

# 市場競争を考慮した投資評価に関する研究 ～ROA(Real Option Approach)による分析～

東京理科大学大学院 工学研究科  
経営工学専攻 山口研究室 修士1年  
杉原良和

# 発表構成

- 研究背景
- 目的
- 先行研究紹介
- S-PLUSを利用した数値実験
- モデルの検証・問題点
- まとめ・今後の方針
- S-PLUSを利用した感想
- 参考文献
- *Appendix*

- 将来の環境変化に対応した意思決定の要求.
  - 事業のグローバル化, 情報技術の発達
- 従来の投資評価手法 DCF(Discounted Cash Flow)法[2]
  - 事業が生み出す将来のキャッシュフローを予測して現在価値に割引く.
- ◆ 将来の不確実性を考慮することに限界.



市場の状況に柔軟に対応した評価  
不確実性下での評価の必要性

# リアル・オプション・アプローチ

研究背景

- ROA(Real Option Approach) [2][3]

- 不確実性下における経営の柔軟性を考慮した投資評価手法.

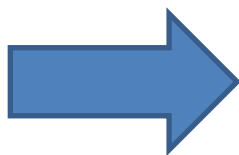
- 事業の持つ柔軟性をオプション.

- 延期, 拡大, 縮小, 停止, 再開, 撤退, 段階

## ◆ 従来のROA

- 研究開発事業, 電力プラント事業

- 1事業における他社の影響を考慮なし.

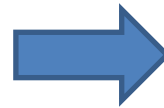


不確実性に対する  
戦略的思考を考慮していない

# 競争評価の必要性

研究背景

- 現実の市場
  - 新技術の最適な採用時点
  - 技術開発競争



競合他社の影響が  
不確実性の要因

不確実性と**競争**を考慮した評価における  
意思決定の必要性

- 競争考慮しない下でのROA評価.
  - 市場の需要は独占できる.
- ◆ 事業の持つオプションを過大評価.
  - 競争考慮によりオプションの価値が下がり、より合理的な評価の可能性.

# 競争下での評価

研究背景

- 競合状況の導入評価<sup>[4], [6]</sup>
  - 不確実性を考慮なしでのモデル(Fundenberg and Tirole)
  - 需要の不確実性と投資の延期を考慮したモデル(Huisman)
  - 様々なオプションへの拡張<sup>[5]</sup>

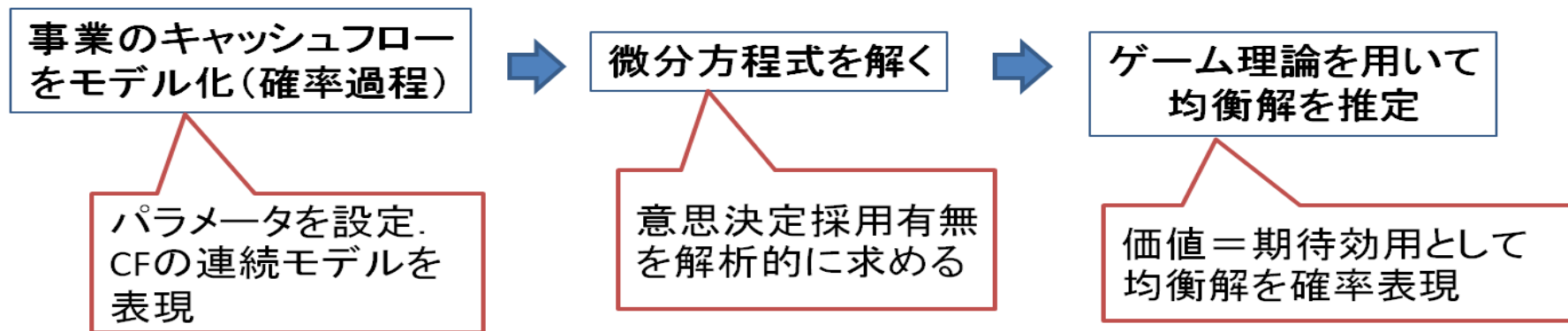


図1:代表的な競合状況導入評価フロー

- ◆ 企業の意思決定は不連続. (期間の離散的な意思決定)
- ◆ 市場競争状態に応じた行動が求められる.

# 目的

- 研究目的

- ROAに競争の不確実性を考慮した離散型モデルを構築することで、事業の投資評価を行う。

- 本発表の目的

- 先行研究の紹介[1]
- 先行研究を用いたS-PLUSによる数値実験
- 競争考慮の有無による価値の比較
- 問題点の模索

# 先行研究概要

先行研究紹介

- Smit, Han T.J and Ankum L.A , “Real Options and Game-Theoretic Approach to Corporate Investment Strategy Under Competition ” ,The Journal of the Financial Management Vol.22, No.3, pp241-250 (1993)[1]
- 新規市場参入において市場規模と競争の不確実性を考慮した投資の延期をROAで評価.
- 2項モデルを利用して各状態での経済的価値の導出.
  - Cox, Ross, Rubinsteinのモデルを使用[2]
  - 各状態での投資を延期or参入を評価.



# 事業のモデル化

先行研究紹介

- 新規市場への参入または延期を考える(オプション)
- 市場の将来規模は不確実。(2項モデルで表現)
- 同業種のライバル企業も同様のオプションを持つ。



図2:事業のモデル化

# 予想される収益の定式化

先行研究紹介

- ・ 参入による予想キャッシュフロー

$$CF_t = I \cdot i + ER_t \cdots (1)$$

最低限, 安定して得られる利益  
(キャピタルゲイン)

参入による余剰利益  
(エコノミックレント)

$I$ : 初期投資  
 $i$ : 各期間の資本コスト  
 $ER_t$ : 余剰利益  
 $t$ : 期間 (1, 2,  $\dots$ ,  $\infty$ )  
 $L$ : 価格減少率

$$ER_t = \begin{cases} ER_0 & (\text{競争なし}) \\ ER_0 \cdot e^{-Lt} & (\text{競争下}) \end{cases} \cdots (2)$$

期間ごとにレントが減少と仮定

- ・ 現在価値の算出

$$V_0 = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \cdots (3)$$

## 2項モデルへの適用

先行研究紹介

- 1 期間で事業の価値が2通りに推移するモデル[2]

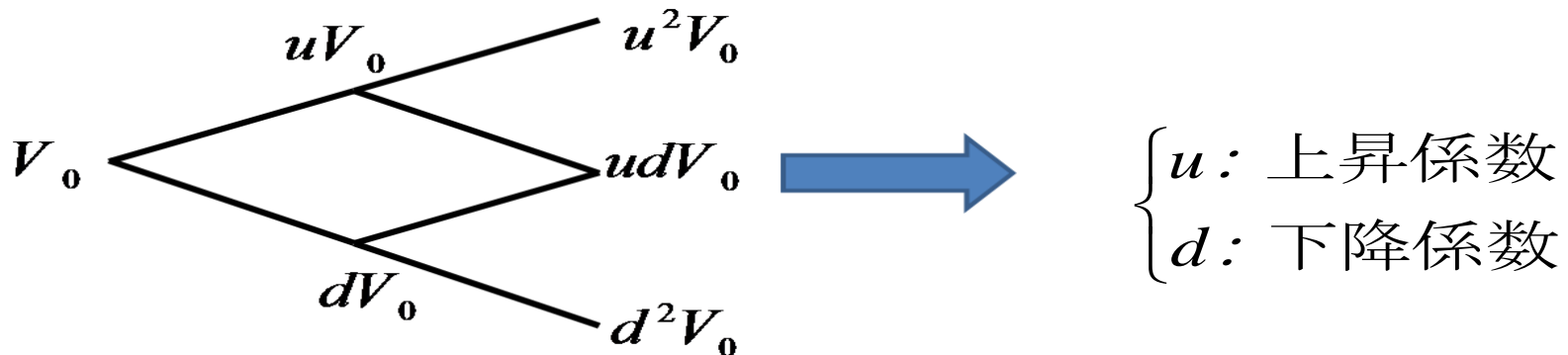


図3:2項モデルによる事業価値の推移

- Cox, Ross, Rubinstein (CRR) モデル[2]

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \dots (4)$$

$\begin{cases} \sigma: \text{事業価値のボラティリティ} \\ \Delta t: \text{意思決定期間} \end{cases}$

- 先行研究では延期期間においてキャッシュフローが発生しないことをCRRモデルに取り込む.

# 2項モデル(CRR)の改良①

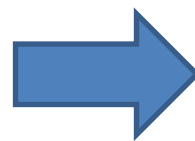
先行研究紹介

- 延期期間における損なわれる価値を、各状態に推移する利益の割合で表現.

$$\delta_{t,s} = \frac{CF_{t,s}}{V_{t,s}^{inc}} \dots (5) \left\{ \begin{array}{l} V_{t,s}^{inc} : \text{CRRにおける状態価値} \\ s : \text{2項モデルの各期間における状態} \end{array} \right.$$

- 2項モデル上での各状態の事業価値

$$V_{t,s} = (1 - \delta_{t,s}) \cdot V_{t,s}^{inc} \dots (6.1)$$



$$\left\{ \begin{array}{l} u' = u \cdot (1 - \delta_{t,s}) \\ d' = d \cdot (1 - \delta_{t,s}) \end{array} \right. \dots (6.2)$$

先行研究モデルにおける  
各状態の事業価値

CRRモデルの上昇・下降係数を変換

## 2項モデル(CRR)の改良②

先行研究紹介

- 各状態における損失価値割合の導出.

### ➤ 競争を考慮しない時

- 得られるキャッシュフローが一定.

$$\delta_{t,s} = \frac{CF_t}{V_{t,s}^{inc}} = \frac{i}{1+i} \dots (7)$$

### ➤ 競争を考慮した時

- エコノミックレントの減少により各状態で割合が変化.

余剰収益の変化

競争による利益の減少

期間末における利益

$$\delta_{t,s} = \frac{I \cdot i + \left\{ 1 - \frac{1}{1+i} e^{-L} \right\} \{ V_{t,s}^{inc} - I \cdot (1+i) \}}{V_{t,s}^{inc}} \dots (8)$$

# 事業価値評価

先行研究紹介

□ 2項モデルにより, 事業価値の推移を導出.

➤ 投資価値

$$V_{t,s} - I \dots (9)$$

➤ 延期オプションを含めた価値(動的後退解法)

ツリーの最終時点(末端)

ツリーの先端まで繰り返し算出

$$C_{T,s} = \max(V_{T,s} - I, 0), \quad C_{t,s} = \frac{pC_{t+1,u}^F + (1-p)C_{t+1,d}^F}{1+r} \dots (10)$$
$$C_{t,s}^F = \max(V_{t,s} - I, C_{t,s}^F)$$

• リスク中立確率

➤ 期待価値をリスクフリーレートで割り引く際の仮想的な値.

$$p = \frac{(1+r)-d}{u-d} \dots (11)$$

$\left\{ \begin{array}{l} p: \text{リスク中立確率} \\ r: \text{リスクフリーレート} \end{array} \right.$

# 数値実験

- 定式化より, 2通りの数値実験を行った.

- 初期に価値が得られる場合.
- 初期に価値が得られない場合.

$$V_0 = 100, I = 80$$

$$V_0 = 100, I = 120$$

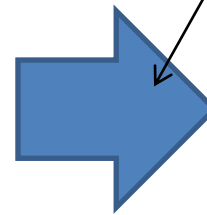
表1:パラメータの設定

パラメータ	記号	値
初期投資	$I$	80,120
資本コスト	$i$	0.1
リスクフリーレート	$r$	0.05
価格減少率	$L$	0.3
初期余剰利益	$ER_0$	10
初期現在価値	$V_0$	100
事業のボラティリティ	$\sigma$	25%
期間	$T$	10期間

Input項目

S-PLUSを利用

output



競争を考慮する場合  
競争を考慮しない場合  
に適用

式(1)~(11)を  
用いる

# S-PLUSの利用

- 先行研究のツリーモデルをS-PLUSを用いて表現
  - 行列上に表現.
  - 定式化をプログラムに書きこむ.
  - 動的後退解法を行う.
  
- S-PLUSより出力したい項目を取り出し, 分析に使用
  - 数値実験比較項目



# 数値実験比較項目

- S-PLUSによる出力結果から, 先行研究モデルにおいて競争の考慮有無による比較を行った.
- 事業価値の推移
- オプション価値の推移
- 2期間までの意思決定
- ゲーム理論による意思決定確認

# 数値実験結果(事業価値の推移)

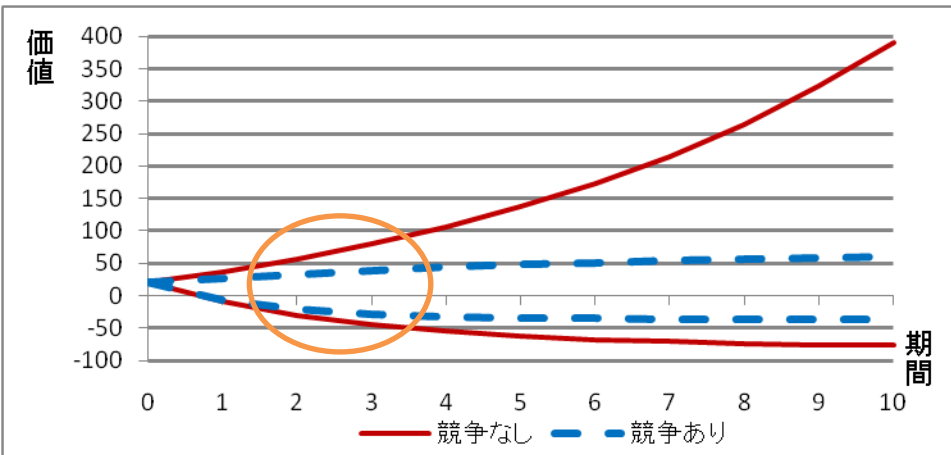


図4:事業価値の推移 ( $V=100, I=80$ )

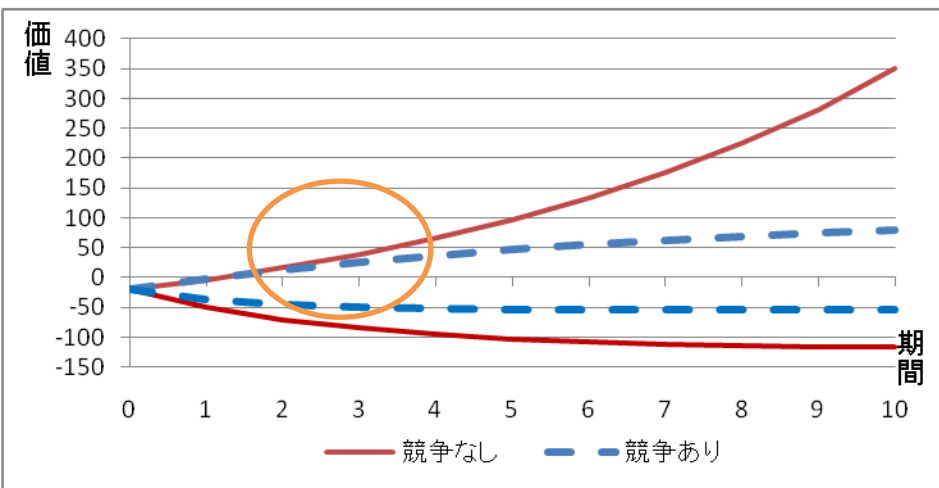


図5:事業価値の推移 ( $V=100, I=120$ )

- 競争の不確実性を考慮
- 市場の成長・衰退で緩やか
- 事業価値を過大・過小評価していない

- 価値の有無で推移に変化。
- 価値がある場合、事業価値の推移は緩やか。
- 価値がない場合、事業価値の推移は初期期間において従来と変わらない。

# 数値実験結果(オプション価値の推移)

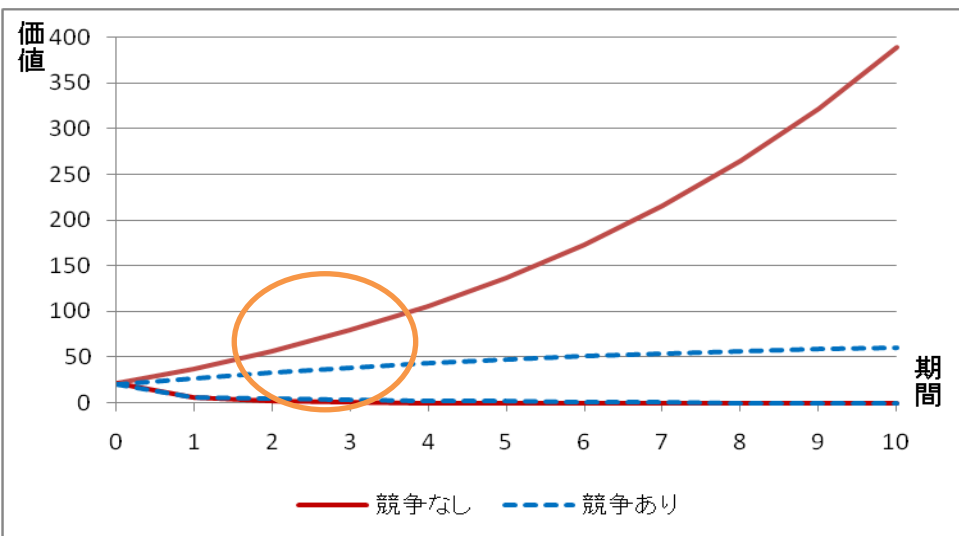


図6:オプション価値の推移( $V=100, I=80$ )

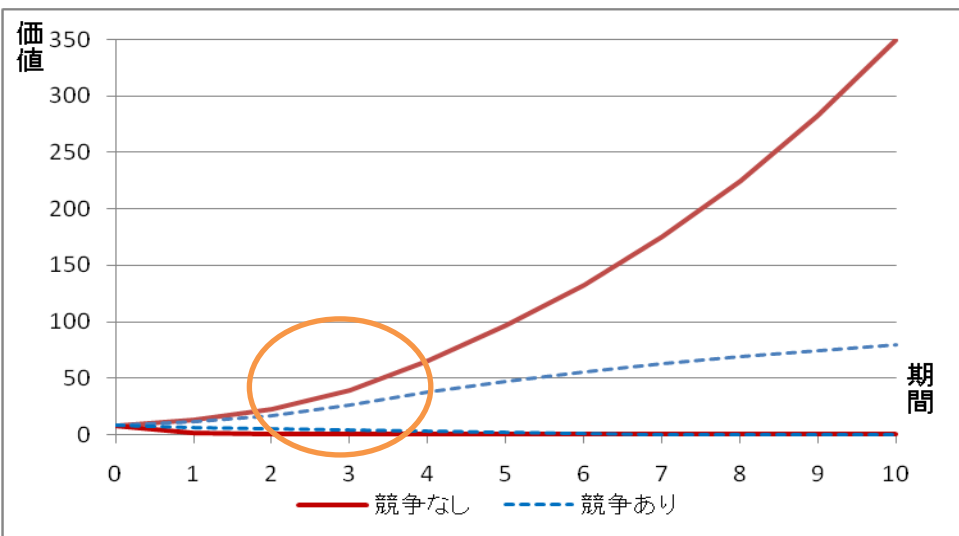


図7:オプション価値の推移( $V=100, I=120$ )

◆価値がある場合オプション価値減少  
➤投資の意思決定が働く.

◆価値無しの場合は延期オプションの  
価値を保持.  
➤市場の好転, 競合他社の参入までオプ  
ションを保持して投資.

## 2期間までの意思決定

- S-PLUS上で延期と参入の価値の高い値を採用.

競争なし				競争あり			
期間	0	1	2	期間	0	1	2
[1,]	7.4	12.9	22.5	[1,]	8.6	11.4	16.4
[2,]	NA	1.7	3.2	[2,]	NA	6.4	6.8
[3,]	NA	NA	0.3	[3,]	NA	NA	8.1
				[4,]	NA	NA	5.2

図8:オプションを含めた事業価値の推移 (V=100, I=120)

競争なし				競争あり			
期間	0	1	2	期間	0	1	2
[1,]	21.5	36.7	56.3	[1,]	20	27.2	33.4
[2,]	NA	6.2	10.9	[2,]	NA	6.4	7
[3,]	NA	NA	1.5	[3,]	NA	NA	8.8
				[4,]	NA	NA	4.2

図9:オプションを含めた事業価値の推移 (V=100, I=80)

赤:投資, 青:延期

- 初期に価値がある場合, 参入の意思決定が働く.
- 短期間による延期(オプション)価値が増加.

# ゲーム理論による意思決定①

- 得られた価値に対して、市場参入を2社と仮定し、意思決定の戦略をゲーム理論より求める。

- ゲーム理論<sup>[7]</sup>

- 複数意思決定の主体が存在する状況下における意思決定理論。

プレイヤー②

プレイヤー①

戦略	参加する	サボる
参加する	(1,1)	(-1,2)
サボる	(2,-1)	(0,0)

図10:フットサル予約問題(例)

- 利得をROAより算出する。
- 合理的な行動により利得を最大化。

# ゲーム理論による意思決定②

## • 仮定

- 参入企業がない時点までは独占者(従来の評価)価値を得る.
- 参入がある場合は先行研究のモデルによる評価価値を得る.

期間	投資	延期
投資	(競争下での投資価値)	(従来 <u>の</u> 投資価値, 競争下での延期価値)
延期	(競争下での延期価値, 従来 <u>の</u> 投資価値)	(従来 <u>の</u> 延期価値)

図11 : 先行研究における利得行列

- 2項モデルの各状態において上記の利得行列を示す.
- 均衡戦略を決定する.

# ゲーム理論による意思決定③

0 投資		延期	1 投資		延期	2 投資		延期
投資	(20,20)	(20,16.7)	投資	(27.2,27.2)	(36.7,20.1)	投資	(33.4,33.4)	(56.3,23.1)
延期		(21.5,21.5)	延期		(33.5,33.5)	延期		(48.7,48.7)
1 投資		延期	2 投資		延期	2 投資		延期
投資	(-6.8,-6.8)	(-9.2,6.4)	投資	(-3,-3)	(2.6,7)	投資	(4,4)	(2.6,8.8)
延期		(6.2,6.2)	延期		(10.9,10.9)	延期		(10.9,10.9)
2 投資		延期	2 投資		延期	2 投資		延期
投資			投資	(-20.9,-20.9)	(-29.9,4.2)	投資		
延期			延期		(1.5,1.5)	延期		

図3 :2項モデルにおける利得行列 ( $V=100, I=80$ )

0 投資		延期	1 投資		延期	2 投資		延期
投資	(-20,-20)	(-20,8.6)	投資	(-2.4,-2.4)	(-3.3,11.4)	投資	(12.8,12.8)	(16.3,16.4)
延期		(7.4,7.4)	延期		(12.9,12.9)	延期		(22.5,22.5)
1 投資		延期	2 投資		延期	2 投資		延期
投資	(-36.4,-36.4)	(-49.2,6.4)	投資	(-16.6,-16.6)	(-37.4,8.1)	投資	(-27.2,-27.2)	(-37.4,6.8)
延期		(1.7,1.7)	延期		(3.2,3.2)	延期		(3.2,3.2)
2 投資		延期	2 投資		延期	2 投資		延期
投資			投資	(-45.1,-45.1)	(-69.9,5.2)	投資		
延期			延期		(0.3,0.3)	延期		

図12 :2項モデルにおける利得行列 ( $V=100, I=120$ )

•各状態における意思決定が可能.

◆均衡が1つではない場合あり.  
➤競争により投資が早まる.

◆先行研究のモデルと同じ評価

# モデルの検証・問題点

## ■ 先行研究のモデル

- 競争により不確実性の領域を限定する.
- ◆ 初期に価値が得られない場合, オプション価値を保持.
- ◆ 初期に価値が得られる場合, 参入を早める.

## ■ 問題点

- 競争を考慮した2項モデルは多期間評価になるにつれ, 状態数が圧倒的に増加.
- モデルはツリーに推移.
- 競争を考慮しない場合は格子上に推移.
- CFを一定の割合で減少価格と考えている.
- 価格減少を状態や参入者数に応じて推移するべき.



# まとめ・今後の方針

- 競争の不確実性を考慮したROAによる投資評価を紹介した.
  - 離散モデルを用いて各状態での価値を定式化.
  - 競争を考慮したモデルでは, 競争を考慮しないモデルより不確実性を合理的に評価できる可能性がある.
- 競争下での参入数や市場状態によるモデルの構築.
- 実際の市場データへの適用.

# S-PLUSを使用して

## • S-PLUSを用いた感想

- モデルを構築しやすい.
- 多期間評価が可能.
- ◆ 格子だけでなくツリーも表現できたことで分析の幅が広がり、助かりました.
- パラメータを変化させてもすぐ分析ができる.
- ◆ 感度分析や実証分析する際に容易に用いることが可能

## • 今後の利用

- 出力項目を限定し、S-PLUS上でグラフ表現.
- 乱数をモデルに取り込む.
- 実データを用いた分析

# 参考文献

- [1]: Smit,Han T.J.and Ankum L.A, “Real Options and Game-Theoretic Approach to Corporate Investment Strategy Under Competition ” ,The Journal of the Financial Management Vol.22,No.3,pp241-250(1993)
- [2] L.Trigeorgis, 山口浩, 他訳:「リアルオプション」, エコノミスト社(2001)
- [3]Dixit&Pindyck, 川口有一郎, 他訳:「投資意思決定とリアルオプション」, エコノミスト社(2002)
- [4]今井潤一:「リアル・オプション, 投資プロジェクト評価の工学的アプローチ」, 中央経済社(2003)
- [5]後藤允, 大野高裕:“不確実性下の複占市場における最適撤退行動”, 日本経営工学会誌, Vol.56,No.4,pp274-283(2005)
- [6]今井潤一, 渡辺隆裕:“戦略的思考を取り入れたリアル・オプション-離散2時点モデルによる分析-”, 岩手県立大学総合政策学部working paper, No.12(2005)
- [7]渡辺隆裕:“なぜリアルオプションとゲーム理論か”, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, Vol.53,No.11,pp614-619(2008)
- [8]大槻聰幸, 竹澤伸哉:“リアル・オプション-柔軟性評価への道-”, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, Vol.41,No.11,pp629-634(1996)

# *Appendix*

# リアルオプションの研究背景

## ・ 資源配分問題・戦略的投資計画[2],[3],[8]

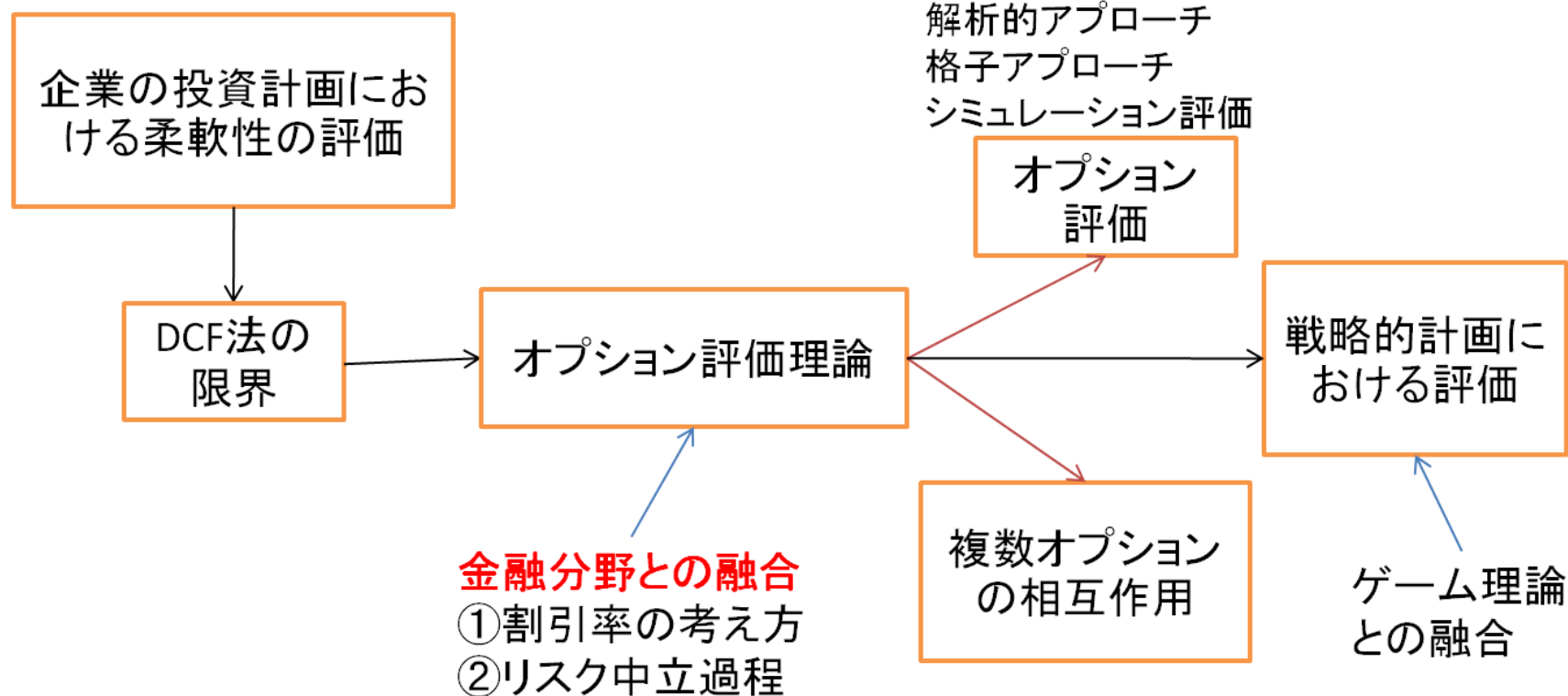


図13:リアルオプションFLOW

# 競争下

- 競争下での投資採用仮定<sup>[4]</sup>
  - i. 先に採用すれば利益が拡大
  - ii. 早期採用ほど初期投資が大きい
  - iii. 同時に多数採用すると利益が得られない。
  
- 従来のROAでは**独占権**の仮定の下での評価。
  - 市場の需要は独占できる。(インフラ, 薬剤研究, その他R&D)
  - 事業の持つオプションを過大評価.

# リスク中立確率

- 前提
  - 市場に裁定の機会が存在しない.
  - 全ての資産の期待収益率が無リスク.
- 原資産と無リスク資産によるポートフォリオの複製

好調時と低調時の期末ポートフォリオは等価

$$uV_0 - mC_u = dV_0 - mC_d$$

ヘッジレシオより原資産の収益を算出

$$V_0 - mC_0 = uV_0 - mC_u$$



$$C_0 = \left[ C_u \left( \frac{(1+r) - d}{u - d} \right) + C_d \left( \frac{u - (1+r)}{u - d} \right) \right] \div (1+r)$$

リスク中立確率

リスクフリーレートで割り引く

$V_0$ : 原資産 1 単位  
 $m$ : 単位数 (ヘッジレシオ)  
 $u, d$ : 好調, 低調時  
 $C_0$ : オプション価値  
 $r$ : リスクフリーレート

# ゲーム理論

- 複数意思決定の主体が存在する状況下における意思決定理論
  - 意思決定主体 = プレイヤー
  - 意思決定の行動や計画 = **戦略**
  - 戦略における評価値 = **利得**
- ◆ 前提条件
  - 自己の利益の最大化を得る行動
  - 相手の戦略を予想した合理的な行動



# S-PLUS出力結果例

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	563	606.68	653.76	704.49
[2,]	NA	388.27	418.4	450.87
[3,]	NA	NA	267.77	288.55
[4,]	NA	NA	NA	184.67

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	524	547.9	567	582.2	594.4
[2,]	NA	397.3	409.5	419.3	427
[3,]	NA	NA	446.8	456.5	464.3
[4,]	NA	NA	332.6	338.8	343.8
[5,]	NA	NA	NA	486.2	494
[6,]	NA	NA	NA	357.8	362.8
[7,]	NA	NA	NA	395.1	400.1
[8,]	NA	NA	NA	299.5	302.7
[9,]	NA	NA	NA	NA	517.8
[10,]	NA	NA	NA	NA	378
[11,]	NA	NA	NA	NA	415.3
[12,]	NA	NA	NA	NA	312.4
[13,]	NA	NA	NA	NA	445
[14,]	NA	NA	NA	NA	331.4
[15,]	NA	NA	NA	NA	368.7
[16,]	NA	NA	NA	NA	282.6

2項格子モデル(競争を考慮しない)の出力

2項ツリーモデル(競争下)の出力

図14:S-PLUS出力結果例