

知的財産権の適切な評価に関する一試論

- ベイズ公式を用いた限界現在価値法によるリアル・オプション評価アプローチ -

太田 康 信

1. 知的財産権の価値評価に適用されている代表的な評価アプローチ

本稿の目的は、第一義的に、知的財産権の評価に適用されてきた、既出の代表的な評価アプローチに固有な欠陥には全く無関係で、画期的な「限界現在価値法 (The Marginal Present Value Method)」を採用し、かつ、無形資産を評価することが可能な方法として既に市民権を得ているリアル・オプション理論を適用した上で、選択された行動結果についての確率という視点からベイズ公式を援用することにより、基本的に大改良を施した評価アプローチの一試論を紹介することにある。

知的財産権 (Intellectual Property) とは、一般に、発明、発見等を初めとした知的アイデアから生まれる権利を指し、大別して、著作権 (Copy Right) と産業財産権 (工業所有権) (Industrial Property) とに分類できる。著作権には、文字通り、著作権の他、出版権、タイプ・フェイス、著作隣接権などがある。産業財産権には、特許権、商標権、意匠権、実用新案権の他に、不正競争防止法などで認められる権利がある。更に、近年、ハイ・テク、レンタル、バイオ、インターネット事業に関連して、種々の保護権設定ニーズが昂まってきている。

知的財産権評価に際して、適用可能と考えられる、従来からの評価手法の中には、i) マーケット・アプローチ、ii) インカム・アプローチ、iii) コスト・アプローチが、その代表として、よく採り上げられている。まず、マーケット・アプローチでは、直近時における類似例の取引価格が、当該資産の価値評価額の参考とされる。しかしながら、価値評価額算定のタイミングで、常に、直近時における類似例が存在するとは限らないし、仮令、存在するとしても、評価対象と類似例との間の類似度に存する、限定不可能な曖昧さを完全に払拭することはできない。次に、インカム・アプローチでは、当該資産が将来産み出す予想収益流の現在時点における価値評価額が算定される。かかる現在価値法には、目的とされる評価価値額と、算定に使われる割引率との間に、循環計算による収束作業 (同時連立形を解く作業) を省くという理論の誤用が日常茶飯事化されている。ファイナンス分野の議論として、より厳密には、投資行為の分析と資金調達分析との人為的な分離によって、企業行動表現としては不自然な分析方法が不適切なまま、評価作業の中で踏襲されてきている。分析に採用されるキャッシュフロー概念如何によっては、現在価値への割引過程における調達コストの二重評価 (Double Counting) という問題も処理されずに残されたままである。最後に、コスト・

アプローチでは、評価対象資産を築き上げるのに必要な費用総額が評価額と見做される。しかしながら、コスト・アプローチで最も肝心なのは、時間要素の評価であって、掛かった時間の長さを価値評価することには多くの困難が存する。このように、既存の評価法を採用して評価価値額を算定することには、現実に許容し得る程度の妥協が、常に伴うこととなる。

そこで、本稿においては、企業における投資行為と随伴する資金調達行為とを一对にした上で、それら両行為の財務的な評価価値について、リアル・オプション理論を分析評価アプローチの枠組みとして採用した上で、投資と資金調達を同時に評価可能な限界現在価値法を基本的な評価法に据え、更に、不確実性に関してはベイズ確率論のアイデアを採り入れた評価方法を、革新的な技術開発プロジェクトを例にとりて、応用してみようと思う。

2. 限界現在価値法のアイデア

リースは「物融」と言われるように、従来から、フィナンシャル・リースの評価においては、案件そのものが、投資たる性格と資金調達たる性格の両方を兼ね備えているため、リース以外の代替的手段との差額キャッシュフローを用いての評価アプローチを採らざるを得なかった。それらは、具体的には、“Lease or Buy”あるいは、“Lease or Borrow”という類の判定法として定式化されてきている。その理由は、リースには、初期におけるキャッシュフローが発生しないため、評価にあたっては、投資型のキャッシュフローにも資金調達型のキャッシュフローにも当て嵌められないからである。確立したコーポレート・ファイナンスでは、投資型のキャッシュフローもしくは資金調達型のキャッシュフローのうち、どちらか一方しか評価の俎上にあげられないのである。従って、自己資金に余裕がある場合には、即時購入案の代替案としてのリース「投資」案が想定され、資金調達の必要がある場合には、借入れによる購入案の代替案としてのリース「資金調達」案が比較分析されることとなる。両方の型のキャッシュフローが混在した状態での評価は不可能と考えられ処理されてきた。しかしながら、限界現在価値法において見止められるように、案件開始時における「物融」という陰伏のキャッシュフローを、仮想的投資額かつ仮想的資金調達額として、明示的に同時認識することにより、リース案件は、単体での評価が可能となる。

いま、現金購入価額、\$10,000のリース対象資産を、リース期間5年、每期、\$2,500のリース料支払いにより契約することの良し悪しを評価する例を考えてみよう(図表1を参照)。投資キャッシュフローとしては、初期に、\$10,000の投資がなされたものと見做し、以降、リース支払い料差引前・リース料支払いに伴う節税効果考慮後・税引後ベースの投資(回収)キャッシュフローにより、収益性を評価するものとする。ここで、リース支払い料差引前・税引前ベースの投資回収キャッシュフローを、\$6,000と仮定すれば、求める投資キャッシュフローは、以下の計算の如く、\$4,740となる。但し、法人税率を36%とおいた。

図表1 フィナンシャル・リース案件の数値例

	0年度	1年度	2年度	3年度	4年度	5年度
リース機器購入額	-\$10,000					
リース料支払い前・						
税引前利益		\$6,000	\$6,000	\$6,000	\$6,000	\$6,000
リース料支払い		-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500
リース料支払い後・						
税引前利益		\$3,500	\$3,500	\$3,500	\$3,500	\$3,500
リース料支払い後・						
税引後利益		\$2,240	\$2,240	\$2,240	\$2,240	\$2,240
リース料支払い前・						
節税効果込み・						
税引後利益		\$4,740	\$4,740	\$4,740	\$4,740	\$4,740
投資 Cash Flow	-\$10,000	\$4,740	\$4,740	\$4,740	\$4,740	\$4,740
@IRR	37.89%					
資金調達 Cash Flow	\$10,000	-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500	-\$2,500
@irr	7.93%					
	GPV(+)	\$28,960	GPV(-)	-\$15,274		
NPV	\$13,686	> 0	⇒	本リース案件は実施するに価する		

$$\begin{aligned}
 \text{投資（回収）キャッシュフロー} &= (6,000 - 2,500) \times (1 - 0.36) + 2,500 = \$4,740 \\
 &= 6,000 \times (1 - 0.36) + 0.36 \times 2,500 = \$4,740 \\
 &= \text{リース料支払い前・税引後利益} + \text{節税効果}
 \end{aligned}$$

対して、資金調達キャッシュフローの方は、リースにより、期初に、\$10,000の資金を実質的に得たのと同様の効果が生じており、以降、リース料支払いとして、毎期、\$2,500という一定額の支払いが5期間に亘って発生することとなる。このようにして求められる投資型および資金調達型の二種類のキャッシュフローが同時に生起する案件を、正に、フィナンシャル・リースと捉える訳である。そして、投資キャッシュフロー情報からは、投下した見做し初期投資額の損益分岐点収益率である内部収益率 (@IRR), 37.89%を、以下のようにして求め、

$$-\$10,000 + \frac{4,740}{(1+0.3789)^1} + \frac{4,740}{(1+0.3789)^2} + \frac{4,740}{(1+0.3789)^3} + \frac{4,740}{(1+0.3789)^4} + \frac{4,740}{(1+0.3789)^5} = 0$$

資金調達キャッシュフロー情報からは、下記のように、

$$\$10,000 - \frac{2,500}{(1+0.0793)^1} - \frac{2,500}{(1+0.0793)^2} - \frac{2,500}{(1+0.0793)^3} - \frac{2,500}{(1+0.0793)^4} - \frac{2,500}{(1+0.0793)^5} = 0$$

見做し調達資金の最終利回りである内部収益率 (@irr), 7.93%が求められる。更に、求められた@irrを割引率として、投資キャッシュフローの現在価値を求めたものに初期調達資金額を加えた粗現在価値プラス (GPV(+)) を、下記のように求める。

$$GPV(+) = \sum_{t=1}^5 \frac{\$4,740}{(1+0.0793)^t} + \$10,000 = \$28,960$$

対称的に@IRRを割引率として、資金調達キャッシュフローの現在価値に求め、それに初期投資金額を加えた粗現在価値マイナス (GPV(-)) を求める。

$$GPV(-) = \sum_{t=1}^5 \frac{-\$2,500}{(1+0.3789)^t} - \$10,000 = -\$15,274$$

フィナンシャル・リース案を実施する際の純効果は、これら、プラスの粗現在価値評価額とマイナスの粗現在価値評価額との合算値であるから、両者を加えた純限界現在価値 (Net Marginal Present Value, NMPV) が求める評価指標となる。

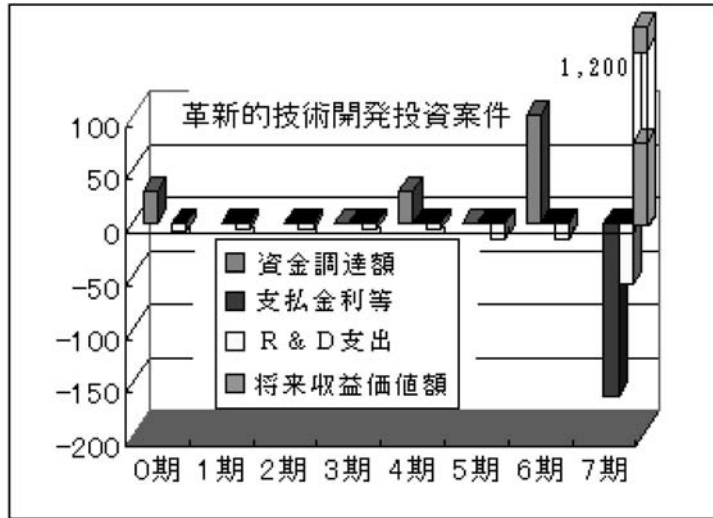
$$NMPV = GPV(+) + GPV(-) = \$28,960 - \$15,274 = \$13,686$$

本計算例においては、この純限界現在価値が、\$13,686というプラスの値をもつので、このフィナンシャル・リース案件は実施するに価するという結果を得ることになる (図表1も参照)。以上が、限界現在価値法によるフィナンシャル・リースの評価例である。

3. 知的財産権に関する研究・開発案件

さて、次に、最終的に産業用パーツに結実する可能性を持った革新的研究・開発を事例として取り上げてみよう。そして、その研究・開発の過程が、最終パーツという川下製品に向かって順に、「基礎研究：F」、「応用研究：A」、「事業化研究：B」の3段階に分類可能な研究・開発案件を想定することにしよう。評価期間は、全部で7年間とし、その内訳は、「基礎研究」に4年、「応用研究」に2年、「事業化研究」に1年とする。

投資スケジュールについては、各研究期間開始時において必要とされる資金額が、フェーズ順に、各々、30億ドル、30億ドル、100億ドルとし、必要資金額は、2%の金利での借入れによって調達されるものと仮定する。また、期中においての借入金に関する支払いは、専ら、借入金の利息支払いのみとし、評価最終期間の7年目の期末において、最終の金利支払い及び既往の借入金累積合計額を全額返済するものとする。全ての研究・開発期間で成功という成果が得られた暁には、投資計画最終年である7年目に1,200億ドルに上るキャッシュフロー・



図表2 知的財産権の研究・開発案件の数値例に基づくグラフ表現

リターンが期待されるものとした。その他、各期で必要とされる研究・開発費を仮定した(図表2を参照)⁽¹⁾。本数値事例の特徴は、研究・開発の途中期間において現金不足を生じさせないような資金計画がなされていることである。この点は、フィナンシャル・リースやプロジェクト・ファイナンスと同様であり、自己金融プロジェクトという性格を持たせてある。

以上の、研究・開発案件の数値例を用いて、まず、不確実性を全く考慮しない場合のインカム・アプローチによる評価額の算定を確認しておくことにしよう。ここで、指標に採るインカムには、支払い金利差引前・税引後利益にプラスするに支払い金利に附随する節税効果という収益フローをとることとする。また、当該研究・開発投資プロジェクトを評価するにあたっての割引率は45%、法人税率を36%としておく。

すると、通常の純現在価値法を適用した場合、下記の計算式で示されるように、\$40.58億の純現在価値となる。

次に、研究・開発の成功・不成功に関わる不確実性に関する確率情報を加味した上で、同

$$\begin{aligned}
 \$40.58\text{億} \leftarrow & \sum_{t=1}^4 \frac{-6.6}{(1+0.45)^t} + \sum_{t=5}^6 \frac{-16.2}{(1+0.45)^t} \\
 & + \frac{1200 - (978 - 16.2 - 16.2 - 6.6) \times (0.36) + 160 \times 0.02}{(1+0.45)^7} - 8
 \end{aligned}$$

様の評価額算定を行ってみる。後出の図表5において表記されている各研究・開発段階毎の成功確率を用いて、各段階における収益フロー純額の期待額を計算してゆくと、その純現在価値は、-\$7.711億となる。このように研究・開発に関する成功確率を考慮すれば、

図表4 コスト・アプローチを適用した場合の研究・開発案の評価額

	0期	1期	2期	3期	4期	5期	6期	7期
コスト・アプローチ	-8							
による評価	-\$255.63	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-16.2	-16.2	-222

このように、ハイ・リスク＝ハイ・リターン型の投資案件に不確実性を考慮した上で、通常の現在価値法を適用する場合、現在価値額がマイナス\$7.711億となったことに見られるように、判定評価は、そのハイ・リスク性故、一般に、「投資を実施すべきでない」ということになる。つまり、純現在価値法による通常の投資評価法では、ハイ・リスク＝ハイ・リターン型投資案件に固有の本質がうまく捉えられていないのである。知的財産権のように、その権利内容が画期的であればあるほど、その研究・開発過程で多大のリスクが伴う。そのため、評価視点に依存した多様な評価が可能になるような無形資産評価については、さまざまな工夫が必要とされると考える。そこで、評価資産の下方リスクを切離可能な金融オプション評価に倣い、リアル（実物）・オプション理論を用いた評価のアイデアが登場した（Lenos Trigeorgis [1996] 参照）。いま、「基礎研究」、「応用研究」、「事業化研究」の各段階における研究・開発の成功および失敗の確率に関して、既出の如く、川下段階に向かうにつれて、その成功確率が次第に高まることがわかっているものとしよう（図表5を参照）。

図表5 研究・開発段階別の成功と失敗に関する事前確率の例

	基礎研究:F	応用研究:A	事業家研究:B
成功確率:	20%:P(F)	36%:P(A)	62%:P(B)
失敗確率:	80%:P(-F)	64%:P(-A)	38%:P(-B)

図表5において、基礎研究の段階で成功という結果が出たとしよう。すると、その時、次段階における応用研究に進むとした場合、成功する確率は36%ではない。なぜなら、36%という確率は、基礎研究に着手する以前において入手できた応用研究・開発段階に関する確率であって、基礎研究において成功という成果を、既に手にした時の、応用研究・開発段階に関する成功確率ではないからである。この場合、応用研究・開発段階の成功に関する36%という事前確率を、基礎研究が成功するという事象を条件とした、応用研究・開発が成功する確率、すなわち、基礎研究成功という事象による条件付き応用研究・開発の成功確率（言わば、事後確率）に読み替える規則を提供してくれるのが、著名なベイズの公式である。

4. ベイズの公式 (Bayes' Formula)

ベイズの公式については、多くのベイズ統計学のテキストで詳説されている。よって、本稿では、以下の注において、その導出法と結果のみの言及に留めておくこととする⁽²⁾。

ベイズの公式を用いることにより、基礎研究・開発段階において成功であるという事象が得られた結果、次なる応用研究・開発が成功する条件付き確率を計算してみることにしよう。式で表現すると、

$$P(A|F) = \frac{P(F|A) \cdot P(A)}{P(F|A) \cdot P(A) + P(F|-A) \cdot P(-A)}$$

そして、この基礎研究・開発で成功することを条件とする応用研究・開発段階での成功確率は、以下に掲げる他の7つの条件付き確率とともに、同時に求められねばならない。

$$P(F|A), P(A|-F), P(-F|A), P(-A|F), P(F|-A), P(-A|-F), P(-F|-A)$$

求める条件付き確率は、Excel上のソルバー画面を利用して、一部、繰り返し計算により算出した結果、 $P(A|F) = 38.8788\%$ となった。但し、8元連立方程式体系の中には、確率数値に関して、通常、仮定される非負かつ1以下という条件の他、在り得る状態の和が1になるという制約条件を課している⁽³⁾。それらを挙げれば、

$$\begin{aligned} P(A|F) + P(-A|F) &= 1 \\ P(A|-F) + P(-A|-F) &= 1 \\ P(F|A) + P(-F|A) &= 1 \\ P(F|-A) + P(-F|-A) &= 1 \end{aligned}$$

となる。計算の結果、求められた8つの事後確率を、以下に示す。

$$\begin{aligned} P(A|F) &= 38.8788\% : P(-A|F) = 61.1212\% \\ P(A|-F) &= 35.2803\% : P(-A|-F) = 64.7197\% \\ P(F|A) &= 21.5993\% : P(-F|A) = 78.4007\% \\ P(F|-A) &= 19.1004\% : P(-F|-A) = 80.8996\% \end{aligned}$$

本計算における連立の仕方では、複数解は無さそうである。しかしながら、一般に、ベイズ公式による連立方程式体系には、初期条件および制約条件の組み合わせ如何により、複数の解が存在する場合もあり得よう。そのような場合には、統計学や工学で御馴染みの「けちの原理」と類似の原則を採用すればよいと考える。すなわち、事前確率と比較して、当該確率を上回りつつ、その事前確率に最も近い解を採ればよい。つまり、研究の結果、成功に関する事後確率は上昇するものの、その上昇幅を可能な限り内輪に見積もればよい。このよう

な悲観主義に立脚した確率予想の修正を、「控え目の原理」と名付けておこう。

さて、同じ様に考えて、最初の基礎研究・開発それに続く応用研究・開発がともに成功という結果を見た後、更に、事業化研究・開発が成功する確率は、どのように、計算すべきであろうか。理論式は、以下のようになる⁽⁴⁾。

$$P(B|A|F) = \frac{P(A|F|B) \cdot P(B)}{P(A|F|B) \cdot P(B) + P(A|F|-B) \cdot P(-B)}$$

他の15個の条件付き確率も、前段で議論したのと同様に、16本の方程式を連立することで解ける⁽⁵⁾。その際、既に求めた前出の8つの事後確率を計算に利用する。すると、求める16個の条件付き確率数値の結果は、以下の如くとなり、求めたい事後確率については、 $P(B|A|F) = 99.6000\%$ となった。

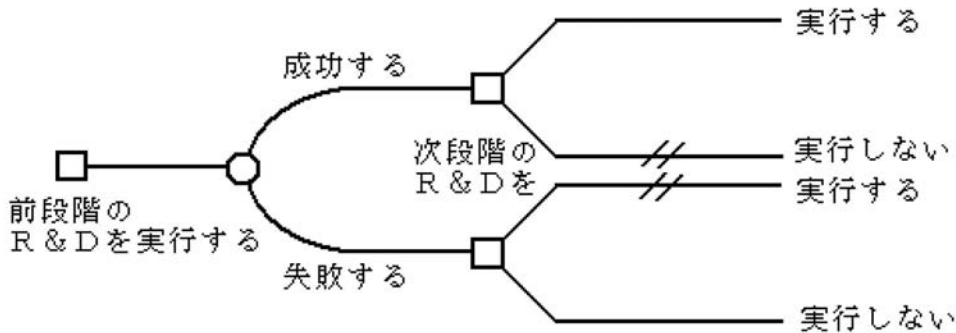
$$\begin{aligned} P(B|A|F) &= 99.6000\% : P(B|-A|F) = 81.0000\% \\ P(B|A|-F) &= 16.9989\% : P(B|-A|-F) = 46.0003\% \\ P(-B|A|F) &= 0.4000\% : P(-B|-A|F) = 19.0000\% \\ P(-B|A|-F) &= 83.0011\% : P(-B|-A|-F) = 53.9997\% \\ P(A|F|B) &= 31.2285\% : P(-A|F|B) = 39.9260\% \\ P(A|-F|B) &= 4.8365\% : P(-A|-F|B) = 24.0091\% \\ P(A|F|-B) &= 0.2046\% : P(-A|F|-B) = 15.2803\% \\ P(A|-F|-B) &= 38.5303\% : P(-A|-F|-B) = 45.9848\% \end{aligned}$$

ベイズ公式による連立方程式体系において、解が一意的に定まらない場合の問題に関しては、次節において、言及する。

5. リアル・オプション・アプローチによる知的財産権評価の実際

金融オプションの本質は、経済主体がコントロール不可能な市場状況に応じて、予め決めておいた選択枝を選択する権利（義務を伴わない）である。この考えを、実物資産への投資に応用すれば、「経営陣による経営判断の伸縮性」もしくは「経営戦略」を、資産価値額評価の中に含めることが可能になる。今までに挙げられた経営の伸縮性の中には、「拡張」、「縮小」、「廃棄」、「成長」、「延期」等々の選択についてのリアル・オプションがある。

本稿における研究・開発例においては、一つ前の段階における研究・開発作業が成功であれば、次段階の研究・開発プロセスに進むが、もし、成功せずに失敗であれば、次の研究・開発プロセスには進まない、という形でのオプション表現が可能になる。



図表6 研究・開発案件のオプション表現

図表6から明らかなように、前段階の研究・開発活動の成果が得られるか得られないかという状況に応じて、研究・開発活動の続行か否かを、未だ研究成果が判明していない現時点で先決めておくのである。成功する場合は、更に、研究・開発を続けるが、失敗する場合は、研究・開発活動を中止する。惧らくは、中途ながら、研究支援先を探すか、その研究成果が売却可能であれば、買主を探す行動に出るであろうし、そうでなければ、埋没費用化して当該R&D活動を閉じるということになるであろう。かかる状況依存的意思決定選択肢の選択こそが、言葉の正しい意味において、「戦略」なのである。つまり、戦略的財務意思決定の判断には、リアル・オプション理論が不可欠であるということが、意味される。

前節において、成功肢に関する事前確率を使って、既に算出しておいた純現在価値は、マイナス8.10億ドルという評価金額であった。プラスで妥当な評価額を算出できない根本的な理由は、実のところ、従来の現在価値法自体に固有の理論限界が関係している。その理由を端的に言えば、従来型の現在価値法においては、投資タイプのキャッシュフローか、資金調達タイプのキャッシュフローか、何れかの型のキャッシュフローのみにしか、分析が適用できないという純現在価値法の限界がある。実際には、研究・開発プロジェクトに必要な資金は、投資資金の使われ方が検討されると同時に、その調達方法も検討されているのである。すなわち、現実には、投資計画と資金調達計画とが対をなして企画・検討されているにもかかわらず、従来の現在価値による評価法を適用する時には、その対を無理矢理、分離した上で評価しなければならないのである。かかる理論上の不備を払拭すべく登場するのが、「限界現在価値法（The Marginal Present Value Method）」である⁽⁶⁾。

限界現在価値法では、一つの研究・開発案件の中で、まず、対象となるキャッシュフローを、事業からの収益フロー及び事業への純粋な支出フロー（投資（回収）キャッシュフロー）と、対応する資金調達ならびに、その返済に関わるキャッシュフロー（資金調達キャッシュフロー）とに分別した後、投資キャッシュフローの内部収益率と資金調達キャッシュフロー

シュフロー構成要素の数が多くなると、キャッシュフローの符号がプラスからマイナスへ、マイナスからプラスへと交替する可能性が増し、連れて、内部収益率もしくは最終利回りの解が複数となる。この場合、投資キャッシュフローにあっては、現在価値が正から負へと入れ替わる境界値のうち最小のものを、資金調達キャッシュフローにあっては、現在価値が負から正へと入れ替わる境界値のうち最小のものを選択すればよい。以上の諸要素を含んだ、より具体的な実際例に依拠し、流動性管理をも同時に考慮可能なモデルによる知的財産権の評価を、今後、試みてみたい。

割引率要素のうち、相対的に確実なものが固められれば、割引率要素の一つを未知数にして（例えば、内部収益率をとって）、プロジェクト全体の損益分岐点に対応した内部収益率を算定することができる。その損益分岐内部収益率と、実際に推定する研究・開発案件の予想収益率との大小比較により、R&D活動の開始、ないしは止め時を時々刻々判定してゆくことも可能であろう。

リアル・オプション理論として既述してきたように、実物資産への投資評価を、意思決定樹分析枠組みの中で扱う立場に対峙して、金融オプションの評価という点で定番となったブラック＝ショールズ（B&S）モデルによる評価を推す立場もある。元々、B&Sモデルは、シカゴ・オプション取引所の開設に併せ、取引所取引に適合するよう標準化された金融オプションの理論価格評価式として開発された経緯がある。従って、B&Sモデル成立の要件は、i) 24時間を通じた裁定取引機会の存在、ii) リスク中立確率の応用適合性、iii) 規準化されたオプションの性格付け、等である。これらの成立要件の当て嵌まり度合いが弱くなれば弱くなるほど、B&Sモデルによる評価額の現実妥当性が低まる。とりわけ、実物資産は、本来、資産ごとにユニークな存在であるから、規準化された標準品目という概念からは大分、距離がある。また、裁定が四六時中、働く取引所取引商品でもない。以上の事由により、筆者は、実物資産評価に、B&Sモデルを使用することには、十二分に、留意する必要があると考えている。

ベイズ公式を用いての確率計算において、解の一意性が成立しない可能性に関して、本数値例では、幸運にも、特別な考慮をする必要はなかった。しかしながら、研究・開発の進展に伴って、開発リスクが増大してゆくのか、それとも、減少してゆくのか、その向かう先についての解答を、ベイズ公式が自動的に出してくれるわけではない。そもそも、「失敗は成功の基」であって、先行する開発段階において失敗した方が、失敗の原因が明らかになることで、後続の研究における成功確率が上昇することになるのであろうか。あるいは、失敗の連続が研究・開発を出口の見えない迷路に導いてしまうのであろうか。反対に、成功の累積が、研究上の好回転を呼び込み、その結果、諸リスクが回避されて、益々、成功確率が高まることになるのであろうか。或いはまた、それまでの成功によって、後続研究・開発における成

功の隘路が一層狭まることとなる結果、リスクが益々高まるのであろうか。この種の判断は、先見的に決めることができないものの、一般的には、時間と努力と資金を研究・開発に投下すればただ、成功への方途は限定されてくると考えることができるから、その意味において、事後確率が事前確率より高まることは、自然な考え方ではなからうかと料する。より、実際的には、研究努力の結果としての成功確率が、研究の対象それ自体、研究の社会的タイミング、研究体制の在り様、研究成果の応用可能性、等々の数多くの要因に依存して決まるはずである。条件付き確率についての複数解を、洩らさず数え上げながら算出することは、専用のソフトウェアができれば、簡単なことになる。問題は、研究・開発段階毎に、研究の進捗に応じた後続のフェーズにおいて、失敗のリスクが高まるのか否かの定性的判断を如何に下すのか、である。その問題に答えるには、「基礎研究」、「応用研究」、「事業化研究」というような大括りの研究段階分けでなく、研究・開発内容をより細かに区分した段階毎で、研究・開発上の対象リスクを緻密に規定してゆくような、今よりも、よりミクロなフェーズ分類とより仔細なリスクの認識が必要とされよう。そのような作業は、知的資産評価やリスク評価に有効なだけでなく、研究・開発の進行そのものにもプラスのフィードバック効果を持つものとする。蓋し、研究段階が細分化されればされるほど、本稿における分析アプローチにおいては、求めるべき事後確率の数は、倍々で増してゆく。しかし、研究・開発の後段になればなるほど、知的財産権の価値評価に必要な連続成功の事後確率は、100%に漸近してゆくことが想定される。本数値例のような場合においては、実務上、研究・開発の4段階目における連続した成功の確率は、ほぼ、100%とにおいても近似値として相応しいと予想できる。事後確率の解に一意性が存在しない可能性は、成功・失敗の判断を、「ベイズの公式」に期待することができない、という冷徹なサイエンスの答えと受けとめるべきであろう。このテーマについては、今後の課題として、引き続き、考察を進めてゆきたい。

もう一つ指摘しておきたいことがある。世のリアル・オプション論者の中には、「リアル・オプション理論」と意思決定樹分析とは別物、との考えを抱かれる派が存在するようである。上述の展開からも明らかと思うが、筆者は、リアル・オプション理論は、意思決定樹分析のスペシャル・ケースと捉えている。それは、Lenos Trigeorgis [1996] によるリアル・オプション評価のアイデアが、現行、展開されている「リアル・オプション理論」よりも遥かに広く、コーポレート・ファイナンスや企業の理論を、根底から塗り替えさせるような深さを有していることから理解できると思われる。

（成蹊大学経済学部教授）

(脚注1) グラフの元となった数値例の数表を以下に掲げる。

(単位:億円)	0期	1期	2期	3期	4期	5期	6期	7期
成功確率:	20%				36%		62%	
資金調達額	30				30		100	
支払金利等		-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-1.2	-1.2	-163
R&D支出	-8	-6	-6	-6	-6	-15	-15	-59
収益将来価値額								1,200
総合収益フロー	22	-6.6	-6.6	-6.6	23.4	-16.2	83.8	978
期末現金残高	22	15.4	8.8	2.2	25.6	9.4	93.2	1,071

(脚注2) ベイズ公式 (Bayes' Formula) は、条件付き確率の定義式および全確率の公式から導出できる。確率事象 \tilde{X} が実現することを条件にしたときの確率事象 \tilde{Y} の条件付き確率 $P(\tilde{Y}|\tilde{X})$ は、以下のように表現される。

$$P(\tilde{Y}|\tilde{X}) \triangleq \frac{P(\tilde{Y}, \tilde{X})}{P(\tilde{X})} = \frac{P(\tilde{X}|\tilde{Y}) \cdot P(\tilde{Y})}{P(\tilde{X})}$$

上式において、最初の等号は定義式におけるそれであって、 \tilde{X} と \tilde{Y} の同時分布確率を定めてもいる。二番目の等号は、第一の等式関係を用いている。上式より、

$$\frac{P(\tilde{Y}|\tilde{X})}{P(\tilde{Y})} = \frac{P(\tilde{X}|\tilde{Y})}{P(\tilde{X})} \text{ あるいは } P(\tilde{Y}|\tilde{X}) = \frac{P(\tilde{X}|\tilde{Y})}{P(\tilde{X})} \cdot P(\tilde{Y})$$

後の方の式では、 \tilde{Y} の事前確率 $P(\tilde{Y})$ を、条件付き確率で修正して事後確率 $P(\tilde{Y}|\tilde{X})$ が求められることを示している。ここで、更に、全確率の公式

$$P(\tilde{X}) = P(\tilde{X}|\tilde{Y}) \cdot P(\tilde{Y}) + P(\tilde{X}|\neg\tilde{Y}) \cdot P(\neg\tilde{Y})$$

を、後方の式における右辺の分母に用いれば、以下のベイズの公式を得る。

$$P(\tilde{Y}|\tilde{X}) = \frac{P(\tilde{X}|\tilde{Y}) \cdot P(\tilde{Y})}{P(\tilde{X}|\tilde{Y}) \cdot P(\tilde{Y}) + P(\tilde{X}|\neg\tilde{Y}) \cdot P(\neg\tilde{Y})}$$

(脚注3) 8つの事後確率は、以下の8本の式を連立して解いた。

$$P(A|F) = \frac{P(F|A) \cdot P(A)}{P(F|A) \cdot P(A) + P(F|-A) \cdot P(-A)}$$

$$P(-A|-F) = \frac{P(-F|-A) \cdot P(-A)}{P(-F|-A) \cdot P(-A) + P(-F|A) \cdot P(A)}$$

$$P(F|-A) = \frac{P(-A|F) \cdot P(F)}{P(-A|F) \cdot P(F) + P(-A|-F) \cdot P(-F)}$$

$$P(-F|A) = \frac{P(A|-F) \cdot P(-F)}{P(A|-F) \cdot P(-F) + P(A|F) \cdot P(F)}$$

$$P(-A|F) = 1 - P(A|F)$$

$$P(A|-F) = 1 - P(-A|-F)$$

$$P(-F|-A) = 1 - P(F|-A)$$

$$P(F|A) = 1 - P(-F|A)$$

すべての事後確率の数値は、非負かつ1以下であること。

また、Excelのソルバー画面を使つての繰り返し計算結果の表を、以下に示す。

	A	B	C	D	E	F	G
1	ベイズR&D						
2	基礎から	応用へ		P(F A)=	21.5993%	=E2*0.36/(E2*0.36+E4*0.64)	
3		P(A F)=	38.8788%		38.8788%		
4				P(F -A)=	19.1004%		
5							
6				P(-F -A)=	80.8996%	=E6*0.64/(E6*0.64+E8*0.36)	
7		P(-A -F)=	64.7197%		64.7197%		
8				P(-F A)=	78.4007%		
9		P(-A F)=	61.1212%				
10		P(A -F)=	35.2803%				
11				P(-A F)=	61.1212%	=E11*0.2/(E11*0.2+E13*0.8)	
12		P(F -A)=	19.1004%		19.1004%		
13				P(-A -F)=	64.7197%		
14							
15				P(A -F)=	35.2803%	=E15*0.8/(E15*0.8+E17*0.2)	
16		P(-F A)=	78.4007%		78.4007%		
17				P(A F)=	38.8788%		
18		P(-F -A)=	80.8996%				
19		P(F A)=	21.5993%				

(脚注4) 本文におけるベイズ公式と代替的なベイズ公式の展開型として、

$$P(B|A,F) = \frac{P(A,F|B) \cdot P(B)}{P(A,F|B) \cdot P(B) + P(A,F|-B) \cdot P(-B)}$$

$$= \frac{P(A|B) \cdot P(F|B) \cdot P(B)}{P(A|B) \cdot P(F|B) \cdot P(B) + P(A|-B) \cdot P(F|-B) \cdot P(-B)}$$

も考えられるが、この算式が、同時分布確率を用いることで、研究開発段階における時間軸上の順序を全く度外視している点に鑑みて、本文で言及しているベイズ公式展開の方が、本事例の評価額算出にあたっては、より適切であると判断した。

(脚注5) 以下に掲げる16の方程式を連立して、ソルバーの画面を利用した繰り返し計算により算出した。

$$P(B \| A|F) = \frac{P(A|F \| B) P(B)}{P(A|F \| B) P(B) + P(A|F \| -B) P(-B)}$$

$$P(-B \| -A|-F) = \frac{P(-A|-F \| -B) P(-B)}{P(-A|-F \| -B) P(-B) + P(-A|-F \| B) P(B)}$$

$$P(B \| -A|F) = \frac{P(-A|F \| B) P(B)}{P(-A|F \| B) P(B) + P(-A|F \| -B) P(-B)}$$

$$P(-B \| A|-F) = \frac{P(A|-F \| -B) P(-B)}{P(A|-F \| -B) P(-B) + P(A|-F \| B) P(B)}$$

$$P(-B \| A|F) + P(B \| A|F) = 1$$

$$P(B \| -A|-F) + P(-B \| -A|-F) = 1$$

$$P(-B \| -A|F) + P(B \| -A|F) = 1$$

$$P(B \| A|-F) + P(-B \| A|-F) = 1$$

以下も連立方程式の続きである。

$$P(A|F|B) = \frac{P(B||A|F)P(A|F)}{P(B||A|F)P(A|F) + P(B||-A|F)P(-A|F) + P(B||A|-F)P(A|-F) + P(B||-A|-F)P(-A|-F)}$$

$$P(-A|-F|B) = \frac{P(B||-A|-F)P(-A|-F)}{P(B||-A|-F)P(-A|-F) + P(B||-A|F)P(-A|F) + P(B||A|-F)P(A|-F) + P(B||A|F)P(A|F)}$$

$$P(-A|F|B) = \frac{P(B||-A|F)P(-A|F)}{P(B||-A|F)P(-A|F) + P(B||A|F)P(A|F) + P(B||A|-F)P(A|-F) + P(B||-A|-F)P(-A|-F)}$$

$$P(A|F|-B) = \frac{P(-B||A|F)P(A|F)}{P(-B||A|F)P(A|F) + P(-B||-A|F)P(-A|F) + P(-B||A|-F)P(A|-F) + P(-B||-A|-F)P(-A|-F)}$$

$$P(-A|-F|-B) = \frac{P(-B||-A|-F)P(-A|-F)}{P(-B||-A|-F)P(-A|-F) + P(-B||A|F)P(A|F) + P(-B||A|-F)P(A|-F) + P(-B||-A|F)P(-A|F)}$$

$$P(-A|F|-B) = \frac{P(-B||-A|F)P(-A|F)}{P(-B||-A|F)P(-A|F) + P(-B||A|F)P(A|F) + P(-B||A|-F)P(A|-F) + P(-B||-A|-F)P(-A|-F)}$$

$$P(A|-F|B) = 1 - P(A|F|B) - P(-A|-F|B) - P(-A|F|B)$$

$$P(A|-F|-B) = 1 - P(A|F|-B) - P(-A|-F|-B) - P(-A|F|-B)$$

	A	B	C	D	E	F
1	ベイズR&D					
2	基礎から	事業化へ		P(A F B)=	31.2285%	=E2*0.62/(E2*0.62+E4*0.38)
3		P(B A F)=	99.6000%		99.6000%	
4				P(A F -B)=	0.2046%	
5						=E6*0.38/(E6*0.38+E8*0.62)
6				P(-A -F -B)=	45.9848%	
7		P(-B -A -F)=	53.9997%		53.9997%	
8				P(-A -F B)=	24.0091%	=E10*0.62/(E10*0.62+E12*0.38)
9						
10				P(-A F B)=	39.9260%	=E14*0.38/(E14*0.38+E16*0.62)
11		P(B -A F)=	81.0000%		81.0000%	
12				P(-A F -B)=	15.2803%	
13						
14				P(A -F -B)=	38.5303%	=(E\$23*0.388788)/(E\$23*0.388788+E\$25*0.611212+E\$27*0.352803+E\$29*0.647197)
15		P(-B A -F)=	83.0011%		83.0011%	
16				P(A -F B)=	4.8365%	
17						
18	1>=	P(-B A F)=	0.4000%	>=0		=(E\$29*0.647197)/(E\$23*0.388788+E\$25*0.611212+E\$27*0.352803+E\$29*0.647197)
19	1>=	P(-B -A -F)=	46.0003%	>=0		
20	1>=	P(-B -A F)=	19.0000%	>=0		
21	1>=	P(-B A -F)=	16.9989%	>=0		

C3		99.6%				
	A	B	C	D	E	F
22						
23				P(B A F)=	99.6000%	
24		P(A F B)=	31.2285%		31.2285%	$= (\$E\$25 * 0.611212) / (\$E\$23 * 0.388788 + \$E\$25 * 0.611212 + \$E\$27 * 0.352803 + \$E\$29 * 0.647197)$
25				P(B -A F)=	81.0000%	
26		P(-A F B)=	24.0091%		24.0091%	
27				P(B A -F)=	16.9989%	
28		P(-A F B)=	39.9260%		39.9260%	$= (\$E\$31 * 0.388788) / (\$E\$31 * 0.388788 + \$E\$33 * 0.611212 + \$E\$35 * 0.352803 + \$E\$37 * 0.647197)$
29				P(B -A -F)=	46.0003%	
30		P(A F -B)=	0.2046%		0.2046%	
31				P(-B A F)=	0.4000%	
32		P(-A F -B)=	45.9848%		45.9848%	$= (\$E\$37 * 0.647197) / (\$E\$31 * 0.388788 + \$E\$33 * 0.611212 + \$E\$35 * 0.352803 + \$E\$37 * 0.647197)$
33				P(-B -A F)=	19.0000%	
34		P(-A F -B)=	15.2803%		15.2803%	
35				P(-B A -F)=	83.0011%	
36						
37				P(-B -A -F)=	53.9997%	$= (\$E\$33 * 0.611212) / (\$E\$31 * 0.388788 + \$E\$33 * 0.611212 + \$E\$35 * 0.352803 + \$E\$37 * 0.647197)$
38						
39		P(A -F -B)=	38.5303%			
40		P(A -F B)=	4.8365%			

(脚注6) 限界現在価値法については、参考文献中、太田康信 [2008] を参照のこと。

【参考文献】

太田康信 [2008] 『Excelで学ぶ企業ファイナンス』, オーム社。

古賀智敏・榊原茂樹・與三野禎倫 (編著) [2007] 『知的資産ファイナンスの探求 - 知的資産情報と投資・融資意思決定のメカニズム - 』, 中央経済社。

寒河江孝允 [2007 (第2版)] 『知的財産権の知識』, 日本経済新聞出版社。

津田博史・中妻照雄・山田雄二 (編) [2008] 『非流動性資産の価格付けとリアルオプション』, 朝倉書店。

Lenos Trigeorgis [1996] *Real Options - Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press.

William T. Moore [2001] *Real Options and Option-Embedded Securities*, John Wiley & Sons, Inc. (加藤敦 訳 [2003] 『リアルオプションと金融デリバティブ』, エコノミスト社)