

キャッシュインフロー・ジャンプの評価モデル

熊谷善彰・藤原浩一

概要

競争状態下では，将来キャッシュインフローの変動性は高まる。したがって DCF 法による価値評価そのものの信頼性が損なわれる。本稿では，変動要因としてのイノベーションがキャッシュフローにもたらす影響に着目した分析フレームワークを示し，事業価値評価と経営の関係を示す。イノベーションによるキャッシュインフローのジャンプをポアソン過程で定式化することで研究開発投資の価値，そしてイノベーションが競合他社の企業価値に与えるインパクトを評価し，開発に着手するかどうかの判断基準を導く。さらに自社の研究開発と競合他社の研究開発について情報の非対称性がある場合に研究開発に着手するタイミングをジャンプ拡散過程を用いたリアルオプションによって分析できることを示す。

キーワード：価値評価，イノベーション，キャッシュフロー・ジャンプ，リアルオプション

1 イントロダクション

標準的な Discount Cash Flow (DCF) 法によれば，企業が保有する資産価値は割引率とその資産が生み出す将来キャッシュインフローの関数として評価される。しかし，従来の DCF 法におけるキャッシュインフローそのものの変動性について十分な分析が加えられてきたとは言えない。もし，当該資産保有に必要な投下資本量に対して事前に想定した以上のキャッシュインフローが実現されれば，事業・資産価値は高まると同時に投下した資本の回収期間も短くなる。しかし，逆の場合，想定したキャッシュインフローが実現できなければ，事業は失敗に帰する。したがって，投資の意思決定，事業の推進，撤退を判断する最も重要な変数のひとつである「キャッシュインフローの変動性」について慎重な分析が加えられる必要がある。

将来キャッシュインフローの変動の性質は市場の競争状態に大きく影響を受ける。将来キャッシュインフローの変動可能性に対する企業の判断が正しければ企業価値を創造し，間違っていれば企業価値は破壊される。もし企業が市場独占の状態にあれば将来キャッシュインフローの変動可能性は小さく，安定を前提とした経営環境を享受できる。しかし逆に競争状態にありキャッシュインフロー

の変動可能性が大きければ、事業の推進、撤退を前提とした企業経営にならざるを得ない。企業経営においては将来キャッシュインフローの変動性の性質により取るべき経営戦略の考え方も変わってくる。したがって競争状態に起因する将来キャッシュインフローの確実性と不確実性がどのようなものなのか明らかにする必要がある。

競争状態を規定しキャッシュインフローに影響を与える基本要因として企業参入・撤退数が基本変数となる。しかしイノベーションによる新規参入の実現をする企業が現れることで従来の産業構造を急激に変化させる現象が観察される。イノベーションは連続的に徐々に起きるというよりも、あるとき突然に実現される性質を持つ。このようなイノベーションの性質は競合企業のキャッシュインフローに不確実なジャンプをもたらす直接的な影響を与える。もし自社の将来のキャッシュフローに不確実なジャンプが存在するのであれば、冒頭に言及した DCF 法による価値評価は大きな修正を余儀なくされる。

このように競争状態を根本から変化させる要因としてイノベーションとキャッシュインフローの関係について慎重な分析がなされる必要がある。本稿では将来キャッシュインフローの性質を規定する重要な一要因としてイノベーションに着目して分析を進める。オプション理論においては Merton (1976) を初めとして原資産のジャンプをポアソン過程で表現した研究が数多くあるが、本稿ではキャッシュインフローのジャンプをポアソン過程で表現する。本稿の目的はこのようなイノベーションを要因とするキャッシュフローへの影響を「キャッシュフロー・ジャンプ効果」と名付け、その影響を分析しモデル化することにある。その上で本稿では不確実なキャッシュフローのジャンプを前提にした場合に標準的な DCF 法に代わるものとして、価値評価の可能性をオプション理論の枠組みに求められることを議論する。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では自社の開発の成功という事象をポアソン過程で定式化したとき開発に着手するかどうかの判断基準を示し、さらに、研究開発の代替対象となる製品で現在収益を上げている他社の企業価値を毀損する効果、研究開発において競合する他社の企業価値を毀損する効果について考察する。第 3 節では、自社の開発の成功確率と他社の開発の成功確率について、情報の非対称性があり、他社の成功確率は更新されず、開発に成功したときしか情報が明らかにならない場合にジャンプ拡散過程を使って事業価値をモデル化できることを述べる。第 4 節では成功確率が変動し、他社の成功確率については情報が限定される場合について、研究開発に着手するタイミングを判断するためにリアルオプションを用いた分析が可能であることを示す。第 5 節では第 4 節の議論を前提にした価値評価の可能性を検討する。

2 ポアソン過程を用いた研究開発の評価

本節では研究開発の成功という事象をポアソン過程でモデル化し、開発の現在価値から開発に着手するかどうかの判断基準を導く。さらに、研究開発の代替対象となる製品で現在収益を上げている他社の企業価値を毀損する効果、研究開発において競合する他社の企業価値を毀損する効果につ

いて、これらが自社の投資判断に与える影響という面から考察する。

各瞬間において破壊的イノベーションが発生する確率は一定であるものとし、これを強度 (ハザード率) λ で表す。現時点で一定の収益 π がある事業に対して、ハザード率 λ で競合他社が破壊的イノベーションを起こし、現在の事業からの収益がゼロになるとする。以上の前提で、事業の価値 V は以下の過程に従う。

$$dV = -Vdq$$

ここで dq はハザード率 λ のポアソン過程の増分である。割引率を ρ とすると資産の収益は配当とキャピタルゲインの和であることから

$$\begin{aligned}\rho V dt &= \pi dt + E[dV] \\ &= \pi dt - \lambda V dt\end{aligned}$$

したがって、

$$V = \frac{\pi}{\rho + \lambda}$$

が得られる。ここでポアソンジャンプが分散化可能な非シスマティックリスクであると仮定すれば ρ は安全資産金利 r と等しい。(Dixit and Pindyck (1994) では同様のモデルにより、每期収益 π を生み出す平均故障率 λ の機械の価値を評価している。)

イントロダクションで言及したとおり、自社に対するキャッシュインフローは、競合企業のイノベーションにより大きく変化する。では破壊的イノベーションの実現はどのようなインパクトをキャッシュインフローに与えるのであろうか？破壊的イノベーションを考慮しない場合の事業の割引現在価値は永久債の理論価格と同様に計算できるので π/ρ である。破壊的イノベーションの可能性を考慮することでこれが $\pi/(\rho + \lambda)$ に減少する。

逆に自社が研究開発により成功確率 λ で破壊的イノベーションを起こし、それ以降、収益 π を上げる場合、この研究開発の現在価値を V とすると $V = \pi/\rho - \pi/(\rho + \lambda)$ となる。これは、自社が開発に着手した瞬間に競合他社の事業価値は減少し、自社の事業価値がその分増加することを意味する。現時点で既に収益を上げているところに参入を試みる場合、参入を試みた時点で既に価値が新規参入企業に移転するのである。

この研究開発に対する自社の投資額を I とすれば研究開発の正味現在価値は $V - I = \pi/\rho - \pi/(\rho + \lambda) - I$ である。通常、これが正である場合

$$\frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda} - I > 0$$

に投資を行うと判断する。この条件を開発の成功確率 λ について解くと

$$\lambda > \frac{I\rho^2}{\pi - I\rho}$$

であり、この値よりも開発成功確率 (ハザード率) が大きければ開発に着手した方が良いという境界値として解釈できる。成功確率が $\lambda = 1$ であり、開発が確実に成功する場合の内部収益率を i と

書くと $i = \pi/I$ であり、このとき投資を実施する条件は $i > \rho$ である。これを使うと

$$\lambda > \frac{\rho^2}{i - \rho}$$

と書け、 i と ρ の差が大きいほど開発着手の境界となる成功確率は低下する。

さらにライバル企業の企業価値の減少による効果を検証する。他社が既に収益を上げている分野において自社が破壊的イノベーションを起こすと他社の企業価値は毀損される。自社がその分野における研究開発を開始した瞬間に他社の企業価値の一部が自社に移転すると考えられる。これによる他社の企業価値の減少は一般に株価の下落として現れるので、自己資本比率の低下により、資金調達コストが高まれば、設備投資、研究開発投資などへ向ける余力がなくなる。この結果、自社の競争条件は改善し、自社の将来キャッシュフローは増加する。このような他社の企業価値の破壊を通じた二次的な効果について、これを現在価値で評価し、他社の企業価値の減少額を x として自社の企業価値の増加額を $G(x)$ とかくと、 $G(x)$ は単調増加関数と考えられる。この場合の判断基準は

$$\frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda} + G\left(\frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda}\right) - I > 0$$

となる。さらに、 $H(x) \equiv x + G(x)$ とすると

$$H\left(\frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda}\right) - I > 0$$

とかけ、 λ について解くと

$$\lambda > \frac{H^{-1}(I)\rho^2}{\pi - H^{-1}(I)\rho}$$

である。例として G が線形の場合 $G(x) = ax$, ($a > 0$) を考える。 $H(x) = (1+a)x$ なので

$$\lambda > \frac{I\rho^2}{(1+a)\pi - I\rho} = \frac{\rho^2}{(1+a)i - \rho}$$

となり、 a が大きくなることは i の上昇と同じく、開発着手の境界となる成功確率を低下させる。

上記の議論は他社が既に収益を上げている分野についてのものではあったが、以下では現時点ではどの企業も収益を上げていない未開拓分野において他社も同様の研究開発を行っている場合について考察する。自社の開発成功率を λ_1 、他社の開発成功率を λ_2 とすると、先に開発に成功するのが自社である確率は $\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2)$ 、他社である確率は $\lambda_2/(\lambda_1 + \lambda_2)$ となる。各期において両社のいずれかが開発に成功する確率は $\lambda_1 + \lambda_2$ であるから、自社の研究開発の正味現在価値は

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda_1 + \lambda_2} \right\} - I$$

であり、開発が確実に成功する場合の内部収益率を i とかくと、研究開発を開始する条件は

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{i}{\rho} - \frac{i}{\rho + \lambda_1 + \lambda_2} \right\} > 1$$

である。競合他社が既に研究開発を開始しているところに自社が開発に参入する場合は他社の企業価値を毀損することになる。自社の参入前の他社の研究開発の価値は $\pi/\rho - \pi/(\rho + \lambda_2)$ であることから、この効果を考慮に入れると判断基準は

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda_1 + \lambda_2} \right\} + G \left(\frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda_2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{\pi}{\rho} - \frac{\pi}{\rho + \lambda_1 + \lambda_2} \right\} \right) - I > 0$$

となる。

このように競合他社の事業価値は自社の開発成功の可能性により毀損される。企業価値は将来キャッシュフローを現在価値に割り引いたものであり、競合他社による技術開発の成功は自社の将来キャッシュフローに致命的な打撃を与え、当該の事業部門の価値が一瞬にしてゼロになることが予想される。これはとりもなおさず株式時価総額あるいは負債の時価総額の下落を意味する。したがって研究開発や投資などの事業価値を計算する場合には、将来のキャッシュフローを現在価値に割り引いた事業による正味現在価値だけでなく、自社の研究開発が他社に与えるマイナスの影響による効果も勘定に入れるべきである。

3 競争企業間の情報の非対称性

企業の「投資」の意思決定は、「将来の事業機会」に対する企業の洞察に基づき、資産保有から得られるであろう「将来キャッシュインフロー」の大きさに対する見通しによりなされる。しかし、将来キャッシュインフローの大きさは、市場の競争の性質と度合いによって異なる。

市場の競争の度合いについては通常独占、寡占、完全競争に分類される。もし企業が完全独占の場合、需要の大きさを一定とすれば将来キャッシュインフローの不確実性をなくすように行動できる余地が大きくなる。しかし、寡占的競争状態の下では寡占企業同士が敵対的競争状態か、競い合わないかによりキャッシュインフローの変動性は変わる（競争の状態をコントロールする手段として、談合、規制、免許制度などが考えられる。）

しかし、イントロダクションにおいて言及した通り従来の競争状態を根本から変化させる新しいテクノロジーを戦略手段として用いることが可能である。通常、自社が進めているイノベーションについて情報は入手可能であるが、競合が進めているイノベーションに関する情報については入手不可能性が高い。つまり、イノベーションの進捗を情報として解釈すれば情報の非対称性的性質が競争企業同士には存在している。このようなイノベーション情報の非対称的な性質に着目して以下議論を進める。自社から見れば開発の進捗状況は刻一刻と分かるわけであり、現時点での開発成功の確率によって計算した将来キャッシュフローの期待値の現在価値を基準として新たな情報が入るたびにこれを修正していくことができる。新たな情報はランダムに発生するとすれば、正味現在価値の期待値をブラウン運動で記述することは自然である。

これに対して他社の状況は通常、他社が戦略的に開示するほかは開発成功の時点でのみ開示される。これは突然のインパクトとして自社に影響を与えるため、自社の立場から経営判断をモデル化

する場合、ポアソンジャンプで記述できる。特に新しい技術が出現して従来の技術が陳腐化する破壊的イノベーションが生じたとき、プロジェクトの価値は突然大きく下落する。イノベーションによる価値下落は一回のインパクトでプロジェクトの価値がゼロになるほどの致命的な影響がありうる。このようなジャンプはジャンプ拡散過程の特殊な場合と解釈できる。このような状況についてはジャンプが1回起こると致命的な影響を与え、その後2回目のジャンプは起こらない（あるいは2回目のジャンプを考えても意味がない）こと、上向きのジャンプは起こらないことから、ポアソン過程でモデル化すれば十分である。

以上のように考えれば、事業価値を自社の成功確率の変化の影響を含めたブラウン運動と他社の成功という事象を表現するポアソン過程を組み合わせてジャンプ拡散過程で表現することは妥当である。

4 リアルオプションによる研究開発投資の評価

第2節では研究開発に着手した時点における研究開発投資の正味現在価値をポアソン過程を用いたモデルで評価し、研究開発に着手する条件と競合企業に与える影響との関係を考察した。本節では競合企業との競争条件を念頭に置きながら研究開発に着手するタイミングを決定する経営判断についてリアルオプションの理論を用いて考察する。時間の経過と共に関連する研究開発の進捗や外部環境の変化によって自社開発の成功確率（ハザード率）は変化する。時間の経過に伴って一般的には開発の成功確率は上昇することが予想されるが、予期しない困難にぶつかって減少することもある。このためここでは研究開発の正味現在価値をドリフト付のブラウン運動で記述する。他社についても状況は同様であるが、自社に入ってくる情報は限られている。他社の開発成功は前節までに見たように自社の研究開発の現在価値に対してマイナスの効果をもたらす。この部分を下方にジャンプするポアソン過程で記述する。

リアルオプションに関する先行研究の中で事業価値をジャンプ拡散過程（ブラウン運動とポアソン過程）で記述しているものとしては McDonald and Siegel (1986) を始めとして多くの先行研究があるが、ここでは Dixit and Pindyck (1994) に従ってモデルの概要を述べる。

将来キャッシュインフローの現在価値を V としてこれをドリフトのあるブラウン運動にポアソンジャンプを加えたモデルで記述する。

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz - V dq$$

ここで dz はウィナー過程の増分、 dq はハザード率が λ のポアソン過程の増分であり、 dz と dq は独立であると仮定する。ポアソン事象が起きたとき、 q は一定の割合 ϕ ($0 \leq \phi \leq 1$) だけ下落する。 $\phi = 1$ の場合、ポアソンジャンプが発生すると事業の価値はゼロになる。事業価値 V の期待キャピタル収益率は $\alpha - \lambda\phi$ である。

投資費用を I 、割引率を ρ 、投資機会の価値を $F(V)$ とする。投資の実行時点まではキャッシュフローは発生しないため、投資機会を保有することで得られる収益は投資機会の資産価値に一致する。

したがって最適停止問題のベルマン方程式は

$$\rho F(V)dt = E[dF(V)]$$

となる。この式の $dF(V)$ を伊藤の公式を用いて展開し、さらに α を $\rho - \delta$ で置き換える。ここで δ は $\delta = \rho - \alpha$ で定義され、 α が資産のキャピタル収益率であるのに対して、資産の配当率にあたる。リスク中立的な投資家、あるいはポアソンジャンプが分散化可能な非システムティックリスクであることを仮定して $\rho = r$ とすると

$$\frac{1}{2}\sigma^2 V^2 F''(V) + (r - \delta)VF'(V) - (r + \lambda)F(V) + \lambda F[(1 - \phi)V] = 0$$

が得られる。投資実行の臨界値を V^* とすると $F(V)$ が満たすべき境界条件は

$$\begin{aligned} F(0) &= 0 \\ F(V^*) &= V^* - I \\ F'(V^*) &= 1 \end{aligned}$$

である。この微分方程式の解は $F(V) = AV^\beta$ の形となる。ここで β は

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta(\beta - 1) + (r - \delta)\beta - (r + \lambda) + \lambda(1 - \phi)^\beta = 0$$

の解である。投資実行の臨界値 V^* は

$$V^* = \frac{\beta}{\beta - 1}I$$

となる。また、 A は以下のように求められる。

$$A = \frac{V^* - I}{(V^*)^\beta}$$

ポアソンジャンプの幅 ϕ が大きいほど投資機会の価値 $F(V)$ は減少し、投資を延期するよりも現時点で実行する方が機会費用が小さくて済む。つまり、投資実行の臨界値 V^* は小さくなる。次にポアソンジャンプの幅を固定してその強度（ハザード率） λ を大きくするとき $F(V)$ は減少し、投資判断の臨界値 V^* も減少する。以上の結果は Dixit and Pindyck (1994) によるが、一般にジャンプ拡散モデルを用いたリアルオプションの分析において想定されている状況は、例えば企業の保有する特許に対して複数の競合他社が同様の研究開発を進めていることを前提に競合他社の内、一社でも開発に成功すればこれにより競争が生じ、事業の価値が減少するというものなど、既に研究開発を成功させた後の議論である。一方、本節では他社が研究開発を進めていることは同様であるが、自社は本格的には開発に参入していない段階で研究開発に投資するタイミングを図っているという状況を想定する。図1は $\phi = 1$ の場合であるが、 λ に対してベキ関数的に減少している。ブラウン運動部分のボラティリティである σ が大きい場合にこの減少は顕著である。一方、強度 λ

を固定してみると σ が大きいほど投資機会の価値 $F(V)$ は増加し、投資実行の臨界値 V^* は大きくなる。図2も $\phi = 1$ の場合であるが、強度 λ が小さいほど臨界値 V^* の増加は顕著である。ここで σ を自社の開発成功による将来キャッシュフローと解釈した場合、 σ は自社開発の不確実性を表現している。

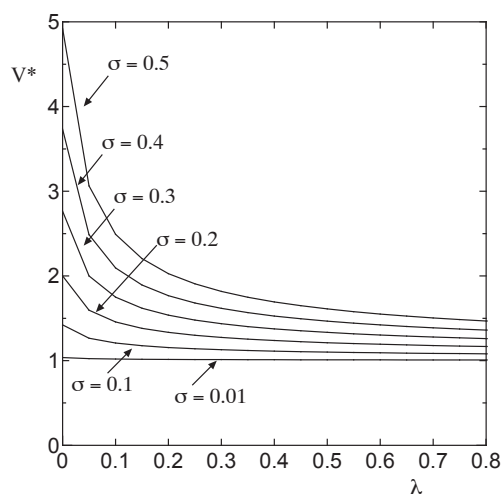


図1 他社の開発成功率 (ハザード率) と投資実行の臨界値
($\phi=1, \delta=0.04, r=0.04, I=1$)

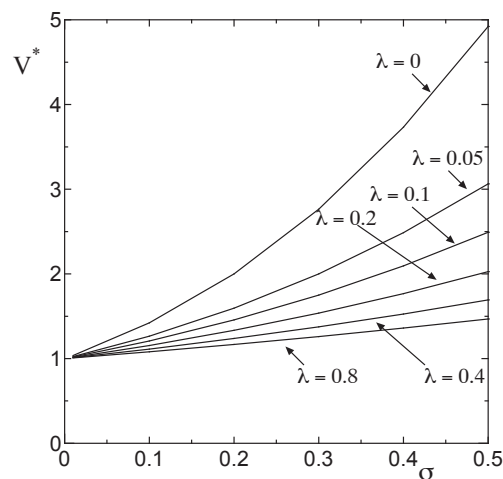


図2 自社開発成功の不確実性と投資実行の臨界値
($\phi=1, \delta=0.04, r=0.04, I=1$)

以上のように他社による開発成功という事象が起きたときの自社の将来キャッシュインフローへの破壊的インパクトが大きいほど、研究開発投資の実行の臨界値は減少し、投資は早期に実行される。同様に他社が破壊的イノベーションを起こす可能性が高くなるほど、投資実行の臨界値は減少し、

投資は早期に実行される。一方、自社開発成功の不確実性が高いほど、投資実行の臨界値は高くなるが、他社の研究開発による破壊的イノベーションの可能性が高まることによってこの臨界値は急激に減少する。ここでブラウン運動のボラティリティを自社開発成功に関する不確実性と解釈しているが、マクロ経済環境などその他の外部環境による変動もここに含まれるとすればより現実的な設定となる。

5 結語

本稿では企業価値を決定する最重要変数であるキャッシュインフローの変動性についてイノベーションの性質に着目し分析を進めてきた。将来キャッシュフローへの負のインパクトが、ポアソン過程によって記述できることをまず議論し、その上で、イノベーションによるキャッシュインフローのジャンプを前提にした場合の事業価値についてオプション理論により評価し、企業戦略上の含意を演繹した。研究開発投資の価値、そしてイノベーションが競合他社の企業価値に与えるインパクトを評価し、開発に着手するかどうかの判断基準を導いた。さらに自社の研究開発と競合他社の研究開発に対する情報の非対称性に注目して、研究開発に着手するタイミングをジャンプ拡散過程を用いたリアルオプションによって分析した。

本稿ではキャッシュフロー・ジャンプの要因をイノベーションに求めたが、マクロ経済環境の変動によるキャッシュフロー・ジャンプも存在しうる。ジャンプがいつどのようなタイミングでどのような大きさで生じるのかその不確実性が大きいほどオプション保有の戦略的含意は大きくなる。過去の意思決定が状況により誤りに転じた場合においても自社の価値が破壊されるプロセスから離脱可能となる。企業が「機会の選択権」を持つことは重要な価値マネジメント手段となりうる。オプションが与える経営の自由度を鑑み、本稿ではキャッシュインフローの変動性を前提にしたリアルオプションモデルについても検討を加えた。従来のDCF法では将来キャッシュフローの想定についての理論的基盤が存在しているとは言いがたい。今後、投資の決定には他社が自社の投資によって企業価値を減少させ、それにより自社が競争上の立場を強くする効果についてより深い分析が加えられるべきであろう。本稿ではキャッシュ「イン」フロー、すなわち売上金額を中心に分析を進めた。しかし、キャッシュ「アウト」フローの変動性の分析も今後急務となるであろう。キャッシュアウトフローの変動性は、企業のコスト構造を大きく変化させる。キャッシュアウトフローの変動性の理論構築および両者の実証分析については今後の課題としたい。

[参考文献]

- Black, F. and M. Scholes. [1973] "The pricing of options and corporate liabilities," *Journal of Finance*, 81 (3) : 637-654
- Dixit, A. K. and R. S. Pindyck [1994], *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press. (『投資決定理論とリアルオプション』川口有一郎訳, エコノミスト社)
- McDonald, R. and D. R. Siegel [1986] "The value of waiting to invest," *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707-727
- Merton, R.C. [1973] "Theory of rational option pricing," *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4 (1) : 141-183
- Merton, R.C. [1974] "On the pricing corporate debt: the risk structure of Interest rates," *Journal of Finance*, 29, : 449-470
- Merton, R.C. [1976] "Option pricing when underlying stock returns are discontinuous," *Journal of Financial Economics*, 3 : 125-144
- 木島正明・中岡英隆・芝田隆志 [2008] 『リアルオプションと投資戦略』朝倉書店