

巻頭言

リスク曲線と性能論

日本原子力研究開発機構・リスク情報活用推進室・室長，東京大学名誉教授

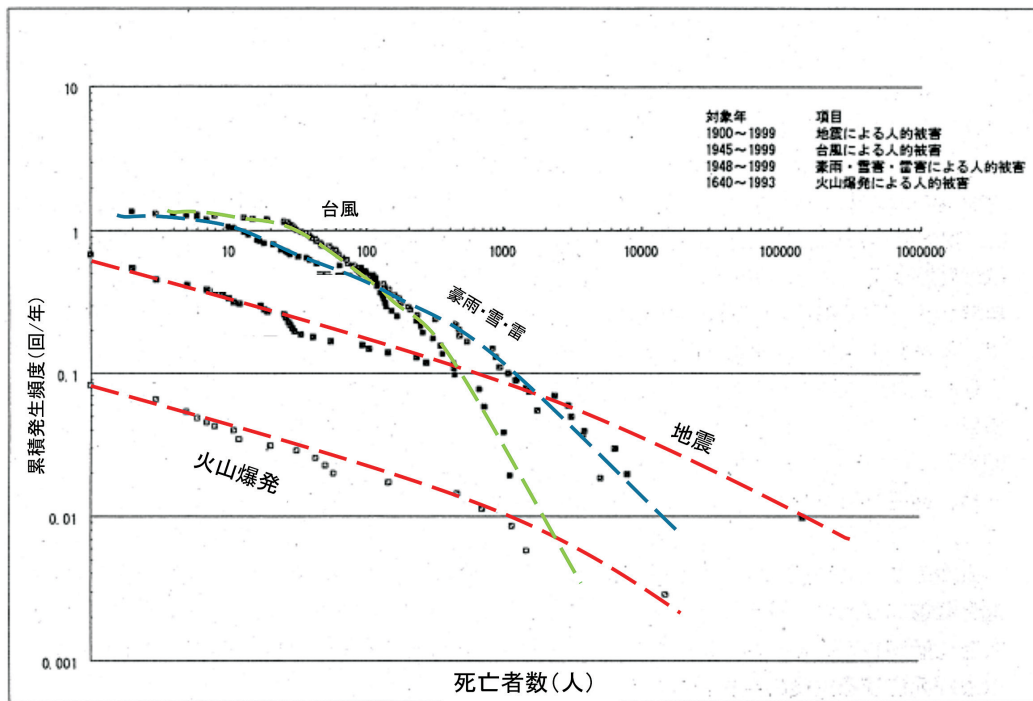
高 田 毅 士

序

本稿は2021年初頭に作成している。丁度，新型コロナウイルス感染拡大防止に対し首都圏に緊急事態宣言が発出された時期であり，今後の感染収束が全く見えない状態である。日本自然災害学会では，新型コロナウイルスによる感染被害は対象外かもしれないが，このような感染症は，将来の被害が容易に予測できないこと，対策に関する経験知が少ないこと，被害が一国のみならず近隣諸国にも同時に生じることなど，自然現象に起因する大地震・大津波や台風などによる災害とも共通する点は少なくない。また，筆者のように原子力分野において自然災害や人工物の災害軽減に関わっているものとして，コロナリスクの低減に直接的な貢献はできないものの，予期しない災害への対応には共通する部分は多いと思われる。本寄稿はそのような思いで引き受けることにした。以下には，2011年の東日本大震災における津波被害，福島第一原子力発電所の事故を経験して工学に携わる専門家の一人として標題に関して日頃より考えていることを記した。

リスク曲線の有効性

図1は，日本国内における過去の災害統計を基に横軸に死者数，縦軸にその被害以上となる事象の年当り発生頻度を要因別に描いたもので，リスク曲線あるいはFN（頻度－被害数）曲線と呼ばれている。この図より，異なる災害の特徴や災害の大きさに応じた発生頻度を知ることができ，各災害対策の優先順位や対応策の選定に有効である。ただし，これらは過去の統計情報に基づくため将来の被害予測に直接利用することはできないが，過去の被害を定量的に理解する上では極めて重要な情報である。一方，過去の被害統計情報が少ないものや極めて稀な被害については何らかの予測モデルを用いてリスク曲線を推定することになる。このようなリスク推定は，損保業界，原子力業界のようにリスク評価手法として既に確立され実用に供せられている分野もある。



出典：防災白書、消防白書、戦後の重大事件早見表（毎日新聞社） 他

図1 日本における自然災害によるリスク曲線比較¹⁾

ISOによると、「リスクとは、対象とする事象の発生確率（頻度）と、事象発生後の被害量の組み合わせ」と定義されている。組み合わせとは被害の発生確率と被害量の積（期待値）とすることもありますが、これらの関係を二次元平面上のリスク曲線として表すことが多い。図2は建物を例として、ある災害に対する建物のリスク低減方法を示している。リスク低減する方法として、建物をより丈夫にする方法（ある被害量 C_0 に着目して、その被害の発生確率を低減する方法、 $p \rightarrow p'$ ）だけでなく、建物が被災した後の被害量を軽減する方法（発生確率 p_0 に着目し、被害量を緩和する方法、 $C \rightarrow C'$ ）も考えられる。それぞれ、予防（prevention）、緩和・軽減（mitigation）と呼ばれることもある。どちらの方法が実現可能でまた効果的であるかは対象とする被害により多様である。

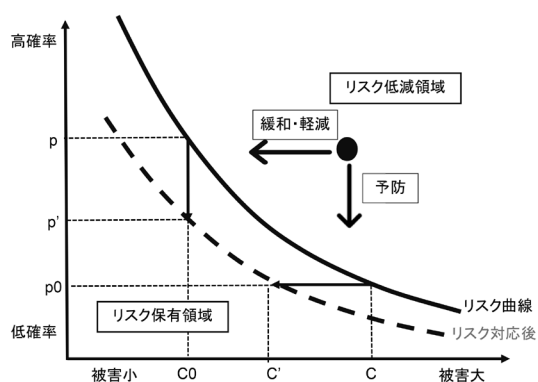


図2 リスク低減方法²⁾

例えば、地震と津波による人命損失を対象にする場合、地震リスクの軽減は両方（予防と緩和）の方策があり得るが、津波リスクの軽減については、堅牢な防潮堤を築くことよりも津波警報・避難対策の充実が有効な場合が多い。すなわち、リスク低減するには、強い構造物を造るだけの一面的な対応では不十分で被害の様相に応じた多面的方策を考える必要が生じる。

また、リスク低減方策の選定は被害の様相にも依存する。例えば、過去の地震被害による死者の死亡原因を調べてみると、関東大震災では死亡者の9割弱が地震後火災による焼死であり、阪神・淡路大震災では早朝の地震発生による建物倒壊による圧死が8割以上を占め、そして、東日本大震災では大津波による溺死が9割以上となっている。命の失い方は災害によって全く異なり、対応策を誤れば効果は限定的となることに注意すべきである。

都市システムを対象とした包括的性能確保のすすめ

図3は原子力施設の津波被害軽減のためにリスク曲線を用いた例であり、津波リスク低減には、設計で対応できる（した方が適切な）領域、設計を超えた領域、そして、防災・減災対策で対応すべき領域を明確にしたうえで、相互にバランスよく包括的に性能を確保することの重要性を示している³⁾。この考え方は一般の建物単体でも建物群でも都市全体に対しても適用できる。

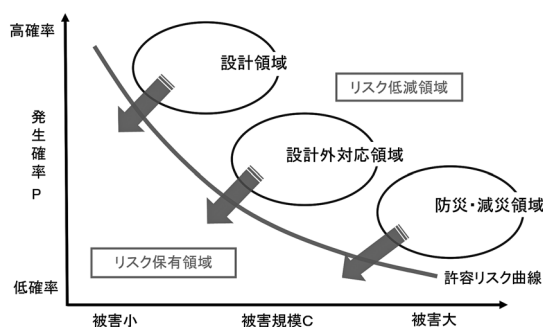


図3 多段階リスク低減スキーム³⁾

以前より、都市防災を考える際、現在の防災計画が都市のどのような性能をどの程度確保するように設計されているのか疑問であった。逆に言うと、都市防災において被害をゼロにするという究極の目標に対して、現実的には様々な制約があることからある程度の被害は許容せざるを得ない領域が存在するのではと考えたのである。また関連して気になっていることとして、東日本大震災後、「防災」という用語よりも「減災」という言葉がよく使われるようになってきた印象がある。「防災」が災害を防ぐことが目的とするなら、「減災」は災害を減ずることが目的である。「減災」を考える場合には、どの程度まで被害を減ずるのかといった定量的な議論も同時になされるべきではと考えていた。

このようなことを考え合わせながら、都市全体の地震に対する要求性能について考えたものが、図4の都市の要求性能マトリクスである⁴⁾。都市の要求性能についてはいろいろな視点があり分野横断的にしっかりと分析すべきと考えるが、ここでは建築物の要求性能

地震動の設定レベル	地震に対する都市システムの耐震性能の基本要求			
	通常活動維持	経済活動維持	都市インフラ保全	人命保護
頻繁な	●	×	×	×
時々	■	●	×	×
稀に	★	■	●	×
極めて稀に		★	■	●

×：受容不可，●：通常のレベル，■：地震に強い都市を目指すレベル，★：さらに地震に強い都市を目指すレベル

図4 都市システムの要求性能マトリクス⁴⁾

に基づく耐震設計の検討事例を参考にした。建物単体に要求される地震時性能としては、建物用途に係る「機能性保持」と人命保全のための「安全性確保」が考えられる。これを都市全体に拡張した場合には、図に示すように地震に対する基本要求性能として、1) 人命保護、2) 都市インフラ保全、3) 経済活動維持、4) 通常为社会活動維持が考えられる。

図4の縦の行には、考慮する地震動の設定レベルをその発生頻度で表したもので、下に行くほど稀で大きな地震動を対象としていることになる。一方、横の列は都市の要求性能を表している。丸印の部分は、通常の都市では、頻繁に生じる程度の小さい地震動下では都市の通常活動は損なわれることがなく、時々生じる中地震動下では経済活動は十分維持される必要があり、稀に生じる大地震動に対しては都市のインフラ機能は最低限保持されている必要があり、極めて稀に生じる極大地震動下でも人命保護は確保される、といった性能の目標を表している。また、×印の部分は、社会として受容できない状態を表している。図中の□印や☆印の部分は、耐震性能に関して一ランク上の水準を確保したい都市の目標を示している。どのレベルを目標にするかは対象とする都市の他の災害リスクとの比較、都市の財政事情などにより定まることになる。都市によっては台風リスクが支配的となる地域もあり地震リスク低減に予算が回らないこともあり得る。

ここで提案した都市の要求性能マトリクスは、外力の発生頻度とその条件下の要求性能の対であり、前述したリスク曲線の離散化表現に他ならない。これは、頻度と被害レベル(要求性能レベル)の二次元平面上で都市の被害全体を俯瞰して被害制御する考え方であり、効果的な防災計画の立案にも、また、防災計画の説明性の向上にも有用と考える。

結

リスク曲線を用いた被害軽減の基本的考え方、どのような被害をどの程度に抑制するのかといった、要求性能に立脚した性能確保の考え方を紹介した。対象とする災害から何を守るか（要求性能の明確化）、それをどのように守るか（被害軽減対策の選定）、そして、それをどこまで守るか（要求水準の設定）を明確にすることにより、実効ある被害軽減が可能となるはずである。

新型コロナ対策についても、現在、国を挙げて感染者数の拡大防止、医療の逼迫度の緩和、経済活動の維持などが精力的になされており、必ず回復に向かうと信じている。しかし、すぐにはコロナ禍は収まるとは思われず、以前の通常の社会に早く戻れることを心より願うばかりである。最後になりましたが、読者におかれましては、2021年が健康で安全な年になりますことをお祈りします。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会, 安全目標専門部会の調査審議状況, 2002
- 2) 東京大学大学院工学系研究科編「震災後の工学は何をめざすか」, (株)内田老鶴圃, 2012
- 3) 日本地震工学会, 原子力安全のための耐津波工学, 2015
- 4) 高田毅士, 「都市システムの耐震性能確保の基本」, 現代都市の複合システムにおける性能設計と耐震性能評価シンポジウム基調講演, シンポジウム資料, 日本地震工学会, 2019