

〈論 文〉

# 技術投資評価に応用されるオプション理論に関する考察

## — 金融オプション理論との比較を通じて —

山 本 尚 利 \*

### A Study on the Option Theory as Application to Technology Investment Evaluation

#### — Comparison with the Financial Option Theory —

Hisatoshi Yamamoto

#### Abstract

This article is a study on the option theory as application to technology investment evaluation in terms of MOT ( Management of Technology ).The option theory has been applied to the dealing of the high risk financial products but option-based derivatives caused the critical financial crisis globally. Then the applicability of the option theory to MOT is discussed in comparison with the financial option theory.

#### 要 約

本論はオプション理論の技術投資評価への応用に関して技術経営 (MOT) の観点から考察している。オプション理論はハイリスクの金融商品取引に応用されてきたが、オプションベースのデリバティブ (金融派生商品) が世界規模で深刻な金融危機を招いた。そこで、本論はオプション理論の技術経営への適用可能性について金融オプション理論との比較を通じて議論する。

#### 1. 背景と目的

筆者は1986年より2003年まで16年半、米国シンクタンク SRI インターナショナル (元スタンフォード大学付属研究所) に属し、技術経営コンサルタントとして技術経営方法論を研究してきた。技術経営方法論のひとつに技術投資評価法がある。80年代後半より米国ではハイリスクの技術投資、たとえばハイリスクな研究開発プロジェクトの評価にオプション理論が応用できるのではないかと考えられてきた。そこで筆者もオプション理論の技術投資評価への適用可能性を研究してきた。ところで2008年後半より米国発の世界同時金融危機が勃発したが、その引き金となったのはデリバティブ (金融派生商品) であった。デリバティブにはオプション理論が応用されているが、今回の金融危機にてオプション理論の適用性に疑問がもたれている。そこで、本論にてオプション理論を技術経営の領域に応用してい

---

\* 早稲田大学大学院商学研究科 教授

ることが果たして正当かどうかを考察する。

## 2. オプション理論によるハイリスク技術投資評価

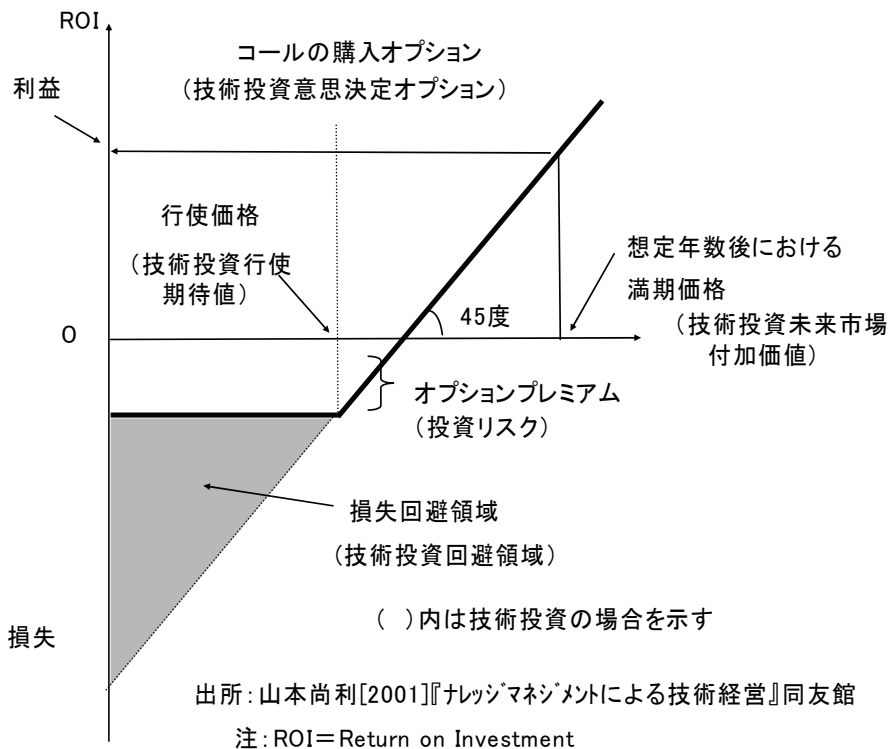
金融工学 (Investment Science & Engineering) におけるオプションとは、一定期間内に証券化商品を「買う権利」あるいは「売る権利」を売買する取引と定義される。オプション取引は先物取引と類似しているが、先物が契約期日に売買を成立させる義務があるのに対し、オプションは売買の権利のみあって義務がない。売買の選択の自由があるという意味でオプションと命名されている。

金融オプションはデリバティブの代表的商品である。デリバティブ取引は市場価格が常に変動するハイリスク商品に適用される。デリバティブとは原資産の一定価格を証拠金として供託することで、一定幅の価格変動リスクを他の当事者や市場参加者に譲渡する保険的契約の一種であるといわれている。

近年、オプション理論の進歩によって投資リスクの定量評価が可能となり、80年代後半より金融オプション取引が米国を中心に急速に拡大した。

80年代後半、オプション理論は金融商品のみならず、ハイリスクなハイテクベンチャーの企業価値評価やハイリスクな研究開発の技術投資評価にも応用できることがわかった。そこで技術経営領域で応用されるオプションは金融オプションと区別する意味でリアルオプションと呼ばれる。

図表 1 に技術投資 (ハイリスク研究開発投資など) におけるオプション理論基本式を示す。



図表 1 技術投資におけるオプション理論基本式

図表1は技術投資回避領域（図の下部の着色領域）を図形化するために作成されている。技術投資を回避すべき領域はオプションプレミアムを定義することによって決定される。技術投資の未来市場付加価値が想定年数後に技術投資行使期待値を下回ると算定される場合に技術投資は回避される。そして技術投資の未来市場付加価値が行使期待値より大きく、かつ行使期待値とオプションプレミアム値の和より小さい場合、投資リターン（ROI）がマイナスとなっても投資は回避されない。オプションプレミアムを設定することによってハイリスクな技術投資の意思決定がきわめて容易になった。

オプションプレミアムは下記のブラック＝ショールズの公式<sup>(注1)</sup>によって算出される。なおオプションにはコールオプション（ハイリスク資産を満期までの一定期間内に行使価格で買う権利）とプットオプション（ハイリスク資産を満期までの一定期間内に行使価格で売る権利）があるが、技術投資評価には一般的にコールオプションが使用される。

<ブラック＝ショールズの公式>

$$\text{コールプレミアム：} C = SN(d) - K \cdot e^{-\gamma\tau} N(d - \sigma\sqrt{\tau})$$

$$\text{プットプレミアム：} P = -SN(-d) + K \cdot e^{-\gamma\tau} N(-d + \sigma\sqrt{\tau})$$

$$d = [\ln(S/K) + (\gamma + \sigma^2/2)\tau] / (\sigma\sqrt{\tau})$$

S：現時点の原株価    K：行使価格     $\gamma$ ：リスクフリー利子率     $\tau$ ：満期までの期間

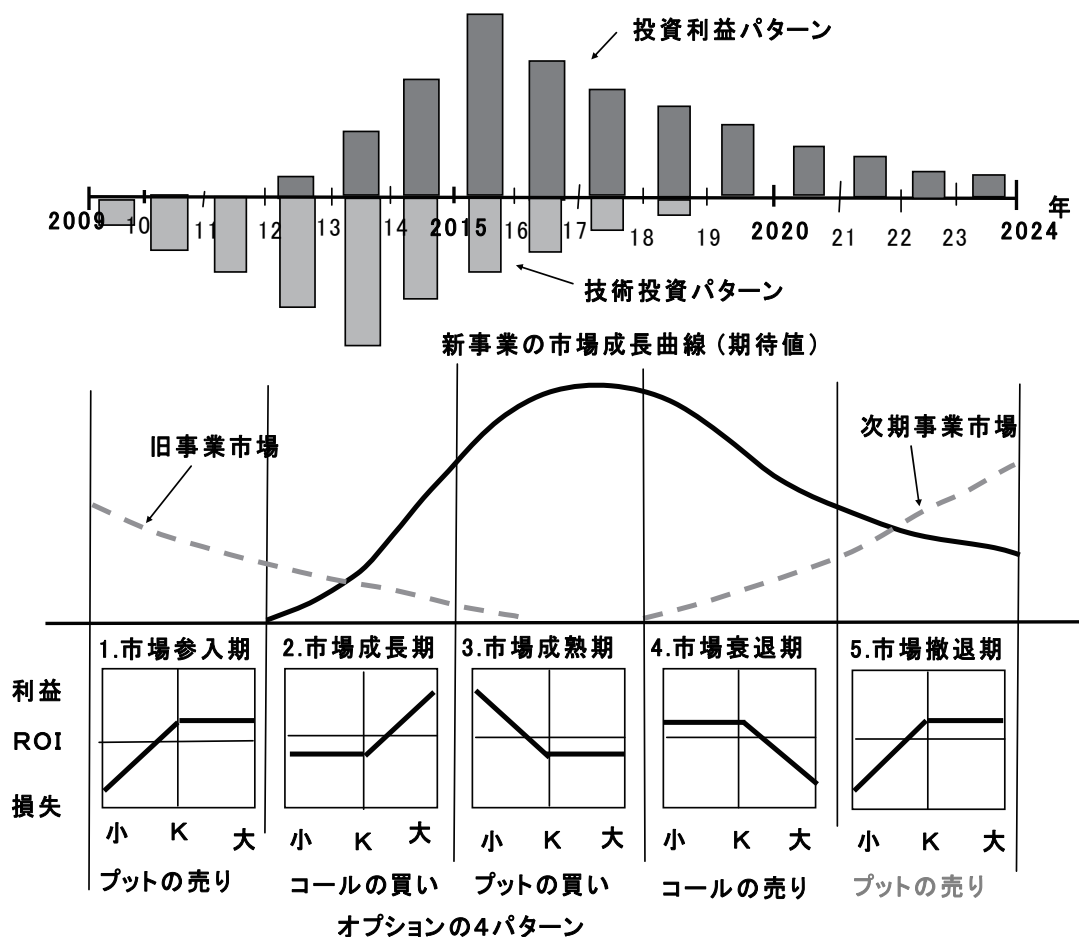
$\sigma$ ：原株変動幅（ボラティリティ）     $N(\cdot)$ ：正規確率累積密度

図表1のコールのオプションプレミアム値に大きく影響するのはボラティリティと呼ばれる $\sigma$ （原株変動幅）である。技術投資評価におけるボラティリティ $\sigma$ 値を算定する方法のひとつとして挙げられるのは、対象となる技術投資案件の想定年数後の未来市場付加価値をその技術分野の複数の専門家に推定させて評価のバラツキ（不偏分散）から算定する方法である。もうひとつは対象技術あるいはその類似技術の知的財産を所有する株式公開ベンチャーの株価変動から算定する方法である。 $\sigma$ 値の大きい投資案件ほどオプションプレミアム値C（オプション価額）は大きくなる。すなわちハイリスク投資案件となる。この評価法が一般化するにつれて、将来、大ブレークする可能性を秘めたハイリスクなベンチャーはオプション価額Cで企業価値評価することが可能となった。

### 3. オプション理論による技術投資の意思決定

筆者は80年代末頃からオプション理論が技術投資の意思決定に応用できるのではないかと考えていた<sup>(注2)</sup>。

図表2に筆者が当時、考えた新事業の技術投資とオプション理論のアナロジーの概念を示す。



注記： ROI; Return on Investment、K; 技術投資(行使価格)

作：山本尚利

図表2 新事業の技術投資とオプションの関係

図表2下部には、新事業の市場成長曲線のライフサイクル周期の4分割とオプションの4つのパターン、すなわち「プットの売り」、「コールの買い」、「プットの買い」、そして「コールの売り」を対比して示す。ただし、「プットの売り」オプションに関しては、新事業の市場参入期と旧事業の市場撤退期は互いに重なるものとする。そしてオプションの4パターンは、新事業の市場ライフサイクル周期の4分の一周期だけ前にずれる。

なお図表2下部におけるコールは技術投資を実行するオプションであり、プットは技術投資を断念するオプションである。まず（1）市場参入期における「プットの売り」は技術投資断念オプションの売りであるから、裏返せば技術投資を開始しなければ自社の将来がないことを意味する。次に（2）市場成長期における「コールの買い」は競合他社に先んじて技術投資を増やすほど利益が上がるということの意味する。そして（3）市場成熟期における「プットの買い」は競合他社より早く、逆に技術投資を減らすほど利益がでることを意味する。最後の（4）市場衰退期における「コールの売り」は技術投資

を競合他社より早く、思い切って中止すべきということを意味する。なお（5）市場撤退期の「プットの売り」は競合他社に先んじて次期事業の技術投資を開始すべきということを示唆する。以上の技術投資ポートフォリオを一言で表現すれば「先手必勝」である。

図表2 上部に示すように一般的に技術投資は新事業を立ち上げる数年前から着手される。そして何年かの時間遅れを経て新事業の市場が立ち上がる。世界的な技術の進歩とともに新事業に求められる技術のレベルは年々高度化している。そこで大きく二つの技術投資リスクが高まる。ひとつは、（1）新事業に必要な技術投資（研究開発あるいは技術開発）が計画通り進まないというリスクである。もうひとつは、（2）計画通り研究開発あるいは技術開発に成功しても、様々な外部要因（非技術的要素）によって期待通り市場が立ち上がらないというリスクである。企業の技術経営者（CTO：Chief Technology Officer）の脳裏には常にこのようなリスクがつきまとうため、技術投資の意思決定に逡巡することが多くなる。そこで CTO にとってのリスクを定量化したのが図表1 に示したオプションプレミアムである。

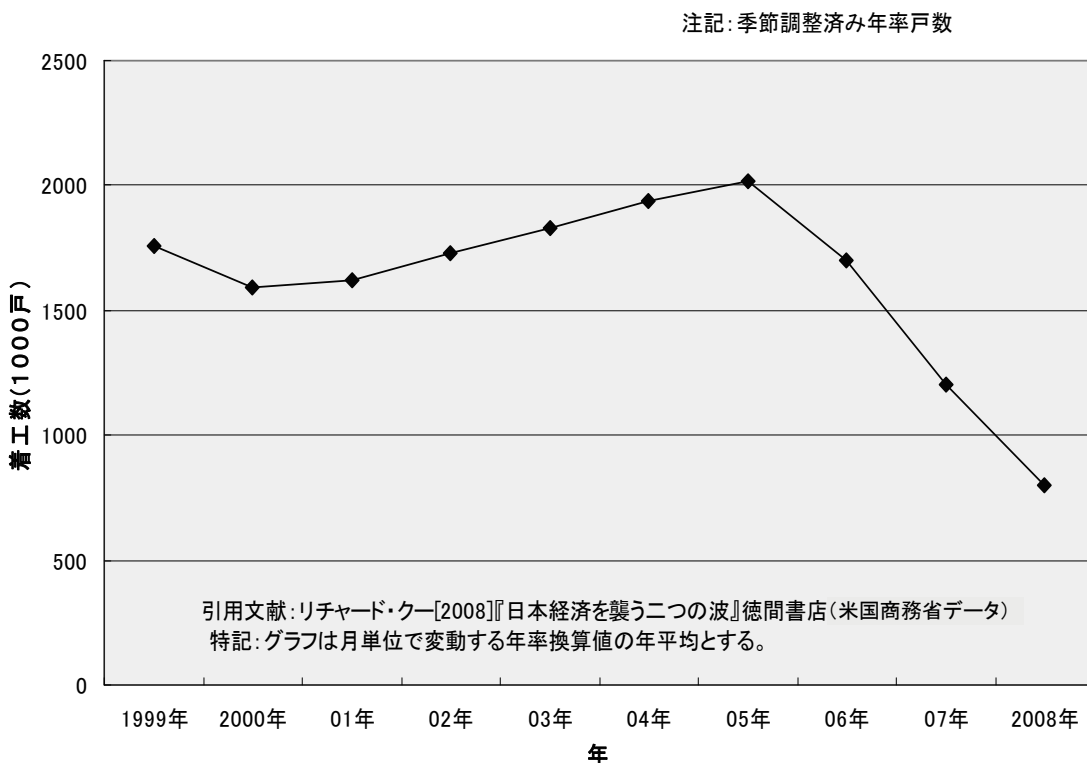
一方、図表2 はハイリスク技術投資の意思決定に責任を負う CTO に求められるオプション的投資マインドを図形化したものである。

その意味で図表2 は企業競争の勝者のオプション的投資意思決定モデルである。この投資意思決定モデルの最大の特徴は、競合他社に比して新事業の市場ライフサイクル周期の4分の一周期だけ前倒しに意思決定（実行を伴う意思決定）することを示唆している点である。具体的に言えば、企業内社員が売り上げ増に酔いしれている時期（市場成熟期）に CTO は密かに投資縮小（リストラ含む）を意思決定することになる。

このようにオプション理論はハイリスクな技術投資の意思決定を迫られる技術系企業の CTO にとって極めて有効であると思われる。ところで上記のオプション理論は元々、企業の株式取引の理論である。不特定多数の投資家が株式取引市場を信用する根拠は「上場するすべての企業の経営者は自社の収益向上にベストを尽くすはずである」という信念に基づいている。確かに上場するすべての企業がいつせいに経営努力を放棄することはない。だからこそ株式投資家による安定的大量売買が成立してオプション理論が適用できるのである。この事実こそオプション理論の根底的な成立条件である。

#### 4. 米国の金融危機とオプション理論の関係

2006年後半より米国において金融危機が表面化した。その引き金となったのはサブプライムローン（低所得者向けのハイリスク住宅ローン）の延滞率増加といわれる。図表3 に米国の住宅着工数の推移を示す。2001年初頭にブッシュ政権が誕生して以来、米国では住宅ブームが起きた。図表3 によれば、2005年末から2006年初頭にかけて住宅バブルの崩壊が起きていることがわかる。



図表3 米国住宅着工数

サブプライムローン延滞率増加が表面化して、住宅ローンの急激な貸し渋りが起きたことが米国の住宅バブル崩壊につながった。米国では80年代より住宅ローンの証券化が始まっていたが、不良債権化する危険の高いサブプライムローンは、そのリスクヘッジを目的に複合型デリバティブ(CDO; Collateralized Debt Obligation など複合型金融派生商品)に組み込まれて、国際金融機関を通じて世界中に販売されていた。そのため、サブプライムローンの不良債権を含むことが暴露されたデリバティブ市場全体の信用収縮が一挙に拡大し、世界同時金融危機に至った。その結果、デリバティブ商品開発の理論的バックボーンであるオプション理論までが批判に晒されている。

図表2の新事業の市場曲線と図表3の米国住宅着工数の市場曲線を比較すると、両者ともに市場の成長と衰退のライフサイクルが描かれる。オプション理論を当てはめれば、2004年から05年にかけて米国の住宅市場の状況は明らかに「プットの買い」オプションである。すなわち「投資の削減」が正しい投資ポートフォリオであった。現に米国のFRB(中央銀行)は2004年から05年にかけてFFレート(米国連邦政府の政策金利)を引き上げ始めた。金利引き上げは過熱した住宅バブルにブレーキをかける結果となった。その政策自体に誤りは見出せない。しかしながらブッシュ政権はFRBが金利引き上げを決める前に、米国のハイリスクな住宅ローンを複合型デリバティブに組み込むことを規制していなかった。もし規制していれば、金利引き上げにより米国の住宅バブルの崩壊のみが起きて、巨大なデリバティブ世界市場の信用崩壊には至らなかったはずである。サブプライムローンの証券化商品は図表3に示

すような2000年以降の右肩上がりの住宅需要曲線に依存して、低いボラティリティでオプションプレミアムが計算されていたのである。結果的にサブプライムローンのリスクが潜在化してしまった。ところがFRBの金利引き上げが裏目となってサブプライムローンの潜在リスクがあぶり出されたのである。その結果、サブプライムローン証券化商品を含むデリバティブ市場の信用収縮が世界規模で瞬時に拡大したのである。デリバティブはわずかなトラブルがあっても、それをきっかけに信用収縮の連鎖反応が起こることを、デリバティブのプロ集団である国際金融機関が予知できなかったはずがない。信用収縮の規模はともかく、何かのきっかけで金融危機が勃発する危険はある程度、織り込み済みであったはずである。米国のデリバティブ金融システムがかなり以前から一触即発の危機に瀕していたことは、米国連邦政府の国家情報評議会（NIC：National Intelligence Council）が2008年11月に発表した緊急報告書<sup>（注3）</sup>から推察できる。

## 5. まとめ

以上の考察から、近年の世界同時金融危機の原因がデリバティブ世界市場の信用崩壊にあるのは確かであるが、デリバティブの理論的バックボーンであるオプション理論自体に疑義があるとはいえない。ブラック＝ショールズの公式に代表されるオプション理論を応用する技術投資評価は依然として有効である。したがって、技術経営領域にオプション理論を応用することに疑義があるとはいえない。

### 注記：

注1：大村敬一、『オプション理論と応用』、東洋経済新報社、1988年

注2：山本尚利、『テクノロジーマネジメント』、日本能率協会マネジメントセンター、1991年

注3：National Intelligence Council, “Global Trends 2025: A Transformed World”, Nov. 2008

