電気通信のリスクを考慮した投資プロジェクト価値の計測と規制と競争のあり方

研究代表者　　芝　田　隆　志　　首都大学東京社会科学研究科教授

1 はじめに

本研究では，電気通信におけるリスクを考慮した投資プロジェクト価値を計測する理論的なモデルを構築し，そのモデルを用いて，各事業者の最適な投資戦略や投資プロジェクト価値を計量(数値実験)する．また，本研究では，数値実験に基づき，電気通信における「規制と競争」政策のあり方について考察する．

具体的に本稿では，日本の携帯通信市場に焦点を当てて，その市場の特異性を考慮した上で，各事業者の投資プロジェクト評価モデルを構築する．携帯通信市場における特異性とは，次の 2 つに纏められる．特異性の一つめは，携帯通信事業者 3 社(Docomo，KDDI，Softbank)の売上合計が，市場売上の約 95%を占めている点にある．特異性の二つめは，研究開発に対する投資規模が各事業者間で大きく異なり，各事業者の費用構造が非対称(異質)となっている点にある.具体的には,Docomo は他の 2 社と比較して，研究開発投資に対して大規模な予算を保有し，かつ劣費用構造になっている．その理由としては，規制当局は各事業者間に非対称規制(たとえば非対称アクセスチャージ)を課していることが挙げられる．

投資プロジェクト評価モデルでは，状態変数(需要あるいは企業収益)を確率過程で表現し，その状態変数に基づいて投資プロジェクト機会に対するオプション価値を導出する．投資プロジェクト評価モデルでは，複占(2 社)市場かつ各事業者の費用構造は非対称(異質)となるモデル(Pawlina and Kort, 2006)や寡占(3 社以上)市場かつ各事業者の費用構造は対称(同質)となるモデル(Bouis, et al., 2009)は存在するが，寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称(異質)となるモデルは存在しない．

寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称(異質)と仮定した上で構築するモデルでは，複占から寡占市場への拡張によって生じる複雑性と，寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称(異質)となる事から生じる複雑性の 2 つが存在する．第 1 に，複占から寡占市場への拡張によって生じる複雑性について考察しよう．複占モデルでは，市場に 2 番目に参入する事業者の投資行動は非戦略的となり，市場に 1 番目に参入する事業者の投資行動は戦略的となる．その結果として，複占モデルでは，市場に 2 番目に参入する事業者の非戦略的な投資行動に基づいて，市場に 1 番目に参入する事業者の戦略的な投資行動を導出することになる．他方，寡占モデルでは，市場に 3 番目に参入する事業者の投資行動は非戦略的となり，市場に 2 番目に参入する事業者の投資行動は戦略的となり，市場に 1 番目に参入する事業者の投資行動も戦略的となる．その結果，寡占モデルでは，市場に 2 番目に参入する事業者の戦略的な投資行動に基づいて，市場に 1 番目に参入する事業者の「戦略の戦略(複合的に戦略)的」となる投資行動を導出することになる．この「戦略の戦略(複合的に戦略)的」となる投資行動を導出する点が，モデルの構築において複雑性を生み出す事になる．第 2 に，各事業者の費用構造が非対称(異質)と仮定することにより生じる複雑性について考察しよう．寡占市場かつ各企業の費用構造が対称(同質)と仮定するモデル(Bouis, et al., 2009)では，市場に 1 番目に参入する事業者の「戦略の戦略(複合的に戦略)的」となる投資行動は 1 通りのみとなる．他方，各事業者の費用構造が非対称(異質)と仮定するモデルでは，市場に 1 番目に参入する事業者の「戦略の戦略(複合的に戦略)的」となる投資行動は，総計 9 通りとなる(事業者の参入する順番に応じて投資行動が定義されるからである)．このような 2 つの複雑性により，寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称と仮定した上での投資プロジェクト評価モデルは構築されていなかった．

本稿では，寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称(異質)と仮定した上で投資プロジェクト評価モデルを構築し，そのモデルを用いて，日本の携帯通信市場における各事業者の投資戦略について考察する．

本稿の構成は次の通りである．第 2 章では，モデルの仮定を説明し，各事業者の投資プロジェクト価値関数をバックワードに導出する．また，ベンチマークとして，独占および複占モデルにおける各事業者の最適な投資戦略を導出する．第 3 章では，寡占モデルにおける各事業者の最適な投資戦略を導出す

る．第 4 章では，寡占モデルのパラメータを設定した上で数値実験を行う．特に，寡占モデルのパラメータは日本の携帯通信市場におけるパラメータを用いることにより，携帯通信市場における各事業者の最適な投資戦略について数値実験により考察する．第 5 章では，本稿の結果について纏め，今後の展望について考察する．

2 モデル

本章では，寡占市場かつ各事業者の費用構造が非対称(異質)と仮定した上での投資プロジェクト評価モデルを構築するため，そのモデル設定に関する条件について記述する．また，ベンチマークとして，独占モデルおよび複占モデルにおける最適均衡解について再考する．

2-1 モデル設定

(携帯通信)市場サービスを提供する 3 社(A 社，B 社，C 社)が市場におり，新しい技術を用いた(携帯通信)サービスを提供するための投資機会を保有している．3 社すべてはリスクに対する選好は中立で，自社の利益を最大になるように行動する． $r \geq 0$ をリスク中立な市場利子率と仮定する．

各事業者は投資機会を行使する事により，新しい技術を用いたサービス提供からキャッシュフローを獲得するが，そのキャッシュフローは市場構造(市場に参入している企業数)に依存すると仮定し，各社のキャッシュフローを $D_n Y(t) \geq 0$ と定義する．ただし，パラメータ $D_n \geq 0$ は市場構造を表し($n \in \{1,2,3\}$)，市場に参入している事業者数 n が増大するにつれて各事業者のキャッシュフローは減少すると仮定する．すなわち，不等式

$$D_1 > D_2 > D_3 > 0. \tag{1}$$

を仮定する．また， $Y(t)$ は確率微分方程式

$$\mathrm{d}Y(t) = \mu Y(t)\mathrm{d}t + \sigma Y(t)\mathrm{d}W(t), \quad Y(0) = y > 0, \tag{2}$$

に従い，$\mu \in (0,r)$ を定数，$\sigma \geq 0$ を定数，$z(t)$ を標準ブラウン運動と定義する．また，初期の値 $Y(0) = y > 0$ は十分に小さいと仮定し，すべての事業者はいますぐに投資機会を行使する状態ではないとする．本モデルでは，もし $Y(t)$ が時間の経過とともに増大し，ある臨界値(閾値)に到達するならば，投資機会が行使されることになる．

各事業者が投資機会を行使する際，各事業者は固定費用 $I_i \geq 0$ を要すると仮定する($i \in \{\mathrm{A,B,C}\}$)．すなわち，本モデルでは，3 社はそれぞれ異なる費用構造(固定費用水準)を保有している．具体的には，$I_{\mathrm{A}} < I_{\mathrm{B}} < I_{\mathrm{C}}$ を仮定する．A 社は最も効率的な(低い)費用，B 社は 2 番目に効率的な(低い)費用，C 社は最も非効率(高い)費用水準を保有する．

2-2 企業の価値関数

本節では，企業の投資プロジェクト価値関数を導出する．まず，投資時刻の表記として， $\tau_{ijk}^{(1)}$ を第 1 番目

にi社が参入する投資時刻，$\tau_{jk}^{(2)}$を第 2 番目にj社が参入する投資時刻，$\tau_{k}^{(3)}$を第 3 番目にk社が参入する投資時刻とする．ここでは，下添え字ijkは，i社が第 1 番目に参入する企業，j社が第 2 番目に参入する企業，k社が第 3 番目(最後)に参入する企業を表し，上添え字(n)は，第n番目に参入することを表す（$n \in \{1,2,3\}$）．数学的には，$\tau_{ijk}^{(1)} := \inf\{t \geq 0 \mid Y(t) \geq y_{ijk}^{(1)}\}$，$\tau_{jk}^{(2)} := \inf\{t \geq 0 \mid Y(t) \geq y_{jk}^{(2)}\}$，$\tau_{k}^{(3)} := \inf\{t \geq 0 \mid Y(t) \geq y_{k}^{(3)}\}$と表現できる．ただし，企業が投資機会を行使する臨界値をそれぞれ$y_{ijk}^{(1)}$，$y_{jk}^{(2)}$，$y_{k}^{(3)}$と表記する．具体的には，小さい水準$y > 0$から出発する確率過程$Y(t)$が時間の経過とともに増大して$y_{ijk}^{(1)}$に到達する時にi社が参入し，過程$Y(t)$がさらに増大して$y_{ik}^{(2)}$に到達する時にj社が参入し，過程$Y(t)$がさらに増大して$y_{k}^{(3)}$に到達する時にk社が参入することになる.次に,価値関数の表記として，$C_{ijk}^{(1)}$を第 1 番目に参入するi社の投資(を保有している)オプション価値，$C_{jk}^{(2)}$を第 2 番目に参入するj社の投資オプション価値，$C_{k}^{(3)}$を第 3 番目に参入するk社の投資オプション価値，$F_{ijk}^{(1)}$を第 1 番目に参入するi社の投資(を実行する)価値，$F_{jk}^{(2)}$を第 2 番目に参入するj社の投資(を実行する)価値，$F_{k}^{(3)}$を第 3 番目に参入するk社の投資(を実行する)価値とする．

投資プロジェクトの価値関数はバックワードに導出される．まず，第 3 番目に参入するk社の価値関数，次に，第 2 番目に参入するj社の価値関数，最後に，第 1 番目に参入するi社の価値関数を，順々に導出する．

（1）第 3 番目に参入するk社の価値関数

本項では，市場に第 3 番目に参入するk社の価値関数を導出する．第 3 番目に参入するk社の価値関数は次のように定義される．

$$C_k^{(3)}(Y(t)) := \mathbb{E}^{Y(t)}\Big[\int_{\tau_k^{(3)}}^{+\infty} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_3 Y(u)\mathrm{d}u - \mathrm{e}^{-r(\tau_k^{(3)}-t)} I_k\Big], \tag{3}$$

ただし，Eは期待値オペレータを表す．Shibata and Yamazaki(2010)によれば，(3)式は次のように書き換えられる．

$$C_k^{(3)}(Y(t)) = \Big(\frac{Y(t)}{y_k^{(3)}}\Big)^{\beta} F_k^{(3)}(y_k^{(3)}), \tag{4}$$

ただし$\beta := 1/2 - \mu/\sigma^2 + \sqrt{(\mu/\sigma^2 - 1/2)^2 + 2r/\sigma^2} > 1$および

$$F_k^{(3)}(y_k^{(3)}) = \frac{D_3}{r-\mu} y_k^{(3)} - I_k. \tag{5}$$

（2）第 2 番目に参入する j 社の価値関数

本項では，市場に第 2 番目に参入する j 社の価値関数を導出する．第 2 番目に参入する j 社の価値関数は次のように定義される．

$$C_{jk}^{(2)}(Y(t)) := \mathbb{E}^{Y(t)}\Big[\int_{\tau_{jk}^{(2)}}^{\tau_k^{(3)}} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_2 Y(u)\mathrm{d}u - \mathrm{e}^{-r(\tau_{jk}^{(2)}-t)} I_j + \int_{\tau_k^{(3)}}^{+\infty} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_3 Y(u)\mathrm{d}u\Big]. \quad (6)$$

(4)式の導出方法と同様にして，(6)式は次のように書き換えることができる．

$$C_{jk}^{(2)}(Y(t)) = \Big(\frac{Y(t)}{y_{jk}^{(2)}}\Big)^{\beta} F_{jk}^{(2)}(y_{jk}^{(2)}), \quad (7)$$

ただし

$$F_{jk}^{(2)}(y_{jk}^{(2)}) := \frac{D_2}{r-\mu} y_{jk}^{(2)} - I_j + \Big(\frac{y_{jk}^{(2)}}{y_k^{(3)}}\Big)^{\beta} \frac{D_3 - D_2}{r-\mu} y_k^{(3)}. \quad (8)$$

（3）第 1 番目に参入する i 社の価値関数

本項では，市場に第 1 番目に参入する i 社の価値関数を導出する．第 1 番目に参入する i 社の価値関数は次のように定義される．

$$\begin{aligned} C_{ijk}^{(1)}(Y(t)) \;\; := \;\; & \mathbb{E}^{Y(t)}\Big[\int_{\tau_{ijk}^{(1)}}^{\tau_{jk}^{(2)}} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_1 Y(u)\mathrm{d}u - \mathrm{e}^{-r(\tau_{ijk}^{(1)}-t)} I_i \qquad (9) \\ & + \int_{\tau_{jk}^{(2)}}^{\tau_k^{(3)}} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_2 Y(u)\mathrm{d}u + \int_{\tau_k^{(3)}}^{+\infty} \mathrm{e}^{-r(u-t)} D_3 Y(u)\mathrm{d}u\Big]. \end{aligned}$$

(4)式や(7)式の導出方法と同様にして，(9)式は次のように書き換えることができる．

$$C_{ijk}^{(1)}(Y(t)) = \Big(\frac{Y(t)}{y_{ijk}^{(1)}}\Big)^{\beta} F_{ijk}^{(1)}(y_{ijk}^{(1)}), \quad (10)$$

ただし

$$F_{ijk}^{(1)}(y_{ijk}^{(1)}) := \frac{D_1}{r-\mu} y_{ijk}^{(1)} - I_i + \Big(\frac{y_{ijk}^{(1)}}{y_{jk}^{(2)}}\Big)^{\beta} \frac{D_2 - D_1}{r-\mu} y_{jk}^{(2)} + \Big(\frac{y_{ijk}^{(1)}}{y_k^{(3)}}\Big)^{\beta} \frac{D_3 - D_2}{r-\mu} y_k^{(3)}. \quad (11)$$

2-3 先行研究

本節では,先行研究として,独占モデル(McDonald and Siegel, 1986),複占モデル(Pawlina and Kort, 2006, Shibata and Yamazaki, 2010)における最適な均衡解について再考する．

（1） 独占市場

本項では，独占市場において企業 i が投資(市場参入)機会を保有していると仮定する($i \in \{1,2,3\}$)．このとき，企業 i の最適な投資臨界値は

$$y_i^{(1)*} = y_i^{1\mathrm{n}} := \phi \frac{I_i}{D_1}, \tag{12}$$

となる．ただし，$\phi := \beta(r-\mu)/(\beta-1)$ であり，$y_i^{(1)*}$ における上の添字*は最適解を表し，$y_i^{1\mathrm{n}}$ における上の添字1nは，独占(1社)市場において非戦略的(non-preemptive，non-strategic)な投資臨界値を表す．

（2） 複占市場

本項では，複占市場において企業iと企業jが投資(市場参入)機会を保有していると仮定する($i, j \in \{1,2,3\}, i \neq j$)．各事業者間の戦略的な相互依存関係を考慮する場合(複占モデル，寡占モデル)には，最適な均衡解はバックワードに導出される．

まず，企業iが市場に参入したと仮定する．このとき，第2番目に投資をする企業jの臨界値は，非戦略的となり，

$$y_j^{(2)} = y_j^{2\mathrm{n}} := \phi \frac{I_j}{D_2}, \tag{13}$$

となる．$y_j^{2\mathrm{n}}$ における上の添字2nは，複占(2社)市場において非競争的な投資臨界値を表す．

次に，先行研究(Pawlina and Kort，2006，Shibata and Yamazaki，2010)に従い，第1番目に投資をする企業iの戦略的な投資臨界値を導出する．このとき，企業jが第2番目に参入すると仮定した場合において，企業iが第1番目に参入する時，企業iの戦略的な(preemptive or strategic)投資臨界値は，

$$y_{ij}^{\mathrm{p}} := \inf\{y \in [0, y_j^{(2)}] | F_{ij}^{(1)}(y) \geq C_i^{(2)}(y)\}, \tag{14}$$

となる．y_{ij}^{p} における上の添字pは，戦略的(preemptive or strategic)な臨界値を表す．y_{ij}^{p} は必ず存在するとは限らないため，z_{ij} を

$$z_{ij} := \begin{cases} y_{ij}^{\mathrm{p}}, & \text{if } y_{ij}^{\mathrm{p}} \text{ exists}, \\ y_i^{1\mathrm{n}}, & \text{otherwise}. \end{cases} \tag{15}$$

と定義する．

第1番目に参入する企業の投資臨界の集合をΩ_{20}と定義する．ただし，Ω_{20}における下の添字20は，市場に参入を考えている企業数が2社で，その2社のうちで既に参入している企業数がゼロ(0)となる状態を表す．たとえば，複占市場において投資機会を保有している企業が企業Aと企業Bとしよう．このとき，Ω_{20}は

$$\Omega_{20} = \{z_{\mathrm{AB}}, z_{\mathrm{BA}}\}. \tag{16}$$

となる．さらに，$\Omega_{20}^{(1)}$ と $\Omega_{20}^{(2)}$ を

$$\Omega_{20}^{(1)} := \min \Omega_{20}, \quad \Omega_{20}^{(2)} := \max \Omega_{20}. \tag{17}$$

とそれぞれ定義する．このとき，複占市場において，市場に第 1 番目に参入する企業iの戦略的な投資臨界値は$\Omega_{20}^{(1)}$となり，市場に第 2 番目に参入する企業 j の戦略的な投資臨界値は$\Omega_{20}^{(2)}$となる．その結果，企業iが第1番目に参入する企業となり,企業 j が第2番目に参入する企業となる.詳細はPawlina and Kort (2006), Shibata and Yamazaki (2010)を参照されたい.

最後に，企業iの最適な投資臨界値を導入しよう．一方，もし$Y_t \in [\Omega_{20}^{(1)}, y_i^{1n}]$ならば，企業$i$は第 1 番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持ち,企業iはy_i^{1n}にできる限り水準で投資を実行したいと考える．他方，もし$Y_t \in [\Omega_{20}^{(2)}, y_j^{1n}]$ならば，企業 j は第 1 番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持つ．複占市場では，上記の 2 つの結果から，企業iは$\min\{\Omega_{20}^{(2)}, y_i^{1n}\}$で参入し，企業 j はy_j^{2n}で参入することになる．以上の結果は，次のようにまとめることができる．

命題 1：複占市場では，企業iが第 1 番目に参入する臨界値，企業 j が第 2 番目に参入する臨界値は，

$$y_{ij}^{(1)*} = \min\{\Omega_{20}^{(2)}, y_i^{1\mathrm{n}}\}, \quad y_2^{(2)*} = y_j^{2\mathrm{n}}, \tag{18}$$

となる．

3 均衡

本章では，寡占市場モデルにおける各企業の戦略的な投資臨界値を導出する．最適な臨界値は，バックワード(3 つのステップ)により導出される．

第 1 に，企業iと企業 j が市場に参入したと仮定する．このとき，第 3 番目に参入する企業kの臨界値は，非戦略的となり，

$$y_k^{(3)} = y_k^{3\mathrm{n}} := \phi \frac{I_k}{D_3}, \tag{19}$$

となる． y_k^{3n} における上の添字3nは，寡占(3 社)市場において非競争的な投資臨界値を表す．

第 2 に，第 2 番目に参入する企業 j の臨界値は，

$$z_{jk} := \begin{cases} y_{jk}^{\mathrm{p}}, & \text{if } y_{jk}^{\mathrm{p}} \text{ exists}, \\ y_j^{2\mathrm{n}}, & \text{otherwise}, \end{cases} \tag{20}$$

ただし

$$y_{jk}^{\mathrm{p}} := \inf\{y \in [0, y_k^{(3)}] | F_{jk}^{(2)}(y) \geq C_j^{(3)}(y)\}, \tag{21}$$

となる.いま,寡占市場において第2番目に参入する企業の投資臨界値の集合をΩ_{31}と表記する.ただし,Ω_{31}における下の添字31は,市場において3社が投資機会を保有しており,そのうちの1社は既に参入している状態を表す.たとえば,寡占市場で既に企業Aが市場参入しており,企業Bと企業Cのいずれかが第2番目の企業として市場参入を考えているとしよう.このとき,Ω_{31}は

$$\Omega_{31} = \{z_{\mathrm{BC}}, z_{\mathrm{CB}}\}. \tag{22}$$

となる.さらに,$\Omega_{31}^{(1)}$と$\Omega_{31}^{(2)}$を

$$\Omega_{31}^{(1)} := \min \Omega_{31}, \quad \Omega_{31}^{(2)} := \max \Omega_{31}. \tag{23}$$

とそれぞれ定義する.このとき,寡占市場において,市場に第2番目に参入する企業jの戦略的な投資臨界値は$\Omega_{31}^{(1)}$となり,市場に第3番目に参入する企業kの戦略的な投資臨界値は$\Omega_{31}^{(2)}$となる.その結果,企業jが第2番目に参入する企業となり,企業kが第3番目に参入する企業となる.詳細はPawlina and Kort (2006), Shibata and Yamazaki (2010)を参照されたい.企業jの最適な投資臨界値を導入しよう.一方,もし$Y_t \in [\Omega_{31}^{(1)}, y_j^{2\mathrm{n}}]$ならば,企業$j$は第2番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持ち,企業jは$y_j^{2\mathrm{n}}$にできる限り水準で投資を実行したいと考える.他方,もし$Y_t \in [\Omega_{31}^{(2)}, y_k^{1\mathrm{n}}]$ならば,企業$k$は第2番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持つ.複占市場では,上記の2つの結果から,企業jは

$$y_{jk}^{(2)} = \min\{\Omega_{31}^{(2)}, y_j^{2\mathrm{n}}\}. \tag{24}$$

で参入し,企業kは$y_k^{3\mathrm{n}}$で参入することになる.

第3に,第1番目に参入する企業iの戦略的な臨界値は,

$$y_{ijk}^{\mathrm{p}} := \begin{cases} \inf\{y \in [0, y_{jk}^{(2)}] | F_{ijk}^{(1)}(y) \geq C_{ik}^{(2)}(y)\}, & \text{if } I_i \leq I_k, \\ \inf\{y \in [0, y_{jk}^{(2)}] | F_{ijk}^{(1)}(y) \geq C_{i}^{(3)}(y)\}, & \text{if } I_i > I_k, \end{cases} \tag{25}$$

となる.ここで,y_{ijk}^{p}は必ずしも存在するとは限らないため,z_{ijk}を

$$z_{ijk} := \begin{cases} y_{ijk}^{\mathrm{p}}, & \text{if } y_{ijk}^{\mathrm{p}} \text{ exists}, \\ y_i^{1\mathrm{n}}, & \text{otherwise}. \end{cases} \tag{26}$$

と定義し,市場に第1番目に参入する各事業者に対する投資臨界値の集合をΩ_{30}と定義する.ただし,Ω_{30}における下の添字30は,市場において3社が投資機会を保有し,そのうちのいずれの企業も参入していない状態を表す.具体的には,

$$\Omega_{30} := \{z_{\mathrm{ABC}}, z_{\mathrm{BAC}}, z_{\mathrm{CAB}}\}, \tag{27}$$

となる．(27)式の導出の証明はShibata (2015)を参照されたい．さらに，$\Omega_{30}^{(1)}$と$\Omega_{30}^{(2)}$を

$$\Omega_{30}^{(1)} := \min \Omega_{30}, \qquad \Omega_{30}^{(2)} := \min \Omega_{30} \backslash \Omega_{30}^{(1)}, \tag{28}$$

と定義する．このとき，寡占市場において，市場に第1番目に参入する企業iの戦略的な投資臨界値は$\Omega_{30}^{(1)}$となり，もし企業jが第1番目として参入する場合の戦略的な投資臨界値は$\Omega_{30}^{(2)}$となる．その結果，企業iが第1番目に参入する企業となり，企業jが第2番目に参入する企業となる．詳細はShibata (2015)を参照されたい．そして，企業iの最適な投資臨界値を導出する．一方，もし$Y_t \in [\Omega_{30}^{(1)}, y_i^{1n}]$ならば，企業$i$は第1番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持ち，企業iはy_i^{1n}にできる限り水準で投資を実行したいと考える．他方，もし$Y_t \in [\Omega_{30}^{(2)}, y_j^{1n}]$ならば，企業$j$は第1番目の参入企業として投資を実行するインセンティブを持つ．寡占市場では，上記の2つの結果から，市場に1番目に参入する企業iの投資臨界値は，

$$y_{ijk}^{(1)} = \min\{\Omega_{30}^{(2)}, y_i^{1n}\}. \tag{29}$$

となる．以上の結果は次のように纏められる．

命題2： 寡占市場では，企業iが第1番目に参入する臨界値，企業jが第2番目に参入する臨界値，企業kが第3番目に参入する臨界値は，それぞれ

$$y_{ijk}^{(1)*} = \min\{\Omega_{30}^{(2)}, y_i^{1n}\}, \quad y_{jk}^{(2)*} = \min\{\Omega_{31}^{(2)}, y_j^{2n}\}, \quad y_k^{(3)*} = y_k^{3n}, \tag{30}$$

となる．

4 経済学的考察

本章では，数値実験にて，本モデルの経済学的な含意について考察する．数値実験でのパラメータは下記の通りである．

$$D_1 = 5, D_3 = 2, \sigma = 0.15, r = 0.09, \mu = 0.04, y = 0.1$$

これらのパラメータは，Shibata and Yamazaki (2010)を参考にして，日本の電気通信事業に基づく値である．また，2つのパラメータ$D_2 \in [2,5], \theta \geq 0$が，本モデルにおいて非常に重要なパラメータとなる．

一方，もし$D_2 = 3.1622$ならば，等式

$$\frac{D_1}{D_2} \approx \frac{D_2}{D_3}$$

が成立する．それゆえ，$D_2 \in [2, 3.1622)$，$D_2 \in (3.1622, 5]$は，

$$\frac{D_1}{D_2} > \frac{D_2}{D_3} > 1 \quad \frac{D_2}{D_3} > \frac{D_1}{D_2} > 1$$

をそれぞれ意味する．一つ目の不等式が成立するならば，市場が独占となる時の(複占の時と相対的に比較した)各企業のキャッシュフローが,市場が複占となる時の(寡占と時と相対的に比較した)キャッシュフローよりも大きいことを意味する．このとき，本モデルでは，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に大きいと定義する．また，二つ目の不等式が成立するならば，市場が独占となる時の(複占の時と相対的に比較した)各企業のキャッシュフローが,市場が複占となる時の(寡占と時と相対的に比較した)キャッシュフローよりも小さいことを意味する．このとき，本モデルでは，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さいと定義する．

他方,各事業者の投資に関する(市場参入する場合の)費用関数は，$I_{\mathrm{A}} = I$，$I_{\mathrm{B}} = (1+\theta)I$，$I_{\mathrm{c}} = (1+2\theta)I$ とする($I > 0$)．もしθが大きくなればなるほど，各企業間における非対称費用構造は大きくなる．

2-1 寡占市場における投資臨界値

本節では，数値実験を用いて，寡占市場における各事業者の最適な投資臨界値を具体的に導出する．数値実験では，$D_2 = 3(< 3.1622)$ と $D_2 = 3.25(> 3.1622)$ を仮定しよう．前者はファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に大きく，後者はファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さいことを意味する．また，$\theta = 0.01$ と $\theta = 0.05$ を仮定する．前者は各企業間の非対称費用構造が相対的に小さく，後者は各企業の非対称費用構造が相対的に大きいことを意味する．

表 1 は各企業の投資臨界値を表す．図 1 の上からの 2 行の数値では，$D_2 = 3(< 3.1622)$ のケースであり，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に大きいことを意味する．また，1 行目(2 行目)の数値では，各企業間の非対称費用構造は小さい(大きい)ことを意味する．このとき，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ なので，企業 A が第 1 番目に市場に参入し，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CB}}$ なので企業 B が第 2 番目に市場に参入し，企業 C が第 3 番目に市場に参入することになる．

次に，表 1 の上から 3 行目の数値では，$D_2 = 3.25$ かつ $\theta = 0.01$ のケースであり，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さく，各企業間の非対称費用構造が相対的に小さいことを意味する．このとき，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ なので，企業 B が第 1 番目に市場に参入し，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{AC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CA}}$ なので企業 A が第 2 番目に市場に参入し，企業 C が第 3 番目に市場に参入することになる．

最後に，表 1 の上から 3 番目では，$D_2 = 3.25$ かつ $\theta = 0.05$ のケースであり，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さく，各企業間の非対称費用構造が相対的に大きいことを意味する．このとき，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ なので，企業 A が第 1 番目に市場に参入し，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CB}}$ なので企業 B が第 2 番目に市場に参入し，企業 C が第 3 番目に市場に参入することになる．

D_2	θ	First investor $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}}$	$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$	z_{CAB}	Firm	Second investor $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{AC}}$	$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BC}}$	$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CA}}/y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CB}}$	Firm	Third investor $y^{3\mathrm{n}}_{\mathrm{C}}$	Firm
3	0.01	0.1822	0.1833	0.1906	A	–	0.2748	0.2805	B	0.5638	C
3	0.05	0.1720	0.1789	0.2152	A	–	0.2806	0.3092	B	0.6080	C
3.25	0.01	0.2008	0.1998	0.2152	B	0.2402	–	0.2497	A	0.5638	C
3.25	0.05	0.1882	0.1927	0.2432	A	–	0.2492	0.2732	B	0.6080	C

表 1　投資（市場参入）の臨界値

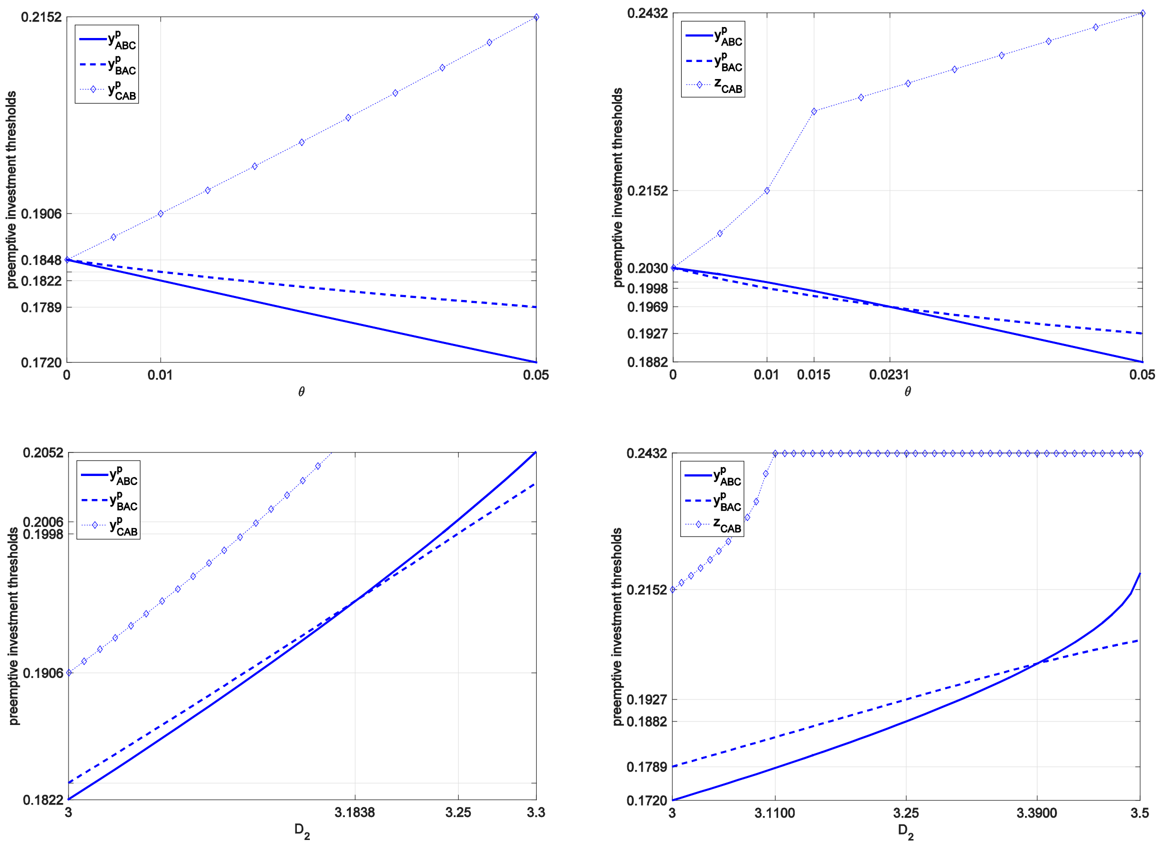

図 1　投資（市場参入）の臨界値

これらの 4 つのケースの纏めとして，図 1 が得られる．図 1 の左上図では，$D_2 = 3(< 3.1622)$ を仮定し，パラメータ $\theta \in [0, 0.05]$ に対する投資臨界値を描写している．$\theta = 0$ ならばすべての臨界値は一致し，その他の領域では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となる．図 1 の右上図では，$D_2 = 3.25(> 3.1622)$ を仮定し，パラメータ $\theta \in [0, 0.05]$ に対する投資臨界値を描写している．$\theta \in (0, 0.0231)$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$，$\theta \in (0.0231, 0.05]$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となる．図 1 の左下図では，$\theta = 0.01$ を仮定し，パラメータ

$D_2 \in [3,3.3]$ に対する投資臨界値を描写している． $D_2 \in [3,3.1838)$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ ，$D_2 \in [3.1838,3.3]$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となる．図 1 の右下図では，$\theta = 0.05$ を仮定し，パラメータ $D_2 \in [3,3.5]$ に対する投資臨界値を描写している． $D_2 \in [3,3.39)$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ ，$D_2 \in [3.39,3.5]$ では $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となる．これらの数値実験の結果を纏めると，次の命題が得られる．

命題 3：寡占市場において，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さく，各企業間の非対称費用構造が相対的に小さいケースでは，劣費用構造をもつ企業が第 1 番目に市場参入することになる．それ以外のケースでは，優費用構造をもつ企業が第 1 番目に市場参入することになる．

さらに，図 2 では，横軸に $\theta \in [0.01,0.05]$, 横軸に $D_2 \in [3,3.5]$ をとり，企業 A が市場に第 1 番目に参入する領域あるいは企業 B が市場に 1 番目に参入する領域を描写する．図 2 では，$(\theta, D_2) = (0.01,3.1838)$ から $(\theta, D_2) = (0.005,3.39)$ までの実線は，$\sigma = 0.15$ の下での $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} = y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ を満たす境界線である. それゆえ，実線から左上方向の領域(領域 B と定義)では，$y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となり，企業 B が第 1 番目に投資を実行する．また，実線から右下方向の領域(領域 A と定義)では， $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{CAB}}$ となり，企業 A が第 1 番目に投資を実行する領域となる．その結果としては，寡占市場において，ファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さく，各企業間の非対称費用構造が相対的に小さいケースでは，劣費用構造をもつ企業が第 1 番目に市場参入することになる．

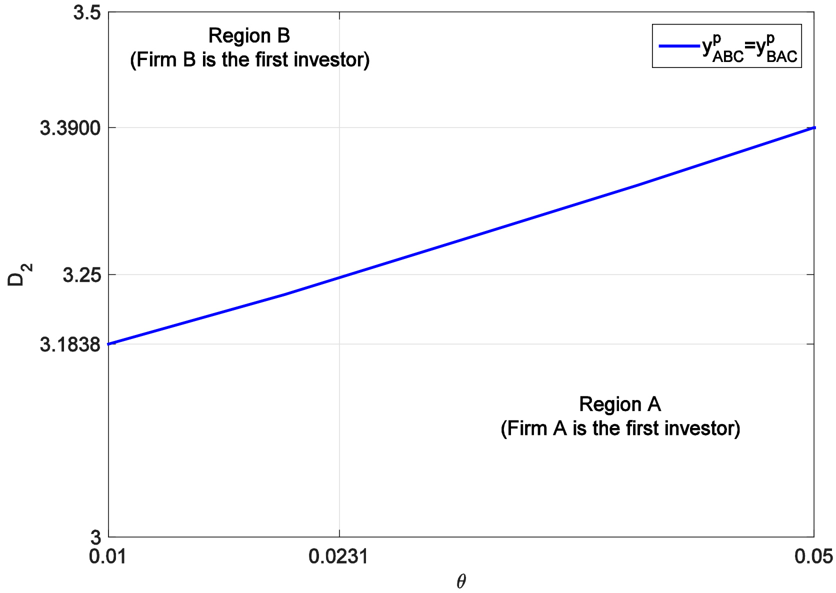

図 2　領域 A と領域 B

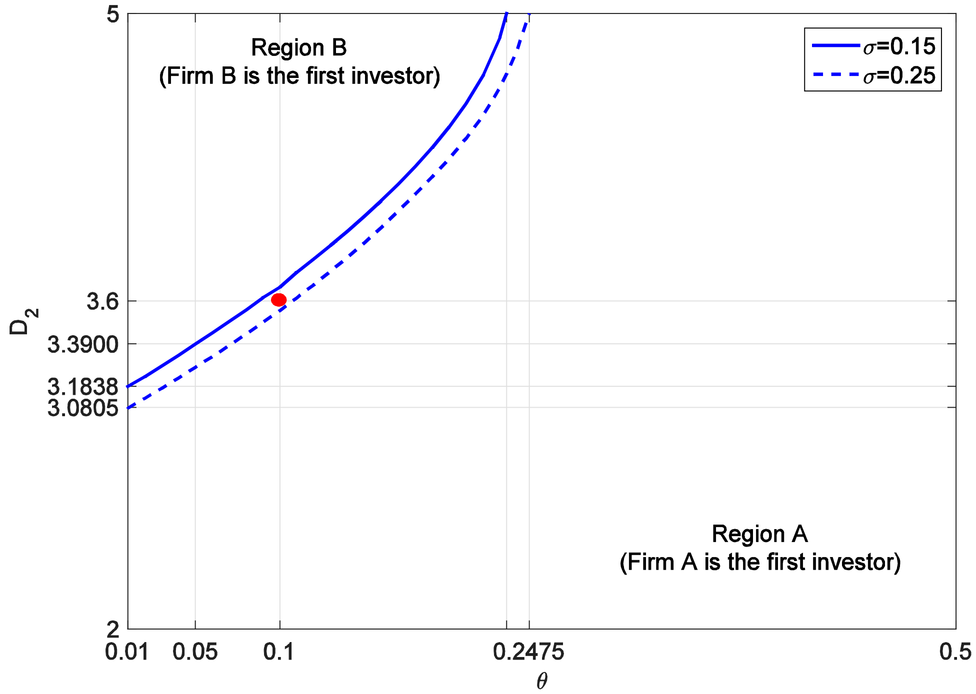

図 3　ボラティリティの効果

2-2 不確実性の効果

本節では，各企業のキャッシュフローの不確実性を表すボラティリティ σ の効果について考察する．図 3 は，横軸に $\theta \in [0.01, 0.5]$，縦軸に $D_2 \in [2,5]$ をとり，企業 A(あるいは企業 B)が市場に第 1 番目に参入する領域を表す． $(\theta, D_2) = (0.01, 3.1838)$ から $(\theta, D_2) = (0.2340, 5)$ までの実線は， $\sigma = 0.15$ の下で $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} = y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ を満たす境界線である．それゆえ，実線から左上方向の領域では， $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}}$ なので，企業 B が第 1 番目に投資を実行する領域となり，実線から右下方向の領域では， $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ なので，企業 A が第 1 番目に投資を実行する領域となる．同様にして， $(\theta, D_2) = (0.01, 3.0805)$ から $(\theta, D_2) = (0.2475, 5)$ までの点線は, $\sigma = 0.25$ の下で $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} = y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ を満たす境界線である. それゆえ, 点線から左上方向の領域では, $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}}$ なので，企業 B が第 1 番目に投資を実行する領域となり，点線から右下方向の領域では， $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} < y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ なので，企業 A が第 1 番目に投資を実行する領域となる．こうして，ボラティリティ σ が大きくなると， $y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{ABC}} = y^{\mathrm{p}}_{\mathrm{BAC}}$ を満たす境界線が右下に実線から点線にシフトすることになる．その結果，ボラティリティ σ が大きくなるにつれて，企業 B が第 1 番目に参入する領域が広がることになる．具体的には，点 $(\theta, D_2) = (0.1, 3.6)$ について考察してみよう．この点では，もしボラティリティが 15%ならば企業 B は市場に第 2 番目に参入することになるが，もしボラティリティが 25%ならば企業 B が市場に第 1 番目に参入することになる．これらの結果は次の命題としてまとめることができる．

命題 4： 寡占市場において，各企業のキャッシュフローのボラティリティが増大するにつれて，劣費用構造をもつ企業が第 1 番目に市場参入する可能性は大きくなる.

おわりに

本稿では，寡占市場(3 社が投資機会を保有)かつ各企業の費用構造が非対称(異質)と仮定した上で，各企業間の戦略的な相互依存関係を考慮した最適投資(参入)タイミング問題について考察した．Bouis et al (2009)では,寡占市場(3 社が投資機会を保有)かつ各企業の費用構造が対称(同質)と仮定されている．また，Pawlina and Kort (2006)では，各企業の費用構造が非対称(異質)であるが，2 社による複占市場が仮定されている．それゆえ，本研究での貢献は，Bouis et al. (2009)における各企業の費用構造を対称から非対称へ拡張した点にあり，また換言すれば，Pawlina and Kort (2006)における市場を複占から寡占へ拡張した点にある．

日本の携帯通信市場では，3 社(DOCOMO, au by KDDI, SoftBank)が，携帯電話サービスの売上の約 95 パーセントを占めており,かつ各事業者間の費用構造は非対称となっている．そのため,従来のモデル研究では,日本の携帯通信市場における各事業者の投資(参入)タイミング問題を分析することができなかった．本研究では，寡占市場かつ各事業者間の費用構造が非対称と仮定してモデルを構築したことにより，日本の携帯通信市場における各事業者の最適な投資戦略について考察することが可能となった．主要な結果は，もしファースト・ムーバー・アドバンテージが相対的に小さくかつ各事業者間の非対称費用構造が相対的に小さいならば，劣費用構造をもつ事業者が，市場に第 1 番目に参入する可能性があることを示した点にある．また，各事業者のキャッシュフローの不確実性が大きくなるについて,その傾向は増大することを示した点にある．

最後に，携帯通信市場におけるさらなる特異性としては，各事業者間のアクセスチャージが非対称(異質)である点を挙げることができる．今後の研究では，このさらなる特異性を考慮に入れた上でのモデルを構築したいと考えている．具体的には，Shibata and Yamazaki (2010)と本研究 Shibata (2015)を統合させたモデルの構築となる．

【参考文献】

Bouis, R., Huisman, K., and Kort, P., 2009. Investment in oligopoly under uncertainty,: The accordion effects. International Journal of Industrial Organization, 27, 320-331.

McDonald, R. and Siegel, D. R., 1986. The value of waiting to invest. Quarterly Journal of Economics, 101, 707-s727.

Pawlina, G. and Kort, P., 2006. Real options in an asymmetric duopoly: who benefits from your competitive advantage? Journal of Economic and Management Strategy, 15, 1-35.

Shibata, T. 2015. Strategic entry in a triopoly of firms with asymmetric cost structure. Tokyo Metropolitan University, Management, Research Paper Series No. 151 (conditionally accepted for publication with minor revision in European Journal of Operational Research).

Shibata, T. and Yamazaki, H. 2010. Strategic investment timing under asymmetric access charge regulation in telecommunications. European Journal of Operational Research, 207, 1689-1701.

〈発　表　資　料〉

題　　名	掲載誌・学会名等	発表年月
Investment strategies between three asymmetric firms	日本オペレーションズリサーチ学会 平成 26(2014)年度秋季大会	2014 年 9 月

Strategic entry in a triopoly market of firms with asymmetric cost structures	Tokyo Metropolitan University, Management, Research Paper Series 151	2015年7月
Strategic entry in a triopoly market of firms with asymmetric cost structures	European Journal of Operational Research	Conditionally accepted for publication
Market structure and R6D investment spillovrs	Economic Modelling	2014年12月