



リアル・オプションと特許権の評価

榊原, 茂樹

(Citation)

国民経済雑誌, 188(5):1-14

(Issue Date)

2003-11

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00055887>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00055887>



リアル・オプションと特許権の評価

榊 原 茂 樹

本稿は、投資プロジェクトの採否に関して最高経営者が下す戦略的・政策的判断を概念化・数量化して従来の正味現在価値法を拡張したリアルオプション・アプローチの基本的考え方を、正味現在価値法の従来の適用法と比較しながら明らかにした後、リアル・オプション法を使って特許権の価値を評価する方法を説明する。その際、特許権が配当を支払う株式に関するアメリカン・コール・オプションに相当するけれども、特許権の評価に当たっては、配当を支払う株式に関するヨーロピアン・コール・オプション評価モデルの使用が、より便利であることを主張している。

キーワード リアル・オプション, 特許権, 配当調整型ブラック＝ショールズ・オプション評価モデル, 延期オプション

I 序

今われわれは身の回りでさまざまなオプションの利用例を見聞きする。例えば、ドル建ての売上債権を持つアメリカへの輸出メーカーが、社内レートを越えて円高が進行しそうだと判断したときには、あらかじめ決められたレートでドルを売ることができる通貨オプションを買っておく、株価を高めた経営者が自社株のストック・オプションの権利を行使して莫大なキャピタルゲインを得た、ベンチャービジネスの経営者が優秀な従業員を集めるために将来会社が株式を上場すれば大きなキャピタルゲインを得られる可能性を持つ自社株購入権利である従業員ストック・オプションを与えた、などである。

今述べたオプションは、いずれも、オプションの権利を行使して売買する対象（これを原資産という）がドル建て債権や株式といった金融資産であることから、金融オプション（financial option）と呼ばれる。これに対して、今注目されているリアル・オプション（real option）は、金融資産以外の資産を売買できる権利をいい、経営者の意思決定の柔軟性（flexibility）や戦略的考慮（strategic consideration）を表現する言葉として用いられている。

例えば、或る事業法人が、株式の純投資としてはペイしないが、他の会社の株式を保有することが良く行われている。これは、経営財務論の言葉で言えば、正味現在価値法（NPV法）を適用すれば負のNPVではあるが棄却せずに、経営者が何らかの戦略的判断をして証券投資にゴーサインを出した、と解釈される。この戦略的判断は、他社の株主になることがその

会社との将来の営業の拡大につながって自社の利益を増大させるチャンスを買った、すなわち、正にビジネスチャンスの拡大に着手する権利に当たるコール・オプションを買ったことに相当する。

したがって、投資プロジェクトの採否の評価におけるリアル・オプション法は、NPV法のこれまでの使用法（以下単に、「伝統的 NPV法」と呼ぶ）では明示的に織り込まれない経営者の戦略的考慮、経営者が当該プロジェクトの実施によって手に入れた将来の経営上の柔軟性といった曖昧な部分を概念化し数量的にその価値を測定することによって、投資プロジェクトの評価に組み込むことをいう。

このように考えると、ビジネスの世界のいたるところにリアル・オプションが存在する (Real options are everywhere)。製薬会社の多額の研究開発投資、天然資源産業における試掘権の購入、大会社が考える新興ベンチャー企業との提携プロジェクト、将来の他の製品の生産への転用可能性を考えての今の製品の生産設備の建設プロジェクト、特許権の取得などは、将来何かを買ったり売ったりする権利・柔軟性を内包しているプロジェクトと考えられる。投資機会はリアル・オプションの集合体だといわれるゆえんである。

本稿の目的は、投資プロジェクトや資産評価へのリアル・オプション法の考え方を整理した後、特許権の価値を算定する方法を検討することにある。

II 戦略的投資プロジェクトへのリアル・オプション法

リアル・オプションの文献では、財務担当役員 (CFO) は伝統的 DCF 方を使って投資プロジェクトから生み出される直接的キャッシュフローを評価するのに対して、最高経営者 (CEO) はそのプロジェクトが内包する経営上の柔軟性 (managerial flexibility)、活動上の柔軟性 (operating flexibility)、戦略的考慮 (strategic consideration) をより重視する、とよく指摘されている。財務の世界は実際の世界とは違う (Financial world is not a real world) と強調されるのである。¹

リアル・オプション分析の最初のステップは、さまざまな戦略的投資プロジェクトの中の「オプション的特性」を見つけ出すことである。すなわち implicit option あるいは option embedded を抽出することである。

II.1. 伝統的 DCF 法と「双子の証券法」

本節では、リアル・オプション法の特徴を浮き彫りにするために、伝統的 DCF 法の限界の説明から始めよう。

II.1.1 伝統的 DCF 法

簡単化のために一期間モデルを考える。現在の投資額 ($I_0=104$) は、次期に景気が上昇 (u) すれば 180 ($V_u=180$) となり、景気が下降 (d) すれば 60 ($V_d=60$) になると予想されている。ここで、上昇確率は0.5で、下降確率は0.5とする。

伝統的 DCF 法によると、この投資プロジェクトの粗現在価値 (V_0, GPV) は、次の通りである。

$$V_0 = (0.5 \times 180 + 0.5 \times 60) / (1 + \text{リスク調整割引率})$$

問題はこの投資プロジェクトのリスク・プロファイルに適したリスク調整割引率 (risk adjusted discount rate) をどの様に求めるかである。一つの方法が、証券市場で取引されている双子の証券 (投資プロジェクトのキャッシュフローと同じ動きをし (相関係数が1.0の、もしくははきわめて高い)、市場で取引されている証券 traded twin security) を利用する方法である (以下、「双子の証券法」と呼ぶ)。

今景気が上昇すれば市場価値が 36 ($P_u=36$) となり、下降すれば 12 ($P_d=12$) となると予想されている証券が現在20で売られている ($P_0=20$) とする (P_0 以外の数字は投資プロジェクトの 1/5 である)。このとき、この証券に対して投資家が要求している投資収益率は、次式、

$$20 = (0.5 \times 36 + 0.5 \times 12) / (1 + k)$$

を満たす割引率 (k) として計算されるので、 $k=0.2$ (20%) となる。

このリスク調整割引率を使うと、前述の投資プロジェクトの粗現在価値 (GPV) は、

$$V_0 = (0.5 \times 180 + 0.5 \times 60) / (1 + 0.2) = 100$$

となり、正味現在価値 (NPV) は、

$$NPV_0 = V_0 - I_0 = 100 - 104 = -4$$

と、負の値を取るのので、このプロジェクトは棄却される。

II.1.2 オプション付き投資プロジェクトの評価への伝統的 NPV 法

ここで、この投資プロジェクトの実施を一年間延期できる経営上の柔軟性を経営者が持っている想定すると、この投資プロジェクトの採否はどう変わるだろうか。一年後二つの経済状態のうちどちらか一方が生起すると判明 (新しい情報の入手) した後に採否を決定できる柔軟性を備えたこのプロジェクトの正味現在価値はいくらか、という問題である。ただし、延期により必要投資額は金利 (8%と仮定) ぶんだけ増加し、 $I_1 = 104 \times (1 + 0.08) = 112.32$ になると仮定する。

一年後に景気が上昇したと判明したとき、この投資プロジェクトの次期の正味現在価値 (NPV_1) は、 $NPV_u = 180 - 112.32 = 67.68$ となるので、この時点で投資の実行が決定される。他方、一年後に景気が下降したと判明したとき、この投資プロジェクトの次期の正味現在価値 (NPV_1) は、 $NPV_d = 60 - 112.32 = -52.32$ となるので、この時点で投資プロジェク

トの棄却が決定される。したがって、投資プロジェクトの価値はゼロである。

次期の67.68と0という二つの価値は、オプション的表現を使うと、

$$NPV_1^u = \text{Max} [V_1^u - I_1, 0] = \text{Max} [180 - 112.32, 0] = 67.68$$

$$NPV_1^d = \text{Max} [V_1^d - I_1, 0] = \text{Max} [60 - 112.32, 0] = 0$$

と計算される。ここで、 $\text{Max} [a, b]$ は a と b の大きいほうの数字を取ることを意味する。

上述のオプション的表現から明らかとなるように、投資プロジェクトの実施を延期できる柔軟性は、コール・オプションに他ならない。延期オプション (option to defer) は、一年後に投資プロジェクトを実行する権利を経営者に与えるが、実行しなければならない義務を与えるものではない。

以上から、延期オプション(経営の柔軟性)の現時点の正味現在価値は、

$$NPV_0 = (0.5 \times 67.68 + 0.5 \times 0) / (1 + 0.20) = 27.78$$

とプラスの値をとる。したがって、延期オプションを含む投資プロジェクトの現時点の正味現在価値は、

$$NPV_0 = -4 + 27.78 > 0.0$$

となるので、現時点では棄却しない、と結論される。

この事例から、伝統的 DCF 法は、NPV に基づいてプロジェクトの採否を今日直ちに決定しなければならないことを、暗黙的に仮定していることがわかる。プロジェクトを延期すればライバル企業が先に参入し市場を支配する厳しい競争的企業環境のもとでは、伝統的 DCF 法は有効だろう。延期オプション付き投資プロジェクトの採否の決定分析をゲーム論の枠組みで行う研究は、有望な分野である。

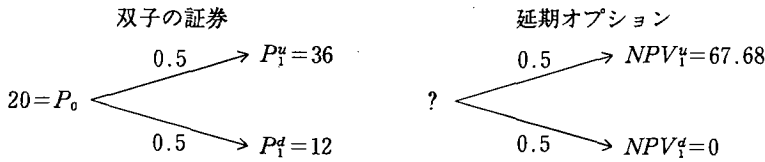
II.2. オプションつき投資プロジェクトの評価へのリアル・オプション法

では、上述の延期オプションの現在価値を計算するときに用いた20%という割引率は適切なものだろうか。言い換えれば、双子の証券と延期オプションとは、同じリスク・プロファイルだろうか。延期オプションは、一年後に経済環境が良ければ投資プロジェクトを実行する権利を経営者に与えるが、実行しなければならない義務を与えない。

II.2.1. 延期オプションの価値の算定

延期オプション(経営の柔軟性)を評価する方法として、条件付請求権分析 (Contingent-Claim Analysis) とリスク中立確率アプローチ (Risk-Neutral Probability Approach) がある。

図 1



A. 条件付請求権分析法

図 1 は、双子の証券と延期オプションの、二時点にわたる価値の流れを示したものである。数字の内容は上で述べた通りである。双子の証券 N 枚と借金額 B を $t=0$ の時点で組み合わせて、 $t=1$ の時点で経済状態が良くなれば 67.68、悪くなればゼロの価値をもたらすポートフォリオを考える。すなわち、

$$36 \times N - (1 + 0.08) \times B = 67.68$$

$$12 \times N - (1 + 0.08) \times B = 0$$

を同時に満たすポートフォリオである。ここで金利は、これまでと同じ様に、8%と仮定している。上式を解くと、

$$N = 2.82 \text{ 枚}, B = 31.33$$

を得る。

したがって、来期に経済状態が良くなれば投資を実行し、悪くなれば実行しないという延期オプション（経営の柔軟性）の $t=0$ 時点の現在価値は、

$$NPV_0 = N \times P_0 - B = 2.82 \times 20 - 31.33 = 25.07$$

となって、先の 27.78 とは異なる。

延期オプションの正しい現在価値が 25.07 であることから、延期オプションのキャッシュフローに適用される適切なリスク調整済み割引率 (k) は、

$$25.07 = (0.5 \times 67.68 + 0.5 \times 0) / (1 + k)$$

を満たす k であり、上式を解くと、 $k = 0.3498$ (34.98%) を得る。この 34.98% は、双子の証券のキャッシュフローに適用される割引率とは異なっている。

以上より、オプション付き投資プロジェクトの正味現在価値は、

オプション付き投資プロジェクトの正味現在価値

$$= -4 + 25.07 > 0$$

となり、伝統的 DCF 法の場合のように、直ちに却下することにはならない。

B. リスク中立確率アプローチ

リスク中立確率アプローチは、リスク証券からの投資収益率を無リスク利子率に等しくさせる確率（のようなもの）をリスク中立確率と呼び、このリスク中立確率を使って将来

の不確実なキャッシュフローの期待値（のようなもの）を算出し、この期待値をリスク・フリー・レートで割り引いた現在価値として、リスク資産の価値を求める方法である。

これまでの設例で言えば、次式を満たす θ がリスク中立確率である。

$$20 = \{36 \times \theta + 12(1 - \theta)\} / (1 + \text{無リスク利子率})$$

ここで無リスク利子率 = 8% と置いて、上式を解くと、

$$\text{リスク中立確率}(\theta) = 0.4$$

を得る。この0.4は、状態の生起確率 (=0.5) とは異なる。

このリスク中立確率を使って延期オプションの現在価値を求めると、

$$NPV_0 = \{67.68 \times 0.4 + 0 \times (1 - 0.4)\} / (1 + 0.08) = 25.07$$

となり、条件付請求権分析法の場合と同じ値を導く。

なお、リスク中立確率を求める公式は、現在の設例においては、

$$\theta = \{20(1 + 0.08) - 12\} / \{36 - 12\}$$

であったことから、一般的には、

$$\theta = \{(1 + r)P_0 - dP_0\} / (uP_0 - dP_0)$$

となる。ここで、 r は無リスク利子率、 u は (1 + 価格上昇率)、 d は (1 マイナス価格下落率)、 P_0 は証券の現在の価格である。

II.3. 伝統的 NPV 法 対 リアル・オプション法

以上から明らかなように、経営上の柔軟性を内包する投資プロジェクトの価値は、

オプション付きプロジェクトの価値 = 伝統的 NPV + 柔軟性の価値

あるいは、

拡張された(戦略的) NPV = 静的(受動的) NPV + 柔軟性の価値

といった公式でより良く表現される。

現在の設例では、

$$\text{延期オプション付き投資プロジェクトの価値} = -4 + 25.07 > 0$$

となって、伝統的 DCF 法によれば直ちに却下されたこのプロジェクトも、そこに延期オプションが内在していることに着目して、直ちには却下されない。

伝統的 DCF 法が今投資プロジェクトを実行するか却下するかを決定する静学分析であるのに対して、リアルオプション法は、新情報の到着に基づき経営者が判断を行使する可能性を考慮した動学分析であるといわれる。しかし、プロジェクトの採否の判断に当たり、企業がライバルに対して特別な優位性を持たない競争的環境下では、延期オプションは重要にならないオプションである。表1は投資プロジェクトの評価に関する伝統的 DCF 法の観点とリアル・オプション法の観点を比較対照したものである。

表1 従来の財務の観点 vs. オプションの観点

伝統的 DCF 法の観点	リアル・オプションの観点
不確実性を投資の価値を減らすリスクとみなす	不確実性を価値を高める機会とみなす
将来の情報に対して限られた価値しか認めない	将来の情報を高く評価する
有形の収入とコストしか認識しない	柔軟性やその他の無形のものを認識する
明確に定義された意思決定の道筋を仮定する	将来の情報やマネジメントの裁量により決定される道筋を認識する

出所：Day, Schoemaker, and Gunther (2000), 表10-1。

II.4. 戦略的判断とリアル・オプション法

財務担当役員（CFO）が伝統的 NPV 法に基づいて却下したプロジェクトを、最高経営者（CEO）が戦略的判断を下して実施のゴーサインを出すことが起こりうる。しかし、リアル・オプション法は経営者の政策的判断そのものではない。リアル・オプション法は、経営者の単なる直感的判断と異なり、経営者の戦略的・政策的判断を概念化し（conceptualize）数量化する（quantify）手法である。この経営者の高度な判断部分を数量化するために実務家にとって高度で難解に見える金融オプションの評価理論を使うことの煩わしさが、リアル・オプション法の実務への導入を遅らせた、と言われている。

リアルオプション法は伝統的 DCF 法に代わる新しい思考方法（a new way of thinking）だとその支持者によって強調されるが、リアル・オプション法に対してよく行われる質問を紹介しよう。一つは、経営におけるフレキシビリティのオプション価値は常にプラスの値を取るのではないか、そうだとすれば、リアル・オプション法の適用は、本来なら実施すべきでないプロジェクトの実施を正当化しようとする試みにすぎないのではないか、という質問である。二つ目は、リアル・オプション法の適用で評価の結果が大きく変わるのはどのような場合か、である。

この一つ目の質問に対して Copeland, T., & V. Antikarov (2001) は、(i) 柔軟性の価値を考慮しないために伝統的 NPV 法は常にプロジェクトを過小評価していることを認識すべきである、(ii) 柔軟性の価値は常にプラスであるが、柔軟性を得るために支払う対価が柔軟性の価値そのものを上回ることが多い、と答えている。

第二の質問に対して Copeland, T., T. Koller, J. Murrin (2000) は、(i) 将来の不確実性が高く新しい情報が入ってくる可能性が高いほど、経営の柔軟性は高い価値を持つ、(ii) 新しい情報が入ってきた場合に経営者が新しいアクションを取れる余地が大きいほど経営の柔軟性の価値は大きくなる、(iii) 柔軟性を考慮しない場合の NPV がゼロに近いほど、経営の柔軟性の価値は高くなる、と述べている。(iii) の指摘は、金融オプションの時間価値はそのオ

プションがアット・ザ・マネーの状態のときに最大値を取る，ということに通じている。

III リアル・オプション法の適用例——特許権の評価

リアル・オプションにもさまざまな種類がある。延期オプション (option to defer)，拡張オプション (option to expand, growth option)，縮小オプション (option to contract)，廃棄オプション (option to abandon for salvage value)，転用オプション (switching option)，複合オプション (compound option) などである。本節では、延期オプションの一つの重要な例として特許権を取り上げ、その価値を算定する方法を検討しよう。

III.1. 延期オプションとしての特許権の評価の基本的考え方

延期オプションの分析は、新投資の実施を遅らせても損失が発生しない（例えば、ライバル企業の先行参入がない）ケースに適用可能であり、企業は最適な投資タイミングを計ることが出来る。特許権の評価、ライセンス契約の評価がその典型例である。

A. アメリカン・コール・オプションとしての特許権

特許権は、その特許権の保有企業に、その特許を使って独占的に新製品を生産し市場で販売する権利を与えるコール・オプションに相当する。その権利は、特許法で保護されている期間中なら、いつでも行使できるので、アメリカ型である。

配当を支払わない株式に関するアメリカン・コール・オプションは決して満期前に権利行使されることはなく (no early exercise)，現金化したければオプションそのものを転売したほうがベイすることは、「驚くべき結果」としてよく知られている。この驚くべき結果を特許権の評価に当てはめれば、特許権の行使を期限切れまで持つか、特許権を自社では使わずに他社に途中で売却するという特許戦略になり、部分的に非現実的である。

ところで、株式には、配当が支払われると株式の価値が直ちに下落する配当落ちという現象が見られるが、特許権にもこの配当落ちと同様の現象が発生していると思えるべきである。既存の特許権は、研究開発にしのぎを削るライバル企業が別の技術で同等の製品を作るリスクにさらされており、時間の経過と共にその価値を減価させていると考えるべきである。したがって、特許権の価値を評価するためには、原資産が配当を支払うアメリカン・コール・オプションの評価モデルの適用が先ず考えられる。

B. アメリカン・コール・オプションの評価モデル

配当を支払う原株に関するアメリカン・コール・オプションの価値を導びく一般的で正確な解法は存在しない (Kolb (2000), p. 464, p. 473)。したがって本稿では、近似法と、特

殊なケースの下で正確な解を導びくモデルを吟味する。

B. 1. 配当が複数回支払われるときに最も可能性の高い早期権利行使日はいつか

オプションの権利消滅日までに原株が複数回に亘って配当を支払うとき、アメリカン・コール・オプションが満期前に権利行使される可能性があるのは、配当の権利落ち直前の日（例えば $t=i$ ）に限られ、しかも、実際に権利行使されるかどうかは、配当落ち日のコールオプションの価値（権利行使せずに保有し続けたときの富）と、配当落ち直前の日に権利行使して手に入れる価値との大小関係によって決まる。この大小関係は、受け取り配当額（ D_i ）が、権利行使価格（ K ）相当金額を（権利行使せずに）無リスク利率で次の配当権利落ち日（ $t=i+1$ ）まで運用したときの受け取り金利の $t=i$ 時点の現在価値よりも大きいかどうかに依存して決まる。受け取り配当額のほうが受け取り金利よりも大きければ満期前に権利行使され、小であれば権利行使されない。すなわち、

$$D_i > K(1 - e^{-r(i+1-t)}) \Rightarrow \text{満期前に権利行使する} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$D_i < K(1 - e^{-r(i+1-t)}) \Rightarrow \text{満期前に権利行使しない} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ということになる（Hull, J. C. (2003), pp. 254-55）。

一般に、配当利回りが金利よりも低くなる利回り革命が常態化している米国では、(1)式が成立することは考えにくい。配当を支払う株式に関するアメリカン・コール・オプションの満期前権利行使の可能性が最も高いのは、権利行使によって放棄するオプションのタイム・プレミアムが小さくなる満期日に最も近い最後の配当権利落ち直前日で、且つ、配当金が大きく(1)式が成立する場合である。²

B. 2. Black の擬似アメリカン・モデル（近似法）

配当を支払う株式に関するアメリカン・コール・オプションの評価モデルとしては、Black (1975) の擬似アメリカン・モデル（pseudo-American model, 近似法）と、Roll (1977)-Geske (1979)-Whaley (1981)（以下、RGW と略記）のより精巧なモデルが有名である。早期権利行使は配当落ち日直前についてのみ最適となるので、われわれはアメリカン・コール・オプションを、各配当落ち日直前の日と契約上の満期日にそれぞれ権利が消滅する一連のヨーロピアン・コール・オプションのポートフォリオと考えることができる。そして、これらの複数のヨーロピアン・オプションの初期時点（ $t=0$ ）の価値を算出し、その中の最大値をアメリカン・コール・オプションの価値と考える近似法が成り立ちうる。

Black (1975) は、アメリカン・オプションの権利行使が行われる可能性があるのは満期日と満期日に最も近い最後の配当落ち日の直前日の二つの時点であることから、この二つの時点を権利削減日として配当を支払う株式に関するヨーロピアン・コール・オプションの価値を、配当調整型 Black-Scholes モデルを使って計算し、その大きいほうの値をアメリカン・コール・オプションの価値の推定値としている。³ この近似法はたいていのケー

スでうまく機能するようである (Hull (2003), 第12章)。

B.3. RGW 法

有配株を原資産とするアメリカン・コール・オプションの価値を与えるクローズドな解法は一般に存在しないといわれている。しかし、ある一つの特種なケースにおいては、正確な価格式が成立しうる。RGW は満期までに配当が一回だけ支払われるという特種な仮定の下で、より精巧なアメリカン・コール・オプションの価格式を導出している。すなわち、投資家は配当落ち日 (t) 直前で早期権利行使すれば、配当権利付き株価 (S_t^e) と権利行使価格 (K) の差額に等しい利益を手に入れ、早期権利行使しなければ、配当落ち株価 (S_t^e) に基づいて成立するアメリカン・コール・オプションの価値 (このオプションは、事実上、配当支払いの無い株式に関する契約上の満期日を権利消滅日とするヨーロッパ型になってしまう) を手に入れる。しかも、この配当落ち日のアメリカン・オプションの価値は、それが満期日の株価に依存して決まることから、結局は満期日に様々な状況の下で成立するペイオフとそれが生起する確率の関数となる (Kolb (2000), p. 466)。

RGW はこの t 時点の2つの可能な値 ($S_t^e - K$ と $C[S_t^e, T-t, K]$) を、リスク中立法で現在の時点のコールの価値へと変換したのである (Jarrow & Turnbull (1996), pp. 260-61)。

オプションの権利消滅日までに配当が複数回支払われる場合でも、上で述べたように最後の配当落ち日の直前でのみ満期前権利行使の可能性が発生することから、最後の配当支払日までに支払われた配当金の現在価値を現在の株価から控除した修正株価を使うと、RGW 法でもアメリカン・コール・オプションの価値を求めることが出来る。

B.4. 本稿で特許権の評価に利用するモデル

特許権が配当を支払う株式を原資産とするアメリカン・コール・オプションに相当するとして、その評価に Black (1975) の近似法や RGW 法を適用しようとすれば、特許権の行使は、特許の期限切れ日もしくは期限切れ日に極めて近い或る日に行われると想定しなければならない。この「或る日」を特定化することがきわめて困難であると判断したことが、本稿で特許権の評価に Black (1975) の近似法や RGW 法を採用しない理由となっている。本稿では、原資産の価値の減少が日々連続的に発生するケースでも、離散的に複数回発生するケースでも取り扱える配当調整型 Black-Scholes モデルが、たとえそれがヨーロッパアン・コール・オプションの評価モデルだとしても、むしろ便利だと考える。Whaley (1982) は、Black (1975) の近似法、RGW 法、そして配当調整型 Black-Scholes モデルの三つのモデルが実際のアメリカン・コール・オプション価格をどの程度正確に予測できるかを調査した結果、三つのモデルともうまく機能しており、その予測誤差は許容範囲であると報告している。

C. 特許権の評価モデルとしての配当調整型 Black-Scholes モデル

ヨーロッパ・コール・オプションの配当調整型 Black-Scholes モデルとしては、短期モデルと長期モデルがある。短期モデルは、オプションの権利消滅日までの期間が短い場合、オプション満期までの配当金額の予想がより容易であるために、この予想配当の現在価値を現在の株価から差し引いた修正株価をオリジナル Black-Scholes (1973) モデルに代入して、オプション価値を求める方法である。

これに対して、長期モデルは、株式はオプションの満期日まで連続的に既知でコンスタントな配当利回り (配当金/株価) で配当金を支払う、と仮定する下記の配当調整型 Black-Scholes モデルを言い、Merton (1973) の配当調整型 Black-Scholes モデルとも呼ばれる。独占期間の長い特許権の評価には、この長期モデルが適していると考えられる。実際、Damodaran (1999, 2002) も特許権の評価に下記の Merton (1973) モデルを使っている。

$$C_0 = S_0 e^{-qt} N(d_1) - K e^{-rt} N(d_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - q + \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - q - \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$= d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

ここで、記号の意味は次の通りである。

C_0 : オプションの現在の価値

S_0 : 原資産としての株式の現在の価格

K : 権利行使価格

q : 株式の配当利回り (既知でコンスタント)

$N(d_1)$, $N(d_2)$: それぞれ d_1 と d_2 で評価された標準正規分布の累積密度

t : オプションの権利消滅日までの残存日数を年単位で表示したもの

σ : 連続複利で計算された原資産の収益率の標準偏差 (ボラティリティ, 年率表示)

r : 連続複利で計算される無リスク資産の収益率 (年率表示)

e : 自然対数の底 (=2.71828)

III.2. 特許権の評価の数値例

将来の新製品に関するコール・オプションとしての特許権の評価を(3)式を使って行うに必要な変数は、(i)原資産の現在価値 (S_0), すなわち、特許権を使って生産・販売した製品から生み出される将来キャッシュフローの現在割り引き価値 (V_0), (ii)原資産の価値 (V_0) のボラティリティ (分散, σ^2), (iii)オプションの権利行使価格 (K), すなわち、新製品を

製造するのに要する初期投資額 (I), (iv) オプションの権利消滅日までの期間 (t), すなわち, 特許権の存続年数 (N), (v) 無リスク利子率 (r), (vi) 配当利回り (q), すなわち, 原資産の価値の年あたり減価率, の六つである。

具体的に見ていこう。⁵ 或る薬品会社が新薬の特許権の価値を評価したいと思っている。特許は今後20年間有効で, 新薬は有望な商品であるが, 現時点の市場規模は小さい。現時点 ($t=0$) での新薬製造の初期投資額 (I) は1500億円で, 新薬の販売から得られるキャッシュフローの粗現在価値 (V) はわずか1000億円と推定されている。将来の技術環境や市場環境の予測の不確実性を将来キャッシュフローの現在割引価値の確率分布へと集約した結果, キャッシュフローの粗現在価値 (V) の分散 (σ^2) は大きく, ⁶ 0.03と推定された。

この特許権を使って直ちに新製品の製造・販売に着手したときの投資プロジェクトの正味現在価値は, -500億円 (=1000億円-1500億円) であるから, 伝統的な NPV 法によれば, この特許権の価値はゼロである。しかし, キャッシュフローの現在価値の大きな分散は, この新薬が大化けする可能性を秘めていることを物語っている。リアルオプション法は, この不確実性の大きさをマイナス要素とは受け取らずに, 価値を高めるものとする。

では, リアルオプション法によればこの特許権の価値はいくらだろうか。すでに述べたように, 特許権はそれが有効な期間中にいつでも新製品の製造・販売に独占的に着手できる権利を保有者に与える。しかし, 有力な製薬メーカーが新薬の研究開発に世界的規模で競争を繰り広げる製薬業界にあっては, ライバル企業が別の技術で同等の, あるいはより良い製品を開発するかもしれないリスクが, いったん製造・販売を開始しても, 投資プロジェクトの価値を侵食していく。株式オプションにおける原資産の価値を低下させる要素としての配当支払い ((3) 式の q) に相当するものは, 将来キャッシュフローの経年的な減価率である。

Damodaran (2002) は, 特許権によって生み出された新製品の超過リターンは特許権の保護期間にのみ存在し, 特許期間の満了後直ちに消滅すると仮定して, 減価率 ((3) 式の q) は特許の存続期間 (N) の逆数 (例えば $N=20$ 年の場合, $1/20=0.05$) としている。

以上より, 原資産の価値=1000億, 権利行使価格=1500億, 満期日までの年数=20年, 原資産の価値の分散=0.03, 無リスク利子率=0.10, 原資産の価値の減価率=0.05を使うと,

$$d_1 = 1.1548, N(d_1) = 0.8759,$$

$$d_2 = 0.3802, N(d_2) = 0.6481$$

となるので, 延期オプション, すなわち, 特許権の価値は, (3) 式より,

$$C_0 = 1000 \times e^{-0.05 \times 20} \times 0.8759 - 1500 \times e^{-0.10 \times 20} \times 0.6481$$

$$= 322.2256 - 131.5662 \approx 190 \text{億} 6600 \text{万円},$$

となり, この特許権はプラスの価値を持つ。

注

本研究に付き 科学研究費助成金（課題番号13303009）の交付を受けた。付記して感謝申し上げます。

- 1 本節の議論は、Copeland, T. & V. Antikarov (2001) と Trigeorgis (1996) を参考にした。
- 2 Hull (2003) 第12章, Reilly & Brown (1997) 第24章。
- 3 ただし、最後の配当落ち日までに支払われた配当の現在価値は現在の株価から控除され（配当調整株価）、最後の配当額は権利行使によって手に入れる配当であるので、権利行使価格から控除される。
- 4 Damodaran (1999), Reilly & Brown (1997) pp. 903-905.
- 5 数値例は Bryer, L., & M. Simensky (2002), pp. 2.12-2.14 から借用。
- 6 投資プロジェクトの現在価値のボラティリティを推定する方法としては、(i)過去に同じようなプロジェクトを実施していた場合に、そのキャッシュフローの現在価値の分散を利用、(ii)さまざまなシナリオの下でシミュレーションを行ってキャッシュフローの現在価値の分布を求め分散を計算、(iii)当該プロジェクトと同じタイプの事業を行っている株式公開企業の株価の分散を利用、の三つの方法がある (Damodaran (1999), 第6章)。他にも、Mun, J. (2002), 山本 (2001) を参照。

引用・参考文献

- Amram, M., and N. Kulatilaka (1999), *Real Options*, Harvard Business School Press. 石原 雅行他訳『リアル・オプション』, 東洋経済新報社, 2001年12月。
- Black, F. (1975), "Fact and Fantasy in the Use of Options," *Financial Analysts Journal*, 31 (July/August), pp. 36-41, 61-72.
- Black, F., and M. Scholes (1973), "The Pricing of Options and Corporate Liabilities," *Journal of Political Economy*, 81 (May/June 1973), pp. 637-59.
- Bryer, L., and M. Simensky (eds.) (2002), *Intellectual Property and Intangible Assets in Mergers and Acquisitions*, John Wiley & Sons, Inc.
- Copeland, T., T. Koller, and J. Murrin (2000), *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*, 3rd ed., Mckinsey & Company, Inc. マッキンゼー・コーポレート・ファイナンス・グループ訳『企業価値評価』, ダイヤモンド社, 2002年3月。
- Copeland, T., and V. Antikarov (2001), *Real Options*, Texere. 栃本 克之監訳『リアル・オプション』, 東洋経済新報社, 2002年2月。
- Cox, J., S. Ross, and M. Rubinstein (1979), "Option Pricing: A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7 (October 1979), pp. 229-64.
- Damodaran, A. (1999), *Applied Corporate Finance*, John Wiley & Sons, Inc., 三浦 良造他訳『コーポレート・ファイナンス：戦略と応用』, 東洋経済新報社, 2001年11月。
- (2002), *Investment Valuation*, John Wiley & Sons, Inc., 2nd ed..
- Day, G. S., P. J. H. Schoemaker, and R. E. Gunther (eds.) (2000), *Wharton on Managing Emerging Technologies*, John Wiley & Sons. 小林 陽太郎監訳『ウォートンスクールの次世代テクノロジー・マネジメント』, 東洋経済新報社, 2002年1月。

- Geske, R. (1979), "A Note on an Analytical Valuation Formula for Unprotected American Call Options on Stocks with Known Dividends," *Journal of Financial Economics* 7, no. 4 (June 1979), pp. 375-380.
- Hull, J. C. (2003), *Options, Futures, and Other Derivatives*, 5th ed., Prentice Hall. 東京三菱銀行 金融商品開発部訳『ファイナンシャル エンジニアリング』(原著第4版), きんざい, 平成13年8月。
- Jarrow, R., and S. Turnbull (1996), *Derivative Securities*, South-Western College Publishing.
- Kolb, R. W. (2000), *Futures, Options, and Swaps*, 3rd ed., Blackwell Publishers.
- Lamb, R. B. (2002), "The Role of Intellectual Property and Intangible Assets in Mergers and Acquisitions," in Bryer, L., and M. Simensky (2002), Ch. 2.
- Merton, R. C. (1973), "Theory of Rational Option Pricing," *Bell Journal of Economics and Management* 4, no. 1 (Spring 1973), pp. 141-183.
- Mun, J. (2002), *Real Options Analysis*, John, Wiley & Sons, Inc.. 構造計画研究所訳『実践 リアル オプションのすべて』, ダイヤモンド社, 2003年6月。
- Reilly, F. K., and K. C. Brown (1997), *Investment Analysis and Portfolio Management*, 5th ed., The Dryden Press.
- Roll, R. (1977), "An Analytic Valuation of Formula for Unprotected American Call Options on Stocks with Known Dividends," *Journal of Financial Economics* 5, no. 2 (November 1977) pp. 251-258.
- 榊原 茂樹 (1994), 「わが国におけるオプション評価モデルの有効性と曜日効果」, インベストメント, 第47巻第1号, 平成6年2月, 4-20ページ, 大阪証券取引所。
- Trigeorgis, L. (1996), *Real Options*, The MIT Press. 川口 有一郎他訳『リアルオプション』, エコノミスト社, 2001年9月。
- Whaley, R. F. (1981), "On the Valuation of American Call Options on Stocks with Known Dividends," *Journal of Financial Economics* 9, no. 2 (June 1981), pp. 207-212.
- (1982), "Valuation of American Call Options on Dividend Paying Stocks: Empirical Tests," *Journal of Financial Economics*, 10, no. 1 (March 1982), pp. 29-58.
- 山本 大輔 (2001), 「リアル・オプション」, 東洋経済新報社, 2001年6月。