

## メトカフ型競争モデルの非独占化\*

瀬 尾 崇  
木 村 雄 一  
小 川 一 仁

### I はじめに

本論文の目的は、進化経済学の中でも特に企業間の競争関係に焦点をあてて組み立てられたモデルを検討し、その発展可能性を探ることにある。

あるひとつの産業内における企業間競争には、価格競争、数量競争、研究開発競争などさまざまな形態がある。従来の経済理論では、そのような各種競争形態を分析する際、完全競争を基準とし、「競争の結果」としての均衡点の存在および安定性の分析に焦点をあててきた。また不完全競争に関しても背景にある基本的な枠組みは変わらない。

このような競争に関する既存の分析枠組みに対して、進化経済学ではそれらとは異なる思考様式や分析手法を用いて新しい競争モデルが提出されてきた。それらのモデルに共通する枠組みは、個別企業の行動や企業間の競争関係をできるだけ現実に即して定式化し、計算機実験によって描き出された競争の「過程」を評価することである。このような進化経済学で提出されてきた競争モデルのうち、本稿では J. S. Metcalfe のモデルを参考にして、進化的競争モデルの手法の検討およびその発展可能性を論じる<sup>1)</sup>。

\* 本稿はこれまで共同研究として学会報告してきた成果をまとめたものである。学会報告の際には特に東京工業大学の出口弘教授と小山友介助手から貴重なコメントを頂いた。また荻原泰治神戸大学教授からも詳細なコメントを頂いた。これらのご助言は今後の研究で活かしていきたい。

1) J. S. Metcalfe の包括的な分析枠組みに関しては Metcalfe [1998] を参照。なお邦訳文献で

考察に先立って、本論文での考察に関連する Metcalfe のモデルの全体的な特徴を、2点述べておく。

第1点は分析の手法に関するものである。Metcalfe は進化経済学の諸潮流の中でネオ・シュンペーター学派に分類される<sup>2)</sup>。ネオ・シュンペーター学派は、シュンペーターの唱えた技術革新に基づく市場の動態過程をモデルによって示すことに分析の重点をおいている。またそこで用いられている主な手法は、レプリケータ・ダイナミクス<sup>3)</sup>という微分方程式系と分散を用いて「群」としての個体の変化を表現するフィッシャー定理<sup>4)</sup>である。そして生物学のモデルで用いられてきたこれら2つの手法を「群」としての企業の行動に適用し、ある産業内部の企業群の進化を分析しようというものである。Metcalfe のモデルはこれらの特徴を取り入れた代表的なものであるが、現在までに提出されたモデルで必ずしも完成型というわけではなく、まだ検討の余地は残されていると思われる。

第2の点はモデルの考察目的に関するものである。Metcalfe のモデルは、

は井上 [1999] で詳細に紹介されており、また弘岡 [2003] でも、製品や技術の普及モデルとして、ロジスティック方程式との関連で Metcalfe のモデルが検討されている。

2) 進化経済学は、特に現在の経済理論における主流派である新古典派経済学の枠組みの批判から始まり、新古典派経済学とは異なる理論的枠組みを模索する諸学派の集まりから構成される。それらを思考様式や分析対象の点から分類すると大きくは「市場論的接近」と「産業論的接近」に分けられ、さらに前者に位置する学派としてネオ・オーストリア学派とネオ・シュンペーター学派が、後者に位置する学派として新制度学派(累積的因果系列論)とポスト・ケインジアンがある。この2大潮流に加えてレギュラシオン理論、さらにカオス・複雑系・人工知能などの理系の研究者も関わっている。学史的な検討に関しては、井上 [1999] や八木 [2002] を参照。

3) レプリケータ・ダイナミクスはこれまで進化生物学、その中でも特に進化ゲーム論の分野で発展してきたもので、ミクロな個々のエージェントの代替案選択の人口比率をマクロな代替案レベルの状態空間として、それを時間発展方程式として導出した微分方程式である。レプリケータ・ダイナミクスの経済学の分野での使用を詳細に検討したものとしては出口 [2000] を参照。

4) フィッシャー定理は集団遺伝学の分野で R. A. Fisher が唱えたもので、1つの遺伝子によってもたらされる平均的な効果を追究することの意義を分散分析的な「主効果」という視点で進化を捉えようという主張である。数式で表わすと、

$$\Delta E(w) = (E'(w)|e - E(w)|e) + (E'(w)|e' - E'(w)|e)$$

となる。左辺は適用度の平均値の変化を表わしており、右辺のプライム記号(′)は時間の経過を示し、全体ではある環境  $e$  が  $e'$  に変化したときに、平均適用度  $E(w)$  が  $E'(w)$  に変わり、その値の差をとったものである。

フィッシャー定理の簡便な解説は徳永 [2001] を参照。

ある産業部門内部における企業群の進化を論じており、それを各企業のシェアの変遷で表現している。そこでの進化の要因は「平均費用と蓄積性向の差異」と「製品差別化」の2点である。しかし、シュンペーターが資本主義経済の発展にとって最も重視した技術革新の要素と組み合わせた検討が Metcalfe のモデルでは手薄であるように思われる。成長のために革新し、産業内で生き残るために模倣するという個別企業の技術革新行動を進化論的な過程として捉え、シュンペーターの競争概念をはじめモデル化したのが Nelson & Winter [1982] のモデルであり、彼らのモデルは現在でも進化経済学でのモデル構築の基礎となっている。

以上のことから、本論文では Metcalfe [1997] のモデルをもとに、レプリケータ方程式に修正を加え、Nelson & Winter 型の革新と模倣の確率モデルを導入することによってオリジナルなモデルを提示し、あるひとつの産業におけるシェア獲得を目的とする個別企業の行動から産業構造の進化過程のパターンを計算機実験によって描き出し、その実験結果を評価することを目的とする。

## II Metcalfe 型競争の基本モデルと修正モデル

### 1 基本モデル

Metcalfe がこれまでに提出した諸モデルの中で、ここでは1997年論文のものを取りあげ、それを基本モデルと呼ぶ。このモデルはある産業における企業間のマーケット・シェア獲得競争と雇用シェア獲得競争の2つの競争形態を検討している。この基本モデルの概要は次のとおりである。

企業  $i$  は労働のみを投入して財の生産を行う。財を1単位生産するのに必要な労働投入係数を  $a_i$  とすると、当該産業の平均労働投入係数は  $\bar{a} = \sum s_i a_i$  と表わせる。ここで  $s_i$  は各企業のマーケット・シェアである。各企業の成長率を  $g_i$ 、当該産業の平均成長率を  $g_D$  とする。雇用に関しては、単位あたり賃金を  $w_i$  とすると、当該産業の平均賃金は  $\bar{w} = \sum v_i w_i$  と表わせる<sup>5)</sup>。ここで

5) Metcalfe のモデルでは  $\bar{w}$  を一定と仮定している。

$v_i$  は各企業の雇用シェアである。各企業の雇用成長率を  $g_{Ei}$ 、当該産業の平均雇用成長率を  $g_E$  とする。

Metcalf [1997] では、上記以外に多くの変数が登場し、モデルの数式の展開も詳細に展開されているが、最終的に検討すべき変数は  $s_i$  と  $v_i$  であるので、ここではこれら 2 つの変数に直接関わる数式のみ挙げておく<sup>6)</sup>。各企業の平均成長率と雇用成長率は、

$$g_i = g_D + \Delta(\bar{h} - h_i) \quad \text{ただし } h_i = w_i a_i, \quad \bar{h} \text{ は平均費用を表わす。}$$

$$g_{Ei} = g_E + \varepsilon(w_i - \bar{w})$$

であり ( $\Delta$  と  $\varepsilon$  は正の定数)、これら 2 式と

$$w_i = \frac{1}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ (g_D - g_E) + (\varepsilon + \Delta \bar{a}) \bar{w} \}$$

より、次のような微分方程式がえられる。

$$\dot{s}_i = s_i(g_i - g_D) = -\frac{\Delta s_i}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ \bar{w} \varepsilon (\bar{a} - a_i) - a_i (g_D - g_E) \} \quad (1)$$

$$\dot{v}_i = v_i(g_i - g_E) = \frac{\varepsilon v_i}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ g_D - g_E + \bar{w} \Delta (\bar{a} - a_i) \} \quad (2)$$

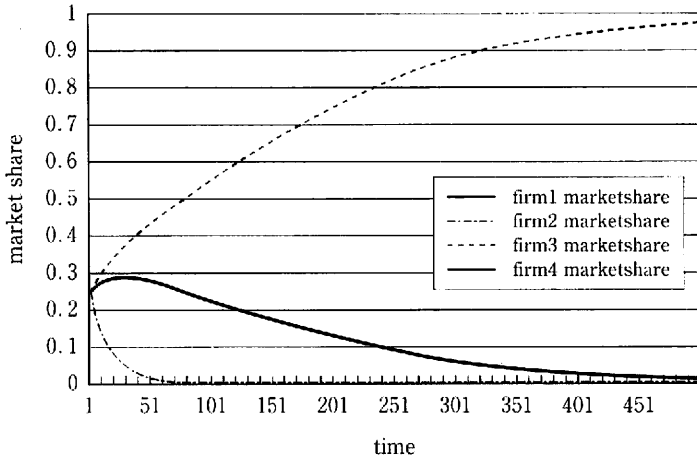
この 2 つの微分方程式系が Metcalfe のモデルにおけるレプリケータ・ダイナミクスである。

このモデルの結果は計算機実験を行うまでもなく容易にわかるが、次節の拡張したモデルでの考察との違いを明らかにするために第 1 図に示しておく<sup>7)</sup>。基本的に産業の平均費用よりも低い企業がマーケット・シェアと雇用シェアをともに伸ばす。このモデルには確率的な摂動が全くないので、最終的に費用が最も低い企業のみが生き残って当該産業のシェアを独占することになる。

6) ここで取りあげたモデルの全体像に関しては Metcalfe [1997] を参照。

7) Metcalfe 自身は計算機実験を行っていないため、ここでは次のように数値を設定して計算機実験を行っている。産業内の企業数を 4 企業。初期値として各企業のマーケット・シェア  $s_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) を各 0.25。各企業の労働投入係数に関しては  $a_1=2.17$ ,  $a_2=4.95$ ,  $a_3=1.79$ ,  $a_4=2.15$ 。

第1図 Metcalfe 基本モデルの計算機実験の結果  
basic model marketshare



## 2 修正モデル

Metcalfe の考察の中心はシェアの変化の過程にあるが、モデルの結果が不可避免的に独占状態にいたるといふ点は現実と照らし合わせても満足できるものではない。そこで Metcalfe のレプリケータ・ダイナミクスを活かしながら修正を加えていく試みの1つとして、前項の基本モデルにおいて賃金だけであった各企業の費用に固定費用を導入する。各企業の単位あたり固定費用を  $\beta_i$ 、産業の平均固定費用を  $\bar{\beta} = \sum s_i \beta_i$  とすると、各企業の費用に関する式は

$$h_i = w_i a_i + \beta_i$$

$$w_i = \frac{1}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ (g_D - g_E) + (\varepsilon + \Delta \bar{a}) \bar{w} + \Delta (\bar{\beta} - \beta_i) \}$$

となり、(1)式と(2)式は次のように書き換えることができる。

$$\dot{s}_i = s_i (g_i - g_D) = \frac{\Delta s_i}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ \bar{w} \varepsilon (\bar{a} - a_i) - a_i (g_D - g_E) + \varepsilon (\bar{\beta} - \beta_i) \} \quad (3)$$

$$\dot{v}_i = v_i (g_i - g_E) = \frac{\varepsilon v_i}{\varepsilon + \Delta a_i} \{ g_D - g_E + \bar{w} \Delta (\bar{a} - a_i) + \Delta (\bar{\beta} - \beta_i) \} \quad (4)$$

この新たな微分方程式において独占にいたるには、各企業は賃金部分だけでなく固定費用部分も低く抑えなければならないことになり、前項のモデルよりも独占体制を築くのは困難になる。しかしながら固定費用にも初期値を与えて、それが変更されない場合には、修正モデルの振る舞いも基本モデルと変わりはなく、固定費用の導入だけでは結果として独占を回避することはできない。

ここで取りあげた2つのモデルをみると、賃金と固定費用を合わせた生産費用が各期を通じて一定であるという点に、独占という帰結の原因があるように思われる。そこで次節では、固定費用を導入した修正モデルに変動要素を加えて検討する。

### III 模倣と革新を導入した Metcalfe モデルの拡張

#### 1 Nelson & Winter 型の革新と模倣のモデル化

Nelson & Winter [1982] のモデルには、特に企業行動の進化過程を考えていくうえで多くの有効なツールが含まれているため、現在でも進化経済学においてモデル構築する際の基礎となっている。ここでは Metcalfe モデルに変動要素を加えて拡張する試みとして、Nelson & Winter 型の企業の革新行動および模倣行動のモデルのエッセンスを前節の修正モデルに導入する。

最初に Nelson & Winter 型の革新と模倣のモデル化の手続きを示しておく<sup>8)</sup>。

1. 他企業の技術を模倣するための努力と費用は、探索を実施するための予算の規模を決定するルールによって与えられる。
2. 模倣のための探索努力の結果、各企業は「くじ」を引くことになる。「当たりくじ」を引く確率（模倣に成功する確率）は外生的な要因によって決定され、その確率に応じて各企業は最良の技術状態に近づくことができる。
3. 他方、企業の革新のための探索費用に関するルールは、資本1単位あた

8) 詳細は Nelson & Winter [1982] を参照。また Andersen [1994] (八木監訳他 [2003]、特に第4章) は、Nelson & Winter モデルの概要が邦訳で読める。

りの固定された探索費用を使うことである。

4. 革新に成功する確率は、外生的に与えられる確率分布に依存している。ここで2つのタイプの産業が想定できる。すなわち外生的な要因のみに依存した確率分布に立脚した産業と外生的な要因だけでなく学習過程やこれまで累積された技術によって特徴づけられる産業である。
5. 生産性改善の試みは、1期前から受け継がれた技術状態と、模倣や革新の探索の結果得られるかもしれない技術状態との比較がなされ、最も生産性が高いものが選択されて終了する。

ここに示した Nelson & Winter 型の革新・模倣モデルの中で注目すべき特徴は、革新や模倣の成否を「くじ」によって表現していることである。すなわち革新によって必ず以前よりも優れた技術状態がえられるとは限らないこと、あるいは模倣によって既存の最良の技術状態を発見できるとは限らないこと、また革新や模倣の成功確率が探索費用の支出額に依存していることなど、現実の革新や模倣の難しさを「くじ」という形で表現しているのである。

Metcalfe のモデルでは、技術革新成功後のその普及過程や製品差別化といういわゆるプロダクト・イノベーションを中心に検討している。そこで次項からは、Nelson & Winter 型の「くじ」で表現された変動要素を Metcalfe のモデルに導入することで、プロセス・イノベーションに関する考察にも適用しうるモデルであることをみていくことにする。

## 2 Metcalfe モデルへの摂動の導入

Metcalfe のモデルへの変動要素の導入とは、基本モデルに対して次のような3つの拡張を行うことである。そして

その第1は固定費用の導入である。これは前節の修正モデルのことを指しており、技術革新の具体的な事例として生産設備の更新を扱うための拡張である。

第2の拡張は技術革新モデルの導入である。企業は定期的に技術革新のための探索を行って生産費用を変更する。ここでは技術革新が固定費用には影響し

ない場合と固定費用に影響を与える場合とに分けて検討する。具体的には、①労働投入係数  $a$  が5期ごとに変化する。変化の仕方は1から5までの一様分布に従うものとする。これを拡張モデル1と呼ぶ。②  $a$  の変化の仕方は拡張モデル1と同様であるとする。新たに固定費用  $\beta$  も30期ごとに変化し、変化の仕方は5から10の一様分布に従うものとする。さらに  $\beta$  の変化は  $a$  にも影響を与える。 $\beta$  が変化すると  $\beta$  の値の10分の1が費用から差し引かれる。 $\beta$  が高ければ  $a$  の減少も大きくなるが、総費用は高くなってしまう。これを拡張モデル2と呼ぶ。

そして第3の拡張は模倣モデルの導入である。企業は定期的に当該産業の中で最も費用を低く抑えている生産様式を模倣しようと試みる。具体的には10期に1回探索を行い、探索に成功すると10期間はその新たな生産費用で生産を行う。模倣の発生確率は25%とする。

それではここまでの Metcalfe モデルの修正および拡張を組み合わせて計算機実験を行い、産業におけるマーケット・シェアの変動を検討しよう。上記以外のモデルの設定として、産業に存在する企業数は4企業とする。また計算する期間は500期とする。次の第1表はモデルの設定を示しており、第2表は各設定につき100回ずつ試行した計算機実験の結果を示している。

計算機実験の結果、最終的には独占状態になった Metcalfe のモデルに、各種の修正や拡張を施すことによって、必ずしも独占には到らず、寡占あるいは共存状態が出現するケースも多く見られるようになるということがわかる。そこで特に「設定6」と「設定7」において寡占あるいは共存状態になった実験結果を図示し、具体的な変化の過程を調べることにする<sup>9)</sup>。

第2図は革新と模倣がともに発生し、その影響が  $a$  だけに影響を与える「設定6」において、寡占状態になる実験結果を示している<sup>10)</sup>。ここで企業1

9) 基本モデルおよび設定1から設定5までの実験結果の検討は別稿で行っているので省略する。瀬尾・小川・木村 [2003] を参照。

10) 初期設定は次のとおりである。各企業のマーケット・シェアは0.25ずつ。各企業の労働投入係数  $a$  は順に4.29, 3.59, 3.21, 2.65である。



第1表 Metcalfe モデルと修正・拡張の設定一覧

	固定費用	革 新	模 倣
基本モデル	×	×	×
設 定 1	○	×	×
設 定 2	×	○	×
設 定 3	○	○	×
設 定 4	×	×	○
設 定 5	○	×	○
設 定 6	×	○	○
設 定 7	○	○	○

ここで「固定費用」欄の印は変動要素の影響があるかないかを示す。

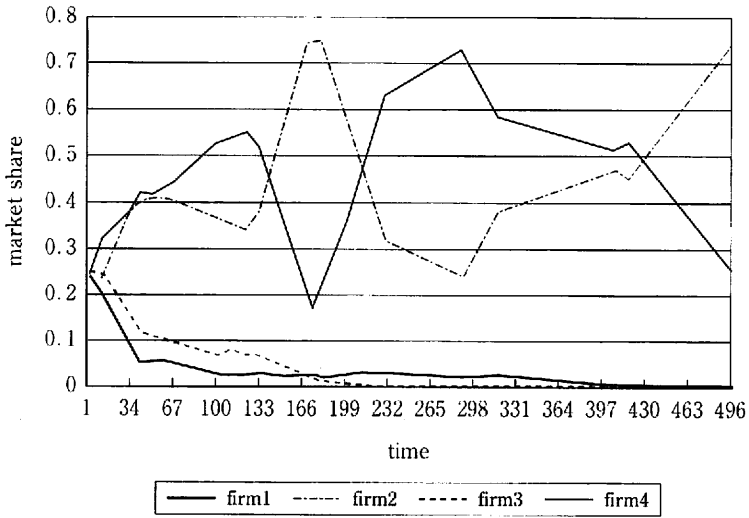
第2表 Metcalfe の修正・拡張モデルの計算機実験の結果一覧

存続企業数	1企業	2企業	3企業	4企業
基本モデル	72	28	0	0
設 定 1	84	15	1	0
設 定 2	46	43	10	1
設 定 3	25	45	28	2
設 定 4	1	22	49	28
設 定 5	62	27	11	0
設 定 6	62	34	3	1
設 定 7	39	39	20	2

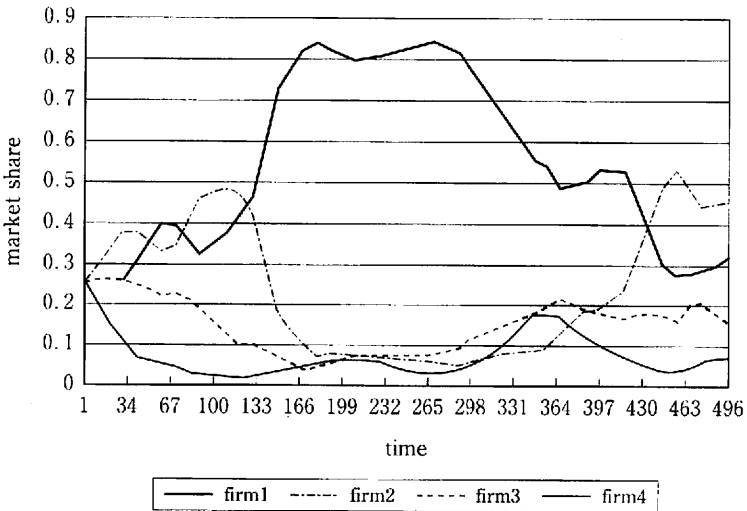
表中の数字は、各設定につき100回計算機実験を行い、その存続企業数ごとの回数を表わしている。

と企業3は当初から生産性が悪いいため早い段階からシェアを失ってしまう。企業2と企業4は100期目あるいはもっと早い段階からこの2社による生産性変動に伴うシェア獲得競争が繰り広げられる。このように技術革新の結果ある程度以上シェアを獲得あるいは喪失すると、生産性がいかに変動しようともその影響を受けずにある特定の状態に「ロック・イン」する。つまり生産性の上昇

第2図 「設定6」の実験結果 (寡占状態のケース)



第3図 「設定7」の実験結果 (共存状態のケース)



と生産性の下落がほぼ同時期に起こった時のみ、シェアの逆転が起こることがわかる。

第3図は革新と模倣がともに発生し、その影響が $a$ にも $\beta$ にも影響する「設定7」において、共存状態になる実験結果を示している<sup>11)</sup>。ここでは120期目に企業1が模倣に成功したのに対して、企業2は模倣に成功するものの生産性が下落してしまう。これで一気に差がつくことになった。270期目には企業1の生産性が大幅に低下したために、企業2は360期目に生産性が上昇しシェアも回復している。またその間にシェアが低迷していた企業3と企業4もシェアを上昇させている。

#### IV 結 論

Metcalfé の基本モデルへの固定費用の導入、そして Nelson & Winter 型の革新および模倣の要素を導入することによって、Metcalfé の生物学的な手法を用いたモデル構築の方法を継承しながらも、結果としては必ずしも独占に到らないような現実的な競争過程を描き出すことができた。そこでは、企業の革新活動や模倣行動が非独占化への大きな力となりうるということが、計算機実験の結果から明らかになった。これは現実の企業行動やある産業におけるシェアに関する実際の統計データと比較してみても整合的である。このような点で、Metcalfé のモデルは現実の経済の過程を説明しうるものであり、その生物学的な手法を用いたモデルの発展可能性も秘めているといえるだろう。

しかし、われわれは考察の過程でいくつかの問題点、あるいは進化的なモデル構築に向けた課題も発見することもできた。そのひとつは、Metcalfé のレプリケータ・ダイナミクスに関するものである。冒頭の脚注でも示したように、レプリケータ・ダイナミクスはこれまでの経済学では進化ゲーム理論の中で用

11) 初期設定は次のとおりである。各企業のマーケット・シェアは0.25ずつ。各企業の労働投入係数 $a$ は順に1.49, 1.48, 1.57, 3.17である。また固定費用 $\beta$ も変動するのでその初期値も示しておく。順に9.85, 7.23, 9.53, 7.21である。

いられてきたのであるが、その意味では Metcalfe の使用方法はこれまでになかったものである。それが果たして有効な使用方法なのかどうかの検討は、特に Metcalfe と同じような企業間競争の分野における他の論者、例えば P. P. Saviotti らのモデルを検討する必要がある<sup>12)</sup>。いまひとつは、モデルの想定と現実の現象との関連性の問題である。われわれの考察は Metcalfe のモデルを踏襲し、それを修正する形で現実の現象に迫るものであったが、適応度を生産性と仮定した本稿のモデルでは生産性さえ高ければシェアがほとんどゼロでも逆転可能である。これには適応度の商品シェアや技術力など複数の項目を考慮して定義していく必要があるだろう。最後の課題は、レプリケータ・ダイナミクスとならんで Metcalfe モデルの骨格とされていたフィッシャー定理をもっと明確にモデルに反映させるということである。これは、現在の進化経済学でも「群思考 (population thinking)」をいかにモデル化していくのかということが課題とされているが<sup>13)</sup>、フィッシャー定理はその課題に関連した思考であり、より有効な利用法を考えていく必要がある。

#### 参考文献

- Andersen, E. S. [1994] *Evolutionary Economics: Post-Schumpeterian Contributions*, Pinter. (八木紀一郎監訳・小山・小川・瀬尾・馬場・宮代訳『進化的経済学——シュンペーターを超えて——』シュプリンガー・フェアラーク東京, 2003年)。
- Metcalfe, J. S. [1997] "Labour Markets and Competition as an Evolutionary Process" in *Markets Employment and Economic Policy: Essays in Honour of Geoff Harcourt*, Vol. 2, eds. by Arestis, P., G. Palma and M. Sawyer, London, Routledge.
- [1998] *Evolutionary Economics and Creative Destruction*, London and New York, Routledge.
- [2001] "Evolutionary Approaches to Population Thinking and the Problem of Growth and Development" in *Evolutionary Economics: Program and*

12) 例えば、Saviotti [1996] がある。

13) Andersen [1994] (八木監訳他 [2003]) の邦語にある「補論A 補章：日本語版へのあとがき」を参照。

- Scope*, ed. by Dopfer K., Kluwer Academic Publishers.
- Nelson, R. and S. Winter [1982] *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press.
- Saviotti, P. P. [1996] *Technological Evolution, Variety and the Economy*, Edward Elgar.
- Schumpeter, J. A. [1912] *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, München. (塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳『経済発展の理論』岩波文庫, 1977年)。
- 石原英樹・金井雅之 [2002] 『進化的意思決定』朝倉書店。
- 井上義朗 [1999] 『エヴォルシヨナリー・エコノミクス——批評的序説——』有斐閣。
- 井上義朗 [2002] 「進化経済学」『経済学史学会年報』No. 42, 95-105ページ。
- 巖佐 庸 [1998] 『数理生物学入門——生物社会のダイナミクスを探る——』共立出版。
- 瀬尾崇・小川一仁・木村雄・ [2003] 「メトカフ型企業間競争への革新要素の導入」『進化経済学論集』第7集, 48-54ページ。
- 出口 弘 [2000] 『複雑系としての経済学——自律的エージェント集団の科学としての経済学を目指して——』日科技連出版社。
- 徳永幸彦 [2001] 『絵でわかる進化論』講談社。
- 弘岡正明 [2003] 『技術革新と経済発展——非線形ダイナミズムの解明——』日本経済新聞社。
- 八木紀一郎 [2002] 「進化経済学の現在」(『進化論』受容の社会的・歴史的文脈にかんする学際的・比較研究)平成12・13年度科学研究費補助金基盤研究B(2)研究報告書, 203-241ページ)。