

リアルオプションによる情報システムの評価

小 松 昭 英

まえがき

1. 産業構造／企業経営の変化
2. 設備投資の伝統的評価法
3. リアルオプションによる評価法
4. 情報システムの費用対効果の変化
5. リアルオプションによる評価

ま と め

付録

まえがき

わが国を覆う閉塞感は、新しい産業構造の到来——成長型社会から定常型社会への変化——を予告するものであり、その変化を加速するかのように、情報通信技術（IT）の発展はサプライチェーンの形成を促し、企業形態を垂直統合型から水平分散型へ、すなわちモジュール化を推進させつつある。この変化に対応して、企業経営も「規模の拡大」、「売上高」や「利益」を重視することから、投資効率すなわち「総資本利益率」や「株主資本利益率」を重視するようになってきた。さらに最近では、実際の現金の出入を示す「キャッシュフロー」や「経済付加価値」（EVA）を経営指標として重視する企業が増えてきた。

一方、設備投資の経済性評価のためには、伝統的に種々の指標、たとえば回収期間、正味現価、内部利益率などが、その時の社会情勢に応じて使われてきた。米国では1955年頃を境に、それ以前は回収期間が、それ以降は正味現価／内部利益率が使われてきた。しかし、わが国では最近まで回収期間が使われてきた。

情報システムの投資については、従来情報システム自体が内部的／サブシステム的存在であったということもあって、独立したプロジェクト投資として扱うことが難しい上に、その経済的効果も十分でないことが多かったので、経済性だけでその投資を正

当化することは難しかった。最近になって、ITの進歩普及により、統合基幹業務システム（ERP）、サプライチェーンマネジメントシステム（SCM）、顧客関係管理システム（CRM）などが導入されるようになると、経済性評価をせざるを得ないほどの投資規模になるとともに、その経済的効果も不確実性はあるものの明示的に把握できるようになってきた。

最近になると、金融工学の進歩にともなう、情報システムの経済性評価にリアルオプションが使われるようになってきたが、経済性評価法として定着したとはいえない状況にある。そこで、情報システムの経済性評価法としての妥当性を、従来の伝統的経済性評価法と比較することで検討することにした。

1. 産業構造／企業経営の変化^{1,2,3,4)}

現在わが国は、あらゆる局面において閉塞感に覆われており、これは戦後あるいは明治維新以来のわが国が一貫して追い求めてきた「経済成長」あるいは「物質的富の拡大」という目標が、もはや目標として機能しなくなってきた上に、さらにそれに代わる新たな目標が見出せないでいるためと考えられている。すなわち、戦後50年間日本社会では、「経済成長」あるいは「物質的富の拡大」が究極的な目標となり、企業や官庁などを含む経済システムも、学校や家庭を含む社会のあらゆる制度も、「成長」という目標に向けて強力で編成され、またその目標を実現し続けることができたのである。

しかし、一方で無限に拡大する経済・市場は「資源の有限性」と「廃棄物処理能力の有限性」すなわち「環境の有限性」という問題を顕在化させることになった。また同時に、「物質的富の拡大」は「少子化社会」すなわち「高齢化社会」を招き、経済成長の究極の源泉である需要そのものが成熟ないし飽

和状態に到達することになった。わが国をはじめとして欧米の先進国諸国は「経済成長」を目標としなくとも十分に豊かな「ゼロ成長」社会、すなわち「定常型社会」を目標とせざるを得なくなったのである。さらに、特にわが国で、その閉塞感を助長しているのは、多くの製造現場がアジアに移転するという空洞化の急速な進展である。このような悲観的な見通しのなかで、1990年代の米国製造業のITによる急速な発展にあやかって、ITがわが国の救世主になるものと期待されている。

一方、企業が重視する経営指標も、このような企業を取巻く環境や時代背景の影響を受けており、戦後の高度成長経済においては「規模の拡大」が重視され、「売上高」や「利益」に注目する傾向が強かった。特に、利益の項目の中でも、わが国の経済が長らく銀行を中心とする間接金融にささえられていたこともあり、借入金の利子を支払った後の利益である経常利益が、経営指標として伝統的に重視されてきた。

ところが、高度成長経済から低成長経済に移行すると、投資の「効率」を高めることに関心が集まり、「総資本利益率」や「株主資本利益率」が注目されるようになった。さらに最近では、損益計算書や貸借対照表の数字ではなく、実際の現金の出入を示す

「キャッシュフロー」を経営指標として重視する企業が増えてきた。総資本利益率、株主資本利益率やキャッシュフローという指標に共通なのは、資産あるいは資本を重視するということであり、資本が外部の投資家によって提供されていることから、企業が投資家に対して提供しているリターンを重視するということである。さらに、企業が株主に対して提供する価値をより正確に表す「経済付加価値」(EVA: Economic Value Added) が注目され、既に一部の企業に導入されている。ここで、

$$\text{経済付加価値} = \text{税引後正味利益} - \text{投下資本} \times \text{資本コスト}$$

であるが、1970年代に化学工業の世界で、投資利益(Venture Profit)といわれていた指標と同じで、投下資本に上限があるときに税引後正味利益を最大にするという、条件付き極値問題として定式化するとき、その解として求められるものである。

2. 設備投資の伝統的評価法^{5,6,7,8,9,10)}

ツヴィ・ボディ、ロバート・C・ノートン著「現代ファイナンス論」には、正味現価 (NPV: Net Present

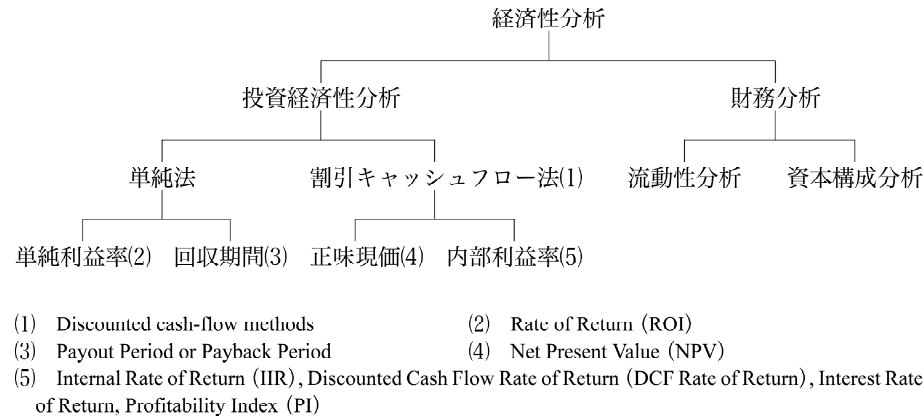
表1 経済性評価の枠組み⁷⁾

タイミング		税金	
プロジェクト開始	1984	連邦および州税税率	50 %
建設期間	5 年間	投資税クレジット	10 %
運転期間	20 年間	償却 (ACRS 法**)	5 年
価格とコスト		財務	
推算基準年	1983	自己資本利益率	20 %
インフレーション年率	6 %	自己資本	25 %
エスカレーション年率*	1 %	借入金	75 %
運転		借入金利子率	10 %
製品生産量	50,000 BPCD	返却期間***	8 年
稼働率			
運転開始年	50 %		
2 年度以降	85 %		

* 製品にのみ適用

** 加速コスト回収法 Accelerated Cost Recovery System

*** 運転開始後 1 年後から均等返済

図1 経済性評価の体系¹⁰⁾

Value) がプロジェクト投資の評価法として紹介されているが、一般には正味現価に加え、内部利益率 (IRR: Internal Rate of Return) あるいは回収期間 (Payout Time) が使用されている。なお、我が国では、回収期間が多用されてきた。

なお、投資プロジェクトを評価する際には、必ずしも明示されているわけではないが、ある経済的な枠組みを前提にしている。その典型的な枠組みを表1に示した。

これは、第11回世界石油会議のある論文で発表されたもので、ある開発途上の技術の評価をしたものである。プロジェクトの設計建設を始めるタイミング、設備の稼働期間、評価をする基準年、その間のインフレーションとエスカレーション、設備の能力とその能力に到達するまでの間の稼働率、税金および設備資金の調達条件というようなプロジェクト評価の枠組みを設定しているもので、プロジェクト評価の典型的な例と言えよう。

伝統的経済性評価としては、すでに述べたように、正味現価、内部利益率、回収期間などの指標が使われてきたが、これらの指標の相互関係を図1に示す。

3. リアルオプションによる評価法^{11, 12, 13)}

2004年に予定されている四半期ごとに連結ベースの損益計算書や貸借対照表を公表する四半期決算の法制化は、企業経営そのものの情報化を推進するものであり、特に、企業経営に関わる情報を一元管理

するERPの導入が不可避になりつつある。さらに、熾烈な企業間競争に生き残るためには、ERPを核としてSCM/CRMさらにはMESなどの構築・統合も不可避になりつつあり、それに応じて情報システム投資の増大も不可避になりつつあるといえよう。一方、情報システム自体も、ERPのように企業活動を裏方として支援するためのツールに加えて、SCMのようにコストを低減し利益を増大させるためのツールが登場しつつあり、今や企業システムなしの企業活動は考えられない状況になっている。また企業システムを構成する情報システムといえども、特定の事業に付随するサブシステムというよりも独立した事業として扱えるような状況になりつつある。このような状況を迎えて、企業システム投資の評価について、新しい評価方法が試みられるようになってきた。すなわち、従来のDCF法に加えて、モンテカルロDCF、デシジョン・ツリー・アナリシス、さらにリアルオプションの適用が検討されるようになってきた。

DCF法は、プロジェクト投資の経済性を評価する方法として最もポピュラーな手法である。プロジェクトから得られる将来の毎年のフリー・キャッシュフロー（営業キャッシュフローから、経営活動を継続するのに最小限必要な出費を差引いたキャッシュフローで、実務では、（営業キャッシュフロー）－（設備投資）、または（税引後営業利益）＋（減価償却費）－（設備投資）－（運転資本増減）と計算される）を、資本コスト（割引率）で割り引いて毎年の事業

の現在価値を計算し、プロジェクトの現在価値 (PV) を求める方法である。投資の意思決定は、計算された現在価値から投資額を比較し、すなわち現在価値から投資額を差引いた価値を事業の正味現在価値 (NPV) とし、現在価値が投資額を上回った場合、すなわち正味現在価値が正の場合、合理性があると判断する。

一般に、DCF 法の割引率は、WACC (Weighted Average Cost of Capital) という方法で計算される。この計算には、株主資本部分のリスクプレミアムの推定が困難であるし、負債部分と株式部分の構成、すなわち資本構成が客観的に決められないという問題点があり、投資意思決定の手法として、主流でありつづけるためには、より説得力のあるリスクプレミアムの推定を行うことが重要である。

一般に、成熟した産業や規制産業では、事業の不確実性が低いので、DCF 法による事業価値の評価が適しているが、情報システムの場合は不確実性が高く、特にオプションを持つ場合に DCF 法を単純に適用しても、必ずしも正しく事業価値を評価することはできない。

リアルオプション法においても、原資産価値 (プロジェクトの現在価値) が市場価格や過去の取引事例をもとに客観的に推定できない場合、原資産価値の推計に DCF 法を用いざるを得ない。しかし、結局のところ、株主資本部分のリスクプレミアムの推計方法が概算であり、ある程度恣意的に数字を動かせるし、起こり得る多くのシナリオを設定しても、そ

のシナリオが固定的であるから、十分不確実性を考慮することが出来ない。そこで、考えられたのが、次に述べるモンテカルロ DCF 法である。

1) モンテカルロ DCF 法

この方法は、経営上のオプションがなく、将来の事業環境の不確実性が高い場合に適用する評価方法である。この方法は、モンテカルロ・シミュレーションを DCF 法に適用したものであるが、モンテカルロ・シミュレーションとは、将来起こり得る事象を確率分布として定義し、その確率分布に従った乱数を大量に発生させ、現実に関わり得る事象の実験を行う手法である。すなわち、この手法は企業価値を決定づける重要な要素の将来の見通しを予め確率分布として定義するのであるが、その要素としては、製品価格、人件費、原材料費、主要製品の需要量、為替レート、金利などがある。

モンテカルロ DCF 法は具体的には、表 2 の手順を踏んで実行され、その計算には、よく Microsoft 社のエクセルと、そのアドインソフトウェアである Decisioneering 社の Crystal Ball (CB) が使用されている。この研究でも CB を使用している。

モンテカルロ DCF 法は、将来のシナリオを動的にとらえることができるため、将来起こりうる多くのケースを網羅できる。この方法で推計された事業価値の分布は事業リスクを判断する上で有用な情報である。さらにモンテカルロ DCF 法は、経営のもつオプションを考慮して発展させることでリアル・オブ

表 2 モンテカルロ DCF 法の計算手順

- 1) バリュ・ドライバーの特定 (CB: 仮定セルの定義)
バリュ・ドライバーとは、事業価値に大きな影響を与える要素のことで、将来の製品の価格、生産コスト、為替、主要製品の需要量などが一般的である。
- 2) バリュ・ドライバーの確率分布の設定
事業価値に大きな影響を与える要素 (バリュ・ドライバー) のうち、不確実性の大きい要素のみ、将来の確率分布を推計する。
- 3) モンテカルロ・シミュレーションの実行 (CB: 予測セルを定義し実行)
バリュ・ドライバーの設定が終わったら、キャッシュフロー・プロジェクトに確率分布を織り込んでモンテカルロ・シミュレーションを行う。
- 4) 事業価値の推計
モンテカルロ・シミュレーションの結果に DCF 法を適用して事業価値の分布を推計する。

ションを評価できる。

2) デシジョン・ツリー・アナリシス

この方法は、実現可能性のある将来の経営上のオプションを時系列に樹木型に表記し、各々の樹の付け根（ノード）に至る確率を使って事業価値を計算する方法である。デシジョン・ツリー・アナリシスは、将来の経営上のオプションを織り込んで経営の柔軟性の価値を評価することが可能である。さらに、デシジョン・ツリー・アナリシスの利点は、意思決定の違いによる事業評価の変化が視覚的にわかりやすい点である。

デシジョン・ツリー・アナリシスとリアル・オプションの違いは、経営の柔軟性を評価できるという意味では、デシジョン・ツリー・アナリシスもリアル・オプションも同じであるが、その違いはキャッシュフローの割引に WACC を使うかリスクフリーレートを使うかである。リアル・オプションでは、現実のキャッシュフローを、仮想的なリスク中立確率下でのキャッシュフローに変換するため、キャッシュフローはリスクフリーレートで割引かれることになる。

3) リアルオプション

リアル・オプションとは、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。金融オプション（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ことから、リアル・オプションと呼ばれる。

リアル・オプション価値（ROV: Real Options Value）として事業資産を評価する場合、現時点での経営者の判断のみならず、事業環境が変化した場合に下されるであろう経営判断も含めて事業資産の価値を計算する。不確実性の高い事業環境下では、新たな状況に対応できる柔軟性や経営上の選択権は、経済上の価値を持つと考えられるからである。

一方、従来の NPV では、プロジェクトの途中で予期せぬ事態が発生する可能性があっても、現時点で考えられるシナリオが変更されないという前提で

事業資産価値が計算される。したがって、ROV として評価された事業資産価値は、従来の DCF 法で計算した事業資産の価値より大きな値となる。そのため、ROV は、拡張 NPV とも呼ばれる。

NPV も ROV もプロジェクト期間を通したすべてのキャッシュフローを対象として、キャッシュフローを現価に割引くことから、いずれも割引きキャッシュフローと考えられる。しかし両者には根本的な相違があり、NPV は ROV の特殊なケースで、NPV は意思決定に関するフレキシビリティを考慮しない場合の ROV であるといえる。

リアルオプションを評価するには、多くの手法があるが、リアルオプションは狭義のリアル・オプションと広義のリアル・オプションに分けられている。

・狭義のリアルオプション

金融オプションの評価に使用するオプション・プライシング理論を使って、リアル・オプションを評価する方法である。ブラック＝ショールズ・モデル、バイノミアル・モデルなどによるリアル・オプション価値評価がこれに該当する。

ブラック＝ショールズ・モデルは、次の7つの仮定を前提にしており、これらがリアルオプション分析に試用する際の限界になっている。

- a) オプションを行使できるのは満期時に限る（ヨーロピアンオプション）
- b) 不確実性要因は一つのみである。レインボーオプションは取り扱えない。
- c) 単一のリスキーな原資産にもとづくオプションであり、コンパウンドオプションは取り扱えない。
- d) 原資産から配当は支払わない。
- e) 現在の市場価格と原資産の確率過程は既知である。
- f) 原資産の収益率の分散は時間によらずに一定である。
- g) 行使価格は既知で一定である。

・広義のリアル・オプション

DCF 法やデシジョン・ツリー・アナリシスなど、

オプションプライシング理論を使わずにリアルオプションを評価するものである。リアルオプションの評価にオプションプライシング理論を使う場合、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。一方、リアルオプションをデシジョン・ツリー法やDCF法で評価する場合は、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・プレミアム）で割り引く。ただし、リスク・プレミアムは、評価者のリスクに対する認識により異なる場合があるので、事業評価に評価者の主観が入り込む可能性がある。オプションプライシング理論を使う場合は、割引率はリスクフリーレートで一意的に決まるから、評価

者によって推計した事業評価が異なる可能性は低い。

しかし多くの場合、プロジェクトの不確実性をヒストリカル・データから推計することは不可能である。プロジェクトが新規の事業で、唯一確実なのは将来が過去と同様でないといったケースもしばしばある。そのような場合、不確実性の定量化には、経営者の推測値を使う方法があるが、これは困難を伴うことが多い。仮に、ボラティリティについての主観的、非公式、非統計的な推測値があるにしても、NPV分析に加えてボラティリティ情報を簡単かつ直観的のまとめることの出来る体系だったアプローチを開発するのは困難である。

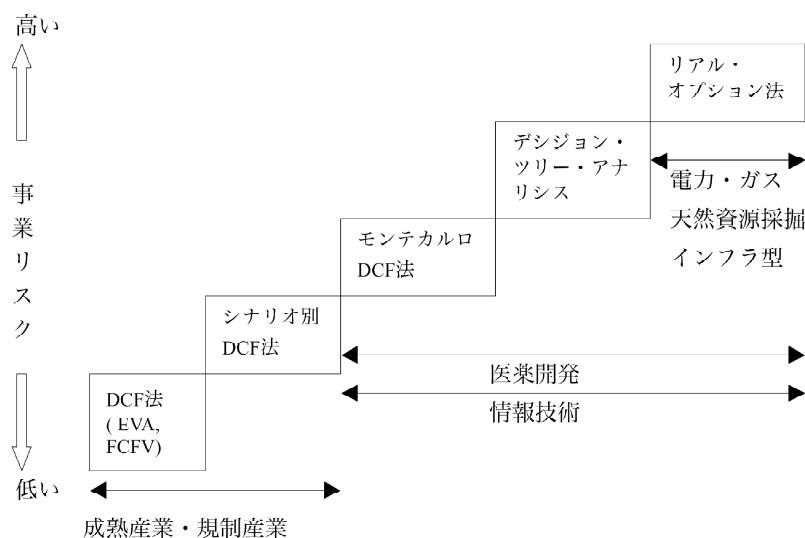


図2 事業のリスクと事業価値評価方法の関係¹¹⁾

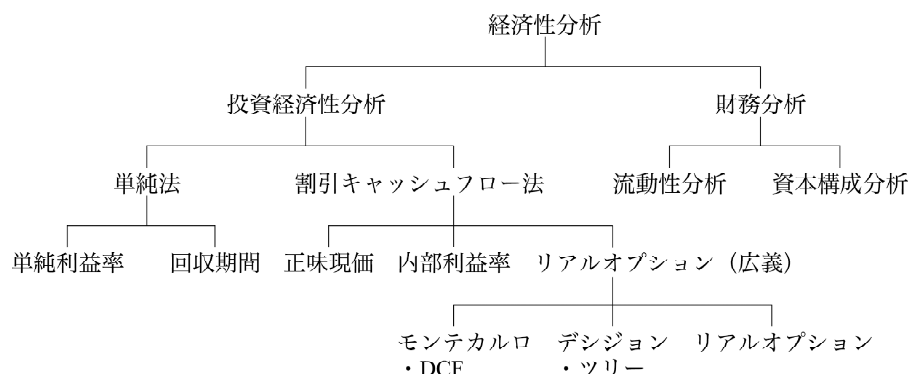


図3 拡張された経済性評価の体系

投資の意思決定を行う場合には経営のもつオプションの有無、事業の不確実性の大きさによって、異なった評価手法を用いるべきである。図2は、事業の不確実性と事業の評価手法のガイドラインである。なお、IT事業のオプションとしては、拡大オプション、撤退オプションあるいは段階的な開発・構築などがあり、これらのオプションを考慮に入れて、リアルオプションを適用する可能性があるが、事業の不確実性が高いことから、リアルオプションよりもモンテカルロDCFが適しているともいわれている。

ここで、すでに述べた経済性評価の体系はリアルオプションを含めると図3に示すものになる。

4. 情報システムの費用対効果の変化^{14, 15, 16, 17, 18, 19)}

従来は、情報システムの効果については、定量的効果として、①省力化、②業務処理、③在庫、④オフィスなどのスペースなどを、定性的効果として、①競争力、②意思決定支援、③組織の合理化、④従業員のモラル、⑤情報共有などを取り上げていた。そして、定量的な経済性評価により情報システム投資を正当化することが難しく、定性的効果を加味して、その正当性を容認するのが一般であった。

あるいは、もしある情報システム投資プロジェクトが、それ自体では正当化されなくても、他の魅力

的なプロジェクトの実施に必要である場合には、たとえ別々に管理されていても、他のプロジェクトに結び付けて、単一のプロジェクトとして評価するというようなことが行われていた。

しかし今や、企業情報システムの中核として、図4に示すような、統合基幹業務システム（ERP）の導入・構築が必須条件になりつつある。ERPシステムは、この図に例示するように、統合データベースを中心に、企業のほぼ全部の諸活動を包含すると同時に、種々の優良企業のベストプラクティスを参照モデルとして包含している。そして、統合基幹業務システムのカスタマイズは、これらの参照モデルをコピーすることから始められる。さらに、ほとんどのカスタマイズデータは、組織構造に付随して定義されており、参照モデルをコピーすることから始められる。あるパッケージの場合、ほとんどのカスタマイズデータは、組織構造に付随して定義されており、参照モデルの組織のカスタマイズデータをコピーし、ユーザ独自の組織構成に合わせて進めていく方法がとられている。

さらに、このERPを核にして、図5に示すように、SCM（Supply Chain Management）、SSM（Sales & Service Management）すなわちCRM（Customer Relationship Management）などのパッケージ・ソフトウェアを、さらに、PPE（Product and Process Engineering）、MES（Manufacturing Execution System）を導入し、企業活動全体にわたる企業システムの構

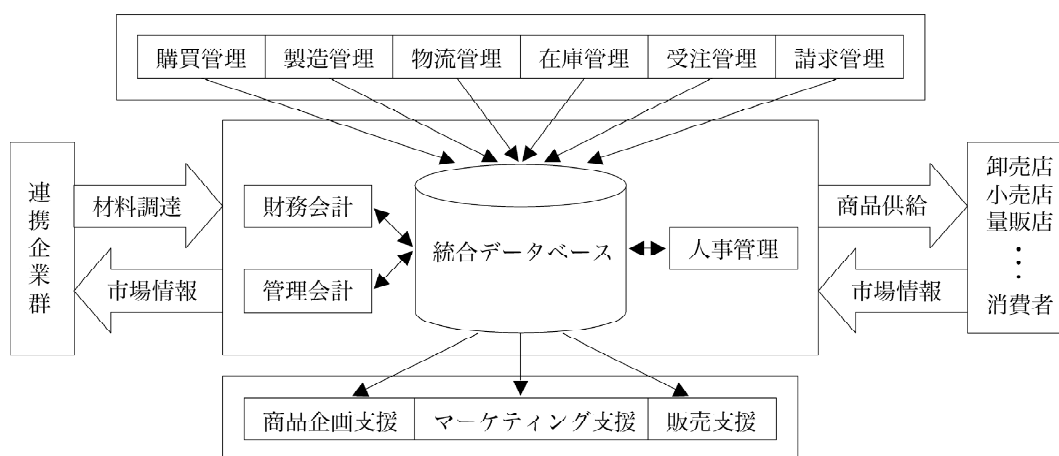


図4 統合基幹業務システムの概略構成例¹⁶⁾

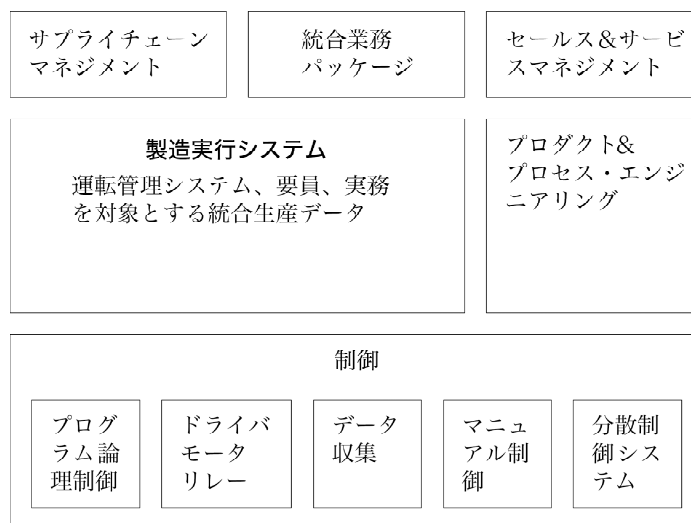


図5 企業システムモデル¹⁸⁾

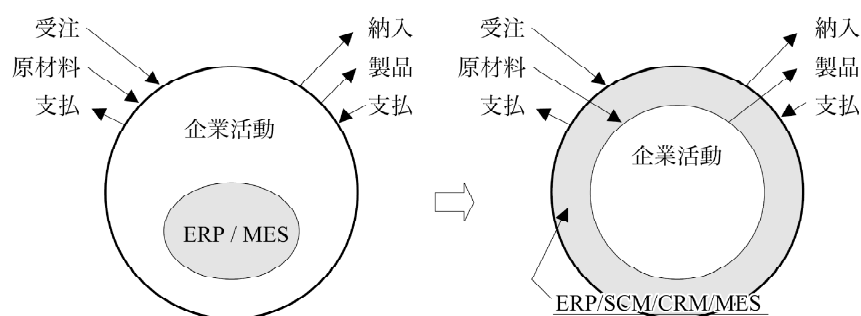


図6 情報システムの役割の変化

築を進めようとしている。ここで、CRMは顧客と長期的な関係を築こうとするもので、具体的には、顧客データベースを構築して、その中に詳細な顧客情報を蓄積し、商品の売買から保守サービス、問合せやクレームへの対応など、個々の顧客とのすべてのやりとりを一貫して管理することにより、顧客のニーズにきめ細かく対応することで、顧客の利便性と満足度を高め、顧客を常連客として囲い込み収益率の増大を図ろうとするものである。

一方、SCMは需要予測、生産計画、調達計画、配送計画などの計画系の業務を対象として、原材料・部品のサプライヤーから生産、物流、販売、顧客までのサプライチェーン全体に亘って情報の一元化を図り、将来の計画立案を支援し最適化をはかるものである。ERPは実際の企業活動によって生じる過去

のデータおよび現在のリアルタイムのデータを管理するものであり、両者は補完関係にあることになる。

したがって、今や情報システムは企業活動を裏方として支え、その生産性向上を図る、あるいは特定の事業に付随するサブシステムというよりも、企業全体の売上の増加、原材料・部品の調達費、物流費などの低減に直接関わっており、図6に示すような企業活動の前面に立つ独立した事業として扱えるように状況になりつつあるといえよう。このような状況を迎えて、企業システム投資の評価について、新しい評価方法が試みられるようになってきた。

5. リアルオプションによる

評価^{20, 21, 22, 23, 24, 25)}

一般の生産設備投資などの経済性評価には、すでに述べたように、生産設備投資の場合は正味現価や内部利益率が適用されている。しかし、情報システム投資の違いは、その費用対効果がより不確実であることから、正味現価や内部利益率を適用することは適当でなく、リアルオプションの方がより適当と考えられている。そこで情報システム投資の評価リアルオプションを適用し、その妥当性を検討することにした。ただし、具体的な計算については、主としてコープランドのモデルに基づくことにした。

1) モデルの前提条件

対象とする情報システムは、CRM／ERP／SCMを想定し、特定の生産設備に付随するものではなく、全社的な生産活動を支援するものとする。そして、全製品の生産・販売量は一定とするが、CRMにより付加価値を高め販売価格を押し上げ、同時にSCMにより原材料・部品の購入価格を押し下げる効果が不確実ではあるが期待できるものとする。

情報システム投資の特徴は、その費用対効果が不確実であることに加えて、その構築期間、耐用年数、運転期間が一般の設備投資に比べてより短いことである。たとえば、大型の生産設備はその建設期間は数年に及ぶが、最近は情報システムの構築期間はたかだか1年と考え、このモデルでは1年とする。

税法上の耐用年数は、生産設備は6～8年であるが、コンピュータは6年、ソフトウェアは原則として5年以内である。情報システム投資に占めるソフトウェアの比率がハードウェアを上回っていること、コンピュータの陳腐化が激しいことなどを考え合わせて、システム全体の耐用年数を5年にしても、その妥当性は損なわれることはないものとする。なお、減価償却は残存価値なしとして定額償却とする。さらに、経済性評価のための運転期間は、一般の生産設備の場合は15年から20年であるが、このモデルでは耐用年数の倍の10年とする。

主として売上高増加分と購入費減少分を想定した

表3 計算基準

売上高	100	億円
投資効果率	0.265	%
投資効果	0.265	億円
システム投資		
初期投資額	1	億円
年間維持費率	10	%
年間維持費	0.1	億円
法定耐用年数	5	年
法人所得税	50	%
加重平均資本コスト	5	%

投資効果の確率分布については、2項一様分布、正規分布、対数正規分布などの選択肢があるが、対数正規分布の組合せはそれ自体対数正規分布になることから、対数正規分布を採用することにする。また、前の期間の誤差が大きくなれば、次の期間もその誤差が大きくなる可能性がかなり高いことから、隣接する期間においては自己相関があるものとし、自己相関係数を90%に設定するものとする。投資効果については、初期投資額がプロジェクト現価と同程度となる、オプション理論でいう「ニア・ザ・マネー」になるように設定し、各指標間の相違を際立たせるようにする。さらに、プロジェクト正味現価、モンテカルロDCF、リアルオプションの評価を比較するために、表3に示す計算基準を設定する。通常、正味現価を適用する場合は、モンテカルロシミュレーションを行うことはないが、モンテカルロDCFと比較するために、敢えて行うことにする。なお、リスクフリーレートについては、国債の利率を参考に設定する。

2) プロジェクト正味現価による評価

プロジェクト正味現価による計算結果を表4、表5に示す。

表5に示すように、プロジェクト正味現価が正値をとる確率は48.7%であり、投資の意思決定は難しいといえよう。

3) モンテカルロDCFによる評価

モンテカルロDCFによる計算結果を表6、表7に

表4 プロジェクト正味現価計算結果(1)

1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	コーブランドモデルによる計算											
3	仮設定義	対数正規分布		標準偏差		10%						
4	計算基準											
5	売上高	100億円		法定耐用年数		5年						
6	投資効果率	0.265%		法人所得税		50%						
7	投資効果	0.265億円		加重平均資本コスト		5%						
8	システム投資			計算結果 プロジェクト現価 (0.994) プロジェクト外正味現価 (0.006) 利益変化率 0.044 内部利益率% 4.86								
9	初期投資額	1億円										
10	年間維持費率	10%										
11	年間維持費	0.1億円										
12												
13	現在価値計算											
14		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	収入											
16	投資効果		0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265
17	支出											
18	システム投資額	1										
19	システム維持費		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
20	減価償却費		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2					
21	利払税引前利益		-0.035	-0.035	-0.035	-0.035	-0.035	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
22	法人所得税		0	0	0	0	0	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825
23	減価償却費		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0
24	フリーキャッシュフロー	1	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825
25	割引乗数		0.952	0.907	0.864	0.823	0.784	0.746	0.711	0.677	0.645	0.614
26	キャッシュフロー現価		0.157	0.150	0.143	0.136	0.129	0.062	0.059	0.056	0.053	0.051
27	プロジェクト現価		0.994									
28	プロジェクト正味現価		(0.006)									
29	利益変化率	0.044	0.165	0.157	0.150	0.143	0.136	0.065	0.062	0.059	0.056	0.053

表5 プロジェクト正味現価計算結果(2)

予測： D20 [モンテカルロNTV.xls]Sheet 1 (2) – セル： D20

要約：
信頼度は 48.70%
信頼度は-0.000 から +無限大まで 億円
表示範囲は -0.347 から 0.320まで 億円
全範囲は -0.392 から 0.387まで 億円
1,000 試行後の平均標準誤差は 0.004です。

統計量：	値
試行回数	1000
平均値	-0.007
中央値	-0.005
最頻値	---
標準偏差	0.132
分散	0.017
歪度	0.01
尖度	2.74
変動係数	-19.58
範囲下限	-0.392
範囲上限	0.387
範囲	0.779
平均標準誤差	0.004

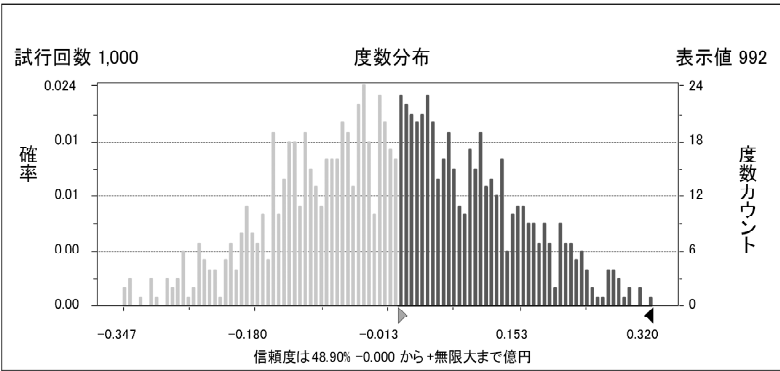


表6 モンテカルロ DCF 計算結果(1)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	コ ブランドモデルによる計算											
3	仮設定義		対数正規分布		標準偏差		10% 自己相関		90%			
4	計算基準											
5	売上高		100 億円		法定耐用年数		5 年		計算結果 プロジェクト現価 0.994 プロジェクト正味現価 (0.006) 利益変化率 0.044 内部利益率% 4.86			
6	投資効果率		0.265 %		法人所得税		50 %					
7	投資効果		0.265 億円		加重平均資本コスト		5 %					
8	システム投資											
9	初期投資額		1 億円									
10	年間維持費率		10 %									
11	年間維持費		0.1 億円									
12												
13	現在価値計算											
14		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	収入											
16	投資効果		0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265
17	支出											
18	システム投資額	1										
19	システム維持費		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
20	減価償却費		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2					
21	利払税引前利益		-0.035	-0.035	-0.035	-0.035	-0.035	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
22	法人所得税		0	0	0	0	0	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825
23	減価償却費		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0
24	フリーキャッシュフロー	-1	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825
25	割引乗数		0.952	0.907	0.864	0.823	0.784	0.746	0.711	0.677	0.645	0.614
26	キャッシュフロー現価		0.157	0.150	0.143	0.136	0.129	0.062	0.059	0.056	0.053	0.051
27	プロジェクト現価		0.994									
28	プロジェクト正味現価		(0.006)									
29	利益変化率	0.044	0.165	0.157	0.150	0.143	0.136	0.065	0.062	0.059	0.056	0.053

表7 モンテカルロ DCF 計算結果(2)

予測：利益変化率

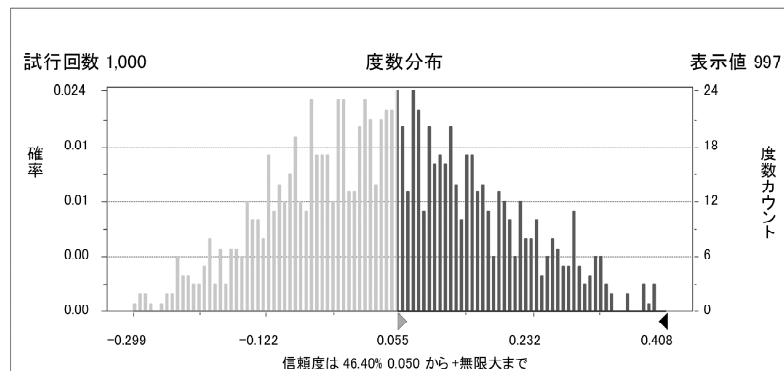
セル：C29

要約：

信頼度 は 46.40%
 信頼度 は 0.050 から +無限大 まで
 表示範囲 は -0.299 から 0.408 まで
 全範囲 は -0.367 から 0.414 まで
 1,000 試行後の平均標準誤差 は 0.004 です。

統計量：

	値
試行回数	1000
平均値	0.040
中央値	0.038
最頻値	---
標準偏差	0.138
分散	0.019
歪度	0.08
尖度	2.61
変動係数	3.46
範囲下限	-0.367
範囲上限	0.414
範囲	0.780
平均標準誤差	0.004



示す。表7に示すように、モンテカルロ DCF が加重平均資本コスト 5 % を超える確率は 46.40 % である。

なお、上述の 48.7 % との差は、乱数発生がいずれも 1,000 回に限定されたシミュレーションであるからで、有意なものではない。

4) リアルオプションによる評価

リアルオプションによる計算結果を表8に示す。投資効果の標準偏差が 10 % のときのリアルオプション価格（セル C21）はプラス 0.21 億円で、プロジェクト現在価値マイナス 0.006 億円より高く、このプロジェクトが採択できることを示している。なお、投資効果の標準偏差が 5 % と 20 % のとき、各々のリア

ルオプション価格は、それぞれ 0.14 億円と 0.35 億円で、不確実性が増すにつれてオプションプライスが高くなっている。

5) 計算結果

計算結果の一覧表を表9に示す。この計算例では、現在価値法では正味現価が正の値をとる確率は半分以下であり、同様に DCF 法でもその利益率が加重平均資本コストを上回る確率は半分以下である。これらに対し、このプロジェクトの採択を可とするのは、これも当然のことではあるが、リアルオプション法によるものだけである。

表8 リアルオプション計算結果

1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	入力変数					計算変数						
3	1.リスクフリーレートの年率			0.01		1.1ステップでの増加			1.1503			
4	2.原資産の現在価値			0.994		2.1ステップでの減少			0.8694			
5	3.行使価格			1		3.リスクフリーレート			0.01			
6	4.オプション満期までの年数			10		4.リスク中立確率(増加)			0.5007			
7	5.年間標準偏差			0.14		5.リスク中立確率(減少)			0.4993			
8	6.1年当たりのステップ数			1								
9												
10												
11	原資産のイベント・ツリー											
12		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	0	0.994	1.143	1.315	1.513	1.740	2.002	2.302	2.640	3.046	3.504	4.031
14	1		0.864	0.994	1.143	1.315	1.513	1.740	2.002	2.302	2.648	3.046
15	2			0.751	0.864	0.994	1.143	1.315	1.513	1.740	2.002	2.302
16	3				0.653	0.751	0.864	0.994	1.143	1.315	1.513	1.740
17	4					0.568	0.653	0.751	0.864	0.994	1.143	1.315
18	5						0.494	0.568	0.653	0.751	0.864	0.994
19	6							0.429	0.494	0.568	0.653	0.751
20	7								0.373	0.429	0.494	0.568
21	8									0.324	0.373	0.429
22	9										0.282	0.324
23	10											0.245
24												
25	入力変数					計算変数						
26	1.リスクフリーレートの年率			0.01		1.1ステップでの増加			1.1503			
27	2.原資産の現在価値			0.994		2.1ステップでの減少			0.8694			
28	3.行使価格			1		3.1 + 名目レート / ステップ			1.01			
29	4.オプション満期までの年数			10		4.名目リスクフリーレート / ステップ			0.01			
30	5.年間標準偏差			0.14		5.リスク中立確率(増加)			0.5007			
31	6.1年当たりのステップ数			1		6.リスク中立確率(減少)			0.4993			
32	7.1 + リスクフリーレートの年率			1.01								
33												
34	原資産のイベント・ツリー											
35		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	0	0.21	0.31	0.44	0.60	0.81	1.06	1.35	1.68	2.07	2.52	3.037
37	1		0.12	0.19	0.28	0.41	0.57	0.78	1.04	1.33	1.66	2.052
38	2			0.06	0.10	0.16	0.25	0.37	0.55	0.77	1.02	1.308
39	3				0.02	0.04	0.07	0.12	0.21	0.34	0.53	0.746
40	4					0.00	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.321
41	5						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
42	6							0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
43	7								0.00	0.00	0.00	0.000
44	8									0.00	0.00	0.000
45	9										0.00	0.000
46	10											0.000

表9 計算結果一覧表

	プロジェクト正味現価	モンテカルロ DCF	リアルオプション		
	標準偏差10%	標準偏差10%	標準偏差 5 %	標準偏差10%	標準偏差20%
システム投資額	1 億円	1 億円	1 億円	1 億円	1 億円
プロジェクト正味現価	(0.006)億円	(0.006)億円	(0.006)億円	(0.006)億円	(0.006)億円
平均資本コスト	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
内部利益率	4.86%	4.86%	4.86%	4.86%	4.86%
信頼性	0.0以上	5 %以上	—	—	—
	48.70%	46.40%	—	—	—
リアルオプション			0.014億円	0.021億円	0.035億円

6) 考察

生産システム投資に比較して、その費用対効果が不確実な情報システム投資については、従来の伝統的な経済性評価に比較して、その不確実性を肯定的に評価するリアルオプションは、情報システムに好意的な評価法といえよう。ただし、費用対効果の確率分布を推定することは、実際はほとんど不可能であるが、そのことだけに拘わらずに、リアルオプションの活用を考えることが肝要と考える。

また実際には、どのような経済性評価法を使用しようと、情報システムだけの費用対効果を厳密に分離して計算することは困難であり、過去から将来にわたる各種プロジェクトの複合費用対効果の一環としての位置付けを明確にして評価することも肝要であろう。

なお、リアルオプションは元来、拡大オプションとか撤退オプションとか、いわゆる経営上のオプションの評価などに活用するものであるが、この研究でリアルオプションと従来の経済性評価法とを対比することで、その有用性を明らかにし得たものと考ええる。

ま と め

わが国も含め多くの先進国が成長型経済社会から定常型経済社会への転換期にあり、同時にITの進歩とその普及により、企業活動も垂直統合型から水平統合型への転換期にある。企業経営も、高度成長経済から低成長経済への移行に伴って、投資効率を重

視するすなわちキャッシュフローを重視する経営に変わりつつある。

一方企業情報システムも、企業内にとどまらず企業間にわたって運営されるようになり、その費用対効果も売上増あるいは資材購入費減というような目に見えるものになりつつあるといえよう。このような状況を考えると、キャッシュフローにもとづくリアルオプションは、従来のNPVの枠を拡大するもので、計算上種々の問題を抱えているが、情報システム投資の意思決定に有用な手段になるものと考ええる。

参考文献

- 1) 広井良典、定常型社会——新しい「豊かさ」の構想、岩波書店 (2001)
- 2) ターンシュワート社、EVAによる価値創造経営——その理論と実際、ダイヤモンド社 (2001)
- 3) Happel, J., Chemical Process Economics, Marcel Dekker Inc. (1975)
- 4) 杉山昌平、最適問題、共立出版 (1967)
- 5) ツヴィ・ボディ、ロバート・C・ノートン (大島恵一朗訳)、現代ファイナンス論、ピアソン・エデュケーション (1999)
- 6) Komatsu, S., Application of Linearization to Design of a Hydrodealkylation Plant, Ind. Eng. Chem. 60, (2), pp. 36-43 (1968)
- 7) Parente, E. J., Assessment of Coal Liquefaction, Proceedings of the 11th World Petroleum Congress, 4, pp. 239-247 (1984)
- 8) S. Komatsu: Industrial Energy Conservation in Private-Sector Management and Financial Perspectives, EDI Training Materials, World Bank (1984)
- 9) 小松昭英、堀義明、設備投資とプロセスの経済性評価、

- 化学工学、50(11)、pp. 779-785 (1986)
- 10) UNIDO: Manual for Evaluation of Industrial Projects (1986)
 - 11) 荻谷武昭・山本大輔：リアル・オプション、東洋経済新報社 (2001)
 - 12) トム・コーブランド、ウラジミール・アンティカロフ (栃本克之訳)、リアル・オプション——戦略的フレキシビリティと経営意思決定、東洋経済新聞社 (2002)
 - 13) James R. Evans, David L. Olson (服部正太訳)、リスク分析・シミュレーション入門——Crystal Ball を利用したビジネスプランニングの実際、共立出版社 (1999)
 - 14) 岡田定、情報投資の経営的価値——評価による改善の促進、同文館 (1999)
 - 15) J. C. エメリー (宮川公男監訳)、エグゼクティブのための経営情報システム——戦略的情報管理、TBS プリタニカ (1989)
 - 16) 増田有幸他、経営革新の戦略ツールとしての統合業務パッケージソフト、NRI Cyber Search (1997/2/6)
 - 17) <http://www.geocities.co.jp/WallStreet-Stock/3611/erp/erp21.htm>
 - 18) MESA International: MES Reference Materials from MESA International (1997)
 - 19) 碓井聡子他、図解企業間電子商取引 B2B のしくみ、東洋経済新報社 (2001)
 - 20) 高橋秀法他、研究開発費及びソフトウェアの会計処理の完全解説——実務指針に関する逐条解説、財経詳報社 (2000)
 - 21) <http://www.boj.or.jp/siryo/stat/yaku0208.htm>
 - 22) Copeland, T., Antikarov, V: Real Options—A Practitioner's Guide, Texere (2001)
 - 23) トム・コーブランド、ウラジミール・アンティカロフ (栃本克之監訳)、東洋経済新報社 (2002)
 - 24) マッキンゼー・アンド・カンパニー (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——バリュエーション／価値創造の理論と実践、ダイヤモンド社 (2002)
 - 25) Mun, J.: Real Options Analysis—Tools and Techniques for Valuating Strategic Investment and Decisions, Wiley (2002)

付属資料

1. プロジェクト現在価値計算・スプレッドシートモデル

1	B	C	D	E	F	G
2	コーブランドモデルによる計算					
3	仮説定義	対数正規分布		標準偏差	0.1	自己相関
4	計算基準					
5	売上高	100	億円	法定耐用年数		5
6	投資効果率	0.265	%	法人所得税		50
7	投資効果	=C5*C6/100	億円	加重平均資本コスト		5
8	システム投資					
9	初期投資額	1	億円			
10	年間維持費率	10	%			
11	年間維持費	=C9*C10/100	億円			
12						
13	現在価値計算					
14		0	1	2	3	4
15	収入					
16	投資効果		0.265	0.265	0.265	0.265
17	支出					
18	システム投資額	=C9				
19	システム維持費		0.1	0.1	0.1	0.1
20	減価償却費	=\$C9/\$G5	=\$C9/\$G5	=\$C9/\$G5	=\$C9/\$G5	=\$C9/\$G5
21	利払税引前利益	=D16-D19-D20	=E16-E19-E20	=F16-F19-F20	=G16-G19-G20	
22	法人所得税	=IF(D21<=0.0,\$G6/100*D21)	=IF(E21<=0.0,\$G6/100*E21)	=IF(F21<=0.0,\$G6/100*F21)	=IF(G21<=0.0,\$G6/100*G21)	
23	減価償却費	0.2	0.2	0.2	0.2	
24	フリーキャッシュフロー	=C9	=D21-D22+D23	=E21-E22+E23	=F21-F22+F23	=G21-G22+G23
25	割引乗数	0.952380952380952	0.90702947845805	0.863837598531476	0.822702474791882	
26	キャッシュフロー現価		=L24*L25	=L24*L25	=L24*L25	=L24*L25
27	プロジェクト現価		=SUM(D26:M26)			
28	プロジェクト正味現価		=D27-C18			
29	利益変化率	=SUM(D29:M29)-1.59/1.59	=D24	=E24*D25	=F24*E25	=G24*F25

H	I	J	K	L	M	1
0.9						2
						3
						4
年						5
%						6
%						7
						8
						9
						10
						11
						12
						13
5	6	7	8	9	10	14
0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	0.265	15
						16
						17
						18
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	19
=\$C9/\$G5						20
=I16 I19 I20	=I16 I19 I20	=J16 J19 J20	=K16 K19 K20	=L16 L19 L20	=M16 M19 M20	21
=IF(H21<=0.0,\$G6/100*H21)	=IF(I21<=0.0,\$G6/100*I21)	=IF(J21<=0.0,\$G6/100*J21)	=IF(K21<=0.0,\$G6/100*K21)	=IF(L21<=0.0,\$G6/100*L21)	=IF(M21<=0.0,\$G6/100*M21)	22
0.2	0	0	0	0	0	23
=H21-H22+H23	=I21-I22+I23	=J21-J22+J23	=K21-K22+K23	=L21-L22+L23	=M21-M22+M23	24
0.783526166468459	0.746215396636627	0.710681330130121	0.676839362028687	0.644608916217797	0.613913253540759	25
=H24*H25	=I24*I25	=J24*J25	=K24*K25	=L24*L25	=M24*M25	26
						27
						28
=H24*G25	=I24*H25	=J24*I25	=K24*J25	=L24*K25	=M24*L25	29

2. イベントツリー／リアルオプション計算・スプレッドシートモデル

1	B	C	D
2	入力変数		
3	1.リスクフリーレートの年率		
4	2.原資産の現在価値		
5	3.行使価格		
6	4.オプション満期までの年数		
7	5.年間標準偏差		
8	6.1年当たりのステップ数		
9			
10			
11	原資産のイベント・ツリー		
12	0		1
13	0	$-\$E\$4*(\$J\$3^C\$12)*(\$J\$4^B\$13)$	$-\$E\$4*(\$J\$3^D\$12)*(\$J\$4^B\$13)$
14	1		$-\$J\$4+C13$
15	2		
16	3		
17	4		
18	5		
19	6		
20	7		
21	8		
22	9		
23	10		
24			
25	入力変数		
26	1.リスクフリーレートの年率		
27	2.原資産の現在価値		
28	3.行使価格		
29	4.オプション満期までの年数		
30	5.年間標準偏差		
31	6.1年当たりのステップ数		
32	7.1+リスクフリーレートの年率		
33			
34	原資産のイベント・ツリー		
35	0		1
36	0	$=\text{MAX}((C13-\$E\$28)/((\$J\$30*D36+\$J\$31*D37)/\$J\$28))$	$=\text{MAX}((D13-\$E\$28)/((\$J\$30*E36+\$J\$31*E37)/\$J\$28))$
37	1		$=\text{IF}(C13<="",\text{MAX}((D14-\$E\$28)/((\$J\$30*E37+\$J\$31*E38)/\$J\$28)))$
38	2		$=\text{IF}(C14<="",\text{MAX}((D15-\$E\$28)/((\$J\$30*E38+\$J\$31*E39)/\$J\$28)))$
39	3		$=\text{IF}(C15<="",\text{MAX}((D16-\$E\$28)/((\$J\$30*E39+\$J\$31*E40)/\$J\$28)))$
40	4		$=\text{IF}(C16<="",\text{MAX}((D17-\$E\$28)/((\$J\$30*E40+\$J\$31*E41)/\$J\$28)))$
41	5		$=\text{IF}(C17<="",\text{MAX}((D18-\$E\$28)/((\$J\$30*E41+\$J\$31*E42)/\$J\$28)))$
42	6		$=\text{IF}(C18<="",\text{MAX}((D19-\$E\$28)/((\$J\$30*E42+\$J\$31*E43)/\$J\$28)))$
43	7		$=\text{IF}(C19<="",\text{MAX}((D20-\$E\$28)/((\$J\$30*E43+\$J\$31*E44)/\$J\$28)))$
44	8		$=\text{IF}(C20<="",\text{MAX}((D21-\$E\$28)/((\$J\$30*E44+\$J\$31*E45)/\$J\$28)))$
45	9		$=\text{IF}(C21<="",\text{MAX}((D22-\$E\$28)/((\$J\$30*E45+\$J\$31*E46)/\$J\$28)))$
46	10		

E	F
0.01	
0.994	
1	
10	
0.14	
1	

2	3
$=\$E\$4*(\$J\$3^E\$12)*(\$J\$4^B\$13)$	$=\$E\$4*(\$J\$3^F\$12)*(\$J\$4^B\$13)$
$-\$J\$4+D13$	$-\$J\$4+E13$
$=\$J\$4+D14$	$=\$J\$4+E14$
	$=\$J\$4+E15$

$=E3$	
$=E4$	
$=E5$	
$=E6$	
$=E7$	
$=E8$	
$=1+E26$	

2	3
$=\text{MAX}((E13-\$E\$28)/((\$J\$30*F36+\$J\$31*F37)/\$J\$28))$	$=\text{MAX}((F13-\$E\$28)/((\$J\$30*G36+\$J\$31*G37)/\$J\$28))$
$=\text{IF}(D13<="",\text{MAX}((E14-\$E\$28)/((\$J\$30*F37+\$J\$31*F38)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E13<="",\text{MAX}((F14-\$E\$28)/((\$J\$30*G37+\$J\$31*G38)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D14<="",\text{MAX}((E15-\$E\$28)/((\$J\$30*F38+\$J\$31*F39)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E14<="",\text{MAX}((F15-\$E\$28)/((\$J\$30*G38+\$J\$31*G39)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D15<="",\text{MAX}((E16-\$E\$28)/((\$J\$30*F39+\$J\$31*F40)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E15<="",\text{MAX}((F16-\$E\$28)/((\$J\$30*G39+\$J\$31*G40)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D16<="",\text{MAX}((E17-\$E\$28)/((\$J\$30*F40+\$J\$31*F41)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E16<="",\text{MAX}((F17-\$E\$28)/((\$J\$30*G40+\$J\$31*G41)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D17<="",\text{MAX}((E18-\$E\$28)/((\$J\$30*F41+\$J\$31*F42)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E17<="",\text{MAX}((F18-\$E\$28)/((\$J\$30*G41+\$J\$31*G42)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D18<="",\text{MAX}((E19-\$E\$28)/((\$J\$30*F42+\$J\$31*F43)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E18<="",\text{MAX}((F19-\$E\$28)/((\$J\$30*G42+\$J\$31*G43)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D19<="",\text{MAX}((E20-\$E\$28)/((\$J\$30*F43+\$J\$31*F44)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E19<="",\text{MAX}((F20-\$E\$28)/((\$J\$30*G43+\$J\$31*G44)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D20<="",\text{MAX}((E21-\$E\$28)/((\$J\$30*F44+\$J\$31*F45)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E20<="",\text{MAX}((F21-\$E\$28)/((\$J\$30*G44+\$J\$31*G45)/\$J\$28)))$
$=\text{IF}(D21<="",\text{MAX}((E22-\$E\$28)/((\$J\$30*F45+\$J\$31*F46)/\$J\$28)))$	$=\text{IF}(E21<="",\text{MAX}((F22-\$E\$28)/((\$J\$30*G45+\$J\$31*G46)/\$J\$28)))$

G	H
計算変数	
1.1ステップでの増加	
2.1ステップでの減少	
3.リスクフリーレート	
4.リスク中立確率(増加)	
5.リスク中立確率(減少)	

4	5
=SE\$4*(J\$3^G\$12)*(J\$4^\$B13)	=SE\$4*(J\$3^H\$12)*(J\$4^\$B13)
=J\$4*H13	=J\$4*G13
=J\$4*F14	=J\$4*G14
=J\$4*F15	=J\$4*G15
=J\$4*F16	=J\$4*G16
	=J\$4*G17

計算変数	
1.1ステップでの増加	
2.1ステップでの減少	
3.1+名目レート/ステップ	
4.名目リスクフリーレート/ステップ	
5.リスク中立確率(増加)	
6.リスク中立確率(減少)	

4	5
=MAX((G13-\$I\$20)/(\$I\$30+H136+\$I\$31*H17)/\$I\$20))	=MAX((H13-\$I\$20)/(\$I\$30+H16+\$I\$31*H17)/\$I\$20))
=IF(F13="",MAX((G14-\$E\$28)/(\$J\$30+H37+\$J\$31*H38)/\$J\$28))	=IF(G13="",MAX((H14-\$E\$28)/(\$J\$30+H37+\$J\$31*H38)/\$J\$28))
=IF(F14="",MAX((G15-\$E\$28)/(\$J\$30+H38+\$J\$31*H39)/\$J\$28))	=IF(G14="",MAX((H15-\$E\$28)/(\$J\$30+H38+\$J\$31*H39)/\$J\$28))
=IF(F15="",MAX((G16-\$E\$28)/(\$J\$30+H39+\$J\$31*H40)/\$J\$28))	=IF(G15="",MAX((H16-\$E\$28)/(\$J\$30+H39+\$J\$31*H40)/\$J\$28))
=IF(F16="",MAX((G17-\$E\$28)/(\$J\$30+H40+\$J\$31*H41)/\$J\$28))	=IF(G16="",MAX((H17-\$E\$28)/(\$J\$30+H40+\$J\$31*H41)/\$J\$28))
=IF(F17="",MAX((G18-\$E\$28)/(\$J\$30+H41+\$J\$31*H42)/\$J\$28))	=IF(G17="",MAX((H18-\$E\$28)/(\$J\$30+H41+\$J\$31*H42)/\$J\$28))
=IF(F18="",MAX((G19-\$E\$28)/(\$J\$30+H42+\$J\$31*H43)/\$J\$28))	=IF(G18="",MAX((H19-\$E\$28)/(\$J\$30+H42+\$J\$31*H43)/\$J\$28))
=IF(F19="",MAX((G20-\$E\$28)/(\$J\$30+H43+\$J\$31*H44)/\$J\$28))	=IF(G19="",MAX((H20-\$E\$28)/(\$J\$30+H43+\$J\$31*H44)/\$J\$28))
=IF(F20="",MAX((G21-\$E\$28)/(\$J\$30+H44+\$J\$31*H45)/\$J\$28))	=IF(G20="",MAX((H21-\$E\$28)/(\$J\$30+H44+\$J\$31*H45)/\$J\$28))
=IF(F21="",MAX((G22-\$E\$28)/(\$J\$30+H45+\$J\$31*H46)/\$J\$28))	=IF(G21="",MAX((H22-\$E\$28)/(\$J\$30+H45+\$J\$31*H46)/\$J\$28))

I	J
	=EXP(E7*(1/1)^(1/2))
	=1/J3
	=E3
	=(1+J5-J4)/(J3-J4)
	=1-J6

6	7
=SE\$4*(J\$3^I\$12)*(J\$4^\$B13)	=SE\$4*(J\$3^J\$12)*(J\$4^\$B13)
=J\$4*H13	=J\$4*I13
=J\$4*H14	=J\$4*I14
=J\$4*H15	=J\$4*I15
=J\$4*H16	=J\$4*I16
=J\$4*H17	=J\$4*I17
=J\$4*H18	=J\$4*I18
	=J\$4*I19

	=EXP(E30*(1/1)^(1/2))
	=1/J26
	=E32
	=E26/E31
	=(1+J29-J27)/(J26-J27)
	=1-J30

6	7
=MAX((I13-\$E\$28)/(\$J\$30+J36+\$J\$31*J37)/\$J\$28))	=MAX((J13-\$E\$28)/(\$J\$30+K36+\$J\$31*K37)/\$J\$28))
=IF(H13="",MAX((I14-\$E\$28)/(\$J\$30+J37+\$J\$31*J38)/\$J\$28))	=IF(I13="",MAX((J14-\$E\$28)/(\$J\$30+K37+\$J\$31*K38)/\$J\$28))
=IF(H14="",MAX((I15-\$E\$28)/(\$J\$30+J38+\$J\$31*J39)/\$J\$28))	=IF(I14="",MAX((J15-\$E\$28)/(\$J\$30+K38+\$J\$31*K39)/\$J\$28))
=IF(H15="",MAX((I16-\$E\$28)/(\$J\$30+J39+\$J\$31*J40)/\$J\$28))	=IF(I15="",MAX((J16-\$E\$28)/(\$J\$30+K39+\$J\$31*K40)/\$J\$28))
=IF(H16="",MAX((I17-\$E\$28)/(\$J\$30+J40+\$J\$31*J41)/\$J\$28))	=IF(I16="",MAX((J17-\$E\$28)/(\$J\$30+K40+\$J\$31*K41)/\$J\$28))
=IF(H17="",MAX((I18-\$E\$28)/(\$J\$30+J41+\$J\$31*J42)/\$J\$28))	=IF(I17="",MAX((J18-\$E\$28)/(\$J\$30+K41+\$J\$31*K42)/\$J\$28))
=IF(H18="",MAX((I19-\$E\$28)/(\$J\$30+J42+\$J\$31*J43)/\$J\$28))	=IF(I18="",MAX((J19-\$E\$28)/(\$J\$30+K42+\$J\$31*K43)/\$J\$28))
=IF(H19="",MAX((I20-\$E\$28)/(\$J\$30+J43+\$J\$31*J44)/\$J\$28))	=IF(I19="",MAX((J20-\$E\$28)/(\$J\$30+K43+\$J\$31*K44)/\$J\$28))
=IF(H20="",MAX((I21-\$E\$28)/(\$J\$30+J44+\$J\$31*J45)/\$J\$28))	=IF(I20="",MAX((J21-\$E\$28)/(\$J\$30+K44+\$J\$31*K45)/\$J\$28))
=IF(H21="",MAX((I22-\$E\$28)/(\$J\$30+J45+\$J\$31*J46)/\$J\$28))	=IF(I21="",MAX((J22-\$E\$28)/(\$J\$30+K45+\$J\$31*K46)/\$J\$28))

K	L	M	I
			2
			3
			4
			5
			6
			7
			8
			9
			10
			11
8	9	10	12
=SE\$4*(J\$3*K\$12)*(\$J\$4*\$B13)	=SE\$4*(J\$3*L\$12)*(\$J\$4*\$B13)	=SE\$4*(J\$3*M\$12)*(\$J\$4*\$B13)	13
=J\$4*J13	=J\$4*K13	=J\$4*L13	14
=J\$4*J14	=J\$4*K14	=J\$4*L14	15
=J\$4*J16	=J\$4*K16	=J\$4*L16	16
=J\$4*J17	=J\$4*K17	=J\$4*L17	17
=J\$4*J18	=J\$4*K18	=J\$4*L18	18
=J\$4*J19	=J\$4*K19	=J\$4*L19	19
=J\$4*J20	=J\$4*K20	=J\$4*L20	20
	=J\$4*K21	=J\$4*L21	22
		=J\$4*L22	23
			24
			25
			26
			27
			28
			29
			30
			31
			32
			33
			34
8	9	10	35
=MAX((K13-SE\$28)/(\$J\$30*L138+J\$31*L137)/J\$28))	=MAX((L13-SE\$28)/(\$J\$30*M138+J\$31*M137)/J\$28))	=MAX(M13-SE\$27.0)	36
=IF(I15<=MAX((K14-SE\$28)/(\$J\$30*L139+J\$31*L138)/J\$28))	=IF(K15<=MAX((L14-SE\$28)/(\$J\$30*M139+J\$31*M138)/J\$28))	=MAX(M14-SE\$27.0)	37
=IF(I15<=MAX((K15-SE\$28)/(\$J\$30*L139+J\$31*L138)/J\$28))	=IF(K15<=MAX((L15-SE\$28)/(\$J\$30*M139+J\$31*M138)/J\$28))	=MAX(M15-SE\$27.0)	38
=IF(I16<=MAX((K16-SE\$28)/(\$J\$30*L140+J\$31*L139)/J\$28))	=IF(K16<=MAX((L16-SE\$28)/(\$J\$30*M140+J\$31*M139)/J\$28))	=MAX(M16-SE\$27.0)	39
=IF(I16<=MAX((K17-SE\$28)/(\$J\$30*L140+J\$31*L141)/J\$28))	=IF(K16<=MAX((L17-SE\$28)/(\$J\$30*M140+J\$31*M141)/J\$28))	=MAX(M17-SE\$27.0)	40
=IF(I17<=MAX((K18-SE\$28)/(\$J\$30*L141+J\$31*L142)/J\$28))	=IF(K17<=MAX((L18-SE\$28)/(\$J\$30*M141+J\$31*M142)/J\$28))	=MAX(M18-SE\$27.0)	41
=IF(I18<=MAX((K19-SE\$28)/(\$J\$30*L142+J\$31*L143)/J\$28))	=IF(K18<=MAX((L19-SE\$28)/(\$J\$30*M142+J\$31*M143)/J\$28))	=MAX(M19-SE\$27.0)	42
=IF(I19<=MAX((K20-SE\$28)/(\$J\$30*L143+J\$31*L144)/J\$28))	=IF(K19<=MAX((L20-SE\$28)/(\$J\$30*M143+J\$31*M144)/J\$28))	=MAX(M20-SE\$27.0)	43
=IF(I20<=MAX((K21-SE\$28)/(\$J\$30*L144+J\$31*L145)/J\$28))	=IF(K20<=MAX((L21-SE\$28)/(\$J\$30*M144+J\$31*M145)/J\$28))	=MAX(M21-SE\$27.0)	44
=IF(I21<=MAX((K22-SE\$28)/(\$J\$30*L145+J\$31*L146)/J\$28))	=IF(K21<=MAX((L22-SE\$28)/(\$J\$30*M145+J\$31*M146)/J\$28))	=MAX(M22-SE\$27.0)	45
		=MAX(M23-SE\$27.0)	46