

# 定量的リスク分析法—リスクカーブ法—

## A Method of Quantitative Risk Analysis—Risk Curve Profile—

兼 森 孝 (かねもり たかし)

応用アール・エム・エス(株) 取締役副社長

### 1. はじめに

地震、台風等の自然災害、商取引による金融リスク、環境汚染などの環境リスク、テロや政治不安などの政治リスク等など、現代社会は様々なリスクにさらされている。都市への過大な集中化、ますます複雑になる政治経済システムなどにより、リスクの大きさはさらに増大する方向にある。企業活動においても、いわゆる大競争時代の到来、二極分化の時代といわれ、これまで以上のタイトな経営を余儀なくされてきている。このような時代にあって、突然襲ってくる自然災害や危険に対して合理的で適正な対策を施すリスクマネジメントの必要性がますます高まってきている。

合理的で適正なリスクマネジメントを企画遂行するためには、保有しているリスクを出来るだけ客観的に数量的に分析、把握し、その上で最適な対応策を検討することが望まれる。本稿では、定量的なリスク分析法として、リスクカーブ法を紹介する。なお、一般にリスクの概念は幅広くとらえられているが、本稿で言うリスクは、「損失のチャンス(確率)」に相当するものである<sup>1)</sup>。

### 2. リスクカーブ法の分析方法

#### 2.1 リスクカーブの作成方法

リスクカーブとは、横軸に予想損失額、縦軸にその損失の年間発生超過確率をとって、分析対象物のリスクを表現した曲線である。リスクカーブの作成方法は以下のとおりである。

まず、発生する可能性のあるすべてのイベントについて、対象物が被る予想損失とそのイベントの発生確率を計算する。この時、損失を発生させるイベントには、地震や台風等の自然災害リスク、金融リスク、環境リスクなど様々な種類のリスクを取り得る。また、分析対象物は、一つの建物、複数の建物や資産、日本のみならず全世界に所在する企業のすべての資産等、あらゆる物を対象とし得る。さらに、損失についても、例えば地震動そのものによる直接被害のみならず休業損失などの間接被害等、発生するイベントを契機として対象物にもたらすあらゆる発生損失を含めてよい。いずれにせよ、発生する可能性のあるすべてのイベントが網羅出来ること、それぞれのイベントがもたらすインパクトを損失額という形で評価できること、それぞれのイベントの発生確率が評価できる事を満たせば、そのリスクはリスクカーブ分

表—1 リスクカーブ作成のための損失予測計算結果の整理

イベントNo.	年間発生確率	損害額	累積確率
イベント10	0.01%	100億円	0.01%
イベント7	0.5%	50	0.51%
イベント3	0.3%	40	0.81%
イベント20	0.65%	25	1.46%
イベント15	0.9%	20	2.36%
イベント2	1.0%	15	3.36%
イベント12	1.5%	12	4.86%
...	...	...	...

分析の対象となし得る。

次に、計算されたすべての損失額を大きい順に並べ替え、表—1に示すようなリストを作成する。同表において、イベント10とは例えば南関東地震であり、イベント7は東京直下地震である等、発生するそれぞれのイベントを意味する。さて、同表において大きい順に年間発生確率からその累積確率、すなわち年間発生超過確率を算出する。累積確率の算出方法は、下式のとおりである。

$$P_1 = p_1$$

$$P_2 = 1 - (1 - P_1)(1 - p_2)$$

$$P_3 = 1 - (1 - P_2)(1 - p_3)$$

$$\dots\dots\dots$$

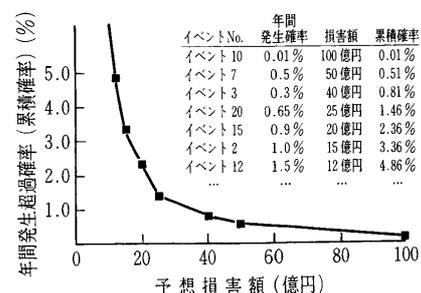
$$P_i = 1 - (1 - P_{i-1})(1 - p_i)$$

ここで、 $P_i$ :  $i$ 番目のイベントの年間発生超過確率(累積確率)

$p_i$ :  $i$ 番目のイベントの年間発生確率

最後に、横軸に予想損失額、縦軸に年間発生超過確率を取り、図—1に示すように各計算結果をプロットする。描かれた曲線がリスクカーブである。

リスクカーブの直接的な意味合いとして、リスクカーブの先端の点は、予想される損失額の最大値であり、いわゆる予想最大損害額に相当する。また、リスクカーブ



図—1 リスクカーブの作成

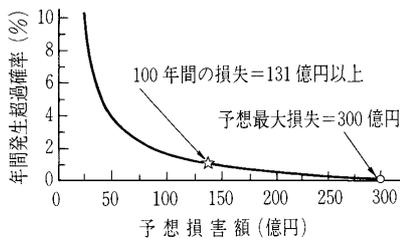


図-2 リスクカーブの物理的意味合い

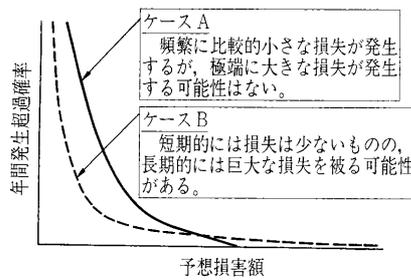


図-3 リスクカーブから見たリスク性状の相違

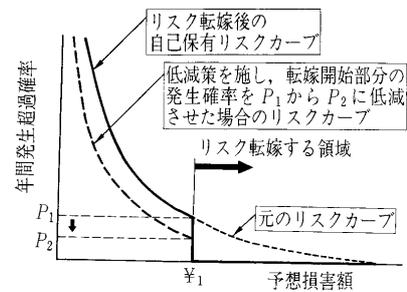


図-4 リスク転嫁後の自己保有分のリスクカーブ

の個々のポイントについては、図-2のリスクカーブの例でいえば、年間超過確率1%は予想損失額131億円と読み取れ、これは、年確率1%、すなわち100年間に1回の確率で131億円以上の損失を生じる可能性があると言う事を意味する。

## 2.2 リスクの大きさを表す量としての年間期待損失額

リスクカーブの作成に際して、発生可能性のあるすべてのイベントについて、予想損失額とその年間発生確率を算出した。この予想損失額と年間発生確率の積は、そのイベントの期待損失と定義される。さらに、個々のイベントの期待損失をすべて足し合わせたものは、あらゆるイベントが分析対象物に対してもたらすであろう損失の期待値、すなわち年間期待損失額となる。

$$E = \sum_{i=1}^{i=N} (L_i \times p_i)$$

ここで、 $E$ ：分析対象物の年間期待損失額

$L_i$ ：イベント*i*の予想損失額

$p_i$ ：イベント*i*の年間発生確率

この年間期待損失額は、対象としたリスクのすべての可能性に対する期待損失であり、よって、これは分析対象物のリスクの大きさを定量的に表す一つの指標と理解されよう。

## 3. リスクカーブのリスクマネジメントへの適用

### 3.1 リスク性状

一般に、取り巻くリスク環境によって、対象物が潜在的に保有しているリスクは様々な性状を示す。リスクマネジメントの企画遂行においては、リスク性状を十分把握した上で、最適なリスク対応策を検討することが望まれる。

リスクカーブは、こうした対象物のリスク性状を表現している。例えば、図-3のような二つのケースのリスクカーブの例でこれを見てみよう。ケースAは、リスクカーブの先端、すなわち予想最大損失額はケースBのカーブと比較して小さいものの、損失額の少ない領域では大きな発生確率を示している。一方、ケースBのリスクカーブは、予想最大損失額はきわめて大きいものの、カーブは急激に減衰し、少ない損失額の領域での発生確率は小さい。このリスクカーブの形状の違いから、

(1) ケースAでは、比較的小規模な損害が頻繁に発

生するものの極端に大きな損害が発生することはない。

(2) ケースBでは、極めて大きな損害が発生する可能性があるものの、平素はほとんど損失は発生しない。

と、両者のリスク性状の違いが解釈できる。

リスク対応策に関して、ケースAの場合は、頻繁に損失が発生する可能性が高い事から、リスク低減策の検討が望まれよう。一方、ケースBの場合は、リスク低減策よりむしろ、まさかの大損失に備えて保険などのリスク転嫁策を検討することが適切といえよう。

### 3.2 リスク転嫁の条件設定

リスク転嫁策の最も一般的な方法は保険である。このほか、代替的リスク転嫁 (Alternative Risk Transfer, 略称ART) として、キャプティブ保険会社、リスクの証券化、スワップ等のデリバティブ金融商品等の方法が、最近、注目されている。

リスク転嫁策を検討する場合、リスクのどの部分を転嫁するか、その条件を設定しなければならない。その条件は、主としてリスク保有者 (例えば企業) の財務状況に依存しよう。すなわち、財務状況を踏まえて、いくらまでなら損失を負担できるか、またその損失はどの程度の頻度で発生するのか等が一つの判断基準となる。リスクカーブは、損失額とその発生確率を示すカーブであり、この判断をするための有効な資料となる

図-4には、一例としてリスク転嫁をした後のリスク保有者のリスクカーブを示す。この例では、保有限度額を超える部分を全額リスク転嫁したので、リスク転嫁した部分の自己保有額は0となり、よってリスクカーブは同図のように不連続なステップ状の曲線となる。さらに、もし保有限度額の発生確率が許容範囲を超えていれば、何らかのリスク低減策を検討し、許容範囲内に発生確率が収まるようにする必要がある (図-4内の太い破線のリスクカーブ)。

### 3.3 リスク低減策の検討

リスクの低減策には、様々な方法が考えられよう。例えば、地震リスクの場合、耐震補強はその代表的な例である。耐震補強策の中でも、様々な方法がある。そのほか、地震リスクの小さい地域に生産設備を移転するリスク移転策、ある特定の生産設備が1箇所に集中していた場合、複数の地域に同種の生産設備を設けるリスク分散策なども、リスク低減策の一つとして挙げられる。

このような様々なリスク低減策の内、どれを選択するかについては、それぞれの長所短所を詳細に検討する必要があるが、財務面での重要な検討項目は、低減施策に要する費用と施策によるリスク低減効果のバランスを取ることにある。リスク低減効果の評価に際して、リスクカーブ分析に伴って得られる年間期待損失額が活用出来る。リスク低減策を施した場合、図—4の例で示したように、リスクは全体的に低減して、そのリスクカーブは元のリスクカーブの左下側に移動する。その移動量がリスクの低減効果に相当する。定量的には、元の状態の年間期待損失額と低減施策後の年間期待損失額の差が、1年あたりのリスク低減量とみなすことが出来る。リスク低減施策費用をこの年間のリスク低減量で除して得られる費用対効果岐年数は、リスク低減効果とその施策費用を上回るのに必要な年数に相当する。これが検討対象物の今後の使用予定年数を超えれば、その低減策はコスト的に過剰な方策であると結論されよう。また、複数の方策の選択に際しては、年間リスク低減量の最も大きな策が、低減効果が最も大きい方策であると判断されるし、さらに、費用対効果岐年数が最も小さい方策が、費用対効果の最も高い方策と判断される。

#### 4. リスクカーブ法による地震リスク分析例

本章では、リスクカーブ法の理解を深めるために、リスクカーブ法による地震リスク分析例を紹介する。地震リスク分析には、米国の Risk Management Solutions, Inc. 社が開発した自然災害損失予測ソフト IRAS (Investment/Insurance Risk Analysis System) を使用した。IRAS では、独特な確率論的地震発生モデルが採用されている。この地震モデルでは、これまでの地震学の知見を踏まえて、日本で地震が発生する可能性のある地域を63地域設定し、それぞれの地域(地域震源)で起こり得る最大マグニチュードと地震活動度を設定する。すなわち、地域震源ごとに、最大地震から小さな地震にいたるまで、マグニチュードとその発生確率が規定される。こうして設定した全国63地域震源の最大地震から小さな地震のすべてについて、分析対象物の地震被害予測計算を行い、起こり得る地震被害についてすべて網羅する方法論を採っている。

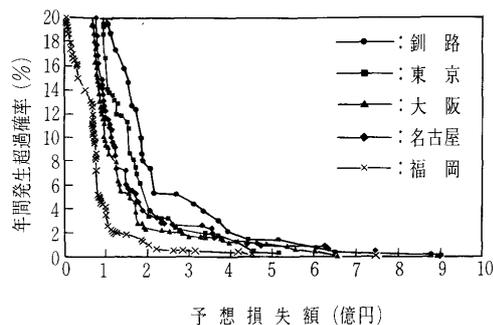
##### 4.1 ポートフォリオ分析

ポートフォリオと呼ぶには少々規模が小さいかもしれないが、本例では地震リスク分析結果を分かりやすくす

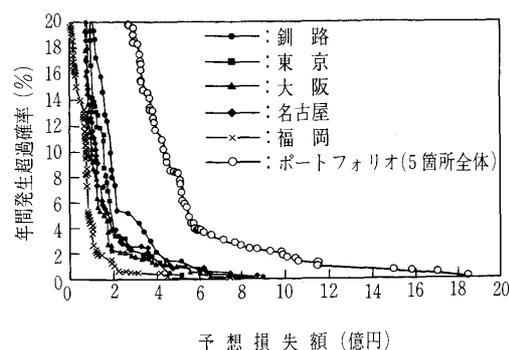
るために、釧路市、東京都、名古屋市、大阪市、福岡市の5箇所にそれぞれ鉄筋コンクリート造8階建てのビルを資産として保有する企業を想定し、その地震リスク分析を行った結果を紹介する。各所の地震リスク環境の比較を容易にするため、いずれのビルも評価額を30億円、建築年は1970年代後半、地盤条件は平均的沖積平野とした。

分析結果として、図—5に5箇所のビルの個々のリスクカーブを示す。図—6には、5箇所全体(ポートフォリオ)のリスクカーブを示した。また、表—2はそれぞれの予想最大損失額の一覧表である。同表において、全体の損失計算に際しては各地震ごとに損失額を計算し集計しているため、それぞれの場所の予想最大損失額の単純和が全体の予想最大損失額とはならないことを注意して欲しい。表—3は、年間期待損失額の一覧表である。これらの結果から、以下の事が指摘できる。

- (1) 図—5において、それぞれのリスクカーブを比較する時、釧路のリスクが最も大きく、福岡のリスクが最も小さい。年間期待損失で比較すれば、釧路のそれは福岡のそれに対して約6倍大きい。
- (2) 名古屋と大阪は、リスクカーブの形状も、また年



図—5 各所のビルのリスクカーブ



図—6 ポートフォリオ(5箇所全体)リスクカーブ

表—2 予想最大損失額一覧表

地点名	予想最大損失		最大損失を発生させる地震				
	損失額(千円)	損害率	地域震源名	マグニチュード	年間発生確率	再来年数	地域震源内の歴史地震
釧路	901 865	30.1%	十勝沖	8.5	0.090%	1 113	1962年 十勝沖地震 (M8.2)
東京	517 033	17.2%	相模トラフ	8.1	0.298%	335	1923年 関東大地震 (M7.9)
名古屋	897 376	29.9%	愛知、濃尾	8.0	0.107%	930	1891年 濃尾地震 (M8)
大阪	890 300	29.7%	大阪	8.0	0.097%	1 032	1596年 慶長地震 (M7.5)
福岡	745 839	24.9%	九州北部	7.5	0.049%	2 040	1898年 糸島地震 (M6)
全体	1 852 964	12.4%	東海沖	8.5	0.129%	776	1854年 安政東海地震 (M8.4)

表-3 年間期待損失額一覧表

地点名	年間期待損失額 (千円)	損失率
釧路	97 788	3.26%
東京	70 837	2.36%
名古屋	48 803	1.63%
大阪	38 107	1.27%
福岡	16 229	0.54%
全体	271 764	1.81%

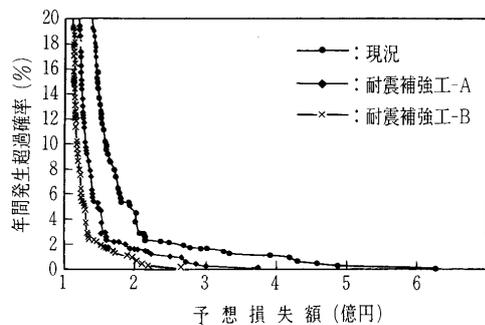


図-7 耐震補強後のリスクカーブ

年間期待損失の大きさも同程度であり、ほぼ同様なリスクの性状と大きさを有していると言える。

- (3) 名古屋と東京を比較する時、予想最大損失は名古屋が1.7倍大きい。しかし、東京は地震活動度が高いため、2億円以下の損失においては、東京のリスクカーブは名古屋のそれよりもその発生確率が大きくなっている。これを反映して年間期待損失では、東京の方が名古屋より約1.5倍大きい。

#### 4.2 耐震補強策に関する検討

評価額30億円のビルの耐震補強策として、2種類の耐震補強工を考え、そのリスク低減効果を検討する。耐震補強工-Aは中程度の補強工であり、その必要工事費は3億円かかるものとする。一方耐震補強工-Bは、よりしっかりした補強設計で、工事費は5億円かかるものとしよう。

まず、補強を行わない現状と、それぞれの補強工を施した場合について地震リスク分析を行う。図-7に、補強工を施さない現状のリスクカーブと、補強工を施した場合のそれぞれのリスクカーブを比較して示す。補強工-Aは現状に比べて、また補強工-Bは補強工-Aに比べて、それぞれ小さいリスクを示すリスクカーブとなっており、リスクが低減していることを示している。

表-4は、二つの耐震補強工のリスク低減効果と費用対効果を検討した一覧表を示す。年間期待損失額は補強工-Bの方が小さく、よって絶対的な補強効果は補強工-Bの方が大きい。しかし、費用対効果を示す費用対効果分岐年数は補強工-Aの方が小さく、よって費用対効果は補強工-Aの方が高いものと判断される。財務面だけから見れば、費用対効果が大きいという点で、補強工-Aを選択の方が得策という結論が得られよう。

表-4 耐震補強策によるリスク低減効果の検討

状態	補強工事費 (千円)	年間期待損失 (千円)	損失率	リスク低減 年間期待額 (千円)	費用対 効果分 岐年数
現況	—	22 651	0.755%	—	—
耐震補強工-A	300 000	11 717	0.391%	10 934	27.4
耐震補強工-B	500 000	7 031	0.234%	15 619	32.0

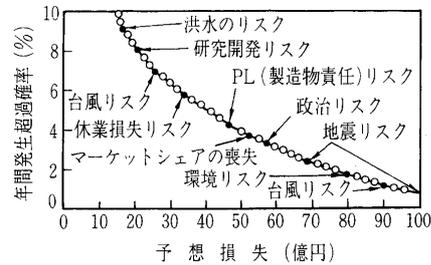


図-8 様々なリスクを統合したリスクカーブ

## 5. 結語

本稿では、リスクを定量的に分析する手法として、リスクカーブ法の概要を紹介した。2.1でも、述べたように、

- (1) 対象とするリスクにおいて、発生する可能性のあるすべてのイベントが網羅出来る事
- (2) それぞれのイベントがもたらすインパクトを損失額という形で評価できる事
- (3) それぞれのイベントの発生確率が評価できる事

の条件を満たせば、そのリスクはリスクカーブ法によって分析できる。加えて、種類の異なる様々なリスクを統合して、一つのリスクカーブで表現し、保有するリスクを総合的に検討することが出来る。図-8は、企業が保有する様々なリスクを1本のリスクカーブに統合した例を模式的に表したものである。

この一例でも分かるとおり、リスクカーブ法は合理的なリスクマネジメントを進める上で、ますます有用な手法となってくるものと期待される。リスクカーブ法を様々な種類のリスクに適用しようとする場合、そのリスクをモデル化し、コンピューターで発生する可能性のあるすべてのイベントについて損失額とその発生確率を迅速に計算できるようにする必要がある。今後、リスクのコンピューターモデリング技術が大いに発展する事を期待したい。

## 参考文献

- 1) 武井 勲：リスクマネジメント総論，中央経済社，1987.
- 2) クレイグ ヴァン・アン：日本における地震災害に対するポートフォリオ・リスクマネジメントとそのモデリング手法に関する概説，インシュアランス損保版，5月号第1集，pp. 4~8, 1997.
- 3) 市原哲也・星谷 勝：上水道システムの地震リスクマネジメント，土木学会論文集，No. 584，pp. 201~213, 1998.

(原稿受理 1998.9.16)