

論文

投資意思決定におけるリスク把握と測定方法

高見茂雄

〈論文要旨〉

投資意思決定は企業経営に及ぼす影響が大きいにもかかわらず、投資のリスクの把握、測定に関してはあまり議論がされていない。回収期間法、NPV法においてはリスクを回収期間、 β などの単一の数値でとらえているが、本来は事業価値の確率分布形状を想定すべきである。また、リアル・オプションでもある程度確率分布を想定してはいるものの歪度、尖度などのリスク特性値まで踏み込んだ考察は見られない。

本論文では売上予測方法の先行研究を発展させ、売上予測に基づいた事業価値の確率分布、リスク特性値をいかに測定するかを示すとともに、NPV法とリアル・オプションでのリスクの把握、コントロール手法の差異を検討し、それらのリスク情報が投資意思決定に与える影響度を論じる。本論文での新しい知見はリスク特性値の測定方法を考案したこととともに、標準偏差を軽減するリスクコントロール手法が2つの評価方法では異なり、リアル・オプションではコントロールの自由度が高まる反面、確率分布の変化に伴う歪度、尖度などのリスク特性値の変化に注意を払うべきという経営管理上の課題を展開したことである。

〈キーワード〉

投資意思決定, NPV法, リアル・オプション, 売上予測, リスク特性

The Recognition and Measurement of Project Risk on the Decision Making of Capital Investment

Shigeo Takami

Abstract

Despite its impact on the management of a firm, the project risk profile of the capital investment has not been necessarily much studied. In this context, the motivation of this paper is to quantify the project risk profile, starting from the judgmental forecast of sales, building the statistic distribution of the value of the project and deriving the risk parameters; standard deviation, skewness and kurtosis.

Our contributions are not only to clarify the measurement method of the project risk, but to discuss the effect of the risk parameters on the decision making of capital investment with the consideration of the risk control.

Key words

Decision Making on the Capital Investment, Net Present Value Method, Real Option, Forecast of Sales, Risk Profile

2002年 2月 1日 受付
2002年 5月28日 受理
富山大学経済学部

Submitted 1, February 2002.
Accepted 28, May 2002.
School of Economics, Toyama University

1. はじめに

投資案件の採否に関する意思決定は経営基盤の変更をともなう戦略的意思決定であり、マネジメントは長期的時間軸で投資案件の採算性を検討する。そして、回収期間法、NPV法、IRR法などの評価手法を複合的に用い、投資案件の採否の意思決定を行っている。

ところが、投資意思決定が企業経営に及ぼす影響は大きいにもかかわらず、投資案件の採算性に議論の焦点が行きがちで、事業リスクの把握、測定は必ずしも十分とはいえない。回収期間法では事業リスクを回収期間の長さで考慮してはいるものの、リスク特性の把握は一面的である。NPV法では通常分母のリスク調整後資本コスト k で事業リスクを把握しているが、 k はCAPMモデルから導出されるリスクパラメータ β に依存して決定され、測定可能ではある。しかし、Myers & Turnbull (1977)が指摘するように、NPV法ではマーケットリスクのみが問題にされ、その投資案件が将来もたらす成長機会(growth opportunities)のもつプライベートリスクは考慮されておらず、事業リスクをファイナンシャルリスクの枠組みで捕らえているにすぎない。

事業リスクは、Culp (2001, p.29)が述べているように、ファイナンシャルリスクに比べはるかに多様なリスク特性を持つ。すなわち、ファイナンシャルリスクはランダムに起こる将来の確率的価格変動を対象に、マーケット参加者が同質的に認識するのに対し、事業リスクは持つ情報の質と量、主観的判断によって企業、マネジメントごとに異なる。また、通常金融資産の変動は正規分布に従うとの前提で議論され、標準偏差情報(ボラティリティー)だけでリスク認識が行われ、歪度、尖度など高次モーメント値からは追加的情報が得られない。これに対し、事業価値の変動は非正規型分布に従うと考えられ、ダウンサイド、アップサイドの確率密度の歪みを表す歪度、裾の長さを表す尖度は標準偏差と並び重要なリスク特性を表す指標といえる。

それでは事業リスクを反映する確率分布はなぜ非正規型分布に従うと考えられるのであろうか。それは経営の柔軟性に起因する。マネジメントは経営環境に応じて、投資を拡大する、あるいは投資を縮小する、見送るといった将来の意思決定のオプションがあり、必ずしも即時に投資を実行することは前提としていない。そのため、個別投資案件ごとに事業リスクが認識され、それに応じた対処の方法が分析される。この経営の柔軟性を反映した確率分布の形状は、ダウンサイドの密度が限定的でアップサイドに長く裾を引く特徴がある(Trigeorgis (1996), p.123)。この経営の柔軟性を考慮したモデルが、リアル・オプションであり、そこでのリスク把握は非正規型確率分布形状を想定しているといえる。

確かに、Trigeorgis (1996)は事業リスクを非正規型確率分布の形状を想定することで的確に捉えている。しかし、リスク特性のすべてを一つの概念的グラフだけで視覚に訴えて説明しようとしているところに問題がある。すなわち、いかにその確率分布を数量的に導き、高次モーメント数値を測定するのかという疑問が生じるからである。そこで本論文では投資案件のリスク把握において不可欠な事業価値の確率分布およびモーメント値をいかに測定し、事業価値評価に結びつけ、投資意思決定に活用すべきかを論じる。以下、2節では事業価値測定において売上予想がすべての出発点となっていることから、先行研究をレビュー、補強、統合し、予想売上高確率分布の導出手順を考察する。3節以下はその応用を扱うが、3節ではNPV法でのリスク把握、測定を示し、4節では3節と対比させリアル・オプションでのリスク把握、測定を検討する。そこでは将来のリスクに対するマネジメントの対処の仕方で確率分布がどのように変わりうるかを示す。そして、5節では結論を述べる。

2. 予想売上高確率分布の生成方法

小林(1992)が指摘するように、日本では売上予測に関する体系的な研究があまりなされてこなかったが、事業価値測定において、売上予測は利益・キャッシュフロー予想の出発点であり重要な意義をもつ。一般に、売上予測の方法は2つに大別され、過去のデータをもとに数量的に時系列分析を行う方法と、人間の主観を重視するヒューリスティックな判断的方法に分かれる(Makridakis et al.(1998))。前者は主に日用品メーカーが短期的需要予測を行うときに用いられるが、本論文が取り扱う投資意思決定は長期的時間軸で検討され、不確実性が高く、人間の判断に依存する面が多いので、後者による場合が多い。一見、前者の方が科学的であるかのような印象を与えるが、経営環境をめぐる不確実性は増大しつつあり、とくに新製品・新ビジネスをこれから立ち上げる場合において時系列分析は実務的にあまり意味をもたない。逆に、人間の持つ直感が経営のブレークスルーをもたらすものである。そこで、売上予測エキスパートの主観的判断をいかに数量化し、想定確率分布を生成させるかが実務上問題となる。そして、その手法にはモンテカルロシミュレーションによる手法と主観的判断をエンコーディングして数量化する手法とがある(Clemen and Reilly (2001))。しかし、前者は予想売上高を要素に分け、その特定の要素に理論分布形、パラメータを割り当てている点では後者の売上そのものに分布を与える方法と変わりない。そこで、本論文では後者のエキスパートによる将来の売上予想そのものを直接エンコーディングし、売上予測確率分布を導出する手順を検討する。

判断的方法を数量化する技術の研究は Spetzler and von Holstein(1975)を出発点とする⁴⁾。彼らの研究は売上予想のエキスパートの主観的判断をインタビューアーが定量化する際、いかにバイアスを緩和してエンコーディングするかに関心がある。インタビューアーはエキスパートより、「予想売上高が与えられた下で、その予想売上高以下の売上高が生じうる確率」のヒアリングを行い、図1の累積確率密度平面上に複数の点を番号順にプロットする。そして、できるだけ多くの点にフィットする曲線を描くことで累積確率密度曲線が導出される。

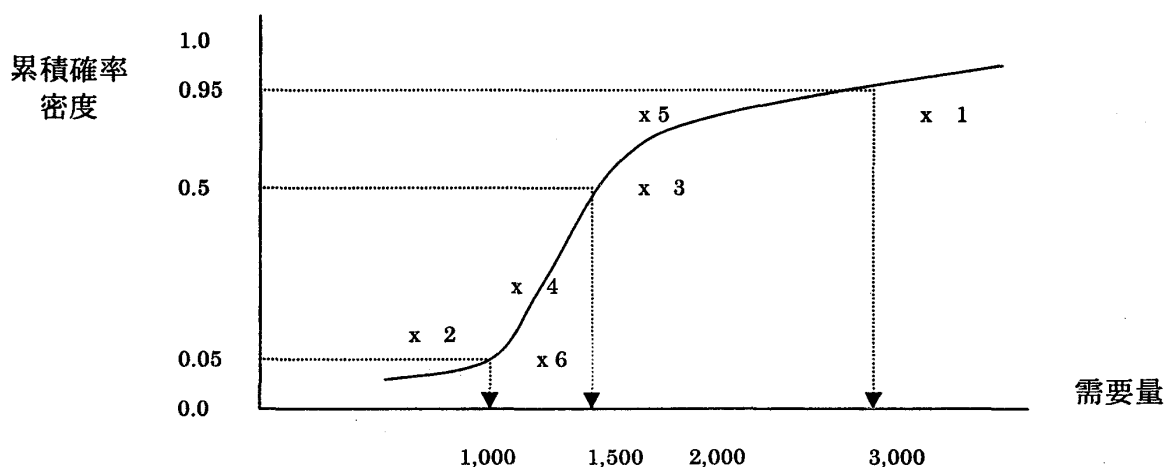


図 1 予想売上高累積確率密度曲線の導出

しかし, Spetzler and von Holstein(1975)では曲線を当てはめる数量的方法までは触れていない。エキスパートによる売上予想の主観的累積確率密度は図1のようなS字カーブを描くことを想定するが, 本論文では歪度など高次モーメントを用いてリスク把握を分析するので, それらをフレキシブルに表現できるベータ分布を理論分布に用いるⁱⁱⁱ。ベータ分布関数は p, q 2つのパラメータ値と下限 a , 上限 b により決定されるが, その決定方法は以下の最小化問題で表現される。しかし, (2)式の積分は全定義域 (a, b) 以外の部分区間ではパラメータ値 (p, q, a, b) の初等関数では表せない^{iv}ので, ヒューリスティックな方法で数値を代入し, (1)式の最小値を与えるパラメータ値を推定する。ただし, 計算途中に現れる部分区間の積分計算は変数変換により基準化ベータ分布を導けば表計算ソフトでも計算可能である^{iv}。

$$\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (\Pi_i - F(S_i))^2 \quad (1)$$

subject to

$$F(S_i) = \frac{1}{B(p, q)} \int_a^{S_i} \frac{(u-a)^{p-1} (b-u)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} du \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

e_i : 誤差, Π_i : 累積確率密度実績値, S_i : i 番目のヒアリングの予想売上高, $a \leq S_i \leq b$,

$F(S_i)$: ベータ分布関数, p, q : パラメータ, n : ヒアリングの総数

パラメータ値 (p, q, a, b) を具体的に決定すれば, 売上予想のリスクを示す代表値の分散は, (3)式右辺を(4)式に代入することで導出できる。また, 歪度, 尖度も同様の手法で計算可能である。

$$E(\tilde{S}) = \frac{1}{B(p, q)} \int_a^b S \frac{(S-a)^{p-1} (b-S)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} dS = \frac{aq+bp}{p+q} \quad (3)$$

$$Var(\tilde{S}) = \frac{1}{B(p, q)} \int_a^b (S - E(\tilde{S}))^2 \frac{(S-a)^{p-1} (b-S)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} dS = \frac{(b-a)^2 pq}{(p+q)^2 (p+q+1)} + a^2 \quad (4)$$

ただし, この方法でも特にダウンサイド下限 a をヒューリスティックに定めるところに問題がある。将来の不確実性が高い場合, 売上予測エキスパートといえども売上予想範囲の下限 a , 上限 b を明示することは困難であり, VaRのように, 例えば95%の確率で起こりうる最小の予想売上高の情報の方がより確度の高いリスク把握が可能になる。それらに対応するため, 以下では3点法を用いる。連続分布の離散分布3点法近似方法は複数あるが, ここではKeffer and Bodily(1983)によるExtended Pearson Tukey法(EP-T法)を用いる。EP-T法とは確率分布の形状はどうあれ, 累積確率密度が0.05となる点 $S(0.05)$ に確率0.185, メジアン $S(0.50)$ に確率0.63, $S(0.95)$ に確率0.185を人為的に割り当てる方法である^v(図1の点線矢印の対応を参照)。一見アドホックな方法のように見えるが, 与えられた累積確率密度で予想売上高を決定するという点で, マネジメントがベスト, ベース, ワーストシナリオ3点の予想売上高に主観的に確率を割り当てる方法より恣意性が緩和できる。また, Keffer and Bodily(1983)ではベータ分布の場合によくフィットすることが確認されている。そこで, 以下ではS曲線のグラフから3点を読取り, リスク代表値を計算した後に, ベータ分布のパラメータ値 (p, q, a, b) を決定する手法をとる。

これまでの考察を統合すれば, 以下の手順で判断的売上予想から確率分布, リスク代表値を具

体的に算出できることが確認できた。

手順1：エキスパートの判断的売上予想をヒアリングにもとづき、(予想売上高, 累積確率密度)の点を累積確率密度平面上にプロットする

手順2：その累積確率密度平面上にフィットするS字曲線を決定する

手順3：S字曲線に従い特定の累積確率密度を与える予想売上高を決定し、3点のそれぞれに人為的に確率を割り当てる(EP-T法)

手順4：以上3点法で決定された確率密度に基づき、分散をはじめとするリスク代表値を算出するとともに、ベータ分布のパラメータ値(p, q, a, b)を決定する

3. NPV法におけるリスク把握と測定

2節では予想売上高の主観的確率分布およびリスク代表値の導出方法について論じたが、以下ではそれらがいかに投資案件の意思決定に影響を与えるか、NPV法(3節)とリアル・オプション(4節)とを対比させ検討する。以下は具体的数値例でリスク特性を検討するが、(5)、(6)式が成立つ条件下で一般的に論じることができる。図1のように、翌期の予想売上がワーストシナリオ $S(0.05)=1,000$ 、ベースシナリオ $S(0.50)=1,500$ 、ベストシナリオ $S(0.95)=3,000$ 、歪度が正(1.3)で左に歪んだ確率密度を考察する。税率を τ 、変動費率を v 、固定費を F (一定)、運転資本は売上の一定比 w 、減価償却費 Dep (一定)、初期資本支出を I 、翌期の資本支出はゼロ、今期の売上高 S_0 、翌期の売上高を \tilde{S}_1 とすれば、翌期のキャッシュフロー $C\tilde{F}_1$ は(5)式のとおりである。

$$\begin{aligned} C\tilde{F}_1 &= \{(1-\tau)(1-v)-w\}\tilde{S}_1 + \{-F + Dep + wS_0\} \\ &= \{(1-\tau)(1-v)-w\}\tilde{S}_1 + Const, \quad Const = -F + Dep + wS_0 \text{ (一定)} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、簡単のために以降成長率 g での永久成長を仮定し^{vi}、資本コストを k とすると、事業価値期待値 $E(\tilde{V}_0)$ は(6)式で算出できる。

$$E(\tilde{V}_0) = \frac{E(\tilde{V}_1) - I}{1+k} = \left\{ \frac{(1+k)C\tilde{F}_1}{k-g} - I \right\} / (1+k) \quad (6)$$

そこで、確率分布形状を特定する目的で、税率 τ 以下のパラメータ値を具体的に表1のように設定を行い、表2の通り確率分布代表値を求めた^{vii}。

表1 パラメータ値

税率 τ	変動費率 v	運転資本比 w	Const	k	g	I
0.5	0.5	0.1	-150	0.1	0.03	700

表 2 確率分布代表値

	平均	標準偏差	歪度	尖度	分布下限 $x(0)$	分布上限 $x(1)$	ベータ分布 p	ベータ分布 q
売上高 S_1	1,685	654	1.3	3.2	935	5,481	0.93	4.71
事業価値 V_0	768	1,402	1.3	3.2	-839	8,903	0.93	4.71

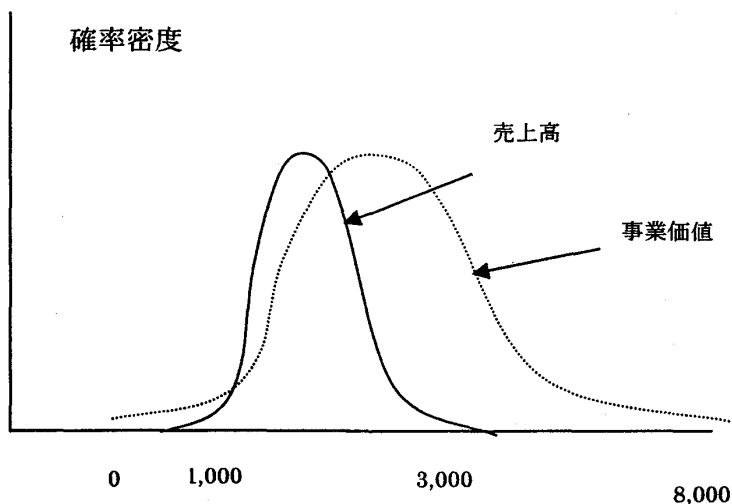


図 2 売上、事業価値の確率分布形状

図 2 は表 2 で決定されたパラメータ値 (p, q, a, b) のベータ分布をグラフ化したイメージ図であり、リスク特性を可視化するという意味では意義ある経営情報を与えている。一見して予想売上高のばらつきより事業価値のばらつきの方が増幅されていること、両者とも左に歪んだ形状であることが観察される。すなわち、事業価値の変動リスクは予想売上高より変動性が高く、またダウンサイドの密度が大きく、正規分布より長い裾を引くというリスク特性がある。ただし、グラフの形状だけの判断ではリスク特性の認識は必ずしも十分とはいえない。というのは、図 2 では両者のグラフがあたかも分布形状が異なるかのような印象を与えるが、表 2 の数値を検討すると、平均、標準偏差は両者で異なっているものの、歪度、尖度、ベータ分布パラメータ値 (p, q) は変わっていないⁱⁱⁱ。すなわち分布の形状は両者同じに保たれており、ダウンサイドリスクの密度比率、相対的裾の長さは同様である。この点に表 2 の数値解析の意義があり、リスク特性には単に変動性の高さのみならず、変動性の方向、特定範囲の密度も検討する必要がある。なぜなら、事業価値の変動はアットランダムに時々刻々と変化する金融資産とは異なり、過去の意思決定の結果が時間を置いて反映する経路依存性があるからであり、リスクの把握ももっぱら標準偏差 σ (ボラティリティー) でとらえる金融資産と異なり、標準偏差 σ に加え、方向性 (歪度)、特定区間の密度 (尖度) などのリスク特性にも注意を払う必要があるからである。そのため事業リスクの把握のためにはグラフ形状と合わせ、高次のモーメント値も検討する必要がある。

表 2 で確認できるように、NPV 法の枠組みでは、ばらつきを表すリスク特性のうち標準偏差 σ に限り、投資案件を再検討しリスクコントロールを行うことができる。すなわち、(6)式での \tilde{s}_1 係数 $\{(1-\tau)(1-\nu)-w\}/(k-g)$ を下げる方策、例えば限界利益率 $1-\nu$ を下げるなどの方策が示唆される。反面、その方策は収益性とはトレードオフの関係にある。一方、いくら \tilde{s}_1 係数をコントロールしたところで、分布形状は変わらないため、他のリスク特性を示す高次モーメントの歪度、尖度は NPV

法の枠組みのなかでは変えることができない。すなわち、本来マネジメントは柔軟にリスクコントロールを行うことができるが、NPV法の枠組みではリスクをとらえることに限界があり、リスク回避策としては投資案件を実行するか否かの硬直的意思決定でしか対処できない。これはNPV法が予算獲得後、投資案件を必ず実行するという硬直性を想定しているからであり、投資案件のリスク把握、コントロールの自由度を高めるためには経営の柔軟性を事業価値評価に組み込む必要がある。

4. リアル・オプションにおけるリスク把握と測定

4節ではリアル・オプションの枠組みで1年間投資の実行を延期するオプションを想定して考察する。3節の設例で、ワーストシナリオ $S(0.05)=1,000$ のケースでは事業価値は負の値と観察され、ダウンサイドのリスク対処が求められていた。ただし、意思決定は投資を実行するか否かの判断に限定されることを確認した。4節では、もしワーストシナリオが出現したら、投資実行を取りやめるというオプションを行使し、そのダウンサイドリスクを軽減する対応策を打つものと想定する。その対応策により、ワーストシナリオのキャッシュフロー、事業価値はゼロとなり、下限 $FC_1(0.0)$ 、 $V_0(0.0)$ をゼロで抑えることができる。すなわちこのリアル・オプション価値は1期目の予想ペイオフ $\max(\tilde{V}_1 - I)$ に EP-T 法3点の確率をかけた数値との総和を現在価値に割引くことで計算できる。すなわち、表3でのリアル・オプション事業価値 $E(V_0)$ は(7)式にしたがって計算した。

$$\sum_{i=1}^3 \frac{1}{1+k} \max(\tilde{V}_1 - I, 0) p(\tilde{V}_1) = \frac{(0)(0.185) + (V_1(0.5) - I)(0.63) + (V_1(0.95) - I)(0.185)}{1.1} \quad (7)$$

表3は確率分布の代表値を示している。

表3 リアル・オプションでの確率分布

	平均	標準偏差	歪度	尖度	分布下限 $x(0)$	分布上限 $x(1)$	ベータ分布 p	ベータ分布 q
売上高 S_1	1,685	654	1.3	3.2	935	5,481	0.93	4.71
事業価値 V_0	949	1,297	1.6	3.5	0	10,707	0.40	4.11

表2と比較すると、キャッシュフロー、事業価値でばらつきを表すリスク指標の標準偏差が1,402から1,297に低下している。注目すべきはリスク軽減策を考慮したにも関わらず、平均値が768から949に上昇していることで、この差額がマーケット環境を観察するために、1年投資実行を遅らせことによるオプション価値と考えられる(Trigeogis(1996), p.123)。ただし、すべてのリスクの側面においてリスクが削減されたとはいえない。3節との対比でリアル・オプションの場合は歪度、尖度のリスク特性が変化する。表3の場合、分布形状が変わったことにより、歪度が1.3から1.6に上昇、尖度も3.2から3.5に上昇しており、平均値こそ上昇を見たが、ダウンサイドの密度がやや高い確率分布形状に変化している。

これらの関係をグラフで表したのが図3である。図3の点線で示すNPV法が想定する確率分布は下方に長い裾を引いておりダウンサイドリスクがある。これを将来ワーストシナリオ出現時には投資を中止するという対応策にもとづき、リアル・オプションが想定する確率分布はより変動性の大きさという意味でのリスクが限定された形状に変化している。ただし分布形状はやや左方向に歪むというリスクが上昇している。

3節、4節を通してわれわれはリスクの把握・コントロールを検討した。本来、マネジメントにはリスクコントロールの柔軟性が備わっている。ただし、投資意思決定において、NPV法の枠組みではそれが事業価値評価に反映されない、認識されないところに問題がある。そのため、投資案件を実行するか否かの近視眼的意思決定を誘発しやすい。一方、リアル・オプションの枠組みではワーストシナリオ出現時には投資を控えるという異なった手段で事業リスクの軽減を図っている。その場合、目的とする標準偏差の低下とともに期待値の上昇という効果をもたらした。ただし、後者の手段が常に望ましいとは限らない。というのは後者の手段では確率分布形状が変化し、リスク特性値の歪度、尖度も変化するからである。つまり、すべてのリスクをコントロールするというのではなく、とるリスクととらないリスクを見分けることでマネジメント手段の選択の幅は広がる。こうして、リスク特性値によって意思決定は変わりうるので、ここにリスク特性値を測定することの意義がある。

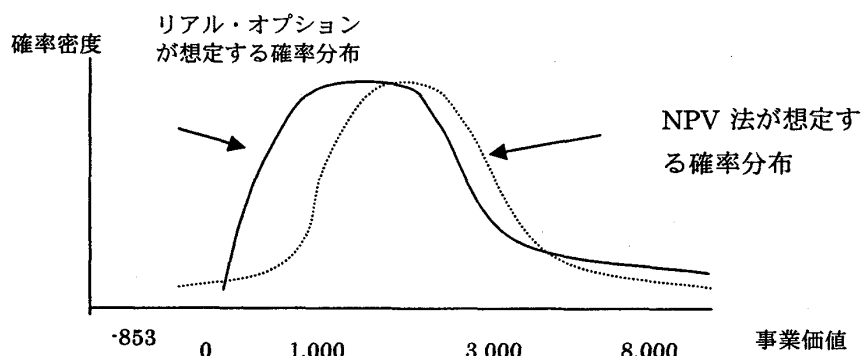


図3 NPV, リアル・オプションが想定する事業価値の確率分布形状

5. 結論

われわれは投資意思決定におけるリスクの把握と測定方法の問題意識から出発した。リアル・オプション、リスクマネジメントの分野でリスク把握の意義は論じられているが、具体的にどのように数量的にリスクを測定するかについてはいまだ十分な研究がなされていない。そこでわれわれは、事業価値を数量的に測定する方法を明らかにすることから出発し、エキスパートの主観的売上予測から、いかに予想売上高の確率分布およびリスク特性値が数量的に導出できるかの手順を明示した。次に、事業価値の確率分布を導出し、NPV法とリアル・オプションとの場合においてリスク把握とコントロール手法が異なってくることを具体的数値例で示した。リスクの把握とコントロール手段によって意思決定は変わりうる。そして、確率分布形状とリスク特性値はその意思決定に有益な情報を与える。本論文での新しい知見は事業リスクの把握において想定確率分布を単にグラフに示すだけでなく、実務的に測定可能な具体的数値で歪度、尖度の高次パラメータ数値を用いて議論したことであり、投資案件意思決定におけるそれら情報の意義を論じたことである。また、

売上予測の先行研究に加工を加え、リスク特性値がより測定しやすくなる方法を考案、2節最後の手順、注記に示してある。

われわれの研究は限定的であり課題は多い。しかし、リスクの分類と対応策の明示、マネジメントがコントロール可能なパラメータのリスク感度分析、リアル・オプション評価の精緻化などを課題としてとらえ今後研究を深めて行きたいと考える。 |

謝辞 本論文の作成に関し、蜂谷豊彦助教授（東京工業大学大学院）、及び複数の匿名レフェリー先生方にご指導いただいた。この場を借りて深く謝意を表明致したい。

i 前者の実務応用事例には日経コンピューター(1999)の記事が参考になる。後者では米国 S&P500 大企業 124 社を対象とした Sanders and Manrodt(1994)の売上予想方法調査で明らかのように、実務では判断的方法が多く用いられている。

ii 売上予想のエンコーディング手法についての最近の研究は Vose(2001)があり、ソフトウェアを使用、特殊なベータ分布を活用している点に新しい点があるが、エンコーディング手法自体は Spetzer&von Holstein(1975)と変わらない。

iii 予想売上高のエンコーディングいかんでは、歪度が正あるいは負の場合に活用できる理論確率分布を準備する必要がある。ところが、歪度がゼロではないベータ分布、対数正規分布、 χ^2 分布などでは歪度が負の場合には対応できない。この点、ベータ分布は歪度が正負のいずれにも対応できるという特性を持つ。また、Keefer & Bodily(1983)もベータ分布を用いて、理論値と近似値との乖離を調べている。これらの点を踏まえ、われわれはベータ分布を用いる。

iv $s = \frac{S-a}{b-a}$ と変数変換すれば、分布関数 $F(s) = \frac{1}{B(p,q)} \int_0^s u^{p-1} (1-u)^{q-1} du$, $0 \leq s \leq 1$ の基準化されたベータ分布関数として(2), (3), (4)式を取り扱うことができる。

v 記号 $s(0.05)$ とは累積確率密度が 5% である予想売上高臨界点を表す。また表 2, 3 に見られる $x(0)$, $x(1)$ などの表現で x は確率変数一般を表し、具体的には予想売上高 S , 事業価値 V を代表して論じるときに用いる。

vi 3節, 4節のわれわれの目的は事業価値がいかに変わるかを示すことにあるので、毎期の予想キャッシュフローの前提については立ち入らず、成長率 g で成長するという単純化の仮定をおいている。

vii ベータ分布の下限 $a = x(0.0)$, 上限 $b = x(1.0)$ については Keefer & Bodily (1983) は密度の面積比の関係から線形近似で求めているが、われわれは分布の歪度 s_k が与える凹凸関係を反映させるためロジスティック関数を組み込み、以下の式で求めている。

$$a = x(0.5) - \frac{\{x(0.5) - x(0.05)\}}{1 - \left(1 + \left(\sqrt{0.1}^{-1} - 1\right) e^{s_k}\right)^{-1}}, \quad b = x(0.5) + \frac{\{x(0.95) - x(0.5)\}}{1 - \left(1 + \left(\sqrt{0.1}^{-1} - 1\right) e^{-s_k}\right)^{-1}}$$

また、ベータ分布のパラメータ推定方法では基準化ベータ分布の平均値 μ , 分散 σ^2 を用いて、連立方程式を立て、 (p, q) について解き、

$$p = \frac{\mu(\mu - \mu^2 - \sigma^2)}{\sigma^2}, \quad q = \frac{(1 - \mu)(\mu - \mu^2 - \sigma^2)}{\sigma^2} \text{ として求めた。}$$

viii 一般的に(5), (6)式が成立する条件下で事業価値の分散は予想売上高の分散より増幅すること、両者

の分布形状は変わらないため歪度，尖度はそれらと一致することが成り立つ。(6)式の \tilde{S}_1 係数を α ，定数項を β ，予想売上高の期待値を μ ，標準偏差を σ ，歪度を s_k ，事業価値の歪度を s'_k とすると，まず，以下の(IV-1)式は事業価値の分散は予想売上高の分散より σ^2 倍に増幅されたものになることを示している。

$$\text{Var}(\alpha\tilde{S}_1 + \beta) = \alpha^2 \text{Var}(\tilde{S}_1) = \alpha^2 \sigma^2 \quad (\text{VI-1})$$

ところが，以下の(IV-2)式の計算で確認できるように高次パラメータ歪度は両者で変らない。尖度も同様である。

$$s'_k = \int \left\{ \alpha\tilde{S}_1 + \beta - (\alpha\mu + \beta) \right\}^3 f(\tilde{S}_1) dS_1 / \sqrt{\text{Var}(\alpha\tilde{S}_1 + \beta)}^3 = \int \left\{ \alpha(\tilde{S}_1 - \mu) \right\}^3 f(\tilde{S}_1) dS_1 / \alpha^3 \sigma^3 = \alpha^3 \sigma^3 s_k / \alpha^3 \sigma^3 = s_k \quad (\text{VI-2})$$

ix 原資産の挙動がマーケットリスクを反映するリアル・オプション評価においてはリスク中立確率測度を用いリスクフリーレートで割引く計算を行う。しかし，本論文の目的はNPV法とリアル・オプションでのリスク把握の差異を明らかにすることにあるので，簡単のために3点法による主観的確率測度を引き続き用い，資本コスト k で割引いて計算した。

参考文献

- Clemen, Robert, T. and T. Reilly .2001. Making Hard Decisions with DecisionTools. Duxbury.
- Culp, Christopher, L. 2001. The Risk Management Process. Wiley.
- Keefer, Donald L. and S. E. Bodily. 1983. Three-point Approximations for Continuous Random Variables. *Management Science*. 29(5): 595-609.
- 小林健吾.1992.『利益計画・予算のための販売予測』中央経済社.
- Makridakis, Spyros, Wheelwright, S. C. and R. J. Hyndman.1998. Forecasting: Methods and Application. 3rd ed.Wiley.
- Myers, Stuart C. and S. M. Turnbull. 1977. Capital Budgeting and the Capital Asset Pricing Model: Good News and Bad News. *Journal of Finance*.32(2): 321-333.
- 日経コンピューター. 1999.「需要予測システムの導入成功が相次ぐ」12月6日号.日本経済新聞社.
- Sanders, Nada R. and K. B. Manrodt. 1994. Forecasting Practices in US Corporations:Survey Results. *Interfaces*. 24(2): 92-100.
- Spetzler, Carl S. and C. S. S. von Holstein. 1975. Probability Encoding in Decision Analysis. *Management Science*. 22(3): 340-358.
- Trigeorgis, Lenos.1996. Real Options. The MIT Press.
- Vose, D. 2001. Risk Analysis: A Quantitative Guide, 2nd ed. Wiley.