

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530450

研究課題名(和文)投資意思決定に関するリアルオプション分析

研究課題名(英文)Real Option and Investment Decision

研究代表者

葛山 康典(Katsurayama, Yasunori)

早稲田大学・社会科学総合学院・教授

研究者番号：10257222

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円、(間接経費) 450,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、投資から委託を受けた経営者が経営意思決定を行う場面を想定し、タイムホライズンの違いを、経営上の柔軟性を表現するリアルオプションによって取扱った。一定のコストを支払うことによって、投資を減額できるケース、例えば新しい生産技術などを導入し、投資を減額できるケースを想定し、この意思決定によって投資の実施時期がどのように影響されるかについて分析した。

また、実証研究として、投資が決定され、それに必要な資金調達が行われるケースを想定し、SEO(Seasoned Equity Offerings)に関わる、株価収益率の分析を実施した。特に本邦市場における近年の法改正から分析を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, the situation where there exists agency relationship between manager and investors is considered. Investors are contract with managers to run their company. Usually there are conflicts of interest called agency problem. One of the causes of the agency problem is a difference of the time horizon between two parties. It is modeled via the real option problem which enables us to deal with the flexibility of the management. For example the manager has an opportunity to reduce the size of investment by introducing a new technology which is costly. The effects of time horizon are analyzed.

Empirical study around SEOs(Seasoned Equity Offering) are also analyzed. Especially the cumulative abnormal return around Japanese SEO and the effect of law reforms are reported.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経営学・経営財務

キーワード：リアルオプション

1. 研究開始当初の背景

所有と経営が分離した株式会社では、投資家から経営を委託された経営者が意思決定を行う。しかしながら、経営者の利害は投資家の利害が、完全に一致しているわけではないため、経営の委託が必ずしも投資家の価値の最大化には結びつかないという問題がある。このような問題を引き起こす要因として、経営者と投資家の情報の非対称性や、経営者に対する報酬システムの設計の問題、あるいはキャッシュフローの割引に用いられる割引率が投資家と経営者の間で異なっているケースなど種々の問題が指摘されてきた。

本研究では投資家の時間視野の違いに着目するために、経営者が保有する経営上の自由度であるリアルオプションを分析することによって、この点に関する分析を行うことを試みた。

2. 研究の目的

本研究では、経営意思決定上の柔軟性をリアルオプションとして取り扱う。不確実な将来キャッシュフローに直面している企業は、NPV が正になった時点で即座に投資を実行するのではなく、投資を延期する方がプロジェクトの価値が増大するケースがある。

ここでは一定固定額のコストを支払うことによって、投資額を減額できるケースを取り扱った。新しい生産技術などを取り入れ、投資額を減少させることが可能なケースを想定し、この意思決定によって投資の実施時期がどのように影響されるかについて分析を行い、投資家のタイムホライズンに関する分析を行う。

また、実証研究として、投資が決定され、それに必要な資金調達が行われるケースを想定し、SEO(Seasoned Equity Offerings)に関わる、株価収益率の分析を実施した。

これらの分析により、投資家のタイムホライズンに関する知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) リアルオプションモデルによる分析

リアルオプションの評価は、特殊なアメリカンコールオプションの価格評価として定式化されている。Dixit and Pyndick[2]

経営者はさまざまな経営上の自由度を保有しているが、本研究では追加コスト F を支払うことによって、一定の革新技術を導入しプロジェクトへの投資額を減額する場合を考える。

競争環境にある企業は、常に Preemption のリスクにさらされている。特に先行者利得が大きい市場においては重要な問題である。革新技術を導入することによって、新規事業

を導入することで、投資実行のタイミングが変化することが予想される。この分析によって、経営者の時間視野について検討をおこなう。

(2) 実証研究

投資家と経営者の間の情報非対称性の観点から、特にプロジェクトの意思決定が行われたことを前提に、SEO によって必要な投資資金の調達を行うケースを想定し分析を行った。

SEO は投資家と経営者の間の情報の非対称性を緩和する効果があるが、理論的には SEO の実施のアナウンスによって株価が低下する負のアナウンス効果が存在することが明らかにされてきた。欧米では、SEO アナウンス後、約 2% 程度の株価下落が観測されてきたが、本邦市場では欧米とは異なり、正のアナウンス効果が観測されている。本研究ではその理由として、本邦市場における SEO の手続きにその原因を求め、投資家と経営者の間の情報の非対称性の解消に関して知見を得るために実証分析を行った。

4. 研究成果

(1) リアルオプションモデルによる分析

分割できない一定量の投資額 I を投資することによって、将来にわたるキャッシュフロー x_t を取得することができる企業を想定する。ここで、キャッシュフロー x_t は、ドリフト μ 、ボラティリティ σ の次式の幾何ブラウン運動に従うと仮定する。

$$dx_t = \mu x_t dt + \sigma x_t dz_t \quad (1)$$

ここで $\mu < r$, $\sigma > 0$ とし、 z_t は標準ブラウン運動を表す。投資家がリスク中立であることを仮定すると、この投資案の価値 $V(x, t)$ は以下の 2 階同次微分方程式を満たす。

$$\frac{1}{2}\sigma^2 x_t^2 V''(x_t) + \mu x_t V'(x_t) - rV(x_t) = 0 \quad (2)$$

投資案の価値 $V(x, t)$ は上の微分方程式の解として与えられる。

$$V(x_t) = \alpha_1 x_t^\lambda \quad (3)$$

ここで、定数 λ は、次式で与えられる。

$$\lambda = \frac{\frac{1}{2}\sigma^2 - \mu \pm \sqrt{(\frac{1}{2}\sigma^2 - \mu)^2 + 2r\frac{1}{2}\sigma^2}}{\sigma^2} \quad (4)$$

(2) 式の微分方程式において、以下の境界条件を満たす必要がある。

Value Matching 条件

$$\alpha x^{*\lambda} = \frac{x^*}{r-\mu} - I \quad (5)$$

Smooth Pasting 条件

$$V'(x_t^*) = 1$$

以上から、この投資案件の価値は次式で与えられる。

$$V(x_t) = \left(\frac{x^*}{r-\mu} - I\right) \left(\frac{x_t}{x^*}\right)^\lambda \quad (6)$$

この価値 $V(x_t)$ を最大化するキャッシュフロー

- を x^* とおくと、 $\frac{\partial V}{\partial x_t} = 0$ から、

$$x^* = -\frac{\lambda}{1-\lambda}(r-\mu)I \quad (7)$$

が得られる。

すなわち、不確実なキャッシュフローが閾値 x_t^* に達した時点で投資を実行することが最適となる。

以下では、追加投資 F を支払うことによって、プロジェクトへの投資額を kI ($0 < k < 1$) に減額できる革新技术が存在するケースについて検討する。競争環境にある企業は、常に preemption のリスクに晒されている。特に先行者利得が大きい、あるいは先行者が市場を独占するようなケースでは、そのリスクはさらに顕著になる。近年では IT 関連技術でそのような傾向が強いことは、広く認識されているように思われる。

このようなケースでは、何らかの形で投資の実行を前倒しする方法が存在すれば、仮にその方法の導入が費用を要するものであっても、結果として、その技術導入がプロジェクトの価値を高める場合がある。例えば、新しい生産技術を導入し生産方法を抜本的に見直し、設備投資額を減額出来るケース、あるいは特許権を購入することによって、新技术を導入し、小規模な設備で生産可能な同一の機能を有する全く新しい製品を生産・販売するケースなどが考えられる。技術の取得に関しては、特許権の購入・M & A によって、新技术を有する企業を取得し、その企業が有する技術を導入する場合など様々なケースが想定できよう。

この節では、上述の革新技术導入の機会が存在する場合について検討する。なお、単純化のため、革新技术の導入は、現時点のみで可能であると仮定する。まず、現時点で固定額 F で革新技术を導入することによって、投資金額が kI へと減少し、これがあらたな閾値にどのような変化をもたらすかについて検討する。革新技术に F を投資して、投資額を引き下げた場合のプロジェクトの価値 $\hat{V}(x_t)$ は、次式で与えられる。

$$\hat{V}(x_t) = \left(\frac{\hat{x}^*}{r-\mu} - kI\right) \left(\frac{x_t}{\hat{x}^*}\right)^\lambda - F \quad (8)$$

ここで \hat{x}^* は、革新技术導入後の新しい投資額 kI のもとでの閾値である。また、新しい閾値は

$$\hat{x}^* = -\frac{\lambda}{1-\lambda}(r-\mu)kI \quad (9)$$

と表すことができる。

コストと閾値の関係を検討すると、

$$\frac{\partial -\frac{\lambda}{1-\lambda}(r-\mu)kI}{\partial k} < 0$$

であることから、投資の減少割合

1- k が増加すると、投資実行のための閾値

\hat{x}^* は低下することが確認できる。

さて、投資案件の価値(8)式に照らし合わせれば、投資の閾値 \hat{x}^* の減少は以下の3つの影響を有する。

- 投資の閾値 \hat{x}^* の減少に伴う、プロジェクトからの将来キャッシュフローの現在価値 $\left(\frac{\hat{x}^*}{r-\mu} - I\right)$ の低下
- 総投資額 I が、 kI に減少したことによる NPV の増加 投資の閾値
- \hat{x}^* の減少に伴って、投資時点が早まることによる割引率 $\left(\frac{x_t}{\hat{x}^*}\right)^\lambda$ の減少

以上の影響に、革新技术の取得コスト F を加味すると、革新技术に F だけ投資するのが経済的か否かは、 F と、その効果 k との関係に依存する。

結果として $\hat{V}(x_t) - V(x_t) > 0$ が成立する場合に、革新技术に F を投資することが価値を向上させる意思決定となる。既に述べたように、革新技术への投資が、プロジェクトの価値に与える影響は3つの要因に分解できる。ここで3番目のポイントであった、「投資の閾値 \hat{x}^* の減少に伴って、投資時点が早

まることによる割引率 $\left(\frac{x_t}{\hat{x}^*}\right)^\lambda$ の減少」について、

分析を加えたい。

ここでは、投資の閾値が x^* から、 \hat{x}^* に減少したことによって、プロジェクトの実行時点 T が、どの程度前倒しされるかについて分析する。到達時間の確率分布 Harrison[2] に、若干の変数変換を行うと、現時点でのキャッシュフロー x が与えられたもとで、投資の閾値 \hat{x}^* が実現される時間 T までの確率分布は次式で与えられる。

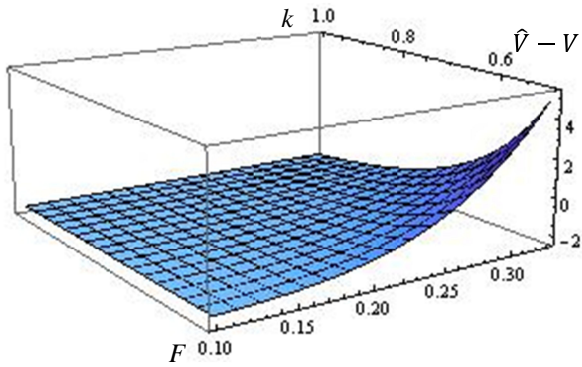


図 1: 革新技术へ F を投資し、設備投資を $1 - k$ に削減した場合の収益性

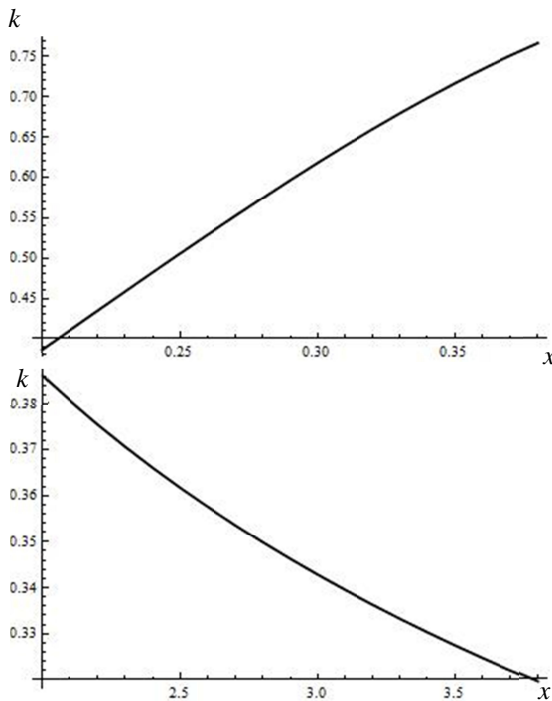


図 2: 革新技术への投資が経済性を持つ領域

$$P(T \leq t) = \Phi \left[\frac{-\ln(x^*/x) + (\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}} \right] + \left(\frac{x^*}{x}\right)^{\frac{2(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)}{\sigma^2}} \Phi \left[\frac{-\ln(x^*/x) - (\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}} \right] \quad (10)$$

ここで、 $\Phi[\]$ は標準正規分布の累積密度関数である。

現在のキャッシュフロー x から、閾値 x^* が達成されるまでの時間の分布 (革新技术への投資なし)、および、 x から \hat{x}^* に至るまでの分布 (革新技术への投資あり) は図 3 で与えられる。

投資時間がどの程度減少するかは、(10) 式を用いて、 \hat{x}^* から x^* に至る時間の分布を調

べればよい。この分布は図 4 に与えられている。ここでは、 k が小さいほど (設備投資額の減少率が大きいほど) 短縮される時間が長くなることが確認できる。

投資額を減少させたことによる閾値が $x^* - \hat{x}^*$ だけ減少したことによる、投資の前倒し時間等は次式で与えられる。

$$E[[T] = \int_0^\infty P(T \leq t) dt \quad (11)$$

しかしながら、 $\mu < \frac{1}{2}\sigma^2$ のケースでは、(11) 式は収束せず、期待値は存在しないが、メジアンは (10) 式を $\frac{1}{2}$ と等しくする t で求められる。

ここまでのモデルをベースに競争環境下での意思決定を取り扱った Lambrecht and Perraudin[3] に依拠して分析を行う。ここでは市場には自社の他に競合他社が一社だけ存在すると仮定する。両者は同一市場で競争関係にあり、どちらか一社が先に市場に製品を導入した時点で、将来にわたる全てのキャッシュフローを独占できると仮定する。また、自社は競合他社が前節と同様のリアルオプションに基づく投資戦略を採用することは既知であるものの、競合他社のコスト構造については未知であると仮定する。

このよう完全な preemption が存在する場合に、どのような投資戦略を採用すれば良いだろうか。最適な投資時点まで投資を延期した結果、競合他社が先に投資を実行し市場に

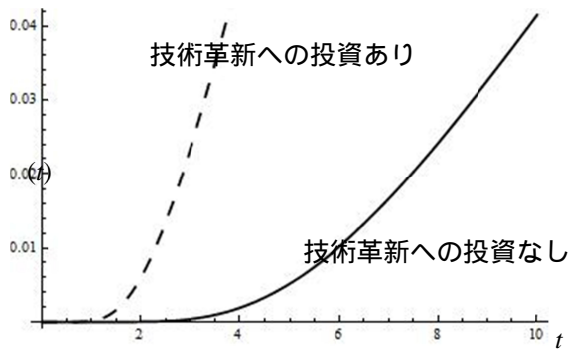


図 3: 投資実行までの時間の違い

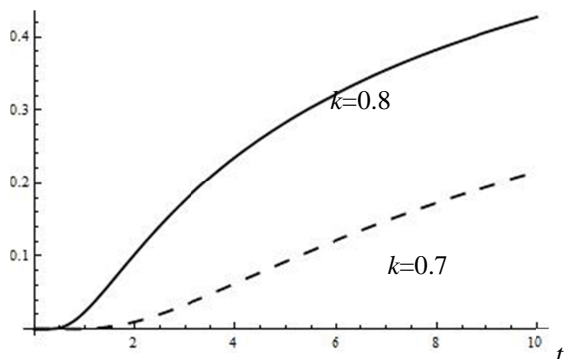


図 4: 投資実行まで短縮された時間の分布

製品を投入することによって、自らが利益を得る機会を失うリスクを考慮に入れた意思決定を行わなければならない。つまり、前節までの分析とは異なり、投資の実施を見送って将来キャッシュフローが増加する可能性の価値 = オプションバリューを一定程度犠牲にしても、早く市場に製品を投入することが合理的な選択となる。

競合他社の戦略は、リアルオプションによるものであるから、過去の x_t の値から、相手の閾値 \bar{x} を推定できることに注意が必要である。ここで、自社が予測する競合他社の投資閾値の分布として、台集合 $[\bar{x}_L, \bar{x}_U]$ 上で連続微分可能な関数 $F(\bar{x})$ を考える。また、時点 t までの、 x の最大値を $\bar{x} \equiv \max_{0 \leq \tau \leq t} x_\tau$ とおくすでに述べたように、競合他社はリアルオプションに従って投資を実行し、新製品投入を投入するので、現時点までに投資が実行されていない限り $\bar{x}_t < \bar{x}$ が成立する。なぜなら、競合他社の閾値 \bar{x} が、過去の最大値 \bar{x}_t よりも低ければ投資が実行されるからである。このことを考慮すると、キャッシュフローの最大値が更新され、競合他社が投資を実行しないのであれば、その閾値 \bar{x} に関する情報が学習によって更新できる。新たな最大値が観測されるたびに、競合他社の閾値の分布 $F(\bar{x})$ は次式に従って更新される。

$$F(\bar{x}|\bar{x}_t) = \frac{F(\bar{x}) - F(\bar{x}_t)}{1 - F(\bar{x}_t)} \quad (12)$$

この式を用いて、 x_t の最大値 \bar{x}_t のもとでの自社のプロジェクトの価値 $Z(x_t|\bar{x}_t)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} Z(x_t|\bar{x}_t) &= \left(\frac{x^\perp}{r - \mu} - I \right) \left(\frac{x_t}{\hat{x}^*} \right)^\lambda \\ &P(\text{競合他社が投資を実行しない}) \\ &= \left(\frac{x^\perp}{r - \mu} - I \right) \left(\frac{x_t}{x^\perp} \right)^\lambda \frac{1 - F(\bar{x}_t)}{1 - F(x^\perp)} \end{aligned} \quad (13)$$

ここで、 x^\perp は自社の投資の閾値を表す。自社が採用すべき投資の閾値は、以前と同様に

$$\frac{\partial Z(x_t|\bar{x}_t)}{\partial x_t} = 0 \text{ から、}$$

$$x^\perp = -\frac{\lambda + h(\bar{x})}{1 - \lambda - h(\bar{x})} (r - \mu) I \quad (14)$$

と表される。ここで、 $h(x)$ は、ハザードレート

$$\text{トで } h(x) \equiv \frac{x F'(x)}{1 - F(x)} \text{ である。}$$

さて、ここでも前節と同様に革新的な技術を導入することが可能であるケースを考えよう。前節では、革新的技術の導入に要する投資額 F と、設備投資の減少率 $1 - k$ に依存して、経済性の観点から、その技術の導入の

可否が判断された。しかしながら、競争環境のもとでは、競合他社による preemption のリスクを考慮した上で投資判断を下すことになる。ここでは、キャッシュフローが過去の最大値 \bar{x}_t を更新した時点 T で、革新技術の導入の可否について検討する場合について分析を行う。前節と同様に、革新技術を導入した場合のプロジェクトの価値は次式で与えられる。

$$Z(x_t|\bar{x}_t) = \left(\frac{x^\perp}{r - \mu} - I \right) \left(\frac{x_t}{x^\perp} \right)^\lambda \frac{1 - F(\bar{x}_t)}{1 - F(x^\perp)} - F \quad (15)$$

ここで、革新技術の導入はキャッシュフローが過去の最大値 \bar{x}_t を更新した時点 T のなかで、次式を満たす最初の時刻で実施される。

$$\hat{Z}(x_t|\bar{x}_t) - Z(x_t|\bar{x}_t) > 0 \quad (16)$$

競合他社の閾値 \bar{x} の分布 $F(\bar{x})$ については、様々な想定があると思われるが Lambrecht and Perraudin[3]では一様分布が用いられている。

(2) 実証分析

上場企業が投資資金を株式の発行によって調達するケース、SEOについて取り扱った。従来から SEO の実施に関するアナウンスは、経営者からのシグナリングの側面を持ち、投資家と経営者の間の情報の非対称性の解消に資するという観点で理論的な分析が行われてきた。一方で大魚米の実証研究では、SEOの実施がアナウンスされると約 2%程度株価が減少する負のアナウンス効果が発生することが報告されており、上記の理論とせいごうてきであることが報告されている。しかし、本邦株式市場においては、正のアナウンス効果の存在が報告されてきた。申請者は、取締役会での株式発行決議から、払い込みの間の期間短縮が可能となる法改正の影響を加味して本邦でも負のアナウンス効果が観測されることを示してきた。

2001年の法改正では、ブックビルディングによって取締役会での増資決定から払込みまでの期間が大幅に短縮された。しかしながら、ブックビルディングの過程で機関投資家に対して実施されるプレヒアリングの情報をういたインサイダー取引の懸念が指摘されてきた。SEO情報を得た投資家は既発証券を空売りすることで、株価を低下させ、この価格がブックビルディングをとおして、SEO価格の低下をもたらすことを利用して、利益を確定することができるとされている。

この効果を次式で計算される CAR (Cumulative Absolute Return)によって測定する。

$$CAR = \frac{\sum_{t=0}^T r_t}{|T|} \quad (16)$$

ここで、 $t=0$ を価格決定日として、プレヒアリングによる価格調査が開始する時点 T とおく。

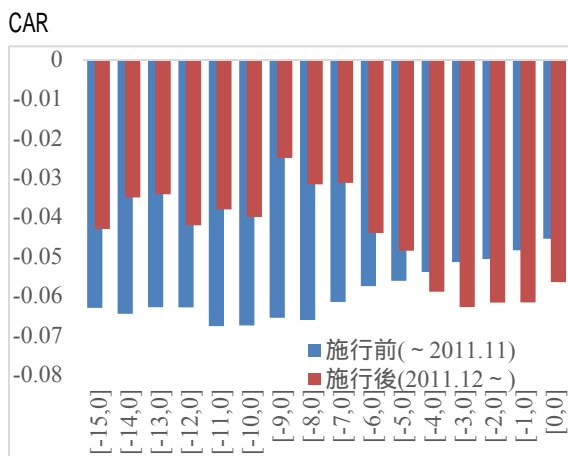


図 5. 法改正前後の CAR

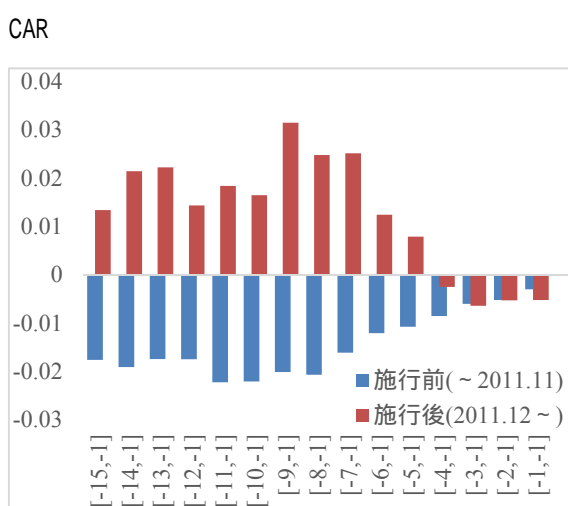


図 6. 法改正前後の CAR

(負のアナウンス効果を消去したもの)

プレヒアリングによって増資情報を得た場合、この機関投資家は、SEO 株式の購入機会を手に入れることで、ある種の先渡契約のロングと同等のポジションにある。 $t=T$ 以降空売りによって株価を低下させる効果のある種のコンビニエンスイールド c と捉えると、機関投資家のペイオフは次式で表される。

$$\text{PayOff} = P_T - e^{(r+c)P_T} \quad (17)$$

ここで、第 2 項は SEO 株式の価値を先渡契約の理論価格で評価したものである。

SEO 株式の空売りは、金融商品取引法の改正によって 2011 年 12 月より規制された。具体的には、公募増資によって取得した株式によって空売りの解消を行うことが規制するとともに、報告義務を課す改正である。

本研究では、ブックビルディングの利用が可能となった 2001 年以降、2013 年までの 269 件の SEO を対象とした。サンプル期間を 2011 年 12 月 1 日以降(改正後 223 件)とそれ以前(改正前 46 件)に分割した上で、各々の期間の CAR の平均値を求めた。

図 5 および図 6 に規制前後の CAR の変化を

示した。図より規制前後で $T=-5$ までの CAR の大きさが大きく変化していることが確認できる。

この結果によって、今後 SEO に関わる本邦市場のバイアスについて検討してゆきたい。

参考文献

- [1] J. Harrison: *Brownian Motion and Stochastic Flow Systems*, Wiley(1985).
 [2] A. Dixit, R. Pindyck: *Investment under Uncertainty* Princeton(1993).
 [3] B. Lambrecht and W. Perraudin, "Real Options and Preemption under Incomplete Information", *Journal of Economic Dynamics & Control*, 27, 619–643(2003).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

葛山康典, 「資本予算とリアルオプション」, 早稲田商学, Vol.434, pp429-444(2013).

〔学会発表〕(計 1 件)

Yasunori Katsurayama, Keiji Abe, "SEO returns and Japanese Law Reforms", INFORMS Annual meeting in San Francisco, (2014)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

葛山康典 (Yasunori Katsurayama)

早稲田大学・社会科学総合学院・教授

研究者番号: 10257222