

投資利回りによる耐震投資の意思決定

中村孝明¹・望月智也²

¹正会員 博士(工学) 株式会社篠塚研究所 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 4-5-1 幸伸ビル新宿 3F)

²正会員 工修 株式会社イー・アール・エス (〒107-0052 東京都港区赤坂 3-11-15 桔梗ビル 3F)

構造物や施設は便益や収益を生む資産と見なすことができる。これにより、金融工学で利用されている収益還元法を適用することで、施設の資産価値を見出すことが可能となる。その中に、損失となる地震リスクを取り込むことができれば、資産価値の目減り分として資産価格に反映することができ、更に、耐震補強や保険などの地震対策を、投資という視点で捉えれば、収益還元法の枠組みの中で、より緻密に投資効果を分析でき、意思決定に反映することができよう。本報は、収益還元法に地震リスクならびに耐震投資を取り込むことで、投資対効果を記述できる新たな意思決定情報の提案を行い、試算を通じて適用性の検討を行う。

Key Words : risk-return curve, internal rate of return, seismic risk, insurance, discounted cash flow method

1. はじめに

資産価格理論¹⁾²⁾は、資産を持つことで得られる将来収益を現在価値に割り戻して資産価格を評価する考え方であり、金融分野では資産価値を評価する基本概念として浸透している。一般的には、収益還元法として知られ、直接還元法とDCF法(Discounted Cash Flow method)³⁾⁴⁾に分類できる。前者は、資産が生む単期後の収入を還元利回りで割り引く方法で、将来的な収益の変化や資産の売却時の価格を反映させることができない。これに対し後者は、多期間の収入の変化や売却価格を反映させることができ、近年特に、不動産価格の評価に利用され、不動産鑑定評価においてもその利用が認知されている。

一方、地震対策には、物理的な対策である耐震補強と地震に伴う損失を転嫁する保険や証券化などがある。物理的な対策による支出は短期的であるのに対し、保険や証券化は、長期的な支出となる。ただし、物理的な対策でも借入を行う場合は、利子を含めた長期的な支出となる。これら支出形態の異なる耐震投資の効果を検討するには、初期費用にランニングコストを含めたライフサイクルコスト(LCC; Life Cycle Cost)⁵⁾⁶⁾手法の適用が考えられる。ところが現状のLCCの多くは、現在価値への割り戻し、不確実性や収益が考慮されていないため、将来予想される収支変化やばらつき、支出形態の異なる対策の実質的な効果を評価するには十分とは言えない。また、耐震投資の効果は、地震リスクを軽減するだけに止まらず、賃貸オフィスであればテナントの入居判断において

有利であり、さらに保険料の低下も期待できる。これらを将来の収支変動として計上し、統一的に評価する必要がある。また、耐震性能ならびに耐震投資の効果は施設によって様々であり、これらを一元的な指標で比較することが望ましいが、その手法は未整備である。そこで、収益還元法の一つである直接還元法を使い、資産のパフォーマンスをリスクと利回り(リターン)によって記述し、投資形態の異なる耐震投資の効果をパフォーマンスの向上として比較できる意思決定情報を提案する。

2. 収益還元法³⁾⁴⁾

期毎(毎年)に変化する正味純収益(NOI: Net Operating Income)を c_i ならびに一定期間後の資産の売却額(復帰価格)を v とすると、DCF法による資産価格は、以下のよう求められる。

$$y = \sum_{i=1}^n c_i (1+r)^{-i} + v(1+r)^{-n} \quad (1)$$

ここに、 y は現在の資産価格で、 n は評価の期間である。 r は還元利回り(年利)であり、無リスク金利に加え、インフレ率や各種のリスクプレミアムから構成される。無リスク金利はリスクのない投資に対する利回りであり、国債の短期金利などがこれに相当する。リスクプレミアムは無リスク金利と有リスク(リスクのある投資利回り)のその差であり、評価モデルとして期待効用理論、資産価格モデル(CAPM; Capital Asset Pricing Model)、マーケ

ットモデル, 裁定価格理論¹³⁾などがある。同式は, 収益の時間的な変化や売却時の価格を考慮した資産価値を評価するのに利用されているものの, リスクプレミアムの評価は必ずしも確立されているわけではない。一方, 一定期間定額の収入が得られる資産価値は, 復帰価格 v を省き, $c_i = c$ と一定とし, 以下のように求められる。

$$y = c\{1 - 1/(1+r)^n\}/r \quad (2)$$

ここに, n は定額が支払われる期間である。式(2)は, 毎年支払われる年金の評価や元利均等返済による住宅ローンの評価などに利用されている。このため, 式中の r はDCF法で使われる還元利回りとは概念上異質として扱う必要がある。

永久に定額が支払われるような資産の価値は, 以下のように求められる。

$$y = c/r \quad (3)$$

上式が直接還元法による資産価格の評価式であり, 一定額が永久に支払われる永久債(コンソル債)や株価, 前記した復帰価格の評価などに用いられている。以降ではこの手法に注視し, 特記がないかぎり大文字は確率変数を表す。

3. リスク・リターンによるパフォーマンス評価

資産が生む将来収益は不確実性を伴い, 確定的な値として記述することは問題がある。このため, 正味純収益は確率変数 C として扱う必要がある。直接還元法は定額が永久に発生することから, 基本的には以下のように示される。

$$Y = \sum_{i=1}^{\infty} C_i (1+r)^{-i} \quad (4)$$

式(4)は, $r > 0$ の範囲を前提に幾何級数を利用すると, 式(3)と一致する。ところが C_i は確率変数であり, 互いに独立と仮定し, そのパラメタを平均値 μ_C , 標準偏差 σ_C とすると, Y のパラメタ(μ_Y, σ_Y)は漸近値として以下ようになる。

$$\mu_Y = \mu_C / r \quad (5)$$

$$\sigma_Y = \sigma_C / \sqrt{r(2+r)} \quad (6)$$

式(6)は, C_i ($i=1 \sim \infty$)は互いに独立であることを前提に導かれるが, 完全相関を前提とすると $\sigma_Y = \sigma_C / r$ となる。金銭収支の時間軸上での相関(自己相関)を明らかにすることは難しいものの, 少なくとも資産価格の標準偏差は下式で示す範囲にあることは明らかである。

$$\sigma_C / \sqrt{r(2+r)} \leq \sigma_Y \leq \sigma_C / r \quad (7)$$

耐震投資の効果を一元的に比較できる考え方の提示を目的とする本報では, 議論を複雑化することは避け, 地震リスクを含め収支は時間軸上で完全相関であることを前提に進める。

さて, 資産価格 Y は C_i と r を所与として, 金額で与えられる。このため資産間でのパフォーマンスを一元的に比較することが難しく, さらに r の与え方によって資産価格は変化する。そこで, 内部収益率¹⁴⁾(IRR; Internal Rate of Return)を利用し, 耐震性能から見た資産のパフォーマンスを比較することを考える。内部収益率は, 資産が生む将来収益を現在価値に割り戻した価格と投資価格が等しくなる利回りを意味する。この解釈に従うと, 還元利回り r と内部収益率は同意となる。地震リスクを含めた将来収支の完全相関を前提とすると直接還元法による現状での資産価格は以下のように表される。

$$Y = (C - S - q)/r \quad (8)$$

ここに, C は資産が生む毎期の正味純収益, S は年間当りの地震損失, q は保険料等毎年の定額支出である。 Y は地震リスクならびに保険等の支出を考慮した現状での資産価値となる。 S, C が確率変数であるため, Y も確率変数となる。次に, 現状での資産価格 y は既知として式(8)を変形すると,

$$R = (C - S - q)/y \quad (9)$$

となる。式(9)は現状での資産価格 y を条件とした内部収益率を求める式となっている。耐震補強を行う場合は, 補強費用が資産価格 y に上乘せられ, 年間当りの地震損失 S は低下することになる。保険に加入する場合は, 保険料 q が正味純収益から差し引かれ, 実質収益は減少するものの, 地震リスクの転嫁により年間当りの地震損失 S も低下する。式(9)は, このような耐震対策による効果を内部収益率として記述することができる。ところが, R は確率変数であることから特定の値を設定することができない。そこで, R の超過確率関数を求める。同関数は R の密度関数 $f_R(r)$ より以下のように求められる。

$$G_R(r) = \int_r^{\infty} f_R(\xi) d\xi \quad (10)$$

式(9)より, R は S, C の一価関数であることから, R

の超過確率関数は、確率変数の関数の教えるところにより以下のように求められる。その際、積分範囲に注意する。

$$G_R(r) = 1 - F_R(r) = 1 - \int_{-\infty}^r \int_0^{\infty} f_{S,C}(s, g^{-1}) \left| \frac{dg^{-1}}{dr} \right| ds dr \quad (11)$$

ここに、 g^{-1} は式(9)を $C =$ に変形した逆関数である。更に、 S, C は互いに独立とすると、式(11)は以下のようになる。

$$G_R(r) = \int_r^{\infty} \int_0^{\infty} f_C(g^{-1}) f_S(s) \left| \frac{dg^{-1}}{dr} \right| ds dr \quad (12)$$

図-1に内部収益率の超過確率関数を概念的に示す。この図から、任意の内部収益率に対し、それ以上の利回りを得られる確率を縦軸に読むことができる。つまり、横軸のリターンに対するリスクを縦軸に読むことができ、これをリスク・リターン曲線と呼ぶ。同曲線は、高い利回りを期待するのであれば必然的にリスクは高くなり、低い利回りであれば確実性が上がり、リスクは低下することを定量的に示している。また、両軸とも無次元量であることから、資産の大小に関りなく資産間のパフォーマンスを一元的に比較することができる。

4. リスク・リターン曲線の定式化

地震リスクの記述方法は、地震ロス関数、リスクカーブ、年間損失期待値などが一般的に利用されているが、本報では、年間当りの地震リスク密度関数(リスクカーブの導関数)を利用する。同関数は以下のように求められる。

$$f_S(s) = \int_0^{\infty} p(s|x) h(x) dx \quad (13)$$

ここに、 $p(s|x)$ は地震動 x を条件とした損失額の確率密度関数、 $h(x)$ は $h(x) = -dH(x)/dx$ で表される地震ハザード曲線の密度関数である。

一方、年間当りの地震リスク密度関数についての詳細な議論は行わず、ここではWeibull分布に従うと仮定する。理由は、本報は耐震投資の効果を一元的に比較できる情報の提示を目的としていること、解析的な扱いができてパラメタの感度分析が容易であること、Weibull分布は年間地震リスク密度に比較的類似していること、などである。同分布は以下のように表される。

$$f_S(s) = \frac{k}{w^k} s^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{s}{w} \right)^k \right] \quad (14)$$

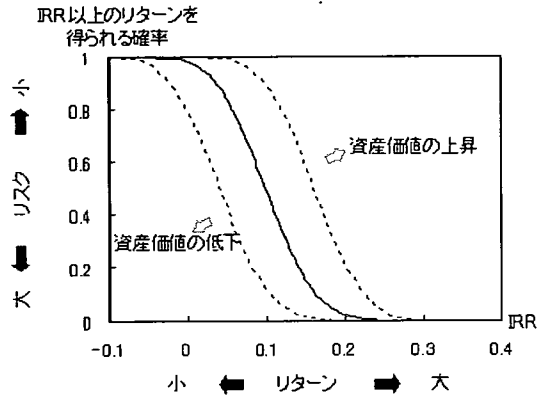


図-1 リスク・リターン曲線

ここに、 w, k はパラメタである。また、正味純収益 C は正規分布 $N(\mu_C, \sigma_C)$ と仮定する。

式(9)より、 g^{-1} は以下となる。

$$g^{-1} = c = yr + s + q \quad (15)$$

その微分を取る。

$$\frac{dg^{-1}}{dr} = y \quad (16)$$

式(14),(15),(16)を式(12)に代入する。

$$G_R(r) = \int_r^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{e^{a(r,s)}}{\sqrt{2\pi}\sigma_C/t} \cdot \frac{k}{w^k} s^{k-1} e^{-\left(\frac{s}{w}\right)^k} ds dr \quad (17)$$

ここに、

$$a(r, s) = -\frac{1}{2} \left(\frac{r - (\mu_C - s - q)/t}{\sigma_C/t} \right)^2 \quad (18)$$

式(17)の積分を実行すれば内部収益率の超過確率関数すなわちリスク・リターン曲線を求めることができる。

5. 数値シミュレーション

事務所ビルを対象に、耐震補強ならびに保険加入による効果をリスク・リターン曲線によって比較する。その際、正味純収益ならびに地震リスク、保険料等は、現状での資産価値(再調達価格)で基準化する。

(1) 耐震補強の効果

図-2に、Weibull分布で近似した対象ビルのリスクカーブを示す。パラメタ w, k は0.001, 0.4とし、年間損失期待値は0.0033である。耐震補強を実施した場合は、 w, k は0.0005, 0.4となり、年間損失期待値は0.0017に改善

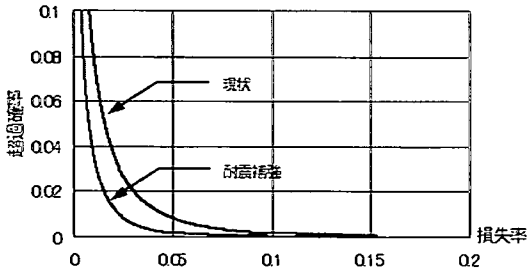


図-2 リスクカーブ

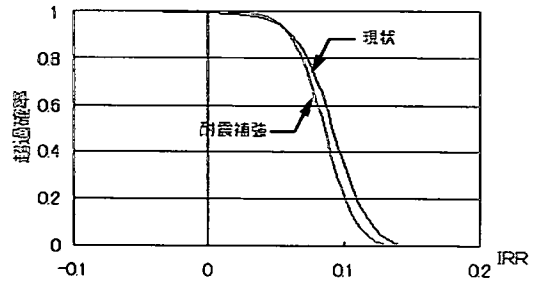


図-3 耐震補強によるリスク・リターン曲線

する。耐震補強の工事費は現状の資産価値の10%とする。これにより、対策を実施しない場合は $y = 1.0$ であるのに対し、対策を実施した場合は $y = 1.1$ となる。また、正味純収益は平均値 0.1、標準偏差 0.02 とし、補強による収益の増加は考えない。以上が計算の条件である。

図-3 に、耐震補強の効果を比較したリスク・リターン曲線を示す。横軸は IRR、縦軸はその超過確率である。図-4 は、超過確率 0.90 以上を拡大して示したものである。リスク・リターン曲線は、地震リスクの影響によりマイナスの領域にも現れている。これは、地震リスクや火災・爆発事故といった負のみが生じる純粋リスクを反映した結果であるが、正味純収益の変動性が大きい場合にも現れる。また、曲線と IRR=0 との交点の非超過確率は、当該資産のデフォルト確率（投資元本を割り込む確率）を表している。

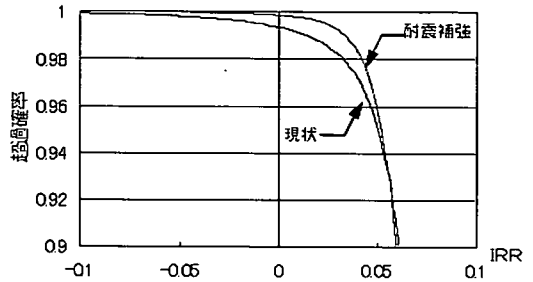


図-4 耐震補強によるリスク・リターン曲線
(超過確率 0.9 以上)

図-3 より、補強を実施した場合のリスク・リターン曲線は、現状に比べ左側に現れる。これは、補強費用を支払うために収益率が低下することを意味し、平均 IRR も 9.09% から 8.54% に減少している。また、初期投資と地震リスクのみを考慮した LCC の比較では、耐震補強を実施した場合は、しない場合に比べ 63 年で逆転することになる。つまり、当該ビル の 供用期間を 50 年とすれば、耐震補強は説明されない。これらの結果から、補強費用は無駄な出費のように思われるが、IRR が 5% 以下では、この傾向は逆転する（図-4 参照）。低い利回りで確実性を重視するならば耐震補強はすべきであり、高い利回りを期待する投機的な人にとっては、耐震補強はすべきでないことが分かる。これは、ビル所有者や管理・運用者の姿勢によって補強判断が異なることを意味し、特に、これまで LCC 評価では説明できなかったリスク回避的あるいは愛好的な投資家の行動を説明できる情報となる。

(2) 保険加入の検討

現状を維持しつつ、保険に加入した場合と加入しない場合を比較する。便宜上保険加入によって地震リスクは全てカバーされるものとする。毎期の保険料 q は 0.005、0.01 の 2 ケースとし、それぞれのリスク・リターン曲

線を図-5、図-6 に比較して示す。図-5 より、リスク・リターン曲線は保険に加入した方が右上に現れ、平均 IRR も 9.09% から 9.50% に改善される。従って、保険加入は説明されるものの、保険料の高い図-6 では、保険に加入することで平均 IRR は、9.09% から 9.00% に下がり、7.0% 以上の利回りを期待するのであれば、保険への加入は説明されない。逆に 7.0% 以下の利回りで確実性を重視するのであれば、保険に加入した方がよいことになる。

保険に加入すべきか否かは、保険料やカバーされる範囲に依存することは言うまでもなく、前記した補強対策を含め、本結果は一般的な傾向を示すものではない。あくまでも、意思決定情報としてのリスク・リターン曲線の合理性と利用可能性を示すことにある。

6. おわりに

耐震補強ならびに地震保険等は、来るべき地震への備えではあるものの、資産のパフォーマンスを改善するための投資戦略の一環として捉えることができる。このような観点から、利回り（内部収益率）を指標に、対策の投資対効果を評価できる考え方を示した。同時に、利回りは投資家のリスク受容度合いによって変わることから、リスクとリターンを直接関係付けることができるリスク・リターン曲線を提案した。そして、耐震補強ならびに地震保険の投資対効果の試算を行い、適用性について示した。

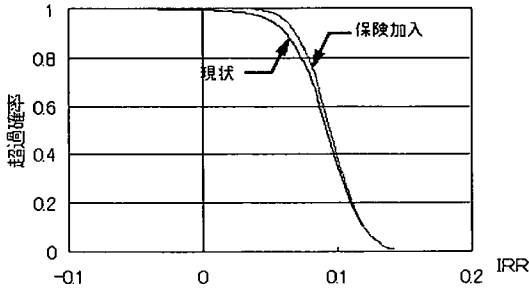


図-5 保険加入によるリスク・リターン曲線 ($q=0.005$)

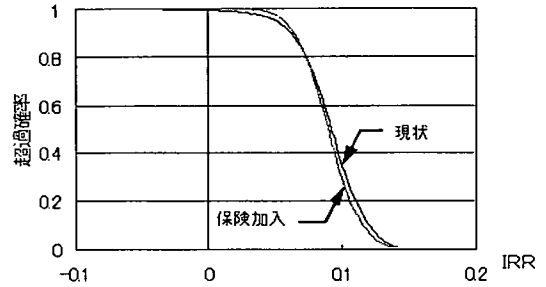


図-6 保険加入によるリスク・リターン曲線 ($q=0.01$)

論点としては、各種構造物や施設を収益資産と見なすことで、金融分野で利用されている資産評価の枠組み中に地震対策の費用や対策により地震リスク軽減を取り込むことができる。そして、対策の効果を資産のパフォーマンス向上として記述することで、合理的な意思決定が可能になると考える。

さて、鉄道施設やガス、電力施設等は、民間施設ではあるものの、公益性の高い施設であるため、採算性を重視する一方で、確実な機能維持、つまり安全性も重視しなければならない。リスク・リターン曲線は、このような一般企業の施設とは置かれている状況が異なる施設の安全性のあり方について、一つの見方を示してくれると考える。高い安全性が期待される施設の場合、例えば図-3、図-4に示す超過確率の高いレベル（例えば0.99など）で意思決定する必要があり、本例では補強実施の判断を下すことになる。一方、ある程度のリスクを認識した上で高い利回りを期待する施設では、超過確率の低いレベル（例えば0.8など）で意思決定することになり、本例では補強は説明されない。公益性の高い施設とそうでない施設を横並びで比較することができる利点は大きいと考える。

なお、本報では地震リスクならびに正味純収益は恒久的に変化せず、かつ時間的に完全相関であるとの仮定の

下、直接還元法を利用した。しかしながら、地震リスクにおけるポアソン過程、資産売却、解体、外生要因による収入の変化、さらには投資機会のタイミングを評価するリアル・オプション⁸⁾などを考慮できるDCF法を適用するのが実務上必要であり、今後の課題である。

参考文献

- 1) 野口悠紀雄, 藤井眞理子: 金融工学, ダイヤモンド社, p.279, 2000.
- 2) 川口有一郎: 不動産金融工学, 清文社, p.423, 2001.
- 3) 山内正教: 不動産投資理論入門, シグマベイズキャピタル, p.219, 2000.
- 4) 野村証券金融研究所: 金融工学辞典, 東洋経済新報社, p.423, 2001.
- 5) 塚田康夫, 木村雄一, 河村壮一: SRMによる免震建物のライフサイクルコスト評価, 第10回日本地震工学シンポ, pp.241-246, 1998.
- 6) 井関泰文, 増川淳二: ライフサイクル地震損失コストの考え方と事例, 第3回土木学会地震災害マネジメントセミナー, pp.35-41, 2002.
- 7) 中村孝明: 不動産証券化のリスクマネジメント, 山海堂, p.237, 2001.
- 8) 山本大輔: リアル・オプション, 東洋経済新報社, p.209, 2001.

(2002.9.6 受付)

A PROPOSAL METHOD FOR THE DECISION MAKING OF EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION WITH RISK-RETURN APPROACH

Takaaki NAKAMURA and Tomoya MOCHIZUKI

Structures and facilities can be characterized as an asset to produce benefit. Therefore, the asset pricing of facilities will be evaluated with an income capitalization model. If a seismic risk is quantitatively represented as financial loss, the seismic risk is taken in the income capitalization model as a part of loss in weight of the asset pricing. Further, from a point of view of an investment, the effect to reduce risk due to earthquake disaster prevention will be analyzed by applying the income capitalization model. This study will propose a methodology for decision making of earthquake disaster prevention that is represented by seismic reinforcement or earthquake insurance, and the validity of the proposed method is demonstrated through the numerical example.