JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	R&Dプロジェクト決定手法の一考察 ： リアル・オプション適用可能性
Author(s)	中邨，良樹；阿部，仁志；辻，正重
Citation	年次学術大会講演要旨集，16：357-360
Issue Date	2001-10-19
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/6681
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般論文

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

2C02

R&Dプロジェクト決定手法の一考察
—リアル・オプション適用可能性—

○中邨良樹（青学大理工），阿部仁志（沖電気），辻　正重（青学大経営システム工学）

1. はじめに

戦後における日本企業の成長要因は，新製品の種（プロトタイプ）を欧米で発掘し，それを生産・品質管理などの組織的開発によって，競争力のある高品質・低価格の商品に仕立て上げてきたことである〔1〕．そして，生産あるいは販売第一主義を掲げ，世界市場から事業機会を獲得してきた．しかしながら，80年代後半より，欧米諸国による知的財産権の主張などから技術輸出が困難になってきた．その結果，わが国が得意とする製品開発活動が十分に活用できなくなり，経済成長の成熟化がはじまった．また，近年の製造業に目を向けると，情報・通信・輸送の飛躍的な発展により，グローバル化・ボーダレス化が一段と進行し，世界経済が本格的な大競争（メガ・コンペティション）の時代に入った．

そこで，今後の企業経営には高付加価値な製品・サービスを，タイムリーに，かつ顧客ニーズのあったものを，短期サイクルで創出していかなければならない．したがって，技術革新がますます重要であり，そのためには研究開発できる体制と環境，そして高度なマネジメントが必要になってくる．

本研究では，研究開発マネジメントの重要な課題の一つである研究開発プロジェクトの評価に注目する．特に，リアル・オプション法というプロジェクト評価法に注目する〔2〕〔3〕．これは，事業評価を現時点の経営者の判断のみならず，不確実性が高い事業環境下の状況を含めて経営判断ができる事業価値算出法である．この方法は，近年の技術発展に大きく貢献した，また今後もそうであろうバイオテクノロジーやE-Commerce，研究開発などのスタートアップ事業に適していると言われている〔4〕．また，多くの企業の適用事例〔5〕及び研究報告〔6〕〔7〕がなされている．

しかしながら，これらの先行研究より企業の研究開発投資とリアル・オプション法との関係を分析したものは見つからない．そこで，本研究は携帯電話会社がPDA市場への参入する場面を想定し，その際，研究開発投資がどの程度のプロジェクト価値を生み出すかを，リアル・オプション法で算出することを試みる．

そのために，まず企業でのプロジェクト評価に一般的に用いられている正味現在価値法（NPV）の方法及び問題点を抽出する．次に，NPVとリアル・オプション法との比較を事例を踏まえ行い，そして，リアル・オプション法の概要について説明する．最後に，携帯電話会社がPDA市場に参入する際に得られるリアル・オプションの算出，さらにはモンテカルロ・シミュレーションを通じて研究開発投資が及ぼすプロジェクト価値の影響度を考察する．

2. 研究開発プロジェクト評価法

2. 1 正味現在価値法（NPV）

現在，企業のプロジェクト評価には，正味現在価値法（NPV：Net Present Value）が最も多く利用されている〔8〕．これは，「計画されたキャッシュフローを現在価値に割引，それに初期投資の現在価値を差し引く．これがプラスであれば企業価値を増加させるプロジェクトである」というものである．算出式は，

$$NPV = -I_0 + \sum_t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \qquad (1)$$

ただし，NPV：正味現在価値，t：予測期間，I_0：初期投資額，CF_t：t期のキャッシュフロー，r：割引率，である．

しかしながら，この方法はあらかじめいくつかの問題を解決しておく必要がある．それは〔9〕，

① 投資からの期待利益などを税金やインフレなどの影響を考慮し，あらかじめ推定する必要性がある
② 割引率をどのような値にするべきなのかを考慮する必要がある

などである．また，いくつかの前提を暗に認めて正味現在価値を算出している．それは，

① 全く偶発性の存在しない固定されたシナリオを前提としている．つまり，プロジェクトをスケジューリング通り開始・完成し，一定のキャッシュフローを生みだすとしている

② 投資をいま行うか，もしくは二度とできないか（いま投資しなければ，投資機会は永遠に失われる）という選択しかない

などである．しかしながら，投資に対する情報というものは，時間が経てば多くが得られるはずである．つまり，市場や経営環境の悪化によって投資を中止・撤退，反対に好転した場合には投資を拡大するという意思決定（オプション）が生まれるはずである．経営トップが投資の情報として必要なものは，「いま投資するか，来年か，再来年か」ということを決定するための複数の情報及び可能性である．したがって，今後の投資意思決定には，不可逆性，不確実性，タイミングを考慮していかなければならない．

このような投資に対する意識の変化より，近年リアル・オプション法が注目を浴びている．

2.2 リアル・オプション法（決定木分析）

リアル・オプション〔2〕〔3〕とは，不確実性の高い事業環境下で経営のもつ選択権（オプション）のことをいう．金融資産（Financial Option）に対して，金融資産以外の実物資産（Real Asset）に対するオプションであるからリアル・オプションと呼ばれている．具体的には，NPV法によって求めた正味現在価値に加えて，投資の延期，拡大，縮小，撤退，転用等，将来の投資決定に必要な情報及び不確実性も加味した実物資産投資の評価手法である．

具体例をNPVとの比較を通じて行う．例えば，ある期に200億投資すると，1年目に100億，2年目以降は，高収入（2年目150億，3年目300億），中収入（100億，100億），低収入（-100億，-200億）の三つの可能性が考えられるプロジェクトがある．それぞれの確率は1/3である．このプロジェクトの価値をはじめにNPVで算出することを考える．割引率は6%とする．キャッシュフローの期待値は，

$$CF=\left(\frac{100}{1+0.06}+\frac{150}{(1+0.06)^2}+\frac{300}{(1+0.06)^3}\right)\times\frac{1}{3}+\left(\frac{100}{1+0.06}+\frac{100}{(1+0.06)^2}+\frac{100}{(1+0.06)^3}\right)\times\frac{1}{3}+\left(\frac{100}{1+0.06}+\frac{-100}{(1+0.06)^2}+\frac{-200}{(1+0.06)^3}\right)\times\frac{1}{3}=195$$

となるから，式(1)より，

$NPV=-200+195=-5$

となり，プロジェクトは「棄却」される．

しかし，ここで「撤退」というオプションを考える．つまり，2年目以降の収入がマイナスになることがわかった場合は，このプロジェクトは中止・撤退するというオプションである．その場合のキャッシュフローの期待値は，

$$CF=\left(\frac{100}{1+0.06}+\frac{150}{(1+0.06)^2}+\frac{300}{(1+0.06)^3}\right)\times\frac{1}{3}+\left(\frac{100}{1+0.06}+\frac{100}{(1+0.06)^2}+\frac{100}{(1+0.06)^3}\right)\times\frac{1}{3}+0\times\frac{1}{3}=249$$

となるから，

$NPV=-200+249=49$

となり，このプロジェクトは「実行すべし」ということになる．

このようにオプションを追加することにより，より高いプロジェクト価値を算出することができる．なお，このような方法でリアル・オプションを算出する方法を「決定木によるリアル・オプション算出」と言われている〔2〕．

2.3 ブラック＝ショールズ・モデル

2.2において，プロジェクト価値をオプションと決定木，さらにNPVを組み合わせたものより算出した．しかし，NPVを用いているためそれが持つ問題点を解決したわけではない．つまり「割引率」の存在である．この「割引率」の決定には主観的要素が入り込むこと，さらには低い値を選択した場合，遠い将来発生する収益に比重が置かれ，反対に高い場合は遠い将来の収益の比重が低くなり，プロジェクト評価に関して近視眼的に対応することになる，という問題点がある〔9〕．

そこで，オプション・プライシング理論を導入してプロジェクト評価を算出する方法がある〔3〕．これは，原資産の価格と変動性（ボラティリティ）がわかれば，資産の期待収益率がわからなくてもオプション価値が算出される，というものである．リアル・オプションを決定木やNPVで評価する場合は，キャッシュフローを資本コスト（リスクフリーレート+リスク・プレミアル）で割り引く．ただし，リスク・プレミアルは評価者によって代わってくる．それに対し，オプション・プライシング理論を使用して評価する場合，キャッシュフローはリスクフリーレートで割り引かれる．したがって，オプション・プライシングで行ったほうがより客観性が高いと言える．このオプション・プライシング理論を定式化したものに，「ブラック＝ショールズ・モデル〔3〕」というものがあ

る.

$$C_t = S_t N(d) - Ke^{-rt} N\left(d - \sigma\sqrt{\tau}\right) \quad (2)$$

ただし, $d = \left[\ln(S_t/K) + \left(r + \sigma^2/2\right)t\right] / \sigma/\sqrt{\tau}$ (3)

S_t：原資産価格, K：権利行使価格, t：満期までの期間, γ：原資産のボラティリティ, r：リスクフリーレート, $N(z) = \int_{-\infty}^{z} n(z)dx$：標準正規分布, $n(z) = e^{-x^2/2}/\sqrt{2\pi}$：標準正規密度関数, である.

原資産価格とは, 期待キャッシュフローの現在価値である. これを推計する方法としては, 過去の取引事例を参考にする方法, DCF 法を用いる方法がある. 権利行使価格とは, 事業を立ち上げるための初期の資本投資額である. 満期とは, 立ち上げる事業が有効である期間を指す. 原資産のボラティリティとは, 事業の現在価値の変動性である. リスクフリーレートは, リスクのない投資対象から得られる利回りのことである.

2.2 の例題をブラック＝ショールズ・モデルで算出すると, プロジェクト価値が 19.44 となり, NPV より算出した値より大きくなる. なお, リスクフリーレートは 5%, 原資産のボラティリティは 20%で計測した.

以上より, NPV は「キャッシュフローの現在価値, リスクフリーレート, 投資額の現在価値」を考慮しているのに対し, このブラック＝ショールズ・モデルを用いることにより「予想キャッシュフローの不確実性, プロジェクト期間, 資産変動性」も加味することから, より精度の高いプロジェクト価値を算出できる〔5〕.

3. PDA 市場へのリアル・オプション法適用事例

本研究では, 企業の研究開発投資決定にリアル・オプション法を適用することを試みる. その対象に PDA 市場を想定する. さらにモンテカルロ・シミュレーションを通じて, 研究開発投資がリアル・オプションに及ぼす影響度を考察する.

PDA とは, Personal Digital Assistant の略で, 個人情報を管理するツールである. これにはスケージュール管理やアドレス帳がついており, それらに関連した情報が, 簡単に検索できるというものである. 今後は, 携帯電話に代わる次世代の情報管理・電話ツールとして注目を浴びており, この PDA 市場に携帯電話会社が参入することが予測できる〔10〕.

そこで, はじめに 1) 携帯電話会社（NTT ドコモ, au, J－フォン）3 社が 2005 年に PDA 市場参入, という仮説を立てる. そして 2) 3 社が 2002 年に PDA 市場参入のための研究開発投資を行い, それがどの程度のプロジェクト価値を生成するかをブラック＝ショールズ・モデルより会社別に算出する. さらに, 3) 研究開発投資の感度がどの程度のプロジェクト価値に影響を与えているかをモンテカルロ・シミュレーションを通じて考察する. シミュレーションの概念図を図 1 に示す.

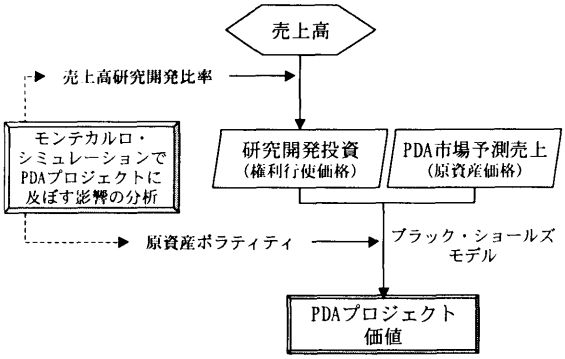

図 1 シミュレーションの概念図

3.1 シミュレーション初期値の設定

シミュレーションの初期値のデータ計測方法を表 1 に示す. 原資産価格は, 矢野経済研究所〔10〕が予測している 2002 年から 2005 年までの PDA 市場規模, さらに NTT ドコモ, au, J－フォンの 3 社の市場規模比率をもとに, 予想売上高を算出し, それを現在価値に割り引いたものを用いる. なお, 矢野経済研究所のデータは, 機器メーカーの予測売上高であるため, サービス業である携帯電話会社の予測売上高に変換する必要がある. そこで, 本研究は過去の売上データをもとに, 矢野経済研究所の予測売上高の 10 倍が携帯電話会社の予測売上高として処理した. 権利行使価格は, 3 社が公表している財務諸表より売上高研究開発比率を計測し, これの 20%を PDA のための研究開発投資額とした. 原資産のバラティリティは, 契約者数より算出した. 理由として, 携帯電話会社の資産・価値変動に影響を与える要因として契約者数が最もよく説明していると考えたためである. リスクフレーレート及び満期までの期間はそれぞれ 5%と 3 年とした.

表 1 初期値の計測方法

原資産価格	PDA市場予測売上（携帯電話会社でシェアを前提）
権利行使価格	研究開発投資の20%
リスクフリーレート	5%
満期までの期間	2002年から2005年の3年
原資産のボラティリティ	携帯電話会社別に過去の契約者数より推定

3.2 シミュレーション結果及び考察

PDA プロジェクト価値を, ブラック＝ショールズ・モ

デルで計測した結果を表2に示す．もっとも大きな値はJ－Phoneの87.611百万円である．次に，NTTドコモ，auと続く．現在公表されている研究開発投資をもとに，PDA市場参入した結果，最も効果の大きい企業はJ－フォンとなった．

表2 リアル・オプション算出結果

		NTTドコモ	au	J－フォン
原資産価格	S_t	¥28,598.27	¥9,465.85	¥7,905.38
権利行使価格	K	¥6,862.39	¥2,885.00	¥1,133.75
リスクフリーレート	r	5%	5%	5%
満期までの期間	t	3	3	3
原資産のボラティリティ	s	3.117%	5.276%	5.119%
売上高研究開発比率	a	0.350%	0.226%	0.276%
プロジェクト価値		¥79.272	¥73.672	¥87.611

3.3 モンテカルロ・シミュレーション

次に，3.2のブラック＝ショールズ・モデルを利用して，売上高研究開発比率とボラティリティがもたらす変動が，リアル・オプションにどの程度の影響を与えるかを，モンテカルロ・シミュレーションを通じて考察する．なお，売上高研究開発比率には対数正規分布，ボラティリティには正規分布を設定する．

表3 モンテカルロ・シミュレーション設定値

		売上高研究開発比率	ボラティリティ
NTTドコモ	分布	対数正規分布	正規分布
	平均	0.35%	3.12%
	標準偏差	0.10%	0.50%
au	分布	対数正規分布	正規分布
	平均	0.23%	5.28%
	標準偏差	0.10%	0.50%
J－フォン	分布	対数正規分布	正規分布
	平均	0.28%	5.12%
	標準偏差	0.10%	0.50%

結果を表4に示す．標準偏差はauが最も大きく，NTTドコモ，J－フォンと続く．auが2位，つまりNTTドコモを追い抜く確率は37.5%となる．しかし，auは1位になることは難しい．また，J－フォンの標準偏差が小さいということから，安定したプロジェクト価値になることがわかる．

表4 モンテカルロ・シミュレーション結果

	NTTドコモ	au	J－フォン
試行回数	1000	1000	1000
平均値	79.145	73.262	87.571
中央値	79.710	75.192	88.485
標準偏差	5.702	11.481	4.605
分散	0.325	1.318	0.212
歪度	-54.147	-124.579	-121.327
尖度	312.419	597.975	520.031
変動係数	7.204	15.672	5.258
最小範囲	58.700	2.776	64.843
最大範囲	91.687	93.661	96.497
範囲	32.987	90.886	31.654
標準誤差	0.180	0.363	0.146

4. おわりに

本研究は，研究開発プロジェクト評価法の重要性を認識し，リアル・オプション法に注目した．そのために，現在企業で一般的に利用されている正味現在価値法（NPV）とリアル・オプション法との比較を例題とともに考察し，さらにブラック＝ショールズ・モデルの有効性を検証した．また，研究開発投資の決定にリアル・オプション法を導入するために，携帯電話会社がPDA市場に参入するという場面を想定し，PDAプロジェクト価値を計測した．企業の研究開発投資決定のためのリアル・オプション法の利用というアプローチは，筆者の知る限りはじめてであり，リアル・オプション法の企業適用可能性の一部を示唆したと考える．

今後，企業にリアル・オプション法適用のための研究課題としては以下があげられる．たとえば 1）企業の研究開発プロジェクトには新規と継続の研究が存在するので，継続研究のためのリアル・オプション法の提案，2）複数の研究開発プロジェクトの相互関係を考慮した評価法，さらには 3）研究開発プロジェクトの制約条件（費用など）を考慮した評価法，などである．これらは今後の研究を待たねばならない．

参考文献

〔1〕 藤末 健三，「技術経営入門」，生産性出版，1999

〔2〕 山本 大輔，「入門リアル・オプション」，東洋経済新報社，2001

〔3〕 Lenos Trigeorgis，「リアル・オプション」，エコノミスト社，2001

〔4〕 Dean A. Paxson, "Introduction to real R&D options," R&D Management, Vol.31 (2), 2001

〔5〕 Hans-Helumth Jung, Friedrich Pinnekamp, "Real Option Approach for R&D-Projects Applied by ABB," Proceedings Vol-2 Papers Presented at PICMET'01, 2001

〔6〕 Manfred Perlitz, Thorsten Peske, Randolf Schrank, "Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation," R&D Management, Vol.29 (3), 1999

〔7〕 Arnd Huchzermeier, Christoph Loch, "Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D," Management Science, Vol.42 (1), 20001

〔8〕 Peter Boer，「The Valuation of Technology: business and financial issues in R&D」，Wiley，1999

〔9〕 白壁 文次，「Diamond Harvard Business 9月号」，ダイヤモンド社，2000

〔10〕 土佐 恒広，"携帯情報端末（PDA）市場の調査結果，" 矢野経済研究所，http://www.yano.co.jp/，2001