

Title	中国バイオベンチャー革新のための事業評価モデルの構築について：オプションゲームの視点から
Author(s)	丁, 穎; 藤原, 孝男
Citation	年次学術大会講演要旨集, 24: 700-705
Issue Date	2009-10-24
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8726
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	一般講演要旨

中国バイオベンチャー革新のための事業評価モデルの構築について
ーオプションゲームの視点からー

○丁 穎，藤原 孝男(豊橋技術科学大学)

1. 序

近年、世界バイオ医薬産業は高スピードで発展してきた。しかし中国のバイオ医薬産業の95%を中小ベンチャーが占め、その大半はジェネリック製品を生産販売している。新薬開発は高リスクではあるが、薬効によっては成果としての特許期間内での市場独占によって膨大な利益獲得が期待できる。このようにむしろ創薬は医薬業界の原動力であるにも関わらず、なぜ現状のように開発意欲が低いのであろうか？このような問題意識の下で、中国バイオ医薬産業の現状・可能性をゲーム理論及びリアルオプションから分析して、外資系VCやバイオベンチャー企業家の理解向上を促し、バイオ産業の発展への貢献が研究目的である。オプションゲームアプローチの応用の結果、ベンチャーにとって、資源制約の下で単独の開発・生産の場合、ジェネリック選択が最善である可能性が理解できた。しかし、製薬大手の生産とベンチャーの開発との提携によって、Win-Winの関係が可能になることを今後検討したい。

2. 研究背景

① 背景

2008年の中国のバイオ医薬産業はその生産額が前年比25・23%増の8666億元となり、全国の工業の伸び率を2・42ポイント上回った。昨年、全国の工業およびハイテク産業の発展水準に比べて、世界金融危機による影響が比較的小さかった。特に第4四半期に入ってから、バイオ医薬業界は高いリスクの中で、高成長の勢いを示した。即ち昨年の生産額と、中国バイオ製薬は30・65%の伸びをみせ、2007年の生産額を8ポイント上回った。医療器械の生産額は31・43%増で、2007年を7・28ポイント上回った。

中国科学技術省よれば、ハイテク産業の重要分野の一つとして、中国はバイオ医薬産業の発展に力を入れている。特に今後10年余りの間に、遺伝子治療用医薬が応用段階に入る予定である。

加えて、中国ではがん、心臓病、高血圧、糖尿病、神経系疾患などの主要な疾病に対して、200件のバイオ新薬が政府から認識され、即ち約200種近くのバイオ薬が開発され、400種のバイオ薬を臨床試験段階に進んでおり、バイオ医薬が新興産業として発展している。

こうして、バイオ産業は現状ではインターネット産業に次ぐ次世代産業として大きく期待されている。

②問題意識

中国で2006年に新規参入したベンチャーキャピタル(VC)のうち、海外資本は68.7%を占めている。しかし、海外VCが投資している事業領域は殆どがIT業であり、前述のように中国バイオ産業の有望さにも関わらず、外資系VCの投資が得られなく、特にバイオベンチャーの資金不足は非常に深刻な状態に陥っている。

即ち中国のバイオ医薬産業では、95%を中小ベンチャーが占め、科学技術論文を沢山発表してはにもかかわらず、その製品の殆どをジェネリック医薬品が占めている。確かに新薬開発は高リスクではあるが、成果としての特許期間内での市場独占によって膨大な利益獲得も期待できる。創薬は医薬業界の原動力であるにも関わらず、なぜ今の現状が出てきたのであろうか？

業 分 類	IT	通信	伝統産業	半導体	バイオ技術	グリーンエネルギー	医薬健康	金融サービス	その他	合計
中国国内資本(億元)	2.511	1.238	1.165	0.29	0.997	3.019	1.145	0.1	0.751	11.21
投資比例(%)	22.4	11.04	10.39	2.59	8.89	26.93	10.21	0.89	6.67	100
海外資本(億元)	31.16	4.642	2.526	2.161	0	2.464	0	0.802	0.802	44.55
投資比例(%)	69.94	10.42	5.67	4.85	0	5.53	0	1.8	1.8	100

表1. 中国主要産業への内外投資の割合(2007年度)

表2 BT企業の科学技術活動(2003年)

	科学技術論文 (篇)	特許申請 (件)	特許取得 (件)
合計	5,426	384	312
大・中規模企業	131	144	190
小規模企業	4,382	157	101
技術支援機関	911	76	18
その他支援機関	2	7	3

③問題の原因と克服の可能性

問題の原因は内的原因と外的原因に分けられる。即ち、内的原因は中核技術や人材の不足で、外的原因はバイオ産業を取り巻く環境(知財関連法律、産業政策、資本市場)の未整備である。しかし、他方でバイオ産業には以下のような今後の発展の潜在力が存在する。

- ・中国バイオ産業の高い売り上げ成長が継続的に今後も期待できる。2007年までに北京、上海など12か所において、産学官連携を通じた大学発ベンチャーの創出によるバイオクラスターが設立されている。
- ・ベンチャーの競争力が高まるとともにM&Aや「戦略的連携」も進み、資本も効率よく再配分されている。
- ・海外VCと国内VC(企業投資ファンド、機関投資家或いはプライベートエクイティファンド)からの財務資源と、その他の経営資源(市場開拓力、経営力、技術力)との今後の有機的な統合がリスク分散及び収益向上に大きく貢献する可能性を有している。

故に、今後、如何に中国のバイオベンチャーの事業の可能性の大きさとリスクの低さを正確且つ客観的に評価できる定量モデルを構築できるかが、特に外資系VCの投資家やバイオベンチャーの起業家の理解向上を促し、バイオ産業の一層の発展の鍵となるのではないであろうかと考えられる。

3. オプションゲームによる分析

バイオ製薬産業は投資期間が長く、投資金額も大きく、収益が高いリスクを抱えるのが特徴である。そのリスクは開発、投資コスト、市場環境、政策環境、競争相手の戦略などに由来している。しかし、投資の不確実性があるこそ、リスク産業投資に収益をもたらしている。とも言えば、この不確実性が高ければ高いほど、柔軟に意思決定できれば、投資の機会価値が高くなる。例えば、リアルオプション理論で柔軟性の価値を分析できる。他方、ゲーム理論は投資家に将来投資のタイミングや競争相手の参入による収益に対する影響などの分析を可能にする。よって、オプションゲームアプローチではもっと客観的、合理的に投資価値の評価ができると考えられる。

つまり、プロジェクトの拡張NPV=正味現在価値+柔軟性の価値+戦略的価値と記述可能である。

(1) ゲーム理論的分析

①モデルの構築

まず、大手、中小製薬企業戦略選択ゲームの定式化を行う。仮設的条件設定は下記の通りである。まず、同じ疾患を治療する新薬を研究開発、生産する予定のある企業(1=大手, 2=中小)を考える。両企業は同時に市場参入するか、両方の視点からの交互に参入するか、ジェネリック医薬品まで待つかも含め、参入タイミングも検討する。新薬開発に成功した場合、特許保護期間は独占となり、期間が切れた後は完全競争市場となる。企業1及び、2の生産能力はそれぞれ q_1 、 q_2 (年間生産量)、 $q_1 > q_2$; 新薬開発、市場販売成功確率は其々 p_1 、 p_2 ; 特許保護期間10年、市場販売での独占単位収入(売上)は $X = \Theta - aq_i$ (q_i は先発企業の最適生産量)、特許期間切れた後の完全競争市場での単位収入(売上)は $Y = \Theta - b(q_1 + q_2)$ とする。 $\Theta = 15$ 、 $q_1 = 10$ (max)、 $q_2 = 5$ (max)。ここで変動コストは0とする。特許期間切れ後の販売期間は20年とする。新薬研究開発費用はIとする。ここでは1段階で考える。

表3：戦略パターン

		企業2	
企業1		(同時開発、同時開発)	(先発、後発)
		(後発、先発)	(後発、後発)

表4：確率パターン

		企業2	
		成功	失敗
企業1	成功	$p_1 * p_2$	$p_1 (1 - p_2)$
	失敗	$p_2 (1 - p_1)$	$(1 - p_1) (1 - p_2)$

表5：期待利得パターン

		企業2	
		成功	失敗
企業1	成功	ケース①E1, E2	ケース②E1, E2
	失敗	ケース③E1, E2	ケース④E1, E2

企業 1 と 2 の期待収益 E1, E2 は其々以下のようになる。

ケース① E 1 (先発、先発) = $q_1/(q_1+q_2) * \{ (10 \text{ 年} * X + 20 \text{ 年} * Y) * Q' - I \} p_1 * p_2 + \{ (10 \text{ 年} * X + 20 \text{ 年} * Y) q_1 - I \} * p_1 (1 - p_2) + 20 \text{ 年} * Y * q_1 * p_2 (1 - p_1) + (1 - p_1) (1 - p_2) (-I)$

E 2 (先発、先発) = $q_2/(q_1+q_2) * \{ (10 \text{ 年} * X + 20 \text{ 年} * Y) * Q' - I \} p_1 * p_2 + \{ (10 \text{ 年} * X + 20 \text{ 年} * Y) q_2 - I \} p_2 (1 - p_1) + 20 \text{ 年} * Y * q_2 * p_1 (1 - p_2) + (1 - p_1) (1 - p_2) (-I)$

ケース② E 1 (先発、後発) = $\{ (10 \text{ 年} * X * q_1' + 20 \text{ 年} * Y * q_1'') - I \} * p_1 - I (1 - p_1)$

E 2 (先発、後発) = $20 \text{ 年} * Y * q_2 * p_1$

ケース③ E 1 (後発、先発) = $20 \text{ 年} * Y * q_1 * p_2$

E 2 (後発、先発) = $\{ (10 \text{ 年} * X * p_2' + 20 \text{ 年} * Y * p_2'') * q_2 - I \} * p_2 - I (1 - p_2)$

ケース④ E 1 (後発、後発) = 0

E 2 (後発、後発) = 0

#交互的に先発、後発の場合

q_i' , q_i'' は其々独占期間中利得最大化時の i 企業の生産量と特許切れ後、利得最大化時の i の生産量

$\Pi_i(\theta, q_i, q_j) = (10 \text{ 年} * X * q_i' + 20 \text{ 年} * Y * q_i'') - I$

$\max \pi_i \quad q_i > q_j > 0$

$X = \theta - q_i'$ $Y = \theta - q_i' - q_j$

先発成功し且特許独占できた場合、

特許期間中 $\Pi_i'(\theta, q_i') = 10 \text{ 年} * X * q_i' - I$

$\max \Pi_i' \quad q_i' = \theta / 2$

特許切れ後 $\Pi_i(\theta, q_i', q_j) = (10 \text{ 年} * X * q_i' + 20 \text{ 年} * Y * q_i'') - I$ $q_i' = \theta / 2$
(先発企業)

$\max \Pi_i \quad q_i'' = (\theta - q_j) / 2$

利得最大値 $E_{i\max} = 5/2 * \theta^2 + 5(\theta - q_j)^2 - I$

同時に後発企業特許期間切れ後の利得最大化時の j の生産量

$\Pi_j''(\theta, q_i') = 20 \text{ 年} * Y * q_j$

$\max \Pi_j'' \quad q_j = (\theta - q_i) / 2$

$E_{j\max} = 5(\theta - q_i)^2$

#同時に先発する場合

同様に独占期間 10 年とジェネリック期間 20 年、そして特許切れ後の企業 3 参入を考えるため
最大化時の $Q' = \theta / 2$

$Q'' = (\theta - q_j) / 2$

よって、同時先発且成功したときのそれぞれ最大化時の利得は

$E_{i\max} = q_i / (q_i + q_j) (5/2 * \theta^2 + 5(\theta - q_j)^2 - I)$

表6：企業1が先発、2が後発時の利得											
p1	p2	l	$(\theta - q1)/2$	$\theta/2$	$(\theta - q2)/2$	X	Y	生産能力 Q1=10、 ケース②	生産能力 Q2=5、ケ ース②	E1max	E2max
			q2	θ	q1'			E②1	E②2		
0.3	0.1	30	0	15	7.5	7.5	7.5	476.25	0	1657.5	0
		30	3.8	15	7.5	5.625	5.625	328.5938	126.5625	1165.313	421.875
		30	4.7	15	7.5	5.15625	5.15625	298.2715	145.0195	1064.238	483.3984
		30	4.9	15	7.5	5.039063	5.039063	291.1029	148.8098	1040.343	496.0327
		30	5	15	7.5	5.009766	5.009766	289.3365	149.7059	1034.455	499.0196
		30	5	15	7.5	5.002441	5.002441	288.8965	149.9267	1032.988	499.7556
		30	5	15	7.5	5.00061	5.00061	288.7866	149.9817	1032.622	499.9389
		30	5	15	7.5	5.000153	5.000153	288.7592	149.9954	1032.531	499.9847
		30	5	15	7.5	5.000038	5.000038	288.7523	149.9989	1032.508	499.9962
		30	5	15	7.5	5.00001	5.00001	288.7506	149.9997	1032.502	499.999
		30	5	15	7.5	5.000002	5.000002	288.7501	149.9999	1032.5	499.9998
		30	5	15	7.5	5.000001	5.000001	288.75	150	1032.5	499.9999
		30	5	15	7.5	5	5	288.75	150	1032.5	500
		30	5	15	7.5	5	5	288.75	150	1032.5	500
		30	5	15	7.5	5	5	288.75	150	1032.5	500

表7：企業2が先発、1が後発時の利得											
p1	p2	l	$(\theta - q1)/2$	$\theta/2$	$(\theta - q2)/2$	X	Y	生産能力 Q2=5、ケ ース③	生産能力 Q1=10、 ケース③	E2max	E1max
			q1	θ	q2'			E③2	E③1		
0.3	0.1	30	0.00	15.00	5.00	7.50	10.00	7.50	132.50	0.00	1625.00
		30	3.75	15.00	5.00	5.63	10.00	5.63	83.28	42.19	1132.81
		30	4.69	15.00	5.00	5.16	10.00	5.16	73.17	48.34	1031.74
		30	4.92	15.00	5.00	5.04	10.00	5.04	70.78	49.60	1007.84
		30	4.98	15.00	5.00	5.01	10.00	5.01	70.20	49.90	1001.96
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.05	49.98	1000.49
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.01	49.99	1000.12
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.03
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.01
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00
		30	5.00	15.00	5.00	5.00	10.00	5.00	70.00	50.00	1000.00

表8：企業1、2が同時先発時の利得									
p1	p2	l	$(\theta - q1)/2$	$\theta/2$	$(\theta - q2)/2$	X	Y	生産能力 Q1=10、 ケース②	生産能力 Q2=5、ケ ース②
			q2	θ	q1'			E①1	E①2
0.3	0.1	30	0.00	15.00	7.50	7.50	7.50	557.10	399.98
		30	3.75	15.00	7.50	5.63	7.50	360.65	246.98
		30	4.69	15.00	7.50	5.16	7.50	321.96	213.90
		30	4.92	15.00	7.50	5.04	7.50	312.89	206.01
		30	4.98	15.00	7.50	5.01	7.50	310.65	204.06
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	310.10	203.57
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.96	203.45
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.92	203.42
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.92	203.42
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41
		30	5.00	15.00	7.50	5.00	7.50	309.91	203.41

① 分析結果

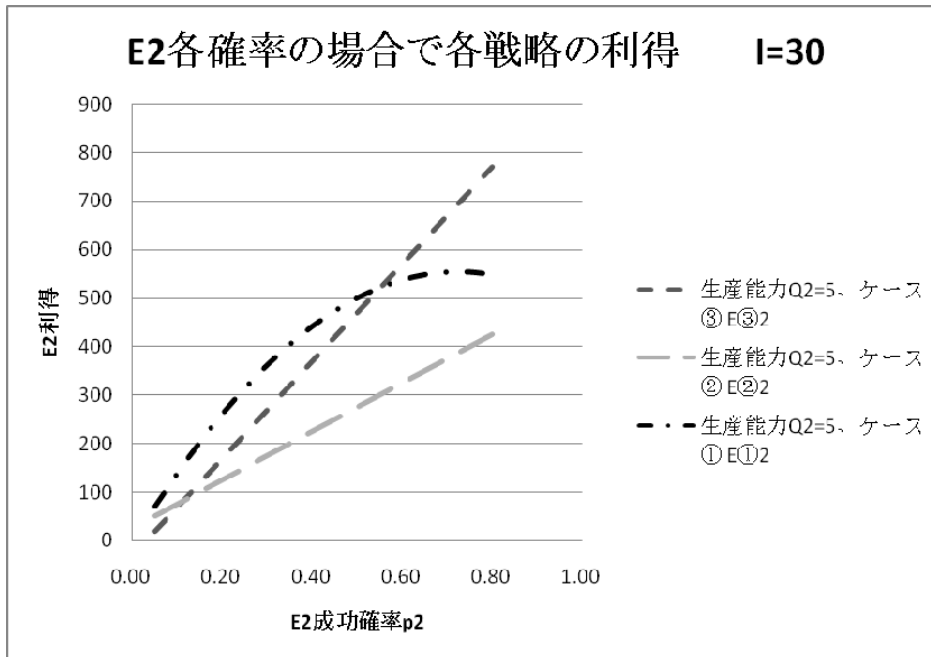
表9：期待利得

		企業 2	
		先発	後発
企業 1	先発	309 , 203	288.8, 150
	後発	50, 70	0, 0

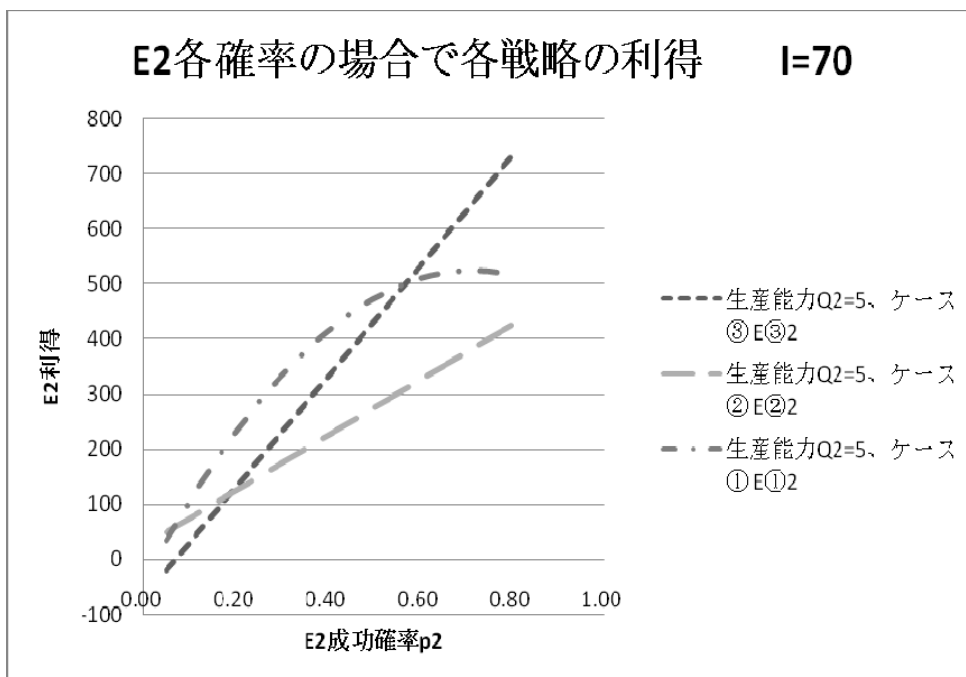
ここで、中小企業、大手企業は同時先発したほうが最善の選択であることが分かりました。
 チャンスを逃さず、最初から参入したほうが利得最大化できることである。

② 各確率の場合での各戦略の利得

グラフ 1：I=30 の時 各確率の場合で各戦略において E2 の利得



グラフ 1：I=70 の時 各確率の場合で各戦略において E2 の利得

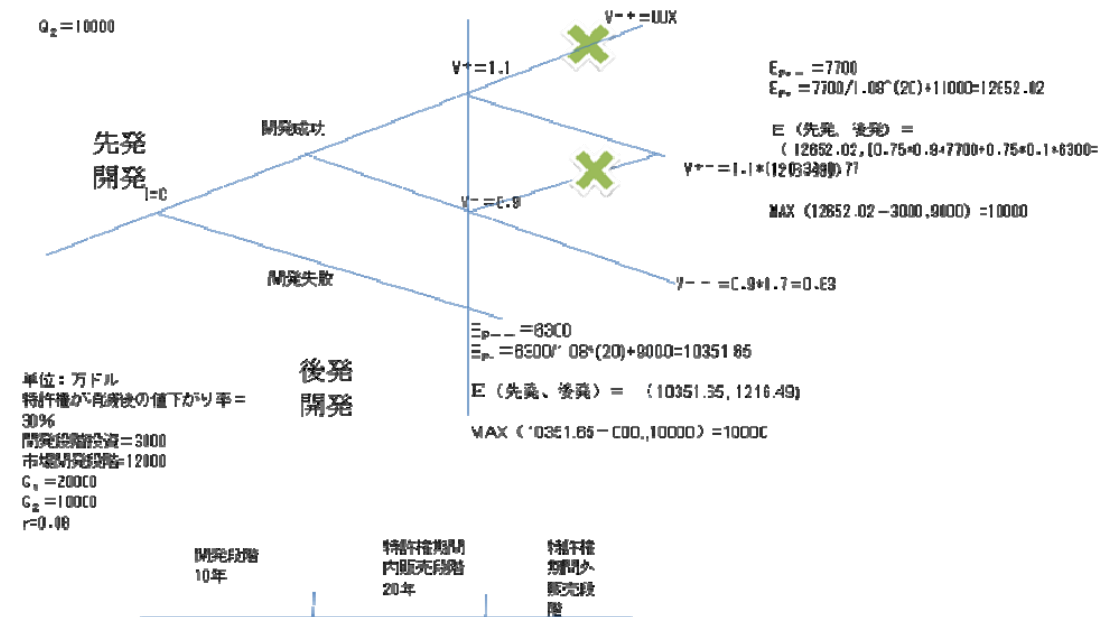


投資額及び低成功率の場合、中小企業 2 にとっては、後発するのが最適戦略ことになることが分かった。

各確率、そして投資額によって、選択する戦略による収益の最大化を志向できる。

(2) リアルオプション分析

①モデル構築：2段階に増やし、中小企業と大手企業の拡張NPVを其々計算してみた。



Q_2
 ノードA (12852.02)
 ノードB (10351.85)
 E_C を求める
 製品と市場に関する不確定性は市場と相関関係にあるため、純粋に期待キャッシュフローをリスクフリーレートで割り引くことができない。
 ポートフォリオ複製アプローチを使う必要がある。
 ノードCでは、期末ペイオフは好調時12852.02、低調時10351.85。
 原資産の期首価値は単純に、研究段階から生み出される技術的成果であり、 $0.9 \times 10000 + 0.1 \times 9000 \times 1216.49 = 21900 \times 1216.49 - 12018.49$
 好調時の原資産の期末価値 $V = 0.9 \times 1.1 \times 10000 \times 1216.49 = 11116.49$
 低調時の期末価値 $V = 8300 / 1.08^{(20)} + 9000 - 10351.85$
 $uV = (1+r) \times 11116.49$
 $dV = (1+r) \times 10000$
 $u = 1.08$
 $d = 0.9525926$
 ノードC
 プロジェクトの価値は -10000
 $E_C = 0$
 $E_C = [(0.75 \times 10000 + 0.25 \times 0) / 1.08^{10}] - 3000 = 473.95$
 $NPV = 0.75 \times (10000 + 0.7 \times 10000 / (1.08^{20}) - 12000) / 1.08^{10} - 3000 = -3173.06$
 $ROIC = 473.95 - (-3173.06) = 3647$

②分析結果：当モデルでは中小企業にとって後発の利得が先発より大きいことが分かった。現実に近い結果が得られた。ところで、ゲーム理論とリアルオプションの両方の分析で現状では中小企業のR&Dの増加が難しい。

4. 結び

今後このようなオプションゲームのフレームワークによって、中国のベンチャーの開發現状をジェネリック志向から画期的な新薬の開発に変革的な方法を提案したい。

また、具体的に①モデルの精緻化、②中小企業のR&Dの意欲を促進する条件を探索したい。

引用文献

- ① トムコーブランド：リアルオプション、東洋経済、2004
- ② 孫学偉：中小型医薬研究開発企業の存続と発展の道(中国語)、医薬業界フォーラム(中国語)、2004、(2)：30-31.
- ③ 陳工孟：2007年度中国ベンチャー投資調査研究報告書、中国ベンチャーキャピタル投資研究院(中国語)、2008