

# 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

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、経営工学における工学的手法を用いて、電気通信の技術投資プロジェクトのリスクを評価かつ計量し、そのリスク管理の観点から、電気通信における競争と規制のあり方について考察する。特に、本稿では、政府規制下で企業が複数存在する電気通信の特異な「規制と競争」という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>。

電気通信の技術投資プロジェクトは、固定費用が大規模となり、その固定費用は回収できない埋没費用なので、電気通信における技術投資プロジェクト評価では、リスクを勘案することが非常に重要である。また、電気通信における技術は、進歩が著しく、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、電気通信における技術投資リスクの評価、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では、それらの不確実性に起因するリスクを計量かつそのリスクを軽減することが必要不可欠であり、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」の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のリスクは十分に評価かつ計量されていない。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、電気通信産業では、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、こうした点を踏まえ、経営工学における技術評価モデルに、電気通信産業の特異性を導入し、電気通信における企業の技術投資プロジェクトのリスクを評価かつ計量する。具体的には、電気通信の「規制と競争」を考慮に入れた上で、企業の技術投資プロジェクトの投資戦略、そして技術投資プロジェクト価値の評価式を導出する。そして、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、「規制と競争」が内在した技術投資プロジェクト評価モデルを設定し、企業の各戦略に対する技術投資プロジェクト価値関数を導出する。第3章では、「規制と競争」の下における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、主要なパラメータ変化に対する、(1)投資戦略、(2)投資プロジェクト価値、(3)社会的構成への影響について考察し、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「規制と競争」が内在するモデルを構築し、企業の各戦略に関する投資プロジェクト価値関数を導出する。最後に、各企業の各戦略と各プロジェクト価値との関係について考察する。

### 2-1 仮定

いま、電気通信市場に新しい通信ネットワークのサービス提供を模索している2つの非対称企業が存在す

---

<sup>1</sup> 本稿の内容は、Shibata and Yamazaki, "Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications" forthcoming in European Journal of Operational Researchに基づいている。

ると仮定する．一つは古い通信ネットワーク設備を保有している既存企業，もう一つは古い通信ネットワーク設備を保有していない新規参入企業とする．すなわち，既存企業も新規参入企業も，新しい通信ネットワーク設備は今のところ保有していないと仮定している．そして簡略化のため，既存企業を企業 A，新規参入企業を企業 B と表記し，両企業ともリスク中立的な企業とする．

新しい通信ネットワークのサービス提供に対する各企業の時刻  $t$  で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，新通信ネットワークサービスを提供する市場での企業数  $j$  により各企業の利潤率が異なり， $D_1 > D_2 > 0$  と仮定する．すなわち，企業が市場を独占する方が，その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， $X(t)$  はネットワークサービスの提供に対する価格水準を表し，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．

$$dX(t) = \mu X(t)dt + \sigma X(t)dz(t), \quad t \geq 0, \quad (1)$$

ただし  $\mu > 0, \sigma > 0, z(t)$  は標準ブラウン運動とする．

新通信ネットワークサービスを市場で提供するためには，企業は2つのネットワーク設備が必要であり，一つは長距離ネットワーク設備，もう一つは地方(固定回線)ネットワーク設備とする．長距離ネットワーク設備 (S) と地方ネットワーク設備 (N) を構築する際に生じる費用は，それぞれ  $I_i^S > 0, I_i^N > 0$  とする ( $i \in \{A, B\}$ )．それぞれの投資費用の大小関係に関する仮定は次のように設定する．

#### 仮定 1 (企業間の非対称費用構造)

$$(i) \quad I^S = I_A^S = I_B^S > 0.$$

$$(ii) \quad I_B^N > I_A^N > 0.$$

仮定 1 の条件 (i) は，既存企業 (A) の長距離ネットワーク設備に対する費用は，新規参入企業 (B) に対するそれと同一であることを意味している．他方，条件 (ii) は，既存企業 (A) の地方ネットワーク設備に対する投資費用は，新規参入企業 (B) に対するそれよりも小さいことを意味している．これらの仮定は実証研究に基づいており，たとえば，日本の電気通信産業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，地方ネットワーク設備に対する投資の面で費用優位を保有していると言われている．

新通信ネットワークサービスを提供するためには，市場に一番目に参入する企業(以下では先発企業)は長距離と地方の2つのネットワーク設備を保有しなければならないが，市場に二番目に参入する企業(以下では後発企業)は，両長距離ネットワーク設備のみ保有でも市場に参入できると仮定する．すなわち，後発企業は，先発企業に規制当局によって定められたアクセスチャージ  $\nu_i$  を支払い ( $i \in \{A, B\}$ )，先発企業の保有する地方ネットワーク設備を使用できると仮定する．ここで， $\nu_i$  を企業  $i$  に支払うアクセスチャージと表記する．

電気通信市場は，近年において規制緩和が急速に促進されているが，未だ規制の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非対称とし，次のように仮定する．

#### 仮定 2 (企業間に対する非対称アクセスチャージ)

$$\nu_B > \nu_A > c > 0.$$

仮定2は、既存企業が費用優位性を保有するという意味での非対称な企業が存在する市場構造において、新規参入企業を優遇することを目的とし、企業間に非対称な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位な既存企業にはアクセスチャージを高く設定し、劣位な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。

## 2-2 価値関数

本節では、企業の投資プロジェクト価値を導出する。導出方法は、後発企業の投資プロジェクト価値関数、先発企業の投資プロジェクト価値関数、の順でバックワードに導出する。また、後発企業が市場参入する場合には、長距離ネットワークのみを設置して参入する戦略、長距離と地方の両ネットワークを設置して参入する戦略の2つがある。それぞれの場合における投資プロジェクト価値関数を導出する。

### (1) 後発企業が同時投資戦略を用いる場合の後発企業の価値

定義として、 $x_{Fi}^S, x_{Fi}^N$ を、それぞれ長距離と地方ネットワーク設備を設置する(投資)臨界値とする。ここで、下添字“ $Fi$ ”は企業 $i$ が後発企業(F)として行動することを意味し、上添字“ $S$ ”と“ $N$ ”は、長距離および地方ネットワーク投資を意味している。数学的には、 $\tau_{Fi}^j = \inf\{t \geq 0; X(t) \geq x_{Fi}^j\}, (i \in \{A, B\}; j \in \{S, N\})$ となる。

後発企業の価値関数 $F_i^Q$ は

$$F_i^Q(x) = \sup_{\tau_{Fi}^S, \tau_{Fi}^N} \mathbb{E} \left[ \int_{\tau_{Fi}^S}^{\tau_{Fi}^N} e^{-ru} (D_2 - \nu_{i'}) X(u) du + \int_{\tau_{Fi}^N}^{+\infty} e^{-ru} D_2 X(u) du - e^{-r\tau_{Fi}^S} I^S - e^{-r\tau_{Fi}^N} I_i^N \mid X(0) = x \right], \quad (2)$$

となる。ただし $\mathbb{E}[X(0) = x]$ は $X(0) = x$ の下での条件付き期待値、“ $Q$ ”は後発企業が逐次投資戦略を採用することを意味する。(2)式は、変形すれば、

$$F_i^Q(x; x_{Fi}^S, x_{Fi}^N) = \sup_{x_{Fi}^S, x_{Fi}^N} \left( \frac{x}{x_{Fi}^S} \right)^\beta \left\{ \frac{D_2 - \nu_{i'}}{r - \mu} x_{Fi}^S - I^S \right\} + \left( \frac{x}{x_{Fi}^N} \right)^\beta \left\{ \frac{\nu_{i'}}{r - \mu} x_{Fi}^N - I_i^N \right\}, \quad (3)$$

ただし

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left( \frac{\mu}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} > 1. \quad (4)$$

となる。このとき、後発企業の長距離および地方ネットワーク投資に対する臨界値は、

$$x_{Fi}^{S*} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_2 - \nu_{i'}} I^S, \quad (5)$$

$$x_{Fi}^{N*} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{\nu_{i'}} I_i^N, \quad (6)$$

となる<sup>2</sup>。(3)式は

<sup>2</sup>明らかに $x_{FA}^{S*} > x_{FB}^{S*}$ ,  $x_{FA}^{N*} < x_{FB}^{N*}$ が得られる。

$$F_i^Q(x; x_{Fi}^{S*}, x_{Fi}^{N*}) = \begin{cases} \left(\frac{x}{x_{Fi}^{S*}}\right)^\beta \left\{ \frac{D_2 - \nu_{i'}}{r - \mu} x_{Fi}^{S*} - I^S \right\} + \left(\frac{x}{x_{Fi}^{N*}}\right)^\beta \left\{ \frac{\nu_{i'}}{r - \mu} x_{Fi}^{N*} - I_i^N \right\}, & x < x_{Fi}^{S*}, \\ \frac{D_2 - \nu_{i'}}{r - \mu} x - I^S + \left(\frac{x}{x_{Fi}^{N*}}\right)^\beta \left\{ \frac{\nu_{i'}}{r - \mu} x_{Fi}^{N*} - I_i^N \right\}, & x_{Fi}^{S*} \leq x < x_{Fi}^{N*}, \\ \frac{D_2}{r - \mu} x - I^S - I_i^N, & x_{Fi}^{N*} \leq x. \end{cases}$$

と書くことができる.

## (2) 後発企業が同時投資戦略を用いる場合の先発企業の価値

定義として,  $x_{Li}^Q$ , を, 先発企業の投資臨界値とする. ここで, 下添字 "Li" は企業  $i$  が先発企業として市場に参入することを意味している. 数学的には,  $\tau_{Li}^Q = \inf\{t \geq 0; X(t) \geq x_{Li}^Q\}$ , ( $i \in \{A, B\}$ ) となる.

先発企業の価値関数  $L_i^Q$  は

$$L_i^Q(x) = \sup_{\tau_{Li}^Q} \mathbb{E} \left[ \int_{\tau_{Li}^Q}^{\tau_{Fi'}^{S*}} e^{-ru} D_1 X(u) du + \int_{\tau_{Fi'}^{S*}}^{\tau_{Fi'}^{N*}} e^{-ru} (D_2 + \nu_i - c) X(u) du + \int_{\tau_{Fi'}^{N*}}^{+\infty} e^{-ru} D_2 X(u) du - e^{-r\tau_{Li}^Q} (I^S + I_i^N) | X(t) = x \right], \quad (7)$$

となる. (3) 式の導出と同様にして, (7) 式は,

$$L_i^Q(x; x_{Li}^Q) = \sup_{x_{Li}^Q} \left(\frac{x}{x_{Li}^Q}\right)^\beta \left\{ \frac{D_1}{r - \mu} x_{Li}^Q - I^S - I_i^N \right\} + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{S*}}\right)^\beta \left\{ \frac{D_2 - D_1 + \nu_i - c}{r - \mu} x_{Fi'}^{S*} \right\} + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{N*}}\right)^\beta \frac{c - \nu_i}{r - \mu} x_{Fi'}^{N*}, \quad (8)$$

となる. このとき, 先発企業の投資臨界値は,

$$x_{Li}^{Q*} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_1} (I^S + I_i^N), \quad (9)$$

となる. (8) 式は

$$L_i^Q(x; x_{Li}^{Q*}) = \begin{cases} \left(\frac{x}{x_{Li}^{Q*}}\right)^\beta \left\{ \frac{D_1}{r - \mu} x_{Li}^{Q*} - I^S - I_i^N \right\} + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{S*}}\right)^\beta \left\{ \frac{D_2 - D_1 + \nu_i - c}{r - \mu} x_{Fi'}^{S*} \right\} + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{N*}}\right)^\beta \frac{c - \nu_i}{r - \mu} x_{Fi'}^{N*}, & x < x_{Li}^{Q*}, \\ \frac{D_1}{r - \mu} x - I^S - I_i^N + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{S*}}\right)^\beta \frac{D_2 - D_1 + \nu_i - c}{r - \mu} x_{Fi'}^{S*} + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{N*}}\right)^\beta \frac{c - \nu_i}{r - \mu} x_{Fi'}^{N*}, & x_{Li}^{Q*} \leq x < x_{Fi'}^{S*}, \\ \frac{D_2 + \nu_i - c}{r - \mu} x - I^S - I_i^N + \left(\frac{x}{x_{Fi'}^{N*}}\right)^\beta \frac{c - \nu_i}{r - \mu} x_{Fi'}^{N*}, & x_{Fi'}^{S*} \leq x < x_{Fi'}^{N*}, \\ \frac{D_2}{r - \mu} x - I^S - I_i^N, & x_{Fi'}^{N*} \leq x. \end{cases}$$

for all  $i$  ( $i, i' \in \{A, B\}$ ,  $i \neq i'$ ).

と書き換えることができる。

### (3) 後発企業が同時投資戦略を用いる場合の後発企業の価値

定義として、 $x_{Fi}^M$  を、企業  $i$  が後発企業として同時投資戦略を用いる場合の投資の臨界値とする。ここで、上添字 “M” は同時投資を表記している。数学的には、 $\tau_{Fi}^M = \inf\{t \geq 0; X(t) \geq x_{Fi}^M\}, (i \in \{A, B\})$  となる。

後発企業の価値関数  $F_i^M$  は、

$$F_i^M(x) = \sup_{\tau_{Fi}^M} \mathbb{E} \left[ \int_{\tau_{Fi}^M}^{+\infty} e^{-ru} D_2 X(u) du - e^{-r\tau_{Fi}^M} (I^S + I_i^N) | X(t) = x \right].$$

となり、書き換えると、

$$F_i^M(x; x_{Fi}^{M*}) = \left( \frac{x}{x_{Fi}^{M*}} \right)^\beta \left\{ \frac{D_2}{r - \mu} x_{Fi}^{M*} - I^S - I_i^N \right\}, \quad (10)$$

となる。なお、同時投資の臨界値は、

$$x_{Fi}^{M*} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_2} (I^S + I_i^N). \quad (11)$$

となる。

### (4) 後発企業が同時投資戦略を用いる場合の先発企業の投資戦略

先発企業の価値関数  $L_i^M$  は、

$$L_i^M(x) = \sup_{\tau_{Li}^M} \mathbb{E} \left[ \int_{\tau_{Li}^M}^{\tau_{Fi}^M} e^{-ru} D_1 X(u) du + \int_{\tau_{Fi}^M}^{+\infty} e^{-ru} D_2 X(u) du - e^{-r\tau_{Li}^M} (I^S + I_i^N) | X(t) = x \right].$$

となり、

$$L_i^M(x; x_{Li}^{M*}) = \left( \frac{x}{x_{Li}^{M*}} \right)^\beta \left\{ \frac{D_2}{r - \mu} x_{Li}^{M*} - I^S - I_i^N \right\} + \left( \frac{x}{x_{Fi}^{M*}} \right)^\beta \left( \frac{D_2 - D_1}{r - \mu} x_{Fi}^{M*} \right), \quad (12)$$

と書き換えることができる。なお、投資臨界値は、

$$x_{Li}^{M*} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{r - \mu}{D_1} (I^S + I_i^N), \quad i \in \{A, B\}. \quad (13)$$

と導出できる。

### 2-3 後発企業の投資臨界値と価値関数との関係

本節では、後発企業における臨界値と価値関数との間における著しい関係について考察する。後発企業における投資臨界値と価値関数との間には次のような関係が存在する。

#### 補題 1

もし  $x_{Fi}^S \leq x_{Fi}^N$  ならば、 $x_{Fi}^{S*} \leq x_{Fi}^{M*} \leq x_{Fi}^{N*}$  かつ  $F_i^Q(x) \geq F_i^M(x)$  となる。他方、 $x_{Fi}^S \geq x_{Fi}^N$  ならば

$x_{Fi}^{S*} \geq x_{Fi}^{M*} \geq x_{Fi}^{N*}$  かつ  $F_i^Q(x) \leq F_i^M(x)$  となる。

補題1により,  $x_{Fi}^S \leq x_{Fi}^N$  が成立するならば, 後発企業としての企業  $i$  の最適投資戦略は逐次投資になることを意味している.

### 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し, その下での投資プロジェクト価値関数を導出する. 本モデルにおいては, (1)各企業が後発企業として市場参入する場合には逐次あるいは同時投資のいずれを選択するか, (2)(1)の条件の下で先発企業の最適の最適戦略, (3)(2)の条件の下で後発企業の最適戦略, の順でバックワード・フォワードにより競争市場均衡が導出される.

第 1 に, 各企業が後発企業として市場参入する場合に, 逐次あるいは同時投資のいずれかを選択するかという問題を考える. この問題は,  $\max\{F_i^Q(x), F_i^M(x)\}$  であり, 補題 1 より

$$\max\{x_{Fi}^{S*}, x_{Fi}^{N*}\}, \quad (14)$$

となる.

第 2 に, 各企業が先発企業としての最適な投資タイミング問題を考える. この最適問題では, 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

$$x_{Pi}^{Q*} := \inf\{x > 0 : L_i^Q(x) \geq F_i^Q(x) = \max\{F_i^Q(x), F_i^M(x)\}\}, \quad (15)$$

$$x_{Pi}^{M*} := \inf\{x > 0 : L_i^M(x) \geq F_i^M(x) = \max\{F_i^Q(x), F_i^M(x)\}\}, \quad (16)$$

と定義する. このとき, 次の結果が得られる.

#### 補題 2

もし  $x_{Pi}^{k*}$  が存在するならば, 次の式が成立する.

$$x_{Pi}^{k*} < x_{Li}^*. \quad (17)$$

for all  $i$  and  $k$  ( $i \in \{A, B\}; k \in \{Q, M\}$ ).

もし水準  $x_{Pi}^{k*}$  が存在する場合, 状態変数  $x$  が水準  $x_{Pi}^{k*}$  に到達するとき, 企業  $i$  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 2 は, もし水準  $x_{Pi}^{k*}$  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,  $x_{Pi}^{k*} < x < x_{Li}^*$  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.

第 3 に, 先発企業が市場に参入した場合, その状況の下で, 後発企業は後発企業としての最適な投資戦略を採用することになる. この均衡は, 通常の独占市場における企業の最適投資戦略問題になる. 以上の 3 段階によって, 市場における均衡が決定されることになる.

以下の本稿では, 各企業が後発企業となった場合には, 各企業が後発企業として逐次投資を選択する場合のみにおける均衡を考察しよう<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> 本稿では他の場合については割愛する. 詳細は Shibata and Yamazaki (2009) を参照されたい.

各企業は逐次投資を選択する場合には、 $x_{Fi}^S \leq x_{Fi}^N$  が成立しており、書き換えると、

$$\frac{D_2 - \nu_B}{\nu_B} > \frac{I^S}{I_A^N}. \quad (19)$$

となる。このとき、どちらの企業が先発企業となり、どちらの企業が後発企業となるかはパラメータに依存することとなる。市場における各企業の均衡戦略は命題として次のようにまとめることができる。

#### 命題 1

(19)式が成立すると仮定する。このとき、

- (i) もし  $x_{PA}^{Q*}, x_{PB}^{Q*}$  が存在かつ  $x_{PB}^{Q*} < x_{PA}^{Q*}$  が成立するならば、状態変数  $X(t)$  が  $x_{PA}^{Q*} (> x_{PB}^{Q*})$  に到達するとき、新規参入企業(B)が投資を実行する。そして、状態変数  $X(t)$  が  $x_{FA}^{S*}, x_{FA}^{N*}, (> x_{PA}^{Q*})$  に到達するとき、既存企業(A)がそれぞれ長距離と地方ネットワーク投資を実行する。
- (ii) もし  $x_{PA}^{Q*}, x_{PB}^{Q*}$  が存在かつ  $x_{PA}^{Q*} < x_{PB}^{Q*} < x_{LA}^*$  が成立するならば、既存企業(A)が  $x_{PB}^{Q*} (> x_{PA}^{Q*})$  で投資を実行し、新規参入企業(B)が  $x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}, (> x_{PB}^{Q*})$  でそれぞれ長距離と地方ネットワーク投資を実行する。
- (iii) 上記の 2 つ以外の場合、既存企業(A)が既存企業(A)が  $x_{LA}^*$  で投資を実行し、新規参入企業(B)が  $x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}, (> x_{PB}^{Q*})$  でそれぞれ長距離と地方ネットワーク投資を実行する。

命題 1において、費用構造において劣位な新規参入企業(B)が、既存企業(A)よりも優遇された非対称規制により、既存企業よりも早期に投資を実行することになる。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、次のパラメータを仮定しよう。基本パラメータは、 $D_1 = 8$ 、 $D_2 = 4$ 、 $\sigma = 20\%$ 、 $r = 9\%$ 、 $\mu = 4\%$ 、 $I^S = 10$ 、 $I_1^N = 20$ 、 $I_2^N = 21$ 、 $\nu_A = 2$ 、 $\nu_B = 2.5$ 、 $c = 1.5$ とする。このパラメータの下では、(19)式が成立している。数値計算により得られる結果は、表 1 の通りである。

表 1 技術の投資臨界値

	$x_{Pi}^{Q*}$	$x_{Li}^{Q*}$	$x_{Fi}^{S*}$	$x_{Fi}^{N*}$	$x_{Fi}^{M*}$
Incumbent (Firm A)	0.3754	0.4635	0.8239	0.9887	0.9269
Entrant (Firm B)	0.3341	0.4789	0.6179	1.2977	0.9578

また、縦軸に各企業の価値関数、横軸に状態変数として描写すれば、図 1 のようになる。これらのパラメータの下での市場均衡は次のようになる。まず、状態変数  $X(t)$  が  $x_{PA}^{Q*}$  に到達するときに、新規参入企業(B)が先発企業として市場に参入する。ここでは、臨界値は  $x_{PB}^{Q*}$  ではない点に注意されたい。次に、状態変数  $X(t)$  が  $x_{FA}^{S*}$  に到達するときに、既存企業(A)が後発企業として市場に参入する。既存企業の市場参入方法は、長距離ネットワーク設備のみを投資する戦略となる。このとき、既存企業は地方ネットワーク設備は保有せず、アクセスチャージを支払うことによって、新規参入企業の設置した地方ネットワーク設備を利用することになる。そして、状態変数  $X(t)$  が  $x_{FA}^{N*}$  に到達するときに、既存企業(A)は地方ネットワーク設備を設置することになる。

図1 技術投資プロジェクト価値

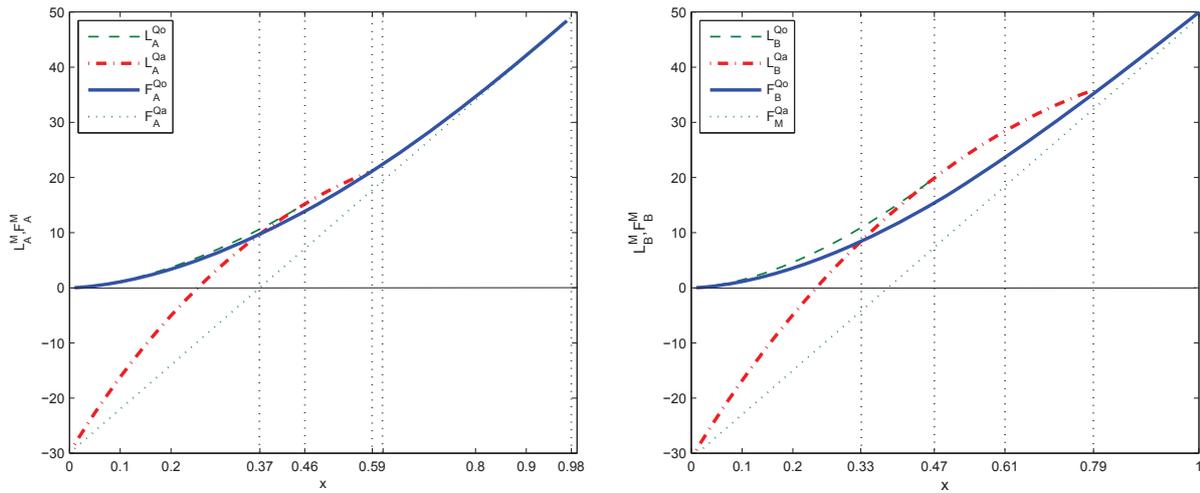


図1において最も興味深い結果とは、 $x_{PA}^{Q*} = 0.3754 > x_{PB}^{Q*} = 0.3341$ となり、新規参入企業(B)が既存企業(A)よりも早期に投資を実行する点である。すなわち、費用構造において劣位な新規参入企業は、既存企業よりも優遇された非対称規制により、既存企業よりも早期に投資を実行することになる。

#### 4 経済学的含意

本章では、モデルの経済学的含意を説明するため、非対称規制が、(1)各企業の投資戦略、(2)各企業の投資プロジェクト価値、(3)社会的厚生(消費者余剰と生産者余剰)にどのような影響を与えるのかについて考察する。

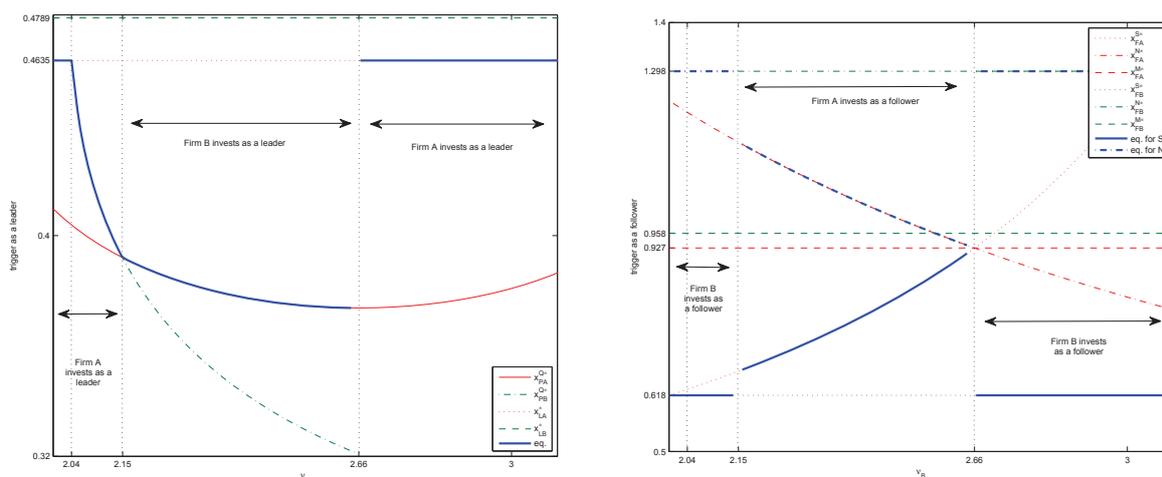
##### 4-1 非対称規制が投資戦略に及ぼす影響

本節では、非対称規制が、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2は、パラメータ  $v_A = 2$  を固定したまま、パラメータ  $v_B \in [2.0, 3.1]$  における、各企業の投資戦略を描写している。

図2の左図と右図では、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、 $x_{PA}^{Q*}$  はすべての  $v_B \in [2.0, 3.1]$  において存在するが、 $x_{PB}^{Q*}$  は  $v_B < 2.66$  においてのみ存在する。結果として、パラメータ  $v_B \in [2.15, 2.66)$  では新規参入企業(B)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(A)が先発企業として市場に参入する。

図2における重要な結果として、次の3点を挙げることができる。第1に、 $v_B \in [2.15, 2.66)$  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、先発企業として新ネットワークサービスを開始する。第2に、 $v_B \in [2.15, 2.66)$  では、アクセスチャージ  $v_B$  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、アクセスチャージ  $v_B$  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、アクセスチャージ  $v_B$  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、アクセスチャージ  $v_B$  が十分に大きくなると( $v_B > 2.66$ )、既存企業は新規参入企業へのアクセスが高すぎてしまい、市場参入するには長距離と地方の両方のネットワークを自ら設置することになる。すなわち、この場合には、新規参入企業は非対称規制の恩恵を享受できない。

図2 アクセスチャージと技術の投資臨界値



#### 4-2 非対称規制が価値関数に及ぼす影響

本節では、非対称規制が、各企業の投資プロジェクト価値にどのような影響を与えるのかについて考察する。競争市場均衡において、既存企業(A)と新規参入企業(B)の投資プロジェクト価値は

$$\begin{cases} L_A^Q(x; x_{LA}^*), & \text{if } \nu_B < 2.04, \\ L_A^Q(x; x_{PB}^*), & \text{if } 2.04 \leq \nu_B < 2.15, \\ \frac{1}{2}L_A^Q(x; x_{PB}^*) + \frac{1}{2}F_A^Q(x; x_{FA}^*, x_{Fi}^{N*}), & \text{if } \nu_B = 2.15, \\ F_A^Q(x; x_{FA}^*, x_{Fi}^{N*}), & \text{if } 2.15 < \nu_B < 2.66, \\ L_A^Q(x; x_{LA}^*), & \text{otherwise,} \end{cases}$$

and

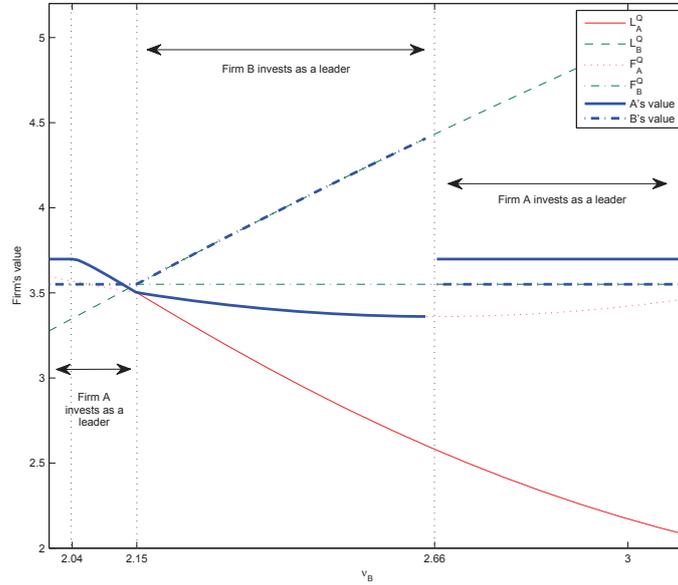
$$\begin{cases} F_B^Q(x; x_{FB}^*, x_{FB}^{N*}), & \text{if } \nu_B < 2.15, \\ \frac{1}{2}L_B^Q(x; x_{PA}^*) + \frac{1}{2}F_B^Q(x; x_{FB}^*, x_{FB}^{N*}), & \text{if } \nu_B = 2.15 \\ L_B^Q(x; x_{PA}^*), & \text{if } 2.15 < \nu_B < 2.66, \\ F_B^Q(x; x_{FB}^*, x_{FB}^{N*}), & \text{otherwise,} \end{cases}$$

となる。図3は、パラメータ  $\nu_A = 2$  を固定したまま、パラメータ  $\nu_B \in [2.0, 3.0]$  における、各企業の価値関数を描写している。

図3におけ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  $\nu_B < 2.66$  において減少関数、新規参入企業の投資プロジェクト価値は  $\nu_B < 2.66$  において増加関数となる。すなわち、非対称規制がその恩恵を新規参入企業に与える場合には ( $\nu_B < 2.66$ )、アクセスチャージの増大は、既存企業の投資プロジェクト価値を減少させるが、新規参入企業の投資プロジェクト価値を増大させる。第2に、 $\nu_B = 2.15$

では、非対称規制により、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、 $\nu_B = 2.15$  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  $\nu_B = 2.15$  の場合、両企業の競争条件は、完全な対称状態となる。

図3 各企業の技術投資プロジェクト価値



#### 4-3 非対称規制が社会的厚生に及ぼす影響

本節では、非対称規制が、社会的厚生(消費者余剰と生産者余剰)にどのような影響を与えるのかについて考察する。社会的厚生を分析するために、消費者余剰と生産者余剰を定義しよう。

まず、消費者余剰は、

$$\begin{aligned}
 CS^Q(x) &= \mathbb{E} \left[ \int_{\tau_{hi}^{Q^*}}^{\tau_{Fi'}^{S^*}} e^{-ru} S_1 X(u) du + \int_{\tau_{Fi'}^{S^*}}^{\tau_{Fi'}^{N^*}} e^{-ru} S_2 X(u) du \right. \\
 &\quad \left. + \int_{\tau_{Fi'}^{N^*}}^{+\infty} e^{-ru} S_2 X(u) du | X(0) = x \right] \\
 &= \frac{S_1 x_{hi}^{Q^*}}{r - \mu} \left( \frac{x}{x_{hi}^{Q^*}} \right)^\beta + \frac{(S_2 - S_1) x_{Fi'}^{S^*}}{r - \mu} \left( \frac{x}{x_{Fi'}^{S^*}} \right)^\beta + \frac{(S_3 - S_2) x_{Fi'}^{N^*}}{r - \mu} \left( \frac{x}{x_{Fi'}^{N^*}} \right)^\beta.
 \end{aligned}$$

と定義される。このとき、パラメータ  $\nu_B$  に対して、消費者余剰は、

$$CS(x) = \begin{cases} CS^Q(x; x_{LA}^*, x_{FB}^{S^*}, x_{FB}^{N^*}), & \text{if } \nu_B < 2.04, \\ CS^Q(x; x_{PB}^{Q^*}, x_{FB}^{S^*}, x_{FB}^{N^*}), & \text{if } 2.04 \leq \nu_B < 2.15, \\ CS^Q(x; x_{PB}^{Q^*}, \frac{1}{2}x_{FA}^{S^*} + \frac{1}{2}x_{FB}^{S^*}, \frac{1}{2}x_{FA}^{N^*} + \frac{1}{2}x_{FB}^{N^*}) & \text{if } \nu_B = 2.15, \\ CS^Q(x; x_{PA}^{Q^*}, x_{FA}^{S^*}, x_{Fi}^{N^*}), & \text{if } 2.15 < \nu_B < 2.66, \\ CS^Q(x; x_{LA}^*, x_{FB}^{S^*}, x_{FB}^{N^*}) & \text{otherwise,} \end{cases}$$

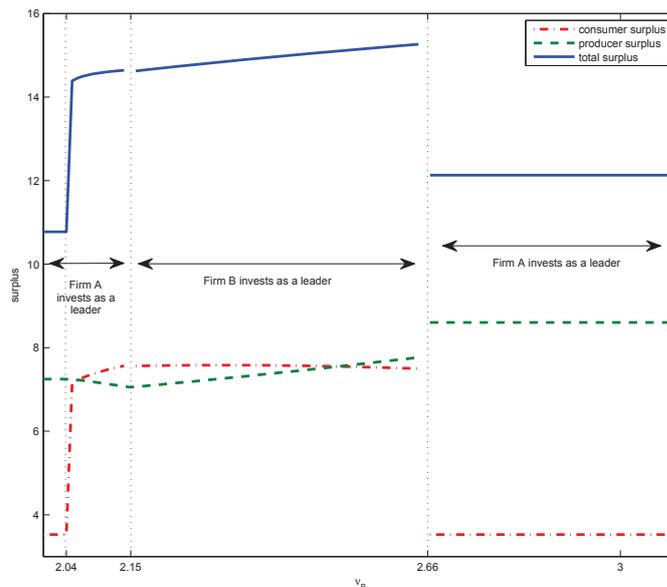
となる。次に、生産者余剰は各企業の価値合計として定義される。パラメータ  $\nu_B$  に対して、生産者余剰は

$$PS(x) = \begin{cases} L_A^Q(x; x_{LA}^*) + F_B^Q(x; x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}), & \text{if } \nu_B < 2.04, \\ L_A^Q(x; x_{PB}^{Q*}) + F_B^Q(x; x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}), & \text{if } 2.04 \leq \nu_B < 2.15, \\ \frac{1}{2}L_A^Q(x; x_{PB}^{Q*}) + \frac{1}{2}F_A^Q(x; x_{FA}^{S*}, x_{FA}^{N*}) \\ \quad + \frac{1}{2}L_B^Q(x; x_{PA}^{Q*}) + \frac{1}{2}F_B^Q(x; x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}) & \text{if } \nu_B = 2.15, \\ F_A^Q(x; x_{FA}^{S*}, x_{FA}^{N*}) + L_B^Q(x; x_{PA}^{Q*}), & \text{if } 2.15 < \nu_B < 2.66, \\ L_A^Q(x; x_{LA}^*) + F_B^Q(x; x_{FB}^{S*}, x_{FB}^{N*}) & \text{otherwise.} \end{cases}$$

となる。最後に、総余剰は消費者余剰と生産者余剰の総和として定義される。

図 4 は、パラメータ  $\nu_A = 2$  を固定したまま、パラメータ  $\nu_B \in [2.0, 3.1]$  における、消費者余剰、生産者余剰、総余剰を描写している。消費者余剰は、 $\nu_B < 2.15$  において  $\nu_B$  に関して増加関数となり、 $\nu_B > 2.15$  において  $\nu_B$  に関して減少関数となる。他方、生産者余剰は、 $\nu_B < 2.15$  において  $\nu_B$  に関して減少関数となり、 $\nu_B > 2.15$  において  $\nu_B$  に関して増加関数となる。これらの結果、消費者余剰は  $\nu_B = 2.15$  において最も高くなり、生産者余剰は  $\nu_B = 2.15$  において最も低くなる。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。これらの結果はマイクロ経済学の理論と合致している。

図 4 アクセスタージと消費者余剰および生産者余剰



## 5 おわりに

本稿では、電気通信における「規制と競争」の下、企業の戦略的な投資戦略を考察し、その戦略下における投資プロジェクト価値関数を導出した。その結果として、各企業の技術投資に対する不確実性に起因する損失としてのリスクをも評価した。さらに、各企業の戦略的技術投資の下で、電気通信市場における消費者余剰や生産者余剰(すなわち総余剰)が計量可能となり、規制当局は、総余剰が最大化となるような政策、あるいは消費者余剰と生産者余剰の大小関係を考慮した上での最適な政策、などを実行する上で、これらの指標が有益な指標の一つとなりえると考えられる(ただし、実務でこれらの評価式を指標として用いるためには、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必要がある)。

本稿では、電気通信における「規制と競争」を明示的に考慮して数理モデルを構築したが、電気通信における非対称規制は永続的な規制ではなく、過渡的な規制であることはいうまでもない。それゆえ、電気通信における「規制と競争」としては、非対称規制かつ規制緩和の可能性を考慮に入れた規制下での競争市場を考えた方が実務に合致していると考えられる。この点については今後の課題としたい。

## 【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*, forthcoming.

## 〈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 社会科学部研究科経営学専攻 Research paper Series, No.67	2009年10月
Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications	European Journal of Operational Research	forthcoming
Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications	24th European Conference of Operational Research, Portugal Lisbon	2010年7月