

Title	バイオベンチャーの戦略的提携タイミング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, 28: 828-833
Issue Date	2013-11-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11837
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

○藤原孝男（豊橋技術科学大学）

1. 序

背景として、リーマンショック後のバイオベンチャー投資は、VCの消極性と製薬企業の大型医薬特許切れ・ジェネリック医薬との競争激化から、バーチャルバイオベンチャーモデルが生み出されている状況がある。問題意識としては、製薬企業との戦略的提携に踏み切るバイオベンチャーの事業開始の投資と提携との各決定のバイオベンチャーの存続にとっての最適なタイミングの重要性を提起する。主要概念としてのバイオベンチャーとは、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定義できる。方法論は、不確実性と競合の両条件下での不可逆的投資を扱うためにオプションゲームを用いる。目的は、R&Dに先駆的なバイオベンチャーが量産に特化しつつある製薬企業との提携によって資金調達を図る際の、事業開始の投資と提携の各最適な意思決定タイミングの理解にある。

2. 複占の連続時間投資タイミングの一般モデル

バイオベンチャー*i*と製薬大企業*j*との市場参入にける複占での意思決定変数を生産量*Q*とした場合、線形逆需要関数から市場価格*P*は、

$$P = a - bQ_T$$

ここで、正の定数の切片 *a*、傾き *b*、 $Q_T = Q_i + Q_j$ とする。

両社の変動費単価を各 c_i, c_j とした場合、投資としての固定費を除くと、*i* 社の総コスト *C* は、

$$C_i = c_i Q_i$$

i 社の利益 π は、

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

ゲーム理論において、両社が同時に投資するクールノーナッシュ (Cournot Nash) 均衡では、*j* 社の利益は、

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

他方、両社の内の *i* 社が参入を諦め *i* 社のみ投資した場合のリーダーの独占利益は、

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

ここで、需要指数 *D* は、Smit & Trigeorgis(2004)の仮定のような（架空の）切片 *a* だけでなく、むしろ傾き *b* も含めた両社のエコシステムを反映する利益への影響を示すと仮定する。

需要指数の変動を幾何ブラウン運動でモデル化すると、

$$\frac{dD}{D} = \mu dt + \sigma dz$$

ここで、 μ は需要のドリフトパラメータ、 σ はボラティリティパラメータ、*z* はウィーナー過程を示す。伊藤の命題によってプロジェクト価値の変化は次のように定式化できる。

$$dV = \left(\mu D \frac{\partial V}{\partial D} + \frac{1}{2} \sigma^2 D^2 \frac{\partial^2 V}{\partial D^2} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) dt + \sigma D V dz$$

3. リーダー・フォロワーのプロジェクト価値評価モデル

3.1 フォロワー

先ず、連続時間直列型投資ゲームのモデルでは後ろ向き帰納法によって先ず、フォロワー $F = j$ が市場参入を決める需要指数 D に関するプロジェクト価値 V_F の均衡における微分方程式は、

$$\frac{1}{2}\sigma^2 D^2 \frac{\partial^2 V_F}{\partial D^2} + \mu D \frac{\partial V_F}{\partial D} - r_f V_F + V_F \frac{(a - 2c_j + c_i)^2}{9b} = 0$$

ここで、 r_f は無リスク金利を示す。

バリューマッチング・スモースペースティングなどの境界条件による解の方程式は、

$$V_F(D) = A_F D^{\beta_1} + B_F D^{\beta_2} + \frac{(a - 2c_j + c_i)^2}{9b} \frac{D}{\delta}$$

ここで、 A_F と B_F は境界条件によって決まる定数、 β_1 と β_2 は微分方程式の一般解の2次方程式の正・負の根、 $\delta = r_f - \mu$ は配当を示す。

Dixit & Pindyck(1994)、Grenadier(1995)、及び Joaquin & Butler(2000)などの先行研究の議論を踏まえて、確率変数 D に関するフォロワーのプロジェクト価値 V_F は、臨界値 D_F による参入投資決定によって、延期オプション価値と正味現在価値として計算され、

$$V_F(D) = \begin{cases} \frac{(a - 2c_j + c_i)^2}{9b} \frac{D}{\delta} = \frac{\pi_j}{\delta} D & \text{if } D < D_F \\ \left[\frac{(a - 2c_j + c_i)^2}{9b} \frac{D}{\delta} - I \right] \left(\frac{D}{D_F} \right)^{\beta_1} & \text{if } D \geq D_F \end{cases}$$

ここで、

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\mu}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2r_f}{\sigma^2}} (> 1)$$

$$D_F = \frac{\beta_1}{(\beta_1 - 1)} \frac{9b\delta I}{(a - 2c_j + c_i)^2}$$

ここで、 I は投資を示す。

3.2 リーダー

次に、同時投資段階以前のリーダー $L = i$ が市場参入を決める需要指数 D に関するプロジェクト価値 V_L の延期から独占的投資に至る均衡における微分方程式は、

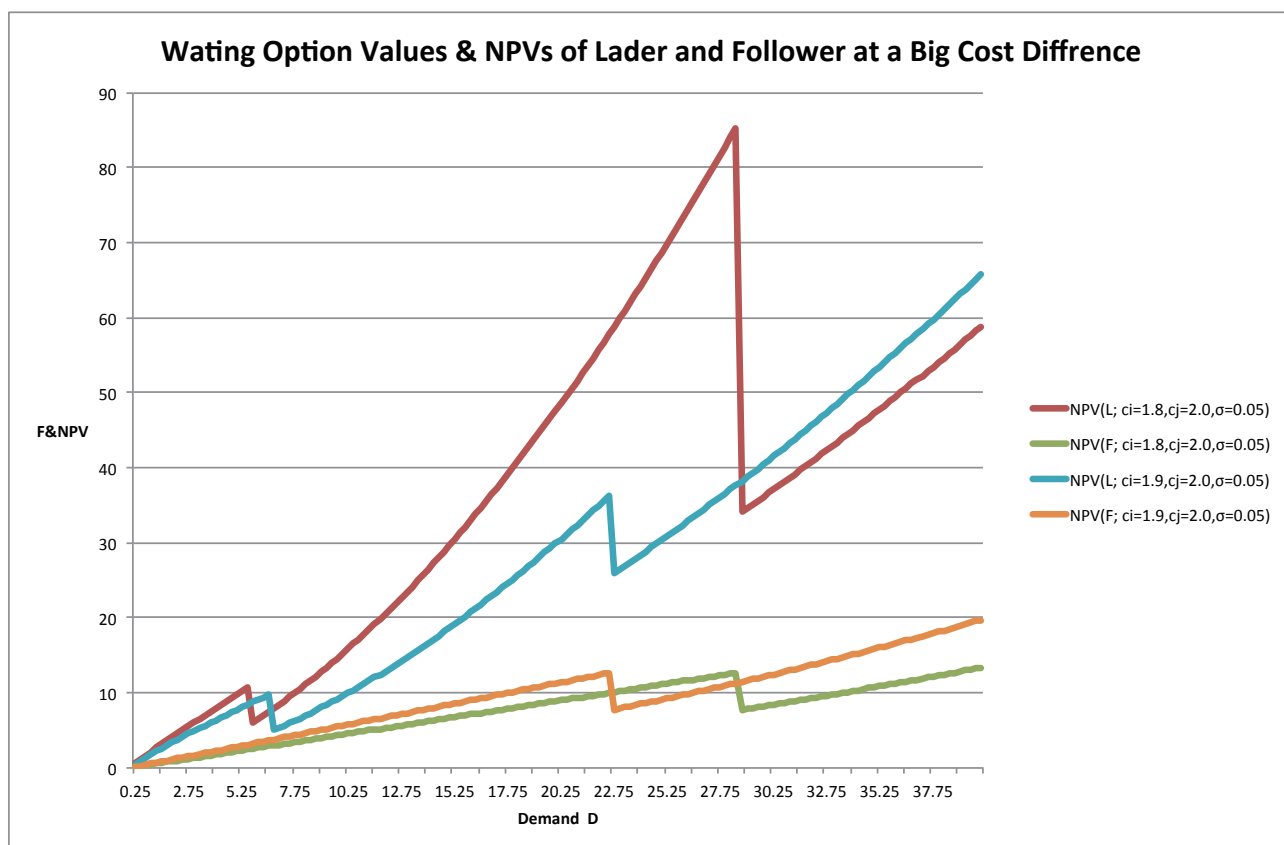
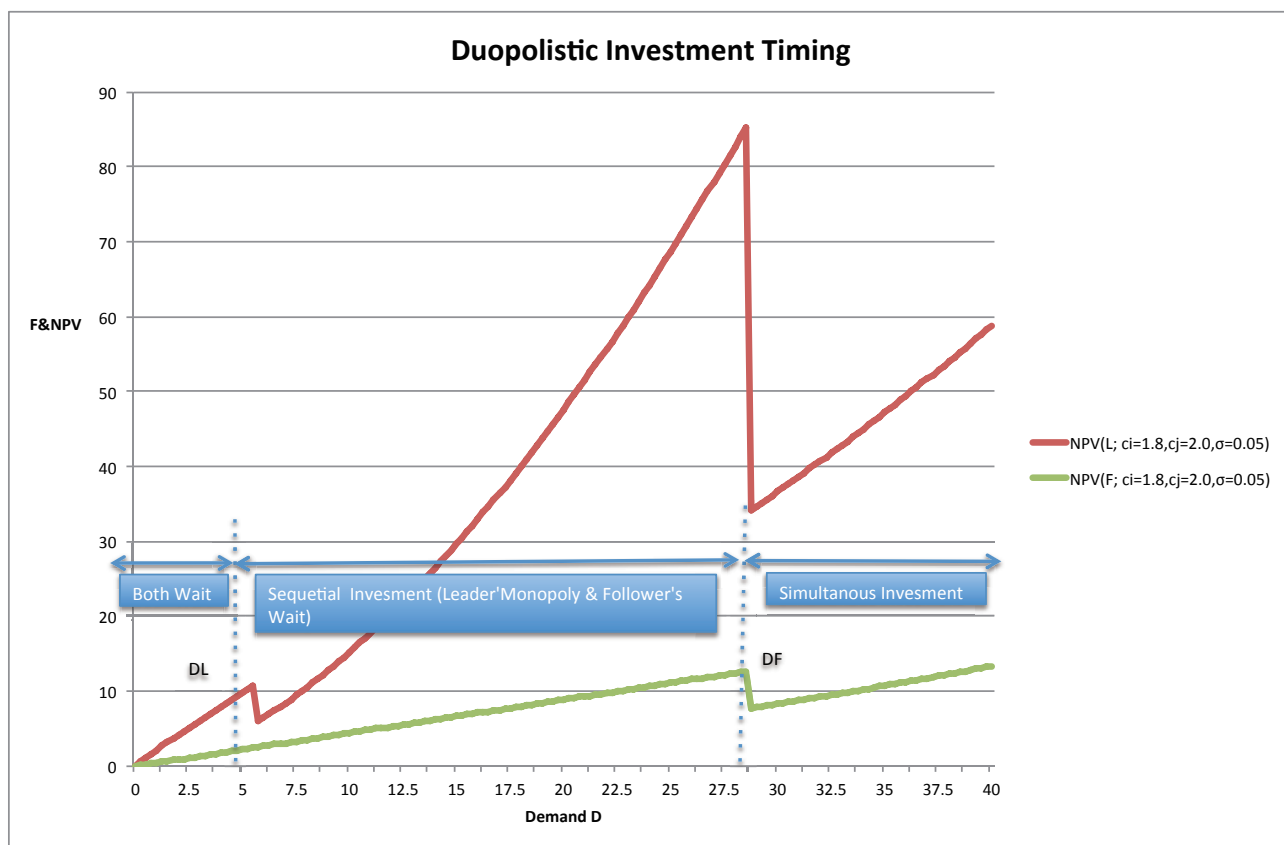
$$\frac{1}{2}\sigma^2 D^2 \frac{\partial^2 V_L}{\partial D^2} + \mu D \frac{\partial V_L}{\partial D} - r_f V_L + V_L \frac{(a - c_i)^2}{4b} = 0$$

解の方程式は、

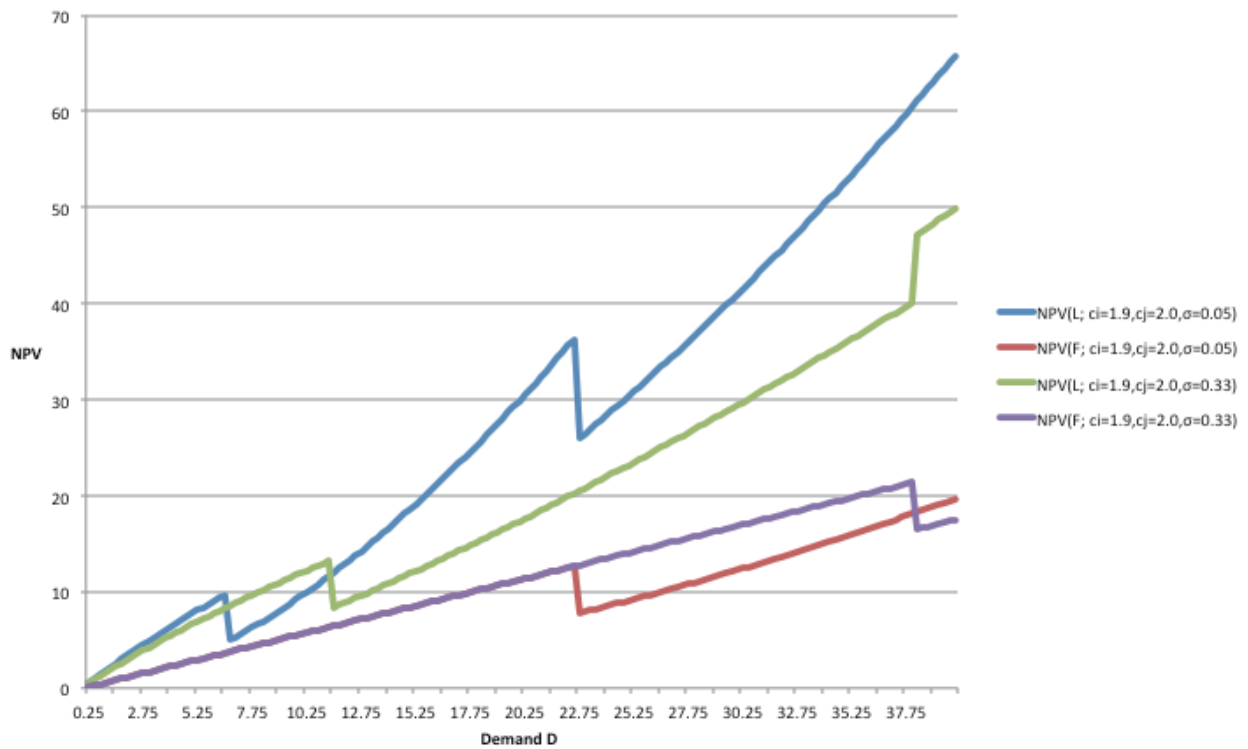
$$V_L = A_L D^{\beta_1} + B_L D^{\beta_2} + \frac{(a - c_i)^2}{4b} \frac{D}{\delta}$$

4. 感度分析

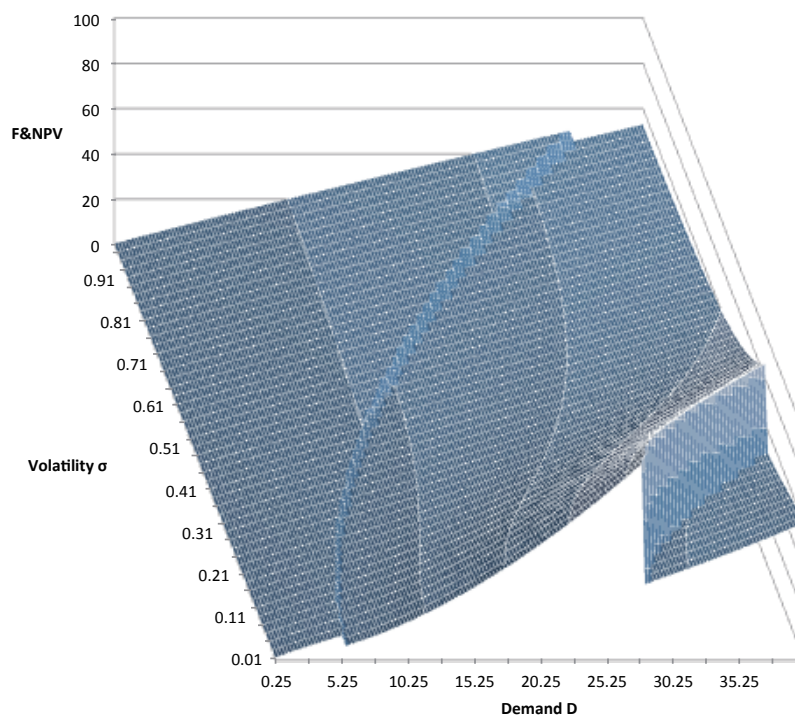
基本的なパラメータ仮定として、企業 i の変動コスト $c_i=1.8$ 、企業 j の変動費 $c_j=2.0$ 、市場価格決定の需要関数での定数 $a=3.0$ 、 $b=4.0$ 、配当 $\delta=0.04$ 、投資 $I=5.0$ 、ボラティリティ $\sigma=0.05$ 、無リスク金利 $r_f=0.1$ とした。以下に感度分析の結果を図で示す。



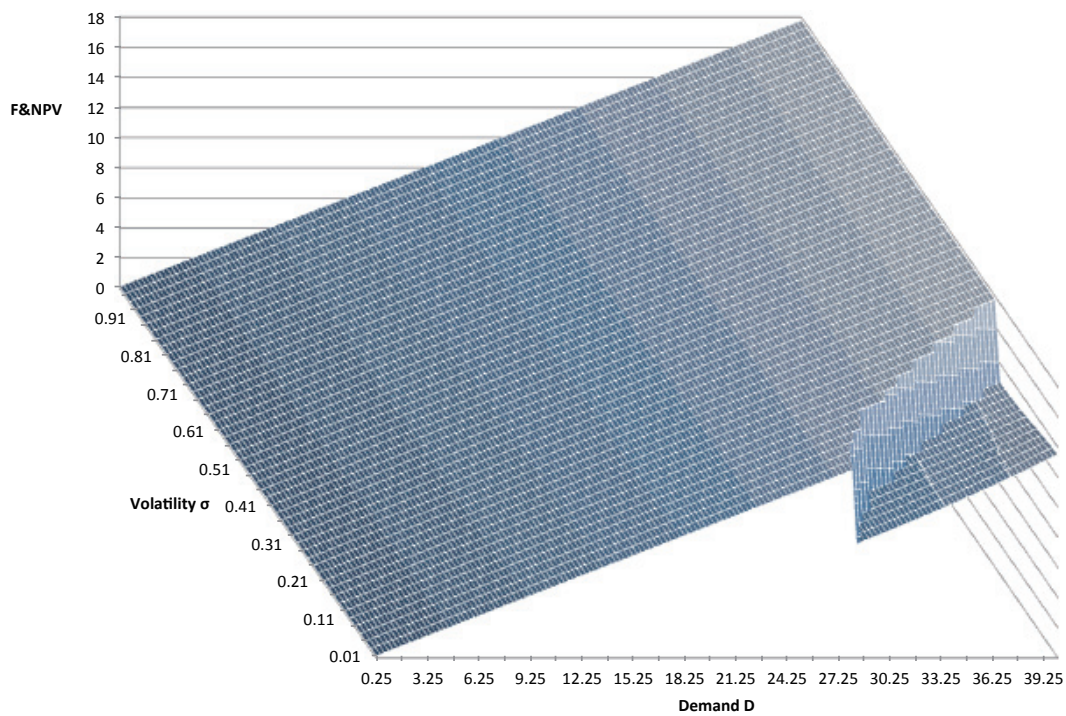
NPVs of Leader and Follower at a Small Cost Deifference in Different Risks



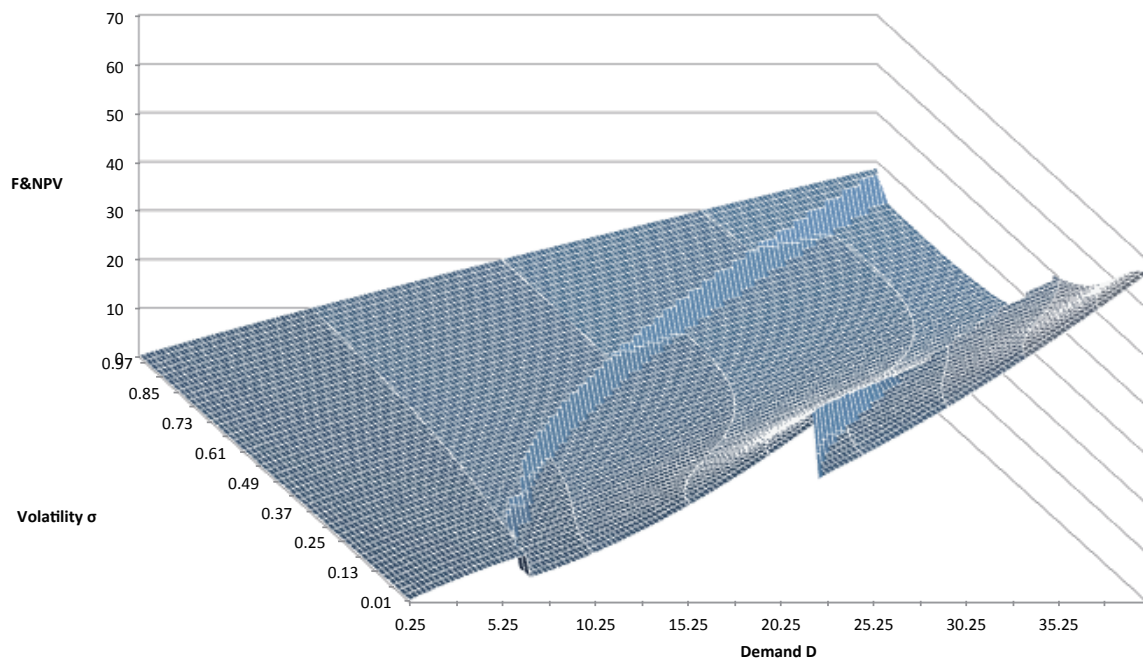
Waiting Option Value & NPV of Leader ($c_i=1.8; c_j=2.0$)



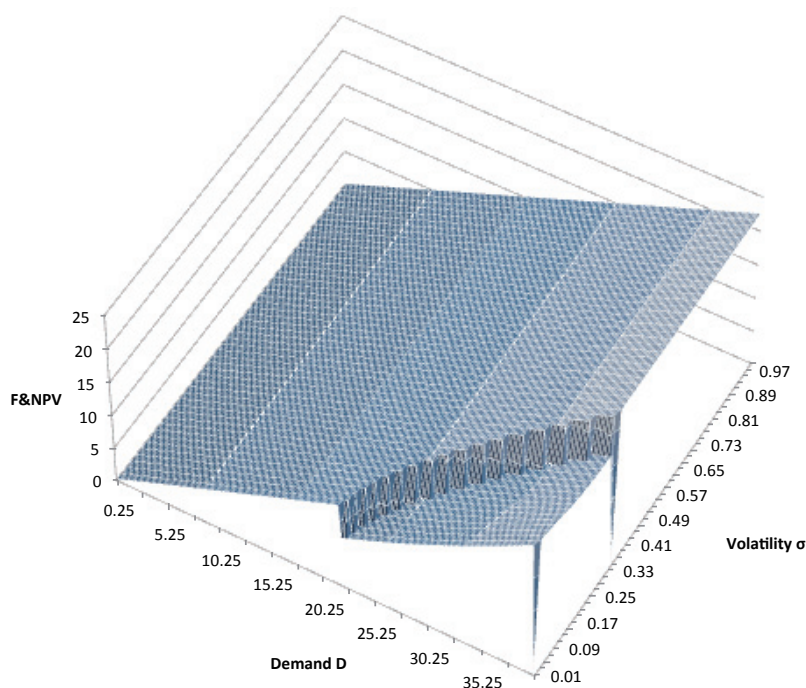
Wating Option Value & NPV of Follower($c_i=1.8$; $c_j=2.0$)



Wating Option Value & NPV of Leader($c_i=1.9$; $c_j=2.0$)



Waiting Option Value & NPV of Follmer (ci=1.9; cj=2.0)



以上から、バイオ技術開発においてコスト・スピード・リスク管理において製薬企業に対して優位性を持つバイオベンチャーのようなリーダーは、コスト優位性の低下と、リスクの高まりに伴う投資の延期とによって独占期間のプロジェクト価値の低下に直面する可能性を有するといえる。

5. 結論

ここでは、需要指数を確率変数とする複占の投資競争における連続時間モデルを通して、リーダーとしてのバイオベンチャーの延期、独占的投資、製薬企業との競合投資という各段階的投資の一般的理解と、主要パラメータの変動に伴う感度分析を実施して、バイオベンチャーが存続できるための投資・提携に関する最適なタイミングに関する特徴を検討した。

参考文献：

- Dixit, A & Pindyck, R. S. (1994) *Investment under Uncertainty*, Princeton Univ. Press, Princeton: NJ.
- Grenadier, S. R. (1995) Valuing Lease Contracts: a real options approach, *Journal of Financial economics* 38, pp. 297-331.
- Joaquin, D. C. & Buttler, K. C. (2000) Competitive Investment Decisions, In Brennan, M. J. et al. (eds.), *Project Flexibility, Agency, and Competition*, Oxford Univ. Press, New York, pp. 324-339.
- Smit, H. T. J. & Trigeorgis, L. (2004) *Strategic Investment*, Princeton Univ. Press, Princeton: NJ.