イノベーションと利潤：経済学的シミュレーション

広島大学社会科学研究科　　　吹春　俊隆

序

本フォーラムにおける副題1,「知的創出とアジア太平洋地域の経済繁栄」，において暗黙の内に仮定されているのは「知的創出はアジア太平洋地域の経済繁栄につながる」という命題である．Time も2006年10月30日号（pp.46-54）で Asia's Science Revolution というカバー・ストーリーを掲載し，そこで述べられているように中国政府が多額の資金を科学研究に供給しているのは，中国政府も Time もこの命題は正しい仮定しているからであろう．経済学においても，1960 年代より，経済成長論の論議において，イノベーションによる生産関数のシフトは経済成長を促進すると主張してきた．本稿ではこの命題を改めて取上げ，経済学的吟味を行う．

例えば自動車を考察すると，1880年代，自動車が発明され，1903年に設立されたフォード社は流れ作業というイノベーションにより生産関数のシフトを可能とし，T型フォードの生産拡大はフォード社を大きくしたのみならずアメリカ経済をも拡大させたと言われる．このことは上述の命題が正しいことを証明しているように見える．T型フォードの価格も低下を続け，購入者も恩恵を受け，フォード社の労働者の雇用も拡大を続けた．しかし，フォード社の利潤もこれによって拡大したであろうか．筆者の知る限り，ほとんど例外なしに経済成長論では生産関数は1次同次性を持つと仮定され，生産関数のシフトのあるなしに関わらず利潤は常にゼロである．ただし，この場合，企業の経営資源に対する報酬（正常利潤，normal profit）は保障され，それ以上の余剰（利潤）はないという意味であると解釈されている．本論稿では生産関数が m 次同次（$m<1$）であり正常利潤以上の「余剰」利潤が正である場合に，生産関数のシフトは当該企業にどのような影響を与えるかというテーマを一般均衡論的アプローチにより吟味することからスタートする．

1.　生産関数のシフトと利潤

本節ではイノベーションと利潤の関連を生産関数のシフトという側面より吟味する．ある商品が，その生産関数のシフトにより，これまでと同一の投入で以前より多くの生産が可能になつたと仮定しよう．もしその商品価格が変化しなかつたと仮定すれば利潤の増加が期待される．しかし供給の増加は価格の低下をもたらし，生産要素投入量の変化は要素価格の変化をもたらすので最終的に利潤にどのような変化が生じるのかを吟味するには需要行動と供給行動を吟味することに帰着する．このような吟味を行うのが一般均衡論である．後々の応用のために，しかし計算を容易にするために，同質の財を２生産要素を用いて生産する二つの同一企業と一つの集合的家計からなる経済を想定する．ただし，一つの生産要素は労働という可変的生産要素，もう一つの生産要素は既に投入された土地あるいは資本といった固定的生産要素であると仮定する．

それぞれの企業は労働投入，L，既に投入された固定的要素投入量，Y，を用いて同一商品の生産を行う．本節ではＹは両企業にとつて同一であると仮定する．企業は生産関数，$x=f(L,Y)$，を持ち，完全競争企業として利潤最大行動により労働投入を需要し，商品を供給する．ここで x は商品の生産量である．完全競争企業としての利潤極大行動より派生する労働需要関数を $L_d(p,w)$，商品の供給関数 $x_s(p,w)$ と置く．ただし p は商品価格，w は労働賃金率である．集合的家計は余暇，ℓ，商品の消費，x，を変数とする効用関数，$u(,\ell,x)$，を持ち，企業よりの利潤，π’，と労働所得からなる予算制約のもとで効用を最大にする．ただし，この家計は余暇の初期保有，$\underline{\ell}$，を持つ．この効用最大化行動より導出される余暇需要関数を $\ell_d(p,w,\pi')$，商品需要関数を $x_d(p,w,\pi')$ とすると労働供給関数は $L_s(p,w,\pi')=\underline{\ell}-\ell_d(p,w,\pi')$ で定義される．一般均衡論は総ての市場での需給一致をもたらす市場価格の導出・吟味を行う．本節の経済モデルにおける一般均衡は次の市場均衡で定義される．

$$L_s(p,w,2\pi)=2\,L_d(p,w) \qquad \text{（労働市場）} \qquad (1\text{-}1)$$

$$x_d(p,w,2\pi)=2\,x_s(p,w) \qquad \text{（商品市場）} \qquad (2\text{-}1)$$

$$\pi=px_s(p,w)-wL_d(p,w) \qquad (3\text{-}1)$$

さてπ= $px_s(p,w)-wL_d(p,w)$ なる企業利潤は生産関数のシフトが起こつた時にどのように変化するであろうか．実際に市場均衡条件を満たす市場価格を導出してシフト前とシフト後の企業利潤を吟味する．そのために生産関数と効用関数の特定化を行う．

1.1:　生産関数がCobb-Douglas型の場合

生産関数と効用関数を以下のように特定化する．

$$x=f(L,Y)=kL^{a1}Y^{a2}\quad (k>0,\ a_1+a_2<1) \qquad (4\text{-}1)$$

ここでkはイノベーションのレベルを表し生産関数のシフト・パラメータである．また，$m=a_1+a_2<1$と仮定しており，この生産関数はm次同次関数であるから一般均衡において正の利潤が生じる.効用関数は本論稿を通じて以下のようなCobb-Douglas型が仮定される．

$$u\ (,\ell,x)=\ell^{b1}x^{b2}\quad (b_1,\ b_2>0) \qquad (5)$$

(4-1)および(5)なる特定化を行うと，労働をニュメレールと置いて（w=1）商品の一般均衡価格p*は

$$p^*=(2^{-1+a1}a_1^{-a1}b_2^{1-a1}(a_1b_2+b_1)^{-1+a1}\underline{\ell}^{1-a1}Y^{-a2})/k \qquad (6\text{-}1)$$

となる．即ち，k が上昇して生産関数がシフトすれば(6)より，p*は低下する．そこでこの(6-1)を企業利潤関数に代入すると一般均衡における利潤，π*，は

$$\pi^*=(1-a_1)b_2\underline{\ell}/(2a_1b_2+b_1) \qquad (7\text{-}1)$$

となり，kの上昇からは独立であることが分る．この一般均衡において達成される集合的家計の効用水準，u*，は，A を a_1，a_2，b_1，b_2 より成る定数と置いて

$$u^*=Ak^{b2}Y^{a2b2} \qquad (8\text{-}1)$$

となる.商品の生産におけるイノベーションはその商品の市場価格を下落させ，一般国民の厚生水準を増進させ，企業利潤は不変であることが示された．

以上のモデルは自動車など一般的な商品生産におけるイノベーションを考察したとは言えても，農業におけるイノベーション，「緑の革命」，を考察したとは言いがたい．と言うのは「緑の革命」とはコメや小麦の生産に於けるイノベーションであるが，中間投入である苗が新種の苗となり，コメの生産関数がシフトしたと考えられるからである．また，農家はその苗を別の企業から購入しなければならない．そこで「緑の革命」を具現化したイノベーションを考察してみよう.以下ではモデルを変更してこれまで考察してきた企業を農家とし，生産関数を

$$x=f(L,Y)=L^{a1}(kY)^{a2} \quad (k>0,\ a_1+a_2<1) \qquad (4\text{-}2)$$

に変更する．ここで Y は固定的生産要素ではなく，種苗会社から購入しなくてはならない可変的生産要素，苗，である．新しく第 3 の企業，種苗会社，が導入される．この企業の生産関数は

$$Y=g(L_A)=L_A^{c} \quad (0<c<1) \qquad (9)$$

と仮定される．この苗の価格を r と置くと，完全競争企業として農家の労働需要関数は $L_d(p,w,r)$，苗需要関数は $Y_d(p,w,r)$，商品（コメ）の供給関数 $x_s(p,w,r)$ となり，完全競争企業として種苗会社の労働需要関数は $L_{Ad}(w,r)$，苗の供給関数は $Y_s(w,r)$ となる．モデル変更後の一般均衡条件は以下のようになる．

$$L_s(p,w,2\pi+\pi_A)=2L_d(p,w,r)+L_{Ad}(w,r) \quad \text{（労働市場）} \qquad (1\text{-}2)$$

$$x_d(p,w,2\pi+\pi_A)=2x_s(p,w,r) \quad \text{（商品市場）} \qquad (2\text{-}2)$$

$$2Y_d(p,w,r)=Y_s(w,r) \quad \text{（苗市場）} \qquad (10)$$

$$\pi=px_s(p,w,r)-wL_d(p,w)-rY_d(p,w,r),$$

$$\pi_A=rY_s(w,r)-wL_{Ad}(w,r) \qquad (3\text{-}2)$$

この 3 市場の需給を一致させる均衡価格ベクトル，{p*, w*, r*}，を一般的に計算するのは必ずしも本論稿の目的ではないので，以下のようにパラメータの特定化を行う．

$$a_1=a_2=1/4,\ b_1=b_2=1/2,\ c=1/3,\ \underline{\ell}=10 \qquad (11\text{-}1)$$

(11-1)なる特定化を行った時，労働をニュレールと置けば（w=1），商品の一般均衡価格 p*，苗の一般均衡価格 r*は

$$p^*=3^{3/4}5^{2/3}/(2^{1/2}k^{1/4}),\ r^*=3\ 5^{2/3}/4 \qquad (6\text{-}2)$$

となる．即ち，「緑の革命」による中間投入である苗の新種発明はコメの価格を下落させるが，苗の価格は不変である．そこで，利潤に対する影響を見てみよう．

$$\pi^*= p^*x_s(p^*, w^*, r^*) - w^*L_d(p^*, w^*) - r^*Y_d(p^*, w^*, r^*)=1.875,$$
$$\pi_{A^*}=r^*Y_s(w^*, r^*) - w^*L_{Ad}(w^*, r^*)=1.25 \qquad (7\text{-}2)$$

と，どの企業の利潤も k の値からは独立となる．この一般均衡において達成される集合的家計の効用水準，u*，

$$u^*=3^{5/8}5^{2/3}k^{1/8}/(2^{3/4}) \qquad (8\text{-}2)$$

となる．モデル変化前と全く同様に，「緑の革命」による中間投入である苗の新種発明はコメの市場価格を下落させ，一般国民の厚生水準を増進させるが，企業利潤は不変であることが示された．

この結論は「緑の革命」というイノベーションにおいて少なくとも企業の利潤が下落することはないので社会的に望ましい状況をもたらすと言えよう．しかし，この結論はロバスト（頑健）なものか，生産関数の仮定を変更して異なるシミュレーションを行ってみよう．経済学で用いられる生産（効用）関数は Cobb-Douglas 型以外に，CES 型がある．そこで生産関数を CES 型に変更して異なるシミュレーションを行ってみる．

1.2: 生産関数が CES 型の場合

イノベーションを体現した CES 型生産関数は以下のように定義される．

$$x=f(L,Y)=\{L^{-t}+(kY)^{-t}\}^{-m/t} \qquad (4\text{-}3)$$

(4-3)はm次の同次関数となる．ここでtはパラメータであり，要素代替の弾力性を意味する．一般均衡における正の利潤を保障するため$m<1$を仮定する．要素代替の弾力性に関して$t>0$と$t<0$の場合を区別して吟味する．

1.2.1：t<0の場合

まず，以下のようにパラメータを特定化する．

$$m=1/2,\ t=-1/2,\ b_1=b_2=1/2,\ c=1/3,\ \ell=10 \qquad (11\text{-}2)$$

(11-2)なる仮定のもとで，k=1の時，

$$\{r^*,p^*,w^*\}=\{1.73927,2.14631,1\}, \qquad (6\text{-}3)$$

$$\pi^*=1.81381,\ \pi_{A^*}=0.88287, \qquad (7\text{-}3)$$

$$u^*=4.95229 \qquad (8\text{-}3)$$

を得る．次に(11-2)なる仮定のもとで，k=10と置くと，

$$\{r^*,p^*,w^*\}=\{3.05178,1.37065,1\}, \qquad (6\text{-}4)$$

$$\pi^*=2.00867,\ \pi_{A^*}=2.052, \qquad (7\text{-}4)$$

$$u^*=6.86286 \qquad (8\text{-}4)$$

を得る．すなわち，「緑の革命」というイノベーションにおいて両タイプの企業の利潤も上昇するので社会的にCobb-Douglas型の生産関数の場合より望ましい状況をもたらすと言えよう．

1.2.1：t>0の場合

次に，以下のようにパラメータを特定化する．

$m=1/2$，$t=1/2$，$b_1=b_2=1/2$，$c=1/3$，$\underline{\ell}=10$　　　(11-3)

(11-3)なる仮定のもとで，k=1 の時，

$\{r^*, p^*, w^*\}=\{2.433063,\ 9.9259365, 1\}$，　　　(6-5)

$\pi^*= 1.91013$，$\pi_{A^*}= 1.46076$，　　　(7-5)

$u^*= 2.42513740$　　　(8-5)

を得る．次に(11-3)なる仮定のもとで，k=4 と置くと，

$\{r^*, p^*, w^*\}=\{2.0026867,\ 6.5341759, 1\}$，　　　(6-6)

$\pi^*= 1.84848$，$\pi_{A^*}= 1.09086$，　　　(7-6)

$u^*= 2.892533$　　　(8-6)

を得る．すなわち，「緑の革命」というイノベーションは集合的家計の効用水準を増加させるが両タイプの企業の利潤は共に下落する．これまでとは異なる結果となった．

図 1

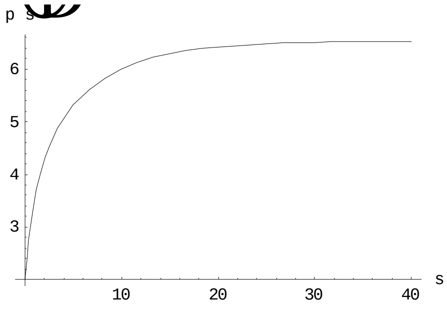

図 2

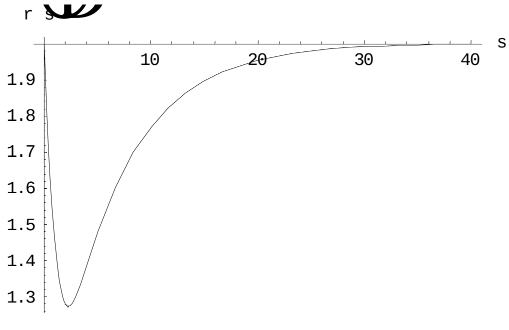

図 1 および図 2 はコメの価格，および苗の価格の初期価格を 2 と置いて，微分方程式で表現されたワルラス的価格調整過程において時間，s，と共にコメの価格，p[s]，および

苗の価格，r[s]，が(6.6)で求められた一般均衡価格へ収束している状況をグラフで示したものである．すなわち，(6-6）なる均衡は動学的に安定である．全く同様の動学的シミュレーションにより（6-5）なる均衡は動学的に安定であることを示すことができる.（ナッシユ・ゲームにおいては，pathological な場合に均衡は不安定となる場合がある．Fukiharu [2005]参照.）

これまでのシミュレーションにより，「緑の革命」というイノベーションは生産関数の型からは独立に集合的家計の効用水準を増加させるが，その時，両タイプの企業の利潤は生産関数の型によって増加したり，不変であったり，下落する場合があるという結果となった．

2. イノベーションを通じた資本蓄積と利潤

前節で吟味したのはイノベーションが言わば空から降ってくる場合であった.イノベーションにはむしろそのイノベーションが具現化された資本(機械や工場など）を増加させることにより生産量の増大が可能となる場合が多い．本節ではこのような場合を考える．すなわち，(4-1)において，k は一定のパラメータで，L は連続的に調整されるが Y は間歇的に調整される資本であると仮定する．本節では前節とは異なり，単純化をして，中間投入物としての資本財生産企業の存在は無視する．この二つの企業は「内部留保」により資本財の間歇的調節を行うと仮定する．この資本財は外国よりもたらされると考えておく．

さて，第 1 企業と第 2 企業の資本投入量は異なりうるので第 i 企業の資本を Y_i と区別する（i=1,2）．第 i 企業が Y_i を選択した後で完全競争企業として利潤極大行動より派生する労働需要関数を $L_{id}(p,w,Y_i)$，商品の供給関数 $x_{is}(p,w,Y_i)$ と置く．集合的家計の効用最大化行動より導出される余暇需要関数を $\ell_d(p,w,\pi_1+\pi_2)$，商品需要関数を $x_d(p,w,\pi_1+\pi_2)$ とすると労働供給関数は $L_s(p,w,\pi_1+\pi_2)=\underline{\ell}-\ell_d(p,w,\pi_1+\pi_2)$ で定義される.ただし，π_i は第 i 企業からの利潤である．前節と同様に一般均衡論は総ての市場での需給一致をもたらす市場価格の導出・吟味を行う.本節の経済モデルにおける一般均衡は次の市場均衡で定義される．

$$L_s(p,w,\pi_1+\pi_2)= L_{1d}(p,w,Y_1)+ L_{2d}(p,w,Y_2) \qquad \text{（労働市場）} \qquad (1\text{-}3)$$

$x_d(p, w, \pi_1+\pi_2)= x_{1s}(p, w, Y_1)+ x_{2s}(p, w, Y_2)$　　（商品市場）　(2-3)

$\pi_i= px_{is}(p, w, Y_i)-wL_{id}(p, w, Y_i)$　(i=1, 2)　(3-3)

本節のモデルの特徴は，それぞれの企業は財市場では完全競争企業であるが，イノベーションを具現化した資本（設備）の選択においてはゲーム的な状況にあるという点である．

2.1:　生産関数が Cobb-Douglas 型の場合

　このゲームを構築するに当たり，まず，第 1 企業と第 2 企業の資本投入量が同量である場合からスタートしよう．両企業の資本を $Y_1=Y_2=1$ であったと仮定する．両企業の生産関数が(4-1)なる Cobb-Douglas 型であり（ただし k=1），集合的家計の効用関数が(5)で与えられる時，パラメータを(11-1)と仮定すれば(1-3)～(3-3)を満たす一般均衡解は次のようになる．

$\{p^*, w^*\}=\{4, 1\}$,　(6-7)

$\pi_1^*= 3$,　$\pi_2^*= 3$　(7-7)

そこで第 1 企業が内部留保を用いて資本を増加させ $Y_1=10$ にしたとしよう．ただし $Y_2=1$ である．これ以外の仮定を前と同じであるとすれば，(1-3)～(3-3)を満たす一般均衡解は次のようになる．

$\{p^*, w^*\}=\{2.84211, 1\}$,　(6-8)

$\pi_1^*= 4.09792$,　$\pi_2^*= 1.90208$　(7-8)

(7-7)と(7-8)の比較より，資本を増加させればその企業は利潤を増加させることができるが，資本を増加させなかった企業の利潤は減少する．そこで第 2 企業も内部留保を用いて資本を増加させ $Y_2=10$ にしたとしよう．(1-3)～(3-3)を満たす一般均衡解は次のようになる．

$\{p^*, w^*\}=\{2\ 2^{3/4}/5^{1/4}, 1\}$,　(6-9)

$\pi_1{*}=3$，$\pi_2{*}=3$　　(7-9)

結局，お互いが資本を同額に増加させれば，利潤に関しては元の状態に戻ることが示された．それならば，お互いに負担の少ない $Y_1=Y_2=1$ の状況へ戻るであろうか．Nash 非協力ゲームの枠組みで考えると $Y_1=Y_2=1$ の状況へ戻ることはない．これを示すのに第 i 企業の戦略集合を $\{Y_i=1, Y_i=10\}$ であると仮定しよう $(i=1,2)$．それぞれの企業の利得を利潤であると考えれば利得行列は以下のようになる．

表 1-1

	$Y_2=1$	$Y_2=10$
$Y_1=1$	3	1.90208
$Y_1=10$	4.09792	3

（企業 1 の利得行列）

表 1-2

	$Y_2=1$	$Y_2=10$
$Y_1=1$	3	4.09792
$Y_1=10$	1.90208	3

（企業 2 の利得行列）

表 1-1 と表 1-2 を吟味すると Nash 非協力ゲームの解は $\{Y_1=10, Y_2=10\}$ のみである．同一の利潤を得るためにより負担の大きい資本投下をせねばならないという意味であまり効率的ではない状況が発生している．この帰結は生産関数に関する仮定に依存しているかどうかを吟味しよう．

2.2: 生産関数が CES 型の場合

イノベーションを体現した CES 型生産関数は(4.3)で定義された．(4-3)は m 次の同次関数であり，第 1 節と同様に一般均衡における正の利潤を保障するため $m<1$ を仮定する．同じく，要素代替の弾力性に関して $t>0$ と $t<0$ の場合を区別して吟味する．

2.2.1：t<0 の場合

(11-2)なる仮定のもとで，$k=1$ の時，2.1 と全く同様の手順を用いれば，第 i 企業の戦略集合を $\{Y_i=1, Y_i=10\}$，それぞれの企業の利得を利潤であると考えて利得行列を計算すると

以下のようになる．

表 2-1

	Y_2=1	Y_2=10
Y_1=1	3	2.13949
Y_1=10	5.47744	4.24951

（企業 1 の利得行列）

表 2-2

	Y_2=1	Y_2=10
Y_1=1	3	5.47744
Y_1=10	2.13949	4.24951

（企業 2 の利得行列）

表 2-1 と表 2-2 を吟味すると Nash 非協力ゲームの解は｛Y_1=10, Y_2=10｝のみである．2.1 の場合と異なり，{Y_1=1, Y_2=1}なる戦略の組み合わせが選ばれた時よりも高い利潤となり，両企業にとって望ましい状況が発生している．

2.2.2：t>0 の場合

第 1 節と同様に(11-2)を仮定する． (11-2)なる仮定のもとで，k=1 の時，2.1 と全く同様の手順を用いれば，第 i 企業の戦略集合を{Y_i=1, Y_i=10}，それぞれの企業の利得を利潤であると考えて利得行列を計算すると以下のようになる．

表 3-1

	Y_2=1	Y_2=10
Y_1=1	3	1.77001
Y_1=10	3.30651	2.32051

（企業 1 の利得行列）

表 3-2

	Y_2=1	Y_2=10
Y_1=1	3	3.30651
Y_1=10	1.77001	2.32051

（企業 2 の利得行列）

表 3-1 と表 3-2 を吟味すると Nash 非協力ゲームの解は｛Y_1=10, Y_2=10｝のみである．｛Y_1=1, Y_2=1｝なる戦略の組み合わせが選ばれた時よりも低い利潤となり，両企業にとって望ましくない状況，「囚人のディレンマ」，が発生している．

3. 終わりに

「知的創出」を新製品の創出と考えれば，先行企業は一種の独占企業として莫大な利潤を獲得できるであろう.しかし,ほとんどすべての商品市場について新規参入が発生する.上で述べた 1903 年設立のフォードの例では 1908 年に GM が設立されている．新規参入以降の「知的創出」とは多くの場合，本論稿で考察したような生産関数のシフトという局面が注目されるようになるであろう.本論稿はこのような局面を経済学的シミュレーションにより分析したものである.「知的創出はアジア太平洋地域の経済繁栄につながる」という命題には留意すべき点があるとするというのが本論稿の結論である．まず，第 1 節ではイノベーションにより社会構成員の家計部門は恩恵を受けるが,企業部門は必ずしもそうではないということが明らかとなった．次に，半導体産業において，日本，韓国，および台湾の間で，設備投資拡充競争が著しく，製品価格の低迷を通じて各国企業の業績が低下していると言われるが，これは本論稿第 2 節（2.2.2）のような状況である．ただしここで吟味されたような生産関数の特質によって半導体産業の業績悪化が生じているのかどうかは定かでない．

また，インドで灌漑用の水不足により農民の自殺が指摘されている（『NHK スペシャル』「ウォーター・クライシス：水は誰のものか」②枯れ果てる大地，2005 年 8 月 27 日)．すなわち，インドでは「緑の革命」のお陰で飢饉が回避されたとの評価があるなかで，このイノベーションは水の利用を必須要件としているので水不足が大きな問題になっていると言われる.第 1 節の分析によれば,確かにいかなる生産関数の仮定のもとでも集合的家計の効用水準は上昇する．しかし第 2 節の分析の結果，ここで仮定した，いかなる生産関数のもとでも Nash 非協力ゲームの解は｛Y_1=10, Y_2=10｝のみである．インドの「緑の革命」において，井戸掘削の費用は各農民が自らの資金で賄うと言われている．そこで，第 2 節の Y_i を水量であると仮定すれば,「緑の革命」というイノベーションは各農家により深い井戸の掘削を要求し,水資源という一定の資源のもとでは井戸水が枯れてしまう農家も発生してしまい，なかには自殺を選ぶ農家も生じてしまうのであると考えられる．この意味では，資源問題という側面からすれば，イノベーションに伴う自由な競争には留意すべき点があることを本論稿は示している．

参考文献

吹春俊隆　[1991]，「日米欧経済摩擦:自動車産業」，神戸大学経済学研究年報，第 37 巻，pp.21-84.

Fukiharu, T., [2005], "The Reform of Higher Education in Japan: A Game-Theoretic Analysis of Intensified Competition", Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation*, Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 1007-1013. ISBN: 0-9758400-2-9.