

シミュレーションによる不確実性下の 事業投資評価

辺見 和晃

100年近くも前に考案されたモンテカルロ・シミュレーションは元々物理学で用いられた手法であったが、その後、金融、品質管理、経営判断など様々なビジネス分野にも応用されてきた。特にオフィスにコンピュータが普及した今日では、確率分布を含む計算を極めて手軽に行えることから、ビジネス上の確率を伴った事象である“リスク”の計量に役買っている。本稿では、商社をはじめとする多くの国内企業において行われている、モンテカルロ・シミュレーションを用いた不確実性下の事業投資評価について紹介する。

キーワード：モンテカルロ・シミュレーション、確率分布、リスク、事業投資

1. はじめに

“この事業への投資は儲かるのだろうか？”

あらゆる企業において頭を悩ます問題である。昔の日本企業ならば、誰か偉い人の直感によって判断が下されたのかもしれないが、今日ではより合理的な説明を伴った評価が求められている。

現在実務で用いられている事業投資に対する評価の手法は、いくつかある。例えば、「投資額に対してどのくらい利益が得られるか」という投資収益率(ROI)や「何年間で投資を回収できるか」といった回収期間法は比較的古くから用いられてきた。また特に90年代後半から国内で用いられるようになってきたのが、次節で述べるDCF法である。他にもあるが、このような手法はすべて共通する一つの前提に則っている。それは「事業に関する起こりうる将来の数字を予測し、財務的な観点から何らかの評価指標を算出する」という点である。

将来が明らかな事業の場合、すなわち事業が必ず計画通りに進む場合には、前述のような評価手法を用いて、事業への投資判断を行うことができるだろう。しかしながら必ず計画通りに進むような事業などは、ほぼ存在しない。事業の将来においては、まず何らかの不確実性を伴う要因(リスク要因)が存在し、予想した結果にならず当初期待していた評価指標に達しないこ

と(リスク)が十分起こりえる。

事業投資を行う企業としては、このようなリスクを事前に把握し意思決定に生かしたい。そこで、不確実性を持つリスク要因については、“一点の数値で予測”するのではなく、“幅を持った確率分布”として予測することを取り入れてきている。これによって、事業投資評価の際、“あたりそうもない一つの評価値”ではなく、“評価値の予測分布”を得ることができる。このようにリスクを定量的に捉えると、事業計画の策定や投資判断への有益な情報となるのである。

ただし、これを行うためには多くの確率分布を含む、複雑な計算を行う必要がある。ここにモンテカルロ・シミュレーションが用いられている。幸い、ここ数十年でオフィスにPCが普及し、その性能も向上し、ソフトウェアも整備されてきたため、ビジネスマンがモンテカルロ・シミュレーションを行うことは難しいことではない。国内でも一部企業においては、日常的になされるようになってきている。

次節以降ではこれらについて順を追って紹介したい。次節では現在の事業投資評価の基本であるDCF法について、次々節では不確実性とその計算について、すなわちリスクとシミュレーションについて解説する。第4節では実務的な例題として「木材事業への投資」を採り上げ、評価の流れを見ていく。

2. 事業投資評価

先にも述べたように事業投資評価の手法はいくつか存在するが、ここでは近年、国内企業においても標準的な手法となっているディスカウント・キャッシュ・

へんみ かずあき
㈱構造計画研究所
〒164-0012 中野区本町4-38-13

フロー（Discounted Cash Flow, 以下DCF）法を簡単に紹介する。

DCF法は、その名の通り、評価対象となる事業の将来キャッシュフローを予測し、そのキャッシュフローを発生時期によって割り引く。例えば、表1のような事業を想定する。

120億円投資し、1年後以降年に40億円のキャッシュフローが発生する計画である。さて、これは儲かる投資であろうか。

一見すると、120億円の投資に対して総計160億円のリターンがあり、投資額は3年間で回収できることから、それほど悪い案件ではなさそうである。しかし、投資は現時点、リターンはしばらく先の話であるため、お金が入る年月を考えると、少し損をするような感じもする。そこでDCF法では、将来のキャッシュフローをその発生までの時間によって割り引くことで、この時間的な損得をうまく表現する。

例えば、1年後に発生したキャッシュフロー（CF）は10%割り引いて考えるとすると、割り引かれたキャッシュフロー（DCF）は表2のようになる（2年後以降は複利的に割り引かれている）。

DCF法の主な評価指標としては、NPV（Net Present Value, 正味現在価値）とIRR（Internal Rate of Return, 内部収益率）があるが、NPVはこの割り引かれたキャッシュフロー（キャッシュフローの現在価値）の総和である。

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{1+r} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \frac{CF_4}{(1+r)^4}$$

これがプラスになれば、トータルで黒字の事業、すなわちこの投資は妥当であるといえる。

IRRは、NPVがキャッシュフローを割り引いて合計値を出すのとは反対に、NPVが0となる場合の割引率として計算される。

表1 キャッシュフロー例（単位：億円）

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|------|-----|-----|-----|-----|
| 投資 | 120 | | | | |
| 収入 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 支出 | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| CF | -120 | 40 | 40 | 40 | 40 |

表2 割引キャッシュフロー

| 割引率 | 10% | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|
| DCF | -120 | 36.4 | 33.1 | 30.1 | 27.3 |

$$CF_0 + \frac{CF_1}{1+r_{IRR}} + \frac{CF_2}{(1+r_{IRR})^2} + \frac{CF_3}{(1+r_{IRR})^3} + \frac{CF_4}{(1+r_{IRR})^4} = 0$$

これは言い換えれば、投資に対してリターンが何%と考えると釣り合うか、すなわち名前の通り、この事業が何%の投資利回りかという指標である。

キャッシュフロー例におけるNPVとIRRは表3のように計算される。

この結果を見れば、現在価値が0以上であり、利回りも12%以上あるため、この投資が妥当であることが分かる。

ちなみに、NPVは頑張れば手計算でもできるが、IRRはn次方程式の解のようになるために手計算では難しい。通常はIRRを計算する関数があらかじめ含まれているMicrosoft Excelなどの表計算ソフトウェアを使って計算することになる。ただソフトウェアを使うとしても、表1の例のようにキャッシュフローが“-、+、+、+、+”のように符号の変化が一度であればIRRは一意に決まるが、そうではない場合、計算式の性質上、解が複数となったり存在しなかったりするため計算エラーとなる。次節のシミュレーションを行う場合、この点は特に注意する必要がある。

さて、割引率の与え方など触れるべき話題は残ってはいるが、概ね以上が今日投資評価手法として標準的に使われているDCF法である。ただ、もちろん万能なわけではなく、大きなものとして次のような難点がある。「将来キャッシュフローとして一つのシナリオを予測しなければならないこと」、また「一度決めた計画は変更することができないこと」である。将来はいろいろな不確実性があるため、完全に予測することは不可能である。また、事業遂行時においては、通常状況の変化等によって、当初立てられた計画を柔軟に変更し、よりリターンが得られる（もしくは損失を避ける）方法を探るのが自然である。

このような課題に対する一つのアプローチとして、モンテカルロ・シミュレーションは有用である。日常的に不確実性の高い事業への投資を行っている、商社やエネルギー関連会社、製薬会社などでは、しばしば次節のようなリスクを考慮したモンテカルロDCF法が用いられている。

表3 DCF法による評価値

| | |
|-----|-------|
| NPV | 6.8 |
| IRR | 12.6% |

3. リスクとシミュレーション

リスクとは何か。たとえ NPV がマイナスであっても、予期されたシナリオ通りに事業が進めばそれはリスクではない。事前に分かっていることであれば、あえて投資して赤字になったとしても戸惑わない。逆にいえば、決まったシナリオ通りに進まないことがリスクなのである。

そこでシナリオ通りにならないと思われる要因（リスク要因）については、“一点予測”ではなく“幅をもった予測”，すなわち確率分布での表現を試みる。そうすることによって、決まったシナリオによる一つの評価値ではなく、確率的に起こりうる“評価値の分布”＝“リスク”を知ることができる。

先のキャッシュフロー例をみると、投資額が 120 億円となっている。実際には投資額は確定的ではなくある程度“ぶれ”るものであるとすると、これは起こり得る一つのシナリオにすぎない。よって、その“ぶれ”を例えば図 1 のような確率分布でもって仮定する。

また各年度の収入も不確定であれば、その不確実性に相応しい確率分布を各々仮定する（図 2）。

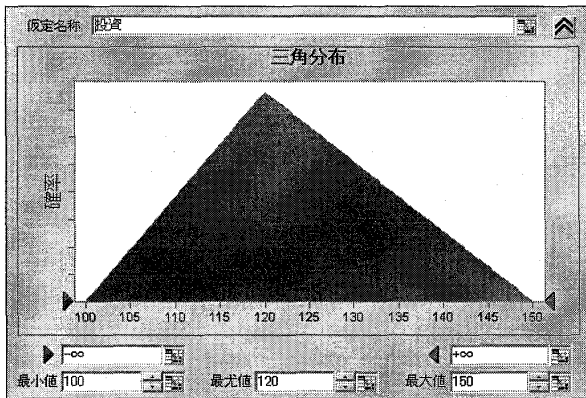


図 1 投資額の確率分布仮定

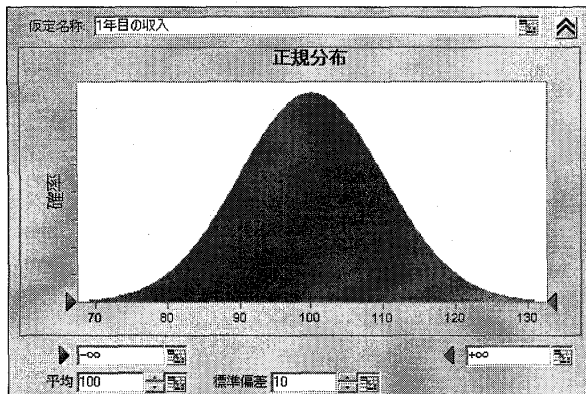


図 2 収入の想定確率仮定

このように、三角分布や正規分布，その他いろいろな確率分布を用いて，考え得るリスク要因を，幅を持った数値＝確率分布として表現するのである（後述するように簡単なことではないが）。

さて，キャッシュフローに含まれる不確実性が表現できれば，NPV や IRR といった評価指標を計算することになる。しかし一般的な DCF 法とは異なり，確率分布を含む計算をしなければならない。そこで用いるのがモンテカルロ・シミュレーションである。モンテカルロ・シミュレーションは，100 年近く前に物理学において中性子の動きを探るために考案された手法であるが，現在は幅広い分野で利用されている。確率を伴った計算を行うためのものであり，数式で計算するのではなく，乱数（サイコロのように一定の分布に従ってランダムに出てくる数）を用いて実験的に計算する手法である。

先程仮定した投資額と収入の確率分布をもとに，モンテカルロ・シミュレーションを行ってみる。

表 4 はモンテカルロ・シミュレーションの“1 試行”分，すなわち投資額と収入について各確率分布に従った乱数一つずつ（一組）発生させた例である。将来起こりうる無数の可能性の中の一つである。このたまたま起こったケースでは NPV は 40.3 億円，IRR は 25.1% となっている。

このようなモンテカルロ・シミュレーションの試行を，何千回，何万回と繰り返すことによって，NPV や IRR の起こりうる分布を得ることができる。

図 3 は，モンテカルロ・シミュレーション 100 試行，1,000 試行，10,000 試行，100,000 試行のときに得られた NPV の分布である。サイコロを投げれば投げるほど出た目の割合が 6 分の 1 に近づくように，試行回数が増えるほど，理論値に近いなだらかな分布となる様子が分かる。

モンテカルロ・シミュレーションは，確率分布を含

表 4 乱数発生例

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-------|-------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 投資 | 118.4 | | | | |
| 収入 | | 109.7 | 108.6 | 121.7 | 99.6 |
| 支出 | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| CF | -118.4 | 49.7 | 48.6 | 61.7 | 39.6 |
| 割引率 | 10% | | | | |
| DCF | -118.4 | 45.2 | 40.2 | 46.3 | 27.0 |
| NPV | 40.3 | | | | |
| IRR | 25.1% | | | | |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-------|-------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 投資 | -118.4 | | | | |
| 収入 | | 109.7 | 109.8 | 121.7 | 99.8 |
| 支出 | | 80 | 80 | 80 | 80 |
| CF | -118.4 | 49.7 | 49.8 | 61.7 | 39.8 |
| 割引率 | 10% | | | | |
| DCF | -118.4 | 45.2 | 40.2 | 46.3 | 27.0 |
| NPV | 46.3 | | | | |
| IRR | 25.1% | | | | |

表5 NPV 分布の統計量

| | |
|--------|--------|
| 平均値 | 3.50 |
| 中央値 | 3.60 |
| 標準偏差 | 18.90 |
| 分散 | 358.70 |
| 歪度 | -0.04 |
| 尖度 | 2.96 |
| 変動係数 | 5.47 |
| 平均標準誤差 | 0.10 |

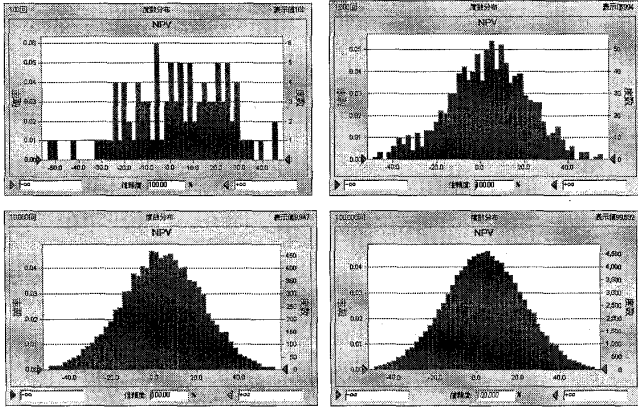


図3 シミュレーションの様子

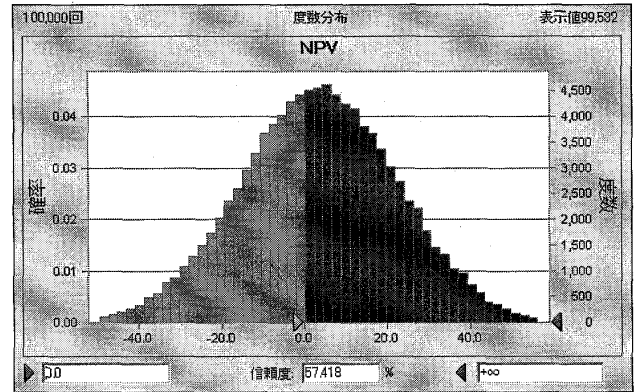


図4 NPV 信頼度 (0~無限大)

む計算の手法として極めて汎用性が高いというメリットがある反面、実験的な手法であるため、特に試行回数が少ない場合には理論値との誤差を生む点がデメリットである。他分野においてはこの誤差が問題となることもあるが、事業投資評価での利用では、通常10,000から100,000試行程度で行われ、その精度が問題となることはほとんどない。これはシミュレーションの精度よりも、確率分布の仮定や事業の表現方法によるところの影響の方が大きいことが理由として挙げられる。

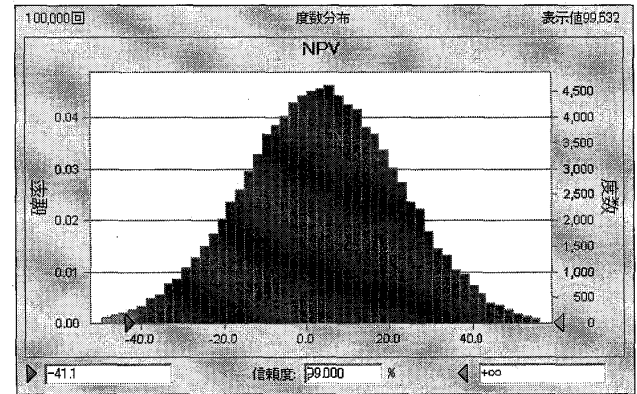


図5 NPV 信頼区間 (上限から99%)

シミュレーション結果は、統計量や信頼度、信頼区間の観点から分析される(表5, 図4, 5)。

この例では、平均的なリターンは3.5億円、NPVがマイナスとなる赤字リスクは43%程度、1%の確率で起こりうるシナリオとしてNPVが41億円以上のマイナスとなるリスクがある、といったことが分かる。

以上のように、DCF法をベースに、リスク要因については確率分布で表現し、その評価結果の計算にモンテカルロ・シミュレーションを用いる、これがモンテカルロDCF法と呼ばれる手法である。

考え方や計算方法はこれまで述べたように難しいものではないが、実際の投資案件に適用しようとする場合には、検討すべき点は多い。例えば分布設定の問題である。どのようなリスク要因にどのような確率分布を仮定すれば良いのか。過去データが潤沢にある、例えば為替や市況価格のような対象については、過去デ

ータからの推定を用いることができるが、新規事業の販売数予測などは主観的な仮定を用いることになる。また、そもそもキャッシュフローをどの程度ブレークダウンして考えれば良いのか。例のように収入と支出だけで考えるのは大雑把すぎるが、細かい経費項目まで落としてもあまり意味がない。他にも、リスク要因を含む各要素間に関係はあるのか、どのような関係か、等々、検討や議論を重ねながら進めていくことになる。また最近話題にもなった“ブラックスワン”[4]のように、そもそも確率分布として想定しえないリスクもある。しかし、このような検討課題や限界があるにせよ、それを理解した上で用いれば、リスクに対する認識や

コミュニケーションは大きく向上し、より良い意思決定へつながっていくのである。

4. 具体例

4.1 カナダでの木材事業

本節では、より現実的な事例として木材事業への投資を採り上げる。詳細は省くが、シミュレーションによるリスク分析を含む事業投資評価の雰囲気をお感じいただきたい。

事業の概要は図6の通りである。

カナダにおいて木を伐採し、そのまま丸太として原木販売を行うビジネスと、丸太を製材し海上輸送したのち日本で販売するビジネスとを組み合わせた事業である。製材品販売は利幅が大きい一方、様々なリスク要因を抱えるためハイリスク・ハイリターン、原木販売は薄利だがリスク要因の少ないローリスク・ローリターンのビジネスである。

いずれのビジネスにも偏るのは適切ではないと思われるため、当初計画（ベースケース）としては、伐採した150,000 m³のうち100,000 m³を製材品販売ビジネスへ、50,000 m³を原木販売ビジネスへ割り振るものとした。この他、伐採設備や製材設備への投資、各年の設備費用、稼働率、製材歩留まり、製材品販売量、原木販売量、市況価格、為替など数値仮定を行い、財務諸表を作成、キャッシュフローからNPVを計算すると333百万円であった。これを見るとこの投資は妥当であると思われたが、試しに、製材歩留まりの数値仮定をベースケースの50%から47%としたところ、NPVは-239百万円とマイナスの値となる。これでは判断がつかないため、他のリスク要因も含めて、シミュレーションを行うこととした。

4.2 リスク仮定

本事例のリスク要因については、以下のような方法にて仮定した。

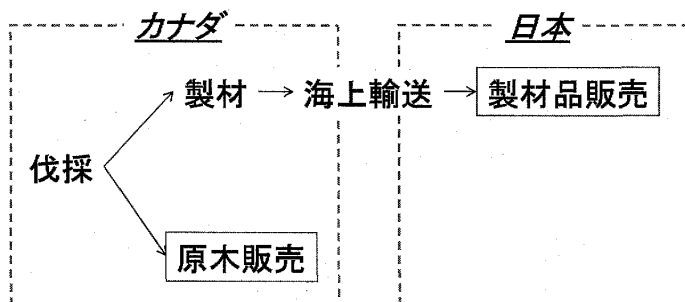


図6 木材事業の概要

【稼働率】

伐採設備、製材設備の稼働率は、類似事業における各稼働率の過去データを基に、最も適合する分布を選択(図7)。

【為替レート・船賃】

US\$, CA\$ に対する為替レートおよび海外輸送の船賃は、過去18年間のデータからパラメータを推定した、平均回帰過程を設定(図8)。

【市況価格】

立木(山にある木)価格は、過去9年間のデータから推定した平均回帰過程を設定。

原木価格は、過去9年間の立木価格と原木価格の回帰分析結果に基づく予測と、その予測誤差を分布設定。

製材品価格は、過去9年間の原木価格とCA\$換算された日本の製材品価格の回帰分析結果に基づく予測と、その予測誤差を分布設定。

【その他価格】

その他、設備への初期投資、各年の固定費変動費などは、主観的推定による三角分布を設定。

製材歩留まりについては、主観的推定による一様分布を設定。

4.3 シミュレーション結果

前項の仮定の下シミュレーションを行うと、NPVは図9のような結果となった。

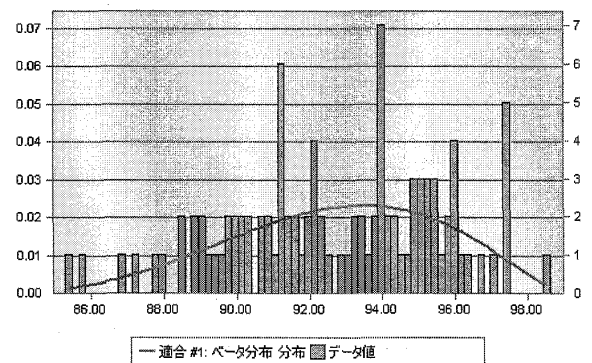


図7 稼働率分布の適合例

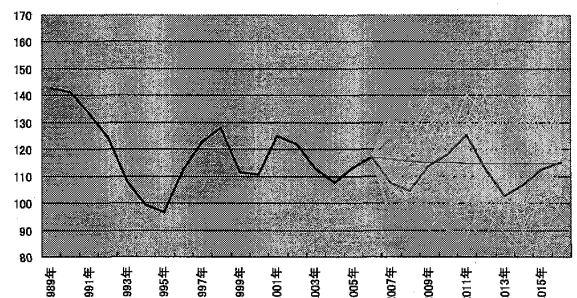


図8 平均回帰過程の例

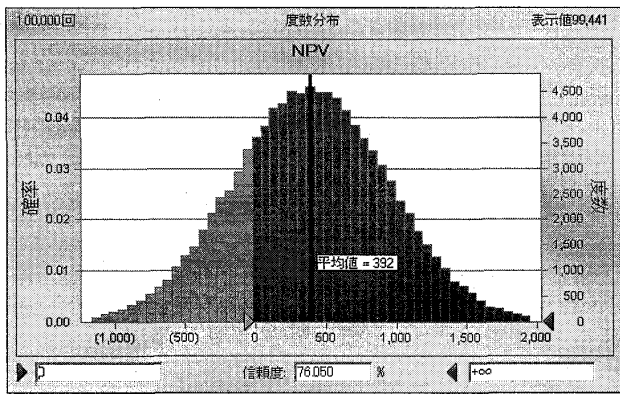


図9 NPV分布

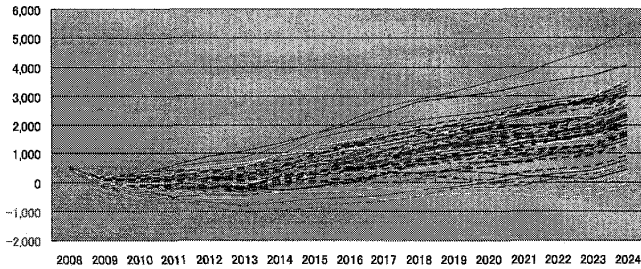


図10 累積キャッシュフロー推移例

平均的なリターンは392百万円、NPVがマイナスとなる赤字リスクは24%程度、1%の確率で900百万円以上のマイナスとなる、といったリスクの高い事業であることが分かる。また累積キャッシュフローのシミュレーション結果データは、図10のようなものであった。

良く見ると多くのラインがマイナス部分を通っている。これは結構な割合で資金不足が発生することを意味しており、実際に遂行する際は、あらかじめ何らか手を打っておく必要がある。

またシミュレーションにおけるリスク要因と評価指標の相関を捉えることによって、リスク要因が評価指標に与える影響の大きさを得ることができる(感度分析という)。

これを見ると、NPVに対して、製材での歩留まり率が大きく影響していることが分かる(図11)。

4.4 事業の再検討

事業投資評価は、単に評価結果を出せば良いというものではなく、その結果を踏まえて、より良いものに変えていくことが重要である。

例えば、先に述べたように本事例のNPVには歩留まり率が大きく影響していたので、「初期投資額は上がるが歩留まり率を1%向上できるランクの高い製材

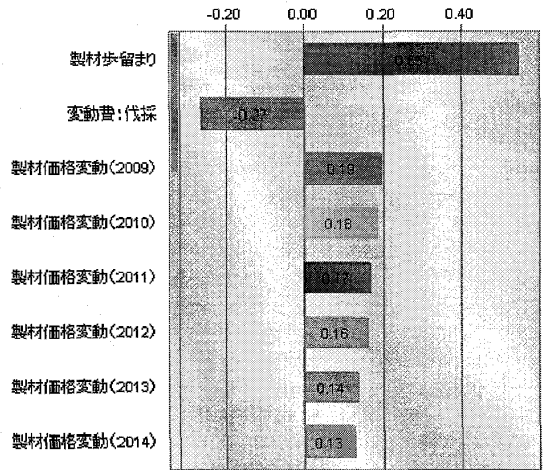


図11 感度分析結果

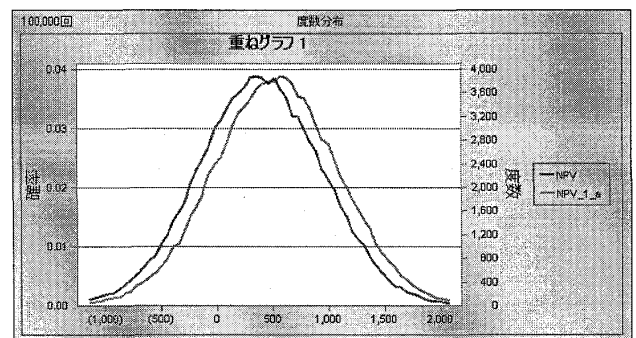


図12 改善例とベースケースの比較

設備を導入したケース」(図12 NPV_1_a)などを新たに検討し、比較できる。

また何らか意思決定の余地がある場合、最も適切な選択を模索することもできる。例えば、本事例では製材品販売と原木販売の二つのビジネスの組み合わせである。ベースケースでは、伐採された150,000 m³を製材品販売へ100,000 m³、原木販売へ50,000 m³割り振るとして各設備投資を計画した。しかしこれは最適な割り振り比率ではないかもしれない。次のグラフは製材品販売の割合を変えていったときのNPV 1%値をプロットしたものである。NPV 1%値というのは「1%で起こりうるワーストケースをできるだけ改善したい」という基準である(図13)。

製材品販売の割合が少ない場合、リスクは少ないのだがリターンも少ないため、NPV分布が全体的にマイナス方向に寄り、ワーストケースのマイナス値が大きくなる。また、製材品販売の割合が多い場合には、リターンは大きいですがリスクも大きいためNPV分布が全体的に広がり、やはりマイナス値が大きくなる。よって、当初の計画通り100,000 m³を製材品に割り振るのが、最適な意思決定のようである。

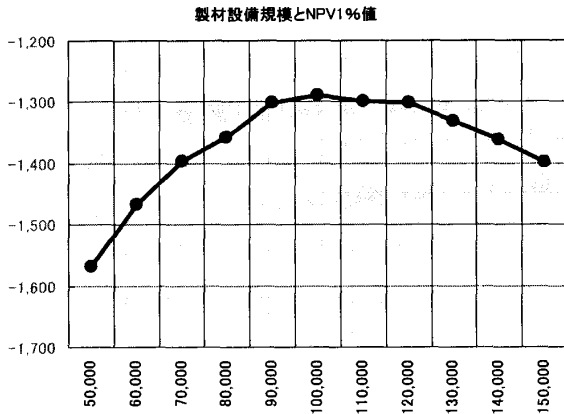


図13 製材品販売割合とワーストケース

このように、事業想定、シミュレーションとその結果分析を繰り返し、リスクコントロールを行うことによって、事業者自身にとって最も良いリスクとリターンを目指すのである。

5. おわりに

本稿では、事業投資評価手法と、不確実性を想定し

た場合でのモンテカルロ・シミュレーションの利用について述べた。手法自体はシンプルであるため、目新しい発見はあまりなかったかもしれないが、実務へ適用する場合には様々な検討が必要になること、また使い方によっては様々な示唆が得られること、そしてこれらが少なくない企業において既実践され、日常的な業務の一部を担っていることなどをお感じいただければ幸いである。

参考文献

- [1] S. A. Ross, R. W. Westerfield, J. F. Jaffe, 大野薫(訳), 『コーポレートファイナンスの原理』, きんざい, 2004.
- [2] 小林啓孝, 小松原宰明, 山田方敏, 加藤芳男, 辺見和晃, 『リスク・リターンの経営手法』, 中央経済社, 2006.
- [3] 橋詰匠, 早稲田大学経営リスク研究会, 『ビジネスリスク分析入門』, 早稲田大学出版部, 2005.
- [4] N. N. Taleb, 望月衛(訳), 『ブラックスワン(上・下)』, ダイアモンド社, 2009.