⑧　リアル・オプション会計と意思決定

上野清貴

I　はじめに

投資意思決定および企業価値評価の領域において，将来のフリー・キャッシュ・フローをある割引率で現在価値に割り引く割引キャッシュ・フロー（DCF）およびそれから原初投資額を控除する正味現在価値（NPV）が一般に用いられているが，これらはいくつかの問題点を有している。

割引キャッシュ・フローによる評価方法では，資産や投資機会が本来備えている可能性を捕捉することが難しい。というのは，この方法では，最初の意思決定時点において投資を行うか行わないかの択一的な決定が行われ，プロジェクトが進行していく過程で不確実性のある側面が確実となった時点で経営者が投資の方向を変更するという，経営上の柔軟性を考慮しないからである。

この割引キャッシュ・フローには，さらに次のような問題点が内在している。

(1)　現時点でまったくキャッシュ・フローを生み出していないか，生み出していてもごくわずかでしかない資産ないしプロジェクトは，過小評価されてしまう。

(2)　加重平均資本コスト（WACC）の割引率が長期的に一定しない。

(3)　資産ないしプロジェクトの経済的寿命の推定や生み出されるキャッシュ・フローの予測を誤る恐れがある。

(4)　最終結果の妥当性のテストが不十分になる。

つまり，確率が支配する世界において，割引キャッシュ・フローのような決定論的モデルを使うと，特定のプロジェクトの価値がはなはだしく過小評価されてしまう恐れがあるのである。決定論的な割引キャッシュ・フロー・モデルでは，特定のプロジェクトの価値を変えるようなビジネス条件の変動などは起こり得ないということになる。しかし，実際のビジネス環境はきわめて流動的であり，条件の変化に応じて経営者が適切な変更を加えることができる柔軟性は，それ自体が価値をもつのである（Mun［2002］pp.57-58：邦訳90-91 頁）[1]。

このような割引キャッシュ・フローのもつ問題点を超克するものとして登場したのが，本稿の主題とする「リアル・オプション」である。これは，経営者が戦略的かつ柔軟なオプションを作り出し，行使し，放棄する権利をもっており，そのことが，プロジェクトに付加価値をもたらす１つの要因となっていることを考慮に入れたものである。

企業は，不確実性とリスクに満ちている。しかし，この不確実性の中には，貴重な情報が含まれている。時間の経過とともに不確実性が解消されていくうちに，経営者は，事業上の決定や戦略の変更を通じて「途中修正」を加えることができる。リアル・オプションは，この学習モデルを取り入れて組み立てられており，これを使用することは，戦略的なロード・マップをもつことを意味する（Mun［2002］p.10：邦訳 21 頁）。

本稿はかかるリアル・オプションの重要性に着目し，リアル・オプションの会計的特質と機能を解明することを目的としている。この目的を達成するために，本稿は以下のことを論述する。

(1) まず，リアル・オプション会計の概要を説明する。そこでは，オプション一般について述べることから始め，それに基づいて，リアル・オプション価値の代表的な計算方法であるブラック＝ショールズ・モデルおよび二項モデルを説明する。

(2) 次に，リアル・オプション会計の具体的な計算を，これら 2 つのモデルによって詳細に行う。

(3) これによってリアル・オプション会計のほぼ全容が明らかになると思われるので，これらを踏まえて，本稿の目的であるリアル・オプション会計の特質と機能を明らかにする。

(4) 最後に，リアル・オプション会計の会計システムにおける位置づけおよび意義について述べる。

Ⅱ　リアル・オプション会計の概要

リアル・オプションは，金融資産を評価するために開発されたオプション理論を，実物資産を評価するために，動的で不確実な企業環境に応用しようとするものである。それゆえ，リアル・オプションを理解するためには，金融オプションで展開されたオプション一般について理解しなければならない。そこで，本節ではまず，一般的なオプションの説明から始めることにする。

1　オプションの概要

オプションとは，あらかじめ決められた期間（行使期間）内に，あらかじめ決められた価格（行使価格）で，資産を売買する権利である。資産を買う権利をコール・オプションといい，資産を売る権利をプット・オプションという。この権利の売買がオプション取引であり，権利の買い手（ロング・ポジション）は権利の売り手（ショート・ポジション）に対して契約時に対価（オプション・プレミアム）を支払う。

コール・オプションの場合，原資産の価格が行使価格を上回り，オプションの行使によって直ちに利益が得られる状態をイン・ザ・マネーという。逆に原資産の価格が行使価格を下回っている状態をアウト・オブ・ザ・マネーといい，両者が等しい状態をアット・ザ・マネーという。プット・オプションの場合は，これらとは逆の状態となる。また，満期日のみに権利を行使できるオプションはヨーロピアン・オプションと呼ばれ，期間中いつでも行使できるものはアメリカン・オプションと呼ばれる。

オプション取引は当初金融資産に対するものが主であったが，近年この考え方が実物資産ないしプロジェクトに適用されてきた[2]。これがリアル・オプションである。リアル・オプションは 1 種類ではなく，次のようないくつかの種類があり，これらを組み合わせることによって実際のリアル・オプションが行われる（Copeland and Antikarov［2003］pp.12-13：邦訳 12-13 頁）。

(1)　延期オプション：プロジェクトの開始を延期するオプション
(2)　撤退オプション：一定のコストによりプロジェクトを中止するオプション
(3)　縮小オプション：一定の価格でプロジェクトの一部を売却するオプション
(4)　拡張オプション：投資額を増やしてプロジェクト規模を拡張するオプション
(5)　延長オプション：行使価格を支払うことによってプロジェクト期間を延長するオプション
(6)　スイッチング・オプション：一定のコストをかけることによって 2 種類の操業モードの間で変更が可能になるオプション
(7)　コンパウンド・オプション：段階的な投資の場合のオプションに対するオプション

（複合的なオプション）

(8)　レインボー・オプション：複数の不確実性に影響されるオプション

これらのリアル・オプションの価値は，金融オプションの価値と同様，次の 6 つの基本的な変数によって決定される。

(1)　原資産の現在の価値

(2)　行使価格（投資コスト）

(3)　行使期間

(4)　ボラティリティ（原資産価値の変動性）[3)]

(5)　リスクフリー・レート

(6)　原資産から払い出される配当

2　ブラック＝ショールズ・モデル

リアル・オプション会計において，リアル・オプション価値を計算する方法には，大きく分けて解析型解法と二項モデルとがある。このうち，解析型解法とは，入力する仮定の値が揃っていれば計算式により解が得られるというものであり，その代表がブラック＝ショールズ・モデルである。

コール・オプション価値（C_0）を計算するブラック＝ショールズ式は，次のとおりである（Copeland and Antikarov［2003］pp.106-107：邦訳 111 頁）。

$$C_0 = S_0 N(d_1) - Xe^{-r_f T} N(d_2) \tag{1}$$

ここで，各記号はそれぞれ次のことを意味している。

S_0：原資産価値

$N(d_1)$：単位正規変数 d_1 の累積正規確率

$N(d_2)$：単位正規変数 d_2 の累積正規確率

X：行使価格

r_f：リスクフリー・レート

e：自然対数の底

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + r_f T}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

このブラック＝ショールズ式は次のように解釈することができる。右辺第 1 項の $N(d_1)$ は，原資産価値と類似のポートフォリオを作成するために必要な原資産の単位数であり，第 2 項は，満期時にそれぞれ 1 貨幣単位が償還される債券の数である。第 2 項をさらに詳しく見ると，$N(d_2)$は，オプションがイン・ザ・マネー（すなわち，原資産価値が行使価格

を上回る）で終了する確率であり，$Xe^{-r_f T}$ は，満期時の行使価格をリスクフリー・レートでT単位期間について割り引いた現在価値である。

このブラック＝ショールズ・モデルには，次の7つの仮定が内在している（Copeland and Antikarov［2003］p.106：邦訳110-111頁）。

(1)　オプションが行使できるのは，満期時に限る。すなわち，ヨーロピアン・オプションである。

(2)　不確実性要因は1つのみである。したがって，レインボー・オプションは取り扱えない。

(3)　単一のリスキーな原資産に基づくオプションである。したがって，コンパウンド・オプションは取り扱えない。

(4)　原資産から配当は支払われない。

(5)　現在の市場価格と原資産の確率過程は，既知（観察可能）である。

(6)　原資産の収益率の分散（ボラティリティ）は，時間によらず一定である。

(7)　行使価格は，既知かつ一定である。

このように，ブラック＝ショールズ・モデルは多くの仮定を前提としているが，現実のリアル・オプションの分析では，ほとんどの場合，これらの仮定の少なくとも1つは緩和することが求められる。すなわち，このモデルは現実を説明するには厳しい制約が多すぎ，ここに，ブラック＝ショールズ・モデルの限界がある。

3　二項モデル

かかるブラック＝ショールズ・モデルの限界を超克すべく登場する，リアル・オプション会計のもう1つの方法が，二項モデルである。二項モデルとは，企業活動において，好調時の原資産の現在価値（現在価値の上昇）と不調時の現在価値（現在価値の下落）という2つのシナリオを予測し，それに基づいてリアル・オプション価値を計算するものである。この二項モデルには，ポートフォリオ複製アプローチとリスク中立確率アプローチがあるが，ここでは後者のリスク中立確率アプローチを中心に説明する[4)]。

リスク中立確率アプローチの場合，評価対象のリアル・オプション・モデルがどのようなものであっても，それらは次のような基本的要素を有している。

入力：S, X, σ, T, r_f, b

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}}, \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = 1/u \tag{2}$$

$$p = \frac{e^{(r_f - b)(\delta t)} - d}{u - d} \tag{3}$$

基本的な入力は，原資産の現在価値（S），オプションの実行費用の現在価値（行使価格）（X），原資産のフリー・キャッシュ・フロー収益率の自然対数ボラティリティ（σ），有効

期間（満期）までの年数（T），リスクフリー・レート（rf）および配当率（b）である。これに加えて，二項モデルでは，2 つの計算値，すなわち上昇率と下落率の因数（uとd）およびリスク中立確率（p）が必要になる。この式に見るように，上昇率は，キャッシュ・フロー・ボラティリティに期間（δt）の平方根を乗じたものの指数関数である[5)]。期間は，各ステップ間の期間である。

計算しなければならない 2 番目の値は，リスク中立確率である。これは，リスクフリー・レートと配当の差に期間を乗じた指数関数から下落率を控除した値と，上昇率と下落率の差との比率である[6)]。このリスク中立確率の値はいわば数字のマジックであり，それ自体には特に意味はない。つまり，リスク中立確率そのものには，経済的・財務的な意味は一切なく，一連の計算における 1 つの中間的な産物でしかない。重要なのは，この値を入手することで，後述するように，原資産価値の二項格子を作る準備が整うということである（Mun［2002］pp.144-145：邦訳 206 頁）。

リスク中立確率アプローチによりリアル・オプション価値を具体的に計算する場合，それは次の 4 段階のプロセスで行われる（Copeland and Antikarov［2003］p.220：邦訳 222 頁）。

(1) 割引キャッシュ・フロー評価モデルにより，フレキシビリティを考慮しないベース・ケースの現在価値を計算する。

(2) イベント・ツリーを用いて，不確実性をモデル化する。

(3) 経営上のフレキシビリティを特定・反映させ，ディシジョン・ツリーを作る。

(4) リアル・オプション分析を行う。

第 1 段階の現在価値計算は周知のものであり，原資産の将来フリー・キャッシュ・フローをある割引率で現在に割り引いた価値である。この場合の割引率には，通常，加重平均資本コスト（WACC）が用いられる。

第 2 段階のイベント・ツリーの作成は，この現在価値を基礎として，原資産のボラティリティに基づいて，好調時の現在価値と不調時の現在価値という 2 つのシナリオを予測して行われる。例えば，原資産の時点 0 における現在価値が 4,255 であるとする。ボラティリティが 34.87%であるとすると，現在価値の上昇率は 1.417224（＝$e^{0.3487}$）となり，下落率は 0.705605（＝$e^{-0.3487}$）となる。その結果，時点 1 における好調時の現在価値は 6,030（＝4,255×1.417224）となり，不調時の現在価値は 3,002（＝4,255×0.705605）となる。したがって，この場合のイベント・ツリーは図 1 のようになる。

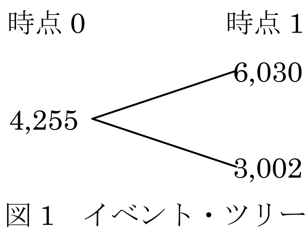

図 1　イベント・ツリー

第 3 段階のディシジョン・ツリーの作成は，このイベント・ツリーと原資産の原初投資

額，リスク中立確率およびリスクフリー・レートを用いて行われる。そしてこの場合，リアル・オプション価値の計算は，時点 0 における原資産の現在価値と原初投資額（行使価格）との差額と，時点 1 における好調時のオプション価値と不調時のオプション価値にそれぞれリスク中立確率および（1 - リスク中立確率）を乗じて加算した値をリスクフリー・レートで割り引いた値のうち，いずれか高い額として行われる。いま，これを式で示すと，次のようになる。

$$\text{リアル・オプション価値}=\mathrm{Max}\ [(S-X),\{pC_u+(1-p)C_d\}e^{-rf}] \qquad (4)$$

例えば，上記の例において，原初投資額が 4,500，リスク中立確率が 0.478378，リスクフリー・レートが 4.5%であるとするならば，時点 0 における原資産の現在価値と原初投資額との差額は，- 245（＝4,255 - 4,500）となる。そして，時点 1 における好調時のオプション価値は 1,530（＝Max[(6,030 - 4500),0]）となり，不調時のオプション価値は 0（＝Max[(3,002 - 4500),0]）となる。そこで，時点 0 におけるこのオプション価値は 700（＝$\{0.478378(1,530)+(1-0.478378)(0)\}e^{-0.045}$）となる。その結果，時点 0 におけるリアル・オプション価値は - 245 と 700 のいずれか大きい方，すなわち 700 となる。したがって，この場合のディシジョン・ツリーは図 2 のようになる。

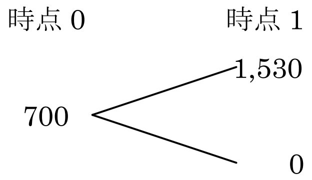

図 2　ディシジョン・ツリー

第 4 段階は最終段階であり，原資産の現在価値およびこのディシジョン・ツリーに基づいて，リアル・オプション分析を行う。具体的には，以上の結果に基づいて，原資産の価値評価および投資意思決定を行うことになる。原資産の価値評価に関して，この例では，それは 4,955（＝4,255＋700）となる。次に，投資意思決定に関して，この原資産価値は原初投資額の 4,500 を上回るので，この原資産に対する投資を決定することになる。

従来の正味現在価値法（NPV）では，この例の場合，当該資産に対する投資を行わないことになる。上述したように，この原資産の現在価値は 4,255 であり，原初投資額は 4,500 であるので，正味現在価値は負となるからである。これにより，企業は投資機会を逸することになり，正しい意思決定を行えないことになる。そしてこれは，既述のように，割引キャッシュ・フロー法および現在価値法は，不確実な世界において経営上の柔軟性を考慮せず，資産およびプロジェクトを過小評価してしまうためである。

実際のビジネス環境はきわめて流動的であり，条件の変化に応じて経営者が適切な変更を加えることができる柔軟性は，それ自体が価値をもつのである。リアル・オプション会計はこの柔軟性を備えており，ここに，従来の割引キャッシュ・フロー会計ないし現在価値会計に代えて，リアル・オプション会計を採用する意義があるのである。

Ⅲ　リアル・オプション会計の計算

これによって，リアル・オプション会計の概要が明らかとなったので，本節では，リアル・オプションの理解をさらに深めるために，この会計の具体的な計算方法を説明することにしよう。その場合，ここでは特に，リアル・オプション会計の代表的な計算方法であるブラック＝ショールズ・モデルと二項モデルによる計算を詳細に行うこととする。

1　ブラック＝ショールズ・モデル

このモデルによりリアル・オプション価値を具体的に計算するに際して，数値例をあらかじめ示しておく必要がある。いま，ある企業のあるプロジェクトにおける将来フリー・キャッシュ・フローの予測値と現在価値が表１のようであったとしよう。

表１　フリー・キャッシュ・フローの予測値と現在価値

	0	1	2	3	4	5	6	7
売上高	13,822	14,796	15,551	16,313	17,406	18,189	18,989	19,806
営業費用	(12,362)	(13,148)	(13,823)	(14,504)	(15,481)	(16,180)	(16,892)	(17,619)
税引前営業利益	1,460	1,648	1,728	1,809	1,925	2,009	2,097	2,187
支払税金	(523)	(515)	(541)	(569)	(606)	(633)	(662)	(690)
NOPAT	937	1,133	1,187	1,240	1,319	1,376	1,435	1,497
営業運転資金増加	(575)	(686)	(434)	(440)	(793)	(465)	(356)	(363)
FCF	362	447	753	800	526	911	1,079	1,134
現在価値の計算								
割引率		0.9372	0.8784	0.8232	0.7715	0.7231	0.6777	0.6351
FCF現在価値	4,255	419	661	659	406	659	731	720

ここでは，加重平均資本コスト（WACC）は6.7%と仮定している。また，原初投資額は5,000と仮定しており，したがって，正味現在価値（NPV）は－745（＝4,255－5,000）である。

表１に基づいて，次に行うべきことは，ボラティリティの推定である。注３で述べたように，ここでは対数キャッシュ・フロー収益率アプローチを用いて行うこととする。この場合，ボラティリティの予測値は次のように計算される。

$$\text{ボラティリティ}=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \qquad (5)$$

ここで，xはキャッシュ・フローの自然対数による収益率であり，nはxの数であり，$\bar{x}$はxの平均値である。それゆえ，ボラティリティを推定するためには，キャッシュ・フロ

一の自然対数収益率とその平均値を計算しなければならない。そして，それを行ったものが表2である

表2　キャッシュ・フローの自然対数収益率

時期	FCF	CF 収益率	CF 収益率の自然対数（x）
0	362		
1	447	447/362=1.2348	ln(447/362)=0.2109
2	753	753/447=1.6846	ln(753/447)=0.5215
3	800	800/753=1.0624	ln(800/753)=0.0605
4	526	526/800=0.6575	ln(526/800)=-0.4193
5	911	911/526=1.7319	ln(911/526)=0.5492
6	1,079	1,079/911=1.1844	ln(1,079/911)=0.1692
7	1,134	1,134/1,079=1.0510	ln(1,134/1,079)=0.0497
平均			0.1631

これによって，ボラティリティの推定が可能となる。その場合，上の(5)式のうち，まず，$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2$ は次のように 0.72952513 となる。

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 = (0.2109-0.1631)^2+(0.5215-0.1631)^2+(0.0605-0.1631)^2+(-0.4193-0.1631)^2$$

$$+(0.5492-0.1631)^2+(0.1692-0.1631)^2+(0.0497-0.1631)^2$$

$$=0.72952513$$

それゆえ，ボラティリティは次のように 34.87%となる。

$$\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} = \sqrt{\frac{0.72952513}{6}} = 0.3487 = 34.87\%$$

そして，これによって，ブラック＝ショールズ・モデルにおけるリアル・オプション価値の計算が可能になる。いまここで，ブラック＝ショールズ式を再掲しておこう。コール・オプション価値（C_0）を計算する式は，次のとおりである。

$$C_0 = S_0N(d_1) - Xe^{-r_fT}N(d_2) \tag{1}$$

ここで，各記号はそれぞれ次のことを意味している。

S_0：原資産価値

$N(d_1)$：単位正規変数 d_1 の累積正規確率

$N(d_2)$：単位正規変数 d_2 の累積正規確率

X：行使価格

r_f：リスクフリー・レート

e：自然対数の底

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + r_f T}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

これに基づいて，まず d_1 を計算すると，次のようになる。

$$d_1 = \frac{\ln(4{,}255/5{,}000) + 0.045(7)}{0.3487\sqrt{7}} + \frac{1}{2}(0.3487\sqrt{7}) = 0.6278$$

そして，この d_1 の累積正規確率 $N(d_1)$は，「標準正規分布関数の領域表」を用いて，次のように計算することができる。

$N(d_1)=0.5+0.2324+(0.2357-0.2324)(0.78)=0.7349$

次に，d_2は次のようにして求められる。

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} = 0.6278 - 0.3487\sqrt{7} = -0.2947$$

そして，この d_2の累積正規確率 $N(d_2)$も，「標準正規分布関数の領域表」を用いて，次のように計算することができる。

$N(d_2)=0.5-0.1141-(0.1179-0.1141)(0.47)=0.3841$

したがって，ブラック＝ショールズ・モデルによるリアル・オプション価値は(1)式から次のように計算され，1,725 となる。

$C_0=4{,}255(0.7349)-5{,}000(e^{-0.045(7)})(0.3841)=1{,}725$

２　二項モデル

次に，二項モデルによるリアル・オプション会計の計算であるが，これは，既述のように次の 4 段階のプロセスで行われる。

(1)　割引キャッシュ・フローによる現在価値の計算

(2)　イベント・ツリーの作成

(3)　ディシジョン・ツリーの作成

(4)　リアル・オプション分析

第 1 段階の割引キャッシュ・フローによる現在価値は，表 1 より 4,255 である。

第 2 段階のイベント・ツリーを作成するためには，当該プロジェクトの現在価値の上昇率および下落率を計算する必要がある。上述したように，これらは次のようになる。

$u=e^{0.3487}=1.417224$，$d=e^{-0.3487}=1/u=0.705605$

これによって，当該プロジェクトの現在価値に関するイベント・ツリーの作成が可能となり，これを行うと表 3 のようになる。これは，スペースを節約するために，二項格子を表形式で示したものであり，以下同じである。

表 3　プロジェクトのイベント・ツリー

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	4,255	6,030	8,546	12,112	17,165	24,327	34,477	48,862
1		3,002	4,255	6,030	8,546	12,112	17,165	24,327
2			2,118	3,002	4,255	6,030	8,546	12,112
3				1,495	2,118	3,002	4,255	6,030
4					1,055	1,495	2,118	3,002
5						744	1,055	1,495
6							525	744
7								371

第 3 段階のディシジョン・ツリーの作成は，このイベント・ツリーと当該プロジェクトの原初投資額，リスク中立確率およびリスクフリー・レートを用いて行われる。この場合，リスク中立確率は次のように計算される。

$$p=\frac{e^{r_f}-d}{u-d}=\frac{e^{0.045}-0.705605}{1.417224-0.705605}=0.478378\text{，}\ 1-\mathrm{p}=0.521622$$

これによってディシジョン・ツリーの作成が可能となり，表 4 のように表される[7)]。

表 4　プロジェクトのディシジョン・ツリー

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1,739	2,963	4,944	8,059	12,796	19,757	29,697	43,862
1		770	1,407	2,523	4,425	7,542	12,385	19,327
2			254	507	1,002	1,957	3,766	7,112
3				45	98	215	471	1,030
4					0	0	0	0
5						0	0	0
6							0	0
7								0

これは，まず最初に最終の 7 年度のオプション価値を算定し，それを基礎として，順次年度を遡って各年度のオプション価値を計算していく方法で行われる。具体的には，次のようにして計算される。例えば，7 年度の 0 列の 43,862 は表 3 に基づいて次のようにして導き出される。

Max(48,862 - 5,000=43,862,0)

また，7 年度の 4 列の 0 は，次のようにして計算される。

Max(3,002 - 5,000=-1,998,0)

そして，6 年度の 0 列の 29,697 は次のようにして導き出される。

Max[(34,477 - 5,000=29,477),{(0.478378(43,862)+0.521622(19,327))$e^{0.045}$=29,697]

同様に，0 年度の 1,739 は次のようにして計算され，これが当該プロジェクトのリアル・

オプション価値となる。

$$\mathrm{Max}[(4{,}255-5{,}000=-745),\{(0.478378(2{,}963)+0.521622(770))e^{-0.045}=1{,}739]$$

この価値は，上記のブラック＝ショールズ・モデルによるリアル・オプション価値の 1,725 と近似しており，このリアル・オプション価値が正しいことを示している。

第 4 段階のリアル・オプション分析は，以上の結果に基づいて，当該プロジェクトの価値評価および投資意思決定を行う。このプロジェクトの価値は 5,994（＝4,255＋1,739）であり，これは原初投資額の 5,000 を上回っているので，このプロジェクトに投資すべきであるということになる。

以上がリアル・オプション価値計算の基礎であるが，リアル・オプション会計をさらに理解するために，現実に近いリアル・オプション価値計算を行ってみよう。いま，この企業の当該プロジェクトに対する選択肢が，現在の製造活動を継続することのほかに，現在の製造活動を拡張するオプション（拡張オプション），現在の製造活動を縮小するオプション（縮小オプション），およびすべての事業から完全に撤退するオプション（撤退オプション）を有しているとしよう。この企業は，これらの選択肢から最良のオプションを選択することになり，それゆえ，このオプションは「選択オプション」と呼ばれている。

いま，現在の製造活動を継続することのほかに，この企業の有しているオプションの具体例は，次のとおりであるとしよう。

(1)　拡張オプション：800 の実行費用で 25%の事業拡張が可能である。

(2)　縮小オプション：事業の 10%を縮小して，700 の費用節減ができる。

(3)　撤退オプション：事業を 2,000 で売却できる。

当該プロジェクトのイベント・ツリー（第 2 段階）まではこれまでと同じとすると，第 3 段階のディシジョン・ツリーは表 5 のようになる。

表 5　選択オプションによるディシジョン・ツリー

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	(36) 5,086	(34) 7,132	(31)10,139	(27)14,499	(22)20,757	(16)29,678	(9)42,332	(1)60,278
1		(35) 3,658	(32) 5,003	(28) 7,036	(23)10,039	(17)14,409	(10)20,692	(2)29,609
2			(33) 2,747	(29) 3,581	(24) 4,902	(18) 6,918	(11) 9,918	(3)14,340
3				(30) 2,225	(25)2,685	(19) 3,485	(12) 4,778	(4) 6,738
4					(26)2,000	(20) 2,189	(13) 2,606	(5) 3,402
5						(21) 2,000	(14) 2,000	(6) 2,046
6							(15) 2,000	(7) 2,000
7								(8) 2,000

表 5 では各数字に番号を付しているが，それは各数字の計算過程と結果を示すためであり，いま主だった数字を説明すると，表 6 のようである。なお，そこにおいて○の付した数字は，各オプションの最大値であり，選択されるべき数字である。

表 6　選択オプションによる各オプション価値の数字説明

番号	計　　　　　　　　　算
(1)	拡張：1.25(48,862) - 800=60,278○ 継続：48,862 縮小：0.9(48,862)+700=44,676 撤退：2,000
(5)	拡張：1.25(3,002) - 800=2,953 継続：3,002 縮小：0.9(3,002)+700=3,402○ 撤退：2,000
(7)	拡張：1.25(744) - 800=130 継続：744 縮小：0.9(744)+700=1,370 撤退：2,000○
(9)	拡張：1.25(34,477) - 800=42,296 継続：[0.478378(60,278)+0.521622(29,609))$e^{-0.045}$=42,332○ 縮小：0.9(34,477)+700=31,729 撤退：2,000
(13)	拡張：1.25(2,118) - 800=1,848 継続：[0.478378(3,402)+0.521622(2,046)]$e^{-0.045}$=2,576 縮小：0.9(2,118)+700=2,606○ 撤退：2,000
(14)	拡張：1.25(1,055) - 800=519 継続：[0.478378(2,046)+0.521622(2,000)]$e^{-0.045}$=1,933 縮小：0.9(1,055)+700=1,650 撤退：2,000○
(16)	拡張：1.25(24,327) - 800=29,609 継続：[0.478378(42,332)+0.521622(20,692)]$e^{-0.045}$=29,678○ 縮小：0.9(24,327)+700=22,594 撤退：2,000
(36)	拡張：1.25(4,255) - 800=4,519 継続：[0.478378(7,132)+0.521622(3,658)]$e^{-0.045}$=5,086○ 縮小：0.9(4,255)+700=4,530 撤退：2,000

そして，これによって，第 4 段階のリアル・オプション分析が可能となる。すなわち，以上の計算によってまず当該プロジェクトの価値が 5,086 であることが明らかとなる。さ

らに，表 5 に基づいて当該プロジェクトに対してなすべき各時点の意思決定も明らかとなり，これを 1 表にまとめると，表 7 のようになる。

表 7　選択オプションによる意思決定

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	(36) 継続	(34) 継続	(31) 継続	(27) 継続	(22) 継続	(16) 継続	(9) 継続	(1) 拡張
1		(35) 継続	(32) 継続	(28) 継続	(23) 継続	(17) 継続	(10) 継続	(2) 拡張
2			(33) 継続	(29) 継続	(24) 継続	(18) 継続	(11) 継続	(3) 拡張
3				(30) 継続	(25) 継続	(19) 継続	(12) 継続	(4) 拡張
4					(26) 撤退	(20) 継続	(13) 縮小	(5) 縮小
5						(21) 撤退	(14) 撤退	(6) 縮小
6							(15) 撤退	(7) 撤退
7								(8) 撤退

Ⅳ　リアル・オプション会計の特質と機能

以上の説明によって，リアル・オプション会計のほぼ全容が明らかになったことと思われるので，本節ではこれらを踏まえて，リアル・オプション会計の特質と機能を明らかにしていきたい。もっとも，これまでこれに関して断片的に説明してきたので，ここではそれらを改めてまとめ，かつ従来の現在価値会計と対比するという形式で論述していくことにする。

1　弾力的評価

リアル・オプション会計の最も重要な特質は，企業の資産ないしプロジェクトを柔軟かつ弾力的に評価し，それによって現代の企業が直面している不確実性に対処するということである。

投資意思決定および企業価値評価の領域において，現在一般的に行われている割引キャッシュ・フロー会計ないし現在価値会計では，資産およびプロジェクトは，最初の評価時点において将来のフリー・キャッシュ・フローの予測および割引率が択一的に決定され，プロジェクトが進行していく過程で不確実性のある側面が確実となった時点で評価を変更するという柔軟性は考慮されない。

既述のように，確率が支配する世界において，決定論的な割引キャッシュ・フロー会計ないし現在価値会計を使用すると，特定の資産およびプロジェクト価値がはなはだしく過小評価されてしまう恐れがある。決定論的な現在価値会計では，特定の資産の価値を変更するような経営条件の変動などは起こり得ないということになる。しかし，現実の経営環境はきわめて流動的であり，状況の変化に応じて資産評価に適切な変更を加えることができる柔軟性は，それ自体が価値をもつのである。

リアル・オプション会計は，現在価値会計のかかる問題点を超克し，資産をより現実に即して弾力的に評価するために登場したものである。そこでは，とりわけ二項モデルでは，企業活動において，好調時の資産の現在価値と不調時の現在価値という 2 つのシナリオを予測し，これに基づいてリアル・オプション価値を計算する。これが弾力的な評価の根拠であり，そのために重要となるのが，ボラティリティとリスク中立確率である。

ボラティリティは資産価値の変動性であり，資産の現在価値の上昇値と下落値を決定する要素である。それは，具体的には対数キャッシュ・フロー収益率アプローチ等によって推定される。リスク中立確率は，リスクフリー・レートと配当の差に期間を乗じた指数関数から下落率を控除した値と，上昇率と下落率の差との比率である。このリスク中立確率の値はいわば数字のマジックであり，それ自体に特に意味はないが，この値を入手することで，資産価値の二項格子を作る準備が整うということである。

資産は，これらのボラティリティとリスク中立確率によって柔軟かつ弾力的に評価されることになり，これらによって，リアル・オプション会計の弾力的評価という最も重要な特質が浮き彫りにされるのである。

2　企業価値評価

リアル・オプション会計はこのように資産を柔軟かつ弾力的に評価することによって，いくつかの機能を有することになる。そして，その 1 つがリアル・オプション会計の企業評価機能である。それは，現在価値会計に比して，より現実的な実態を表す企業価値評価を可能にするのである。

現在価値会計では，企業価値は将来期間のフリー・キャッシュ・フローの現在価値合計となる。すなわち，次のようになる。

$$\text{企業価値}=\text{将来期間のフリー・キャッシュ・フローの現在価値} \tag{6}$$

問題は将来期間のフリー・キャッシュ・フローをどのように予測するかであるが，これには通常「2 段階アプローチ」がとられる。それは，将来期間を予測期間と予測期間以降に分け，直近の一定期間に対して詳細なフリー・キャッシュ・フロー予測を行い，それ以降の長期予測は簡略化するという方法である。これによると，企業価値は次のように表される。

$$\begin{aligned}\text{企業価値}=&\text{予測期間におけるフリー・キャッシュ・フローの現在価値}\\&+\text{予測期間以降のフリー・キャッシュ・フローの現在価値}\end{aligned} \tag{7}$$

予測期間以降のフリー・キャッシュ・フローの現在価値は，遠い将来に対して予測が継続すると仮定して算定する価値であるので「継続価値」と呼ばれ，一般に次の式で計算される。

$$\text{継続価値}=\frac{NOPAT_{T+1}(1-g/ROIC)}{WACC-g} \tag{8}$$

ここで，各記号は次のこと表している。

$NOPAT_{T+1}$＝予測期間以降の 1 年目における標準化された税引後営業利益

g＝NOPAT の永続的な期待成長率

$ROIC$＝新規投資に対して期待される投下資本利益率＝NOPAT／投下資本

$WACC$＝加重平均資本コスト(weighted average cost of capital)

以上が現在価値会計による企業価値評価の概要であるが，これを実際に行う場合の重要なポイントは，予測期間においてフリー・キャッシュ・フローをどのように具体的に予測するかである。これに関して，予測は次のステップで行うことになる（Copeland, Koller and Murrin［2000］pp.233：邦訳 273 頁）。

(1)　どれだけの期間について，どれほど詳細に将来予測をたてるのかを決定する。上述したように，これには一般に 2 段階アプローチが適用される。

(2)　将来の業績について，戦略レベルで見通しをたてる。この場合，業界の特徴と企業の競争優位・競争劣位の双方を考慮する。

(3)　戦略レベルの見通しを，損益計算書，貸借対照表，フリー・キャッシュ・フロー，主要指標等の財務予測に具体化する。

(4)　上の(2)と(3)で作成したケースに加え，異なったシナリオに基づく予測をたてる。

(5)　全体として予測に矛盾はないか，戦略レベルの見通しと適合するかをチェックする。特に，ROIC，売上高および利益成長率の予測結果に注意する。

これらの作業が終了すると，最後に企業価値を算定し評価するために，以下の手続を行う。

(1)　予測した各期のフリー・キャッシュ・フローを，加重平均資本コスト（WACC）を用いて現在価値に割り引く。

(2)　継続価値を，WACC を用いて現在価値に割り引く。

(3)　各期のフリー・キャッシュ・フローの現在価値合計に継続価値の現在価値を加算して，企業価値とする。

以上が現在価値会計における企業価値評価の手続であるが，かかる企業価値評価は現実の流動的な経営環境に適応しにくい非弾力的な評価方法であり，企業価値がはなはだしく過小評価されてしまう恐れがある[8)]。

これに対して，リアル・オプション会計は，現在価値会計によって算定された企業価値を出発点とする。既述のように，二項モデルによるリアル・オプション価値の計算は，次の 4 段階のプロセスで行われる。

(1)　割引キャッシュ・フローによる現在価値の計算

(2)　イベント・ツリーの作成

(3)　ディシジョン・ツリーの作成

(4)　リアル・オプション分析

これらのうち，現在価値会計は第 1 段階の割引キャッシュ・フローによる現在価値の計算に該当し，そこで企業価値評価は終了する。リアル・オプション会計はこれを出発点として，さらにイベント・ツリーの作成とディシジョン・ツリーの作成を行う。

第 2 段階のイベント・ツリーの作成は，第 1 段階の現在価値を基礎として，資産のボラティリティに基づいて，好調時の現在価値と不調時の現在価値という 2 つのシナリオを予測して行われる。第 3 段階のディシジョン・ツリーの作成は，このイベント・ツリー，リスク中立確率およびリスクフリー・レートを用いて行われる。ここではさらに，まず最初に最終年度のオプション価値を算定し，それを基礎として，順次年度を遡って各年度のオプション価値を計算していく方法で行われる。

そして，これによって，柔軟かつ弾力的で，より現実の経営状況に即した企業価値評価が可能となる。したがって，リアル・オプション会計は単なる企業価値評価ではなく，より現実的で正確な企業価値評価を行う機能を有しているのである。

３　投資意思決定

リアル・オプション会計のもう１つの重要な機能は，投資意思決定機能である。リアル・オプション会計は資産ないしプロジェクトを柔軟かつ弾力的に評価することによって，より合理的で弾力的な意思決定を可能とするのである。

既述のように，現在価値会計を使用して意思決定を行う場合，最初の意思決定時点において投資を行うか行わないかの択一的な決定が行われ，プロジェクトが進行していく過程で不確実性のある側面が確実となった時点で経営者が投資の方向を変更するという，経営上の柔軟性は考慮されない。

これに加えて，現在価値会計では，複数の意思決定代替案が存在する場合，プロジェクト開始時にそれらは相互排他的な選択肢として扱われ，正味現在価値（NPV）が高い方が選択される。そこでは複数の代替案を双方ともに選択することができず，さらに，各代替案ごとに現在価値を計算しなければならず，計算が煩雑となる。

これに対して，リアル・オプション会計は，意思決定問題を 1 つのディシジョン・ツリーで捉え，それぞれの段階で状況に応じた最適な意思決定を可能にする。これは上記の表 7 より明らかである。この表は表 5 の選択オプションによるディシジョン・ツリーに基づいて作成したものであるが，ここでは，複数の代替案が相互排他的ではなく，1 つのツリーにおいて時系列的に把握され，各時点において意思決定すべき選択肢が明示されている。

これによって，リアル・オプション会計は，より合理的で弾力的な意思決定を可能にするのみならず，それぞれの段階で状況に応じた最適な意思決定を可能にすることが明らかとなる。このことから，リアル・オプション会計は，複数の代替案を各段階で相互に比較し，各状況に適合する，弾力的で最適な意思決定を行う機能を有しているということができるのである。

V　むすび

以上，本稿では，リアル・オプション会計の特質と機能を解明することを目的として，まず，リアル・オプションの概要を説明した。そこでは，オプション一般について述べることから始め，それに基づいて，リアル・オプション会計の代表的な計算方法であるブラック＝ショールズ・モデルおよび二項モデルを説明した。次に，リアル・オプションの理解をさらに深めるために，この会計の具体的な計算を，これら 2 つのモデルによって詳細に行った。そして，これらを踏まえて，リアル・オプション会計の特質と機能を考察した。その結果，次のことが明らかとなった。

(1) リアル・オプション会計の特質は，企業の資産ないしプロジェクトを柔軟かつ弾力的に評価し，それによって現代の企業が直面している不確実性に対処するということである。

(2) リアル・オプション会計の機能は，この弾力的評価に基づいて，まず，より現実の経営状況に即した，正確な企業価値評価を行うことができるということである。

(3) リアル・オプション会計のもう 1 つの機能は，複数の代替案を時系列的な各段階で相互に比較し，各状況に適合する，弾力的で最適な意思決定を行うことができるということである。

このように，リアル・オプション会計は，現在価値会計に比して，より適切な企業価値評価および意思決定が可能となるのであるが，その主要な原因は，その資産評価の弾力性にあることは明らかである。さらにいうならば，リアル・オプション会計は資産評価に際して資産価値の変動性，つまりボラティリティを考慮に入れているということである。これによって，この会計は資産を柔軟かつ弾力的に評価し，不確実性に対処しうるのである。したがって，リアル・オプション会計の特質が，この会計の機能を規定しているということができる。

それでは，かかる特質を有するリアル・オプション会計は，会計の領域においてどのように位置づけられ，それはどのような意義を有しているのであろうか。これを最後に考察することにしよう。この問題を解決するための鍵は，リアル・オプション会計と現在価値会計の計算構造的関係にあるように思われる。

既述のように，リアル・オプション会計は現在価値会計を出発点とし，資産を弾力的に評価するためにボラティリティを計算要素に入れる。ボラティリティが大きいほど資産価値の変動は大きく，逆にボラティリティが小さいほど資産価値の変動は小さくなる。さらに，ボラティリティがゼロの場合，資産価値の変動もゼロとなる。このボラティリティがゼロの状態，すなわち資産価値の変動がゼロの状態が従来の現在価値にほかならない。したがって，現在価値会計はボラティリティを考慮しないリアル・オプション会計であるということができる。

このように見てくると，現在価値会計はリアル・オプション会計の特殊形態であり，資産評価に関して，リアル・オプション会計が一般形態であることが明らかとなる。現在価値会計は近年非常に重要な会計となってきており，実際の具体的な会計領域においても部分的に適用されており，その適用範囲が次第に拡大しつつある。しかし，かかる現在価値会計がリアル・オプション会計の特殊形態であってみれば，今後，一般形態としてのリアル・オプション会計が現在価値会計に代わって，会計において重要な地位を占めるべきであるということになる。すなわち，リアル・オプション会計は，広い意味において，現在価値会計の新指標であるということができるのである。

しかし，そればかりではない。リアル・オプション会計の評価基準は，資産評価の一般基準となる可能性がある。近年,「公正価値」が資産評価の一般概念として定着しつつあり，そこにおける重要な要素が現在のところ現在価値であるが，リアル・オプション価値はそれに取って代わる可能性がある。この意味でも，リアル・オプション会計は，会計システムの一般理論の構築に際して，重要な会計システムであるということができるのである。

［注］

1) マンは，割引キャッシュ・フローが仮定していることと，それに対する現実を以下の表のようにまとめ，割引キャッシュ・フローの問題点を浮き彫りにしている（Mun［2002］p.59：邦訳 92 頁）。

割引キャッシュ・フローの仮定と問題点

DCF の仮定	DCF の現実（問題点）
今決定が下され，将来のキャッシュ・フローは固定されている。	将来の結果は不確実で，変動する可能性がある。すべての決定が今すぐ下されるとは限らない。不確実性が解消するまで待機するものもあるからである。
1 つ 1 つのプロジェクトは「ミニ企業」のようなものであり，それぞれが自己完結している。	ネットワーク効果，多様化，相互依存，および相乗効果を考慮すれば，企業は，様々なプロジェクトとそれらがもたらすキャッシュ・フローのポートフォリオと見なすべきである。1 つ 1 つのプロジェクトを単独のキャッシュ・フローとして評価することはできない。
ひとたび立ち上げられれば，すべてのプロジェクトは受動的に管理される。	プロジェクトは，チェック・ポイント，決定オプション，予算の制約などにより，ライフ・サイクル全体を通じて能動的に管理されるものである。
将来のキャッシュ・フローはすべて予測可能性が高く，決定論的に扱うことができる。	将来のキャッシュ・フローを推定することは困難な場合が多い。キャッシュ・フローは，本来，確率論的でリスクが高い性格をもっているからである。
使用する割引率は，資本の機会費用であり，分散不能なリスクの大きさに比例するものである。	ビジネス・リスクの根源は多数あり，それぞれ異なる性格をもっている。また，リスクのいくつかは，複数のプロジェクト間で，または時間の経過に沿って分散させることができる。
割引率だけですべてのリスクをカバーすることができる。	企業とプロジェクトが直面するリスクは，プロジェクトが進行する過程で変化するものである。
プロジェクトの結果と，投資家にとっての価値に影響を与えるすべての要因は，NPV や IRR（内部収益率）によって DCF モデルの中に反映されている。	プロジェクトは本質的に複雑である上に，外部からの要因も作用するので，キャッシュ・フローの漸増という形で定量化することは困難もしくは不可能である。また，直前の計画によらずに分散的に発生する結果（戦略展望や起業的活動など）にも，大きな意義と戦略的な重要性が秘められている可能性がある。
未知，無形，あるいは測定不能な要因はゼロと評価する。	重要な利得の多くは，無形資産または選択する戦略の質によってもたらされる。

2) 金融オプションとリアル・オプションは類似する点が多いが，相違点もある。マンにしたがって，両者の相違点を 1 表にまとめると次のようになる（Munn［2002］p.100：邦訳

150 頁）。

金融オプションとリアル・オプションの相違点

金融オプション	リアル・オプション
満期が短い。通常は数か月。	満期が長い。通常は数年。
オプションの価値を決める原資産変数は，株価もしくは金融資産の価格である。	原資産変数は，フリー・キャッシュ・フローで，これは，競争，需要，経営状態によって決まる。
株価を操作してオプションの価値をコントロールすることはできない。	経営者の決定と柔軟性により，戦略的オプションの価値を増加させることができる。
価値が小さい場合が多い。	何億ドルにも達し得る大型の決定事項である。
競争や市場の影響はオプションの価値や価格と無関係である。	競争と市場が戦略的オプションの価値を決める。
すでに 30 年以上にわたって取引の対象になっており，完全に定着している。	過去 10 年の間に企業財務の分野で開発が進められてきたものである。
通常は，偏微分方程式やエキゾチック・オプションのためのシミュレーション／分散低減法によって解を得る。	通常は，方程式と二項格子が原資産変数のシミュレーションとともに用いられ，解を得る。
市場で取引されている有価証券をベースとしており，比較対象と価格情報が揃っている。	取引されていない，各企業固有の性格をもった資産を対象としており，市場における比較対象がない。
経営者による仮定と行動は評価と無関係である。	経営者による仮定と行動がリアル・オプションの価値を決める。

3) ボラティリティの推定方法として，対数キャッシュ・フロー収益率アプローチ，対数現在価値アプローチ，GARCH アプローチ，主観的推定アプローチ，市場における類似資産アプローチ等があるが（Munn［2002］p.100：邦訳 150 頁），本稿ではこのうち，対数キャッシュ・フロー収益率アプローチを用いてボラティリティを推定する。これによれば，ボラティリティの予測値は次のように計算される。

$$\text{ボラティリティ} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

ここで，x はキャッシュ・フローの自然対数による収益率であり，n は x の数であり，$\bar{x}$ は x の平均値である。この方法は，実行がきわめて容易であるという利点を有する。しかし，これは，ある期のキャッシュ・フローが負の場合にはリターンも負になるが，負の値には自然対数が存在し得ないために，キャッシュ・フローのダウンサイドを捕捉することができず，誤った結果が導き出される可能性がある。また，自己相関をもつキャッシュ・フローや，静的な成長率をもつキャッシュ・フローの場合も，誤ったボラティリティ予測が生じる可能性がある。

そこで現実には，このシンプルな方法に対して，モンテカルロ・シミュレーションによる割引キャッシュ・フロー・モデルが用いられる。これによると，何千回もの試行によって，単一の誤ったボラティリティ予測を導き出してしまうリスクを軽減することができる。そして，この方法で分析すれば，単一の予測値ではなく，リアル・オプションの予測価値の分布とそれに対応する発生確率を得ることができる。ただし，本稿では計算過程を理解する目的で，後述するように，上記のシンプルな方法で実際のボラティリティを推定することにする。

[4] ポートフォリオ複製アプローチでは，裁定の機会はなく，市場での既存のペイアウト構造を複製できるような資産が数多く取引されていて，必要に応じて獲得することができるものと仮定して，リアル・オプション価値を計算する。ここでは，原資産と同じ価格変動をする双子証券 m 単位とリスクフリー債券 B 単位から，複製ポートフォリオが構成される。C_u を好調時のオプション・ペイオフとし，C_d を不調時のペイオフとする。V_u を好調時における原資産（双子証券）の価値とし，V_d を不調時の価値とする。この場合，$C_u = mV_u + B(1+r_f)$ となり，$C_d = mV_d + B(1+r_f)$ となる。この 2 つの式から m と B を求め，これを原資産の複製ポートフォリオに代入することによって，リアル・オプション価値が計算されることになる（Copeland and Antikarov［2003］pp.93-95：邦訳 98-100 頁）。この計算結果はこれから述べるリスク中立確率アプローチによる計算結果と完全に一致する。しかし，両者の計算過程を比較すると，リスク中立確率アプローチの方がはるかに計算数が少なく，簡単であるので，本稿ではこのアプローチを主として説明する次第である。

[5] これの基礎には，株価の予測とデリバティブの評価方法として広く受容されている「幾何ブラウン運動」がある。幾何ブラウン運動を式で示すと次のようになる。

$$\frac{\delta S}{S} = \mu(\delta t) + \sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}$$

ここで，$\delta S／S$ と表示されているのは，百分率で表せる変数 S の変化である。この式は，決定論的な部分（$\mu(\delta t)$）と，確率論的な部分（$\sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}$）を組み合わせたものである。ここで，$\mu$ は成長パラメータであり，期間 δt とともに増加する。一方，σ は，時間の平方根で成長するボラティリティ・パラメータである。ε は，変動変数で，通常は平均値が 0 で分散が 1 の正規分布になる（Munn［2002］pp.151-152：邦訳 214-216 頁）。

そして，この幾何ブラウン運動を指数化すると，指数ブラウン運動となる。この過程は次の式から始まる。

$$\frac{\delta S}{S} = e^{\mu(\delta t) + \sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}}$$

この過程は，次のように，決定論的な部分と確率的な部分に分けることができる。

$$\frac{\delta S}{S} = e^{\mu(\delta t)} e^{\sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}}$$

モデルの決定論的な部分（$e^{\mu(\delta t)}$）は，ブラウン運動過程，すなわち成長率を示している。ところで，リアル・オプションでは，原資産変数（S）は将来のフリー・キャッシュ・フローの現在価値であった。これは，ある期間から次の期間のキャッシュ・フローの成長率については，すでに，割引キャッシュ・フロー分析が行われたときに直感的な形で計算に入れられているということである。したがって，ここでは確率項（$e^{\sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}}$）だけを計算に加えればよい。この項は，きわめて変動が激しい変動項（ε）を含んでいる。

確率項（$e^{\sigma\varepsilon\sqrt{\delta t}}$）は，ボラティリティ要素（$\sigma$），時間要素（$\delta t$）および変動要素（$\varepsilon$）を含んでいる。この ε に関して，元来，二項モデルは離散型のシミュレーション・モデルである。つまり，それぞれの期間について変動を表すシミュレーションをやり直す必要はなく，変動変数（ε）は除外することができる。したがって，残る確率項は本文の $e^{\sigma\sqrt{\delta t}}$ だけである。

そして，二項モデルの計算を容易にするための再結合二項格子を得るためには，上昇率と下落率は同じ大きさをもっていなければならない。したがって，上昇率を $e^{\sigma\sqrt{\delta t}}$ とするならば，下落率はその逆数，すなわち $e^{-\sigma\sqrt{\delta t}}$ とすることができる（Munn［2002］p.160：邦訳 226-228 頁）。

[6] このリスク中立確率の式は，次の図を参考にして直感的に求めることができる。

p　　　上昇値

開始点

1-p　　下落値

これは，2 つの分岐をもつ決定モードと，それぞれの分岐の発生確率を示している。この二項ツリーの開始点における期待価値は，(*p*)上昇値＋(1-*p*)下落値となる。

そして，ここで時系列を加えると，ペイオフの期待開始価値は，［(*p*)上昇値＋(1-*p*)下落値］exp(- 割引率)(期間)となる。ここで，dr を割引率，t を時間，u を上昇の場合のペイオフ，そして d を下落の場合のペイオフとすると，開始点における現在価値は，

1=$[(p)u+(1-p)d]e^{-dr(t)}$ となる。この式の両辺に $e^{-dr(t)}$ の逆数を乗じると

$(p)u+(1-p)d=e^{dr(t)}$ となり，さらに各項を展開して整理すると，$p(u-d)+d=e^{dr(t)}$ となる。そして，ここで p を求めると，次のようになる。

$$p=\frac{e^{dr(t)}-d}{u-d}$$

このリスク中立確率が，二項格子上の確率に対する解である。二項格子の理論的枠組みによれば，時間（*t*）は，格子点間の時間であるので，δt と表すことができる。また，この確率 p は，リスクがすでに計算済みであるリスク中立の世界において使用されるので，割引率 dr はリスクフリー・レート r_f と同じになる。そこで，これらの値を置換すると，次のような計算式が得られる。

$$p=\frac{e^{r_f(\delta t)}-d}{u-d}$$

しかし，連続的な配当性向がある場合には，このリスクフリー・レートは，配当利回りを控除したもの（r_f - *b*）に修正される（Munn［2002］pp.162-163 : 邦訳 228-230 頁)。その結果，本文で示したリスク中立確率の計算式が得られる。

7) この表 4 はこれまでと同様に連続利子率を用いて計算したものであるが，いまこれを離散利子率（1＋0.045）を用いて同じディシジョン・ツリーを作成すると，次のようになる。

プロジェクトのディシジョン・ツリー（離散利子率）

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1,751	2,980	4,969	8,091	12,835	19,796	29,726	43,862
1		775	1,414	2,534	4,438	7,557	12,398	19,327
2			256	510	1,006	1,961	3,770	7,112
3				45	99	216	472	1,030
4					0	0	0	0
5						0	0	0
6							0	0
7								0

これによれば，当該プロジェクトのリアル・オプション価値は 1,751 であり，連続利子率を用いた場合の 1,739 と若干異なることに注意する必要がある。

8) 現在価値会計にはもう 1 つの問題点がある。それは，継続価値の問題である。継続価値は本文で示した方法で計算されるが，問題は，直近の一定期間に対して詳細なフリー・キャッシュ・フローを予測するその予測期間が少ない場合，企業価値に占める継続価値の割合が高くなることである。多くの場合，非現実的な仮定に基づいて計算され，予測の困難な継続価値が企業価値を決定してしまう恐れがある。

＜参考文献＞

Amram, M. and N. Kuratilaka［1999］*Real Options: Mnaging Strategic Investment in an Uncertain World*, Harvard Business School Press（石原雅行・中村康治・吉田二郎・脇保修司訳『リアル・オプション　経営戦略の新しいアプローチ』東洋経済新報社，2001年）．

Copeland T., T. Koller and J. Murrin［2000］*Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*, 3rd Edition, 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）．

Copeland T. and V. Antikarov［2003］*Real Options: A Practitioner's Guide*, Thomson（栃本克之監訳『リアル・オプション　戦略フレキシビリティと経営意思決定』東洋経済新報社，2002 年）．

Dixit, A. K. and R. S. Pindyck［1994］*Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press（川口有一郎主幹訳『投資意思決定とリアル・オプション　不確実性のもとでの投資』エコノミスト社，2002 年）．

Mun, J.［2002］Real *Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*, John WiLey & Sons, Inc.（『リアル・オプションのすべて　戦略的投資意思決定を分析する技術とツール』ダイヤモンド社，2003 年）．

Trigeorgis, L.［1996］*Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press（川口有一郎主幹訳『リアル・オプション』エコノミスト社，2001 年）．

小林啓孝［2003］『デリバティブとリアル・オプション』中央経済社。

枡谷克悦［2003］『企業価値評価の実務』清文社。

山口浩［2002］『リアル・オプションと企業経営』エコノミスト社。

山本大輔［2001］『リアル・オプション　新しい企業価値評価の技術』東洋経済新報社。

與三野禎倫［2002］『ストック・オプションと公正価値測定』千倉書房。