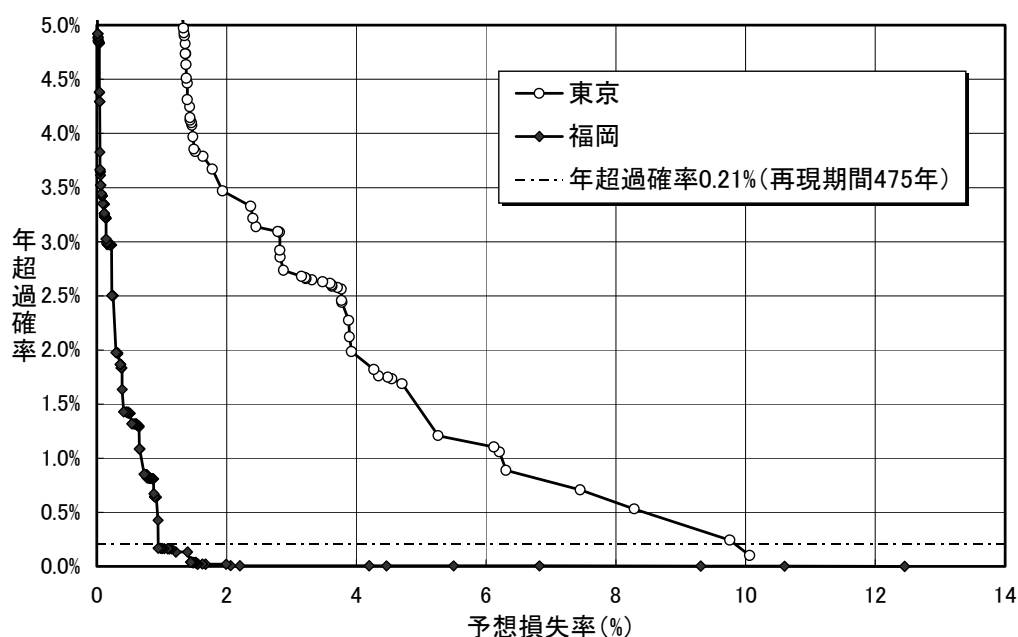


図 5-2 東京と福岡の建物のイベントカーブ比較

東京の建物のイベントカーブは高い地震活動度を反映して各予想損失率に対して大きな年超過確率を示すカーブになっている。一方、福岡の建物のイベントカーブは東京と比較すればきわめて小さい年超過確率のカーブとなり、両者はそれぞれの地震活動度の違いを反映している。年超過確率 0.21%の損失率は、東京の建物は 10%弱であり、最大損失をもたらす最悪イベントの損失率とも近く、この数字は地震リスク危険度指標として考えても特に問題はないかもしれない。一方、福岡の建物の年超過確率 0.21%に対する予想損失率

は約 1%と極めて小さい値となる。しかし、地震活動度が低いとはいえ、福岡においてもマグニチュード 7 クラスの地震が直下で発生する可能性は懸念される。イベントカーブにおいて、極めて小さい確率ながら最悪イベントの約 12.5%がこれに相当する。福岡の建物の地震リスクマネジメントを検討するに際して、年超過確率 0.21%の予想損失率が 1%と小さいので地震リスクの心配なしとの結論を短絡的に出すことには、やや懸念が残る。もし、保有資産が唯一この福岡の建物だけであり、損失率 12.5%という被害損失が自己の財務力から見て極めて重大な損害である場合、確率は小さいといえどもこれを無視することは危険であり、なんらかの対応策を講じる必要がある。

上記の例では、年超過確率 0.21%の損失率は、東京の建物が 10%弱、福岡の建物は約 1%で、東京の 10 分の 1 である。一方、指標として前記 5.1.3 の WCE を使うと、損失率は東京の建物は約 10%で殆ど変わらないが、福岡の建物は約 4%となり、東京の 10 分の 4 となる。このように、WCE の概念を導入することにより、従来リスク指標では表現の難しい場合も、リスクの大きさをより合理的に、かつ実感に近い形で表現できるようになると考えられる。

この例から分かるとおり、地震危険度の許容レベルは、保有資産（ポートフォリオ）の特性（地域的な集中度、分散状況あるいは大きさ）や自己の財務力などと比較して、相対的に判断するのが適切と考えられる。それでは、地震危険度の許容レベルは何を基準にして決めるのが適切であろうか。地震危険度を財務的な問題と考えれば、債権などの信用リスクを参考にすることが考えられるかもしれない。例えば、地震被害が財務に大きなインパクトを与え資金繰りが困難になる状況はいわゆる経営困難に陥る状況であり、信用リスクと同様に考えることができよう。また、不動産証券において、対象建物が地震により致命的な損傷を受けて使用不可の状態になれば、建物から収益は得られず証券はデフォルト状態となる。これはまさに証券の信用リスクと同等である。

さて、日本格付投資情報センター（R&I）は、信用リスク比率情報をニュースリリースとして一般に公開している（文献 25）。信用リスク比率とは、格付けを取得した企業その後一定期間内に経営困難に陥る比率であり、ここで経営困難とは、「倒産・経営破綻」、「債務超過」、「3 期連続経常損益赤字」、「3 期連続経常収支赤字」と定義されている。この定義に基づいて、日本格付投資情報センターは過去のデータを収集整理して、格付け取得後 10 年以内に経営困難に陥る比率として、格付別に 10 年累積信用リスク比率を公表している。これを表 5-1 に示す。

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）

格付	10 年累積信用リスク比率	年確率	
AAA	0.14%	0.0140%	1/7,138
AA	1.36%	0.1368%	1/730
A	3.29%	0.3340%	1/299
BBB	7.87%	0.8163%	1/122
BB 以下	23.67%	2.6649%	1/37

格付は、社会的な信用度を表わす指標となりうるので、この格付と信用リスク比率の関係を用いて、地震危険度の許容レベルを考えるのも一つの方法である。例えば、財務上経営困難になることが懸念される予想損失額を求め、リスクカーブから読み取ったその年超過確率が 0.014%以下であれば、AAA 並みの格付が得られるほど危険度は小さいと判断される。また、現状では BBB クラスの年超過確率しか得られないが、企業としては AA クラスの安全性が必要とすれば、自己保有のリスクカーブを AA クラスの年超過確率に低下させることを目標に、リスクの低減策あるいはリスクの移転策などを講じることになろう。

ここで挙げた例は、一考察であって将来の可能性を示したものだが、仮にこのような考え方を導入するのであれば、信用リスクと地震リスクを同じ位置付けで評価することに関して、両者の本質的な差異を含めた検討は重要である。地震リスク評価によって算出された損失の強度（大きさ）や、それとセットで提供される確率の情報などから、様々な意思決定が下されることになるが、損失の強度に比して、確率という概念は直感的に捉えづらい。地震リスクをより具体化して把握することを可能とするためにも、明確な根拠に基づいた明瞭な危険度指標が導入されることは非常に有意義であり、有効な情報である。

参考文献

- (1) C. Bennett (1992) : Dictionary of Insurance
- (2) Earl W. Hart, William A. Bryant (Revised 1997) : Fault-Rupture Hazard Zones in California -Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps, Special Publication 42, California Department of Conservation Division of Mines and Geology
- (3) Richard L. Meehan (1984) :The Atom and the Fault Experts, Earthquakes, and Nuclear Power, The MIT Press
- (4) Stubbs N. (1999) : A Probable Maximum Loss Study of Critical Infrastructure in Three Caribbean Island States, Report for USAID Office of Foreign Disaster Assistance
- (5) C. Allin Cornell (1968) : Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, No. 5
- (6) 1994 UNIFORM BUILDING CODE, International Conference of Building Officials
- (7) S.T. Algermissen : An Introduction to the Seismicity of the United States, U.S. Geological Survey
- (8) USGS (U.S. Geological Survey) website — <http://geohazards.cr.usgs.gov/eq/html>
- (9) Applied Technology Council (1985) : Earthquake Damage Evaluation Data for California, ATC-13, Report funded by Federal Emergency Management Agency
- (10) Masoud M. Zadeh (2000) : Understanding Risk Management, Financial Management of Earthquake Risk, Chapter 1, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland
- (11) Karl V. Steinbrugge(1982) : Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis an Anatomy of hazards, Skandia America Group
- (12) Richard J. Roth Jr., Teresa Q. Van (1995/6) : California Earthquake Zoning and Probable Maximum Loss Evaluation Program, California Department of Insurance
- (13) Richard J. Roth Jr., Teresa Q. Van. (1997/8) : California Earthquake Zoning and

Probable Maximum Loss Evaluation Program, California Department of Insurance

- (14) Richard J. Roth Jr. (1997) : What are the Principles of Insuring Natural Disasters, California Insurance Department
- (15) 兼森 孝 (2000) 「リスク分析」 土木学会 JSEC Vol85
- (16) 損害保険料率算定会 (2000) 「活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究～地震ハザードマップの提案～」 地震保険調査研究 47
- (17) Y. Fukushima and T. Tanaka (1991) : A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Shimizu Technical Research Bulletin, 10
- (18) 翠川三郎・松岡昌志 (1995) : 「国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価」 物理探鉱 Vol.48 No.6.
- (19) 中村孝明・中村敏治 (2000) : 「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)
- (20) 応用アール・エム・エス株式会社, 株式会社イー・アール・エス (2001) : 「具体的事例をもとにした地震リスクマネジメント - 永続的企業繁栄のために -」 セミナー資料集
- (21) 緑川光正 (1997) : 「「Vision2000-建築物の性能指向耐震工学」の概要」 建築防災 '97, 12
- (22) Standard Guide for the Estimation of Building Damageability in Earthquakes American National Standard---Designation:E2026-99
- (23) 社団法人建築・設備維持保全推進協会 (BELCA), 社団法人日本ビルディング協会連合会 (2001) : 「不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート作成に係わるガイドライン」
- (24) 地震調査研究推進本部ホームページ、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- (25) 格付投資情報センター (2001) : 格付けとデフォルトの関係 - 広義デフォルト率・格付推移行列・信用リスク比率

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 20 日発行

発行 損害保険料率算出機構

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 1-9

TEL 03-3233-4418 (直通)

FAX 03-5281-1053

E-mail kenkyu@grp.nliro.or.jp

URL <http://www.nliro.or.jp/>

印刷 株式会社 三千和商工

〒104-0032 東京都中央区八丁堀 3-13-9