

地震リスクを考える：損失期待値/宝くじ/通勤定期

武蔵工業大学 正会員 ○吉川 弘道  
東急建設(株) 正会員 野口 聡

1. ‘リスク’って何？：広義のリスクと狭義のリスク

リスク/risk という言葉は日常において頻繁に使用されるが、百科事典から紐解くと、「・予測できない危険(リスクが大きい)・保険者の担保責任」(大辞林)のように解説される。これに呼応して、リスクー/risky(危険な、きわどい)なる用語も用いられるが、いずれも、『滅多に起こらないが、もし起きると大変なことになる』という意味が言外にある。これらを、‘広義のリスク’と考える。

一方、工学的に使用されるリスク(Engineering Risk)を‘狭義のリスク’と考え、本報にて、その数学的定義と特徴を、宝くじと通勤定期券に比喻して論じたい(文献1),2)から一部抜粋した)。

2. 狭義のリスク：Engineering Risk

工学的リスクを地震災害に適用する場合、「ある構造物のある一定期間における地震による損失期待値」として表す。リスク(risk)とは危険要因の存在を示すハザード(hazard)のみではなく、損失の程度を定量的に算出する指標値と言え。同程度のハザードを有するとしても、想定される影響が小さければリスクは低く、甚大であればリスクが高いということになる。

整理すると、狭義のリスク(Engineering Risk)とは、事態の発生確率とその結果の組合せである損失期待値(Expected Loss)として、次のように記述される。

$$\text{地震リスク } R = \text{損失発生確率 } p \times \text{損失規模 } D \quad (1)$$

$$R = \sum_{j=1}^k (p_j \times D_j), \text{ ただし, } \sum_{j=1}^k p_j = 1 \quad (2)$$

3. 身近なリスクの適用例#1：簡単な宝くじ

狭義のリスクは、宝くじの例を考えると容易に理解できる。例えば、次の2つの一等賞金があったとする。

① 1等賞金2億円。発行2千万本のうち3本当選

② 1等賞金1億円。発行6百万本のうち2本当選  
購入者は、賞金額に目を奪われ勝ちであるが、冷静に考えると両者の期待値は次のように単純に算定される。

$$\text{① } 2\text{億円} \times \frac{3\text{本}}{2\text{千万本}} = (2 \cdot 10^8) \frac{3}{2 \cdot 10^7} = 30\text{円}$$

$$\text{② } 1\text{億円} \times \frac{2\text{本}}{6\text{百万本}} = (1 \cdot 10^8) \frac{2}{6 \cdot 10^6} = 33\text{円}$$

すなわち、賞金額は①の方がよいが、期待値から見ると、②の方が上回ることが客観的に判断できる。当然の事ながら、例えば、宝くじ②の購入者はこの33円を受け取ることはない(発行宝くじすべてを買い取れば、1枚あたり33円として受け取ることになるが)。1枚買っても多分‘はずれ’であり、極々稀に1億円が当ることになる。地震リスク解析ではこの2量が重要な意味合いを持ち、1等賞金額はPML/予想最大損失額、期待値はNEL/年間損失期待値、に相当をする。

4. 身近なリスクの適用例#2：通勤定期の購入

通例、通勤定期の購入によって交通費は割り引きされるが、一方では、定期券の紛失の心配(=潜在的なリスク)がある(特に、著者の場合)。

表1 通勤費のリスク計算

計算条件:	
交通費: 月平均20往復通勤。1往復(尾山台駅⇄鶴の木駅): 300円。 定期券: 1ヶ月定期券5,710円, 3ヶ月定期券16,280円。 紛失確率: 1月当たり5% (少々あわてん坊ということで)。	
#1: 定期券なし/20往復の切符をその都度購入。	1往復300円×20往復 300円/1往復×20往復=6,000円
#2: 1ヶ月定期券を購入。ただし購入後紛失した場合、残りの通勤(期待値10回)時には切符(300円/1往復)を購入。	紛失しない ⇒ 0.95 × 0円 = 0円 紛失する ⇒ 0.05 × 10回 × 300円 = 150円 合計: 5,710 + 150 = 5,860円
#3: 3ヶ月定期券を購入。ただし購入後紛失する危険性(各月5%)があり紛失した場合残り通勤の都度切符(300円/1往復)を購入。	1ヶ月目に紛失 ⇒ 0.05 × 50回 × 300 = 750円(50往復残) 2ヶ月目に紛失 ⇒ (1-0.05) × 0.05 × 30回 × 300 = 428円(30往復残) 3ヶ月目に紛失 ⇒ (1-0.05) <sup>2</sup> × 0.05 × 10回 × 300 = 135円(10往復残) 紛失しない ⇒ (1-0.05) <sup>3</sup> × 0 = 0円 合計: 16,280 + (750 + 428 + 135) = 17,593円 ⇒ 1月あたり: 5,864円

そこで、通勤定期を購入するリスクを「紛失リスク=紛失の確率×紛失した時の余計な出費」にて定義し、「総期待値=定期券代+紛失リスク」によって算定し、#1: 買わない, #2: 1ヶ月定期購入, #3: 3ヶ月定期購入, の3ケースを試算/比較した(表1上段)。

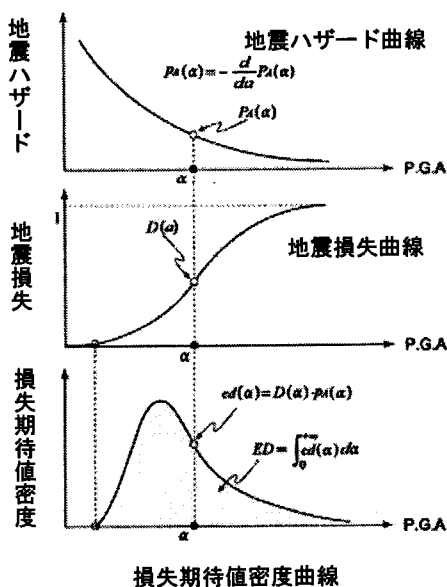
キーワード 地震リスク, 宝くじ, 通勤定期券, 損失期待値, 性能設計  
連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 都市工学科 TEL 03-3703-3111

結論として、#2:1ヶ月定期券を購入が、最も安価(僅差であるが)となり、交通費の期待値は5,860円となる。(実際、著者は1ヶ月定期券を毎月購入している)。もちろん、定期券の割引率と紛失確率の大小によって期待値は異なり、紛失リスクがゼロであれば、長期定期券ほど安くすむことになる。

ここで、いずれの場合も、互いに背反となる全事象の確率の総和は1となっていることを確認されたい。例えば、#3の場合4つの独立事象で構成される。

$$\sum_{j=1}^k p_j = 0.0500 + 0.0475 + 0.0451 + 0.8574 = 1.000$$

なお、ここで試算した総期待値は、ライフサイクルコストと同じ意味合いを持つことを付記する。



・年末ジャンボ宝くじ (右図) :

上図/当選確率 p (確率密度関数:log スケール)

中図/当選賞金額 G

下図/当選金額の期待値 (両者の積 p×G)

さらには、これら2例は横軸が共通している(地震リスクでは最大加速度 P.G.A., 宝くじでは賞金等級)こと、および、最下図の面積が期待値(地震リスク解析では損失期待値, 宝くじでは1枚あたり賞金期待値)となっていることに着目し、再度比較されたい。

6. まとめ: 地震リスクと性能設計

地震災害の特徴は、発生確率は極めて小さいが、一旦被災すると重大な損失を被り、かつ営業停止など社会的な影響が大きいことである。耐震性能設計は、こ

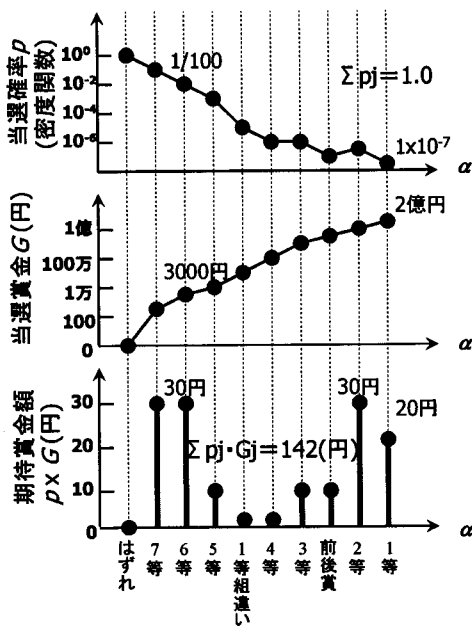


図1 期待値の算定手順の比較: 地震リスク (左図) と年末ジャンボ宝くじ (右図)

5. 身近なリスクの適用例#3: 再度宝くじ

今度は、実際の宝くじ(年末ジャンボ宝くじ)の賞金構造を分解して、これが地震リスク解析における損失期待値の算定過程と酷似することを示したい。

そこで両者を図1のように例示したが、2例ともに、上図、中図、下図の3つで構成され、対比できる。

・地震リスク解析 (左図) :

上図/地震ハザード曲線 (超過確率で表した地震動の発生確率 p\_A(α))

中図/地震ロス関数 (地震動と損失の関係 D(α))

下図/地震損失期待値の密度関数 (p\_A×D)

れだけの地震に耐えられる'ことを照査するものであり、地震リスクは、'これだけ、壊れるかもしれない'ことを定量的に示すものと理解できる。リスク解析のアウトプットである損失期待値は、LCCにおける初期コスト、ランニングコストなどと同列の金銭値になることが特徴である。

参考文献

- ・ 吉川弘道: 鉄筋コンクリート構造物の耐震設計と地震リスク解析, 丸善, 2008.2
- ・ 吉川弘道, 中村孝明: 土木/建築施設の地震リスク評価とコンクリート構造物への適用, コンクリート工学, Vol.45, No.4, pp.16-22, 2007.4