

シュンペーター経済動学モデルによるイノベーションの分析

富田 輝博

Innovation Process Analysis by Schumpeterian Dynamics Model

Teruhiro Tomita

This paper examines the Schumpeterian dynamics of economic change and analyses innovation and imitation process of industry. Schumpeter stresses non equilibrium aspects of capitalist development. The creative destruction which 'incessantly revolutionizes the economic structure from within, incessantly destroying the old one, incessantly creating a new one' is one of the fundamental mechanisms of capitalist economic development. We call this theory as evolutionary economics contrasted to neoclassical economics.

Nelson and Winter presented and promoted their idea of an evolutionary process by means of their models and simulation results.

Following introduction, section 2 surveys the Nelson-Winter model of Schumpeterian competition. The third section simulates innovation and imitation processes of industry by Nelson-Winter model with Maple V. 4 language. In the simulation of NW model, we analysed the behavior of productivity, output, market share and profit rate of 4 firms and price, and output of industry for 20 periods (5 years).

In conclusion, we find Nelson-Winter model explores the process of Schumpeterian competition dynamically and simulate the behavior of innovation and imitation process of firms. But, we need to extend the model such as satisfying behavior of firms, product innovation and entry and exit of industry and to articulate policy implications by simulations.

KW : Schumpeterian dynamics, evolutionary economics, Nelson-Winter model, innovation, imitation

1. はじめに — シュンペーター経済動学モデル
2. ネルソン・ウィンターモデルの構造
 - 2.1 モデルの概要
 - 2.2 モデルの定式化
3. ネルソン・ウィンターモデルによるシミュレーション分析
4. むすび

1. はじめに — シュンペーター経済動学モデル

本稿はシュンペーターによって提唱され、ネルソン・ウィンター等によって発展を遂げている動態的経済学について、経済動学モデルを用いて分析することが目的である。

シュンペーターの革新(innovation)の概念、すなわち、「新結合の遂行」は広い概念である。彼はそれを次の5つに分けている。¹⁾

①新製品の導入、②新生産方法の導入、③新市場の開拓、④新しい供給源の獲得、⑤新産業組織の実現である。

この新結合の担い手が、シュンペーターのいう「企業者」である。そして、「誰でも『新結合を遂行する』場合にのみ基本的に企業者であって、したがって彼が一度創造された企業を単に循環的に経営していくようになると、企業者としての性格を喪失し、『単なる経営管理者』となる」と考えている。

企業者は新結合の成功によって「企業者利潤」を獲得することができる。彼は言う。「発展なしには企業者利潤はなく、企業者利潤なしには発展しない」。しかし、革新に成功した企業の市場支配力は永久には続かない。革新によって障害が一度打ち破られると、「模倣(imitation)」による他の企業の追従が容易になる。企業者利潤は、先頭を切った企業者に続いて模倣者が現れるにつれて消滅していくのである。シュンペーターにとって企業者利潤は独占利潤であり、リスクをおかして革新に挑戦する企業者が受け取る当然の報酬と考えた。つまり、従来理論の独占企業による独占利潤の弊害を説くのではなく、むしろこれを好ましいものと見たのである。

そして、このような革新企業者が内部資金(内部留保や減価償却費)でまかない切れな部分を外資資金として供給するのが、銀行家の役割であり、銀行家はリスクを負担する資本家として捉えている。シュンペーターによれば、企業者、新結合、資本家が三位一体となって経済構造を変革していくと考えるのである。

このような模倣の波及過程は、革新企業の企業者利潤を全面的に拭い去るか、あるいは次の革新の出現まで続いていく。「不断に古きものを破壊し新しきものを創造して、たえず内部から経済構造を革命化する産業上の突然変異」、この「創造的破壊」の過程こそ、シュンペーターは「資本主義に関する本質的事実」としたのである。彼は「資本主義を取り扱う際に把握しておかなければならない本質的な点は、われわれが一つの動態的な過程(evolutionary process)を取り扱っていることである」、と述べたが、このようなアプローチを取る経済学を「動態的経済学(evolutionary economics)」という。

動態的経済学は正統的な新古典派の経済学と大きく異なる。新古典派理論では、資本主義企業による革新、模倣、成長といった現象を、将来まで見透かせる予想能力を持った合理的な企業の最適化行動の間の均衡過程として捉える。これに対して動態的理論では、絶えず生存あるいは成長のために競争している企業同士の複雑な相互依存関係が生み出す不均衡過程としてとらえようとする。

この理論が満たすべき基準として、ウィットは次の3点をあげている。²⁾

1. 理論は動学的であり、時間の中で推移する発展を対象とする。
2. 理論は不可逆で歴史的な時間を基礎とする。
3. 理論は発展の中で新事象(novelty)がどのように生じ、どのような一般的影響を持つのか説明する。

シュンペーターの革新と模倣による創造的破壊の過程を体系の中核に捉え得る新たな長期的動学理論の構築を目指した研究として、ネルソン・ウィンター、イワイなどの分析があげられる。次節では、ネルソン・ウィンターによるモデル(NWモデル)を解説し、3節でNWモデルによる若干のシミュレーション実験を試みることにする。

2. ネルソン・ウィンターモデル

2.1 モデルの概要

ネルソン・ウィンターモデルは、資本ストックと技術の変化の過程の中で、同質的な製品を生産している複数企業から構成される産業の行動について分析する。³⁾

産業は右下がりの需要曲線に直面している。いかなる時点でも、各企業は知りうる最良の技術で操業している。技術はすべて規模に関して収穫一定で固定投入係数によって特性付けられている。企業は資本ストック残高に比例して最高水準まで最良の技術を利用する。要素市場から生産要素を必要な量だけ購入する。生産要素の供給は完全に弾力的で、かつ要素価格は対象期間中一定と仮定する。したがって、各企業の使う技術により単位費用が決定される。また、各企業の資本ストックと技術を所与とすると、産業の生産量と価格が決定され、続いて価格費用マージンも決定される。

ネルソン・ウィンターモデルの構造を図に示すと、図1のように表される。⁴⁾

第1に、図の左側の列は短期の企業行動、すなわち、企業および産業の生産量、価格、利益および資金調達を決定するプロセスを表している。

- a. 企業の生産量は生産能力の利用ルール、つまり完全稼働するものとして決定される。
- b. 産業の生産量は企業の生産量の単純集計量である。

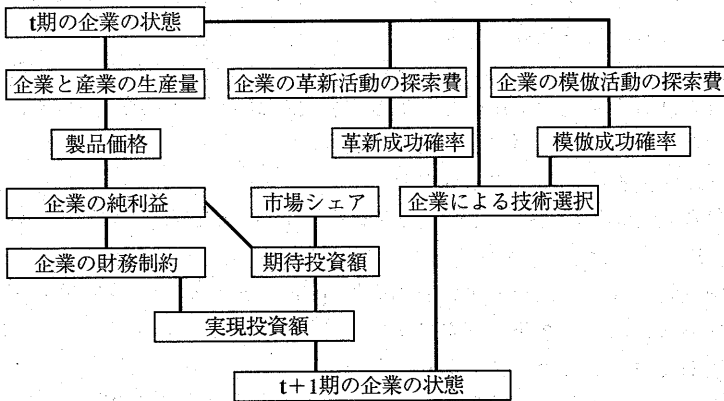


図1. ネルソン・ウィンターモデルの構造

出所: Andersen(1996)p104より一部修正

- c. 価格は逆需要関数によって、産業の生産量から求められる。
- d. 各企業毎に売上高を計算し、そこから資本費、変動費および探索活動費を差し引いて純利益を求める。

第2に、図の中央と右側は、新しい生産技術が発見され、生産性が変化するプロセスを示している。企業はより良い生産技術を常に探索し、資本生産性によって変化する生産方法を探求する。そのための探索費は資本ストックに比例して求められるが、探索活動は革新的探索と模倣的探索の2種類から構成される。

ここで企業の革新活動の成果について採られている仮説について述べておこう。「すべての企業にとって一定期間 h の間に革新に成功する確率は λh に等しい。ただし、 λ は企業の革新活動の効果を反映している正のパラメータである。」革新のパラメータ λ の値は、企業がその長期戦略の一環として選んできた革新に関する政策、特にそのための研究開発投資およびマーケティング支出に依存しているはずである。それを革新探索費と呼ぶ。一定の期間 h の間に、一つの企業が革新に成功する確率が λh ならば、同じ期間に n 企業のうちいずれかの企業が革新に成功する確率は λnh に等しい。それゆえ革新はポワソン過程にしたがって生起する。そして、単位時間あたりの平均発生率は、ポワソン過程の平均値 λn になる。

- 他企業の生産方法を模倣するための費用は模倣的探索の予算を決定する企業のルールによって求められる。すべての企業は、資本単位あたりの模倣的探索費用を使うという同じルールを用いる。
- 模倣的探索努力は、各企業の引く「lottery(くじ)」で決められる。lotteryからdraw(当たり)を引く確率は、模倣的探索費に比例して決まる。しかし、当該産業の模倣の困難さによっては外生的要因によって決定される場合もある。
- drawの場合、企業は最善の技術を獲得でき、生産性も最大となる。
- 企業の革新的探索費は、資本単位あたりの革新的探索費に資本ストックを掛けることによって求められる。
- 革新的技術に成功するdrawを引くか否かは、革新的費用に比例する。また、当該産業の技術変化の特性によっても決定される。
- 生産性を向上するためには、これまでに受け継いできた技術と模倣的・革新的探索に基づく技術によって得られる生産性とを比較し、最も生産性の高いものが選択される。
- 技術が変化すると、それは次期の生産性を決定する。

第3に、図の下部は、投資決定に関するものである。

- 企業の粗投資の下限は非負条件、上限は財務制約による。財務制約は純利益(純利益に対する外部資金調達倍率)によって決定される。
- 企業の期待純投資額は、①価格と単位費用の比(price-cost ratio)、②企業のマーケットシェアの増加関数である目標マークアップ率によって決定される。
- 実際の投資は期待投資と財務制約に依存する。
- 投資プロセスにはタイム・ラグは存在しない。企業は調整された資本ストックを次期に利用可能となる。

2.2 モデルの定式化

以上のモデルの基本構造に基づいて、3つのブロックに分けてモデルを定式化する。⁵⁾

短期行動ブロック:

短期行動ブロックでは、各企業の生産量、売上高、生産費、革新探索費、模倣探索費、純利益、市場価格などが決定される。

$$Q_{it} = A_{it} K_{it} \quad (1)$$

$$Q_t = \sum Q_{it} \quad (2)$$

$$P_t = D(Q_t) \quad (3)$$

$$S_{it} = P_t Q_{it} \quad (4)$$

$$C_{it} = c K_{it} \quad (5)$$

$$R^n_{it} = r^n K_{it} \quad (6)$$

$$R^m_{it} = r^m K_{it} \quad (7)$$

$$Z_{it} = S_{it} - (C_{it} + R^n_{it} + R^m_{it}) \quad (8)$$

ここで記号を説明すると、

- Q_{it} : t期における企業iの生産量
- A_{it} : t期における企業iの資本生産性
- Q_t : t期における産業の生産量
- P_t : t期における製品価格
- $D(\cdot)$: 逆需要関数
- S_{it} : t期における企業iの売上高
- C_{it} : t期における企業iの総生産費
- r^n : 資本単位あたり革新活動費
- R^n_{it} : t期における企業iの総革新活動費
- r^m : 資本単位あたり模倣活動費
- R^m_{it} : t期における企業iの総模倣活動費
- Z_{it} : t期における企業iの純利益

である。

生産性ブロック:

生産性ブロックはネルソン・ウィンターモデルの核心をなす部分で、革新活動と模倣活動による生産性変化のメカニズムを追求する。

$$\gamma^n_{it} = d^n R^n_{it} \quad (9)$$

$$\theta^n_{it} = \theta^n(\gamma^n_{it}) \quad (10)$$

$$\text{if } \theta^n_{it} = \text{true}$$

$$\text{then } A^n_{it} = \Psi(A^{init}, \eta, t, A_{it}) \quad (11)$$

$$\text{else } A^n_{it} = A_{it}$$

$$\gamma^m_{it} = d^m R^m_{it} \quad (12)$$

$$\theta^m_{it} = \theta^m(\gamma^m_{it}) \quad (13)$$

$$\text{if } \theta^m_{it} = \text{true}$$

$$\text{then } A^m_{it} = \max[A_{it}, \dots, A_{it}, \dots, A_{nt}] \quad (14)$$

$$\text{else } A^m_{it} = A_{it}$$

$$A_{i,t+1} = \max[A_{it}, A^m_{it}, A^n_{it}] \quad (15)$$

ここで、

- γ^n_{it} : t期に企業iが革新活動によりdrawを引く確率
- d^n : 単位あたり革新活動の探索費
- θ^n_{it} : 革新活動によりdrawを引いた場合真、さもなければ偽
- $\theta^n(\cdot)$: t期に革新活動によりdrawが発生するかどうかを決定する確率関数
- A^n_{it} : t期における企業iの革新活動による生産性水準

$\Psi(\cdot)$: 革新活動によるdrawの成果を決定する確率関数

$A^{\text{init}} = A_{it}^n$ の初期値

η : 対数正規分布 A_{it}^n の平均における t のパラメータ

γ_{it}^m : t 期に企業 i が模倣活動により draw を引く確率

d^m : 単位あたり模倣活動の探索費

θ_{it}^m : 模倣活動により draw を引いた場合真、さもなければ偽

$\theta^m(\cdot)$: t 期に模倣活動により draw が発生するかどうかを決定する確率関数

A_{it}^m : t 期における企業 i の模倣活動による生産性水準

$\max[\cdot]$: 利用可能な生産技術のうち最良のものを選択する関数

である。

資本ストックブロック:

資本ストックブロックでは、資本利益率、マーケット・シェア、価格費用比をもとに期待投資が決定され、実現投資、資本ストック残高が求められる。

$$\pi_{it} = Z_{it} / K_{it} \quad (16)$$

$$I_{it}^{\max} = G(\pi_{it}, b) \cdot K_{it} \quad (17)$$

$$\mu_{it} = Q_{it} / Q_t \quad (18)$$

$$\rho_{it} = P_t / (c / A_{i, t+1}) \quad (19)$$

$$I_{it}^{\text{des}} = H(\rho_{it}, \mu_{it}, \delta) \cdot K_{it} \quad (20)$$

$$I_{it} = \max[0, \min(I_{it}^{\text{des}}, I_{it}^{\max})] \quad (21)$$

$$K_{i, t+1} = I_{it} + (1 - \delta) K_{it} \quad (22)$$

ここで、

π_{it} : 資本利益率

I_{it}^{\max} : 最大粗投資

$G(\cdot)$: 最大粗投資を決定する関数

b : 純利益に対する外部資金調達倍率

δ : 資本ストックの減価償却率

μ_{it} : マーケット・シェア

ρ_{it} : 価格／単位費用比

I_{it}^{des} : 期待粗投資

$H(\cdot)$: 期待粗投資を決定する関数

I_{it} : 粗投資

$\max[\cdot]$: 引数のうちの最大値

$\min[\cdot]$: 引数のうちの最小値

である。

パラメータ

$$b = 1$$

$$c = 0.16$$

$$\delta = 0.03$$

$$D = 67$$

$$d^m=0.3$$

$$d^n=0.3$$

$$\theta=1$$

$$\eta=0.05$$

$$r^m=0.00112$$

$$r^n=0.0223$$

$$\sigma=0.2$$

初期値

$$A[i, 1]=0.16 \quad i=1, \dots, n$$

$$K[i, 1]=89.70 \quad i=1, \dots, n$$

3. ネルソン・ウィンターモデルによるシミュレーション分析

NWモデルでは企業数とシミュレーション期間を各種設定することができる。以下では、4企業、20期間でシミュレーションを行った結果について検討する。なお期間は4半期モデルを考えているので20期は5年に相当する。モデルをランするにあたっては乱数を発生させる必要がある。⁶⁾

4つの企業は、初期時点では同じマーケット・シェア(25%)、同じ生産性(0.16)から出発する。しかし、第3期ではすでに一つの企業は革新的研究開発に成功し、生産性は0.21に増加している。そして、これにより粗投資が増加し、生産能力が増え、マーケット・シェアも上昇する。第4期には別の企業も革新に成功し、その後、すべての企業で革新、または模倣が行われる。

図2に示すように、各企業の実産性は革新と模倣の結果として、時間経過とともに上昇していく。生産性の低い企業もある時期、革新または模倣に成功し、生産性が急上昇する。図3は資本ストック、図4は生産量を表したものである。生産性の上昇率の差を反映して大きく変動していることが分かる。

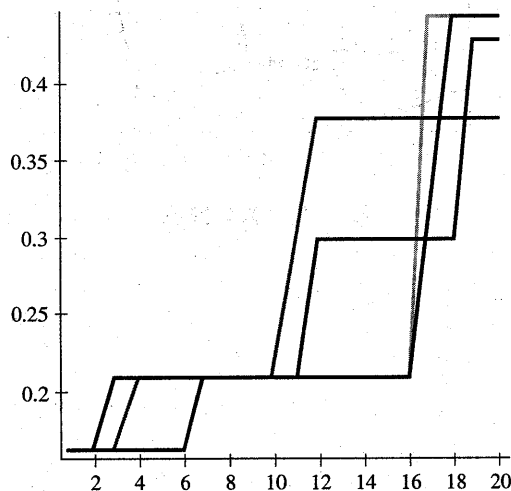


図2. 生産性の推移

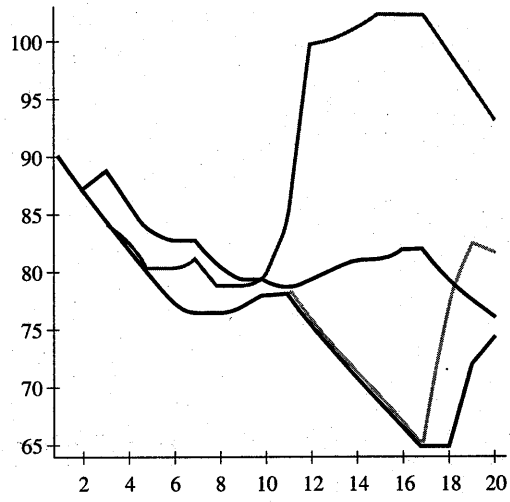


図3. 資本ストックの推移

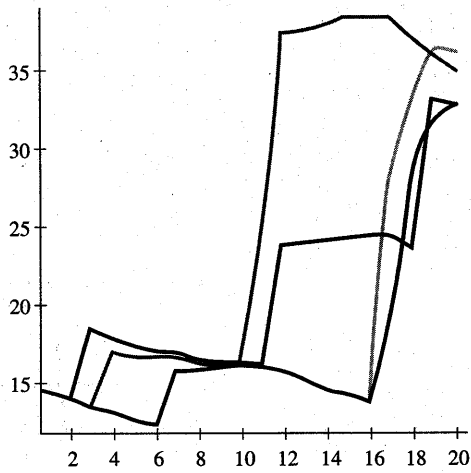


図4. 生産量の推移

次に、マーケット・シェア(図5)を見てみよう。当初25%から出発したシェアが3期から8期にかけて差が生じ、10期付近でいったん乖離が縮まった後、トップ企業が11期から16期にかけて大きく引き離し、18期以降また縮まるという変動を示している。図6は資本利益率を表しているが、これらの動きを反映して、トップ企業(A社)が11期から16期にかけて最も高い利益率を達成している。これに対して下位企業(D社)は、3から6期、12から16期とマイナスであるが、最終的には黒字基調を回復している。

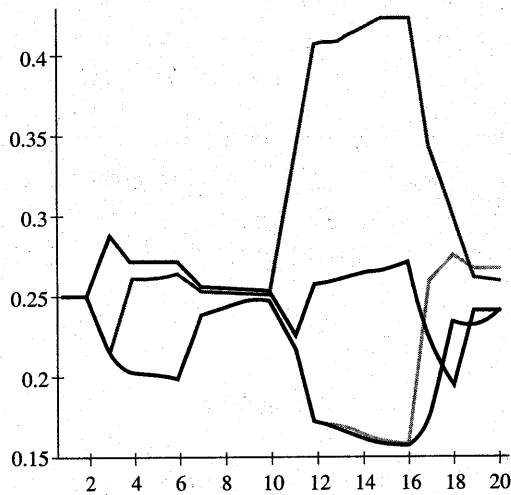


図5. マーケット・シェアの推移

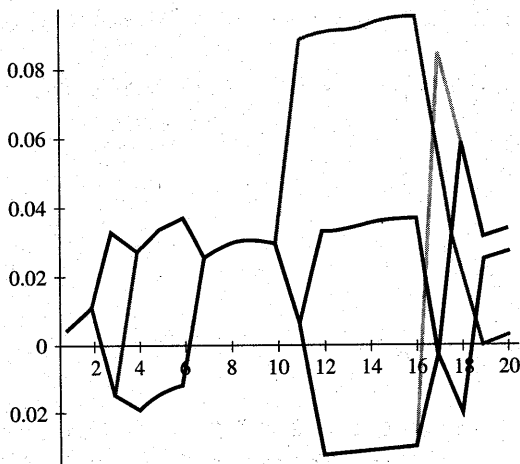


図6. 資本利益率の推移

表1は4つの企業の内、3期における上位企業A社と下位企業D社のその後の推移を示したものである。

表1. シミュレーション結果の要約

期 企業名	3		10		20	
	A	D	A	D	A	D
生産性	.206	.16	.206	.206	.441	.41
資本ストック	88.7	84.4	79.3	77.7	81.8	74.0
生産量	18.3	13.5	16.3	16.0	36.1	32.6
市場シェア	.288	.212	.252	.247	.264	.238
資本利益率	.0326	-0.154	.0286	.0286	.0326	.0326

シード番号を変えると、以上と異なるシミュレーション結果が得られる。⁷⁾ したがって、表1の結果だけを見て、企業行動に関する政策的含意を引き出すことはできないが、NWモデルは、革新と模倣のプロセスを通じてシュンペーター的競争の動態的变化を捉えることができることが明らかになった。

4. むすび

企業の規模とイノベーションとの関係について、いわゆる「シュンペーター仮説」が存在する。彼は発明の概念と革新の概念を区別し、「実用化されない限り、発明は経済的には意義を持たない」とする。つまり技術進歩を達成するためには、市場支配力があり、資金調達力、経営管理能力、原料調達力などで優位な地位を占める大企業の存在が不可欠であると考えている。大企業体制はかなりの程度の市場支配力を持つ大企業から構成される市場構造において急速な技術進歩のために社会が支払わねばならない代償であるという考え方であるが、シュンペーター仮説の検証は実証分析の結果を待たねばならない。

残された課題は大きく分けて二つある。第1に、モデルの拡張である。モデルの拡張に関しては、幾つかの方向が考えられる。

- ① 満足化行動の導入
- ② 産業への参入と退出
- ③ 製品のイノベーションと模倣
- ④ 財務制約の拡張
- ⑤ 寡占企業の価格設定行動の明示的導入

①の満足化行動に関しては本モデルでは明示的に考慮されていない。革新と模倣の計数 r^n 、 r^m はどちらも一定である。そこで、これらの係数を可変的な場合について考慮することによって満足化行動をモデルに明示的に取り入れようという狙いである。そのために3つ新しい変数を導入する。可変的な革新探索活動係数 r_{it}^n 、可変的な模倣探索活動係数 r_{it}^m 、および経営成果指標 X_{it} である。⁸⁾ 経営成果指標はi企業の利益率の分布ラグと定義され(23式)、産業の平均利益率($\bar{\pi}_t$)と比較される。

満足化行動における期待水準は(24) (25)式によって表される。

$$X_{it} = \phi X_{i, t-1} + (1 - \phi) \pi_{it} \quad (23)$$

if $X_{it} > \bar{\pi}_t$

then $r_{i, t+1}^n = r_{it}^n$

$$\text{else } r_{i, t+1}^n = \beta r_{it}^n + (1 - \beta) \bar{r}_t^n + u_{it}^n \quad (24)$$

$X^{it} = X_{it} + \Delta$

if $X_{it} > \bar{\pi}_t$

then $r_{i, t+1}^m = r_{it}^m$

$$\text{else } r_{i, t+1}^m = \beta r_{it}^m + (1 - \beta) \bar{r}_t^m + u_{it}^m \quad (25)$$

$X_{it} = X_{it} + \Delta$

ここで、 ϕ 、 β はパラメータ、 u_{it}^n 、 u_{it}^m は確率変数、 Δ は新探索政策の導入によって向上した成果Xの増分である。

②に関しては、本モデルでは産業に於ける企業数は選択できるが、いったん選択されれば一定である。当該産業への参入と退出をモデルに組み込んだモデルの構築が必要である。

③に関しては、本モデルではプロセスのイノベーションと模倣は考慮されているが、製品の品質や、製品のイノベーションと模倣は考慮されていない。

④については、本モデルでは純利益の範囲内しか借り入れしないが、この制約を拡張し利益の2ないし3倍まで借入が可能の場合についての影響をみる。

⑤本モデルでは価格は供給量のみによって決まるとしている。しかし現代の大企業の代表的形態である寡占企業においては、価格は限界費用、市場シェア、需要の価格弾力性、他企業の反応による供給量の変化によって決定される。このような関係を明示的に取り入れたモデルに拡張する。

第二の課題は、拡張されたNWモデルを用いたシミュレーション結果より何らかのファクトファインディング、あるいは政策的含意を引き出すことである。そのためにはシミュレーション設定のフレームワークをきちんと設計しておくことが必要となる。

* NWモデル利用に当たって、アンデルセン教授(デンマーク Aalborg大学)より懇切に御教示頂いたことに対して謝意を表する。

(注)

- 1) Schumpeter(1961)参照。
- 2) Witt(1993)参照。
- 3) Nelson and Winter(1982) chapter 12による。
- 4) 以下の展開は、Andersen(1996) chapter 4およびAppendixに負っている。
- 5) NWモデルはもともとFortran言語を用いたようであるが、プログラムの詳細は公表されていない。Andersen(1996)は、MapleV言語によってNWモデルを構築し、検証可能にした。MapleVはカナダのWaterloo大学によって開発された数学解析用言語である。詳しくはHeal et al(1996)参照。
- 6) Nelson-Winter(1982)では、企業数は各々2、4、8、16、32社の場合について101期間の平均値や累積値を求めて各種指標の結果について比較検討している。Andersen(1996)では、4社16期間で各種指標を求め、比較検討している。
- 7) MapleVでは、'_seed:=2'と設定すればよい。シード番号の値を変えないといつも同じ乱数が発生し、同じ結果が生じるので、'_seed:=4'というように変えれば、異なるシミュレーション結果を生み出す。
- 8) Andersen(1996) chapter 4による。

参考文献

1. Andersen, E. (1996), *Evolutionary Economics : Post-Schumpeterian Contributions*, Pinter
2. Heal, K. , M. Hansen, and K. Richard(1996), *Maple V Learning Guide*, Springer
3. Iwai, K. (1984), "Schumpeterian Dynamics, Part 1 : An Evolutionary Model of Innovation and Imitation", in Witt(1993), 125-156
4. Iwai, K. (1984), "Schumpeterian Dynamics, Part 2 : Technological Progress, Firm Growth and ' Economic Selection ' ", *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.5, 321-351
5. Nelson, R. and S. Winter(1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Belknap Press of Harvard University Press
6. Schumpeter, J. A. (1961), *The Theory of Economic Development*, Oxford University Press
7. Winter, S. (1984), : "Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes", in Wood(1991), 270-304
8. Witt, U. (ed.) (1993), *Evolutionary Economics*, Elgar
9. Wood, J. C. (ed.) (1991), *J. A. Schumpeter : Critical Assessments*, 4 vols, Routledge