

Title	ベンチャー介在型バイオ・オープンイノベーションの オプションゲーム分析
Author(s)	藤原, 孝男
Citation	年次学術大会講演要旨集, 29: 814-818
Issue Date	2014-10-18
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12569
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

2H01

ベンチャー介在型バイオ・オープンイノベーションのオプションゲーム分析

○藤原 孝男（豊橋技術科学大学）

1. 序

バイオベンチャーは、画期的技術とニッチ市場との結合において、コスト・スピードに加えて特にリスク管理にて、大市場志向の製薬大企業に優る。現在、顕著なバイオベンチャーに関する新しい動向として、バーチャルバイオベンチャーモデルは大学と製薬大企業との間での排他的なPOF（概念実証）を目指すコールオプションとしてのベンチャー創業であり、他方、競争前提携は大学・製薬大企業を巻き込んだオープンな協力関係であり、不確実性下での迅速な開発を目指す際のアプローチが異なる。こうして、バイオベンチャーは不確実性と競合との関係で機能を検討する必要がある。

主要な問題意識としては次のような事項をあげることが可能である。不確実性下での不可逆的投資決定での柔軟性の価値は競争構造の変化によってどのような影響を受けるのか？デスバレーに直面しながら存続するために、事業参入から提携までの排他的な開発期間に関する最適なタイミング決定の指針とは？また、事業化以前の排他的な特許権のインライセンス決定競争での決定とは？さらに、不完全情報下でのインライセンス競争での最適決定とは？

主要概念の定義として、バイオベンチャーとは生命科学の事業化における企業家のアイデアを投資機会とするリアルオプションのポートフォリオとし、バイオ・オープンイノベーションとは、バイオベンチャー介在型の技術移転のエコシステムとする。研究の枠組みとしては、不確実性と競争下での不可逆的投資の決定で、そのための方法論としては、リアルオプションとゲーム理論を統合した戦略的リアルオプションを用いる。

当該領域の先行研究としては、リアルオプションの代表例としては[1]が、戦略的リアルオプションへの進展としては[2]がある。ここでは、ゲーム理論的な市場取引の導入部分を[4]に基づき、不完全情報でのゲーム理論的な展開への応用は主に[3]に依拠して上記問題意識への戦略的リアルオプション分析の議論を進める。

本稿での目的は、バイオ・オープンイノベーションでの、技術革新の重要な仲介的駆動力としてのバイオベンチャーがデスバレーに直面しながらも存続するための有望であるが高リスクのプロジェクトを遂行するための、戦略的オプション手法の応用の可能性を検討する。特に、不確実性・競合下での事業化から戦略的提携までの最適期間、事業化以前のインライセンスのタイミング、加えて不完全情報下でのライバルの開示する情報に基づくインライセンス投資価値の推定を考察する。

2. 複占型市場参入投資決定：開発投資から戦略的提携までの最適タイミング

複占（寡占）での量的競争における時刻 t における価格 P_t の式を

$$P_t(Q_T) = a - bQ_T$$

とし、市場全体の供給量 $Q_T = Q_i + Q_j$ 、競合企業を $f = i, j$ 、逆需要関数を用いた価格式での定数 $a, b > 0$ とする。両社とも変動費のみ（但し、 $c_i < c_j$ ）とすると、 i 社の総費用は

$$C_i(Q_i) = c_i Q_i$$

同社の一般的な利益は

$$\pi_i(Q_i) = [(a - bQ_T) - c_i]Q_i$$

独占利益は

$$\pi_{im} = \frac{(a - c_i)^2}{4b}$$

ナッシュ均衡時の利益は

$$\pi_{in} = \frac{(a - 2c_i + c_j)^2}{9b}$$

利益が、幾何ブラウン運動に従う指標 x_t の影響を受けると仮定すると πx_t , x_t の変動は

$$dx_t = \mu x_t dt + \sigma x_t dZ_t$$

ここで、 μ 利益の成長率（但し、無リスク金利 r_f との関係は $\mu < r_f$ ）、 σ ボラティリティ、 Z_t ウィーナー過程を指す。

直列型複占投資競争において後向帰納法にて、先ず、製薬大企業としてのフォロワー j の投資価値は、投資前のオプション価値と投資後のNPV（正味現在価値）からなり

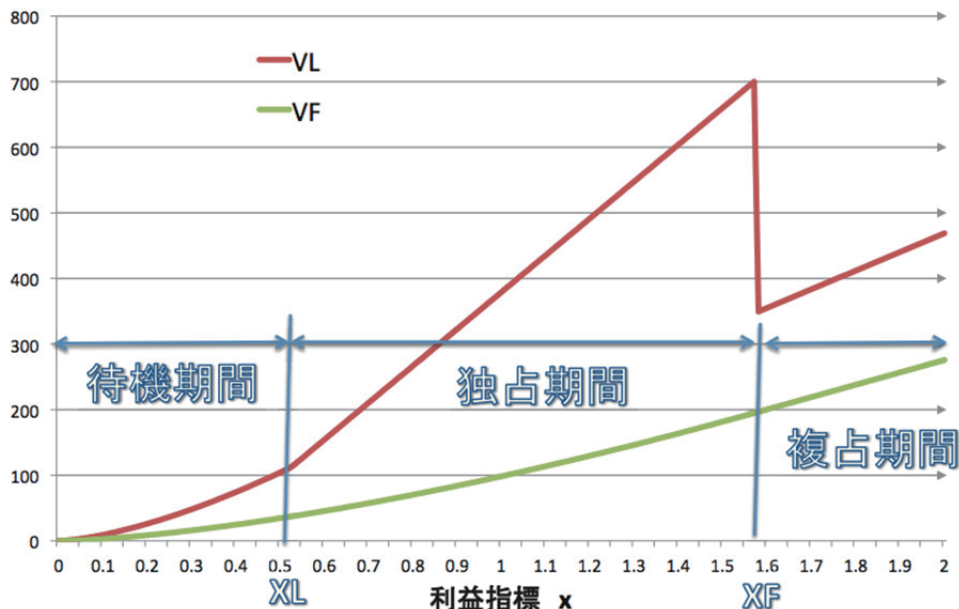
$$V_{jF} = \begin{cases} \left[\frac{(a - 2c_j + c_i)^2 \bar{x}_F}{9b(r_f - \mu)} - I \right] \left(\frac{x_t}{\bar{x}_F} \right)^\beta & \text{for } x_t < \bar{x}_F \\ \frac{(a - 2c_j + c_i)^2 x_t}{9b(r_f - \mu)} - I & \text{for } x_t \geq \bar{x}_F \end{cases}$$

ここで

$$\beta = \frac{-\mu + (\sigma^2/2) + \sqrt{[\mu - (\sigma^2/2)]^2 + 2r_f\sigma^2}}{\sigma^2}$$

$$\bar{x}_F = \frac{9b(r_f - \mu)I\beta}{(a - 2c_j + c_i)^2(\beta - 1)}$$

投資価値 v



前提：価格の定数 $a = 50$, $b = 10$, ベンチャーの変動費 $c_i = 20$, 大企業の変動費 $c_j = 22$, 利益指標 x の式の成長率 $\mu = 0.01$, ボラティリティ $\sigma = 0.3$, 無リスク金利 $r_f = 0.05$ と仮定した結果, リーダーの閾値 $\bar{x}_L = 0.524$, フォロワーの閾値 $\bar{x}_F = 1.571$ を得た。

図 1. 寡占的事業参入競争の投資タイミング

次にリーダーとしてのベンチャー*i*投資価値は、投資前のオプション価値、投資後の独占的 NPV、フォロワーとの並列的ナッシュ均衡 NPV からなり

$$V_{iL} = \begin{cases} \left[A\bar{x}_L^\beta + \frac{(a-c_i)^2\bar{x}_L}{4b(r_f-\mu)} - I \right] \left(\frac{x_t}{\bar{x}_L} \right)^\beta & \text{for } x_t < \bar{x}_L \\ Ax_t^\beta + \frac{(a-c_i)^2x_t}{4b(r_f-\mu)} - I & \text{for } \bar{x}_L \leq x_t < \bar{x}_F \\ \frac{(a-2c_i+c_j)^2x_t}{9b(r_f-\mu)} - I & \text{for } x_t \geq \bar{x}_F \end{cases}$$

ここで、

$$A = -\frac{1}{36}\bar{x}_F(a-2c_j+c_i) \left[\frac{5a+2c_j-7c_i}{b(r_f-\mu)\bar{x}_F^\beta} \right]$$

$$\bar{x}_L = \frac{4b(r_f-\mu)I\beta}{(a-c_i)^2(\beta-1)}$$

バイオベンチャーにとって、リーダーの閾値 \bar{x}_L に事業参入の投資を行ない、フォロワーの閾値 \bar{x}_F にて製薬大企業と戦略的提携を結ぶのが一般的な投資タイミングといえる。そして、この期間がバイオベンチャーによる独占的な自主開発期間とみなせる。

図 1 は特定のパラメータの設定による利益指標に関する各投資機会のタイミングの最適な閾値を示している。次に、事業化以前の段階としてのインライセンスのタイミング決定を検討する。

3. インライセンス競争：パレート分布競争係数による投資閾値の感度分析

独占的なインライセンスの指標閾値は

$$\bar{x}_{IM} = \frac{4b(r_f-\mu)(I+L)\beta}{(a-c_i)^2(\beta-1)} > \bar{x}_L$$

ここで、 L はインライセンス料を指す。

他方、完全競争におけるインライセンスとそれに続く事業化の各指標閾値は

$$\bar{x}_{IP} = \begin{cases} \bar{x}_L \left[\frac{L(\beta-1)}{I} \right]^{1/\beta} & \text{for } \bar{x}_{IP} < \bar{x}_L \\ \frac{4b(r_f-\mu)(L+I)}{(a-c_i)^2} & \text{for } \bar{x}_{IP} \geq \bar{x}_L \end{cases}$$

$$\bar{x}_{LP} = \frac{4bI(r_f-\mu)}{(a-c_i)^2}$$

両極の中間に位置する戦略的なインライセンス閾値は

$$\bar{x}_{IS}(\pi) = \begin{cases} \left[\frac{1}{\pi} \left[\frac{(\alpha+\beta)L}{\alpha\phi I^{(1-\beta)}} \right] \right]^{1/\beta} & \text{for } x < \bar{x}_L \\ \left[\frac{1}{\pi} \left[\frac{(\alpha+\beta)(L+I)(r_f-\mu)}{\alpha+\beta+1} \right] \right] & \text{for } x \geq \bar{x}_L \end{cases}$$

ここで、 α は競争脅威パラメータで、利益パタメータ分布 $G(\pi) = (\pi/\pi_U)^\alpha$ を構成し、 π_U は利益上限を示す。また、 $\phi = (\beta-1)^{\beta-1}[\beta(r_f-\mu)]^{-\beta}$ である。

既述のパラメータ設定による数値計算では、独占的状況では事業に対するインライセンスを早める誘因は低く $\bar{x}_{IM} > \bar{x}_{LM}$ 、完全競争になると事業化閾値も早まる $\bar{x}_{IP} < \bar{x}_{LP}$ と同時にインライセンスの時期も事業化より一層早期 $\bar{x}_{IP} < \bar{x}_{IM}$ に決定する誘因が高まる（表 1）。

表 1. 競争両極でのインライセンスと事業化の利益指標各閾値

	インライセンス閾値 (\bar{x}_I)	事業化閾値 (\bar{x}_L)
独占 (M)	0.577179147	0.524708316
完全競争 (P)	0.073577462	0.177777778

次に、独占と完全競争の両極の中間に位置する競争状態がインライセンスの戦略的タイミング閾値 \bar{x}_{IS} に及ぼす影響を、不確実性尺度のボラティリティ σ と競争係数 α の 2 パラメータに関する感度分析の結果、図 2 のような関係が得られた。特に α が小さい場合、不確実性尺度の σ の増大に伴いタイミング閾値が増加し、インライセンスの投資決定を遅らせる傾向があり得る。他方、 α の増加は、特に初期の増加傾向時期にタイミング閾値を急激に低下させ、インライセンスの投資決定を早める傾向がある。また、グラフから σ と α との間には、各値が小さな段階にて緩やかなトレードオフ関係が存在し得る。

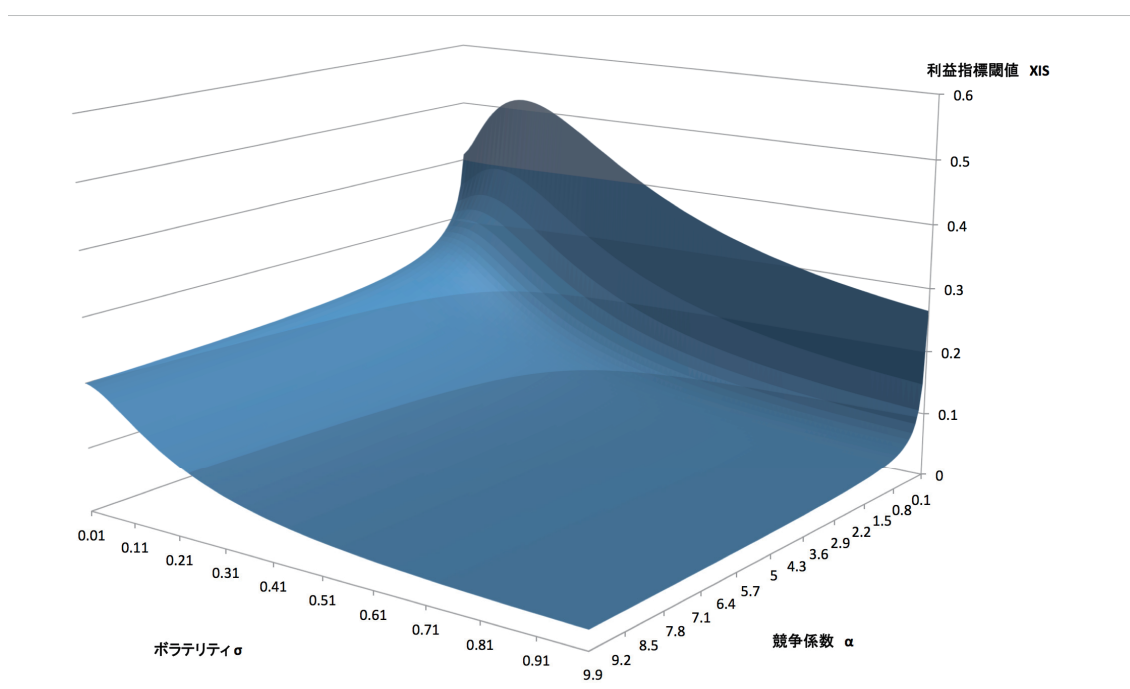


図 2. インライセンスの利益指標閾値 \bar{x}_{IS} とボラティリティ σ ・ 競争係数 α との関係

また、別の分析では、利益が低ければインライセンス決定の利益指標閾値は高くなるを得ないが、競争が激しくなると閾値は低下する傾向が得られた。

4. 不完全情報下でのインライセンス競争：ベイジアン情報更新

ライバル企業の依然として投資に踏み切らないという経時的に開示される戦略的なインライセンス閾値に依存しながらも、両社のライセンス未実施時の i 社のインライセンス投資のタイミング競争の価値は

$$W_i(x_t, \hat{x}_t) = [V_i(\bar{x}_{iLS}) - L] \left(\frac{x_t}{\bar{x}_{iLS}} \right)^\beta [1 - F_j(\bar{x}_{iLS} | \hat{x}_t)]$$

ここで、ライバルの過去の最高閾値に関する未投資の条件付確率、自社の戦略的インライセンス閾値、それに基づくハザードレートはそれぞれ、

$$1 - F_j(\bar{x}_{iLS} | \hat{x}_t) = \frac{1 - F_j(\bar{x}_{iLS})}{1 - F_j(\hat{x}_t)}$$

$$\bar{x}_{iLS} = \frac{(L + I)[h_j(\bar{x}_{iLS}) + \beta]}{\pi_i[h_j(\bar{x}_{iLS}) + \beta - 1]}$$

$$h_j(\bar{x}_{iLS}) = \frac{\bar{x}_{iLS} F_j'(\bar{x}_{iLS})}{1 - F_j(\bar{x}_{iLS})}$$

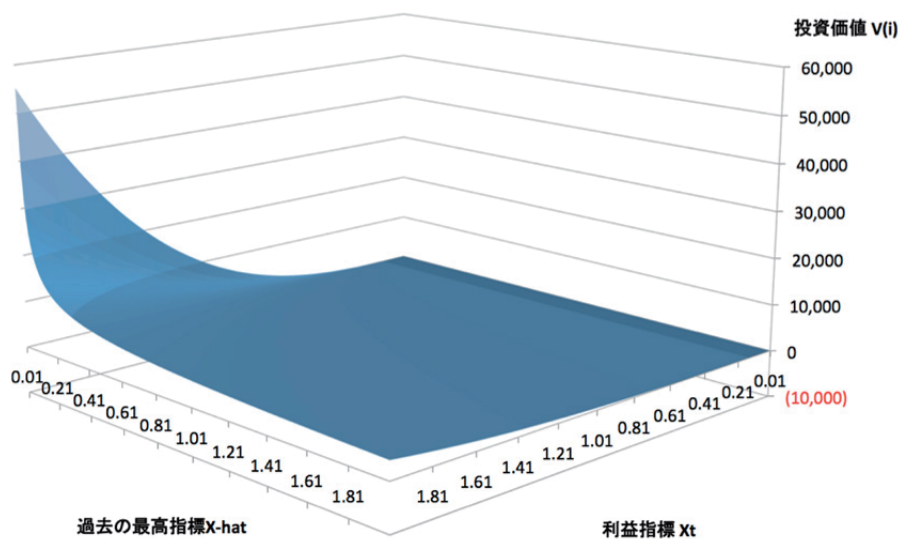


図 3. 両社のインライセンス以前の投資価値

自社の戦略的インライセンス閾値 $\bar{x}_{iLS}=0.3$ の場合で、ライバルが過去にインライセンス投資に至らなかった最高の閾値 \hat{x} と時刻 t における状態変数としての閾値 x_t に関する i 社にとってのインライセンス投資価値に関する感度分析の結果は、図3のようになった。

直面する閾値 x_t が高いほどインライセンス投資は大となる傾向がある。特に、過去に開示されたライバルの閾値の上限 \hat{x}_t が小さいほど閾値 x_t の増加に伴い当該投資価値は急激に上昇する傾向が期待できる。しかし、過去の当該未投資閾値の上限が高まるにつれて、目前の閾値 x_t が大となっても投資価値の上昇は期待できない。こうして、競争のさなかで開示されるライバルのプライベートな情報の開示によって、自社の直面する状況でのインライセンス投資価値の再評価を動的に修正することが可能となる。

5. 結論

ここでは、基礎研究機関と製薬大企業との中間の技術移転の位置にて、不確実性・競合下でのバイオベンチャーの事業参加に関する不可逆的投資と戦略的提携の各最適な投資の閾値、事業投資以前のインライセンスの両要因間との最適なタイミングとの関係、そしてライバルの開示中の情報を基にしたインライセンス投資価値の推定を検討した。これらの分析は、オープンイノベーションにおけるバイオベンチャーの行動の理解と再評価を通じてエコシステムの構築に貢献可能と期待できる。

今後の検討課題としては、非対称情報関係でのオプション行使を通じた情報開示、情報探索、学習、及び情報外部効果に関する精緻化にある。

参考文献

- [1] Dixit, A.K. & Pindyck, R.S. (1994) Investment under uncertainty. Princeton University Press, Princeton: NJ.
- [2] Grenadier, S.R. (1996) The Strategic Exercise of Options: Development Cascades and Overbuilding in Real Estate Markets, The Journal of Finance, 51(5) p. 1653–1679.
- [3] Lambrecht, B.M. (2000) Strategic sequential investments and sleeping patents. In: Project Flexibility, Agency, and Product Market Competition: New Developments in the Theory and Application of Real Options Analysis. Oxford University Press, Oxford, p. 297-323.
- [4] Tsekrekos, A. (2003) The effect of first-mover's advantages in the strategic exercise of real options. In: Real R&D options. Butterworth-Heinemann, Oxford, p. 185-207.