

# 電気通信産業における技術投資プロジェクトのリスク評価と規制と競争のあり方について (継続)

研究代表者 芝田 隆志 首都大学東京社会科学部准教授

## 1 はじめに

本稿では、電気通信の「規制と競争」という特異な市場構造を明示的に捉え、その状況下での各企業の投資戦略、そして各企業の投資プロジェクト価値の評価式を導出する<sup>1</sup>。特に、電気通信における企業のプロジェクト価値を計測する際、そのリスクを計量して評価を行う。そのため、本稿では、企業のプロジェクト価値におけるリスク管理の観点から、電気通信における規制と競争のあり方について考察する。

電気通信の技術投資では、その固定費用が大規模となり、ひとたび投資を実行するとその投資費用は多くの場合回収できない。また、電気通信における技術進歩は非常に著しく、その技術進歩が様々な電気通信サービスの需要や費用の不確実性を増大させている。そのため、電気通信における技術投資におけるリスクの評価、そのリスクを軽減する管理手法が必要不可欠となっている。換言すれば、電気通信における企業経営の観点からは、それらの不確実性に起因するリスクを的確に計量してリスクを軽減すること、電気通信の規制当局の観点では、その技術進歩を阻害しない「規制と競争」政策が望まれている。

しかしながら、実務では、電気通信の技術投資プロジェクト評価では、リスクが明示的に考慮されていない。その理由は、経営工学における既存のプロジェクト評価方法を、電気通信の技術投資プロジェクトの評価に直接的に適用できないからである。具体的には、電気通信では、他の完全競争的な産業と比較して、いくつかの特異性を保有しており、その特異性が企業の技術投資プロジェクト戦略に顕著な影響を与えているからである。電気通信における特異性としては、「規制と競争」が内在する点が挙げられる。

本稿では、電気通信産業の特異性を踏まえ、電気通信における企業の技術投資プロジェクト価値をそのリスクを考慮した評価式を導出する。具体的には、電気通信の「非対称規制」および「非対称規制の撤廃(規制緩和)の可能性」を明示的に取り入れた上で、技術投資プロジェクトの評価式を導出する。そして、企業経営の観点から、その企業の技術投資プロジェクト価値に基づいた投資戦略を考察する。さらに、規制当局の観点から、産業を規制することによる社会的便益(あるいは損失)を計測し、電気通信産業の「規制と競争」のあり方について考察する。

本稿の構成は次の通りである。第2章では、「非対称規制」および「非対称規制の撤廃(規制緩和)の可能性」を明示的に取り入れた技術投資プロジェクトの評価モデルを構築する。第3章では、構築したモデルを用いて、企業の最適な投資戦略を導出し、その最適戦略の下での技術投資プロジェクト価値を計測する。第4章では、非対称規制パラメータおよびその規制緩和の不確実性パラメータを変化させることにより、企業の投資戦略、企業の投資プロジェクト価値、そして社会的厚生がどのような影響を受けるかについて考察する。そして、規制当局の観点から、「規制と競争」のあり方について考察する。第5章では本稿の内容を総括する。

## 2 モデル

本章では、電気通信における特異性である「非対称規制」および「その非対称規制の撤廃(規制緩和)の可能性」を明示的に取り入れ、電気通信サービスを提供する企業の投資プロジェクト価値を評価するモデルを構築する。

<sup>1</sup> 本稿の内容は、Shibata and Nishihara (2011)を加筆したものである。Shibata and Nishihara (2011)は、Shibata and Yamazaki (2010)モデルにおける非対称規制について、その規制の緩和の可能性を新たに取り入れたモデルである。

## 2-1 仮定

いま、電気通信市場に新しい通信技術ネットワークサービスを提供しようと考えている2つの非対称企業が存在すると仮定する。一つは既存の通信技術ネットワークサービスを提供している既存企業(I, Incumbent), もう一つは既存の通信技術ネットワークサービスを提供していない新規参入企業(E, Entrant)とする。すなわち、既存企業も新規参入企業も、新しい通信技術ネットワーク設備を保有していないと仮定する。そして簡略化のため、両企業ともリスク中立的な企業とする。

各企業が新しい通信技術ネットワークサービスを提供すると、時刻 $t$ での各企業のキャッシュフローは、 $D_j X(t)$ とする( $j \in \{1, 2\}$ )。ここで、 $D_j$ は企業の利潤率を表し、その利潤率は新しい通信技術ネットワークサービスを提供する企業数 $j$ に依存し、 $D_1 > D_2 > 0$ と仮定する。すなわち、複占市場よりも独占市場において、各企業のキャッシュフローは増大することを意味している。また、 $X_t$ は新しい通信技術ネットワークサービスの価格水準を表し、時刻 $t$ での価格は次のような確率過程に従うと仮定する。

$$dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dz_t, \quad X_0 = x > 0,$$

企業が新しい通信技術ネットワークサービス市場で提供するためには、企業は新しい通信ネットワークの設備を必要とすると仮定する。そのネットワーク設備を構築する際、既存企業(I)と新規参入企業(E)が設置に費やす費用は、 $K_I > 0, K_E > 0$ とする。そして、これらの投資費用の大小関係は次のように設定する。

### 仮定1 (企業間の非対称費用構造): $K_E > K_I > 0$

仮定1は、既存企業(I)のネットワーク設備に対する費用は、新規参入企業(E)に対するそれよりも小さいことを意味している。この仮定は実証研究に基づいており、たとえば、日本における電気通信の既存企業である日本電信電話株式会社は、新規通信ネットワーク企業よりも、ネットワーク設備に対する投資の面で費用優位を有するとされている。

既存企業と新規参入企業の両社が、新しい通信ネットワークサービスを提供する際、各企業は、相手企業のネットワークに接続する必要がある。その際、規制当局によって定められたアクセスチャージ $v_k$ を支払い( $k \in \{I, E\}$ )、相手企業のネットワークに接続できると仮定する。ここで、 $v_k$ を相手企業 $k$ に支払うアクセスチャージと表記する。

電気通信市場は、規制緩和が徐々に促進されているが、政府の規制下での競争市場である。その理由は、市場に競争原理を導入した後でさえ、既存企業が独占的な支配力をもっているからである。それゆえ、規制当局は、既存企業と新規参入企業の間非対称な規制を課している。本論文では、アクセスチャージを次のように非対称と仮定する。

### 仮定2 (企業間に対する非対称アクセスチャージ): $v_E = h \geq l = v_I > 0$

仮定2は、劣費用構造をもつ新規参入企業を優遇するために、企業間に非対称なアクセスチャージ(非対称規制)を課すことを意味している。すなわち、非対称規制とは、投資費用において優費用構造をもつ既存企業にはアクセスチャージを高く設定し、劣費用構造をもつ新規参入企業にはアクセスチャージを低く設定する規制である。非対称規制は実務において設定されている規制である。

しかしながら、企業間の非対称規制は過渡的な規制であり、新規参入企業が競争力を保有し次第、非対称

規制は撤廃される。そこで、本モデルでは、規制緩和が時刻  $T \geq 0$  で生じると仮定する。規制緩和は規制当局によって決定されるので、企業にとっては規制緩和の時刻  $T$  は不確実な確率変数で、強度  $\lambda \geq 0$  をもつ指数分布に従うと仮定する。また、確率変数  $T$  は確率過程  $X_t$  とは互いに独立であると仮定する。

## 2-2 価値関数

本節では、各企業の先発企業および後発企業となった場合の投資プロジェクト価値を導出する。導出方法は、各企業が後発企業（フォロワーあるいは追随者）となった場合における投資プロジェクト価値、各企業が先発企業（リーダーあるいは先導者）となった場合における投資プロジェクト価値、の順でバックワードに導出する。

### (1) 後発企業の価値

$x_{Fk}^*$  を後発企業として市場に参入する臨界値とする ( $k \in \{I, E\}$ )。ここで、下添字 "Fk" は企業  $k$  が後発企業 (F) となることを意味している。数学的には、 $\tau_{Fk}^* = \inf\{t \geq 0; X(t) \geq x_{Fk}^*\}$ , ( $k \in \{I, E\}$ ) となる。

後発企業の価値関数  $F_k^o$  は

$$F_k^o(x; \lambda) = \left( \frac{x}{x_{Fk}^*(\lambda)} \right)^\beta (F_k^a(x_{Fk}^*; \lambda) - K_k),$$

となる。ただし、 $\beta = 1/2 + \mu/\sigma^2 + \sqrt{(\mu/\sigma^2 - 1/2)^2 + 2r/\sigma^2} > 1$  である。また、 $F_k^o$  は

$$F_k^a(x; \lambda) = \mathbb{E}^x \left[ \int_0^{+\infty} e^{-ru} D_2 X_u ds + \int_0^T e^{-ru} (v_k - v_{k'}) du \right] = \frac{D_2}{r - \mu} x + \frac{v_k - v_{k'}}{r + \lambda},$$

$$x_{Fk}^*(\lambda) = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_2} \left( K_k - \frac{v_k - v_{k'}}{r + \lambda} \right).$$

と書き換えることができる。

### (2) 先発企業の価値

$x_{Lk}^*$  を先発（リーダー）企業として市場に参入する臨界値とする。ここで、下添字 "Lk" は企業  $k$  が先発企業 (L) となることを意味している。数学的には、 $\tau_{Lk}^* = \inf\{t \geq 0; X_t \geq x_{Lk}^*\}$ , ( $k \in \{I, E\}$ ) となる。

先発企業の価値関数  $L_k^a$  は

$$L_k^a(x; \lambda) = \frac{D_1}{r - \mu} x + \left( \frac{x}{x_{Fk'}^*(\lambda)} \right)^\beta \left( \frac{D_2 - D_1}{r - \mu} x_{Fk'}^*(\lambda) + \frac{v_k - v_{k'}}{r + \lambda} \right),$$

となる。また、 $L_k^a$  は、

$$L_k^o(x; \lambda) = \left( \frac{x}{x_{Lk}^*} \right)^\beta (L_k^a(x_{Lk}^*; \lambda) - K_k),$$

と書き換えることができる。ただし、

$$x_{Lk}^* = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_1} K_k.$$

である.

### 3 競争市場均衡

本章では各企業の最適な投資戦略を導出する. まず, 先発企業としての最適な投資タイミング問題を考える. この問題では, 各企業が先発企業となるインセンティブがあるか否かが重要な問題となる. そこで, 各企業が先発企業となるインセンティブは, 状態変数の水準に依存し, 各企業がそのインセンティブを保有する状態変数の最小水準を

$$x_{Pk}^*(\lambda) := \inf \{x \geq 0; L_k^a(x; \lambda) - K_k \geq F_k^o(x; \lambda)\},$$

と定義する<sup>2</sup>. このとき, 次の結果が得られる.

**補題 1** もし  $x_{Pk}^*$  が存在するならば,  $x_{Pk}^* < x_{Lk}^*$  が成立する.

もし水準  $x_{Pk}^*$  が存在する場合, 価格  $x$  が水準  $x_{Pk}^*$  に到達するとき, 企業  $k$  は先発企業となるインセンティブを保有することになる. それゆえ, 補題 1 は, もし水準  $x_{Pk}^*$  が存在する場合には, ライバル企業の戦略的投資行動を勘案して,  $x_{Pk}^* < x < x_{Lk}^*$  の水準で投資を実行する可能性があることを意味している. したがって, 各企業が先発企業となるインセンティブをもつ場合, 各企業はライバル企業の先発企業となるインセンティブを勘案し, 市場にどちらの企業が先発企業として参入するかが決定される. この結果を踏まえると, 次の命題が得られる.

#### 命題 1

- (i) もし  $x_{PI}^*, x_{PE}^*$  が存在して  $x_{PE}^* < x_{PI}^*$  が成立するならば, 価格  $X_t$  が  $x_{PI}^* (> x_{PE}^*)$  に到達するとき, 新規参入企業(E)が先発企業として市場に参入する. そして, 価格  $X_t$  が  $x_{PI}^*$  に到達するとき, 既存企業(I)が後発企業として市場に参入する.
- (ii) もし  $x_{PI}^*, x_{PE}^*$  が存在かつ  $x_{PI}^* < x_{PE}^* < x_{LI}^*$  が成立するならば, 既存企業(I)が  $x_{PE}^* (> x_{PI}^*)$  で先発企業として市場に参入し, 新規参入企業(E)が  $x_{PE}^*$  で後発企業として市場に参入する.
- (iii) 上記以外の場合, 既存企業(I)が  $x_{LI}^*$  で先発企業として市場に参入し, 新規参入企業(E)が  $x_{PE}^*$  で後発企業として市場に参入する.

命題 1 においては, 劣費用構造をもつ新規参入企業(E)が, 優遇された非対称規制により, 優費用構造をもつ既存企業(I)よりも早期に投資を実行する可能性があることを示している. この結果は, 日本の電気通信における実証結果と合致している. 数値例として, 電気通信におけるパラメータを次のように仮定する. 具体的には,  $D_1 = 7$ ,

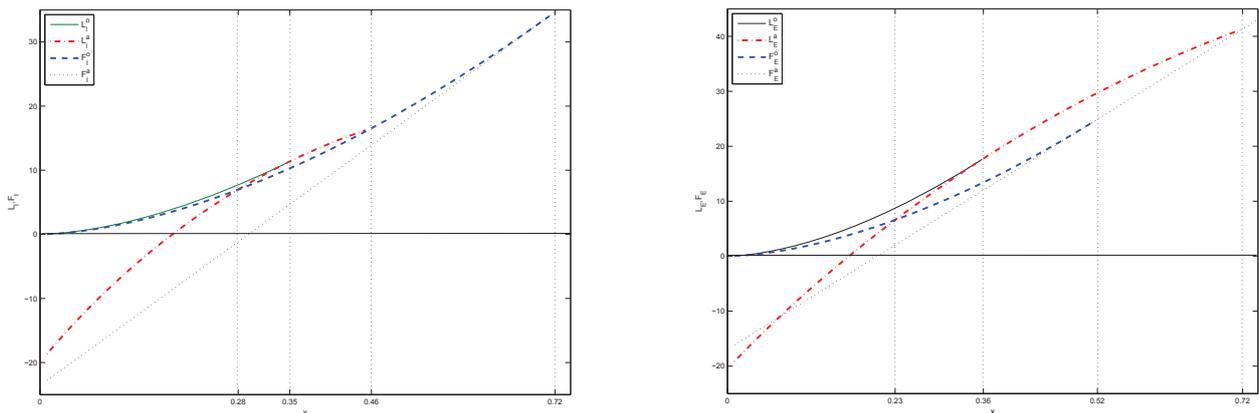
<sup>2</sup> 投資タイミングは  $\tau_{Pk}^* = \inf\{t \geq 0; X_t \geq x_{Pk}^*\}, (k \in \{I, E\})$  と定義される.

$D_2 = 4$ ,  $\sigma = 20\%$ ,  $r = 9\%$ ,  $\mu = 4\%$ ,  $I_1 = 20$ ,  $I_E = 20.5$ ,  $l = 2$ ,  $h = 2.5$ ,  $\lambda = 0.05$ とする. このパラメータの下, 数値計算により得られる結果は, 図表 1 の通りである.

|            | $x_{Pk}^*$ | $x_{Lk}^*$ | $x_{Fk}^*$ |
|------------|------------|------------|------------|
| 既存企業 (I)   | 0.2802     | 0.3531     | 0.7283     |
| 新規参入企業 (E) | 0.2371     | 0.3619     | 0.5230     |

図表 1 各企業の市場参入の臨界値

縦軸に各企業の投資プロジェクト価値, 横軸に価格(状態変数)に軸をとれば, 図表 2 のように描写される. 図表 1 と図表 2 は, 劣費用構造をもつ新規参入企業(E)が, 優費用構造をもつ既存企業(I)よりも, 非対称規制の優遇策において, 早期に投資を実行することを意味している. すなわち,  $x = 0.1$  からスタートする価格  $X_t$  が臨界値  $x_{PI}^* = 0.2802$  に到達するとき, 新規参入企業(E)が先発企業として市場に参入する. ここで, 臨界値は  $x_{PE}^*$  とならない点に注意されたい. その理由は下記の通りである. 新規参入企業は  $X_t \geq x_{PE}^* = 0.2371$  ならば先発企業として市場に参入するインセンティブをもち, かつ  $x_{LE}^* = 0.3619$  にできる限り近い水準にて参入を選好する(最適な参入臨界値は  $x_{LE}^* = 0.3619$ ), 既存企業は  $X_t \geq x_{PI}^* = 0.2802$  となると先発企業として市場に参入するインセンティブをもち(最適な参入臨界値は  $x_{LI}^* = 0.3531$ ). そのため, 新規参入企業(E)の戦略が既存企業(I)の戦略を支配することになる. それゆえ, 新規参入企業は既存企業の投資戦略を考慮して, 新規参入企業が  $x_{PI}^* = 0.2802$  となる直前に市場に参入する. なぜならば,  $x_{PI}^* = 0.2802$  よりも大きい水準では既存企業が市場に参入するインセンティブを持つからである. その結果, 新規参入企業が先発企業となるので, もし価格  $X_t$  が十分に増大し,  $x_{FI}^* = 0.7283$  に到達するならば, 既存企業は後発企業として市場に参入することになる.



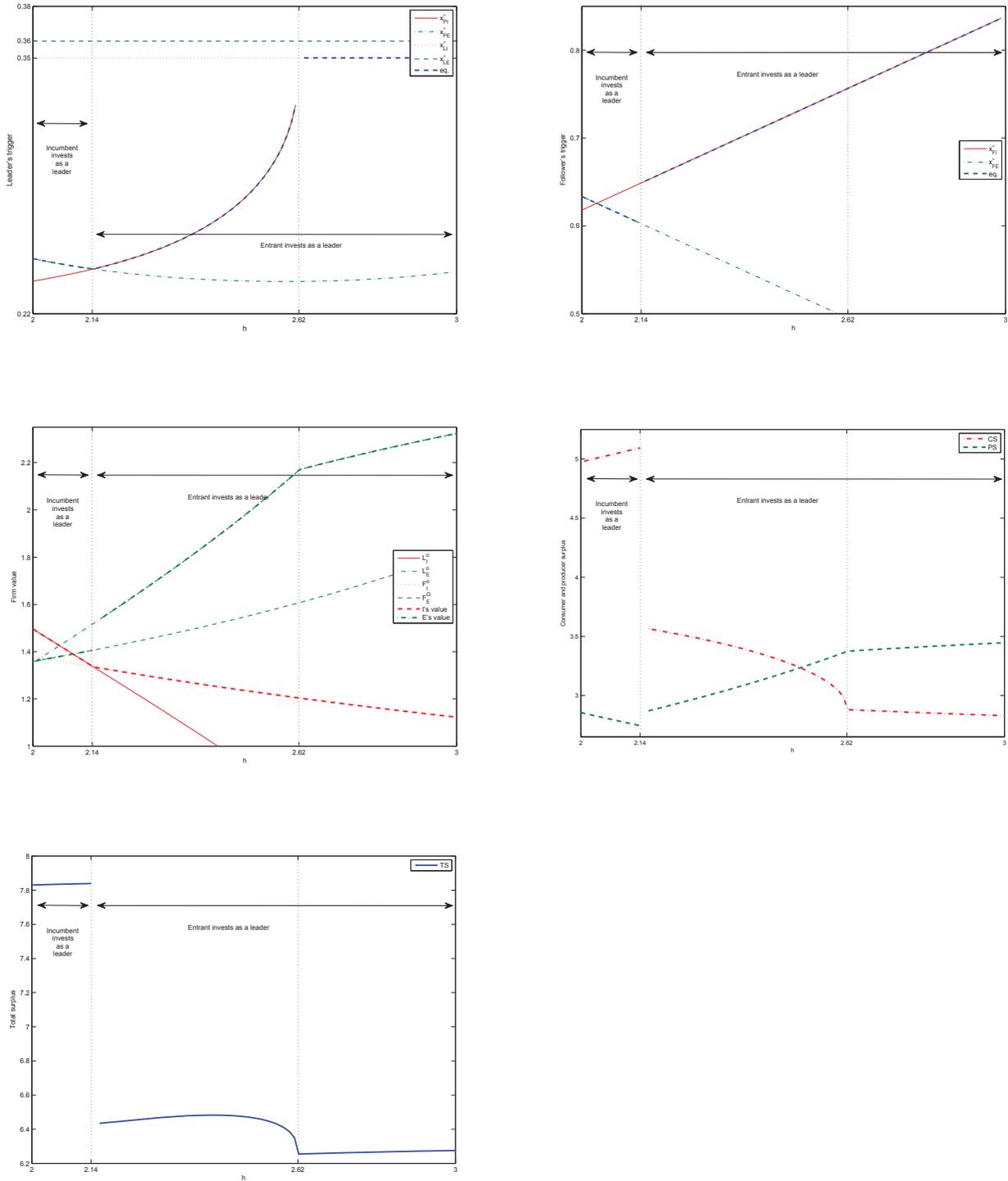
図表 2 企業の価値関数と市場参入の臨界値

## 4 経済学的含意

本章では、非対称規制および規制緩和の不確実性が、各企業の投資戦略、各企業のプロジェクト価値、社会厚生(消費者余剰と生産者余剰)にどのような影響を与えるかについて考察する。

### 4-1 非対称規制の効果

本節では、パラメータ  $l = 2$  を固定かつパラメータ  $h \in [2, 3]$  を変化させ、非対称規制の効果について考察する。



図表 3 非対称規制と投資戦略・投資プロジェクト価値・社会的余剰

図表 3 の左上図と右上図では、パラメータ  $h \in [2,3]$  に対する、先発企業および後発企業として市場に参入する場合における各企業の投資臨界値を描写している。数値結果では、 $x_{PE}^*$  はすべての  $h \in [2,3]$  において存在するが、 $x_{PI}^*$  は  $h < 2.62$  においてのみ存在する。結果として、パラメータ  $h \in (2.14, 3.0]$  では新規参入企業(E)が先発企業として市場に参入し、それ以外のパラメータでは既存企業(I)が先発企業として市場に参入する。左上図と右上図における重要な結果として、次の 2 点を挙げる事ができる。第 1 に、 $h \in (2.14, 3.0)$  では、劣費用構造をもつ新規参入企業が、非対称規制の恩恵により、先発企業として新しい通信ネットワークサービスの提供を開始する。第 2 に、 $h \in [2.0, 2.14)$  では、アクセスチャージ  $h$  が大きくなればなるほど、先発企業の投資臨界値が減少する。また、 $h \in (2.14, 2.62)$  では、アクセスチャージ  $h$  が大きくなればなるほど、先発企業の投資臨界値が増大する。

図表 3 の左中図は、各企業の価値関数を描写している。第 1 に、既存企業の投資プロジェクト価値は  $h$  に関して減少関数、新規参入企業の投資プロジェクト価値は  $h$  において増加関数となる。第 2 に、 $h = 2.14$  では、両企業の投資プロジェクト価値が同一となる。この理由は、 $h = 2.14$  では投資の臨界値が同一となるからである。アクセスチャージが  $h = 2.14$  の場合、両企業の競争環境は、対等(完全な対称状態)となることを意味している。

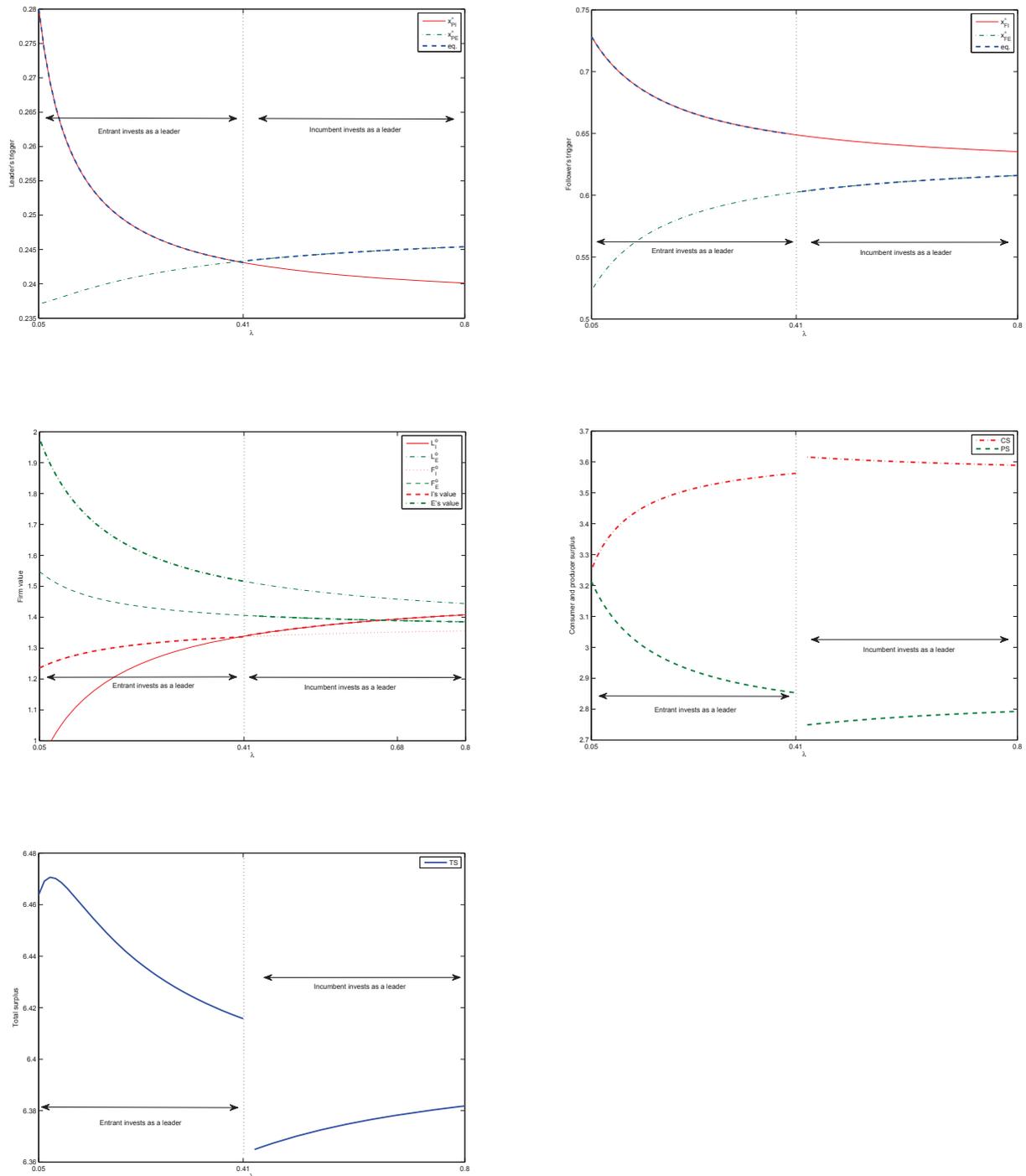
図表 3 の右中図は、消費者余剰および生産者余剰を描写している。詳細は Shibata and Nishihara(2011)を参照されたい。消費者余剰は、 $h < 2.14$  において  $h$  に関して増加関数となり、 $h > 2.14$  において  $h$  に関して減少関数となる。他方、生産者余剰は、 $h < 2.14$  において  $h$  に関して減少関数となり、 $h > 2.14$  において  $h$  に関して増加関数となる。これらの結果は、消費者余剰は  $h = 2.14$  で最大となり、生産者余剰は  $h = 2.14$  において最小となることを意味している。すなわち、両企業の競争環境が完全対称となる場合、消費者余剰は最大となり、生産者余剰は最小となる。これらの結果は、ミクロ経済学における基礎理論と整合的な結果である。図表 3 の左下図は、総余剰(消費者余剰と生産者余剰の合計)を描写している。そこでは、市場環境が最も競争的となる  $h = 2.14$  において、総余剰が最大化されることを示唆している。

### 3-2 規制緩和の不確実性についての影響

本節では、非対称規制撤廃(規制緩和)が生起する強度パラメータ  $\lambda$  が、各企業の投資戦略にどのような影響を与えるのかについて考察する。図表 4 は、パラメータ  $\lambda \in [0.05, 0.8]$  における影響を描写している。

図表 2 の左上図と右上図では、各企業の先発企業および後発企業それぞれに対する各企業の投資臨界値を描写している。数値結果では、パラメータ  $\lambda \in [0.05, 0.41)$  では新規参入企業(E)が先発企業として市場に参入し、それ以外のパラメータでは既存企業(I)が先発企業として市場に参入する。左上図と右上図における重要な結果として、次の 3 点を挙げる事ができる。第 1 に、 $\lambda \in [0.05, 0.41)$  では、費用構造において劣位となる新規参入企業が、非対称規制の恩恵により、先発企業として新しいネットワークサービスの提供を開始する。第 2 に、 $\lambda \in [0.05, 0.41)$  では、パラメータ  $\lambda$  が大きくなればなるほど、先発企業の投資臨界値が減少する。すなわち、すなわち、パラメータ  $\lambda$  が大き

くなればなるほど、新規参入企業の投資が早期実行される。第3に、パラメータ $\lambda$ が大きくなりすぎると、新規参入企業は非対称規制の恩恵を享受できなくなる。つまり、パラメータ $\lambda$ が十分に大きくなると( $\lambda > 0.41$ )、非対称規制の撤廃が生じやすいため、新規参入企業は非対称規制の恩恵を十分に享受できず、既存企業が先発企業として市場に参入することになる。



図表 4 規制緩和の不確実性と投資戦略・投資プロジェクト価値・社会的余剰

図表 4 の左中図は、各企業の価値関数を描写している。重要な結果として、次の 2 点を挙げることできる。第1に、既存企業の投資プロジェクト価値は  $\lambda$  に関して増加関数、新規参入企業の投資プロジェクト価値は  $\lambda$  に関して減少関数となる。図表 4 の右中図は、消費者余剰および生産者余剰を描写している。消費者余剰は、 $\lambda < 0.41$  において  $\lambda$  に関して増加関数となり、 $\lambda > 0.41$  において  $\lambda$  に関して減少関数となる。他方、生産者余剰は、 $\lambda < 0.41$  において  $\lambda$  に関して減少関数となり、 $\lambda > 0.41$  において  $\lambda$  に関して増加関数となる。これらの結果、両企業の競争環境が完全対称となる  $\lambda = 0.41$  において、消費者余剰が最大となり、生産者余剰は最小となる。さらに、図表 3 の左下図は、社会的総余剰（消費者余剰と生産者余剰の合計）を描写している。

## 5 おわりに

本稿では、電気通信における「非対称規制」および「非対称規制の撤廃（規制緩和）の可能性」を明示的に考慮し、企業の投資プロジェクト価値の評価式を導出した。そして、この評価式を用いて、企業の最適な投資戦略を導出し、各企業の投資プロジェクト価値および消費者余剰と生産者余剰（すなわち総余剰）を計量した。本稿から示唆される最も重要な命題とは、もし電気通信における企業間の競争環境を対等に規制当局が設定できるならば、投資が早期に実現（投資が増大）され、消費者余剰は最大化かつ生産者余剰は最小化されることを示した点にある。それゆえ、企業間の競争環境が対等となるように「規制と競争」の融合政策を実行することが、規制当局に求められている。

最後に、本研究では、構築したモデルにおけるパラメータを実務データからカリブレーションする研究までには至っていない。その理由は、データ制約の問題に直面しているためである。今後の研究では、構築したモデルのパラメータをカリブレーションするなどの実証研究を進めていく予定である。

## 【参考文献】

- Shibata, T. and Yamazaki, H., 2010. Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications. *European Journal of Operational Research*, 207, 1689-1071.
- Shibata, T. and Nishihara, M., 2011. Strategic investment under uncertainty in deregulation of asymmetric access charges in telecommunications. *Research paper series*, No.89.

## 〈発表資料〉

| 題名  | 掲載誌・学会名等   | 発表年月     |
|---|--|----------|
| Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications               | 首都大学東京 大学院<br>社会科学部研究科経営学専攻<br>Research paper series, No.67          | 2009年10月 |
| Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications               | 24th European Conference of Operational Research, Lisbon in Portugal | 2010年7月  |
| Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications               | European Journal of Operational Research, No.207, 1689--1701         | 2010年12月 |
| Strategic investment under uncertainty in deregulation of asymmetric access charges in telecommunications | 首都大学東京 大学院<br>社会科学部研究科経営学専攻<br>Research paper series, No.89          | 2011年5月  |