不確実性下での戦略的研究開発投資と経済厚生

松 村 敏 弘

概　要

複占モデルを用いて戦略的な研究開発投資競争と不確実性の関係について分析する．本論文では2種類のモデルを分析する．モデル1は，研究開発投資の増加が，成功した場合の生産費用の削減幅を大きくするモデルである．モデル2は，研究開発投資の増加が，投資が成功する確率を増加させるモデルである．モデル1では，均衡における研究開発投資の水準が過小になり，補助金政策等で投資を刺激することが経済厚生を改善する．一方モデル2では，研究開発投資は過小にも過大にもなりうる．このモデルでは比較的リスクの低い（成功確率が高くなる）種類の投資水準は過大となり，リスクの高い種類の投資は過小になる．つまり，研究開発投資が促進されるべきであるか抑制されるべきであるかは投資の性質や目的に決定的に依存する．

キーワード
2段階ゲーム，費用削減投資，コミットメント，不確実性，研究開発補助金

1. 序

日本企業の競争力を考える上でも，マクロ的な経済成長の問題を考える上でも，研究開発投資が如何に決まるのかという問題は非常に重要である．研究開発投資を考える上では，公的部門による基礎的な研究に対する投資も重要である．しかし現実の日本経済では民間部門による研究開発投資が大きなウエートを占めている．さらに，その民間部門による研究開発投資の大きな部分は，完全競争市場とはほど遠い，比較的少数の企業がしのぎを削る寡占市場において行われている．本論文ではこのような寡占市場における民間企業による研究開発投資を，企業間の戦略的な相互依存関係と，投資にまつわる不確実性という2つの視点から分析する．

本論文では費用削減的な研究開発投資の経済厚生に与える影響を，不確実性を明示的に導入することによって再検討する．研究開発の不確実性をそのモデルの不可欠な要素として導入している特許競争に関する膨大な文献と対照的に，戦略的なコミットメントゲームの典型としての費用削減的な研究開発投資の文献では不確実性を取り扱われることは殆どなかった．戦略的な研究開発投資競争の論文は数多く存在するが[1]，ほとんどの論文では研究開発は確実に成功すると仮定されている．疑いもなく研究開発が常に成功することはあり得ず，したがってこの問題で不確実性を考えることは重要である．

この論文では，Brander and Spencer (1983) およびLahiri and Ono (1999) によって議論された戦略的研究開発投資モデルに不確実性を導入する．研究開発が一定の確率で失敗するモデルを使って，均衡における研究開発投資水準が経済厚生の観点から見て効率的な水準を上回るのか下回るのかを分析する．この論文では2つのモデルを議論する．第一のモデルは，企業の研究開発投資額の増加が投資が成功したときにより大きな費用削減をもたらすタイプのモデルである．第二のモデルは，企業の研究開発投資額の増加が投資が成功する確率を高めるモデルである．この論文では二つのモデルが異なる結果をもたらすことを明らかにする．第一のモデルでは，投資水準は常に過小になる．第二のモデルでは投資水準は過大にも過小にもなりうる．具体的には比較的高い確率で成功する状況では投資水準は過大となり，均衡においても低い確率でしか成功しないようなリスキーな状況では投資水準は過小となる．これらの結果は，研究開発投資が促進されるべきであるか抑制されるべきであるかは企業がどのような目的でその資金を使うのかに依存することを示している．

この論文では標準的な二段階戦略的コミットメントゲームを用いる．第一段階では各企業は費用削減投資の水準を決め，第二段階ではクールノー・タイプの数量競争を行う．このタイプの研究開発投資競争に関しては既に多くの論文が存在する．しかし，Lahiri and Ono (1999) が指摘するように研究開発補助金に関する研究は，その現実世界での重要性に比して非常に少ない．彼らは（研究開発競争前の）事前的な非対称性がこの問題を考える上で非常に重要であることを明らかにした．この論文では，事前的には対称的な企業を取り扱う．不確実性を考えることによって，二つの企業の間に事後的な非対称性が一定の確率で発生する．この論文では，研究開発投資に対する補助金の問題を考えるに際しては，事後的な非対称性も重要であることを明らかにした．

この論文は以下の節で構成されている．まず第2節ではモデルを提示し，続いて第3節

1) Brander and Spencer (1983), Spence (1984), d'Aspremont and Jacquemin (1988), Suzumura (1992), Okuno-Fujiwara and Suzumura (1993), Matsumura (1995, 2003b), 及びLahiri and Ono (1999) を参照せよ．

では均衡における投資水準を分析する．第4節では均衡における投資水準を，総余剰を最大化する投資水準と比べてその性質を明らかにする．第5節では結論を述べる．

2. モデル

二段階複占モデルを考える．企業1と企業2はゲームが始まる前の段階では同質であるとする．

第一段階で，各企業は費用を削減するための研究開発投資を行う．企業 $i\,(i=1,2)$ は（ライバル企業が成功したか否かと無関係に）確率 $q_i \in (0,1)$ でこれに成功する．ci を企業 i の限界費用とする．限界費用は生産量に依存せず一定である．企業 i が研究開発に成功した場合，この企業の限界費用は $c_i=c-\Delta_i$ となり，失敗した場合には $c_i=c$ となるとする．

この論文では2つの種類のゲームを考える．一つは各企業 i が $q_1=q_2=q\,(>0)$ を与えられたものとして，Δ_i を選択するモデルである．このモデルでは研究開発投資の増加は成功した場合の費用を削減することになる．もう一つのモデルは $\Delta_1=\Delta_2=\Delta\,(>0)$ を与えられたものとして，各企業 i が q_i を選択するモデルである．このモデルでは研究開発投資の増加は成功確率を増加させることになる．$I(\Delta_i, q_i)$ は投資費用関数である．$I(\Delta_i, q_i)$ は2回連続微分可能な増加関数で，更に凸関数であるとする．

第二段階で，各企業は同質的な財を生産する．需要関数は $p=a-Y$ で与えられる．ここで p は価格，Y は2企業の生産量の合計である．y_i を各企業 i の生産量とする．各企業 i は独立に y_i を選ぶ（クールノー競争）．

3. 均　衡

均衡概念として部分ゲーム完全均衡を用いる．ゲームを後方帰納法を用いて解く．

これ以降上付き添え字‘E’は均衡を表すものとする．第二段階のクールノーゲームにおいて各企業は c_1，c_2 を所与として同時に生産量を決める．その結果均衡における生産量 y_i^E 及び利潤 π_i^E は以下のようになる．

$$y_i^E=\frac{(a-2c_i+c_j)}{3},\quad \pi_i^E=\frac{(a-2c_i+c_j)^2}{9}-I(\Delta i, q_i)\,(i,j=1,2,\ i\neq j). \tag{1}$$

第一段階で期待利潤は以下のように与えられる．

$$E[\pi_i]=\frac{1}{9}[q_i q_j(a-c+2\Delta_i-\Delta_j)^2+q_i(1-q_j)(a-c+2\Delta_i)^2+(1-q_i)q_j(a-c-\Delta_j)^2$$
$$+(1-q_i)(1-q_j)(a-c)^2]-I(\Delta_i,q_i). \tag{2}$$

まず，$q_1=q_2=q$ を所与として各企業が i が Δ_i を決めるモデルを考える．利潤最大化のための一階条件は以下のようになる．

$$\frac{4q}{9}(-q\Delta_j+2\Delta_i+a-c)-\frac{\partial I}{\partial \Delta_i}=0. \tag{3}$$

これ以降，対称均衡（各企業が同じ投資量を選ぶ均衡）に絞って議論する．$\Delta_1=\Delta_2=\Delta$ を (3) に代入すると以下の式を得る．

$$\frac{4q}{9}(-\Delta_q+2\Delta+a-c)=\frac{\partial I}{\partial \Delta}. \tag{4}$$

$\Delta^E(q)$ を均衡における技術革新の大きさとする．これは (4) から得られる．

次に，$\Delta_1=\Delta_2=\Delta$ を所与として各企業が i が q_i を決めるモデルを考える．利潤最大化のための一階条件は以下のようになる．

$$\frac{4\Delta}{9}(-q_j\Delta+\Delta+a-c)-\frac{\partial I}{\partial q_i}=0. \tag{5}$$

$q_1=q_2=q$ を (5) に代入して以下の式を得る．

$$\frac{4\Delta}{9}-(-q\Delta+\Delta+a-c)=\frac{\partial I}{\partial q}. \tag{6}$$

$q^E(\Delta)$ を均衡における成功確率とする．これは (6) から導出される．

4. 結　果

ここで，次のような次善問題を考える．第二段階でクールノー競争が行われることを前提に，政府が総余剰を最大化するように第一段階での各企業の行動を決定できる状況を考える．

まずはじめに各企業が費用削減の大きさを決めるモデルを考える．$q_1=q_2=q$ を所与として，政府が総余剰を最大化するように $\Delta_1=\Delta_2=\Delta$ を決める．その後各企業はクールノー競争をする．消費者余剰 CS と総余剰 W は以下のように与えられる．

$$CS=\frac{1}{2}Y^2=\frac{(2a-c_1-c_2)^2}{18}, \tag{7}$$

$$W=CS+\pi_1+\pi_2. \tag{8}$$

総余剰の期待値は以下のようになる．

$$E[W] = \frac{1}{9}[4q^2(a-c+\Delta)^2+4(1-q)^2(a-c)^2 \\ +q(1-q)(8a^2+8c^2+11\Delta^2-16ac+8a\Delta-8c\Delta)]-2I(\Delta, q). \tag{9}$$

最大化のための一階条件は

$$\frac{q}{9}(-7q\Delta+11\Delta+4a-4c) = \frac{\partial I}{\partial \Delta} \tag{10}$$

となる．これ以降 $\Delta^*(q)$ を，この効率的な費用削減幅であるとする．これは (10) から導出される．この効率的な水準と均衡におけるそれを比較した結果が，次の命題1である．

命題1：$\Delta^*(q) \geq \Delta^E(q)\ \forall q \in (0,1]$ で，等号が成り立つための必要十分条件は $q=1$ である．

証明：(10) 式の左辺と (4) 式の左辺の差は $\Delta(1-q)q/3$ となる．$0<q\leq 1$ であるからこれは非負で，等号は $q=1$ の時のみ成り立つ．$I(\Delta)$ は凸関数であることから命題1が得られる． **証明終**.

不確実性がなければ均衡における投資量は効率的なものになる（つまり $\Delta^*(1)=\Delta^E(1)$ となる）ことは，既に Brander and Spencer (1983) が証明している[2]．命題1は不確実性が入ることによって効率的な費用削減幅と均衡におけるそれとの間に乖離が生じることを表している．ここで，何故そのようなことがおこるのかについて直感的に説明してみよう．Δ_1 の増加は企業1が投資に成功したケースでの企業1の利潤を増やし，経済厚生にも影響を与える．企業1が成功したケースにおいて，Δ_i の増加は企業2から企業1への生産代替をもたらす．確率 $1-q$ で，企業2の生産費用は c であり，これは企業1の費用 $c-\Delta$ よりも高い．したがって，上記の生産代替は生産部門全体の総費用を削減し経済厚生を高める．企業1はこの効果を考えることなく Δ_1 を選ぶので，Δ_1 を増加させる誘因は過小となる．この効果は $1-q=0$ であれば発生しないので，不確実性がないときにはこの問題は発生しない[3]．

この結果は Lahiri and Ono (1988) と密接な関係がある．彼らは，相対的に費用の高い企業の費用の増加は，費用の高い企業から低い企業への生産の移転（生産代替）を引き

---

2) 彼らは，もし $p''>(<)0$ であれば $\Delta^*(1)>(<)\Delta^E(1)$ となることも示している．通常の仮定の下で，需要関数が線形でなくとも不確実性は Δ^* よりもより大きく Δ^E を減らすために $p''<0$ のケースでも $\Delta^*<\Delta_E$ となることがあり得る．逆に $p''>0$ ならば $\Delta^*>\Delta^E$ が成り立つ．

3) この論文での本質的な点は不確実性ではなく**事後的**な費用格差である．仮に各企業の成功・失敗がライバル企業のそれと独立ではなくある種の相関があったとする．例えば両企業が成功する確率が $(1+r)/4$ で企業1だけが成功する確率が $(1-r)/4$（r は相関係数）であったとする．このとき $\Delta^*\geq\Delta^E$ であり，等号が $r=1$ の時のみ成り立つことになる．もし2企業のプロジェクトが完全に相関していれば生産代替は決しておこらず，したがって均衡投資量が過小になることはない．特許競争の文脈でのこの相関に関しては Cardon and Sasaki (1998) を参照されたい．

起こし，その結果経済厚生が改善することがあることを明らかにした[4]．このモデルでは Δ の増加は事後的な費用の非対称が現れたケース（片一方だけが投資に成功したケース）においてこの厚生改善を促す生産代替をもたらす．したがって，この投資は補助金によって促進されるべきである．この結果は Lahiri and Ono の原理は企業が事前的には同質的であるときにも重要であることを示している．

次に，研究開発投資によって投資が成功する確率が増加するモデルを考える．仮に $\Delta_1=\Delta_2=\Delta$ を与えられたものとして，総余剰を最大化する $q_1=q_2=q$ が決められたとしよう．その後で，各企業はクールノー競争を行うとする．余剰最大化のための一階条件は

$$\frac{\Delta}{18}(11\Delta+8a-8c-14\Delta q)=\frac{\partial I}{\partial q} \tag{11}$$

となる．$q^*(\Delta)$ を，この効率的な成功確率であるとしよう．これは（11）式から導出される．

命題 2：$q^*(\Delta)\leq q^E(\Delta)$ であるための必要十分条件は $q^E(\Delta)\geq 1/2$ である．

証明：(11) 式の左辺と (6) 式の左辺の差は $\Delta(1-2q)/6$ となる．$\Delta>0$ であるのでこれが非正となるための必要十分条件は $q\geq 1/2$ である．$I(q)$ が凸関数であることから命題 2 が得られる．　**証明終．**

命題 2 は，均衡における成功確率が 1/2 よりも小さければ，均衡における研究開発の水準は過小であることを示している．言い換えれば，相対的に成功が難しい研究開発投資の水準は過小になるのである．図 1 と図 2 は研究開発投資の社会的限界利益と私的限界利益の関係を表している．図 1 は相対的に開発が難しく，結果的に q^E が低くなるケースを，図 2 は逆にそれが高くなるケースを表している．

ここで，命題 2 の直感を説明しよう．投資をしなかったときの成功確率が 0.1 で，これが投資によって 0.2 に増える，という状況を考えよう．仮に企業 2 が投資に失敗していたらとする．その場合企業 2 の費用は c である．ここで企業 1 の費用が c から $c-\Delta$ に低下したとする．この企業 1 の費用低下は企業 1 の利潤を増やすだけでなく企業 2 から企業 1 への生産代替をもたらす．企業 1 の方が企業 2 より低い費用で生産できるのでこの生産代替は経済厚生を改善する．企業 1 はこの効果を考慮しないで投資量を選ぶので，企業 1 の投資水準は過小になる．逆に，仮に企業 2 が既に研究開発に成功し，生産費用が $c-\Delta$ になっていたとする．ここで，企業 1 の費用が c から $c-\Delta$ に低下したとする．この企業 1 の費用低下は，企業 2 から企業 1 への生産代替をもたらす．企業 1 の成功，失敗の如何を

4) 経済厚生を改善する生産代替効果は貿易，垂直的取引制限，直接投資，混合寡占など様々な分野で議論されている．この議論に関しては Brander (1981), Ono (1990), Riordan (1998), Matsumura (1998, 2003a, 2004), Lahiri and Ono (1998), Ushio (2000), Matsushima and Matsumura (2003) を参照せよ．

図 1

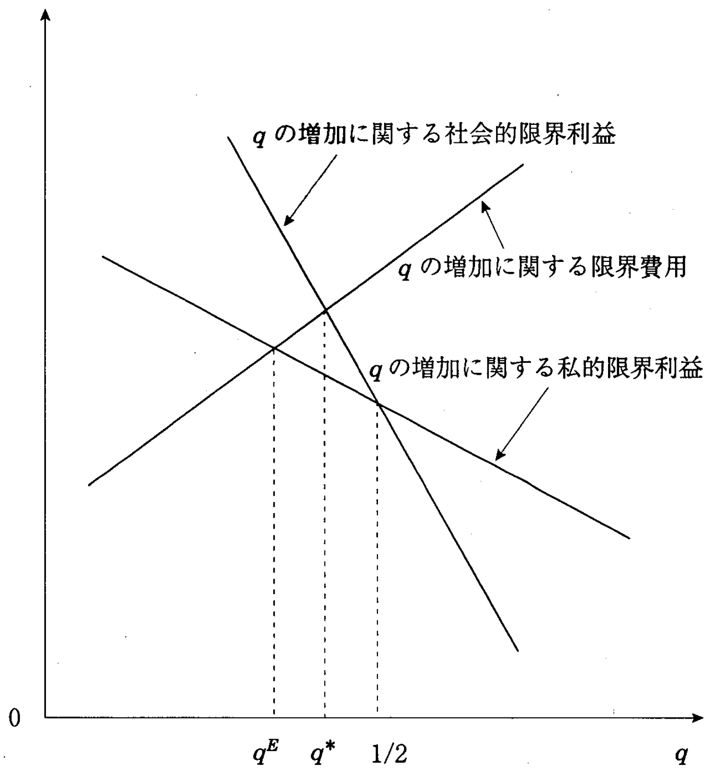
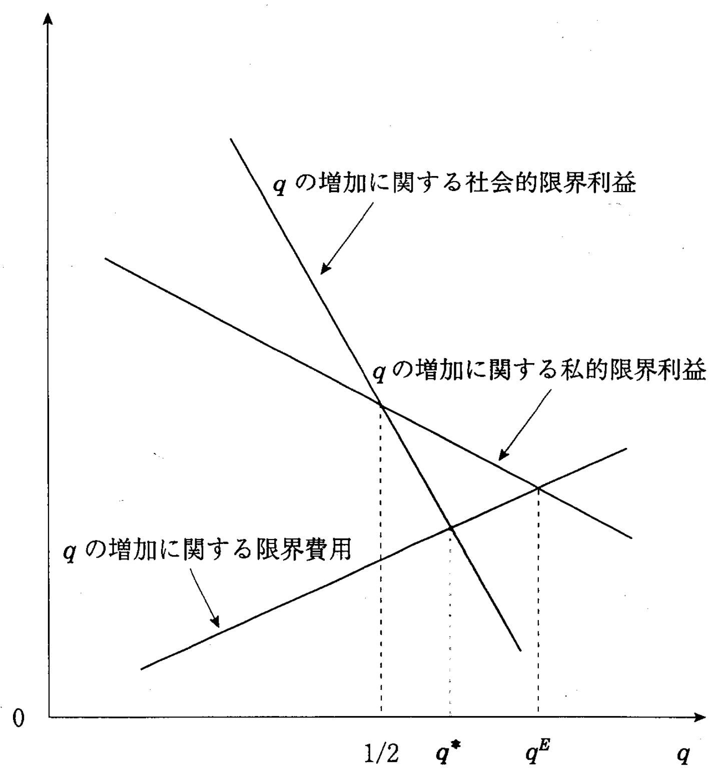


図 2



問わず企業 2 は効率的に生産できる企業である．この生産代替は経済厚生を損なう．したがって，企業 2 が投資に失敗したケースとは逆に，結果的に企業 1 の投資の誘因は過大となる．つまり，企業 2 が投資に失敗したことを所与とすれば，企業 1 の投資の誘因は過小

となり，企業2が投資に成功したことを所与とすれば，企業1の投資の誘因は過小となる．もし均衡におけるq_2が低ければ前者の効果が後者を上回り，企業1の投資の誘因過小となる．逆にもし均衡におけるq_2が低ければ前者の効果が後者を下回り，企業1の投資の誘因過大となる．

この結果は，命題1と大きく異なっている．例えば，命題1の証明からわかるように，最初の費用削減幅を決めるゲームでは，研究開発投資の社会的な利益と私的な利益の差は$q(1-q)$に比例しており，これは$q=0.5$の時に最大となる．一方，命題2からわかるように，成功確率を決める2番目のゲームでは$q=0.5$のときに研究開発投資の社会的な利益と私的利益は一致し，したがって研究開発に対する税も補助金も不要となる．これらの結果は，最適な研究開発に対する税・補助金政策は実際に行われる研究開発の種類に依存していることがわかる．別の例としては，比較的安全な研究開発投資に関する補助金の効果が挙げられる．例えばq＝0.6のケースを考えよう．最初のゲームでは研究開発補助金は費用削減幅を拡大させ経済厚生を改善する．逆に，2番目のゲームで研究開発補助金は成功確率を改善しこれが経済厚生を損ねることになる．したがって，研究開発補助金の望ましさは，研究開発投資の目的に決定的に依存しているのである．

命題2は内生変数であるq^Eを使って投資量の過大・過小を議論している．もし投資関数を特定化すれば，この結果を外生変数だけを使って表現することも可能である．命題3はその一つの例である．

命題3：投資費用関数が$I_i=\gamma(\Delta q_i)^2$であったとする．$q^*(\Delta)\leq q^E(\Delta)$となるための必要十分条件は$\gamma\leq\bar{\gamma}\equiv(2\Delta+4a-4c)/(9\Delta)$である．

証明：上記の投資費用関数を（6）式に代入すると以下の式を得る．

$$q^E=\frac{2(\Delta+a-c)}{9\Delta\gamma+2\Delta}. \tag{12}$$

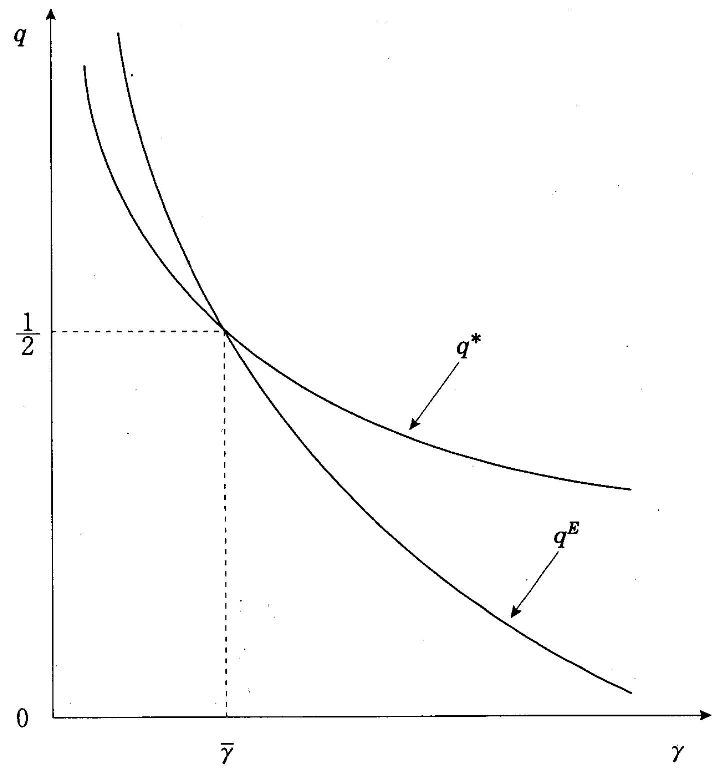
不等式$q^E\geq 1/2$を解くと

$$q^E\geq 1/2 \iff \gamma\leq\frac{2\Delta+4a-4c}{9\Delta}. \tag{13}$$

を得る．（13）式と命題2から命題3を得る．　**証明終．**

もし他の条件を一定とすれば，より大きなγのもとではq^*，q^Eともに小さくなる．図3はγ，q^*及びq^Eの関係を表したのものである．$\gamma>(<)\bar{\gamma}$であれば$q^*>(<)q^E$となり，両者は$\gamma=\bar{\gamma}$の時に一致することになる．

図 3



5. 結　語

この論文では標準的な費用削減研究開発投資競争モデルに不確実性を入れ，研究開発投資と経済厚生の関係を分析した．この論文では次の二つのモデルを分析した．一つは研究開発投資の増加が費用削減幅を大きくするモデル（モデル 1)，もう一つは投資の増加がその成功確率を高めるモデル（モデル 2）である．

2 つのモデルでは全く異なる結果が得られた．モデル 1 では均衡における投資量は常に過小になる．それに対して，モデル 2 では投資量は過剰にも過小にもなりうることが明らかにされた．また，モデル 2 においてはより成功確率の低いリスキーな投資は補助金等によって促進されるべきであることが明らかになった．しかしこの性質はモデル 1 のようなタイプの投資に関しては正しくない．これらの結果は，研究開発投資が促進されるべきか否かはその投資の性質に依存することを示している．

現実には，多くの国で様々な研究開発投資に関する優遇措置が取られている．この論文は，このような政策を導入するに当たっては，研究開発投資の性質を慎重に見極める必要があることを示唆している．

引用文献

Brander, J. A. (1981), "Intra-industry Trade in Identical Commodities." *Journal of International Economics*, **11**, pp. 1-14.

Brander, J. A. and Spencer, B. J. (1983), "Strategic Commitment with R&D : The Symmetric Case." *Bell Journal of Economics*, **14**, pp. 225-235.

Cardon, J. H. and Sasaki, D. (1998), "Preemptive Search and R&D Clustering." *RAND Journal of Economics*, **29**, pp. 324-338.

d'Aspremont, C. and Jacquemin, A. (1988), "Cooperation and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillover." *American Economic Review*, **78**, pp. 1133-1137.

Lahiri, S. and Ono, Y. (1988), "Helping Minor Firms Reduces Welfare." *Economic Journal*, **98**, pp. 1199-1202.

Lahiri, S. and Ono, Y. (1998), "Foreign Direct Investment, Local Content Requirement, and Profit Taxation." *Economic Journal*, **108**, pp. 444-457.

Lahiri, S. and Ono, Y. (1999), "R&D Subsidies under Asymmetric Duopoly : A Note." *Japanese Economic Review*, **50**, pp. 104-111.

Matsumura, T. (1995), "Endogenous Timing in Multi-stage Duopoly Games." *Japanese Economic Review*, **46**, pp. 257-265.

Matsumura, T. (1998), "Partial Privatization in Mixed Duopoly." *Journal of Public Economics*, **70**, pp. 473-483.

Matsumura, T. (2003a), "Consumer-benefiting Exclusive Territories." *Canadian Journal of Economics* **36**, pp 1007-1025.

Matsumura, T. (2003b), "Strategic R&D Investments with Uncertainty." *Economics Bulletin*, **12**(1), pp. 1-7.

Matsumura, T. (2004), "Strategic Complementarity in Direct Investments," forthcoming in *Review of Development Economics*.

Matsushima, N. and Matsumura, T. (2003), "Mixed Oligopoly and Spatial Agglomeration." *Canadian Journal of Economics*, **36**, pp. 62-87.

Okuno-Fujiwara, M. and Suzumura, K. (1993), "Symmetric Cournot Oligopoly and Economic Welfare : A Synthesis." *Economic Theory*, **3**, pp. 43-59.

Ono, Y. (1990), "Foreign Penetration and National Welfare under Oligopoly." *Japan and the World Economy*, **2**, pp. 141-154.

Riordan, M. H. (1998), "Anticompetitive Vertical Integration by a Dominant Firm." *American Economic Review*, **88**, pp. 1232-1248.

Spence, M. (1984), "Cost Reduction, Competition, and Industry Performance." *Econometrica*, **52**, pp. 101-121.

Suzumura, K. (1992), "Cooperative and Non-cooperative R&D in an Oligopoly with Spillovers." *American Economic Review*, **82**, pp. 1307-1320.

Ushio, Y. (2000), "Welfare Effects of Commodity Taxation in Cournot Oligopoly." *Japanese Economic Review*, **51**, pp. 268-273.

(October 3, 2003)