

Title	バイオベンチャーのデスバレー対応に関するリアルオプション分析(分野別のR&Dマネジメント (3))
Author(s)	藤原, 孝男
Citation	年次学術大会講演要旨集, 21: 902-905
Issue Date	2006-10-21
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/6441
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

2B16 バイオベンチャーのデスバレー対応に関するリアルオプション分析

○藤原孝男（豊橋技術科学大）

1. 序

創薬型バイオベンチャーは、少子高齢化・医薬コスト上昇という課題、政府による生命科学基礎研究への重点的助成や製薬大企業の臨床開発への傾注という背景の中で、基礎研究成果の迅速・果敢・柔軟な医薬開発に向けた技術移転手段として期待されている。但し、多産多死の存続パターンを特徴とするベンチャーの中でも創薬型ベンチャーは、開発に要するコスト・時間に対して資源制約が大きく、デスバレーの克服が重要な課題になっている。本研究では、リアルオプション分析（ROA）を用いて、このような有望ではあるが高リスクなプロジェクトに関する投資継続決定に活用可能なアプローチを検討する。ここでは、大学発スピンオフを想定し、初期前提として DCF モデルにて NPV がマイナスのデスバレー直面状態を再現する。次に、2 項格子モデルによる 2 タイプのリアルオプションとして、シークエンシャル・コンパウンド・オプション及びチューザー・オプションによる 1 点推定法にて ENPV のプラスへの変換を試みる。加えて、モンテカルロ・シミュレーションを使用した、オリジナル NPV 及びリアルオプションに基づく ENPV の各分布間の期待リターン・リスクの比較を通じて、オプション評価を行なう。さらに、確率的最適化による ENPV を最大化するロイヤリティ支払い決定を検討する。

2. DCF(Discounted Cash Flow)モデル

デスバレーに直目するアカデミック・バイオテック・スピンオフのようなスタートアップを想定した仮説的な DCF モデルの構築から開始する。タイムホライズンを 5 年間として、販売予測では、ROA の特徴を反映させる意図で、高ボラティリティを設定し、Anges MG の 2005 年度の売り上げ金額 2,430.4 百万円に、2001 年売り上げ/2002 年売り上げの比 1.37 を 2006 年度以降、5 年間毎年乗ずると仮定した。

Mun,J. (2002) の DCF モデルを参考にして、状態変数として競争環境を考慮し、ライバルとの競争激化、社内プロジェクト間の競合、自社製品の市場での成熟度などをインプットした。販売委託等の売り上げに関するコストは、売り上げの 0.25 を、業務コストは粗利益の 0.30 を各仮

定した。創薬プロジェクトを継続するために、毎年 1,100 百万円の投資を必要とする仮定をおき、減価償却 700 百万円、支払い利子 100 百万円も毎年コンスタントであると仮定した。想定している企業のビジネスモデルに基づき、大学からライセンスインしている特許に対するロイヤリティを決定変数とし、契約協定上、最初の 2 年間で最小 5%、最大 10%、次の 2 年間で最 10%、最大 15%、そして最終年では最小 10%、最大 20%の範囲内を設定し、暫定的に最初の 2 年間で 7.5%、次の 2 年間で 12.5%、そして最終年を 15.0%と仮定した。リターンとしての CF(Cash Flow)に反映する勘定科目としては減価償却に加えて、自社への知的資産形成に対して費用処理されるロイヤリティの租税公課が考えられる。NPV を計算する上での、リターンとしての CF の割引率は資本コストとして 15%、毎年のコンスタントな投資を既定とする方

Input Parameters		Results	
Discount Rate (Cash Flow)	15.00%	Present Value (Cash Flow)	¥1,457
Discount Rate (Impl. Cost)	5.00%	Present Value (Impl. Cost)	¥1,762
Tax Rate	50.00%	Net Present Value	-206

Year	2006	2007	2008	2009	2010
Revenue	¥3,330	¥4,562	¥5,129	¥5,500	¥6,039
Adjustment to Revenue	¥200	¥456	¥602	¥1,293	¥1,751
Cost of Revenue	¥533	¥1,141	¥1,252	¥1,375	¥1,510
Royalties Paid	¥250	¥342	¥626	¥669	¥806
Gross Profit	¥2,048	¥2,623	¥2,229	¥2,145	¥1,872
Operating Expenses	¥614	¥787	¥669	¥644	¥562
Depreciation Expense	¥700	¥700	¥700	¥700	¥700
Interest Expense	¥100	¥100	¥100	¥100	¥100
Income Before Taxes	¥634	¥1,036	¥760	¥702	¥510
Taxes	¥317	¥518	¥380	¥351	¥255
Income After Taxes	¥317	¥518	¥380	¥351	¥255
Non-Cash Expenses	¥625	¥671	¥1,013	¥1,044	¥1,153
Cash Flow	¥1,142	¥1,389	¥1,393	¥1,395	¥1,408
Implementation Cost	¥1,142	¥1,389	¥1,393	¥1,395	¥1,408

Adjustment to Revenue:		2006	2007	2008	2009	2010
Competitive Effects	1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%	
Cannibalization Effects	5.00%	8.00%	10.00%	12.00%	14.00%	
Market Saturation	0.00%	0.00%	5.00%	15.00%	10.00%	
Adjustment to Revenue:		2006	2007	2008	2009	2010
Royalty Rate	7.50%	7.50%	12.50%	12.50%	15.00%	
Minimum Rate	5.00%	5.00%	10.00%	10.00%	10.00%	
Maximum Rate	10.00%	10.00%	15.00%	15.00%	20.00%	
Maximum Total Rate	50.00%			Minimum Total Rate	20.00%	
Volatility Measure:						
Logarithmic Returns			0.1962	0.0029	0.0009	0.0097
Volatility	9.59%					

針から、内部投資の割引率にはリスクフリーレート5%を適用した。その結果、このビジネスモデルでは、売上上昇傾向にもかかわらず、NPVは-306百万円となり、当該投資決定の否決される可能性が存在する。但し、リターンCFの対数アプローチによるボラティリティは9.59%と比較的大であり、オプション設計によっては、リスクヘッジ効果の期待される余地が存在する。

3. 2項格子モデルによる2タイプのリアルオプション

ここでは、戦略的な柔軟性のオプション価値によって、オリジナルNPVのマイナスを拡張NPVにて正に変換する可能性について検討する。扱うリアルオプションとしては、2項格子モデルを基礎に、シークエンシャル・コンパウンド・オプションとチューザー・オプションとを採り上げる。

3-1. シークエンシャル・コンパウンド・オプション

原資産としてのプロジェクト価値から派生する第2オプション及び、第2オプションを原資産として派生する第1オプションから構成されるオプションのオプションとしてのコンパウンドオプションをここでは扱う。半年を単位期間として、3年を満期とする第1オプションと、その後

Input Assumptions	
Present Value of Future Cash Flows (asset)	¥4,457
Implementation Cost (cost)	¥4,762
Volatility (volatility)	9.59%
Maturity (maturity)	5
Risk-Free Rate (rf)	5.00%
Binomial Lattice Steps (steps)	10
Second Phase Implementation Cost (cost 2)	¥238
Time to Second Phase (time 2)	3

Intermediate Calculations	
Time Step (dt)	0.50
Up Jump (up)	1.0702
Down Jump (down)	0.9344
Risk-Neutral Probability (prob)	0.6695
Results	
Binomial Lattice Result	¥4,457

¥4,457	¥4,762	¥5,104	¥5,462	¥5,846	¥6,256	¥6,695	¥7,163	¥7,658	¥8,206	¥8,782
	¥4,164	¥4,457	¥4,762	¥5,104	¥5,462	¥5,846	¥6,256	¥6,695	¥7,163	¥7,658
Underlying Asset Lattice		¥3,891	¥4,164	¥4,457	¥4,762	¥5,104	¥5,462	¥5,846	¥6,256	¥6,695
		¥3,636	¥3,891	¥4,164	¥4,457	¥4,762	¥5,104	¥5,462	¥5,846	¥6,256
		¥3,175	¥3,636	¥3,891	¥4,164	¥4,457	¥4,762	¥5,104	¥5,462	¥5,846
			¥2,967	¥3,175	¥3,636	¥3,891	¥4,164	¥4,457	¥4,762	¥5,104
				¥2,772	¥2,967	¥3,175	¥3,636	¥3,891	¥4,164	¥4,457
					¥2,590	¥2,772	¥2,967	¥3,175	¥3,636	¥3,891
						¥2,420	¥2,590	¥2,772	¥2,967	¥3,175
							¥2,262	¥2,420	¥2,590	¥2,772
¥838	¥1,023	¥1,286	¥1,479	¥1,752	¥2,054	¥2,386	¥2,747	¥3,138	¥3,561	¥4,020
	¥520	¥509	¥839	¥1,040	¥1,273	¥1,540	¥1,836	¥2,165	¥2,520	¥2,905
Equity Lattice		¥282	¥376	¥496	¥616	¥831	¥1,054	¥1,216	¥1,411	¥1,633
			¥115	¥162	¥229	¥320	¥443	¥606	¥818	¥1,083
				¥26	¥41	¥62	¥85	¥146	¥223	¥342
					¥0	¥0	¥0	¥0	¥0	¥0
						¥0	¥0	¥0	¥0	¥0
							¥0	¥0	¥0	¥0
								¥0	¥0	¥0
									¥0	¥0
¥618	¥620	¥1,023	¥1,286	¥1,525	¥1,822	¥2,149				
	¥552	¥471	¥624	¥815	¥1,041	¥1,302				
Valuation Lattice		¥157	¥198	¥287	¥413	¥593				
			¥23	¥35	¥53	¥82				
				¥0	¥0	¥0				
					¥0	¥0				
						¥0				
							¥0			

の2年間（スタートから5年目）を満期とする第2オプションとからなるマイルストーン形式のオプションである。第2オプションの行使価格は、プロジェクトの最終成果を得るための、DCFモデルの累計投資金額の現在価値とし、第1オプションの行使価格は、第2オプションの行使価格の5%を任意に仮定した。故に、第2オプションの最終ノードでは、各状態に対応した原資産としてのプロジェクト価値からの第2オプション行使価格の差が0以上かどうかを判断基準とする。また、第1オプションの最終ノードでは、対応するノードの第2オプションの価値と行使によってそれを得るための第1オプションの行使価格との差の正か否かペイオフの決め手になる。さらに、第1オプションの初期値は、直後の第1オプションの価値から割引期待値として逆算される第1オプション維持価値と、第2オプションの初期値及び第1オプション行使価格との差である第1オプションを直ぐに行使した場合のリターンとの間の大きい方を選択するペイオフとなる。これは、当該シークエンシャル・コンパウンド・オプションによる拡張NPVである。

例えば、最上位の最終ノードでの第2オプション価値は、

$$C_{2u^{10}} = \max[u^{10}V_0 - X_2, 0] = \max[1.0702^{10} \times 4457 - 4762, 0] \approx 4020$$

但し、ボラティリティ $\sigma = 0.0959$ 、格子モデルの単位期間 $dt = 0.5$ 、上昇率 $u = \exp(\sigma\sqrt{dt}) = \exp(0.0959\sqrt{0.5}) \approx 1.0702$ 、原資産の初期値 $V_0 = 4457$ 、第2オプションの行使価格 $X_2 =$ 累計投資金額の現在価値 $= 4762$ とする。

また、最終から第2期の最上位ノードでの第2オプションのペイオフは、ヘッジポートフォリオ法による割引期待値と行使成果との比較から、

$$C_{2u^9} = \max[u^9V_0 - X_2, \{pC_{2u^{10}} + (1-p)C_{2u^8}\} \exp(-r_f dt)]$$

$$= \max[8206 - 4762, (0.6695 \times 4020 + 0.3305 \times 2906) \times 0.9753] \approx \max[3444, 3561] = 3561$$

但し、下降率 $d = 1/u = \exp(-\sigma\sqrt{dt}) \approx 0.9344$ 、リスク中立確率 $p = \frac{\exp(r_f dt) - d}{u - d} = \frac{\exp(0.05 \times 0.5) - 0.9344}{1.0702 - 0.9344} \approx 0.6695$ 、リスクフリーレート $r_f = 0.05$ とする。

この結果、第2オプションの初期ノードでの価値は、 $C_2 = 838$ となる。

他方、第1オプションの最終・最上位ノードでの価値評価は、

$$C_{1u^5} = \max[C_{2u^5} - X_1, 0] = \max[2386 - 238, 0] = 2148$$

ヘッジポートフォリオ法及び、第1オプションの原資産が第2オプションというコンパウンドオプションの性質から、第1オプションの初期ノードのペイオフは、

$$C_1 = \max[C_2 - X_1, \{pC_{1u} + (1-p)C_{1d}\} \exp(-r_f dt)]$$

$$= \max[838 - 238, (0.6695 \times 820 + 0.3305 \times 352) \times 0.9753] \approx 649 \text{ (百万円)}$$

この C_1 は、プロジェクト成果という原資産に対する行使価格 X_2 の投資済みの第2オプションの価値に加えて、新たに第1オプションの享受に伴う行使価格 X_1 をも反映しているので、当該シーケンシャル・コンパウンド・オプションによる拡張正味現在価値(Expanded NPV)に相当する。

こうして、当該シーケンシャル・コンパウンド・オプションでは、2期間によるマイルストーン形式のオプションを設定した。その結果、1点推定法ながら、オプションのないオリジナルのプロジェクトでNPVがマイナスであったのが、オプションによる柔軟性を反映した拡張NPVではプラスに変化させることができた。

但し、第2オプションの行使価格を累計投資金額の現在価値と計算の便宜上、仮定しているが、本来は、ノードの位置によって時間的価値を変化させるべきである。

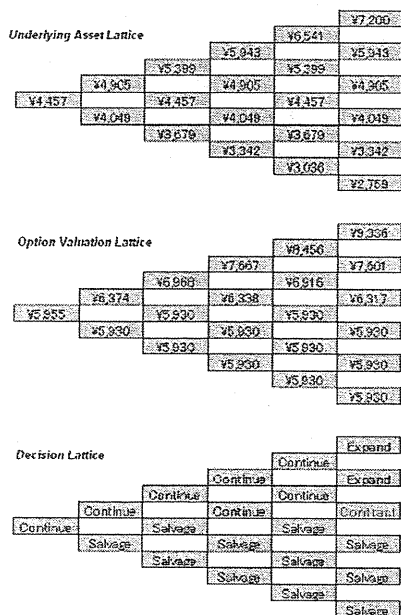
3-2. チューザー・オプション

次に拡張オプション、縮小オプション、中止オプションの3単純オプションとオプションを行使しない場合も含めた組み合わせスキームとしてのオプション・ツリー・チューズあるいはチューザー・オプションの設計を試みる。

Assumptions	
Asset Value (V)	¥4,457
Maturity (Years)	5.00
Risk-free Rate (%)	6.00%
Dividends (%)	0.00%
Volatility (%)	8.50%
Lattice Steps	5
Expansion Factor	1.38
Expansion Cost (V)	¥600
Contraction Factor	0.88
Contraction Savings (V)	¥2,000
Salvage Value (V)	¥5,930

Intermediate Calculations	
Stepping-Time (dt)	1.0000
Up Step-Size (up)	1.1007
Down Step-Size (down)	0.9085
Risk-neutral probability (prob)	0.7429

Results	
Lattice Results	¥5,955
Option Value	¥1,498
Expanded Net Present Value	¥11,92



先のシーケンシャル・コンパウンド・オプションと比較し、2項格子モデルの期間が10から5に減少し、 $dt=1$ 年が変わった。その結果、 $u=1.1007$ 、 $d=0.9085$ 、 $p=0.7429$ となった。また、原資産の変化も、最終・最上位が $u^5V_0=8782$ から $u^5V_0=7200$ に、最終・最下位が $d^{10}V_0=2262$ から $d^5V_0=2759$ にそれぞれ中間の値になっている。チューザー・オプションを構成する、先ず、拡張オプションでは拡張係数=1.38、行使価格=600、次に、縮小オプションでは縮小係数=0.88、行使価格=2000、そして、中止オプションの行使価格=5930の前提を置いた。これら単純オプションの中で、成長オプションはコール、縮小・中止オプションズはプットである。2項格子モデルでは、最終ノードにおいて、各単純オプションのペイオフを比較し、累計投資額の現在価値は、リターンのキャッシュフローの全体の計算後に引き算を行なう。

チューザーオプションの2格子モデルの最終・最上位ノードでは、

$$= \max[\text{Expansion Factor} \times u^5 V_0 - \text{Expansion Cost}, \text{Contraction Factor} \times u^5 V_0 + \text{Saving, Salvage}]$$

$$= \max[1.38 \times 7200 - 600, 0.88 \times 7200 + 2000, 5930] = \max[9336, 8336, 5930] = 9336$$

また、最終から第2期目の最上位ノードでは、オプション保持を含め、

$$= \max[\text{Expansion Factor} \times u^4 V_0 - \text{Expansion Cost}, \text{Contraction Factor} \times u^4 V_0 + \text{Saving, Salvage, } \{pC_{u^4} + (1-p)C_{d^4}\} \exp(-r_f dt)]$$

$$= \max[1.38 \times 6541 - 600, 0.88 \times 6541 + 2000, 5930, (0.7429 \times 9336 + 0.2571 \times 7601) \times \exp(-0.05 \times 1)]$$

$$= \max[8426, 7756, 5930, 8456] = 8456$$

各オプションの選択デシジョンツリーも同様に示される。

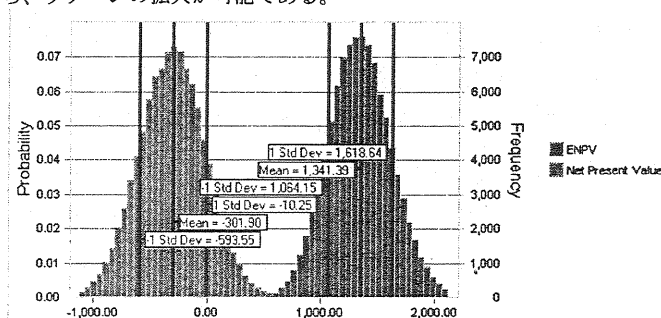
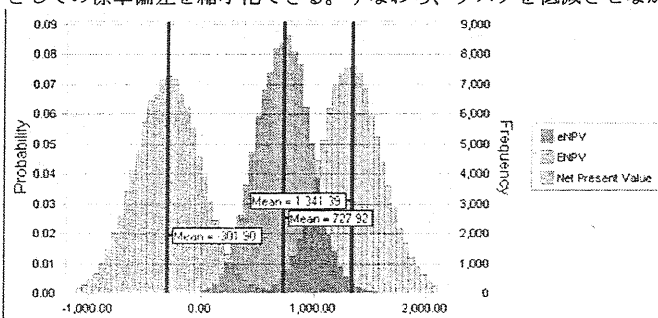
オプション選択のデシジョンツリーでは、好条件に遭遇した場合は拡張に向けオプションを保持し、条件が悪いほど、早期段階から中止オプションを行使し、拡張と中止の中間に縮小オプションの選択が位置づけられる。その結果、投資コストを含まないリターンのキャッシュフローとしてのオプションの初期ペイオフは5,955、これから原資産の現在価値を引いたオプション価値は、1,498で、初期ペイオフから累計投資金額の

現在価値 4762 を差し引いた拡張 NPV は 1,192(百万円)になる。故に、チューザー・オプションでも、状態変数に応じた各オプション行使の方針を含めたパラメータ設定の結果、1 点推定法にてオリジナルの負の NPV をやはりオプションによる柔軟性を反映した拡張 NPV ではプラスに変化した。但し、ここでのシーケンシャル・コンパウンド・オプション及びオプション・ツー・チューズは両者とも 1 点推定法であり、シミュレーションによって一層汎用的な妥当性を検証する必要性が残る。

4. シミュレーションによるオプション価値の評価

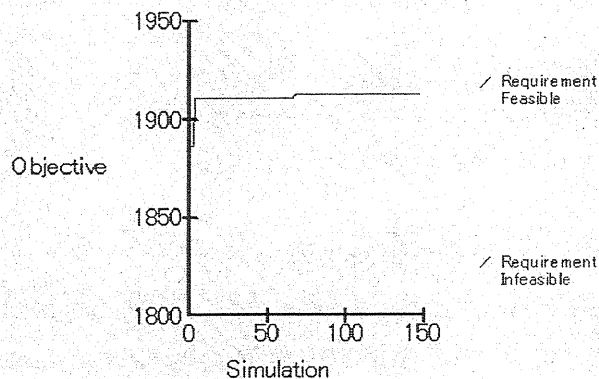
4-1. モンテカルロ・シミュレーションによるリターン・リスク分析

続いて 100,000 回のモンテカルロ・シミュレーションを試みた結果、当初の DCF モデルに基づくボラティリティは対数正規分布になった。オプション無しプロジェクトの NPV、シーケンシャル・コンパウンド・オプションを有するプロジェクトの拡張 NPV、及びオプション・ツー・チューズ有するプロジェクトの拡張 NPV の分布の比較は図のようになった。その結果、オプション無しプロジェクトの NPV の分布は、平均・301.90 で、約 75% が負の領域内に留まり、続いてシーケンシャル・コンパウンド・オプションの拡張型 NPV の分布は、平均 727.92、さらにオプション・ツー・チューズの拡張型 NPV の分布では一層、正の大きな 1341.39 が平均値になった。特に、オプション無しプロジェクトの NPV とオプション・ツー・チューズ・プロジェクトの拡張 NPV の 2 分布間の比較では、オリジナル NPV の分布の領域の多くが負の領域に属したのに対して、拡張 NPV の分布はそのほとんどが正の値の領域に属し、且つ、標準偏差も、291.65 から 277.24 へと縮小している。こうして、ROA によって、画期的ではあるがリスクで NPV がマイナスのプロジェクトでも、NPV をプラスに転換し、且つリスク測定尺度としての標準偏差を縮小化できる。すなわち、リスクを低減させながら、リターンの拡大が可能である。



4-2. 確率的最適化による ENPV を最大化するロイヤルティ支払い決定

次に、意思決定変数として、バイオスタートアップが大学等にロイヤルティを支払う場合の、契約条件として設定された範囲内でのオプション・ツー・チューズを有するプロジェクトの拡張型 NPV を最大化する目的で、ロイヤルティ・レートの確率的最適化のシミュレーション結果を示す。10 分間の確率的最適化のシミュレーションの結果、当該の拡張型 NPV(ENPV) を 1912.88 と最大化し、オプション無しオリジナル NPV を 100 以上にする確率を 95%にする方法として、第 1 期の 2006 年のロイヤルティを 0.050141 にし、その結果を見て、2007 年のロイヤルティを 0.09930 に、同様に 2008 年度を 0.100147、2009 年のそれを 0.149920、2010 年のそれを 0.100041 にそれぞれ設定すると良いことがわかった。また、パフォーマンス・グラフから、121 回以上のシミュレーショントライアルでは、この解から逸脱しても目的関数に大きな差の解は期待できないことがわかる。すなわち、これ以上の解の改善は期待できないので、機会コストは小さいと考えられる。



Ready									
Simulation	Maximize Objective ENPV	Requirement Net Present Value (100 <= ENPV (95))	Royalty 2006	Royalty 2007	Royalty 2008	Royalty 2009	Royalty 2010		
1	1895.80	153.512	7.5330E-02	7.5330E-02	0.125019	0.125000	0.125000		
3	1911.05	157.611	5.0033E-02	1.000000	0.103030	0.150600	0.100000		
57	1912.87	160.166	5.0033E-02	9.9948E-02	0.103030	0.149344	0.100000		
Best 121	1912.88	157.766	5.0141E-02	9.9900E-02	0.103047	0.149920	0.100041		

5. 結論

- ① LOHAS を生活の基準とする場合、アカデミック・バイオテック・スタートアップは、資源としての基礎研究を活用する意味で、技術移転において戦略的要因になりうる。
- ② ROA は、デスバレーに直面し易いアカデミックな創薬型スタートアップや画期的でリスクなプロジェクトの NPV を負から正に一定の範囲内で改善しうる。
- ③ ROA はまた、ボラティリティとしてのリスクを削減しうる場合がある。
- ④ 故に、ROA は、デスバレーとしての初期の臨界期に、ラディカル・イノベーションが閾値を超えるのを援助する可能性がある。
- ⑤ 今後の展望としては、競争の場面での戦略的対応用にゲーム理論を研究し、TLO や VC についても実務での課題を科学的に解決できる可能性について一層詳細に研究する必要がある。
- ⑥ こうして、ROA は、高齢化の促進する日本のヘルスケア・サービスの質・生産性の改善にとって重要な経営的意思決定の手法といえる。
- ⑦ しかし、他方で、実務では、生命科学領域での仮定が多く、流動的との理由で、ROA を使うことに懐疑的な専門家もいる。実務家にとっては、ROA・モンテカルロ・シミュレーションは、単純で・役に立つ手法からは離れているとみなされている。しかし、ソフトウェアや ROA の意味を浸透させ、使用方法を単純化できれば、理解・使用の浸透が進む可能性がある。