

5. プロジェクトリスクの扱い

5-1. リスクの評価

本章から話は再びプロジェクトの経済評価に戻ります。本書3-3節で、プロジェクトの期待収益度が内在するリスクの性格の評価には、確率分布DCF分析によるリスクの定量化、CAPMにおける β の値、さらには評価者自身のリスクに対する好みという3つの観点があると述べました。しかしリスク評価の最終判断に、どの観点での評価をどの程度重視するかについての一般的な法則やルールはありません。

どうして汎用的な評価基準が無いのでしょうか？その理由は、評価者の側の意向や事情によってリスクのどういう部分に注目するかが違って来るからです。その結果、この投資案件はこういう性質だからこの観点を重視すべきだ、という理屈もありません。例えて言うなら、リンゴの品質を評価する場合、評価者が芸術家なら形や色艶を吟味し、美食家ならば味を重視し、自然食品主義者なら残留農薬の濃度をチェックする、という具合に評価の基準が評価者の好みや立場によって変わるようなものではないでしょうか。

資源プロジェクトの経済性を評価するというと、我々は得てしてその案件固有のファクターばかりに注目しがちです。しかしリスク評価の場合は、実際には評価する側の事情や考え方が最も重要なファクターとなるのです。

本節は、こうしたリスク評価の観点の使い分けについて説明したいと思います。

効用関数

まず始めに、リスクを評価する3つの観点のうちでまだ具体的な説明をしていなかった、評価者自身のリスクに対する好みについて説明しましょう。

「リスクに対する好み」とは、要するにリスクを積極的に受け入れるか、それとも排除しようとするかという意味です。一般に、収益度の高い投資ほどリスクも大きい傾向がありますから、リスクを受け入れる人はその見返りとして高い収益度を得ることを期待している事になります¹⁾。このような意味で、リスクを排除しようとする事をリスク回避 (**Risk Averse**)、リスクを果敢に受け入れる事をリスク選好 (**Risk Preference**)、リスクの大きさにこだわらない事をリスク中立 (**Risk Neutral**) と呼びます。

こうしたリスクに対する好みはそもそも何が原因で生じるのでしょうか。「そんなの生まれつきの性格だ」と言ってしまうかもしれませんが、この問題を真面目に突き詰めて考え、その根本的原因をグラフで図解してみせたのが図5-1-1です。

このグラフは、横軸に金銭価値 (NPV)、縦軸に「効用 (**Utility**)」という尺度を取っています。この効用とは、各個人の満足度の大きさを示す尺度で、いわゆる絶対値は持たず、単に相対的な大小のみを表現するものです²⁾。効用が唯一絶対値を持つのはその値がゼロの時で、これは嬉しくも悲しくもないという状態を示します。従って、NPVがゼロの時は効用もゼロとなり、

1) ここで言う「見返りとしての高い収益度」とは、ハイリスクの案件に投資した結果として得られるハイリターンという意味であって、リスクを犯したこと自体に対する報酬や自己満足は含まれません。従って、「リスクを積極的に受け入れる人」には、「大穴狙い専門の競馬ファン」や「悪事の証拠を掴むためにわざと身分を隠して危ない目に遭う水戸黄門」は含まれますが、「命知らずの冒険家」や「バンジージャンプに魅せられた男」は含まれません。

2) 効用は本来ミクロ経済学の基礎的な概念の一つで、リスクマネジメントはその概念を借用しているだけです。ミクロ経済学には、前回まで盛んに使ってきた余剰という概念もあり、両者はどちらも満足度を表す尺度ですが、余剰は効用とは違ってあくまでも需要曲線を使って金銭価値で計ることの出来る定量的な尺度です。

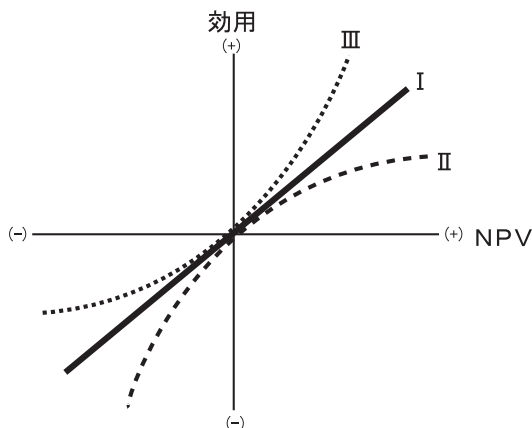


図5-1-1：効用関数の3つのタイプ

NPVがプラスの時には効用もプラス、すなはち大なり小なり得をしたと感じ、逆にNPVがマイナスの時は効用もマイナスとなって損をしたと感じている事になります。

図5-1-1にはこの金銭価値と効用との間の関係を示す3通りの関数が示してあります。このように効用の大きさを金銭価値の関数で示したものを、効用関数 (Utility Function) と呼びます。効用関数は、上述の定義により必ず原点を通る右上がりの曲線になりますが、その傾き具合にはバリエーションがあります。関数Iは直線で示される効用関数で、効用は金銭価値に正比例するという場合です。つまり、2万円儲かった時には1万円儲かった時の2倍嬉しいと感じるという事です。そんなの当たり前じゃないか、と思われるかも知れません。では、次のようなケースを想像してみてください。

ある日神様がやって来て、あなたの願いを叶えてくれると言ったとします。そこであなたは、「宝くじで1千万円当たりたい」と答えました。すると神様は、「そういう願いの叶え方には3つのコースがあるから、その中から一つ選べ」と言いました。それは、

Aコース：1千万円が1回当たる。

Bコース：100万円が10回当たる。

Cコース：AでもBでもどちらでも良い。

ただしどの場合も賞金の価値から宝くじの代金を差し引いた収益の現在価値は同じだとします。さてあなたならどのコースを選びますか？

Aコースを希望する人は、1千万円が当たる事による満足度の方が100万円が当たる満足度の10倍よりも大きいと感じた事になります。従ってこの人の効用関数は、原点より右ではNPVが大きくなる程傾斜が急になっているはずです。一方Bコースの方が良いと思う人は、100万円当たる満足度は1千万円当たる満足度の10分の1より大きいと感じるので、その効用関数はNPVが大きくなる程傾斜が緩くなると考えられます。Cコース、つまりA Bどちらも同じだと思える人だけが、満足度がNPVの額面に正比例する、関数Ⅰのような傾斜一定の効用関数を持つと言えるのです。

この質問を、逆に家が火事になると神様に宣告されたとして、それが1回で1千万円分燃えて無くなるのと、100万円分の損害の出るボヤが10回起こると、どちらを望むかという内容に変えれば、原点より左のマイナス側における効用関数の傾き具合も特定することが出来るでしょう。

この例からお判りのように、実際に評価者個人が持つ効用関数は、必ずしも関数Ⅰのような直線になるとは限りません。実際には、宝くじの場合には何回も当たる方が当たった時の嬉しさを何回も味わえて良い、火事の場合には1千万円分も一度に燃えるとショックが大きすぎるので100万円ずつの方がましだというのが、恐らく最も一般的な選択ではないかと思えます。この場合の効用関数は、収益度が大きいほど緩傾斜、損出が大きいほど急傾斜となる関数Ⅱのようなタイプだということになります。このような効用関数は、儲けについてはそれほど高望みはせず、大きな損出を強く恐れるという、平

穩無事指向型の価値観を表現しています。このタイプの効用関数を使って本書の3-3で説明した確率分布DCF分析のグラフの横軸のNPVの大きさを効用の大きさに変換するとどうなるでしょうか？仮にNPVの確率分布がNPV=0の線を中心として左右対象、すなわち期待値がゼロであるとして、この横軸を関数Ⅱのような効用関数を用いて効用の大きさに置き換えたのが、図5-1-2の(a)です。効用の大きさで示した確率分布は、元のNPVの確率分布よりも相対的にマイナス側により長い裾野を引く形になり、確率分布の期待値がマイナスになってしまいます。つまりこの場合評価者は、NPVで表現されるリスクを、その額面以上に悲観的に(リスクの性格が悪い、すなわち効用がマイナスとなる可能性が高くなる方向に)解釈する傾向があるということになります。こうした傾向は、リスクを伴う案件への投資を躊躇させる効果を持ちますから、結果として関数Ⅱのような効用関数を持つ評価者はリスク回避の傾向を持つはずだと考える事が出来ます。

一方中には、どうせ当たるのなら一度に1千万円当たってみたい、火事に何度も遭いたくないから1度で済ませたい、という人も居るかも知れません。この場合の効用関数は、図5-1-1の関数Ⅲのように収益度が大きいほど

(a) リスク回避的効用関数の場合

(b) リスク選好的効用関数の場合

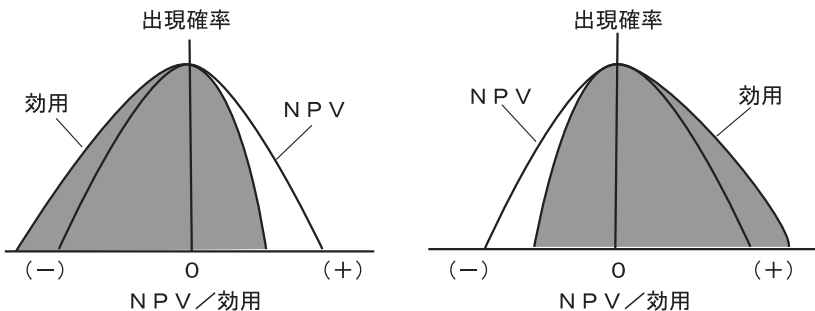


図5-1-2：収益度の確立分布と効用の確立分布との比較

急傾斜、損出が大きいほど緩傾斜となるタイプに相当します。これは、ちびちび儲けるより一気にガバッと儲けたい、小さな損も大損も損したことに変わりはないからその差は気にしない、という豪快な考え方を示しています。従って、この効用関数によって期待値ゼロのNPV確率分布を効用の確率分布に変換すると、プラス側に長い裾野を引く、正の期待値を持つ分布（図5-1-2の(b))になります。つまり、リスクの受け止め方がNPVの額面よりも楽観的になるのです。こういう評価者は、プロジェクトで儲かる可能性を損する可能性よりも重要視し、多少リスクが大きくても気にせず積極的に投資する傾向を持ちますから、結果としてリスク選好となるはずで

人間は常に計算づくで物事を判断する訳ではなく、たとえ理屈が判っていてもそれを最終的には自分の色眼鏡を通じて見てしまいます。従って、図5-1-1の関数Iのような効用関数によるリスク中立の評価が出来る人は実はそれ程多くはなく、実際には回避か選好かのどちらかの傾向が出てしまうのが普通です。こうしたリスク評価における主観に基づく判断の傾向を定量的な関数の形で示すことにより、主観を含む判断全体を客観化しようというのが、リスク評価における効用関数の考え方です。つまり、少々の損出はかまわないから大きな儲けをねらうとか、儲けの大きさよりも損出を避けることを優先するとかいった投資判断上の主観的なポリシーを、効用関数の形で定量的に表現してしまおうという訳です。

もしある判断者の効用関数を完全に関数化できれば、その人のリスク評価のやり方をコンピュータに代行させる事も可能かも知れません。しかし効用関数の考え方が最も役に立つのは、主観的判断の性質とその度合いを定量的に論じる事が可能となり、問題点が整理しやすくなる点です。そういう問題点の例として、効用関数に対する心理的ノイズとでも言うべき、枠組み効果 (**Framing Effects**) と呼ばれる現象があります。これは、例えば同じ判断を

下す前に過去の同様の判断の成功例を聞かされた人と失敗例を聞かされた人の判断結果を比較すると、前者は強気になってリスク選考気味に、後者はビビってしまいリスク回避気味になるといった具合に、同じリスクでもその周囲を取り巻く状況によって違って受け取られる傾向がある事を言います。

そもそも効用関数は常に一定でなければならない訳ではなく、判断者の置かれた状況に応じて変化して良いのですが、少なくともこうした純粋な枠組み効果に惑わされる事は避けるべきです。例えば、ある鉱床探査プロジェクトで失敗した会社が次の案件の実施を決断する場合、前回の失敗がその会社の資金状態を悪化させそれ以上の損出が許されない状況に陥っているのであれば、その会社の次の投資判断に関する効用関数は従来よりリスク回避気味に修正されなければなりません。単に前回の失敗で弱気になって次の決断を躊躇するというのであれば、そういう気の迷いは捨てて、あくまでも従来の効用関数を維持するべきです。要するに、効用関数が実態に則して合理的にシフトした場合と、枠組み効果等によって非合理的にシフトした場合とを区別する必要があるという事です。

β の値の意味

リスクを勘案する3つの観点のうち、プロジェクト自体の持つリスクの性質を額面通りに表現するのが収益度の確率分布で、それを解釈する際の主観による補正が効用関数です。では、もう一つの観点である β の値はどのような位置付けになるのでしょうか？本書の3-2でCAPM理論に基づく必要収益率の算出の際にこの β を使うと述べましたが、ここではこれをポートフォリオ理論に基づくリスクの評価という側面から見直してみたいと思います。

まず具体例から話を始めましょう。あるアルミの製錬会社の毎年の商売の収益率（IRR）が図5-1-3の（a）に示すような時間変化を示してい

たします。製品の売れ行きや輸入原料価格の変動によりそのIRRは大きく変動しています。そこへ、リスク回避の傾向の強い新社長が就任し、「これではいけない。我が社の収益度をもっと安定させなければ！」と決意し、その手段として異業種に参入し事業の幅を広げる事を検討しているとします。

この場合、どちらの業種がこの会社の新規事業としてふさわしいでしょうか？図5-1-3の(b)は鉱山経営、(c)は電力供給業のIRRの同じ期間内の時間変動を示しています。見て判るとおり、鉱山経営はアルミ製錬以上に収益の時間変動の激しいリスクな商売であるのに対し、電力供給業は比較的収益度の安定した事業です。実際に、IRRの変動の度合い（すなわちリスクの大きさ）の尺度である分散（Variance）の値は、鉱山経営がアルミ製錬の2倍以上、電力供給業はアルミ製錬の5分の1程度です。これだけ見ると、リスクを減らすためによりリスクな商売に参入しても意味が無いので、参入先は電力供給業の方が良いに決まっているのではないかと思います。

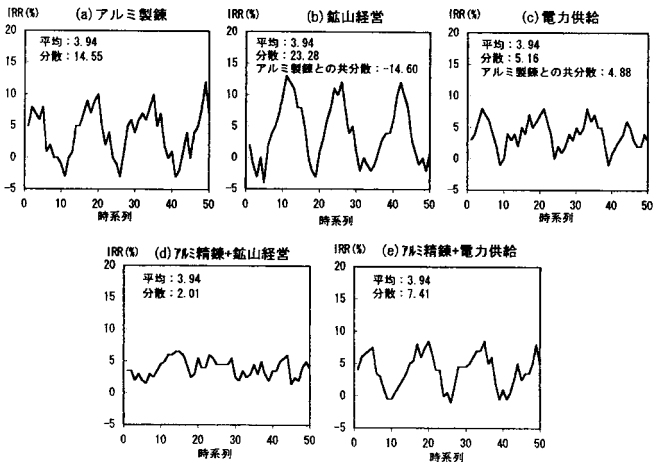


図5-1-3：異なる事業とその組合わせの収益度の時間変化

しかし、この会社が仮にこの期間これらの業種に既に参入していたと仮定し、資金の半分を鉱山経営に投資した場合のIRRの変動（図5-1-3の（d））と電力供給業に投資した場合のIRRの変動（同図の（e））とを比較すると、どちらの場合もポートフォリオ効果でIRRの変動がアルミ製錬のみの場合よりは小さくなりますが、その度合いは鉱山経営に投資した場合の方がはるかに顕著であるように見えます。

一般に、既にある種の投資を行っている投資家が、更に別の投資先へ資金を振り分けて投資先の数を増やす事を、投資の分散ないし多様化（**Diversification**）と呼びます。これは、投資を分散させてポートフォリオを組む事により投資全体のリスクを小さくし、収益度を安定させたいという意図の下に行われるのが普通ですから、この場合、投資全体の収益度の変動の度合い（収益度のリスクの大きさ、すなわちその確率分布の分散ないし標準偏差の大きさ）を投資の分散によって小さくする事がその目的となります³⁾。この例で言うと、アルミ製錬業者による異業種への投資の後のIRRの分散の値が、鉱山経営に投資した場合には2.01、電力供給業に投資した場合は7.41ですから、明らかに鉱山経営に投資する方がより効果的にリスクを軽減出来ると言えます。

こういう結果になるのは、鉱山業と電力供給業とではその収益の変動とアルミ製錬業の収益の変動との時間的な関係が違うからです。図5-1-3の（a）、（b）、（c）のグラフの山と谷の来る時期を比較してみてください。アルミ製錬と電力供給とは山と谷を同じ頃に迎えているのに対し、鉱山経営が

3) もしこれが、投資全体の収益度を高めるための投資の分散であれば、投資全体のIRRの時間変動の平均値を高める事がその目的となるでしょう。ここでは3つの業種のIRRの時間平均は全て同じにセットしてあるので、この面での投資の分散効果は始めから期待出来ませんから、目的をリスク軽減のみに絞る事が出来ます。しかしリスクとIRRの両者が異なる案件間で投資を分散する場合は、リスク軽減と収益率向上とは互いに相容れない望みですから、両者のバランスを考えねばなりません。リスクと収益度とのバランスについては、次回詳しく説明します。

山の時アルミ製錬は谷を、鉱山経営が谷の時アルミ製錬は山を迎えている傾向があります。投資額が常に半分ずつであれば、2つ事業に投資した場合の投資全体のIRRはそれぞれの事業のIRRの単純な平均になりますから、両方の事業が同時に儲かったり損したりすると、全体のIRRも同様の変動を示し分散は余り小さくなりませんが、一方が儲かる時に他方が損をするという負の相関がある場合は、両者の収益と損出が互いに打ち消しあうので、投資全体の変動は小さく、分散は非常に小さくなります。

従って、2つの投資案件を組み合わせたポートフォリオの収益度のリスクの大きさは、2つの案件の収益度の変動パターンが似ているか違っているかによって決まるのです。その結果、同じ案件でも、それをどんな案件と組み合わせるかによって、ポートフォリオに組み入れる価値が違ってきます。例えば上述のアルミ製錬会社をスクラップ回収業に置き換え、その収益度の変動パターンが鉱山経営に似ている、すなわち正の相関がある場合には、スクラップ回収業からの投資の分散先としては鉱山経営よりも電力供給業の方がより効果的となります。

一般に、2つの変数が相伴って変動する度合いを測る尺度として、両者間の共分散 (**Covariance**) があります。これは各々の標準偏差 (分散の二乗根) の積に両者間の相関係数を掛けた値で、2つの変数の分散の平均値のうちお互いに連動して動く部分の大きさとその相関の向き (正負) を示しています。従って、両変数間に何の相関も無い場合にはゼロ、両者が連動して変動する度合いが増すほど絶対値が大きくなります。

投資の分散により投資全体の収益度のリスクの大きさがどう変わるかを示す指標として、従来の投資案件と新たな投資案件の収益度間の共分散の値を、従来の投資案件の分散の値で割った値が使われます。この値がマイナスであればリスク軽減のための投資の分散先としては理想的、プラスであって

も1以下であれば有効で、1を越えると逆効果であると判断されます⁴⁾。先の例でのこの値は、鉱山経営についてが-1.003、電力供給については0.335ですから、アルミ製錬からの投資分散先としては電力供給業もそれなりに有効ですが、鉱山経営の方がより望ましいと判断されます。

ではここで、世の中の全ての投資案件を組み合わせた究極のポートフォリオ（これを「市場ポートフォリオ」と呼びます）が商品化されており、誰もが既にこれに投資しているかないしはいつでも投資する事が出来ると考えて下さい。このような状況下で、ある特定の事業に追加投資する事を検討するとします。先程の要領に従えば、この場合、市場ポートフォリオの収益度と検討対象となる案件のリスクの収益度との間の共分散の値を市場ポートフォリオの収益度の分散の値で割った値が、マイナスならば言う事なし、プラスでも1以下なら合格、1以上ならリスク回避の手段としては不相当だと言えます。

この「市場ポートフォリオの収益率と検討対象案件の収益度との間の共分散を市場ポートフォリオの収益度の分散で割った値」こそが、本書3-2で紹介した β の定義です。つまり β とは、既に市場ポートフォリオに投資している（あるいはいつでも投資出来る）人が更にそれに加えてある特定の案件に投資した場合に、その人の投資全体のリスクがどう変化するかを示す値なのです。

4) 現在投資している案件Pと新たに投資しようとする案件Nの収益度の標準偏差をそれぞれ σ_P と σ_N 、両者の相関係数を δ_{PN} とした時、両者の共分散 COV_{PN} を現在の投資案件の分散 V_P で割った値は

$$COV_{PN}/V_P = \delta_{PN} \cdot \sigma_P \cdot \sigma_N / (\sigma_P)^2 = \delta_{PN} \cdot \sigma_N / \sigma_P$$

となります。この最後の形の分子は案件Nと案件Pからなるポートフォリオにおける案件Nに起因するリスクの大きさを示していて、ポートフォリオ全体のリスクはこれと案件Pのリスクの大きさ（分母の値）との荷重平均になります。従って、新たに案件Nに投資する事によるリスクの大きさの変化は、分子が分母よりも大きければ増加、小さければ減少になり、分子がマイナスの場合は特に効果的に減少させる（分散をゼロに近づける）事が出来ると言えます。

CAPM理論では、この β を市場ポートフォリオの収益率 r_m とリスクの無い預金金利（つまり機会費用） r_f との差に掛けた値を、リスクを受け入れる事に対するプレミアム利率として r_f に上乘せする事によって、その投資案件の必要収益率を求めます。この場合、全ての投資家は既に市場ポートフォリオに投資している、又は投資出来ると考えますから、結果として誰の立場から見てもあるプロジェクトの β の値は同じ、つまりプロジェクトに固有の値になります。しかしそうなる理由はあくまでも評価する側が全て同じ条件に立っていると仮定しているからであり、プロジェクト自体が β の固有値を持っている訳ではないのです。

このように、効用関数にしる β にしる、リスク評価の3つの観点のうちの2つは、実は評価者の主観や事情に基づくものです。従って、ある評価者があるリスクに下した評価の結果を、判断ポリシーや既存の投資内容が異なる他の評価者がそのまま鵜呑みにしてはいけないという事になります。「他人にとってはゴミでも、自分にとっては宝」という場合も十分あり得るのですから。

ここまでは、とりあえずリスクの大きさのみに注目し、案件間の収益度は皆同じだと仮定してきました。しかし実際には、異なる案件間ではリスクだけでなく収益度も異なるのが普通で、投資を分散させる際に低リスクと高収益度のどちらを取るかという問題が生じます。次節はこうした問題についてご紹介しましょう。

5-2. リスクと収益のバランス

投資案件の質の善し悪しを決める要素は、突き詰めれば収益度とリスクの大きさの2つだと言えます。もし収益度が一定であればリスクが小さいほど望ましく、リスクが同じならば収益度が高い方が良く決まっています。しかし実際の投資案件は収益度もリスクも様々ですから、そう単純には事は運びません。

適切な組合せのポートフォリオを組むと投資リスクを効果的に軽減出来ますが、この時収益度も増大するとは限らず、むしろ一方を採れば他方を損なうというのが世の常です。収益度とリスクのいずれを採るかの判断には、前回説明した判断者のリスクに対する好み（選好か回避か）が大きく影響します。投資判断を最適化するためには自らのこうした好みを客観的に自覚する必要があり、そのための理論的な評価基準が求められます。本節はこうした収益度とリスクとのバランスに関する理論的な評価基準について説明したいと思います。

ポートフォリオ理論

前節リスク分散の事例として使ったアルミ製錬、鉱山経営、電力供給の3つの事業は、話を単純にするためにIRRの平均値を全て同じに設定してありました。しかしこれは余り現実的な例とは言えません。そこで、鉱山経営と電力供給がアルミ製錬よりもIRRが高い場合（設定値は表5-2-1の(a)参照）を考えてみます。

さらに、今回は資金を2つの事業に半分ずつ投資するとしていましたが、今回はこの比率（投資の分散率）は自由に選べるものとします。

(a) 各案件の条件

(b) 電力供給に投資した場合

(c) 鉱山経営に投資した場合

	アルミ精錬との			分散率 IRR 標準偏差			分散率 IRR 標準偏差		
	標準偏差	IRR	相関係数	分散率	IRR	標準偏差	分散率	IRR	標準偏差
アルミ精錬	3.81	4.00	1.00	0.00	4.00	3.81	0.00	4.00	3.81
鉱山経営	4.83	9.00	-0.81	0.10	4.50	3.57	0.10	4.50	3.06
電力供給	2.27	9.00	0.57	0.20	5.00	3.33	0.20	5.00	2.34
				0.30	5.50	3.11	0.30	5.50	1.72
				0.40	6.00	2.91	0.40	6.00	1.35
				0.50	6.50	2.72	0.50	6.50	1.42
				0.60	7.00	2.56	0.60	7.00	1.89
				0.70	7.50	2.43	0.70	7.50	2.54
				0.80	8.00	2.34	0.80	8.00	3.27
				0.90	8.50	2.28	0.90	8.50	4.04
				1.00	9.00	2.27	1.00	9.00	4.83

表5-2-1：分散率の変化によるポートフォリオのIRRとその標準偏差の変化

この場合アルミ製錬会社にとっては、投資の分散先としてどちらを選んでも、投資の分散率を高めるほど投資全体のIRRが高くなります。全ての資金を新たな事業に注ぎ込めばIRRを最大になりますが、そのときのリスクは電力供給の方が小さいので、完全に業種転換するならば電力供給の方が望ましいと言えるでしょう。しかしアルミ製錬とポートフォリオを組むとなると話は違ってきます。

表5-2-1の(b)と(c)は、電力供給と鉱山経営について、アルミ製錬からの投資の分散率を0.1刻みで変えた場合の投資全体のIRRとその標準偏差の値¹⁾を示したものです。IRRは分散率に比例して規則的に変化しま

- 1) ポートフォリオの収益度とそのリスクの大きさを求めるには、前回の図23の例のように個々の案件の収益度の実績値から求める方法の他に、次の理論式を使って計算で求める事も出来ます。

$$\text{収益度 (IRR)} : RP = R_1 W_1 + R_2 W_2$$

$$\text{収益度のリスクの大きさ (標準偏差)} : \sigma_P = \sqrt{W_1^2 \sigma_1^2 + W_2^2 \sigma_2^2 + 2 W_1 W_2 \rho_{12} \sigma_1 \sigma_2}$$

ただし R_1 及び R_2 : 案件1及び2のIRR

W_1 及び W_2 : 案件1及び2への投資の分散率 ($W_1 + W_2 = 1$)

σ_1 及び σ_2 : 案件1及び2のIRRの標準偏差

ρ_{12} : 案件1と案件2のIRRの相関係数 ($-1 < \rho_{12} < 1$)

ポートフォリオのIRRは個々の案件の値を分散率で重み付けした荷重平均です。一方標準偏差は ρ_{12} が1の時には同様に個々の案件の値の荷重平均となりますが、他の場合にはそれを下回ります。その下回る度合いは、 ρ_{12} が-1に近いほど大きくなり、また W_1 及び W_2 の一方が1に近いほど小さくなります。

すが、標準偏差の方はそうではありません。鉱山経営に投資した場合には、標準偏差は分散率が増すにつれて小さくなり、0.4の時最小となり、その後は逆に分散率と共に増大します。

この収益度とリスクの変化を図で示したのが図5-2-1です。横軸に標準偏差、縦軸に収益度及び投資の分散率を採ってあります。アルミ製錬は収益度が低いので下の方に、電力供給と鉱山経営は収益度は同じなので同じ高さに並んでいますが、よりリスクの小さい電力供給が左に、リスクの大きい鉱山経営が右になっています。これらの事業単独の収益度とリスクを示す点の間を結ぶ点線は、アルミ製錬からの投資の分散率の変化に応じたポートフォリオ全体の収益度とリスクの変化の軌跡を示しています。表5-2-1に示された分散率0.1ごとの値は、この線の上の白丸で示してあります。鉱山経営への分散の軌跡は左へ大きく膨らんでいますが、電力供給への分散の軌跡は

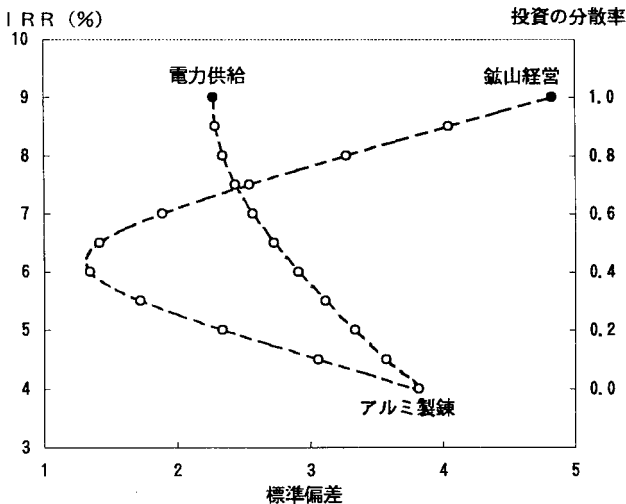


図5-2-1:ポートフォリオの収益度とリスクの大きさが描く軌跡

それほど大きな膨らみは示しません。その結果、分散率が0.5前後の場合は鉱山経営に投資した方が電力供給に投資するよりもポートフォリオの収益度のリスクが小さくなります。

このように、ある二つの案件に投資を分散させた場合、収益度のリスクの大きさは場合によって様々なパターンで変化します。この性質を利用して、適切な組合わせの案件に適切な率で投資を分散させることによって、個々の案件への単独投資では得られない低いリスクを達成する事が可能となります。これが、ポートフォリオ投資によるリスクの軽減、すなわち「ポートフォリオ効果」です。

では、このようなリスク軽減効果を得るのに適した組合せとは、どのような組合せなのでしょう。図5-2-2は、2つの案件間の投資の分散が収益度ーリスク平面上に描く軌跡の形を、両者の収益度との間の相関係数が異なる場合で比較したものです。各軌跡にその場合の相関係数の値が示してあります。この図から判るように、相関係数がマイナス1のとき、両者の間の軌跡

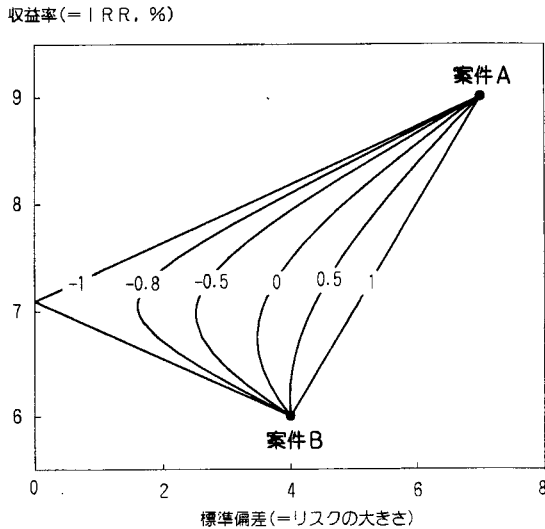


図5-2-2：相関係数の変化によるポートフォリオの収益度ーリスクの軌跡の変化

は縦軸に当たって跳ね返る直線のような形になり、この軸に当たる点においてはリスクがゼロ（つまり収益度が常に一定）となります。相関係数が大きくなるにつれてこの頂点は次第に丸くなりながら縦軸から離れていき、相関ゼロの場合ではまだ軌跡がいずれの案件単独よりもリスクが小さい部分を少しは通りますが、0.5になるとそれもなくなり、1の時には2つの案件の点の間を真つすぐ結ぶ直線になってしまいます。

従って、ポートフォリオ効果を得るためには、投資を分散させる2つの案件間の収益度の相関が負であるか、正であってもなるべく小さいことが望ましいと言う事ができます。

ポートフォリオの評価基準

実際には、2つの案件を選んだ時点で両者の間の相関係数に応じてポートフォリオの軌跡が特定されますが、投資の分散率が投資者の意志で自由に選べる場合、投資者はこの軌跡上の好きな点の組合せを選ぶ事が出来ます。リスク回避型の投資者はリスクが最小となる点の分散率でポートフォリオを組む（場合によっては、リスクの小さい方の案件に全額投資）でしょう。一方リスク選好型の投資者であれば、それより高収益度側（右上）に載る組合せ（極端な場合、収益度の高い方の案件そのもの）を選ぶはずですが、これだけではポートフォリオの分散率は投資者の好みで決まるとしか言えません。この分散率を何かもっと客観的な基準で評価できないものでしょうか？

そこで、全ての投資者には、収益度こそ低いもののリスクの全く無い投資の機会が常に用意されている事を思い出して下さい。これは本書3-1節で「機会費用」と呼んだ、銀行預金の利率のようなものです。ここでは銀行のマージンや経営破綻の可能性は無視して、いつでもこの利率（ r_f ）で預金利

息を受け取ったり銀行から借金したり出来るとします。この「リスクの無い (Risk Free)」投資は図5-2-3上ではグラフの縦軸の上の収益率が r_f となる点に相当します。この時投資者は、案件AとBを組み合わせたポートフォリオと、このリスク無し投資との2つに資金を分散して（つまり合計3つの案件に分散して）投資することが可能です。この時のポートフォリオとリスク無し投資との間での投資の分散による収益度ーリスクの軌跡は、リスク無し投資の収益率の標準偏差がゼロであるため、リスク無し投資の点（図5-2-3の点 r_f ）とポートフォリオの軌跡上の点（例えば点 P' ）の間を結ぶ直線となります。また、銀行から金利 r_f で借金をしてそれをポートフォリオへの投資に注ぎ込む事も可能で、この場合はこの直線を更に右上に延長した位置での投資に相当します²⁾。

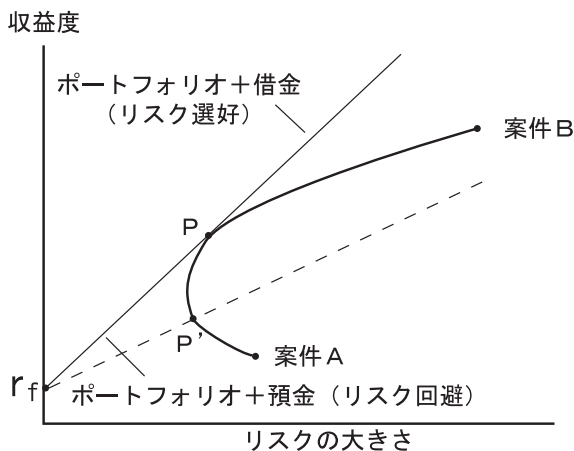


図5-2-3：ポートフォリオとリスク無し投資との組合せ

2) 借金して得た資金を投資した場合、自己資金を投資した場合に比べて収益のうちから借入利息を返却する分収益額は減りますが、結局この投資には元手が全くかかっていないので、IRRや標準偏差は無限大になります。そこまで行かなくとも、投資資金の一部を借金でまかなえば、収益額が減る以上に自己資金投入額が減るので、その分収益度もリスクも点Pより大きくなります。結果として、借金を利用すればポートフォリオの軌跡は点Bから点 r_f と反対の方向に無限に伸びた形になります。

このようなリスク無し投資との組合せはどんな分散率のポートフォリオでも可能です。しかしポートフォリオの分散率をどう採るかによって、投資全体の軌跡を示す直線の傾斜が変わります。この直線の傾斜は収益度とリスクの大きさとの相対的な大小関係を示していて、その傾斜が急であるほど、収益度が高い割にリスクが小さい、つまりローリスク・ハイリターンであると言えます。これはリスク選好であるか回避であるかに関わらず全ての投資者が歓迎する事ですから、2つの投資案件とリスク無し投資の3点買いをする場合の投資の分散率としては、この直線の傾斜を可能な限り大きくするような割合が選ばれるはずだと考えます。

この直線が最大の傾斜を持つのは、それがポートフォリオの軌跡と1点で接する時です。つまり、この接点(図5-2-3の点P)に相当するポートフォリオが、投資者の好みに関係しない範囲(つまりリスク中立の立場)での最も合理的な選択と言えます。従ってこのようなポートフォリオを組む事が、リスク中立な立場での投資の最適化を意味しており、実際の投資がこの点から外れるのは投資者のリスクに対する好みの反映だと考える事が可能です。

具体的には、ポートフォリオの軌跡上の点Pを境にして、これより左下にプロットされるような投資はリスク回避、右上にプロットされる投資はリスク選好傾向があると見なされます。そしてプロットが点Pから離れる程、こうした傾向の度合いが大きいです。つまり点Pが、ポートフォリオ投資の分散率を評価する際の基準点となるのです。

投資案件間の収益度の相関係数が1に近い場合には、案件間の分散の軌跡が直線に近くなり、点Pがいずれか一方の案件の点と重なってしまいます。こういう場合は、リスク中立の立場から見るとポートフォリオを組むメリットは無く、点Pと重なる案件に全額投資する方が良いという事を示しています。

市場ポートフォリオと資本市場線

ここまででは2つの投資案件間のポートフォリオを考えてきましたが、実際にはより多くの案件を対家としたポートフォリオの場合でも同じ事が言えます。3つ以上の案件の間でのポートフォリオが採り得る収益度ーリスクの組合せは、2つの場合のような曲線ではなく、各案件の点を含み、低リスク側は全体に丸く膨らみ反対側に幾つかの窪みを持つ、傘の頭のような形の領域を描きます(図5-2-4)。リスク無し投資の点からこの領域の左上に1点で接する直線を引いた時、この接点が図5-2-3の点Pに相当するリスク中立の立場での最適投資組合せを示します。

そこで、図5-2-4のポートフォリオは世の中に存在する無数の投資案件を全て含んでいると考えてみましょう。この場合、一般に投資案件は収益度が高いほどリスクも大きくなる傾向があるので、収益度ーリスク平面上に多数の案件の収益度とリスクをプロットすると全体として右上がりに傾いた形の分布となり、結果としてこの傘は頭を左に傾けます。リスク無し投資の点から引いた直線がこの傘と接する点(図5-2-4の点 P_m)は、世の中のあらゆる投資案件の組合せの中で、リスク中立の立場から見て最適なものであるという事になります。もちろん実際にはよりリスク回避ないし選好の傾向を持つ組合せに投資する人も必ず居るはずですが、リスク中立の立場から見ると、点 P_m 以外の組合せは収益度に対するリスクの相対的な大きさを最小化していないという事になります。この究極のポートフォリオが、本書3-2のCAPM理論の説明で出てきた「市場ポートフォリオ」に相当し、その収益率は r_m で示されます。そして、この傘に接する直線は資本市場線(**Capital Market Line**)と呼ばれます。

この資本市場線上の点での収益度とそのリスクの大きさは、投資者が自由にポートフォリオを組める限り、いつでも達成可能なはずですが。従って、もし投

資市場が完全市場であれば（すなわち投資の機会と情報が完全かつ公平に公開され、今後の個々の案件の将来の収益度の予測に個人差が無ければ）、市場に参加する投資者は全員この線上のどこか（リスク回避型の投資者は点 P_m より左下、リスク選好型の投資者はそれより右上）に乗るポートフォリオを組むはずでず。もちろん実際には市場は完全ではないので、実在するポートフォリオのプロットが一直線に並ぶ事はありませんが、少なくとも過去の長期の実績においてはその収益度とリスクの大きさとの間にある程度の正の相関が見られるはずでず。資本市場線は、最適化された投資における収益度とリスクとの関係に関する理論値を示すものだと言う事が出来るでしよう。あるリスク水準での収益度がこの理論値を大きく越えるという触れ込みの投資は、その真偽の程を疑ってかかった方が良いという事です。

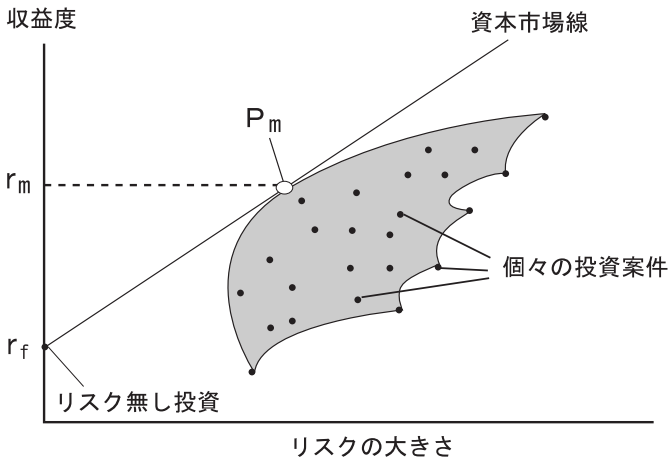


図5-2-4：市場ポートフォリオと資本市場線

投資収益と必要収益率

ここで一度話を整理しましょう。今回は企業の事業分散から投資市場でのポートフォリオ投資までを同次元の行為であるかのように説明しましたが、実際にはこれらは2つの異なるタイプの投資を含んでいます。それは、その投資が市場において公開され誰もが自由に参加出来る場合と、特定の権利ないし能力を持った者のみが参加できる場合です。ここからは前者を市場投資、後者は事業投資と呼んで区別します。アルミ製錬会社が鉱山経営に乗り出す場合にはこの両者があり、鉱山会社の株を買って配当を受け取る場合は市場投資、自分で鉱山を開発・操業して利益を得るのは事業投資です。一方市場ポートフォリオや資本市場線などは、市場投資における話です。

一般に、実際に行われている事業投資から得られる収益は、市場投資から得られる収益（ただし安く買った株や土地を高値で売り抜けて得る収益は除きます）より大きいはずです。なぜならば、企業が事業で得た収益のうちのある部分は内部に留保され、残りが出資者への配当（従って市場投資の収益）に回されるからです。企業は、その生業とする事業の実施に必要な諸能力（技術力、人材、事業免許や権利、原料調達や製品販売のルートなど）を持っており、これを発揮することによって事業の収益性を一般投資収益以上に高める事が出来るのです。

プロジェクト評価とは、企業の立場で事業投資の収益度を事前に見積もる作業です。もし企業がその持てる能力をフルに発揮してもその事業投資収益が市場投資収益に及ばないとすれば、事業資金を市場金利で調達しても返済出来ませんし、そこに自己資金を注ぎ込むメリットもありません。従ってその事業に乗り出す判断に必要な条件は、その事業投資の収益が市場投資の収益より高い事です。

先に資本市場線の水準を超える収益度を持つ投資案件はあり得ないと述べ

ましたが、これはあくまでも市場投資の場合であり、事業投資の場合はそういう案件が存在し得ます。例えば、超優良鉱床を発見したりその開発権を得たりした企業は、資本市場線のレベルを上回る収益を得る事が出来るのです。

DCF分析における必要収益率の概念は、正にこのような考え方に基づいています。本書3-2で示した必要収益率の2通りの定義は、事業資金の調達と自己資金のその他の運用先という2つの観点から、市場投資の収益率、事業投資収益が越えねばならないハードルの高さに換算しているのです。

資金調達コストから必要収益率を求める場合、このコストは資金提供者が求める市場投資収益の裏返しです。従って資金提供者が当該事業のリスクのレベルに見合う収益率(これは資本市場線で示されます)として求める値が、そのまま事業実施者の必要収益率になります。この場合は投資の収益度をその事業の中だけで算出しようとするから、ポートフォリオ効果は生じません。

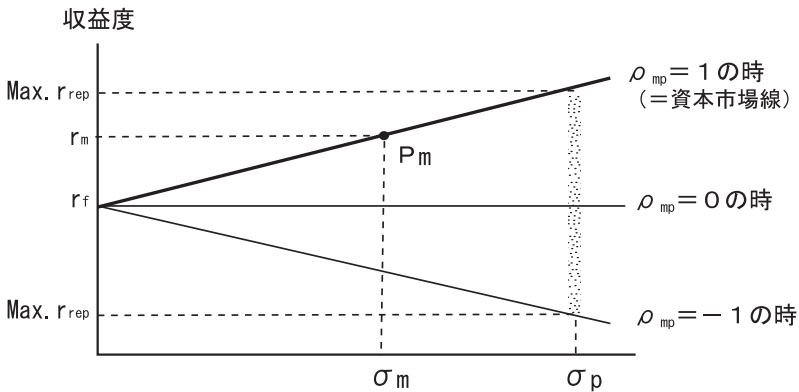


図5-2-5：資本市場線とCAPM理論による必要収益率との関係

一方CAPM理論に基づく必要収益率の計算式

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

は、図5-2-5に示すように、資本市場線と同様にリスク無し投資の点を通る直線を表しています。この直線の傾斜は β の値、突き詰めれば市場ポートフォリオと当該投資案件の収益度の相関係数 (ρ_{mp}) によって決まります³⁾。もし ρ_{mp} が1ならばこの直線は資本市場線と一致しますが、1より小さくなるにつれて傾斜が緩くなり、相関係数がゼロならば水平に、マイナスならば逆に左下がり傾くようになります。この直線が右上がりの傾斜を持つ（つまり相関係数がプラスの）時、その上のある点での必要収益率とリスクなし利率との差は、そのリスクの大きさにおけるリスクプレミアムとして、機会費用に加算された部分になります⁴⁾。CAPM理論では企業が既に市場ポートフォリオにも投資しているという前提に立っており、それと新たな事業投資との組合せによるポートフォリオ効果も加味した投資全体についての収益度とリスクが評価されます。従って、市場ポートフォリオと当該投資案件との収益度の変動の相関が負又は小さければ、必要収益度は資本市場線のレベルより低くても構わないという事になります。

この他に、最も単純な考え方として、自己資金で事業を行い、その収益は他の投資行為とは切り離して単独で計上・評価するというケースがあります。

3) 必要収益率の式に前回の脚注4で示した β の式 ($\beta = \rho_{mp} \sigma_p / \sigma_m$ 、ただし m は市場ポートフォリオ、 p は評価対象となる新規投資案件を示す) を代入して変形すると

$$r_{req} = r_f + \rho_{mp} \left\{ (r_m - r_f) / \sigma_m \right\} \sigma_p$$

と表す事が出来ます。この式は図28の点 r_f を通り $\rho_{mp} (r_m - r_f) / \sigma_m$ の傾きを持つ直線を示します。このうち $(r_m - r_f) / \sigma_m$ は資本市場線の傾きですから、結局この直線は、 ρ_{mp} が1の時は資本市場線に等しく、ゼロの時は傾きがゼロ、すなわち $IRR = r_f$ の水平な直線に、そしてマイナス1の時は資本市場線と傾きが同じで向きが逆（右下がり）の直線になります。

4) 逆に相関係数がマイナスで直線が左下がりになる場合は、必要収益率が r_f を下回るので、この両者の差は「リスクディスカウント」とでも呼ぶのででしょう。このようなリスクは、ポートフォリオ投資の立場からすると「好ましいリスク」であり、極端な場合（右下がりの直線が横軸と支差する点より更に右）では収益度がマイナスでも投資する価値がある案件が存在し得る事になります。

この場合、事業収益は長期的に見て機会費用（＝リスク無し投資の収益率）を上回っていれば良い訳で、従って必要収益率は常に機会費用と等しくなります。

こうして見ると、これら3つの必要収益率の違いは、その事業の実施に対する投資市場の関わりあい方の違いを反映している事がお判りかと思います。事業実施のための資金を投資市場で調達しているならば、その事業収益は投資市場の資本市場線で示される水準を上回る必要がありますが、自己資金を投資してその収益だけを受け取る場合には、事業収益は機会費用を上回っていさえすれば良く、投資市場で資金運用しつつその資金の一部を事業に振り向けようという場合には、条件さえ満たせば更に低い収益率でも構わないのです。

どの必要収益率を採用すべきかは、プロジェクト評価の主体である企業が投資市場とどのような関係を持つかによって違ってきます。従って、個々の案件が固有の値の収益度とリスクを持っていても、事業として成り立つための収益度とリスクの最低条件が評価の主体である企業の事情によって異なるために、ある企業にとっては必要収益率を達成できない案件が別の企業にとっては条件を満たすという場合が起こり得るのです。このような事が起こる理由として前回CAPM理論の β の値が前提とするポートフォリオ投資の内容によって変わる事を示しましたが、更に加えて、そもそも必要収益率の計算にCAPM理論を使うか他の方法を使うかの判断自体が、評価する者の事情（資金調達方法、決算上の収益計上の仕方など）によって違ってくるという理由もある訳です。

このように、プロジェクトリスクを評価するためにはまずその前提となる評価者の事情や考え方を明確にしなくてはなりません。それによって同じリスクが忌み嫌うべき物になったり歓迎すべき物になったりします。従ってそ

の結論は常にオーダーメイドであり、他人の結論を見倣う必要はありません。リスク評価の結果はプロジェクトの経済評価に直結しますから、同じ事はプロジェクトの経済評価自体についても言えます。

前節からの話の内容は、プロジェクトリスクの扱いに関する一般論を筆者なりにまとめたものでした。これらの理論はもちろん資源開発案件の評価に応用出来ますが、その際に問題となるのが、鉱業権、探鉱費、埋蔵鉱量、開発費などといった我々が日頃慣れ親しんだ言葉が、一般的なプロジェクト評価理論上では実は極めて変則的で特殊な概念であるという事実です。この変則的な性格を理解頂くために、とりあえずスタンダードな理論について先に説明した訳です。

5-3. DCF分析の限界

今までに資源プロジェクトの経済評価と称してご紹介してきたDCF分析やリスク評価などの話は、その具体的な事例に資源開発事業を使いしましたが、実は本質的にはどんな種類の投資にでも適用できる一般的なものです。資源開発の分野では、こうした考え方に従ってその事業を一般的な投資行為として評価する事がまだ余り行われていないので、本書ではこうした基本的な理屈のレビューから話を始めた訳です。

これからは、資源開発事業を評価するための特別な経済評価法の話に入ります。資源開発プロジェクトは一般の投資には無い幾つかの特殊な性質を持っていて、これがDCF分析の能力の限界を露呈させてしまい評価出来ない事があります。そこで、資源プロジェクトのこうした性質を評価するための特殊な評価方法が幾つか考案されています。こうした特殊な評価法の存在が、資源プロジェクトの経済評価を一般経済評価とはひと味違った一種独特なものにしているのです。

本節ではまず、資源プロジェクトのどのような性質がDCF分析による評価に馴染まないのかについて、鉱山開発計画の実例を使って具体的に説明してみようと思います。

長期にわたる後年度支出

表5-3-1の(a)はある金属鉱床に関するF/S調査の結果得られた最適開発計画の操業条件です。これをもとに(b)の式により毎年の収入と支出を計算し、その結果から(c)において総合収支スケジュールが計算されています。計画では、今から1年間で施設を建設し、来年から10年間鉱石を採掘・選鉱して販売し、11年目には跡地復旧して閉山する事になっています。操業

条件として与えられた値は実際に起こる可能性のある数字の中で最も起こる確率の高い値（＝確率分布のモード）だと考えて下さい。

この開発計画には、資源開発プロジェクトに特徴的なある性質が含まれています。それは、操業終了後も引き続き坑排水処理のための費用を支出する必要がある事です。計画では、操業開始1年目以降50年目まで、毎年1億1千万円の坑排水処理費用が発生し続けると見込まれています。この支出は操業中は事業収入によって埋められてしまい総合収支スケジュール上には出てきませんが、閉山後はこれがそのまま支出として計上されます。この長期にわたる後年度支出が、DCF分析によりこの事業の収益度を評価する際の障害になるのです。

この事業の総合収支スケジュールに基づいて、将来発生する額面価値の割引率（機会費用ないしは必要収益率）を3%としてその収益度を計算すると、NPVはマイナス1,800万円、すなわち残念ながらもうちよつとのところで収益が出ないという結果になります。ところが、IRRには3.1%と9.8%という2つの値が出てきてしまいます¹⁾。

1) IRRはNPVをゼロにするような割引率の値であると定義されます。この場合NPVがほぼゼロなので、このNPVの計算に使った割引率（3%）に相当する値（この場合3.1%）がIRRになります。しかし同時に、仮に12年目以降の支出が無かったとした場合に得られるであろう高いIRRに相当する割引率を使ってNPVを計算すると、11年目までの収支の現在価値がゼロになる上に、12年目以降の支出がこの高い率で割引されるため、その現在価値は殆ど無くなってしまいます。従って、この高い割引率（この場合9.8%）によっても事業全体のNPVをゼロに出来るのです。

表5-3-1：山開発計画の総合収支スケジュールの計算例

(a) 前提となる操業条件

年間採掘量：	1,000,000 トン
平均出鉱品位：	20 %
操業年数：	10 年
トン当たり採掘単価：	1,000 円
年間固定経費：	200,000,000 円
精鉱トン当たり選鉱単価：	1,500 円
精鉱品位：	60 %
選鉱回収率：	90.0 %
選鉱廃さい処理単価：	1,000 円/トン
坑排水処理単価：	300,000 円/日
精鉱中金属純分販売単価：	200 \$/トン
為替レート：	100.0 円/\$
施設建設費：	4,000,000,000 円
施設撤去費：	1,000,000,000 円
所得税：	40 %

(b) 収入・支出要素の計算式

採掘費＝採掘量×採掘単価

選鉱費＝採掘量×鉱石品位×回収率÷精鉱品位×選鉱単価

廃さい処理費＝採掘量×{(1－(鉱石品位×回収率÷精鉱品位))} 処理単価

坑排水処理費＝処理単価×365日

精鉱売上げ＝採掘量×鉱石品位×回収率×金属分単価×為替レート

(c) 収支スケジュールの計算 (単位：億円)

	0	1	2	・・・	9	10	11	12	・・・	50
収入										
精鉱売上げ	0.00	36.00	36.00	・・・	36.00	36.00	0.00	0.00	・・・	0.00
支出	40.00	29.80	29.80	・・・	29.80	29.80	11.10	1.10	・・・	1.10
採掘費	0.00	10.00	10.00		10.00	10.00	0.00			
選鉱費	0.00	8.10	8.10		8.10	8.10	0.00			
廃さい処理費	0.00	4.60	4.60		4.60	4.60	0.00			
坑排水処理費	0.00	1.10	1.10		1.10	1.10	1.10	1.10		1.10
固定経費	0.00	2.00	2.00		2.00	2.00	0.00			
設備投資	40.00	0.00	0.00		0.00	0.00	10.00			
減価償却	0.00	4.00	4.00		4.00	4.00				
課税前収支	-40.00	6.21	6.21	・・・	6.21	6.21	-11.10	-1.10	・・・	-1.10
所得税	0.00	2.48	2.48		2.48	2.48	0.00	0.00		0.00
実質収支	-40.00	3.72	3.72	・・・	3.72	3.72	-11.10	-1.10	・・・	-1.10
減価償却控除	0.00	4.00	4.00		4.00	4.00	0.00	0.00		0.00
総合収支	-40.00	7.72	7.72	・・・	7.72	7.72	-11.10	-1.10	・・・	-1.10

この状態で割引率を変化させた時NPVがどう変わるかを見たのが、NPVを縦軸、割引率を横軸に取った図5-3-1です。通常の場合は右下がりの直線が描かれるはずで、この直線がNPV=0の水平な線と交わる点の割引率がIRRです。ところが図29のケースでは、割引率が小さくなると線が左下へ垂れ下がって、NPV=0の水平線ともう一度交わってしまいます。その結果IRRが2つ出来てしまうのです。そもそも割引率が小さくなるほどNPVが下がる(=図5-3-1の線が左下がりになる)というのは投資の概念と矛盾しており、これが起こるといふ事は、DCF分析が正しく機能していない証拠です。従ってこの時のNPVや2つのIRRの値は経済評価の指標としての意味を持ちません。

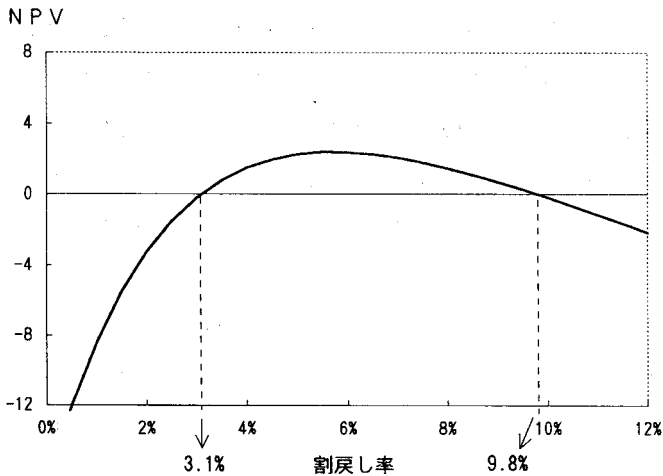


図5-3-1：表11のプロジェクトの割引率とNPVとの関係

こういう場合に、閉山後の坑排水処理に関する支出を他から切り離し、これだけを事前に現在価値に換算して初年度の設備投資に含めてしまえば、通常のDCF分析を適用する事が可能となります。その時NPVは当初と同じで、

I R Rは2.9%になります²⁾。しかし事業の収益度を評価するためにその収支スケジュールを細工するというのは本末転倒な話で、これをやってしまうとわざわざ収支スケジュールを計算した意味が無くなってしまいます。

このように、事業の途中で累積収支が一旦大きくプラスになり、その後に少額の支出が長期にわたって発生するような総合収支スケジュールに対しては、D C F分析はうまく働きません。このようなパターンの収支スケジュールは通常の投資では滅多に出てきませんが、堆積場の保全や坑排水処理のような長期にわたる後年度支出を伴う資源開発プロジェクトでは、これが結構頻繁に起こるのです。

リスクが大きすぎる

表5-3-1の(a)における各操業条件は、あくまでも事前に予想される値です。このうち年間採掘量や操業年数は決めの問題ですが、各生産工程のコストや経費、生産する精鉱の販売価格や為替レートなどは、事前の予想通りに事が運ぶとは限らず、実際の値が予想と違ってくる可能性があります。また、新技術の導入や現場の努力の結果が操業条件を意図的に改善する可能性もあります。

こうした個々のファクターの変動が事業全体の収益度にどの程度影響を与えるかを比較したのが、図5-3-2です。この図の縦軸は事業のNPVで、横軸には実際の操業における各操業条件の値が事前の予想値と違ってくる度合いをパーセンテージで示してあります。例えばトン当たり採掘単価が当初予

2) 国の鉱害防止事業基金制度は、正にこの操作を現実に行おうというものです。この制度の目的は鉱山企業の坑排水処理費、特にそのリスク負担を軽減する事ですが、D C F分析による評価では、この処理を施す事によりNPVは変わらないのにI R Rが下がり、事業の収益度はむしろ悪化する事になってしまいます。しかしももとのNPVやI R Rが経済評価としての意味を持たない以上、こうした比較も意味がありません。

想の1,000円に対して実際には1,020円かかった場合には条件が2%悪化した、960円で済めば4%改善されたと表現します。図中に示された右上がりの直線はそれぞれの操業条件が改善されればNPVが大きく、悪化すれば小さくなる事を意味していて、これが急傾斜であるほど、その条件の変化が事業の収益度に及ぼす影響の度合い（Sensitivity）が大きいと言います³⁾。

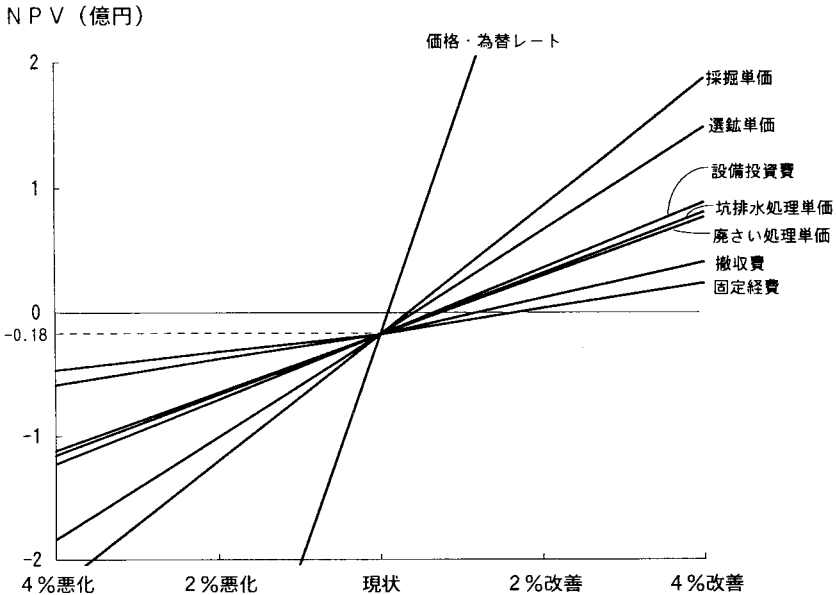


図5-3-2：操業条件の改善・悪化の度合いとNPVの変化

3) このような分析は影響度分析（Sensitivity Analysis）と呼ばれ、DCF分析の結果を詳細に検討する際に用いられる手法で、この結果からいろいろな事実を読みとることが出来ます。例えば、選鉱単価が3%改善される（＝下がる）と、事業のNPVは現状の-0.18億円からプラス1億円程度まで上昇するという事は、この開発計画において選鉱単価を3%改善する技術には1億円程度の現在価値があり、これが7千万円の設備投資増で導入できるならば是非導入するべきだが2億円かかるなら止めた方が良いという事を意味します。

この図を見て誰もが気付くのは、販売単価や為替レートの直線（両者は完全に重なります）が他に比べて段突に急傾斜だという事です。これらのうちの 하나가 1%動くだけでNPVは2億円近く変動します。一方操業の固定経費や閉山時の撤収費用などが1%変化してもNPVは2千万円程度しか動きません。これは、操業コストが各種の技術要素に分散して依存しているのに対し、販売収入はこの2つのファクターに全面的に依存しているためです。その結果、各種のコストを多少切り詰めても、価格や為替レートがちょっと悪化しただけでその努力は全てパーになってしまうという事が起こるのです。

このように、生産物の販売価格が海外市場において外貨建てで決定され、それをその時の為替レートで邦貨に換算した値が事業収入の単位となっている限り、資源開発事業の経済性は、この2つの変数の推移に大きく左右されます。これが、資源プロジェクトのリスクがどうしても大きくなる最大の原因です。

以前にご紹介したとおり、理論上はどんなに大きなリスクを含んだ案件でもDecision Treeや確率分布DCF分析等の手法によりその見込み収益度の大きさを表現出来る事になっています。しかし実際には、得られた収益度の確率分布の標準偏差（＝ヒストグラムの横幅）が余りに大きいと、その結果をどう解釈するかが非常に難しくなる傾向があります。

試しに、表5-3-1の販売単価と為替レートがそれぞれ図5-3-3に示すような確率分布に従って変動すると仮定して、確率分布DCF分析によりこの事業のNPVの確率分布を求めてみましょう。本書3-3でご紹介した方法による1万回の試行計算の結果を集計したところ、図5-3-4のような確率分布が得られました。図5-3-2の確率分布が価格や為替に関してやや楽観的な見通しである事を反映して、NPVの期待値（＝確率分布の平均値）は14億円余り、NPVがマイナスになる確率は15%程度、10億円以上と

なる確率が約60%で、全体としては決して悪くない評価結果になっています。

この鉱床の開発権を持つ企業がそれに踏み切るかどうかの判断を下す際には、確率分布DCF分析のこのような結論は十分判断材料になるでしょう。

この結果なら、余程リスク回避の傾向の強い判断者でない限りゴーサインを出す筈です。

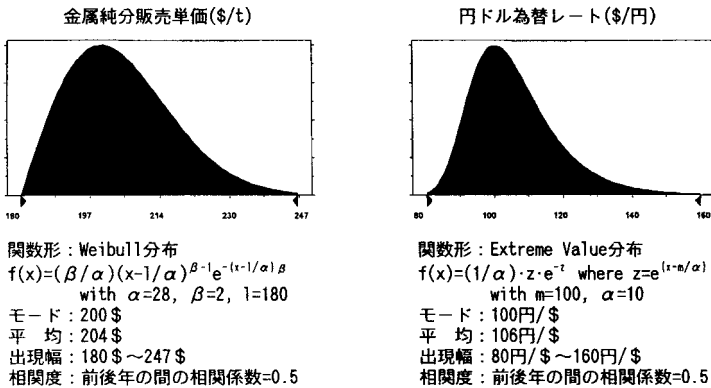


図5-3-3: 販売単価と為替レートの確率分布

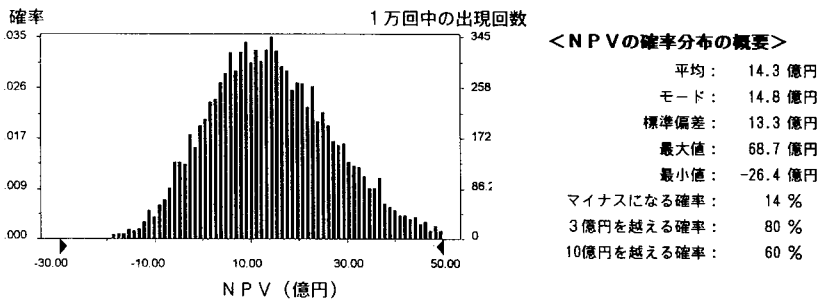


図5-3-4: 販売単価と為替レートの変動に伴うNPVの確率分布

しかし、例えばこの鉱床の開発権を他社から買おうとしている企業にとってはどうでしょうか？NPVの確率分布はマイナス26億円から68億円までの天と地ほど違う結果を含んでいて、標準偏差が13億円を超える非常に幅広いものになるため、この鉱山の開発権に支払う金額を狭い範囲に絞り込む根拠を与えてくれません。NPVの期待値が14億円だからと言って14億円払うと、結果としてトータルで赤字になる確率が5割もある事になります。だからと言ってこの赤字の確率を1割に減らそうとすると応札金額はマイナスになってしまうのです。赤字の確率は3億円払うと2割、10億円払えば4割です。一体どのくらいの赤字の確率を見込んで金を出せば良いのでしょうか？これは評価者のリスクに対する考え方を定量的に問う判断であり、理論的に決定する根拠はありません。

大きなリスクをもたらす原因が技術的な問題にあるならば、優秀な技術者を雇えばそれなりに対処してくれるかも知れません。しかし相手が金属市況や為替の変動となると、例えノーベル賞級の経済学者であってもこれらを予言したりコントロールしたり出来る訳ではありません。しかも悪い事に資源プロジェクトの場合こうした経済ファクターが事業の採算性に最も効いてくるのです。

結局、確率分布DCF分析の結果は、定性的な判断（やるか、止めるか）には有効ですが、定量的な判断（幾ら払うか）には明確な答えを出せない場合が多いのです。その答えを出すには最後に評価者がその経験と勘でエイ！と判断せねばなりません。これでは苦勞して確率分布を計算する意味はなく、始めから経験と勘で評価したほうが話が早いという事になってしまいます。

事業計画にオプションを想定する余地がある

表5-3-1のケースを含め、今までDCF分析の基本となる収支スケジュールは常に今から事業を開始し、予定の期間操業した後に事業を終えるというパターンを取っていました。しかしよく考えてみると、資源開発事業には「開発延期」、「操業休止」、「鉱量を残して閉山」などといった事態がよく起こります。これらは通常、今の金属市況ではこの鉱床を開発しても採算が取れそうにないとか、市況低迷のため操業すればするほど赤字が出る、などといった場合に取られる処置です。このように状況に応じて事業計画を臨機応変に変更する事を「オプション」と言い、この場合はそれぞれ「開発オプション」、「操業オプション」、「閉鎖オプション」と呼ばれます。こうしたオプションは資源開発事業の収支を改善する（赤字を小さくする）効果があるので、これを想定せずに常に計画通りに操業するとして事業を評価すると、その収益度を過小に評価してしまいます。

例えば表5-3-1の開発計画に、「その年の販売単価がトン195\$を下回る場合は操業を休止する」という操業オプションを付け加えたとしましょう。操業休止により生産が繰り延べされるとその分余計に割り戻される分だけ収益額の現在価値は減少しますが、常にある程度以上の高い値で販売出来る事による収入の現在価値の増加がこれを上回れば、全体の収益度は向上するはずです。

そこで表5-3-2に、価格の将来推移について15年間のシナリオ（平均値が200\$になるよう設定してあります）を作り、このシナリオの下で操業オプションによる休止期間を含めて15年間かけて鉱石を採掘した場合の総合収支スケジュールを示してみました。この場合、操業を休止している年には坑排水処理費と一部の保守管理费用のみを支出し、閉山に伴う跡地復旧工事は採掘終了後の16年目に行うものとします。その他の条件は全て表5-3-1

の場合と同じです。

この時の事業のNPVは1億2,500万円になります。これに対して、同じ価格推移のシナリオの下に操業オプション無しでがむしやりに10年間操業した場合のNPVはほぼゼロになります。この両者の差が、開発計画に操業オプションを取り入れた事の経済効果なのです。これはあくまでも販売単価が表12に示したシナリオで推移した場合の効果の大きさで、価格推移のシナリオが違えばその値も当然違ってきますが、操業オプションを取り入れた事業の収益度は同じ価格推移の下で操業オプション無しに操業した場合のそれよりも常に大きくなります⁴⁾。

いずれにせよ、将来の価格がどう変動するかが予測不能である以上、通常のDCF分析ではこの操業休止オプションの効果を事業開始前の時点で経済価値に換算する事は出来ません。オプションとは一言で言うとリスクが大きい事のデメリットを回避する手段ですから、その効果は資源プロジェクトのようなリスクの大きい事業ほど大きいはずです。特に採算ぎりぎりの事業においてはこれが重要で、DCF分析では収益度がゼロまたはマイナスと判定された場合でも、そこにオプションの効果を加味してやると採算性が出てくる場合があります。そういう意味で、オプションの効果を算定出来ないというのは、資済開発案件の経済評価にとっては非常に具合が悪いのです。

4) ただしそのためには、操業コスト全体に占める施設の維持管理経費の割合が小さいことが必要です。操業休止中も施設をいつでも再稼働出来る状態に保つための支出は必要ですから、この額が大きいと操業オプションの効果が小さくなり、ある限界を超えると効果はゼロになります。

表5-3-2：仮想価格推移の下で操業オプシオンを採った場合の収支スケジュール

年	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	…	50	
販売単価	202	208	213	207	194	187	182	200	195	212	219	201	191	194	201	194	201	194	200		
収入	36.36	37.44	38.34	37.26				36.00	35.10	38.16	39.42	36.18			36.18						
支出	40.00	29.80	29.80	29.80	29.80	1.30	1.30	1.30	29.80	29.80	29.80	29.80	29.80	1.30	1.30	29.80	11.10	1.10	1.10	1.10	
採掘費	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00	10.00					
選鉱費	0.00	8.10	8.10	8.10	8.10	0.00	0.00	0.00	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	0.00	0.00	8.10					
廃さい処理費	0.00	4.60	4.60	4.60	4.60	0.00	0.00	0.00	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	0.00	0.00	4.60					
坑排水処理費	0.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
固定経費	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.20	0.20	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.20	0.20	2.00					
設備投資	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00				
減価償却	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00					
課税前収支	-40.00	6.57	7.65	8.55	7.47	-1.30	-1.30	-1.30	6.21	5.31	8.36	9.63	6.39	-1.30	-1.30	6.39	-11.10	-1.10	-1.10	-1.10	
一所得税	0.00	2.83	3.06	3.42	2.99	0.00	0.00	0.00	2.48	2.12	3.35	3.85	2.55	0.00	0.00	2.55	0.00	0.00	0.00	0.00	
課税後収支	-40.00	3.94	4.59	5.13	4.48	-1.30	-1.30	-1.30	3.72	3.18	5.02	5.78	3.83	-1.30	-1.30	3.83	-11.10	-1.10	-1.10	-1.10	
十減価償却	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
総合収支	-40.00	7.94	8.59	9.13	8.48	-1.30	-1.30	-1.30	7.72	7.18	9.02	9.78	7.83	-1.30	-1.30	7.83	-11.10	-1.10	-1.10	-1.10	

.....：操業停止期間（坑排水処理費は全額、保守管理費分の固定経費に2千円を支出）

資産として評価される場合がある

これまでの話は、いずれも実際に資源プロジェクトをDCF分析により評価しようとした時の問題点でした。しかしDCF分析には、それ以前の大きな制約があります。それは、評価の対象となる投資行為が明確な資金回収スケジュールを持っていないと評価出来ないという点です。例えば、もし将来値打ちが出れば売ろうと思って骨董品の壺を買った場合、実際にその値段がいつどの程度値上がりするかは「神のみぞ知る」であり、もしかすると永久に売れないかも知れません。このような時間的見通しを持たない投資については、収支スケジュール自体が存在しないので、DCF分析は始めからお手上げです。

投資資金を回収する時間的スケジュールがあらかじめ想定できるような投資を事業投資と呼びます。これに対して、いつどのような収支が生じるかは不明で、とりあえず持つておくことが目的の投資を、資産投資と呼びます⁵⁾。同じ品物の購入でもその目的によってそれが事業投資であったり（例えば配当金を受け取る目的で株を買う場合）、資産投資であったり（将来株価自体が値上がりする事があれば売るつもりで株を買う場合）します。そしてDCF分析がその投資の収益度を評価できるのは、あくまでも事業投資の場合だけなのです。

ここまで言えばお判りかと思いますが、実は資源というのはそれを開発する予定があれば事業投資の対象になりますが、そのまま地下に置いておくだけであれば資産投資の対象なのです。従って、ある鉱床の開発権をその鉱床

5) 今まで漠然と「案件」とか「プロジェクト」などと読んできたのは、事業投資の事を指します。例えば投資資金がどの程度回収できるかが正確に予測出来なくても、回収のスケジュールがあらかじめ決まっていればそれは事業と見なせます。これに対して資金をいつ回収出来るか判らないものが資産投資です。オプションのついた事業は、一部資産投資的な性格を持った事業投資と言えるでしょう。

を開発すると決めている人が買う場合にはそれは事業投資ですが、銀行が鉱山会社に資金を融資する場合にはその会社の所有する鉱区は資産として評価されます。そしてこういう資産としての資源の経済的価値は、DCF分析では評価出来ないのです。

資源プロジェクトのための評価法

資源プロジェクトの経済性を評価するのに、DCF分析では十分に対応出来ない場合があることがお判り頂けたかと思います。投資理論の研究の分野では、1980年代以降こうした問題を解決するための様々な新しい評価法が考案されてきています。これらは大きく2つのグループに大別されます。

一つは、地下資源の絶対価値を理論的に設定して資源の資産価値を評価しようというもので、その原則は「地下資源の現在価値はそれが採掘されない限り永久に保存される」という考え方です。この理屈に従うと価格変動のリスクが存在しなくなり、資産としての資源の価値を求めることが出来ます。

もう一つは、オプションの効果を数学的に表現してNPVに加味しようというもので、投資市場におけるオプション取引の評価方法を資源に応用したものです。こちらは逆に、オプションは常にその投資の収益度を高める方向に発動される事を利用して、実際の収益度が採りうる範囲を限定しようというものです。

これらの評価法はいずれも偏微分方程式の束で表現される抽象的かつ数学的な理論で、今までの実務的な経済評価法とはやや趣を異にしています。しかしこれらの考え方は資源の価値という概念を感覚的に理解するための多くの示唆に富んでいて、それだけでも知っておく価値は十分あると思います。