

分類の2は鉱山開発の現場での収支計算術を源とする現場サイドの経済学であるのに対し、3は資源問題を政策論として論じる際の理論的裏付けとして持ち出される特殊な経済理論です。これから各論として紹介する内容は、この両者のいずれか一方に属するものです¹⁾。経済学という手法で資源という対象を論じるには、その視点の置き場所の違いによって2通りのアプローチの仕方があるのだとお考え下さい。

3. 資源プロジェクトの経済評価

3-1. DCF分析の基礎

ではまず各論の手始めとして、いわゆるプロジェクト評価を取り上げてみたいと思います。これは、資源開発を事業又は投資案件として評価する技術ですから、前述の分類で言うと2に属するものです。

プロジェクトの経済評価とは、あるプロジェクト（鉱山開発でも、株の購入でも、何でもかまいません）に資金をつぎ込んで後にそこから利益を回収する時に、その儲かり具合を定量的に測ることです。もし資金投入と利益の回収が同時に起こるのであれば、単に投資額と回収額の差を計算すれば済む話ですが、通常は資金を投入した後しばらく経ってから利益が出るので、その間の時間の経過をどう取り扱うかがポイントとなります。

プロジェクトの収益性の最も単純な尺度として昔から用いられてきたのが、資金回収期間の長さ（**Payback Period**）です。この場合、回収期間が短いほど望ましいという事になります。しかし、この評価法は資金を回収した後に

1) 京都大学の西山先生が書かれた「資源経済学のすすめ（中公文庫）」という本があります。これは、地質学・資源工学の知識を経済活動の視点から解釈したもので、本稿の分類で言えば3に含まれるでしょう。

発生する利益を無視しているため、余り実用的ではありません。そこで20年ほど前から広く使われ始めたのが、**DCF (Discount Cash Flow)** 分析と呼ばれる評価法です。これは額面価値の時間変化 (**Time Value of Money**) という概念を用いてプロジェクトの儲かり具合を定量化するもので、プロジェクト評価の基本形とでも言うべき手法です。

額面価値の時間変化

ではまず、額面価値の時間変化について説明しましょう。今手元に100万円あるとします。これを銀行に預けると、時間の経過とともに利息が上乗せされて額面が増えていきます。表3-1-1の1行目は、現在の100万円を5%複利で預けておいた場合、その額面金額が4年後には約122万円になる事を示しています。銀行預金は誰にでも出来ますし、リスクもありませんから、100万円を保管する手段として、瓶に入れて庭に埋めたり、株や宝くじに替えたりするのではなく、銀行に預金しておくのが最も自然な成り行きであると考えます。そこで、現在の100万円は2年後には110万円、4年後には122万円になって初めてその価値が温存されるのであり、庭に埋めた100万円はいつまでも100万円のままですから、その値は時間とともに目減りして行くということになります。

表3-1-1：額面価値の時間変化（金利5%の場合）

| | 現 在 | 1 年 後 | 2 年 後 | 3 年 後 | 4 年 後 |
|-----------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| 現在の100万円 | <u>100.00</u> | 105.00 | 110.25 | 115.76 | 121.55 |
| 4年後の100万円 | <u>82.27</u> | 86.38 | 90.70 | 95.24 | 100.00 |

→現在価値 (Present Value)

このように、現時点での現金の額面価値（これを現在価値と呼びます）は、時間の経過とともに預金利率の割合で増えねばならないというのが、額面価値の時間変化の考え方です。従って逆に、将来のある時点で受け取る予定の現金の額面価値は、これを預金利率で現時点まで割り戻して得られる現在価値（これはその時点での額面価値より常に小さくなります）と同じ価値を持つとも言えることが出来ます。表3-1-1の2行目は、4年後に受け取る100万円は現在約82万円を銀行に預けたのと同じだということを示しています。従って4年後に受け取る100万円の金利5%における現在価値は82万円です。

一般に、n年後の額面価値Xの利率i（小数で示すものとします）における現在価値PV_xは、

$$PV_x = X / (1 + i)^n$$

という式で計算できます。この式からも判るように、現在価値は時間nと利率iによって決まり、より未来の額面価値であるほど小さく、また利率が高いほど小さくなります。実際に100万円の額面価値がその受け取りまでの時間と利率によってどう変わるかを示したのが表3-1-2です。

額面価値の時間変化とは、現在と将来のある時点との間に経過する時間の長さを、利率を用いて金額に換算する事だといえます。要するに、「時は金なり」を具体的な数字で表現したものとも言えるでしょう。現在のある額面価値

表3-1-2：将来受け取る100万円の現在価値

| 利率／時間 | 1 年 後 | 2 年 後 | 3 年 後 | 4 年 後 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 3 % | 97.1 | 94.3 | 91.5 | 88.8 | |
| 5 % | 95.2 | 90.7 | 86.4 | 82.3 | |
| 10% | 90.9 | 82.6 | 75.1 | 68.3 | (単位:万円) |

値はこれからの時間の経過に応じた預金利息に相当する額を上乗せされて初めてその価値が保たれ、また将来のある時点での額面価値はそれまでに生じているはずの上乗せ分を逆算して取り除くことにより現在価値に換算されるのです。

NPVとIRR

このような額面価値の時間変化を用いて、資源開発プロジェクトの収支を計算してみましょう。単純な例として、初年度に8億円をかけて小さな鉱山を建設し、2年目から5年目までの間で鉱石を採掘して販売するプロジェクトを考えてみます。生産コストは年2億円、売上高は年5億円が見込まれますが、生産の最初の年（プロジェクトの2年目）は生産コストも売上もその半分に留まるものとします。この5年間のプロジェクトの毎年の収支を計算すると表3-1-3のようになります。この場合、初年度のマイナスの収支とは費用の持ち出し、すなわち初期投資額です。従ってこのプロジェクトは、初年度の8億円の投資を2～5年目の4年間で少しずつ回収するという収支スケジュールを持ちます。

表3-1-3：仮想プロジェクトの収支スケジュール

| 年 度 | 初年度 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 5年目 | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 費 用 | 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 売 上 | 0 | 2.5 | 5 | 5 | 5 | |
| 収 支 | -8 | 1.5 | 3 | 3 | 3 | (単位:億円) |

このプロジェクトは経済的にどう評価されるのでしょうか？ 見込まれる利益の単純合計は投資額の8億円を超えており、投資を上回る利益が期待で

きるのですが、これらの利益は投資よりも1～4年遅れて発生するので、額面価値の時間変化の考え方に従えば、これらを初年度の投資額と直接比較することは出来ません。発生時点の異なる支出と収入との相殺は、これらを全て現在価値に換算した上で行うというのが、**DCF**分析の基本的なルールです。

こうした割り戻し作業を利率 0.05 (= 5%) として表 3-1-3 のプロジェクトについて実際に行ったのが表 3-1-4 です。各年の収支額を現在価値 (プロジェクトは翌年から始まるものとします) に割り戻した上で、その値を合計しています。この総合収支額 (1.152 億円) を、このプロジェクトの **NPV (Net Present Value)** と呼びます。従って、プロジェクトの **NPV** とは、プロジェクト全体の収支スケジュールを、それと同等の絶対価値を持つ現時点での現金に置き換えたものであると言うことが出来ます。これはすなわち、このプロジェクトを実施する権利を現時点で売り買いする際の値段です。**NPV** の大きいプロジェクトほど儲けが大きく、従ってプロジェクトの値段 (価値) も大きくなります。もし **NPV** がマイナスであれば、このプロジェクトは現時点での債務と同等の価値を持つわけですから、これをお金を払って買う人はいません (この表現は後日オプション理論を説明する際に訂正さ

表 3-1-4 : プロジェクト **NPV** の計算例

| | | | | | |
|--------|---|----------------|---|--------|--------------------------|
| 初年度の費用 | : | $-8/1.05$ | = | -7.619 | |
| 2年目の利益 | : | $1.5/(1.05^2)$ | = | 1.361 | |
| 3年目の利益 | : | $3/(1.05^3)$ | = | 2.592 | |
| 4年目の利益 | : | $3/(1.05^4)$ | = | 2.468 | |
| 5年目の利益 | : | $3/(1.05^5)$ | = | 2.351 | |
| 計 | | | | 1.152 | → NPV (単位: 億円) |

れますが、ここでは単純にこう考えて下さい)。従って、投資家はプロジェクトのNPVがプラスでない限り投資しません。たまたも複数案件の間で選択の余地があれば、NPVのより大きな案件を選びます。

しかし、現在価値が利率によって異なる値を取るため、NPVもその計算に用いる利率が変われば当然その値が変わってきます。先に述べたように、投資案件は通常始めに大きく投資してその後少しずつ利益を生むというパターンをとるので、利率が高いほど利益の現在価値が小さくなり、結果としてNPVは小さくなります。

そこで、NPVに代わるプロジェクト評価の尺度として、内部収益率（**Internal Rate of Return; IRR**）が用いられることがあります。これは、「そのプロジェクトのNPVをゼロにするような利率」と定義される数字で、ちなみに表3-1-3のプロジェクトにおけるIRRは10.77%となります。もし利率がこれより低ければNPVはプラスとなり（10%の時0.133億円）、もしこれより高ければマイナスとなります（12.5%の時マイナス0.281億円）。NPVがある利率*i*においてゼロということは、プロジェクトが稼ぐ収益は利率*i*の銀行口座のそれに等しいということですから、IRRとは、プロジェクトへの投資が生む利益を預金利率の形で表したものであると言えます。

IRRはプロジェクトの収益性を率で表したものですから、その収益の大きさは考慮されません。一方NPVは収益の大きさを額で示したものですから、その投資効率率は表現できません。DCF分析の解釈には、両者のこのような性質を理解し、必要に応じて使い分けたり組み合わせたりすることが必要です。

実際の計算方法

ではここで、もう少し現実的な事例を用いて、プロジェクトの収支スケジュールの計算の手順を見てみましょう。対象となる事例は金の鉱床の開発

案件で、鉱床は、カットオフ品位0.65gAu/tで鉱量830万トン、平均品位4.05gAu/tです。鉱体が浅くまとまっているので、露天掘りで採掘されます。計画では、初年度に表土の剥土作業や採掘用重機の購入、現場選鉱施設の建設等を行い、2年目から6,000トン/日のペースで採掘を始め、6年目に全ての鉱石を採掘し終わります。採掘した鉱石は、現場で選鉱した後、精錬を委託し、地金を市場で売ります。採掘終了後、機材や設備は初年度の購入価格の10%で売れるものとします。

全体の剥土率は2：1で、作業は初年度に357万トン、2年目以降はその年に採掘する鉱石の2倍とします（5年目の途中で完了）。初年度の剥土作業費の30%は、開発コストとして初年度半額の5年間定額で減価償却され、また設備投資額8267.5万ドルは、全額が初年度半額の7年間定額法により償却されます。さらにこの鉱床の発見には91万ドルの探鉱費が使われており、この費用は鉱床の取得コストとして減耗控除の対象となります²⁾。各行程のコスト等の条件は表3-1-5の中に示すとおりです。これらの条件に基づき、プロジェクトの総合収支スケジュールを計算してみましょう。

始めに1～6年目の各年における金地金の売上高、鉱山の操業コスト及び探鉱費の減耗控除額を、表3-1-5-1～3において計算します。ここでは金の市価は向こう6年間12.00\$/gで一定とします。

2) こうした減価償却や減耗控除のやり方は、米国の現行の会計制度に基づくもので、鉱山開発事業の特殊性に配慮した優遇税制の一つです。もちろん国が違えば条件は異なります。

表3-1-5：鉱山開発プロジェクトの収支スケジュール計算とDCF分析の例

1：売上高

鉱石採掘量(t/日)：6,000 平均品位(g/t)：4.05 金価格(\$/gAu)：12.00 選
 鉱回収率(%)：95

| 年 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 年間操業日数 | 0 | 248 | 355 | 355 | 355 | 70 |
| 鉱石採掘量(t/年) | 0 | 1,488,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 420,000 |
| 採掘鉱石中の金量(g) | 0 | 5,725,080 | 8,195,175 | 8,195,175 | 8,195,175 | 1,615,950 |
| 金の販売価格(\$/g) | 12.20 | 12.20 | 12.20 | 12.20 | 12.20 | 12.20 |
| 年間販売収入(\$) | 0 | 68,700,960 | 98,342,100 | 98,342,100 | 98,342,100 | 19,391,400 |

2：操業コスト

採掘単価(\$/t)：2.62

選鉱単価：6.88

| 年 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 年間剥土作業量(t) | 3,570,000 | 2,976,000 | 4,260,000 | 4,260,000 | 1,530,000 | 0 |
| 年間鉱石採掘量(t) | 0 | 1,488,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 420,000 |
| 採掘+選鉱費(\$/年) | 9,353,400 | 11,695,680 | 16,741,800 | 16,741,800 | 9,589,200 | 1,100,400 |
| 選鉱費(t/年) | 0 | 10,237,440 | 14,654,400 | 14,654,400 | 14,654,400 | 2,889,600 |
| 年間操業コスト(\$) | 9,353,400 | 21,933,120 | 31,396,200 | 31,396,200 | 24,243,600 | 3,990,000 |

3：減耗控除

控除率(%)：15

| 年 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 控除対象額(探鉱費) | 910,000 | 910,000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 鉱石採掘量(t/年) | 0 | 1,488,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 2,130,000 | 420,000 |
| 年末時点の残存鉱量 | 8,300,000 | 6,812,000 | 4,682,000 | 2,552,000 | 422,000 | 2,000 |
| 費用控除額(\$) | 0 | 198,779 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 定率控除の上限額(\$) | 0 | 3,841,349 | 8,167,648 | 8,167,648 | 11,743,948 | 0 |
| 定率控除額(\$) | 0 | 6,298,161 | 9,015,512 | 9,015,512 | 9,015,512 | 1,777,707 |
| 減耗控除額(\$) | 0 | 3,841,349 | 8,167,648 | 8,167,648 | 9,015,512 | 0 |

次に、年毎の収支を計算します。まず売上高から委託精錬費と権利金（鉱区所有者の取り分など）を差し引いて手取り収入を求め、さらにそこから実コスト及び減価償却等の非課税項目を差し引いて課税収入を求めます。この課税収入から所得税を割り引いた後に（ここでは課税収入がマイナスの場合は他事業の収入に対する節税効果額として収入を計上します）、控除額を足し戻し、そこから設備投資額および流動資本（資材・燃料や製品の予備在庫保有費用）を引いた残りが、この年の総合収支額です（表3-1-6-4では6年目の収支を操業に関する部分と資産の処分に関する部分とに分けて計算しています）。この金額は全ての費用とコストを相殺した後に残るその年のネットの金の出入りを示しています。6年分のこの数字（太字の行の数字）が、このプロジェクトの総合収支スケジュールです。

この収支スケジュールからNPVとIRRが計算されます。表3-1-6-5には、7通りの異なる利率を用いたNPVの値が示してありますが、そのうちNPVがゼロとなる9.46%がすなはちIRRです。ここでは実際の利率として6.6%を使うものとする、NPVは約780万ドルになります。

現実案件への適用

このようにして各プロジェクトのNPVやIRRが求められるわけですが、その際にまず考えねばならないのが、この計算に用いる利率をどう決めるかです。この利率は今まで単純に銀行預金利率に等しいとしてきましたが、実際にこの利率を決める場合には、この他に多くの要素を加味せねばなりません。その結果として、各プロジェクト毎にその評価に適した利率は異なるのが普通です。

またDCE分析を用いる場合に気をつけねばならないのは、これは個別の開発計画に対する評価であり、そのプロジェクトの対象となる物件（例えばあ

る鋳床) そのものを評価しているわけではないという事です。同じ鋳床の開発でも、その開発の形態 (用いる技術、操業の規模など) が違えば評価結果も異なってきます。

表3-1-6：鉱山開発プロジェクトの収支スケジュール計算とDCF分析の例（その2）

4：総合収支スケジュール

| 年 | 権利金(%)：5 | | | | | 所得税率(%)：46 | | | | | NPV(\$) | |
|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|--|--|--|---------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6(操業) | | | | | | |
| 販売収入 | 0 | 68,700,960 | 98,342,100 | 98,342,100 | 98,342,100 | 19,391,400 | 0 | | | | 20% | -19,327,121 |
| - 委託構築費 | 0 | 25,648,358 | 36,714,384 | 36,714,384 | 36,714,384 | 7,239,456 | 0 | | | | 10% | -1,327,226 |
| 実質販売額 | 0 | 43,052,602 | 61,627,716 | 61,627,716 | 61,627,716 | 12,151,944 | 0 | | | | 9.46% | 0 |
| - 権利金支払い | 0 | 2,152,630 | 3,081,386 | 3,081,386 | 3,081,386 | 607,597 | 0 | | | | 8% | 3,787,784 |
| 手取り収入 | 0 | 40,899,972 | 58,546,330 | 58,546,330 | 58,546,330 | 11,544,347 | 8,267,500 | | | | 6.6% | 7,765,805 |
| - 操業コスト | 0 | 21,933,120 | 31,396,200 | 31,396,200 | 24,243,600 | 3,990,000 | 0 | | | | 5% | 12,760,781 |
| - 開発費 | 6,547,380 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 3% | 19,759,688 |
| - 減価償却費 | 5,905,357 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 0 | | | | | |
| - 開発費の分割償却額 | 280,602 | 561,204 | 561,204 | 561,204 | 561,204 | 280,602 | 0 | | | | | |
| - 償却残存額の除却 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17,716,071 | | | | | |
| 減耗控除前の課税収入 | -12,733,339 | 6,594,933 | 14,778,212 | 14,778,212 | 21,930,812 | -4,536,969 | -9,448,571 | | | | | |
| - 減耗控除 | 0 | 3,297,467 | 7,389,106 | 7,389,106 | 8,781,950 | 0 | 0 | | | | | |
| 課税収入 | -12,733,339 | 3,297,467 | 7,389,106 | 7,389,106 | 13,148,862 | -4,536,969 | -9,448,571 | | | | | |
| - 所得税 | -5,857,336 | 1,516,835 | 3,398,989 | 3,398,989 | 6,048,477 | -2,087,006 | -4,346,343 | | | | | |
| 実質所得 | -6,876,003 | 1,780,632 | 3,990,117 | 3,990,117 | 7,100,386 | -2,449,964 | -5,102,229 | | | | | |
| + 減価償却 | 5,905,357 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 11,810,714 | 17,716,071 | | | | | |
| + 開発費の分割償却 | 280,602 | 561,204 | 561,204 | 561,204 | 561,204 | 280,602 | 0 | | | | | |
| + 減耗控除 | 0 | 3,297,467 | 7,389,106 | 7,389,106 | 8,781,950 | 0 | 0 | | | | | |
| + 流動資本の回収 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,000,000 | | | | | |
| - 設備投資 | 82,675,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| - 流動資本 | 12,000,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 総合収支 | -95,365,044 | 17,450,017 | 23,751,141 | 23,751,141 | 28,254,254 | 9,641,353 | 24,613,843 | | | | | |
| 総合収支(年毎) | -95,365,044 | 17,450,017 | 23,751,141 | 23,751,141 | 28,254,254 | 34,255,196 | | | | | | |
| 累積総合収支 | -95,365,044 | -77,915,027 | -54,163,886 | -30,412,744 | -2,158,491 | 32,096,705 | | | | | | |

5：DCF分析

3-2. DCF分析の応用

前節、DCF分析はプロジェクトの収益度をそれと等価の現金（NPV）あるいは預金利率（IRR）の形で計る事だという話をしました。本節では実際のプロジェクト評価にこれらを用いる際に念頭に置くべき問題について説明します。

必要収益率

NPVやIRRは、プロジェクトの収益度を計る物差しのようなものです。しかし、NPVの絶対値はその計算に用いる利率によって変わりますし、IRRは利率と比較して初めて意味を持ちます。従って、この利率を正しく定義しないと、収益度の絶対値が決まりません。この「正しい」利率とは、プロジェクトが投資案件として最低限持っていなければならない、すなわちIRRがこの値の時プロジェクトは損にも得にもならないと言えるような利率です。このような利率のことを必要収益率（Required Rate of Return）と呼びます。もしIRRがこの必要収益率を下回る（又は必要収益率を用いて計算したNPVがマイナスになる）場合は、そのプロジェクトは投資の対象としては不適格であるとみなされます。

では、この必要収益率は具体的にはどのように定義されるのでしょうか？これは、投資の収益率は同じ資本をリスクのない確実な投資（銀行預金や国債の購入など）に使った場合の利率（これを「機会費用」と呼びます）よりも大きくなければならないという考え方に基づいています。そうでなければ、このプロジェクトへ投資するメリットが無いと考えるのです。ただし、この機会費用と必要収益率との関係はプロジェクトの性格や投資家の立場等によって違ってきます。ここでは、2つの異なる立場から見た必要収益率の決め方について説明します。

(1) プロジェクトを実施する立場から見た必要収益率

事業実施者は、投資する資金を何らかの方法で調達せねばなりません。銀行から借入れるとか、債権を発行しその売上げ金を使うとか、また自己資金を使うこともあるでしょう。銀行借入れ金や債権発行の売上げ金をプロジェクトに投資する場合、投資家は、その投資の収益の中から借入金利や債権の配当金を支払わなければなりません。また自己資金を使う場合には、その使い道がもたらす利益が機会費用より大きくなければなりません。プロジェクトの収益率がこうした支払い率（これを「資本の維持コスト」と呼びます）を上回って初めて、そのプロジェクトは実質的な利益を出すと言えます。従って、必要収益率はその資本の平均維持コスト（自己資金の機会費用、債券の最低配当率、銀行借入金の返済利率等を資金の内訳に応じて加重平均したもの）に等しくセットされることとなります。

具体的には、ある投資家の持つ資金全体の平均維持コストをその投資家の全ての投資案件に関する共通の必要収益率として用いる場合と、各案件ごとにその資金源を特定し、その平均維持コストをその案件固有の必要収益率とする場合とがあります。資源開発案件に関しては、最近では各プロジェクトごとに融資を募り資金を調達するケースが多いようですが、この場合は後者の例に当たり、この出資金の返済利率がプロジェクトの必要収益率となります。

NPVは必要収益率を用いて計算されますから、資金が低利で調達できれば、それだけ**NPV**は大きくなります。そのため、通常の資本維持コストでは収益の出ないプロジェクトでも、低コストの資本を持つ事業者にとってはペイするという事態もあり得ます。そういう意味で、投資資金のコストの大小は、鉱床の規模や品位と同様に、プロジェクトの収益性を大きく左右する重要な要素と言えます。

(2) プロジェクトに資金を提供する立場から見た必要収益率

先に述べたように、プロジェクトに自己資金を投資する投資家の立場から見ると、プロジェクトの必要収益率は資金の機会費用より大きい必要があります。では、これをどの程度上回ればよいのでしょうか？この問いに対し、投資案件の持つリスク（見込み収益と実際の収益とが異なる可能性）の大きさを用いて定量的に答えようというのが、**CAPM (Capital Asset Pricing Model)** 理論です。

CAPMでは、プロジェクトの必要収益率 (r_{req}) は、次の式で表されます。

$$r_{\text{req}} = r_f + \beta (r_m - r_f)$$

ここで r_f は機会費用（利率）、 r_m は市場に出回っている全ての債権を組み合わせたポートフォリオ¹⁾（市場ポートフォリオ）の収益率、そして β はプロジェクトの収益率（=IRR）と r_m をそれぞれ時間に対する正規確率分布関数とみなした場合の両者の間の共分散²⁾を r_m の分散で割った値で、これは両者の時間変動の相関の度合いを示しています。 r_m は常に r_f より大きいので、この式の右辺は機会費用自体とそれへの上乗せ部分とから構成されています。この上乗せ部分は、プロジェクトの収益が変動した場合に備えて必要収益率にあらかじめ持たせておく余裕の大きさで、リスクプレミアムと呼ばれます。 r_m のリスクプレミアムは $r_m - r_f$ で、これは債券市場においてそのリスクに対するプレミアム利率として投資の需要と供給とがバランスする値です。従っ

1) 複数の案件に分散して投資すること。これにより個別の投資案件に独自に起こる収益率の時間変動が案件間で互いに相殺され、投資全体の平均収益率を安定させる（＝リスクを軽減する）ことが出来る。

2) 2つの確率分布変数が変動する際に、両者の平均値からのばらつき（＝分散）の間の相関の度合いを示す値。大ざっぱに言うと、一方が平均より20%大きい時に他方も20%大きくなるならば1、10%だけ大きくなるならば0.5、反対に20%減少するならば-1、全く無関係に任意の値を取るならば0となる。

て r_m に関しては、市場で認知されたリスクと利率との換算率が存在するわけ
です。これに各プロジェクトのリスクの相対的な大きさ（これが β です）を
掛けることによって、案件ごとのリスクプレミアムの大きさを表現するのが、
CAPMの手法です。

r_m のリスクは、世の中の景気変動など全ての投資案件に一律に作用する変
動が生むリスク（これを「相殺不能リスク」と呼びます）です。従って、あ
る案件の収益度が、世の中の景気動向と同じパターンで変動するならば β は
プラス、逆のパターンで変動する（世の中が不景気の時儲けが増え、好景気
の時儲けが減る）ならばマイナスになり、その変動の度合いが大きいほど β
の絶対値が大きくなります。ただしいくら変動の度合いが大きくても、その
パターンが r_m の変動のパターンと全く無関係であれば、 β はゼロになります。

実際には、通常 β はプラスであり、一般に小売業やサービス業、設備投資
型の重厚長大製造業などは1以上、電力業などは1以下となります。資源開
発事業はどうかというと、収益度の変動度は大きいものの、 r_m の変動との相
関が小さいので、 β は意外と小さい（1以下）と言われています。現在のわ
が国では r_f は2%弱、 r_m が3%弱程度なので、 β の値の違いが必要収益率に
及ぼす影響は微々たるものですが、バブル崩壊前の頃のように r_m と r_f との差
が小さい場合には、 β の値によって必要収益率が大きく変わってきます。

ただし、**CAPM**に基づく必要収益率は、投資家は常にリスク軽減のために
その投資をポートフォリオ化するという前提に立ち、評価の対象となるプロ
ジェクトへの投資はその他の幅広い分野の多くの案件への投資と同時並行的
に行われているものとして扱います。従って、「全財産をこのプロジェクト一
本に賭ける！」といった投資にはこの理論は使えません。要するに、**CAPM**
は大口機関投資家の立場から見た必要収益率なのです。

ただし事業実施者の立場であっても、その資金を市場で調達する場合は、

資金を供給する機関投資家の提示する利率がその資本の維持コストになるわけですから、結果的に事業実施者と投資家の必要収益率は同じになるでしょう。

OPRとOML

DCF分析を実際のプロジェクト評価に用いる場合に、必要収益率と並んで重要なのが、プロジェクトの実施計画がどう決められているかです。同じ対象への投資でも、プロジェクトの実施計画の違いによりその収益度が違ってくるからです。

鉱山開発プロジェクトの例を使って、その開発計画と収益度との関係を見てみましょう。鉱山の開発計画を立てる上で最も基本的なことは、どのような採掘・精製方法とどの位の採掘規模を採用するかです。採掘・精製方法は、通常鉱床の性質によって選択肢が技術的にある程度限定されてきますが、操業規模に関しては技術的な許容範囲の幅が比較的広く、立地条件や環境規制などによる特別な制限がない限り、主に経済性の観点から特定の規模を選ぶこととなります。

一般にDCF分析では、より遠い将来の額面価値ほど大きな割合で割り戻して現在価値に換算するため、操業期間全体を通じて一様に発生するプロジェクトの収入は、小さな規模で長期間操業するほどその合計額の現在価値が小さくなります。しかし支出のうちの初期投資（プラント建設費、機材購入費等）の現在価値は、プロジェクトの初期に集中して発生するので、操業期間の長さあまり影響を受けません。また支出のうちの操業コスト（人件費、燃料代、事務所経費等）の部分は、操業規模が小さくなると生産性のスケールメリットを失うので、総額はむしろ増えます。そのため、操業が小規模・長期間になると総収入の現在価値が相対的に小さくなり、収益度が下がる傾

向があります。

しかし、逆に操業規模が極端に大きくなると、大規模操業のメリットや操業期間短縮効果が限度に近づく一方、初期投資額は相変わらず生産規模に比例して増えるので、総支出額の現在価値が相対的に大きくなり、プロジェクトの収益度を押し下げることとなります。

結果として、プロジェクトの収益度は操業規模が小さ過ぎると下がり、また大き過ぎても下がり、従ってその中間のある値を取るときに最大となるということになります。このような収益度を最大化する操業規模のことを**OPR** (**Optimal Production Rate**)、そのときの鉱山の操業期間の長さを**OML** (**Optimal Mine Life**) と呼びます。

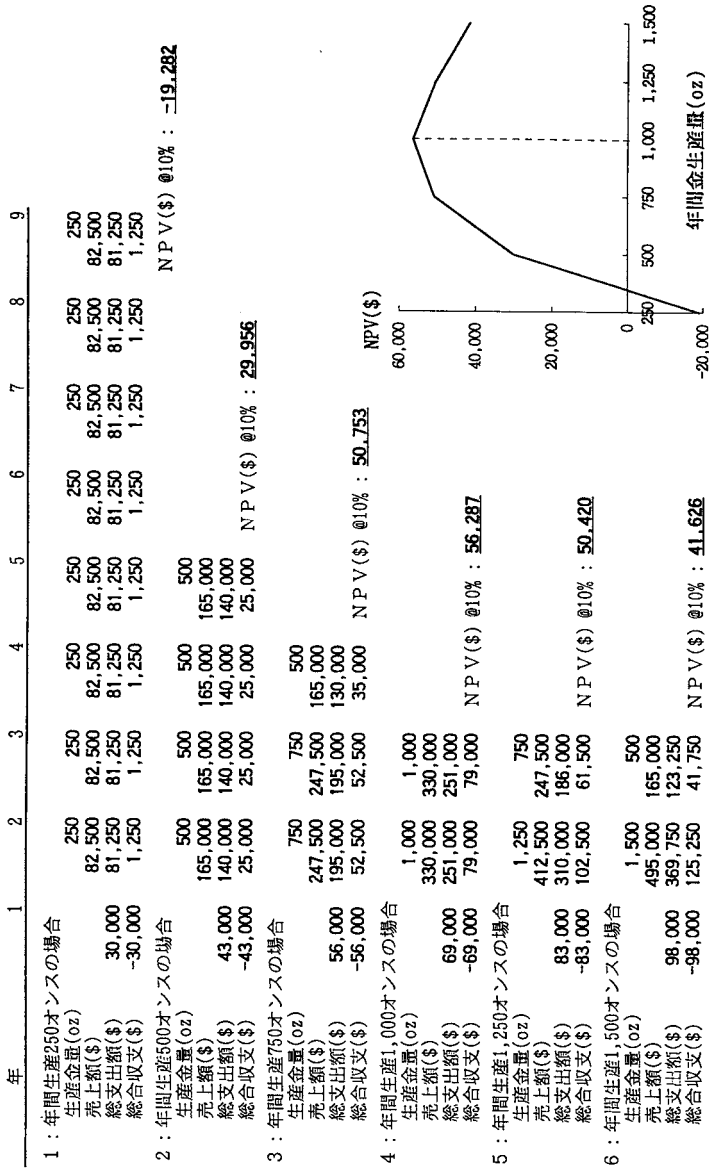
では簡単な事例を用いて実際に**OPR**と**OML**を計算して見ましょう。金量で2,000オンスの鉱量を持つ金鉱床を開発するプロジェクトについて、年間250～1,500オンスの採掘規模における初期投資額と通算運転コストが表3-2-1のとおり見積もられているとします。開発計画はいずれの場合も初年度に設備投資を行い、2年目からは所定の規模でフル操業し、2000オンスの金を掘り尽くした時点で閉山するものとします。生産した金は常に330 \$ / ozで売れるものとし、権利金、減価償却、所得税等は無視して、単純に売上げから支出を差引いてプロジェクトの総合収支を求めます。必要収益率は10%とします。

表3-2-2では、各操業規模における総合収支スケジュールとその**NPV** (プロジェクト開始の前年を基準とする) が示されています。操業規模の変化に応じて採掘期間が2～8年の間で変わります。得られた**NPV**を比較すると、操業規模が年1,000オンスの時これが約\$56,000で最大となっています。従ってこのケースでは**OPR**は1,000oz/年、**OML**は2年となります。

表 3 - 2 - 1 : 操業規模の違いによる初期投資と操業コストの変化

| 操業規模 (ozAu/year) | 250 | 500 | 750 | 1,000 | 1,250 | 1,500 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 初期投資額(\$) | 30,000 | 43,000 | 56,000 | 69,000 | 83,000 | 98,000 |
| 通算操業費(\$) | 650,000 | 560,000 | 520,000 | 502,000 | 496,000 | 493,000 |

表3-2-2： 鉱床を表7の操業規模で開発した場合の総合収支スケジュールとNPVの比較



いくら机上の計算であるとは言え、鉱石を2年間で掘り尽くして閉山するというのはやや極端なケースかも知れません。しかし、このような計算を実際の鉱床のデータと現実に即した詳細な開発計画に基いて行った場合でも、通常規模の鉱床であれば、一般に**OML**は数年前後、長くても10年程度とされています。ちなみに、前回**DCF**分析の計算例として紹介した金の露天掘りの例(表3-1-5)の場合、同様の計算から求められる**OPR**は7,000t/日、**OML**は4年となります。従って、前回採用した開発計画(6,000t/日で5年間操業)では、本来このプロジェクトが持っている潜在的な収益度をフルに実現できていなかったということになります。

現実上の制約

OMLが通常数年程度となるというのは、多くの事例に基づく机上計算の結果から得られた経験則です。しかし、現実の鉱山の多くは、この経験則よりも小規模・長期間にわたる操業を前提として開発されています。この両者のギャップはどのように解釈すればよいのでしょうか。

まず最初に忘れてはならないのが、**DCF**分析が、それ以前の評価法(資本回収期間など)には無い額面価値の時間変化という考え方をを用いるため、より大規模・短期間の操業に高い価値を与える傾向があるということです。またもう一つ重要なことは、技術の進歩です。現実的な操業規模には常に上限があり、これを越える極端な大規模操業は技術的に困難ないしは著しくコスト高となります。この操業規模の上限は、科学技術の進歩とともに上昇してきており、かつては技術的に不可能であったような大きな規模での操業が現在ではスケールメリットによる経済効果を発揮できるまでになっています。従って、過去の技術レベルや旧来の経済評価法に基づいて決定された鉱山開発計画が、現在の技術と**DCF**分析に基づく**OML**よりも長い操業期間(=**OPR**

よりも小さい操業規模)を選択する傾向にあったのは、当然の結果だと言えます。

さらに、大規模操業には巨額の初期投資が必要で、そこまでの資本を持たない事業者は事実上収益度を最大化できません。**OPR**のレベルまで規模を大きくしなくてもそれなりの収益は上がるので、その時事業者が敢えて追加資金をつぎ込んでまで収益を更に上乘せしようとするとは限りません。また、立地条件等による操業施設の物理的大きさの制約、かつての職住接近型社会では鉱山が地域経済を産みそれを維持する役目を担う傾向にあったこと、操業探鉱による鉱量の追加なども、結果として鉱山の寿命を引き延ばしてきたと言えるでしょう。

しかし、最近の生産技術の進歩と社会構造の変化は、こうした鉱山開発プロジェクトの収益最大化を阻む要因を次第に弱めつつあると考えられます。その結果として、今後の鉱山開発計画は今まで以上に大規模・短期間型のものになる(ある人はこれを「鉱山業がダム建設工事のようになる」と表現しました)だろうと言われています。

いずれにせよ、**DCF**分析の結果を解釈する際には、その前提となる開発計画がこのような**OPR**や**OML**の検討結果を踏まえたものであるかどうかの一つのポイントとなります。現実の操業規模には様々な制約条件があり、常に収益の最大化が図れるとは限りませんが、少なくともこのような検討により、収益性改善のための技術上の検討課題の方向性を明確にすることが出来るでしょう。

リスクの評価

DCF分析によって**NPV**や**IRR**を求めるには、収支スケジュールを計算する際に用いる全てのパラメーターを特定の値に定めます。これらの値の根拠に

不確定要素があったとしても、必ず一つの見込み値を設定しなければなりません。これは、鉱山開発のように不確定要素の多い事業の場合、非常に困難な作業です。特に金属価格の将来の変動などは、どんなに確からしい値を見込んだとしても、実際には必ず見込みと実際との間にずれが生じるでしょう。

不確定要素を多く持つ投資案件を**DCF**分析によって評価するためには、**DCF**分析自体にリスクの有無を反映させるような工夫が必要になります。

3-3. DCF分析の発展形

前節までに、**DCF**分析の原理とこれに関する2つの概念（「必要収益率」と「**OPR**及び**OML**」）について説明しました。しかし、実はシンプルな**DCF**分析には致命的な弱みがあります。それは、プロジェクトの持つリスク（見込みと実際の収益度が一致しない可能性）が評価結果に反映されない事です。

同じ見込収益度を持つ2つのプロジェクトがあり、一方はその見込収益度が非常に高い確率でそのとおりに実現されると見込まれる（＝リスクが小さい）のに対し、もう一方は実際の収益はゼロかも知れないし見込みの2倍かも知れない（＝リスクが大きい）という状況であったと考えて下さい。**DCF**分析は見込収益度だけからプロジェクトを評価するので、両者の評価結果は同じになります。しかし実際には、リスクの大小は投資案件の評価に少なからぬ影響を与えるはずですから、これを考慮しなければ、プロジェクト評価として十分とは言えません。

そこで、**DCF**分析にリスク評価の要素を加味する手法が考案されています。今回はその具体例として、2つの手法を紹介しようと思います。

Decision Tree

プロジェクトの不確定要素には、その収益度だけに影響するものと、プロジェクトのスケジュール自体をも変えてしまうものがあります。この後者の例の典型が、資源の探鉱プロジェクトの不確定要素です。初期探鉱の段階でいきなり非常に有望な鉱床が発見されれば、その後のプロジェクトは一気に精密探鉱から鉱山開発の段階に進むでしょう。逆にもし鉱床の存在を匂わせる兆候が全く認められず、これ以上の探査は無意味であると判断されれば、その時点でプロジェクトは打ち切りになるでしょう。探査の結果によって、

その後のスケジュールが違ってくるわけです。スケジュールが変わればその収益度も当然変わってきます。

このようなリスクを持つプロジェクトの作業スケジュールをフローチャートの様式で示すと、時間の経過とともにシナリオが幾つものシナリオに枝別れしていく形になります。この枝別れがその後のスケジュールの選択が決断される時点を示していることから、このような図は**Decision Tree**と呼ばれます。

簡単な例をあげてみます。ある石油鉱区で、100万ドルをかけた試掘が計画されているとします。当たらなければ、プロジェクトはそれで終わり、100万ドルは無駄になります。もしこれで石油を掘り当てれば、翌年に1000万ドルかけて生産井を掘削し、3年目から原油の生産を開始します。しかし生産井から予定通り石油が出ず、生産を断念してプロジェクトから撤退する可能性もあるものとします。守備良く生産に漕ぎ着ければ、年間400万ドルの利益を15年間生み続ける見込みです。

このプロジェクトの総合収支スケジュールを**Decision Tree**の形で表現したのが図3-3-1です。探査が全てうまくいけば、プロジェクトは16年後まで続くのですが、1年後と2年後には探査が失敗し撤退するという枝道が存在します。つまり、このプロジェクトには異なるスケジュールを持つ3通りのシナリオがあるわけです。探査が全て成功すれば莫大な収益が上がりますが、石油が出ずに終わればそれまでの投資はパーになって丸損で終わります。

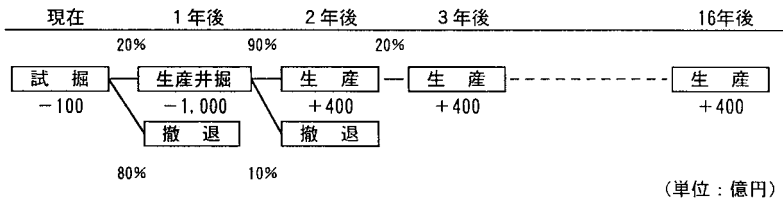


図3-3-1: Decision Treeによる石油探査プロジェクトの収支スケジュール

そこで、試掘は今年からすぐ始まるものとし、必要収益率を25%として、各々のシナリオについてNPVを計算すると、次のようになります。

シナリオ1：試掘に失敗し早々と撤退する

$$NPV_1 = -1,000,000 (\$)$$

シナリオ2：試掘は成功するが生産が出来ず結局撤退する

$$NPV_2 = (-1,000,000) + (-10,000,000 \times 1/1.25) = \underline{-9,000,000 (\$)}$$

シナリオ3：試掘にも生産にも成功する

$$\begin{aligned} NPV_3 &= (-1,000,000) + (-10,000,000 \times 1/1.25) \\ &\quad + (4,000,000 \times 1/(1.25)^2) + (4,000,000 \times 1/(1.25)^3) \\ &\quad + (4,000,000 \times 1/(1.25)^4) + \dots + (4,000,000 \times 1/(1.25)^{16}) \\ &= \underline{3,349,000 (\$)} \end{aligned}$$

従って、このプロジェクトのNPVはこの3通りの数字のうちのどれかになるはずですが、しかし、一つのプロジェクトに3通りのNPVがあっても困ります。一般にDecision Treeの形で評価を行う場合には、こうした個々のシナリ

オの収益度とその起こりうる確率を用いて、プロジェクト全体のNPVの期待値（Expected NPV ; E(NPV)）を計算し、これを評価の基準にします。

ここで、初年度の試掘が成功する確率は20%、生産井から予定通り石油が出る確率は90%であるとする、シナリオ1が起こる確率 P_1 は全体の80%、シナリオ2の確率 P_2 は2% ($0.2 \times 0.1 = 0.02$)、 P_3 は18% ($0.2 \times 0.9 = 0.18$) ですから、プロジェクト全体のNPVの期待値は、

$$\begin{aligned} E(NPV) &= NPV_1 \cdot P_1 + NPV_2 \cdot P_2 + NPV_3 \cdot P_3 \\ &= (-1,000,000 \times 0.8) + (-9,000,000 \times 0.02) + (3,349,000 \times 0.18) \\ &= \underline{\underline{-377,180 (\$)}} \end{aligned}$$

となります。NPVがマイナスですから、この石油の試掘はそれが独立した投資案件である限り、止めたほうが良いという結論になります¹⁾。

このように、Decision TreeによるDCF分析は、想定される何通りかのシナリオの収益度をその確率を用いて統合し、全体で一つの収益度として表現できるため、リスクのある案件と無い案件の収益度を比較するのに便利です。しかし一方で、実際にはある範囲の中で任意の値をとる不確定要素を何通りかの限られた出現値に代表させ、その起こる確率を決めねばなりません。上記の例のように探査の結果を成功と失敗に二分するというのは、石油の探査でこそ多少の現実味もあるかも知れませんが、金属資源の探査の場合はどう考えても無茶な話です。

1) この例のように一度も収入が出ないシナリオが存在する場合、IRRの期待値は求められません。収入ゼロのシナリオのIRRはマイナス無限大となり、これを含む全体の期待値が計算できないからです。また、仮に総てのシナリオに収入があっても、シナリオ間で年数が異なる場合には、IRRの期待値は評価に使えません。これは、継続期間の違う預金の利率を比較しても意味がないのと同じで、一般に長さの違うシナリオのIRRをそのまま比較しても意味がないからです。

そこで、想定される事態を段階的により多くのケースに区分することが行われます。図3-3-2は、金属資源の探鉱ボーリングから鉱山開発をめざすプロジェクトをより細かくケース分けした**Decision Tree**によって評価した例です。この場合、初期探鉱の結果、埋蔵鉱量及び平均品位の3つの不確定要素をそれぞれ数通りずつ想定し、それらの組み合わせである14通りのシナリオ²⁾についてそれぞれNPVと確率を求めた上で、全体の**E(NPV)**を計算しています。結論として、2段階の探鉱ボーリングが当たる確率はいずれも50%であるにもかかわらず、**E(NPV)**はプラス35万ドルで、投資価値ありという結論になります。

しかし、全ての不確定要素を十分に細かく場合分けし、その組み合わせである何百、何千というシナリオについて全て収益度と確率を計算する事は、現実的には容易ではありません。プロジェクトのスケジュールには本来無数のバリエーションがあり得るので、その中のどれを代表として採用するかが大きな問題です。結果として、**Decision Tree**による評価の対象としては、スケジュールの成り行きが現実的な制約からある程度単純なパターンに限定できる（又はそういう仮定を置くことに無理が無い）案件が望ましいと言えます。**Decision Tree**が石油鉱区の競売案件の評価によく用いられるのは、そういう理由だろうと思われます。

確率分布DCF分析

Decision Treeによる評価では、個々の不確定要素の成り行きを幾つかのケースに代表させました。そして、このケース分けの数を増やせばより厳密

2) 理論上はもっと多くの組み合わせがありますが、その後のシナリオの現在価値が全てマイナスとなり利益が生じる可能性がなくなった場合には、その時点でプロジェクトから撤退することにしてあるので、幾つかのケース（例えば鉱量20万トンの時の3通りの品位）が撤退という形でひとまとめに扱われています。

な評価になると述べました。そこで、いっそのことこれらの不確定要素の成り行きを確率分布の形で表現してしまおうというのが、確率分布**DCF**分析です。この手法は、個々の不確定要素の出現パターンを確率分布関数として設定し、これらの確率分布に従う乱数のグループを何百回、何千回も発生させ、その値を用いて計算した収益度の出現頻度から収益度の確率分布を求めるというものです。実際には、パソコンのスプレッドシートとマクロ機能を組み合わせたり、市販のソフトを使ったりしてこの作業を行います。

| 今年 | 1年後 | 2年後 | 3年後 | 4年後 | 5年後以降 | 出現確率 | NPV | 荷重NPV |
|--------------------------|---------|---------------------|---------------------|------|-------|----------|------|-----------|
| 探鉱ボーリング 必要収益率=10% | 追加ボーリング | 鉱量計算のための 確認ボーリング | 品位計算のための 確認ボーリング | 鉱山開発 | 生産 | | | |
| C=支出 R=収入 (単位：万ドル) | | | | | | | | |
| | | | | | | 0.50 % | 976 | 4.9 |
| | | | | | | 1.50 % | 595 | 8.9 |
| | | | | | | 3.00 % | 213 | 6.4 |
| | | | | | | 1.31 % | 752 | 9.9 |
| | | | | | | 3.06 % | 420 | 12.9 |
| | | | | | | 4.38 % | 89 | 3.9 |
| | | | | | | 2.25 % | 456 | 10.3 |
| | | | | | | 3.94 % | 185 | 7.3 |
| | | | | | | 5.06 % | -85 | -4.3 |
| | | | | | | 2.50 % | 133 | 3.3 |
| | | | | | | 4.00 % | -64 | -2.5 |
| | | | | | | 3.50 % | -172 | -6.0 |
| | | | | | | 15.00 % | -97 | -14.5 |
| | | | | | | 50.00 % | -10 | -5.0 |
| | | | | | | 100.00 % | | 35.3(万ドル) |

図3-3-2：金属鉱床の探査・開発プロジェクトのDecision Treeによる評価の例

表3-3-1：仮想プロジェクトの収支スケジュール
(表3-1-3をブレイクダウンしたもの)

| 年 | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 5年目 |
|------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 販売量 (t/年) | 0 | 50,000 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | 0 | 0 | 0 |
| 販売単価 (円/t) | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 |
| 製造単価 (円/t) | 0 | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 |
| 初期投資 (億円) | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 支出 (億円) | 8 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 収入 (億円) | 0 | 2.5 | 5 | 5 | 5 |
| 総合収支 (億円) | -8 | 1.5 | 3 | 3 | 3 |

NPV (0年目時点) : 1,152 (億円)

内部収益率 (IRR) : 10.77 (%)

実例として、3-1節の表3-3-1の仮想プロジェクトの収支スケジュールをこの手法で評価し直してみます。表3-3-1は、表3-1-3を製品の製造単価、販売単価及び販売量のレベルまでブレイクダウンしたものです。ここでは、初年度の初期投資額と2~5年目の製造単価及び販売単価が、ここにあげた見込値とは異なってくる可能性があることによってリスクが発生します。ただし、これらの成り行きによってプロジェクトのスケジュールが変わることはないものとします。

図3-3-3は、これらの不確定要素に与えられた確率分布関数です。初期投資額は、モードが8億円の**Extreme Value**分布で与えられています。この右に尾を引く非対称な分布は、設備投資の額が見込みより安く上がる可能性よりも高くつく可能性の方が大きい事を示しています。製造単価は見込額の誤差を2,000円に中央値を持つ左右対称の**Logistic**分布で表し、各年の値は互いに独立した関数となっています。一方販売単価は市場価格の変動を標準偏差が250円の正規分布で見込んでおり、平均値を2年目は5,000円、それ以降

は前年の価格に等しく設定して、時間とともに販売価格が5,000円から離れる可能性が増えるようにしています。

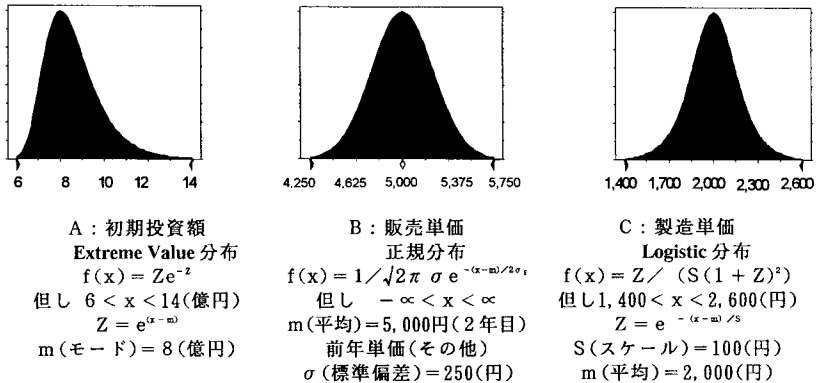


図3-3-3 : 各不確定要素に想定された確立分布関数

各不確定要素についてそれぞれの確率分布に従う乱数を発生させ、その値を表3-3-1に代入してNPVとIRRを計算する事を何回もくり返し、得られたNPVとIRRの値のヒストグラムを作ります³⁾。くり返しの数が小さいうちは、このヒストグラムは凸凹の多い不規則な形ですが、数が増えるにつれて次第になめらかな山形になる様子を示したのが図3-3-4です。この場合、数が増えるに連れてNPVの確率分布は1億円前後にピークを持ち左にやや長い尾を引いた形になります。

このようにして十分に滑らかな確率分布を求めたら、これを累積頻度分布図の形に書き換えます。この図から総ての値についてNPVがそれ以下になる確率を求められますから、これを用いれば、NPVが任意の条件を満たす確率を示すことが出来ます。表3-3-2は、図3-3-4の12,800回くり返し

3) 表3-3-2はMS Excelのワークシートで作られていて、発生した乱数群が相当するセルに代入されると自動的にNPVとIRRが計算されるようになっていました。乱数の確率制御とシミュレーション結果のヒストグラム表示は、自分でマクロシートを組んで行うことも可能ですが、ここではデジジョニアリング社のCrystal Ball (Ver.3.0) というMS Excel用のアドインソフトを使用しました。

の場合のNPVの累積頻度分布図を用いてこのような確率を計算したものです。

図3-3-4で得られたNPVの確率分布の山のピークは、リスクを考慮しないで計算したNPVの値（3-1節の表3-1-4で計算した数字、1,152億円）の付近にあります。つまり、見込収益度は、収益度の確率分布のモード（最も起こる確率の高い値）に相当します。一方Decision TreeでいうE(NPV)は、NPV確率分布ではその平均値（0.611億円）に相当します。E(NPV)が見込NPVより小さいのは、NPVが予想を下回る可能性が上回る可能性よりも高いというリスクの性質（確率分布の歪度がマイナス、すはわちピークの左により長い尾を引く非対称な形であること）によるものです。一般に、不確定要素の確率分布関数に左右非対称なもの（ここでは初期投資額の関数がそうです）がある場合は、収益度の期待値は見込値とは異なる値になります。

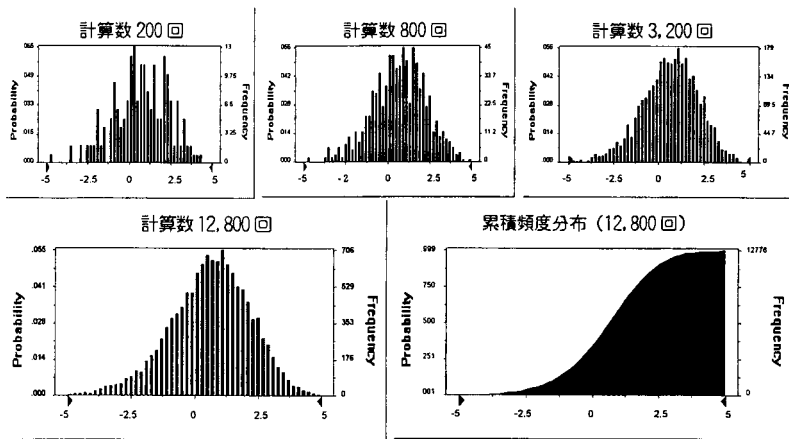


図3-3-4：NPVの確率分布ヒストグラム等

また、プロジェクトリスクの大きさは収益度の確率分布の山の平べったさに相当しますから、これはその分布の標準偏差（山形の横幅）や尖度（尖り方の度合い）で表現出来ます。従って、冒頭にあげたような見込収益率が同

表 3-3-2 : 確率分布DCF分析による仮想プロジェクトの収益度の確率予測

| | |
|----------------------|-------|
| NPVがマイナスとなる確率 | : 36% |
| マイナス 1 億円以下となる確率 | : 16% |
| マイナス 2 億円以下となる確率 | : 5% |
| マイナス 3 億円以下となる確率 | : 2% |
| NPVがプラスになる確率 | : 64% |
| プラス 1 億円以上となる確率 | : 41% |
| プラス 2 億円以上となる確率 | : 17% |
| プラス 3 億円以上となる確率 | : 5% |

じでリスクの大きさだけが異なる 2 つの案件についても、確率分布DCF分析を用いれば、両者の違いを標準偏差や尖度の値の違いとして示すことが出来るのです。

このように、確率分布DCF分析は収益度の期待値の他にプロジェクトリスクの性質と大きさを収益度の確率分布の歪度、標準偏差、尖度等によって定量的に表示します。しかも、収益度がある条件を満たす確率を、任意の条件について求めることが出来ます。一方**Decision Tree**は収益度の期待値と設定されたシナリオの起こる確率しか求められません⁴⁾。従って、リスクを加味したプロジェクト評価法としては確率分布DCF分析の方が優れていると言えます。しかし、不確定要素の出現値によってプロジェクトのスケジュール自体が変わりうるような案件に確率分布DCF分析を適用しようとする、表 3

4) 理論的には、**Decision Tree**の各シナリオの収益度と出現確率を集計してヒストグラムを作り、その形をなめらかな山形で近似すれば、収益度の確率分布が求められます。しかし実際には、いくらシナリオの数を増やしても、各シナリオの収益度が均等に散らばらず、隙間が空いたり特定の範囲に固まったりして、ヒストグラムが凸凹だらけになるため、信憑性のある近似はまず出来ません。

－ 2 － 2 のような総合収支スケジュールのワークシートを **Decision Tree** の形式にし、各枝別れにおいてスケジュール選択の判断基準をセルの自動計算式の形で設定する必要があります。この作業は図 3－3－1 のような単純な **Decision Tree** についてでも非常に面倒で骨が折れますから、ましてやこれを図 3－3－2 のような複雑なものについて行うのは、正直言って至難の技です。金属鋳床の探鋳プロジェクトのようにスケジュールが何通りにも変わり得るようなリスクを持つ案件の評価には、無理せずに **Decision Tree** を使うのが無難だと思います。

リスクの取り扱い

ここまで長々と述べてきたのは、リスクの内容を **DCF** 分析の上で表現する手法についてです。では、こうして表現されたリスクの内容は、プロジェクトの経済評価にどのような影響を与えるのでしょうか？

「リスク」という言葉には、「危険なもの、避けるべきもの」というイメージがありますが、実際には、リスクが大きいことがプロジェクトの評価結果を低くするとは限りません。リスクが大きい案件は、実際の収益度が見込収益度を下回る可能性だけでなく、逆に見込み以上に儲かる可能性も大きく、このどちらがより大きいかは、リスクの性格（収益度の確率分布の歪度がプラスかマイナスか）の問題です。つまり、好まれるリスクと嫌われるリスクが存在するのです。

また、性格が良くも悪くもない（収益度の確率分布が左右対称な）リスクでも、場合によって好かれたり嫌われたりします。その違いを決めるのは、評価する者のリスクに対する好み（赤丸本命狙いか大穴一発勝負か）と、もう一つは前回 **CAPM** の説明で触れたプロジェクトリスクの β の値です。

こうした投資リスクの取り扱い方を突き詰めるのが、金融理論から心理学

までを動員する「リスクマネジメント」という学問です。いずれ稿を改めて、そのエッセンスをご紹介出来ればと思います。

本章では資源プロジェクトの経済評価について述べてきました。しかし実際に資源の恩恵を受けるのは投資家や事業者だけではありません。そこで次のセクションからは、資源が社会全体にもたらす利益を経済学の尺度で評価する方法について紹介しようと思います。