

## 自然選択のタイプと企業多様性：

### 内生的経済成長理論の進化論的拡張\*

矢野浩一†

岡田多恵‡

#### 概 要

本稿では内生的経済成長モデルを拡張し、自然選択の三分類（安定化選択・方向性選択・分断選択）に基づく企業の参入・退出モデルを構築する。本稿のモデルでは広く知られた内生的経済成長モデルに企業の適応度を導入し、それに応じて企業の参入・退出・産業間移動が行われる。その際に三分類（安定化選択・方向性選択・分断化選択）それぞれの経済全体の集約生産性と企業の多様性をシミュレーションする。その結果、安定化選択と方向性選択を用いて企業の参入・退出が実施された場合、企業の多様性が減少するが、集約生産性が大きく改善される。それに対して分断選択を用いた場合は企業の多様性が増加するが、集約生産性の改善は小さい。そのため、安定化選択と方向性選択の方が短期的な集約生産性の向上には向いているが、企業の多様性が減少するため、将来の環境変化 [技術革新、大災害を含めた環境変化、社会の変化など] には弱くなるものと考えられる。特に環境が激変した場合の集約生産性の落ち込みは大きくなると考えられる。それに対して、分断選択は短期的な集約生産性の向上には向いていないが、企業の多様性が増加するため、将来的な環境の変化には比較的頑強であると考えられる。

*Key Word:* Total factor productivity, Entry and exit, Natural selection, Directional selection, Stabilizing selection, Disruptive selection, Firm dynamics

#### 目 次

1	はじめに	26
2	自然選択と適応関数	27
2.1	安定化選択・方向性選択・分断選択	27
3	自然選択と内生的経済成長モデル	28
3.1	イノベーションと参入・退出	29
3.1.1	技術フロンティアとイノベーション	29
3.1.2	参入・退出と企業ダイナミクス	31
3.2	生産	32
3.2.1	最終財市場	32
3.2.2	中間財市場	32

\* 研究を進めるにあたり、有益なコメントを頂いた小川一夫教授、村松幹二准教授に感謝します。

† 駒澤大学経済学部 E-mail: koiti.yano@gmail.com.

‡ 大阪大学大学院経済学研究科博士後期課程 E-mail: tae\_teagkt@yahoo.co.jp

3.3 適応度と産業間移動	33
3.4 集約と多様性	34
<b>4 シミュレーション</b>	<b>34</b>
4.1 設定とアルゴリズム	34
4.2 シミュレーション	35
<b>5 結論と今後の課題</b>	<b>36</b>

## 1 はじめに

進化の発想を経済学に取り入れようとした先行研究は極めて多く、その代表的例として Nelson and Winter (1985) などを挙げるができる<sup>1</sup>。彼らは進化に倣い企業の自然選択を考慮に入れた経済成長モデルを構築した。また、日本経済における企業の自然選択について分析した Peek and Rosengren (2005), Nishimura et al. (2005) などでは1990年代に企業の自然選択メカニズムが十分に働いていなかったとしている。これらの先行研究では進化の発想を「生産性の高い企業の企業が生き残り、生産性の低い企業は淘汰される」と理解している。

このように社会科学に進化（もしくは自然選択）の概念を導入しようとする試みは今まで何度か行われてきた。しかし、それらの試みの多くには生物学者からは批判を受ける社会ダーウィニズムの影響がみられる。たとえば生物学者である長谷川・長谷川 (2000) は、進化生物学の誤解、曲解の最たるものの一つが、社会ダーウィニズムの思想だと指摘している。<sup>2</sup> そして、彼らは上記の社会ダーウィニズムによる自然選択に対する誤解の一例としてヘンリー・フォードの以下のような言葉を引用している：「潰れる会社を救ってやる必要もないし、適者生存に負けた貧乏人を救済する必要もない」。さらに、彼らは、社会ダーウィニズムの誤りを以下のように指摘している。「第一の間違ひは、進化と進歩を単純に同一視し、『進化』は『進歩』

だと思っていたことでした。また進化は価値とはまったく無関係の現象で、どのような意味においても先験的な方向性を持つ過程ではありません。

つまり、企業の自然選択を『『良い』企業を残し、『悪い』企業を淘汰する』と解釈するのは自然選択（もしくは進化）への一面的な理解であり、『『悪い』企業』が生き残った』からと言って自然選択が働いていなかったとは言えない。また、将来的な環境の変動〔技術革新、大災害を含めた環境変化、社会の変化など〕を考慮に入れば、現在の優良企業が将来は不良企業に、現在の不良企業が将来の優良企業になる可能性もある。これらの長期における分析には企業の多様性という概念が重要であり、これまでの先行研究にはそれらの視点が欠けていることが多かった。その問題点を解消しようと提案されたのが本稿の手法である。

生物学における自然選択とは、環境における適応度に応じて生物の生存・死亡等が確率的に決まり、子孫を残す仕組みのことである。つまりこの仕組みでは適応度が比較的高い個体が比較的多く、逆に適応度が比較的低い個体が比較的少なく生存し、子孫を残す。この自然選択の発想は一般的にはチャールズ・ダーウィンの「種の起源（1859年）」に始まると考えられている。

長谷川・長谷川 (2000) はダーウィンが考えた自然選択を「(1) 生物の個体間には変異がある、(2) 変異の中には、個体の生存や繁殖に影響を及ぼすものがある、(3) そのような変異に

<sup>1</sup> Nelson and Winter によるその後の研究の進展は Nelson and Winter (2002) を参照されたい。また、関連文献としては Jovanovic (1982)、Hopenhayn (1992) がある。

<sup>2</sup> さらに彼らはこの社会ダーウィニズムの成立には、ハーバード・スペンサーの考えが大きな影響を与えた点、そもそも「適者生存」という言葉を作ったのはスペンサーで、ダーウィンでない点を指摘している。

は親から子へと遺伝するものがある、(4) 生き残るよりも多くの子供が生まれるので、個体間には競争が生じる、という4つの事実から、より環境に適した性質が集団中に広まっていく過程」であるとしている。

日本経済における企業の自然選択について分析した Peek and Rosengren (2005), Nishimura et al. (2005) などでは1990年代に企業の自然選択メカニズムが十分に働いていなかったとしている。これに対し、Okada and Horioka (2008) では、自然選択には三分類（安定化選択・方向性選択・分断選択）あり、これらの先行研究の結果からは方向性選択が働いていなかったことは言えても、安定化選択や分断選択が働いていなかったとは言えず、1990年代にも企業の分断選択としての自然選択メカニズムは働いていた可能性はあると指摘している。

自然選択が企業に働いたかどうかをモデル化するには企業の異質性を考慮に入れる必要がある。内生的成長モデルの標準の一つである Aghion and Howitt (1992) のシュンペーター型内生的経済成長モデルはそのような企業の異質性を考慮に入れたという面で我々の研究に出发点に適している。また、彼らのモデルのイノベーションの概念を用いることにより長期の生産性のモデル化も可能である。そのため、本稿では彼らのモデルの発展形である Acemoglu et al. (2006)、Aghion et al. (2005) を基盤にモデルを開発した。さらに本稿は、Okada and Horioka (2008) の指摘を発展させ、生物学における自然選択メカニズム（安定化選択・方向性選択・分断選択の三分類）の概念を企業の参入・退出・産業間移動と多様性に応用する方法とシミュレーションを提案する。本稿の手法は、Okada and Horioka (2008) に従い、分断選択という経済学では「忘れられていた」自然選択の一形態を分析に付け加えることで、より一般的な自然選択メカニズムの分析フレームワークを提供する。

本論文の構成は以下の通りである。第2節で自然選択と適応関数の3分類について説明する。さらに第3節で本論文の基本モデルを定式化し、第4節でシミュレーションを行う。最後に第5節で結論と今後の課題を述べる。

## 2 自然選択と適応関数

### 2.1 安定化選択・方向性選択・分断選択

自然選択は、Mather (1955), Mather (1973) で指摘されたように安定化選択・方向性選択・分断選択の三つに分類される。

安定化選択とは、選択が平均的な個体に有利に働く自然選択の様式であり、最も普通に存在する。安定化選択は、生物に関したある指標が、大きすぎる・小さすぎる極端な個体を排除される傾向にある選択である。生物学での例としては、ヒトの出生時の体重と死亡率の関係が挙げられる。<sup>3</sup> この場合の適応度をプロットすると図1となる。<sup>4</sup>

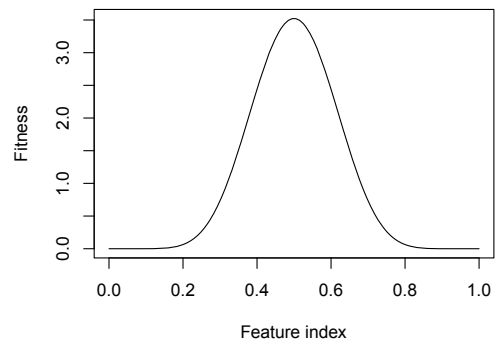


図1：適応関数（安定化選択）

次に、方向性選択とは、最適値が元の場所から移動した場合に出現する選択である。集団平均は元の位置から新しい最適値に向かって移動する。生物学の例では、ガラパゴスフィンチの大きさの変化が挙げられる。<sup>5</sup> この場合の適応度をプロットすると、図2になる。

<sup>3</sup> 異常に小さい新生児と異常に大きい新生児で死亡率が高く、さらに最適な出生時体重はほとんど出生時の平均体重はほとんど出生時の平均体重と一致している。

<sup>4</sup> 図1はベータ分布(26)（後述）を  $a = 10, b = 10$ 、図2では  $a = 5, b = 2$ 、図3では  $a = 0.9, b = 0.9$  と設定してプロットした。

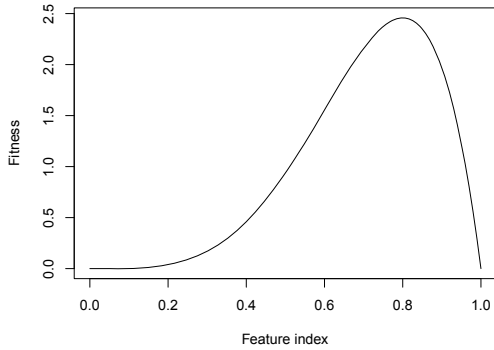


図2：適応関数（方向性選択）

最後に、分断選択とは、中間的な個体が淘汰され両極端な個体が有利になる選択で、適応度の極大値が複数みられる場合である。この場合の適応度をプロットすると、図3になる。

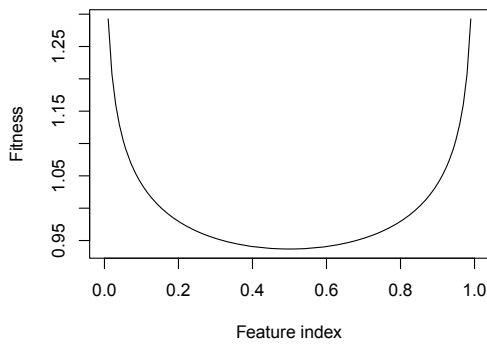


図3：適応関数（分断選択）

先述の自然選択の概念を日本の企業の参入・退出に応用する意義について述べる。類似の先行研究としては Peek and Rosengren (2005), Nishimura et al. (2005) があるが、これらの先行研究での自然選択の概念は方向性選択に限られている。それ対して、本稿では安定化選択・分断選択を考慮に入れている点に新規性がある。

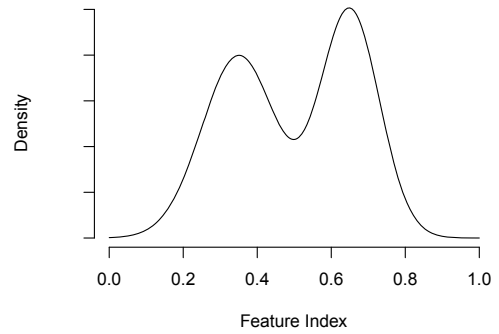


図4：企業の分布（分断選択の場合）

### 3 自然選択と内生的経済成長モデル

本論文は Acemoglu et al. (2006)、Aghion et al. (2005) の内生的経済成長モデルに企業の自然選択を取り入れたものである。それらの先行研究に従い、生産性の分析に注力するため、資本を省略した離散時間の経済を考える。その経済は  $i = [1, \dots, I]$  の産業に分割されており、それぞれの産業  $i$  は (1) 連続中間財  $v_i \in (0, l_{i,t})$  を生産する企業家  $v_i$  が存在する独占的競争市場と (2) 労働者が中間財から最終財を生産する完全競争市場から構成される。労働者の人口を  $l_{i,t}$  と表し、一人の労働者は企業家  $v_i$  と専属契約 (exclusivity contract) を結び、お互いに一対一対応している。また、中間財市場外に無限に大きな潜在的参入企業 (アウトサイダー) のプールを想定し、それらアウトサイダーは条件次第 (後述) でその市場に参入すると想定する。また、時間を通じて経済全体での人口は  $L$  に固定されていると仮定する。

Aghion and Howitt (2005), Aghion et al. (2005) 等に従い、企業家・労働者は每期生まれ1期のみ生存すると仮定する。企業家  $v_i$  は企業における生産と投資の決定を行い、期末に企業の利益を最大化し、利益を消費する。さらに企業家  $v_i$  は1単位の最終財を1単位の中間財  $v_i$  に変換する技術を有し、その生産技術は企業内で世

<sup>5</sup> 1977年の大干ばつによって、食料が減少すると小さな個体の死亡率が高まり、数年間で集団の体のサイズが大型化した。くちばしも細長くなる方向に変化した

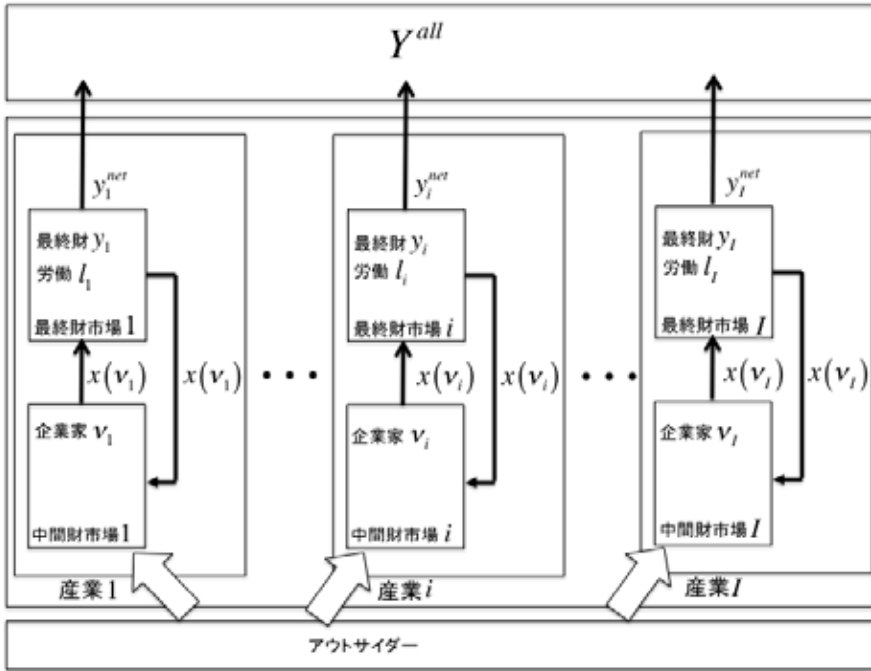


図5：民間部門の構造

代をまたがって継承される王朝モデルを仮定する。また、労働者は1に規格化された労働を非弾力的に供給し、期末に消費を最大化する。なお、労働者と企業の専属契約は世代をまたがって継承されると仮定する（王朝モデル）。そのため、最終財市場での労働力は労働力人口  $l_{i,t}$  に等しい。

以下ではまず各産業  $i$  における設定を行い、各企業の生産性とイノベーション投資を定式化し、その上で企業の参入・退出をモデル化する。次に適応度と企業の自然選択アルゴリズムを定式化する。そして最後に経済の集約量と企業の多様性を定義する。

### 3.1 イノベーションと参入・退出

#### 3.1.1 技術フロンティアとイノベーション

本節では Acemoglu et al. (2006) で提案された「技術フロンティア (technology frontier)」を産業  $i$  に導入し、それを基準に中間財企業  $v_i$  の生産性を定式化する。さらに企業のイノベーション投資と企業の参入・退出をモデル化する。最後に適用度に応じた企業の産業間移動を定式化

する。

技術フロンティアとは「産業  $i$  における  $t$  期の最高の技術水準  $\bar{A}_{i,t} > 0$ 」であり、外生的変化率  $0 \leq g_{i,t} \leq 1$  に依存して時間発展する。

$$\bar{A}_{i,t} = (1 + g_{i,t-1})\bar{A}_{i,t-1} \quad (1)$$

技術フロンティアを使って産業  $i$  内の中間財企業  $v_i$  の生産性は定式化できる。中間財企業  $v_i$  は、 $t$  期の期初 ( $t-1$  期の期末に等しい) の生産性に応じて2つに分類されるものと仮定する。

1. 先進企業：高生産性  $A_{i,t-1}(v_i) = \bar{A}_{i,t-1}$  を保有する企業
2. 後進企業：低生産性  $A_{i,t-1}(v_i) = \bar{A}_{i,t-2}$  を保有する企業

この分類は期初に先進企業は（前期末の）技術フロンティアに等しい技術力を有し、後進企業は技術のスピルオーバーにより最低でも  $\bar{A}_{i,t-2}$  の技術力は有することを意味している（後述）。

先進企業と後進企業は生産計画を決める前に、イノベーション投資（生産性を向上させるための投資）を実行できる。Aghion et al. (2005)に従い、このイノベーション投資は  $z_{i,t}$  の成功確率を持ち、投資コスト  $c_{i,t}(v_i)$  は成功確率と生産性で以下のように決まると仮定する。

$$c_{i,t}(v_i) = \frac{1}{2}(z_{i,t})^2 A_{i,t-j}(v_i), j = \{1, 2\} \quad (2)$$

投資が成功した場合、先進企業は  $t$  期の技術フロンティアに等しい生産性を獲得し、後進企業は  $t-1$  期の技術フロンティアに等しい生産性を獲得する。それに対して投資が成功しなかった場合、企業の生産性は初期状態（期初）のまま生産を行う。つまり、イノベーション投資実行後の企業の生産性は以下の4つに分類できる。

1. 先進企業（投資に成功）： $A_{i,t}(v_i) = \bar{A}_{i,t}$
2. 先進企業（投資に失敗）： $A_{i,t}(v_i) = \bar{A}_{i,t-1}$
3. 後進企業（投資に成功）： $A_{i,t}(v_i) = \bar{A}_{i,t-1}$
4. 後進企業（投資に失敗）： $A_{i,t}(v_i) = \bar{A}_{i,t-2}$

さらに産業  $i$  の中間財企業  $v_i$  はアウトサイド企業（アウトサイダー）との競争にさらされていると仮定する。条件次第でアウトサイダーは中間財  $v_i$  が存在する中間財市場  $v_i$  に参入し、中間財企業の収益をすべて奪う。

アウトサイダーは中間財企業のイノベーション投資の結果を観測し、中間財市場に参入するかを判断する。 $t$ 期のアウトサイダーに課される条件は以下のようなものである。

- アウトサイダーは期初に生まれ、1期のみ生存し、その期末に利益のすべてを消費する
- アウトサイダーは中間財企業  $v_i$  のイノベーション投資の成否を観測した後に中間財市場に参入するかどうかを決めることができる
- アウトサイダーは (1) 市場の外に留まり参入を見合わせる、(2) 政府に固定費用  $c_i$

を支払い、確率  $\mu_i$  で中間財市場で販売を行う許可を得る、という2つの戦略を取ることができる

- アウトサイダーは全産業で最大の技術フロンティア  $\max(\bar{A}_{1,t}, \dots, \bar{A}_{i,t}, \dots, \bar{A}_{I,t})$  に等しい生産性を有するが、ある産業  $i$  に参入した時には、その産業の技術フロンティア  $\bar{A}_{i,t}$  に制約される
- アウトサイダーは自分より低生産性の企業と競争する場合、完全に市場を奪い、中間財企業の利潤はゼロになる。逆に自分と同じ生産性（中間財企業が技術フロンティアに等しい生産性）を有する場合はベルトラン競争が起こり、双方の企業の利潤はゼロとなる。

以上の条件からアウトサイダーの市場への参入は中間財企業の期初の生産性とイノベーション投資の成否に依存して決まると分かる。まず、先進企業がイノベーション投資に成功した場合はアウトサイダーは市場に参入しない。なぜなら双方ともに技術フロンティアに等しい生産性を有するためベルトラン競争により双方の利潤がゼロになるためである。先進企業がイノベーション投資に失敗した場合にはアウトサイダーは市場に参入する。なぜならアウトサイダーの生産性が先進企業の生産性を上回るからである（図6参照）。また、後進企業の場合、イノベーション投資の成否と関係なくアウトサイダーは市場に参入する（図7参照）。

ここまでの条件から先進企業と後進企業のイノベーション投資に関する最適化問題を解くことができる。まず、産業  $i$  の先進企業  $v_i$  は (2) を所与とした場合、以下の期待生産性を最大化するように成功確率を  $z_{a,i,t}$  を決定すると仮定する。

$$\max_{\{z_{a,i,t}\}} \left\{ \gamma [z_{a,i,t} \bar{A}_{i,t} + (1 - z_{a,i,t})(1 - \mu_i) \bar{A}_{i,t-1}] - \frac{1}{2}(z_{a,i,t})^2 \bar{A}_{i,t-1} \right\}, \quad (3)$$

ただし、 $0 < \gamma \leq 1$  は企業の割引率である。その結果、先進企業の成功確率は以下のように決定

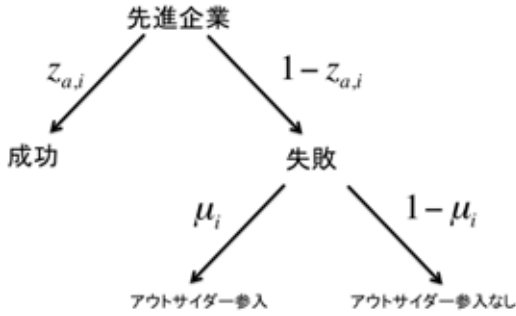


図6：先進企業のイノベーション投資

される。

$$z_{a,i,t} = \gamma(g_{i,t-1} + \mu_i), \quad 0 \leq g_{i,t-1} + \mu_i \leq 1 \quad (4)$$

この結果は  $t-1$  期の技術フロンティアの成長率  $g_{i,t-1}$  の増加とアウトサイダー参加確率  $\mu_i$  の増加がイノベーション投資を促進することを示している。

次に産業  $i$  の後進企業  $v_i$  は以下の期待生産性を最大化するように成功確率  $z_{b,i,t}$  を決定すると仮定する。

$$\max_{\{z_{b,i,t}\}} \left\{ \gamma [z_{b,i,t}(1-\mu_i)\bar{A}_{i,t-1} + (1-z_{b,i,t})(1-\mu_i)\bar{A}_{i,t-2}] - \frac{1}{2}(z_{b,i,t})^2\bar{A}_{i,t-2} \right\}, \quad (5)$$

その結果、後進企業の成功確率は以下のように決定される。

$$z_{b,i,t} = \gamma g_{i,t-2}(1-\mu_i) \quad (6)$$

この結果は  $t-2$  期の技術フロンティアの成長率  $g_{i,t-2}$  の増加がイノベーション投資を促進し、アウトサイダー参加確率  $\mu_i$  の増加がイノベーション投資を抑制することを示している。

### 3.1.2 参加・退出と企業ダイナミクス

産業  $i$  における企業の参加・退出と企業ダイナミクス（先進企業・後進企業の比率の時間変化）を定義する。

本論文における参加・退出のメカニズムはアウトサイダーの参加と既存企業の退出によって定式化される。前述のとおり  $t$  期にアウトサイダーに市場を奪われた中間財企業  $v_i$  の利潤はゼロになる。そのため、労働者に賃金を払えず、当該企業は市場から退出する。そして、 $t+1$  期から ( $t$  期の) アウトサイダーが中間財企業  $v_i$  として活動を継続する。参加・退出についてまとめると以下の通りである。

1.  $t$  期に先進企業が投資の成功した場合、 $t+1$  期に先進企業として活動を始める
2. それ以外の企業は  $t+1$  期になると  $\bar{A}_{i,t-1}$  の生産性を有する後進企業として活動を始める（これは投資に失敗した企業も技術のスピルオーバーにより技術力が自動的にアップグレードされることを仮定している）
3. ただし、 $t$  期にアウトサイダーに市場を奪われた中間財企業  $v_i$  の利潤はゼロになり、退出する。その代わりにアウトサイダーが  $t+1$  期から先進企業として活動を続ける。

そのため、 $t$  期の期初に産業  $i$  に占める先進企業の割合を  $a_{i,t}$ 、後進企業の割合を  $b_{i,t}(=1-a_{i,t})$ 、 $t$  期の期末の先進企業の割合を  $a'_{i,t}$ 、後進企業の割合を  $b'_{i,t}(=1-a'_{i,t})$ 、とするとそれらのダイナミクスは以下のように表される。

$$\begin{aligned} a'_{i,t+1} &= z_{a,i,t}a_{i,t} + \mu_i(1-z_{a,i,t})a_{i,t} + \mu_i b_{i,t} \\ b_{i,t} &= 1 - a_{i,t} \\ b'_{i,t} &= 1 - a'_{i,t} \end{aligned} \quad (7)$$

定常状態での先進企業・後進企業の比率をそれぞれ  $a_i^*$ 、 $b_i^*$  と表す。

$$\begin{aligned} a_i^* &= \frac{\mu_i}{1-z_{a,i,t}(1-\mu_i)} \\ b_i^* &= \frac{(1-\mu_i)(1-z_{a,i,t})}{1-z_{a,i,t}(1-\mu_i)} \end{aligned} \quad (8)$$

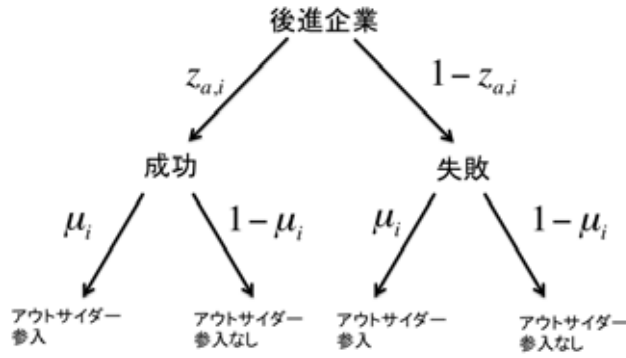


図7: 後進企業のイノベーション投資

### 3.2 生産

#### 3.2.1 最終財市場

産業  $i$  では  $t$  期に最終財市場で最終財  $y_{i,t}$  が以下の技術を用いて生産される（先述の通り最終財市場は完全競争市場であると仮定する）。

$$y_{i,t} = \frac{1}{\alpha} (l_{i,t})^{1-\alpha} \left[ \int_0^{l_{i,t}} \{A_{i,t}(\nu_i)\}^{1-\alpha} \{x_{i,t}(\nu_i)\}^{\alpha} d\nu_i \right], \quad (9)$$

ここで  $x_{i,t}(\nu_i)$  は産業  $i$  の中間財  $\nu_i$  の量、 $A_{i,t}(\nu_i)$  は産業  $i$  における中間財  $\nu_i$  に対する生産性、 $l_{i,t}$  は産業  $i$  における労働人口であり、 $\alpha \in (0, 1)$  は定数である。また最終財は、消費、中間財製造過程への投入、イノベーションへの投資に用いられる（以後、最終財をニューメラルとして用いる）。さらに経済全体での人口は  $L$  に固定されているため、以下の関係が成り立つ。

$$L = \sum_1^I l_{i,t} \quad (10)$$

#### 3.2.2 中間財市場

中間財市場  $\nu_i$  では、ただ一人の企業家  $\nu_i$  が最も高い生産性を有し、独占者として活動し、独占利益を享受する。さらにその独占企業家は1単位の最終財を1単位の中間財に変換する技術を有する。また、その中間財市場には競争的周縁（competitive fringe）が存在し、独占企業家の技術を盗み同じ中間財の生産を行うことが

できる。ただし、競争的周縁は（独占企業家抜きで生産が可能である代わりに）生産により高いコストを要する。つまり、1単位の中間財を生産するために  $\chi_i$  単位の最終財を必要とする（ただし、 $1 < \chi_i \leq 1/\alpha$ ）。

パラメーター  $\chi_i$  は市場がどの程度競争的であることを表す指標である。 $\chi_i$  が小さい場合、市場はより競争的であり、大きい場合は競争的ではないことを意味する。まず、 $\chi_i > 1$  であることは競争的周縁は独占企業家に対して生産性で劣ることを意味する。それに対して  $\chi_i \leq 1/\alpha$  であることは独占企業家の（競争的周縁の参入を妨げる）価格付けが十分に小さいことを意味する。以上の考察から独占企業家は自らの生産物の価格を競争的周縁の限界費用に等しく設定する。

$$p_{i,t}(\nu_i) = \chi_i \quad (11)$$

次に最終財市場が完全競争市場であることから、独占企業家  $\nu_i$  は以下の逆需要関数に直面する。

$$p_{i,t}(\nu_i) = \left( \frac{A_{i,t}(\nu_i) l_{i,t}}{x_{i,t}(\nu_i)} \right)^{1-\alpha} \quad (12)$$

式(11)、(12)を用いて均衡需要  $x_{i,t}(\nu_i)$  は以下のように算出される。<sup>6</sup>

$$x_{i,t}(\nu_i) = \chi_i^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_{i,t}(\nu_i) l_{i,t} \quad (13)$$



さらに独占企業家  $\nu_i$  の均衡利潤は以下のよう  
に決定される。

$$\pi_{i,t}(\nu_i) = [p_{i,t}(\nu_i) - 1]x_{i,t}(\nu_i) \quad (14)$$

$$= (\chi_i - 1)\chi_i^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_{i,t}(\nu_i)l_{i,t} \quad (15)$$

$$= \delta_i A_{i,t}(\nu_i)l_{i,t} \quad (16)$$

ここで  $\delta_i = (\chi_i - 1)\chi_i^{-1/(1-\alpha)}$  である。

### 3.3 適応度と産業間移動

$t$  期に産業  $i$  に新規参入したアウトサイダーは、期末に他産業  $i'$  ( $i \neq i'$ ) に移動して  $t+1$  期から他産業  $i'$  で活動することができる。なぜなら式 (16) から分かるように、アウトサイダーは技術フロンティアがより高い産業へ移動することでより大きな均衡利潤を得ることができるからである。アウトサイダーは参入前は全産業で最大の技術フロンティアに等しい生産性を有していたことに留意されたい。

アウトサイダーの流入が流出より多い場合は、当該産業の企業家数は増加し、逆の場合は当該産業の企業家数は減少する。アウトサイダーが流入・流出を行う理由は、アウトサイダーは本来は全産業において最高の技術フロンティアに等しい生産性を有するにも関わらず、自分が参入可能な産業の技術フロンティアがそれよりも低い場合、自分の本来の生産性よりも低い状態に甘んじることになるためである。つまり、参入した産業の技術フロンティアが自分の生産性よりも低い場合、アウトサイダーは技術フロンティアがより高い産業に移動するインセンティブを有する。また、アウトサイダーの移動と同時に専属契約を結ぶ労働者も移動する。なぜなら労働者も賃金の増加が見込めるからである。なお、言うまでもなく期末にアウトサイダーが移動することにより産業全体の規模が変化する。

第一に期末にアウトサイダーが自由に移動できる場合、アウトサイダーは最も技術フロンティアが高い産業に集合する。それは先述のようにアウトサイダーはその場合に最も大きな利潤を得ることができるためである。この場合、当然のことであるが、最も技術フロンティアが高い産業に企業家が集まってしまい、数期後には他の産業では企業家は極少数になるかゼロになる。他産業での企業家数がゼロになった時、経済の集約生産性は最も高くなる。

しかし、アウトサイダーが自由に移動できるケースと異なり、参入したアウトサイダーの産業間の移動に摩擦を想定することも可能である。たとえば、（技術フロンティアとは関係なく）政府が産業  $i$  のアウトサイダーが産業  $i'$  へ移動することを割り当てる、もしくは逆に制限するケースである。この場合、最も技術フロンティアが高い産業に企業家が集まるのが妨げられ、数期後に他の産業にも企業家が残存することになる。この場合は経済の集約生産性は最大にならない。

これらのケースを包括的に検討するため、本論文では  $t$  期末の各アウトサイダーの産業間移動は適応度によって決まると仮定する。つまり、適応度の定義を一般的に行うことにより最初のケースも第二のケースも検討できるようにする。<sup>7</sup> 一般化のため、産業  $i$  に固有の適応度  $f_i$  を割り当て、 $t$  期に参入したアウトサイダーは期末にその適応度に応じて産業毎に政府によって非復元抽出されることにより産業を移動すると想定する。たとえば、 $t$  期に産業  $i$  に参入したアウトサイダーが非復元抽出により産業  $j$  で選択された場合、アウトサイダーは政府によって産業  $i$  から産業  $j$  への移動を割り当てられたことを意味する。さらに様々なパターンの  $f_i$  を想定することによりアウトサイダー（それらは最も生産性が高い企業である）が経済全体の生産性を最大化するように配置や最大化しない

<sup>6</sup> なお、(13) を産業  $i$  内の先進企業、後進企業、アウトサイダー毎に集計することで、それぞれが産業  $i$  内でどの程度の市場占有率を有するかを計算することができる。

<sup>7</sup> なお、言うまでもないことだが、アウトサイダーが産業間移動することにより、期末に産業毎の規模は変化する。

配置などを分析できる。このようにより一般的に適応度  $f_i$  を定式化する理由は、すでにイントロダクションで述べたように1990年代の日本では必ずしも比較的生産性の高い企業が生き残ったとは言い切れないためである。つまり、適応度をより一般的に定式化することにより産業間の移動に摩擦のある場合・ない場合の双方の分析が可能になる。

なお、適応度  $f_i$  は非復元抽出の確率に用いるため、以下の条件を満たすと仮定する。

$$f_i > 0, \quad \sum_{i=1}^I f_i = 1, \quad i = \{1, \dots, I\} \quad (17)$$

### 3.4 集約と多様性

以上で産業  $i$  における定式化が終わったため、経済全体の集約量と企業の多様性について考える。

まず、式(9)、(13)を用いて産業  $i$  の総産出は以下のように得られる。

$$\begin{aligned} y_{i,t} &= \frac{1}{\alpha} (l_{i,t})^{1-\alpha} \left[ \int_0^{l_{i,t}} \{A_{i,t}(\nu_i)\}^{1-\alpha} \right. \\ &\quad \left. \{ \chi_i^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_{i,t}(\nu_i) l_{i,t} \}^{\alpha} d\nu_i \right], \\ &= \frac{1}{\alpha} \chi_i^{-\frac{\alpha}{1-\alpha}} A_{i,t} l_{i,t} \end{aligned} \quad (18)$$

ここで  $A_{i,t}$  は産業  $i$  の平均生産性を表し、以下のように定義する。

$$A_{i,t} \equiv \int_0^{l_{i,t}} A_{i,t}(\nu_i) d\nu_i. \quad (19)$$

賃金  $w_{i,t}$  は労働の限界生産性に等しくなるため

$$w_{i,t} = \frac{1}{\alpha} \chi_i^{-\frac{\alpha}{1-\alpha}} A_{i,t} \quad (20)$$

さらに産業  $i$  における純産出  $y_{i,t}^{net}$  は最終財  $y_{i,t}$  から中間生産物として使用された中間財を割り引いたものとして定義される。

$$y_{i,t}^{net} = y_{i,t} - \int_0^{l_{i,t}} x_{i,t}(\nu) d\nu \quad (21)$$

また、経済の集約産出と集約生産性は以下の積分で定義される。

$$Y_t^{all} = \int Y_{i,t} di \quad (22)$$

$$A_t^{all} = \int A_{i,t} di \quad (23)$$

さらに経済全体の技術成長率（集約生産性の成長率）は

$$g_t^{all} = \log \left( \frac{A_t^{all}}{A_{t-1}^{all}} \right) \quad (24)$$

経済の集約生産性と企業の多様性は参入・退出以前と以後では異なるはずである。集約生産性の変化を調べることで、企業の自然選択が経済全体に及ぼす影響を評価することができる。企業の多様性はシャノン指数（シャノン・エントロピー）を用いて評価することができる。<sup>8</sup>

$$H^I = - \sum_{i=1}^I p_i \log p_i \quad (25)$$

ここで  $p_i = l_i / L$  である。

## 4 シミュレーション

第3節で提案したモデルをモンテカルロ法を用いてシミュレーションする。

### 4.1 設定とアルゴリズム

本論文のモデルで最も重要な要素は安定化選択・方向性選択・分断性選択を表す適応度関数である。シミュレーションでは適応度関数をベータ分布を用いて近似する（確率密度関数は式(26)で与えられる）。

<sup>8</sup> シャノン指数は情報量を表すために Shannon (1948) によって導入された。この指数は生態学において多様性を示す指標（多様性指数）として使われることが多い。生態学における多様性指数の近年の動向については Tuomisto (2010) を参照されたい。

$$f(x; a, b) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1}(1-x)^{b-1} \quad (26)$$

シミュレーションに際しては、安定化選択では  $a = 10, b = 10$ 、方向性選択では  $a = 5, b = 2$ 、分断性選択では  $a = 0.9, b = 0.9$  を採用した（図 1, 2, 3 を参照されたい）。さらに、産業数は 100、1 産業における初期の企業数は 10000 で固定した。また、シミュレーションは 10 期間実施した。各産業のグロスの技術成長率は第 1 産業を 1.0%、第 100 産業を 3.0% とし、第 2 産業から第 99 産業までは 1.0% から 3.0% までの値を 0.02% ずつ増加させて定めた。これはアメリカ等の先進国の技術進歩率の平均値 2.0% 程度である点を参考に定めた。その他のパラメーターは表 1 に示す。

表 1: シミュレーション結果

パラメーター	値
シミュレーション期間	10
産業数	100
企業数 (1 産業)	10000
$\alpha$	0.3
$\gamma$	0.99
$\mu$	0.5
$\chi$	1.5
$\bar{A}_{i,0}$	1
初期の先進企業の割合	0.6

シミュレーション手順をまとめると以下の通りである。

- (1) 初期パラメーター・配列等を設定する
- (2) 先進企業は式 (4)、後進企業は (6) でイノベーション投資の成功確率を決定する
- (3) 3.1.2 節に従い、アウトサイダー企業が参入を決定する
- (4) 3.3 節に従い、アウトサイダーの産業間移動を行う
- (5) 式 (23) で自然選択後の集約生産性を計算する
- (6) 式 (25) で自然選択後の企業多様性を計算する

## 4.2 シミュレーション

安定化選択でのシミュレーション結果を図 8 に示す。図 8 左パネルは多様性の変化を示している。これは多様性が 4.6 程度から時間の経過に従って 3.8 程度まで低下していることを示している。また図 8 右パネルは第 10 期における第 1 産業から第 100 産業までの企業分布を示しており、アウトサイダー企業が適応度関数に従って移動した結果である。図 8 の右パネルから平均的な生産性の産業に企業が集合し、高生産性産業と低生産性産業には極めて企業数が少なくなっていることが分かるが、これは安定化選択の特徴である。左パネルの多様性の現象はこの安定化選択の特徴に従ったもので、初期状態と比較すると多様性が低下することが分かる。

方向性選択でのシミュレーション結果を図 9 に示す。図 9 左パネルは多様性の変化を示し、右パネルは第 10 期における第 1 産業から第 100 産業までの企業分布を示している。左パネルの結果から多様性が 4.6 程度から時間の経過に従って 4.0 程度まで低下していることが分かる。また左パネルは企業分布がより生産性の高い企業に偏っているが、これは方向性選択の特徴である。言うまでもなく経済の集約生産性は、安定化選択・分断性選択と比較して最も大きくなる。経済学で「企業の自然選択」として想定されているのはこの方向性選択である。

分断性選択でのシミュレーション結果を図 10 に示す。図 10 左パネルは多様性の変化を示し、右パネルは第 10 期における第 1 産業から第 100 産業までの企業分布を示している。左パネルの結果から時間が経過しても多様性が 4.6 付近から低下しないことが分かる。また左パネルは企業分布が第 1 産業から第 100 産業まで広く分布しているが、これは分断性選択の特徴である。つまり分断性選択では企業の多様性が失われず、将来的な環境変化に強くなると考えられるが、逆に安定化選択や方向性選択と比較して集約生産性は低くなる傾向がある。

上記の結果から、安定化選択と方向性選択の方が短期的な集約生産性の向上には向いている

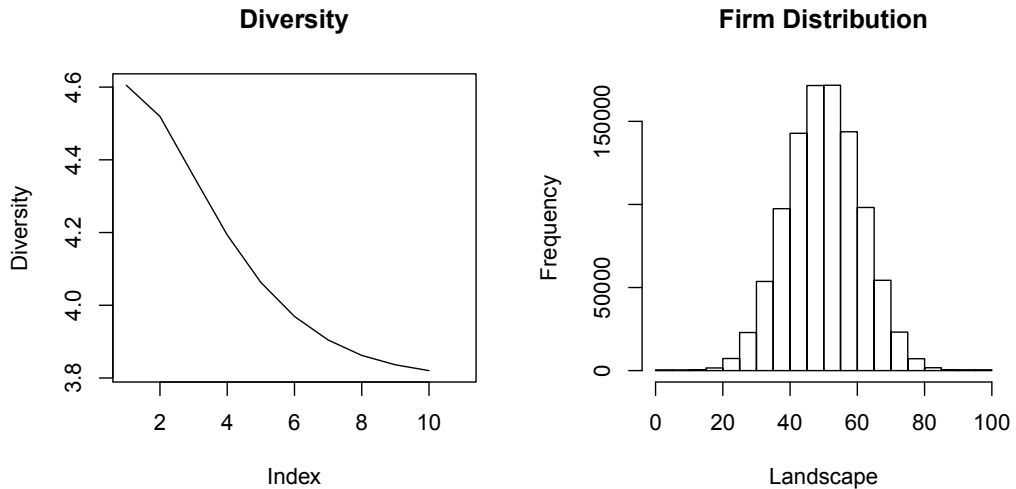


図8：安定化選択：多様性と企業分布

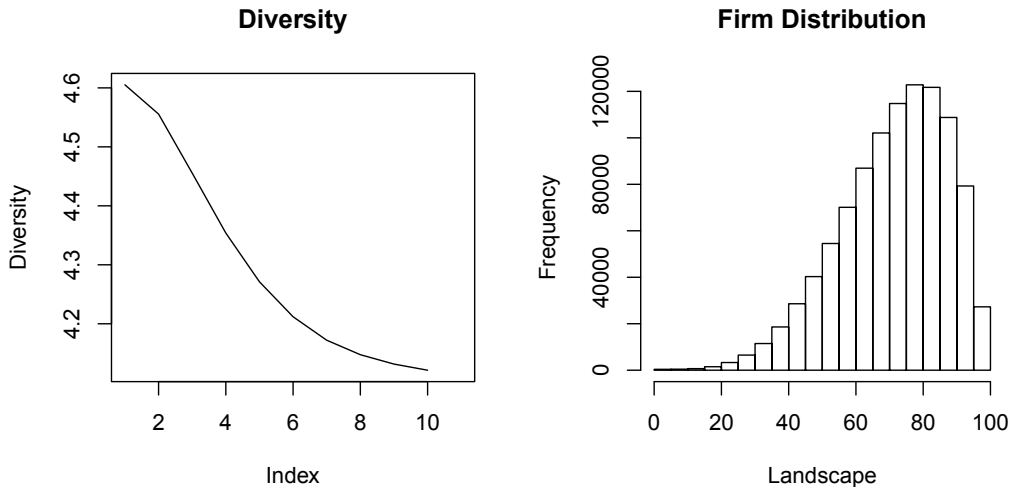


図9：方向性選択：多様性と企業分布

が、企業の多様性が減少するため、将来的な長期の環境の変化には弱くなるものと考えられる。特に環境が激変した場合の集約生産性の落ち込みは大きくなると考えられる。それに対して、分断選択は短期的な集約生産性の大幅な向上には向いていないが、企業の多様性が増加するため、将来的な長期の環境の変化には比較的頑強であると考えられる。

## 5 結論と今後の課題

本稿では内生的経済成長モデルを拡張し、自然選択の三分類（安定化選択・方向性選択・分断選択）に基づく企業の参入・退出・産業間移動モデルを構築した。本稿のモデルでは広く知られた内生的経済成長モデルに企業の適応度を導入し、それに応じて企業の産業間移動が行われる。その際に三分類（安定化選択・方向性選択・分断化選択）それぞれの経済全体の集約生産性と企業の多様性をシミュレーションした。

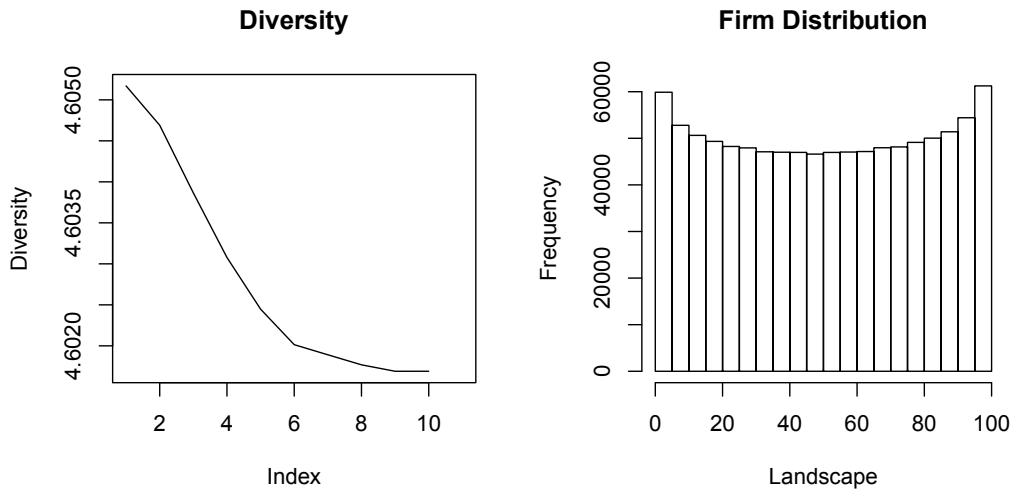


図 10：分断性選択：多様性と企業分布

シミュレーションの結果、以下のような結果が得られた。

1. 安定化選択と方向性選択を用いて企業の産業間移動が実施された場合、企業の多様性が減少するが、集約生産性が大きく改善される。
2. それに対して分断選択を用いた場合は企業の多様性が増加するが、集約生産性の改善は小さい。

この結果は自然選択の方式によって集約生産性（経済全体の生産性）の向上と企業の多様性は異なることを意味している。また、本稿の結果は以下のことを示唆している。

1. 安定化選択と方向性選択は短期の集約生産性の向上に優れているが、企業の多様性が低下するために環境の変動には比較的弱い
2. それに対して分断選択は短期の集約生産性の向上は小さいが、企業の多様性が増加するために環境の変動には比較的強い

このように自然選択の方式によって長期と短期のメリット・デメリットが異なる。

今後は、Okada and Horioka (2008) を踏まえて、日本企業のデータを用いた実証分析を行い、実際に分断選択が観測されるかどうかを確認する。特に 1990 年代に発生した金融機関から企業に対する貸し渋り・追い貸しが同時に起こったとすれば、分断選択でモデル化可能であると考えられる。<sup>9</sup> また、その上で本稿での手法と実証分析を統合した分析を行う予定である。

### 参考文献

- Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, and Fabrizio Zilibotti (2006) “Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth,” *Journal of the European Economic Association*, Vol. 4, No. 1, pp. 37-74, 03.
- Aghion, Philippe, Robin Burgess, Stephen Redding, and Fabrizio Zilibotti (2005) “Entry Liberalization and Inequality in Industrial Performance,” *Journal of the European Economic Association*, Vol. 3, No. 2-3, pp. 291-302, 04/05.

<sup>9</sup> 1990 年代の日本においては、貸し渋りが発生したとする分析（たとえば小川一夫 (2003), 小川一夫 (2009)）と追い貸しが発生したとする分析（たとえば Caballero et al. (2008)）が併存する。

- Aghion, Philippe and Peter Howitt (1992) "A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, pp. 323-51, March.
- (2005) "Growth with Quality-Improving Innovations: An Integrated Framework," in Aghion, Philippe and Steven Durlauf eds. *Handbook of Economic Growth*, Vol. 1 of Handbook of Economic Growth: Elsevier, Chap. 2, pp. 67-110.
- Caballero, Ricardo J., Takeo Hoshi, and Anil K. Kashyap (2008) "Zombie Lending and Depressed Restructuring in Japan," *American Economic Review*, Vol. 98, No. 5, pp. 1943-77, December.
- Hopenhayn, Hugo A (1992) "Entry, Exit, and Firm Dynamics in Long Run Equilibrium," *Econometrica*, Vol. 60, No. 5, pp. 1127-50, September.
- Jovanovic, Boyan (1982) "Selection and the Evolution of Industry," *Econometrica*, Vol. 50, No. 3, pp. 649-70, May.
- Mather, Kenneth (1955) "Polymorphism as an Outcome of Disruptive Selection," *Evolution*, Vol. 9, No. 1, pp. 52-61.
- (1973) *Genetical Structure of Populations*: Chapman and Hall.
- Nelson, Richard and Sidney Winter (1985) *An Evolutionary Theory of Economic Change*: Harvard University Press.
- (2002) "Evolutionary Theorizing in Economics," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, No. 2, pp. 23-46, Spring.
- Nishimura, Kiyohiko G., Takanobu Nakajima, and Kozo Kiyota (2005) "Does the natural selection mechanism still work in severe recessions?: Examination of the Japanese economy in the 1990s," *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 58, No. 1, pp. 53-78, September.
- Okada, Tae and Charles Yuji Horioka (2008) "A comment on "Nishimura, Nakajima, and Kiyota's Does the natural selection mechanism still work in severe recessions? Examination of the Japanese economy in the 1990s"," *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 67, No. 2, pp. 517-520, August.
- Peek, Joe and Eric S. Rosengren (2005) "Unnatural Selection: Perverse Incentives and the Misallocation of Credit in Japan," *American Economic Review*, Vol. 95, No. 4, pp. 1144-1166, September.
- Shannon, Claude (1948) "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379(423).
- Tuomisto, Hanna (2010) "A consistent terminology for quantifying species diversity? Yes, it does exist.," *Oecologia*, Vol. 164, No. 4, pp. 853(860).
- 小川一夫 (2003) 『大不況の経済分析』, 日本経済新聞社.
- (2009) 『「失われた10年」の真実』, 東洋経済新報社.
- 長谷川寿一・長谷川真理子 (2000) 『進化と人間行動』, 東京大学出版会.