全要素生産性の理論と収斂仮説:
根源的要素としての一般労働者のイノベーション

A Theory of Total Factor Productivity and the Convergence Hypothesis:
Workers' Innovations as an Essential Element

原　嶋　耐　治
Taiji HARASHIMA

〈要　約〉

現在，一人当たりGDPには，世界各国・経済の間で大きな格差が存在する。本論文は，一般の労働者の創造的活動に焦点を当て，新たな視点からその背景を考察する。一般労働者は人間であることから，当然に創造的活動を行うことができる。それは小さなものかもしれないが，当然にイノベーションを生み出すことができる。本論文では，まず，一般労働者の創出するイノベーションが，全体としての生産活動を効率的なものとするために必要不可欠なものであることを示す。次いで，経験曲線効果の理論を用いて，一般労働者の創造的活動の機序を明らかにする。その機序に基づくと，コブ・ダグラス型，約70%の労働分配率，厳密な意味でのハロッド中立という性質を持つ生産関数を導出することができる。この生産関数は，コブ・ダグラス型生産関数のミクロ的基礎付けを与えるという点で重要であるが，さらに重要な点は，一般労働者が創出するイノベーションに係るパラメーター値が非同一であると，各国・経済の全要素生産性ひいては一人当たりGDPの値が非同一になること，つまり収斂仮説に対し重要な示唆を与えることである。

JEL Classification code: D41, E23, J24, O31, O43, O47
〈キーワード〉
全要素生産性，イノベーション，経験曲線効果，収斂仮説，コブ・ダグラス型生産関数

はじめに

経済学では，一般に，イノベーションは研究者あるいは高度な教育を受けた人間のみが生み出すことができると想定されている。この想定は，ほとんどの経済分析・研究において明示的あるいは暗黙の裡に前提とされている。しかし，概念上，イノベーションは必ずしも研究者あるいは高度な教育を受けた人間のみが生み出すことができるというものではない。*The American Heritage Dictionary of the English Language*（Fourth Edition）において，イノベーションは，「新しいものを導き出す行為（the act of introducing something new）」，あるいは，「新たに導きだされたもの（something newly introduced）」とされている。したがって，その意味の核心においては，一般の労働者による創造的活動を排除するものではない。しかし，そうはいっても，本当に高度な教育を受けていない一般労働者が「新しいもの」を生み出すことができるであろうか。その答えは，「できる」である。なぜなら，一般労働者は人間であるからである。人間であれば，たとえ非常に小さなイノベーションであるとしても，新しいものを創造する能力を皆生来持っている。ロボットや機械は，予めプログラミングされた仕事を，想定外のことが起きない限り人間以上に巧く行うことができる。しかし，想定外の事態が生じると，それがいかに小さな問題であっても直ちに正常に作動しなくなってしまう。正常に作動しなくなるだけでなく，ロボットや機械はその問題を自力で解決することができない。人間のみが，新しいもの，つまりイノベーションを生み出すことで想定外の問題を解決することができる。一般労働者は，機械ではなく人間である。したがって，小さな問題のみかもしれないが，当然にイノベーションを生み出すことで想定外の問題を解決することができる。

生産過程において一般労働者の重要性を強調することは，必ずしも新しい考えではない。Arrow（1962）の「実践による学習（learning-by-doing）理論」においては，労働者が同種の行動を規則的に繰り返すことで生産性が向上するとしている。実践による学習理論は，経済学の多くの分野で応用されている（Sheshinski, 1967; Hall and Howell, 1985; Romer, 1986; Adler and Clark, 1991; Nemet, 2006）。また，Mincer（1958），Becker（1962, 1964）以来，「人的資本の理論」も重要な理論の一つとして扱われている。人的資本は，物理的な資本と同様な性質を有し相互に代替可能である。これら二つの理論は，共通して，一般労働者の活動が生産過程において重要な役割を演じていることを強調している。特に，経済成長にとって重要であるとしている。なぜなら，実践による学習を通じて獲得された技能・技巧や教育訓練を通じて得られた人的資本は蓄積されるものであり，その蓄積が経済成長をもたらすからである。

しかし，上述の二つの理論は，もっぱら労働者による既存知識の獲得に焦点を当てている。一般労働者は学習だけでなく創造的活動をも行うことができるということは想定されていない。しかし，前述のように，一般労働者は人間であり，その生み出すイノベーションは殆どの場合小さなものであるにせよ，創造的活動を行うことができる。一般労働者が創造的能力を持つとすれば，企業にとっては，それを最大限利用しようとすることが最も合理的な行動であろう。したがって，企業が合理的であれば，一般労働者がその持つ創造的能力を最大限発揮するような誘因を与えるであろう。多くの企業がこうした行動をとれば，経済活動全般にわたって大きな影響を及ぼすことになるであろう。本論文は，このような生産過程における一般労働者の創造的活動の機序と重要性について分析・考察を行うものである。

イノベーションは本来的に蓄積されるものと考えられてきた。この性質があるが故に，経済学において一般労働者のイノベーションが無視されてきたのかもしれない。なぜなら，一般労働者がイノベーションを行っても，殆どの場合，それらは非常に小さなもので，記録もされず，また移転もされない，つまり蓄積されないと考えられるからである。したがって，蓄積されないそれらのイノベーションを無価値なものと考えることは無理のない考えであったかもしれない。本論文では，こうした見方を否定し，一般労働者による非蓄積性のイノベーションが効率的な生産活動にとって必要不可欠であるという見方を提示する。その理由は，仮にあるイノベーションが蓄積されないとしても，それを創出した本人にとっては価値があると考えられるからである。生産過程においては，非常に多くの小さな想定外の問題が常に生じており，これらの問題を一般労働者の創造的活動によるイノベーションによって解決することが出来れば，生産工程は非常に効率的なものとなるであろう。

一般労働者によるイノベーション創出の機序は，経験曲線効果（The experience curve effect）に基づいて考えることができる。経験曲線効果は，ある作業を行うためのコストがその作業を繰り返し行うことによって低下する効果をいう。経験曲線効果の初期の議論，つまり学習曲線効果（learning curve effect）の研究は，Wright（1936）, Hirsch（1952）, Alchian（1963）, and Rapping（1965）に遡る。学習曲線効果の重要性は，1960年代末から1970年代初めにかけて，The Boston Consulting Group（BCG）によって盛んに強調された（BCG, 1972）。その後，経験（学習）曲線効果は，経営学分野を含む多くの研究分野で応用が進められた（Searle and Goody, 1945; Asher, 1956; Dudley, 1972; Joskow and Rozanski, 1979; Zimmerman, 1982; Womer and Patterson, 1983; Lieberman, 1984; Argote et al., 1990; Reis, 1991）。近年では，技術政策の分野，例えば，エネルギー技術（Yelle 1979; Dutton and Thomas, 1984; Hall and Howell, 1985; Lieberman, 1987; Argote and Epple, 1990; Criqui et al., 2000; McDonald and Schrattenholzer, 2001; van der Zwaan and Rablc, 2003, 2004; Miketa and Schrattenholzer, 2004; Papineau, 2006）において応用が進んでいる。本論文では，経験曲線効果を用いて，一般労働者によるイノベーション創出の機序を考察する。

経験曲線効果に基づいて，一般労働者によるイノベーション創出を考慮した生産関数を導出することができる。その生産関数は，コブ・ダグラス型，約70%の労働分配率，厳密な意味でのハロッド中立性という性質を有している。これらの性質を持つ生産関数は，広く経済研究・分析において用いられている。このことは，逆にいえば，一般労働者のイノベーションを考慮することの妥当性を示しているといえる。さらに，コブ・ダグラス型生産関数のミクロ的基礎を与えるものにもなっている。

しかし，この生産関数の最も重要な点は，上記の点ではない。最も重要な点は，経済成長・発展論における収斂仮説の妥当性を評価するに当たって重要な示唆を与える点である。収斂仮説は，現在大きな格差が存在する世界各国・経済の一人当たりGDPの値が，長期的にはある同一の値に収斂していくという仮説である。新古典派の経済成長モデル（ラムゼイ型成長モデル）に基づけば，この収斂は極めて自然な現象ということになる。一方で，多くの内生的経済成長モデルでは，収斂仮説は支持されない（Romer, 1986, 1987; Lucas, 1988）。また，実証分析の結果は論文によって様々であり，確かなことはいえない（Abramovitz, 1986; Baumol, 1986; Barro, 1991; Barro and Sala-i-Martin, 1992; Mankiw et al., 1992;

Bernard and Durlauf, 1995; Jones, 1997; Michelacci and Zaffaroni, 2000; Cheung and Garcia-Pascual, 2004）。Prescott（1998）は，この問題を解くためには，全要素生産性の新しい理論を構築することが必要であると主張した。本論文で導出された一般労働者のイノベーションに基づく生産関数によると，収斂が生じるかどうかは，一般労働者に係るパラメーターの値が全世界的に収斂するかどうかが重要な要因の一つであることがいえる。もし，このパラメーターの値が各国・経済間で非同一のままであるとすると，一人当たりGDPの値は必ずしも収斂するとは限らないことになる。

第1章　一般労働者のイノベーション

第1節　非蓄積性イノベーション

1　イノベーションにおける蓄積性の本来的不要性

一般に，イノベーションは本来的に蓄積するものであると考えられてきた。そして，全要素生産性は，人類が長い歴史の中で生み出し蓄積してきた全てのイノベーションの総計を反映していると考えられてきた。しかし，蓄積性は，必ずしもイノベーションの必要条件ではない。なぜなら，「はじめに」で述べたように，イノベーションの核心は，「新しいものを導き出す行為」，あるいは，「新たに導きだされたもの」であるからである。Luecke and Katz（2003）は，「イノベーションは，一般に，新しいものや方法の導出，及び，独自の，適切な，さらに貴重な新しい生産物，プロセス又はサービスの具体化，組み合わせ及び統合と理解されている」としている。つまり，イノベーションの核心は，蓄積性ではなく新規性である。

しかし，経済学においては，蓄積されないイノベーションは経済的な観点からは基本的に無意味な存在とされ，殆ど注目を集めてこなかった。蓄積されるイノベーションが，知識や技術として全要素生産性と同等の意味でとらえられてきた一方で，蓄積されないイノベーションは知識や技術とはみなされず，全要素生産性とは無関係な存在と考えられてきた。こうした扱いの相違の理由としては，蓄積されるイノベーションは知識や技術として入手することは可能であるが，蓄積されないイノベーションを入手することは，そもそも蓄積されないので原理的に不可能であることが挙げられる。この移転可能性の側面のみを考えると，非蓄積性イノベーションは，生産活動に影響を及ぼすことはなく，したがって，経済的に無意味な存在と考えることができる。

しかし，非蓄積性イノベーションは経済的に無意味という考え方は，必ずしも妥当なものではない。たしかに，非蓄積性イノベーションは他者には移転されず，創造した本人以外の人間にとっては無意味であろう。しかし，創造した本人自身にとっても同様に無意味であるとは必ずしもいえない。なぜなら，その人はそのイノベーションを生産活動に活用できるからである。たとえ「使い捨て」のイノベーションであっても，有用となりえる。したがって，あるイノベーションが蓄積されず，人類の共通知識とならないからといって，生産活動に全く貢献しない存在であるとはいえない。むしろ，創造した本人にとっては，その非蓄積性イノベーションは生産活動にとって極めて重要なものなのかもしれない。

2　非蓄積性イノベーション

たとえある人がイノベーションを創出したとしても，それをイノベーションとは認識せず，または記録しないことがあるかもしれない。また，仮にそれがイノベーションと認識され，記録されても，ある場合には，そのイノベーションが意図的に秘匿されることがあるかもしれない。つまり，仮にイノベーションが生み出されても，誰もその新規性に気付かず，または記録されず，さらには意図的に秘密にされれば，蓄積されないことになる。こうした現象は，イノベーションが小さなものである，あるいは，一度限りの現象に対してのみ有用なものである場合に起こりやすいであろう。さらに，イノベーションを公開した時に得られる利得が十分でないと思われる場合は，イノベーションを秘匿しておこうという誘因が生じると思われる。

2.1　小さなイノベーション

イノベーションが生み出されても，その生産活動への貢献が小さい場合には，それを創出した本人も，それがイノベーションであったと気付かないかもしれない。仮にそのイノベーションによる生産性の向上には気付いた場合であっても，なぜ向上したのかその理由を解明するためには一定のコストがかかってしまう場合には，あえてその理由を特定しようとまではしないかもしれない。さらに，仮にイノベーションが生み出されたと認識し，その機序を特定したとしても，それが小さなイノベーションの場合には，あえてそれを記録しないかもしれない。つまり，イノベーションが小さい場合に

は，認識されず，特定されず，あるいは記録されない可能性がある。

仮に，あるイノベーションが認識されず，記録もされなかったとしても，それを創造した人は，そのイノベーションを，意識的であるにせよ無意識のうちであるにせよ，その職にある限り生産活動において使うことができる。これらのうち，認識されないイノベーションは，それを創造した本人がその職を辞めた時には消滅してしまうであろう。一方，認識はされたものの記録はされなかったイノベーションの場合には，その一部は口伝を通じて近くにいる他の人に伝えることは可能かもしれない。いずれにせよ，こうした小さなイノベーションは，小さな孤立した閉じた集団内での現象であり，それらが全ての人類に共通する蓄積された知識の一部をなすということには基本的にならないと考えられる。

2.2　一度限りの現象に対応するイノベーション

あるイノベーションが必ずしも小さなものでなかったとしても，それが一度限りの現象にのみ適用可能なものであれば，それは記録されないかもしれない。例えば，個々の売買における売り手と買い手の間の交渉は，基本的に一度限りのものである。非常に似たタイプの交渉はしばしば生じるであろうが，全く同一の交渉は起こりえない。別の例としては，ある機械がある特定の場所に設置された場合においてのみ生じる故障の例も挙げられる。つまり，同様な故障は，他の場所に設置された場合であれば起こらないという事例である。こうした設置場所の相違に加え，個々の機械の個性の問題もある。同じ型の機械であっても全く完全に同じということにはならず，個々の機械ごとに特有の個性を有し，特有の故障が生じることがしばしばある。これらも，広い意味で一度限りの現象の一種と捉えてよいであろう。一度限りの現象にのみ有効なイノベーションの場合には，それを記録し，さらにそれを広く公開しようという誘因は必ずしも強いものにはならないと考えられる。

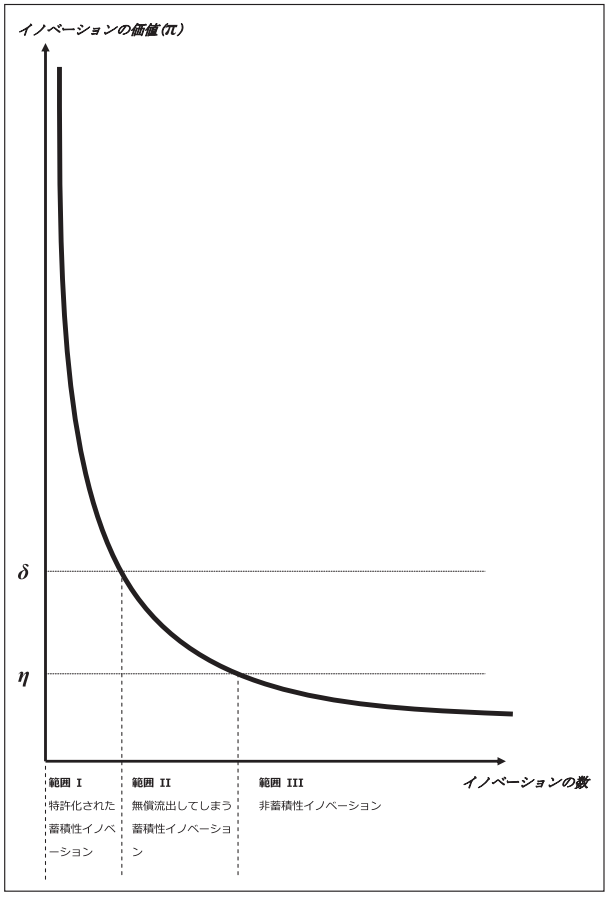
2.3　情報の入手と流布のコスト

もしイノベーションがその創出者に何らの対価も支払われることなく自由に流出するならば，創出したイノベーションを秘匿しておこうという強い誘因が生じると考えられる。しかし，仮に特許料が適切に支払われる場合であっても，イノベーションを流布することに係るコストがその利益を上回っていれば，イノベーションを秘密にしておこうという誘因が生じるであろう。さらに，もしイノベーションが小さいものであれば，その流布による利益は一般にそのコストより低いと考えられる。この場合，そのイノベーションを個人的なもののままとしておく誘因が生じるであろう。

イノベーションの公開に関連するコストには，次の二つの種類があると考えられる。流布コストと獲得コストである。流布コストは，イノベーションを公開し流布させるためのコストである。例えば，特許出願・維持費用，広告費，マーケティング費用等である。獲得コストは，他の人が創出したイノベーションを獲得し使用するためのコストである。例えば，探索費用，移転費用，訓練費用等である。特許使用料も獲得コストに含まれるが，これは，イノベーションの市場価値が特許使用料以外の獲得コストを上回る時にのみ必要になってくる。一般に，特許使用料を除くと，流布コストの方が獲得コストより大きいと考えられる。

ここで，あるイノベーションの流布コストを δ，獲得コストを η，市場価値を π とする。上記の議論から，一般に，もし $\delta > \pi$ なら，$\delta > \eta$ であると考えられる。したがって，δ，η，π の値の相対的な大小関係に応じて，イノベーションは次の三つの範囲によって分類できると考えられる（図1参照）。

図1　イノーベシーョンの分布



範囲 I：$\pi \geq \eta \geq \delta$ または $\pi \geq \delta \geq \eta$：特許化された蓄積性イノベーション
範囲 II：$\delta > \pi \geq \eta$：無償流出してしまう蓄積性イノベーション
範囲 III：$\delta > \eta > \pi$：非蓄積性イノベーション

もし，あるイノベーションの市場価値が流布コストと獲得コストを上回れば，その特許は広く売り出されるであろう（範囲 I)。もし，市場価値が獲得コストは上回るものの流布コストは下回る場合は，無償で広く流出することになるであろう（範囲 II)。もし，市場価値が流布コストも獲得コストも下回る場合は，流布せず個人的なもののままとどまるであろう（範囲 III)。つまり，非蓄積性イノベーションになるであろう。

小さな（つまり市場価値の低い）イノベーションの数は，高い市場価値を有するイノベーションの数よりはるかに多いであろう。したがって，イノベーションの分布は，図1のように，ロングテールを持つ右下がりの分布となると考えられる。この形状は，指数分布あるいはパレート分布で近似できるかもしれないが，特定の分布を仮定する必要はない。この分布の形状が意味する重要な点は，非蓄積性イノベーションが存在し，しかも，その数は蓄積性イノベーションよりはるかに多いという点である。

第２節　非蓄積性イノベーションの源泉

非蓄積性イノベーションを創出するのは誰であろうか。研究者であれば，確実にそれらを創出することができるであろう。しかし，これまで述べてきたように，一般労働者であってもそれは可能である。

１　想定外の問題の解決に不可欠な存在としてのイノベーション

想定内の問題が起きた場合には，事前に準備されている対応プログラムに基づいて最適解を計算することによって，その対応策を見出すことができる。しかし，想定外の問題が生じた場合には，全く事情が異なってくる。事前に準備された対応プログラムは，想定内の問題を解くときにのみ有効であることが保証されているからである。

想定外の問題が生じた時には，どのような対応が必要になるであろうか。まず，生産工程においてその現場を担当している労働者がその問題を把握し，最適な処置を行うことが求められるであろう。この時，その労働者は，以下のような二つの重要な知的活動を行うことが求められる。

(1) この問題を引き起こした未知の（想定外の）機序を発見する。
(2) その機序含めて生産環境を管理する新しい方法を開発する。

そもそも想定外の事象が生じたということは，この生産環境下において生じる現象の一部の機序が未知であったことを示す。したがって，その未知であった機序を発見し，それに基づいて，既存の対応プログラムを修正することが必要になる。修正されたプログラムに基づくと，既存の作業手法ではもはや効率的な生産とはならないかもしれない。この場合には，新たな作業手法を開発することが必要になる。こうした行為は，発見や発明という創造的行為であり，まさにイノベーションである。

さて，機械は，事前にプログラムされた仕事は極めて巧くこなす。多くの場合，人間を遥かに凌ぐ仕事をする。しかし，機械は，事前にプログラムされた仕事しか巧くこなすことができない。想定外の問題が生じた場合には，機械の機能は急激に低下し，多くの場合その動作を停止する。なぜなら，想定外の問題への対処方法は，事前にプログラムとして入力されていないからである。さらに，機械は，自力でイノベーションを行い，想定外の問題に対応できるようにプログラムを修正することはできない。その修正は，人間がイノベーションを行うことによってのみ可能となる。

２　小さな想定外の問題を解決する一般労働者のイノベーション

もし，企業が一般労働者はロボットと同じような存在であると考えるなら，一般労働者の創造的能力が活かされることはないであろう。しかし，企業が一般労働者は想定外の問題を解決する能力を有していると理解しているならば，その能力を最大限利用しようとすることが企業にとって最も合理的な行動であろう。確かに，一般労働者の想定外の問題を解く能力は，高い教育を受けた研究者より低いであろう。しかし，そうであっても，一般労働者の創造的能力を活用しないことは，企業にとって合理的な行動とは言えないであろう。

さらにいえば，むしろ，一般労働者の想定外の問題を解決する能力を活用することは，企業にとって必要不可欠なものなのかもしれない。なぜなら，生産の現場では非常に多くの予期しない問題が始終発生することが現実であるからであ

る。仮に，どんな小さい問題であれ，想定外の問題を解決に当たっては，特別な組織，つまり高度な教育・訓練を受けた専門家集団のみが対処することになっているとすると，それは極めて非効率といえよう。もし，小さな想定外の問題であれば，それが発生した現場にいる一般労働者が対処することができれば，生産活動は非常に効率的なものとなるであろう。現場にいる一般労働者が対策に直ぐ取り掛かることで，生産は速やかに復旧できる。有名な日本企業の「カイゼン」活動も，こうした利点を最大限活用しようという一例なのかもしれない（Lee et al., 1999）。近年，供給側のイノベーションだけでなく，消費者や利用者による「ユーザー・イノベーション（user innovation）」も注目を浴びている（Baldwin et al., 2006）。イノベーションの創出者が研究者，一般労働者，消費者，利用者のいずれであろうと，企業にとっては，それを最大限活用することが最も合理的な行動であろう。

第３節　不完全性がもたらす一般労働者のイノベーションの不可欠性

１　蓄積されたイノベーションの不完全性

現在までに人類が蓄積したイノベーションは，もちろん完全なものとは程遠いものである。さらにいえば，これからも不完全であり続けるであろう。人類が宇宙の全てのことを完全に知ることは決してないであろう。このように人間の持つ知識や技術は常に不完全であることから，人間は常に想定外の問題に直面することになる。仮に蓄積されたイノベーションが完全であれば，それらの情報全てを体化された機械が存在し，それはいかなる状況でも完璧に稼働し続けるかもしれない。しかし，現実には蓄積されたイノベーションは全く不完全であり，機械はしばしば多くの小さな想定外の問題に直面し不調に陥る。もしこうした小さな想定外の問題が起きた場合にその現場にいる一般労働者がその問題を解決できれば，非常に効率的であろう。このことは，逆にいえば，蓄積されたイノベーションが不完全であることによって，一般労働者のイノベーションが効率的な生産にとって必要不可欠なものとなっていることを示している。

２　分業の結果としての情報の不完全性

労働投入は，限界生産力逓減という性質を持っている。この性質は，通常，混雑や重複の発生によって説明される。しかし，この説明は必ずしも十分に説得力があるとはいえない。混雑や重複による非効率性は，分業によって取り除くことが可能であるからである。逆にいえば，労働投入に限界生産力逓減という性質が存在することは，分業によって労働投入に関する全ての非効率性を取り除くことはできないことを意味しているといえる。

分業によって，個々の労働者は，生産工程全体の一部分のみを経験することになる。このため，分割化され，孤立した個々の労働者は，生産工程全体に係る全情報の中の一部分の情報のみにしか接することができない。例えば，個々の労働者は，遠く離れた生産拠点で行われている関連する生産工程の情報の殆どに接することができない。一方で，全ての労働者は，分業を通じて相互に連関している。この連関性があることで，上述した労働者の接しうる情報の分断化が非常に大きな問題となる。特に，一般労働者がイノベーションの創造等の知的活動を行う場合には，大きな問題となる。全ての労働投入が連関していることは，その生産工程に分業として参加している全ての労働者が最適な知的活動を行うためには，それら労働者の全てが生産工程に係る全情報を有している必要があることを意味する。しかし，前述のように，個々の労働者は，分業の結果一部分の情報しか有することができない。つまり，個々の労働者は，不完全情報しか有すことができない。多くの小さな想定外の問題が生じたときに，労働者が分断化された不完全な情報しか有していないと，それらの問題を解決するための判断は，完全情報を有している場合とは異なったもの，通常はより悪いものとなるであろう。この結果，全体としての生産の効率は低下するであろう。

例えば，大会社のCEOは，生産の大局的な計画は熟知しているであろうが，個々の生産現場の個々の生産工程で日常的に起きている多くの小さな問題は知らないであろう。逆に，個々の労働者は，生産の大局的な計画はよく知らないとしても，その従事している現場で担当している生産工程に関する情報であれば，非常に小さなものであっても熟知しているであろう。大小様々な想定外の問題が日常的に多数発生している状況の下で，全体として最も効率的になるためには，CEOも多数の一般労働者も含め分業に参加している全ての人々が，等しくその生産工程に係る全ての情報を有していることが必要である。しかし，全員が全情報を等しく有することは不可能である。このように，分業は，情報の分断化をもたらし，個々の労働者の全てが完全な情報を有することを妨げる。

このため，各労働者は，想定外の問題に遭遇した時，不完全な情報しか持たないままその解決に当たらなければならない。仮に，労働者が，不完全情報の下でも，その知的活動によって想定外の問題をもたらした未知の機序を十分に正確に発見できるならば，この情報の不完全性の問題は大きな問題にならないかもしれない。しかし，現実には，不完全な情報

しか用いることができなければ，正確に未知の機序を発見することは完全情報の時よりもより少なくなるであろう。つまり，情報の不完全性の結果としての非効率性が生じる。このように，分業が進展・拡大する程，各労働者が入手しうる情報はより不完全となり，想定外の問題の解決もより困難になることから，全体としての効率性は低下することになる。

つまり，分業によって，混雑や重複による非効率性と情報の分断化による非効率性の二種類の非効率性を，同時には解決できないといえる。分業の進展・拡大は，混雑や重複による非効率性を低減させるが，一方で，情報の分断化による非効率性を増大させる。おそらく，混雑や重複による非効率性の方が，情報の分断化による非効率性よりもより深刻な問題であるため，情報の分断化による非効率性が生じることを覚悟の上で，分業が最大限広範に行われているのであろう。

3　一般労働者のイノベーションの不可欠性と経済的重要性

一般労働者が想定外の問題を解決することができるとしても，そのイノベーションが経済的に重要なものであるかどうかという疑問は残る。殆どの非蓄積性イノベーションは非常に小さなものであることからすると，経済的にみて重要なものではないのかもしれない。しかし，第1章第1節で述べたように，大きな（価値の高い）イノベーションの数より，小さな（価値の低い）イノベーションの数の方が遥かに多いと考えられる。また，研究者や高度な教育を受けた従業員の数よりも，一般労働者の数の方が遥かに多いであろう。確かに，一般労働者は蓄積性イノベーション（範囲I及びII）の創出には殆ど貢献しないであろうが，非蓄積性イノベーション（範囲III）の創出の多くは一般労働者によるものであると考えられる。これまで考察してきたように，非蓄積性イノベーションは，蓄積性イノベーションの不完全性と情報の不完全性が存在するために，高い効率性の実現にとって必要不可欠な存在である。つまり，一般労働者による非蓄積性イノベーションの創出がなければ，生産全体の効率性は著しく低下するであろう。このことから，一般労働者のイノベーションは，不可欠でありかつ経済的に重要な存在であると考えられる。なお，一般労働者のイノベーションの経済的重要性に関しては，第4章でも別途考察する。

第2章　経験曲線効果

第1節　経験曲線効果と一般労働者のイノベーション

1　経験曲線効果の理論

経験曲線効果は，ある作業をより多く繰り返し行えば，それに従ってそれを行うコストがより低くなるというものである。繰り返し同じ作業を行う程その作業効率が向上することを意味している。経験曲線効果（当初は学習曲線効果と呼ばれた）のアイデアは，Wright（1936），Hirsch（1952），Alchian（1963），Rapping（1965）に遡る。経験（学習）曲線効果の重要性は，1960年代から1970年代初にかけて，Boston Consulting Group（BCG）によって強調された。これらの先駆的業績以来，経験（学習）曲線効果は多くの学問分野で応用されてきた。例えば，経営戦略や組織研究では，航空機産業に関し Wright（1936），Asher（1956），Alchian（1963），Womer and Patterson（1983），造船業に関し Searle and Goody（1945），機械産業に関し Hirsch（1952），金属産業に関し Dudley（1972），原発産業に関し Zimmerman（1982），Joskow and Rozanski（1979），化学産業に関し Lieberman（1984），Argote et al.（1990），食品業に関し Reis（1991）が挙げられる。さらに近年では，技術政策の分析に関し，特にエネルギー技術の分野で応用されている（Yelle 1979; Dutton and Thomas, 1984; Hall and Howell, 1985; Lieberman, 1987; Argote and Epple, 1990; Criqui et al., 2000; McDonald and Schrattenholzer, 2001; van der Zwaan and Rablc, 2003, 2004; Miketa and Schrattenholzer, 2004; Papineau, 2006）。経験曲線効果の実証分析に於いて問題となる点が，静的な規模の経済性と動的な学習効果の識別である。Lieberman（1984）は，実証研究のサーベイに基づいて，一般に，静的な規模の経済性は統計的に有意であるが，その大きさは学習の効果に比べると相対的に小さいと結論付けている（Preston and Keachie, 1964; Stobaugh and Townsend, 1975; Sultan, 1976; Hollander, 2003 も参照のこと）。

経験曲線効果は，通常，以下の式で示される。

$$C_N = C_1 N^{-(1-\alpha)} \tag{1}$$

ここで，C_1 はある作業の最初の生産単位のコスト，C_N は N 単位目の生産のためのコスト，N はこれまでの生産の総単位数，$\alpha\,(0<\alpha<1)$は定数パラメーター，さらに，$\dfrac{C_{2N}}{C_N}$ と $1-\alpha$ は，それぞれ進捗比率（progress ratio），学習率（learning

rate）と一般に呼ばれるものである。この対数線形の関数形は最もよく使われているものであるが，それは，それが単純でかつデータによく合致するからである。実証研究によると，α の値は通常 0.6 と 0.9 の間の値をとる。BCG による実証研究では，様々な産業において，生産量が倍増するつど 10–25% コストが低減するという経験曲線効果が報告されている（BCG, 1972）。この推計値は，$0.58 \leq \alpha \leq 0.85$ に相当する。Dutton and Thomas（1984）は，108社の製造業の企業のデータを基に進捗比率の分布を示したが，それによると，進捗比率は 0.7 から 0.9 の間の値をとり，その平均は，0.82 である。この値は，$0.48 \leq \alpha \leq 0.85$ 及び平均 $\alpha = 0.71$ に相当する。OECD/IEA（2000）は，産業単位でみた進捗比率は，Dutton and Thomas（1984）によって示された企業単位でみた進捗比率と同様な分布を示すとしている（Hirsch, 1956; Womer and Patterson, 1983; Womer, 1984; Ayres and Martinas, 1992; Williams and Terzian, 1993 も参照のこと）。

α の値（言い換えれば，進捗比率や学習率の値）は，様々な要因によっていろいろな値をとるであろう（Hirsch, 1956; Adler and Clark, 1991; Pisano et al., 2001; Argote et al., 2003; Sorenson, 2003; Wiersma, 2007）。しかし，BCG（1972），Dutton and Thomas（1984），and OECD/IEA（2000）によると，α の平均値は，通常，ほぼ 0.7 となる。なお，この値は，進捗比率では約 0.8，学習率では約 0.3 に該当する。以上の実証研究の結果から，一般に α の値を 0.7 と仮定しても問題はないと考えられる。

2 経験を通じもたらされる情報

経験によって一般労働者にもたらされる重要な要素は情報である。ある作業を繰り返し経験すると，労働者が保有する当該作業に係る情報の量は増大し，それに伴って情報はより完全なものとなっていくであろう。この意味で，(1)式において経験の量を示す変数 N は，ある労働者が保有する当該作業に関する現時点での情報の量を反映しているといえる。ある作業の経験が増えるほど効率性が高まるのは，その作業に関する情報の量が増大したからと考えることができる。しかし，他の条件が一定であるならば，効率性向上の程度は，N の値が大きくなるに従って逓減するであろう。なぜなら，その作業に関する情報の量が，その飽和点に近づいていくからである。

ここで，I を，ある労働者がある作業に関し蓄積可能な最大限の情報の量とする。当該作業に1単位期間従事することによって，ある労働者は，I の部分集合の情報を入手する。より多くの単位期間従事すること（すなわち，経験 N を増やすこと）で，当該労働者が現有する当該作業に係る情報の量（ $\tilde{I}$ ）は，I に近づいていく。つまり，$\tilde{I}$ と I の間の差異は縮小していく。経験 N が増え，より完全に近い情報を得ることで，効率性は向上するであろう。

ある労働者が1単位期間内に獲得する I の部分集合の一部は，次の1単位期間内に獲得す I の部分集合の一部と重複するであろう。さらに，$N \to \infty$ に対し $\tilde{I} \to I$ である。したがって，経験 N が増大するにつれて，効率性向上の程度は漸近的に低下するであろう。しかし，漸近的な低下は，単純なプロセスではないかもしれない。ある情報は獲得が容易だが，ある情報は難しいかもしれない。また，ある情報は効率性向上に大きく貢献するが，ある情報は小さな貢献しかしないかもしれない。これらの要因全てを総合したものが，漸近的な効率性向上の低下をもたらすのであろう。(1)式で示される対数線形の関数形は，単純でありながらデータによく適合することから，この漸近的な低下をうまく表現していると考えられている。このことから，(1)式は殆どの経験曲線効果の分析において採用されている。

3 経験曲線効果の概念の拡張

経験の核心はそれが情報をもたらすことであるから，経験曲線効果の概念は，様々なタイプの作業・仕事に拡張して応用することができるであろう。反復される作業・仕事，つまり時間的に分割される作業・仕事に限られる必要はない。例えば，ある「活動」があり，それは多くの「経験」に分割され，かつ，それぞれの「経験」は異なる人によって所有可能であるとする。それぞれの「経験」は，「活動」に係る全情報の部分集合をもたらす。その部分集合の一部は，他の「経験」がもたらす情報の部分集合の一部と重複する。経験曲線効果は，こうした活動に対しても適用可能である。つまり，N を労働者が保有可能な全経験の部分集合だと考えると，1単位期間内の作業の経験が，関係する労働者全員によって分割して保有される場合でも，一人の労働者の経験が時間的に分割して保有される場合と同様に，経験曲線効果を適用できるであろう。この概念の拡張が示すことは，経験曲線効果は，経験が期間によって分割され場合も，労働者によって分割された場合も，いずれの場合にでも適用可能であるということである。 さらに言えば，人間の知的活動であれば，その経験が期間や労働者以外の要因によって分割された場合で，経験曲線効果は適用可能であろう。なぜなら，分割された経験が知的活動に影響を及ぼす全情報の部分集合をもたらすという点で，共通するからである。

第２節　技術投入と経験曲線効果

１　資本に分散して体化される蓄積性イノベーション

非蓄積性イノベーション創出の機序を理解するためには，まず個々の労働者が，それぞれの現場において，資本及びそれらに体化された蓄積性イノベーションにどのように接しているかを考察する必要がある。いかなる機械や道具であっても，その一単体に人類が蓄積してきたイノベーションの全てを体化できる訳ではない。個々の機械や資本には，蓄積性イノベーションのごく一部しか体化されていない。さらにいえば，異なる種類の機械や道具には，異なる種類の蓄積性イノベーションが体化されている。この蓄積性イノベーションと資本の関係は，蓄積性イノベーションは多様であり，分割可能であり，さらに分散して資本の中に体化されていることを示している。

もし，資本への体化において混雑や重複といった負の効果が存在する場合には，蓄積性イノベーションが分割して配分されることで，生産効率は向上するであろう。さて，より多くの種類の蓄積性イノベーションを機械や道具の中に体化すると，その機械や道具はより汎用性のあるものになるであろう。しかし，汎用性のある機械や道具は，特殊化された機械や道具よりも有用性や効率性が低い場合が多いと考えられる。なぜなら，汎用性のある機械や道具では，蓄積性イノベーションの混雑や重複の問題がより強く生じると考えられるからである。

ここで，世界には一つの経済しかなく，その経済における全ての労働者は同質・均一であると仮定する。また，生産関数は $Y=f(A,K,L)$ である。ここで，Y は生産量，A は技術（蓄積されたイノベーション），K は資本投入量，L は労働投入量である。A は，その経済に存在する技術の総量と解釈することもできるが，同時に，技術の種類の総数と解釈することもできる。さらに，τA を，資本一単位に体化されている A の部分とする。τ は正のパラメーターである。A の分割により蓄積性イノベーションの混雑や重複が緩和され生産効率が向上するという考えに基づき，以下のように仮定する。

$$\frac{\partial Y}{\partial \tau}<0 \tag{2}$$

（2）式は，τ の値が小さいほど（すなわち，混雑や重複の程度が低いほど），生産量 Y が大きくなることを意味している。

一方，もし τ の値が極めて小さいとすると，A が K に殆ど全く体化されていないことになる。殆ど全く A が体化されていないとすると，K はもはや機械や道具ではなく，ただの無用の物体ということになる。したがって，一単位の K には少なくともある一定単位以上の A が必ず体化されていると仮定する。ここで，もし $\tau<\frac{1}{K}$ であるならば，ある経済で使用される A の総量は $\tau AK<A$ となり，A の一部がいかなる K にも含まれないことになってしまう。したがって，条件 $\frac{1}{K}\leq\tau$ が成立する必要があり，$\tau=\frac{1}{K}$ は閾値ということになる。さて，この条件の成立を保証するために，$\tau<\frac{1}{K}$ の場合には，A と τ に関する Y の全微分は正であると仮定する。すなわち，$\tau<\frac{1}{K}$ に対して，

$$dY=\frac{\partial Y}{\partial A}dA+\frac{\partial Y}{\partial \tau}d\tau>0 \tag{3}$$

したがって，

$$\frac{dY}{d\tau}=\frac{\partial Y}{\partial A}\frac{dA}{d\tau}+\frac{\partial Y}{\partial \tau}>0 \tag{4}$$

と仮定する。このことは，もし τ の値が閾値 $\tau=\frac{1}{K}$ よりも小さい場合には，A の量が生産に与える影響の方が，A の分割が生産に与える反対方向の影響よりも大きいことを意味する。したがって，企業の合理的行動の結果として，$\tau<\frac{1}{K}$ の場合には A の分割が進み（τ の値は大きくなり），基本的に条件 $\frac{1}{K}\leq\tau$ は満たされることになる。なお，条件 $\frac{1}{K}\leq\tau$ が満たされれば，A のいかなる部分もいずれかの K に体化されることになることから，$\frac{dA}{d\tau}=0$ となり，さらに，$\frac{dY}{d\tau}=\frac{\partial Y}{\partial \tau}<0$ ということになる。

(2)及び(4)式で示された τ の性質を併せて考えると，最適な τ の値は $\frac{1}{K}$ ということになる。合理的な企業の行動を通じて $\tau=\frac{1}{K}$ が成立することで，蓄積性イノベーションの資本への最適な体化が実現する。したがって，資本1単位に体化

される A の単位数は，経済全体で平均すると，常に

$$\frac{A}{K}$$

となるといえる。つまり，労働者が1単位の資本を使う時，労働者は $\frac{A}{K}$ 単位の蓄積性イノベーションに接することになる。[1]　A は技術の総量を示すと同時に技術の種類の総数を示すものでもあることから，$\frac{A}{K}$ は，一人の労働者が1単位の資本を使う時に A の種類の総数中 $\frac{1}{K}$ 種類に接することを意味している。

2　特殊化あるいは汎用化された機械や道具

ここで，A の値は一定だとしよう。つまり，新規の蓄積性イノベーションは追加されないと仮定する。この時 K が増加したとすると，1単位の K に体化される A は減少する。なぜなら，1単位の K に体化される A は，常に $\frac{A}{K}$ と等しくなるからである。低い $\frac{A}{K}$ 値は，機械や道具が全体として特殊化されたことを意味する。なぜなら，より少ない A しか体化していない K の使途は，より限定的なものとなってしまうからである。つまり，一般に使用される機械や道具の種類は，A が変化しない場合でも変化することになる。K が増加すれば，機械や道具は特殊化し，逆の場合は汎用化する。一般に使用される機械や道具が特殊化されたものなるか汎用なものになるかは，A だけでなく K にも依存することになる。

なお，汎用化することは，必ずしもより進んだ技術となることを意味しない。むしろ，汎用の機械や道具の方がより旧来型の技術であるといえる。逆に，特殊な用途に特化することの方が，より先端的な技術となることを意味する。汎用であるためには，より基本的な技術に依拠し，特殊な機能とそれに特化した技術を外す必要がでてくるが，より基本的な技術は，より古い原初的な技術であることが多いからである。

3　実効技術投入

第2章第1節で述べたように，経験曲線効果の理論は，作業が知的創造的活動でありかつ何らかの要因によって分割可能であれば適用可能である。したがって，経験曲線効果の理論は，一般労働者による非蓄積性イノベーションの創造活動にも適用可能である。なぜなら，(1)　その活動は人間の知的創造的活動であり，(2) 経験は，労働者が接する K に体化された A の種類によって分割されるからである。一人の労働者は，1単位の資本を使う時，蓄積性イノベーションの一部（ $\frac{A}{K}$ ）に接する。この蓄積性イノベーションの一部分は，蓄積性イノベーションに係る全情報のある部分集合を労働者にもたらす。この情報の部分集合は，他の労働者が遭遇する蓄積性イノベーションによってもたらされる情報と一部重複しているかもしれない。

一人の労働者は，その働く個別の現場で使用される資本（機械や道具）1単位に体化された蓄積性イノベーション（ $\frac{A}{K}$ ）として，ある特定のいくつかの種類の蓄積性イノベーションに接する。ここで，一人の労働者が一単位期間に一単位の資本に体化された複数の蓄積性イノベーションの中のある一つの種類に平均的に接触する頻度（つまり，労働者の経験）を，N_A とする。$\frac{A}{K}$ の値が増加するに従い，一単位の資本に含まれる蓄積性イノベーションの種類は増加する。その場合，N_A は減少する。なぜなら，一単位期間内に，$\frac{A}{K}$ に含まれる蓄積性イノベーションの種類の中のある一つの種類に接する確率としては低下するからである。このことから，$\frac{A}{K}$ の値は，一人の労働者が一単位の資本に含まれるそれぞれの種類に接する経験 N_A と逆相関しているといえる。したがって，以下の式の関係が存在するであろう。

---

[1] 本論文では、世界にただ一つの経済のみが存在すると仮定している。しかし、現実には多くの小国が世界には存在しており、それらの小国は A の一部しか利用していないかもしれない。したがって、様々な大きさの多くの国（経済）が存在すると仮定した場合には、最適な τ の値に関しては、国（経済）の規模も考慮する必要があるであろう。この経済の規模の問題、さらに集計の問題は、第3章において詳しく考察する。

$$N_A = \beta_A \left(\frac{A}{K}\right)^{-1}$$

ここで，β_A は正の定数である。労働者の平均接触頻度であるβ_A を標準化して $\beta_A = 1$ とおくと，

$$N_A = \left(\frac{A}{K}\right)^{-1}. \tag{5}$$

となる。

さらに，一人の労働者が一単位期間に $\frac{A}{K}$ に含まれるある種類の蓄積性イノベーションを使用するとき，その蓄積性イノベーションの不完全性の結果として被る非効率の程度を，C_{A,N_A} とする。ただし，C_{A,N_A} は，蓄積性イノベーションの不完全性により当初から存在していた非効率性を示すのではなく，一般労働者が非蓄積性イノベーションを創出することで緩和された後の非効率性を示している。非効率性の増加に比例してコストは増加する。つまり，C_{A,N_A} はコストも意味する。逆にいえば，C_{A,N_A}^{-1} は，一人の労働者が一単位期間に $\frac{A}{K}$ に含まれるある種類の蓄積性イノベーションを使用する時，非蓄積性イノベーションを創出することによって，その蓄積性イノベーションの不完全性を補うことによって得られる生産性と解釈することができる。労働者が $\frac{A}{K}$ に含まれるある種類の蓄積性イノベーションに遭遇する頻度が高まるほど，非蓄積性イノベーションの創出は増加するであろう。つまり，経験量が増えるにしたがって，非蓄積性イノベーションの創出により蓄積性イノベーションの不完全性はより緩和され，生産性は上昇するであろう。したがって，非効率性 C_{A,N_A} は，遭遇頻度が高まるほど低下するであろう。

経験曲線効果に基づくと，一人の労働者が一単位の資本に体化されたある種類の蓄積性イノベーションに遭遇する平均頻度（ N_A ）が上昇すると（つまり，$\frac{A}{K}$ の値が減少すると），非効率性 C_{A,N_A} が減少する（つまり，生産性 C_{A,N_A}^{-1} は上昇する）ことを，以下のような式で表すことができる。

$$C_{A,N_A} = C_{A,1} N_A^{-(1-\alpha)} \tag{6}$$

ここで，$C_{A,1}$ は，$N_A = 1$ の時の非効率性である。なお，α は(1)式の定数パラメーター$(0 < \alpha < 1)$ である。

さらに，C_{A,N_A}^{-1} が上昇すると（つまり，C_{A,N_A} が低下すると），一単位の資本に体化された「実質的な」技術投入の量（蓄積性イノベーションの量）が増加する。なぜなら，一般労働者の非蓄積性イノベーションのおかげで，非効率性が緩和されるからである。したがって，一人の労働者が $\frac{A}{K}$ に含まれる蓄積性イノベーションを使用した場合の一単位の資本に体化された実質的な技術投入の量は，C_{A,N_A}^{-1} と正相関する（つまり，C_{A,N_A} と逆相関する）。これは，

$$W_A = \frac{\gamma_A}{C_{A,N_A}} \left(\frac{A}{K}\right), \tag{7}$$

と表すことができる。ここで，W_A は，一人の労働者が $\frac{A}{K}$ に含まれる蓄積性イノベーションを使用する場合の一単位の資本に体化された実質的な技術投入の量である。γ_A は正の定数である。つまり，$\gamma_A\left(\frac{A}{K}\right)$ は，$C_{A,N_A} = 1$ のとき，一人の労働者が $\frac{A}{K}$ に含まれる蓄積性イノベーションを使用する場合の一単位の資本に体化された実質的な技術投入の量である。

(5)，(6)式を(7)式に代入すると，

$$W_A = \frac{\gamma_A}{C_{A,N_A}} \left(\frac{A}{K}\right) = \frac{\gamma_A}{C_{A,1} N_A^{-(1-\alpha)}} \left(\frac{A}{K}\right) = \frac{\gamma_A}{C_{A,1} \left(\frac{A}{K}\right)^{1-\alpha}} \left(\frac{A}{K}\right) = \frac{\gamma_A}{C_{A,1}} \left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha} \tag{8}$$

となる。(8)式の意味するところは，以下の通りである。第2章第2節1で述べたように，一単位の資本に体化された技術

（蓄積性イノベーション）の量は $\frac{A}{K}$ である。しかし，技術は不完全であることから，この技術投入量が実質的に全て有効に活用されるとはいえない。一方で，この不完全性に起因する非効率性は，一般労働者の創出する非蓄積性イノベーションによって，完全にではないものの一定程度緩和される。(8) 式は，この緩和の結果，一単位の資本に体化された技術の量は，実質的には $\frac{A}{K}$ に単純に比例する訳ではなく，$W_A = \frac{\gamma_A}{C_{A1}}\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha}$ に比例することを示している。(8)式に基づくと，資本一単位当たりの実質的な技術投入量，すなわち「実効技術投入量（ $\widetilde{A}$ ）」は，

$$\widetilde{A} = \upsilon_A W_A = \omega_A\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha} \tag{9}$$

と表すことができる。ここで，υ_A と ω_A は正の定数パラメーターであり，$\omega_A = \left(\frac{\upsilon_A \gamma_A}{C_{A,1}}\right)$ である。

第３節　労働投入と経験曲線効果

分業により情報が分断化され不完全となった結果生じる非効率に係る行為は，経験曲線効果を適用するための条件（第2章第1節3）を満たしているといえる。なぜなら，まず，第1章第3節で述べたように，一般労働者による創造的行為がこの非効率性に関係しており，さらに，生産過程は分業する労働者によって分割されているからである。個々の労働者は，分業の結果，生産過程の一部のみにしか接することができない。生産過程の一部分は，生産過程全体の一部の情報しかもたらさない。その一部分の情報は，他の労働者にもたらされる情報と部分的に重複しているかもしれない。なお，分業は，国際分業等を通じ，究極的には世界全体に渡って行われていると考えられる。したがって，この非効率性に係る行為は，全世界に渡って相互に関連していると考えることができる。

一人の労働者が担当する生産過程（つまり，労働者の経験）を N_L とおく。N_L は，経済に存在する全ての生産過程（ N ）の一部分を占め，数量で測ることができるものとする。ここで，$N=1$ と標準化する。したがって，$0<N_L<1$ である。生産過程の一部分は，生産過程に関する全ての情報の中のある部分集合を労働者にもたらす。その情報の一部は，他の労働者にもたらされた情報の部分集合と一部重なるかもしれない。さて，先に仮定したように，世界には一つの経済のみが存在し，全ての労働者は同一の性質を有する。したがって，一人の労働者の経験（ N_L ）は，労働者の総数と反比例することから，

$$N_L = \frac{\beta_L}{L}$$

と表すことができる。ここで，L は労働者の総数，β_Lは定数である。$\beta_L\left(=N_L L\right)$ は，経済における生産過程の総計を意味する。すなわち，$\beta_L = N$ である。$N=1$ であることから，

$$N_L = \frac{1}{L} \tag{10}$$

である。

ここで，一人の労働者の経験が N_L であるとき，情報の分断と不完全性によって生じる一人の労働者の労働投入における非効率性の程度を，C_{L,N_L} とする。非効率性の増加によってコストも比例的に増加することから，C_{L,N_L} はコストと解釈することもできる。したがって，C_{L,N_L}^{-1} は，労働投入における生産性と解釈することができる。この生産性 C_{L,N_L}^{-1} は，一般労働者による非蓄積性イノベーションの増加による非効率性の緩和に伴って上昇する。一方，非効率性 C_{L,N_L} は，個々の労働者が利用可能な情報の量が増加するに従って低下する。なぜなら，増加した情報を用いて労働者は生産工程全体の構造をより正確に推計できるようになり，それにより多くの小さな想定外の問題に対し適切に非蓄積性イノベーションを創出できるようになることで，労働投入における非効率性を削減できるからである。第2章第1節で述べたように，経験曲線効果のモデルをこの非効率性緩和行為に適用することができる。経験曲線効果に基づくと，一人の労働者の経験（ N_L ）の増加（これは，労働者総数の減少を意味する）に伴う C_{L,N_L} の低下を，以下の式で表すことができる。

$$C_{L,N_L} = C_{L,1} N_L^{-(1-\alpha)}, \tag{11}$$

ここで，$C_{L,1}$ は，$N_L=1$ のときの非効率性である。なお，これまで同様に，α は (1)式の定数パラメーター $(0<\alpha<1)$ と同じものである。

さて，生産性（C_{L,N_L}^{-1}）が上昇すると（つまり，非効率性 C_{L,N_L} が低下すると），一人の労働者の実質的な労働投入量は増えるであろう。つまり，一人の労働者の実質的な労働投入量は，C_{L,N_L}^{-1} と正相関（つまり，C_{L,N_L} と逆相関）しているであろう。この関係は，以下の式で表すことができる。

$$\frac{W_L}{L}=\frac{\gamma_L}{C_{L,N_L}}, \tag{12}$$

ここで，W_L は，一人の労働者の実質的な労働投入量である。つまり，W_L は，分断化された不完全な情報の結果生じる非効率のために低下した実質的に有効な労働投入量である。なお，γ_L は定数であり，これは，$C_{L,N_L}=1$ のときの一単位期間内の労働者一人当たりの生産量を意味する。

(10)，(11) 式を (12) 式に代入すると，

$$W_L=\frac{\gamma_L}{C_{L,N_L}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}N_L^{-(1-\alpha)}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}L^{1-\alpha}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}}L^{\alpha}. \tag{13}$$

が得られる。(13) 式の意味するところは，以下の通りである。分断化された不完全な情報による非効率性により，実質的な労働投入量は抑制される。分業が進むほど（つまり，L が増加するほど），実質的な労働投入量は抑制される。このため，(13) 式が示すように，実質的な労働投入量は，単純に L に比例する訳ではなく，$W_L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}}L^{\alpha}$ に比例する。(13) 式に基づくと，生産過程において実質的に投入される労働投入量，すなわち「実効労働投入量（$\widetilde{L}$）」は，以下のように表すことができる。

$$\widetilde{L}=\upsilon_L W_L=\omega_L L^{\alpha}, \tag{14}$$

ここで，υ_L と ω_L は正の定数パラメーターであり，$\omega_L=\frac{\upsilon_L\gamma_L}{C_{L,1}}$ である。

第４節　資本投入と経験曲線効果

$\widetilde{A}$ や $\widetilde{L}$ と同様な形で資本投入 K に関しても何らかの非効率性が存在し，そして，それは一般労働者の創造的活動と関係しているかもしれない。もしそのような非効率性が存在するとすれば，実効資本投入量は，$\widetilde{A}$ や $\widetilde{L}$ と同様に，K と同じという訳にはいかないことになる。しかし，資本の使用に関しては，一般労働者の創造的活動と関係する非効率性は見当たらない。したがって，資本投入に関しては，一般労働者のイノベーションは基本的に無関係，したがって，経験曲線効果とも基本的に無関係であると考えられる。

しかし，資本投入に関する制約が何もないという訳ではない。一般労働者の創造的活動とは関係しない別の種類の制約要因が存在する。その一つが，資本への到達可能性（accessibility）の制約である。一人労働者が，経済に存在する全ての資本を一度に同時に使用することは当然にできない。一人の労働者は，その働く現場に設置されている資本，つまりある国・経済の資本全体のごく一部しか使用することができない。この意味で，労働者には，その使用する資本に接近し到達することに関する制約が存在することになる。この資本への到達可能性の制約により，個々の労働者の資本の使用は制限されることになる。なお，到達可能性は，一般労働者の創造的活動とは基本的に無関係である。なぜなら，想定外の問題が生じても殆どの場合資本への接触は妨げられないし，個々の労働者の到達可能性は全世界に渡って相互に相関していないからである。したがって，到達可能性は，労働者の経験の多寡とも基本的に無関係である。

さて，一つの機械や道具は，生産過程において必ずしも常時使用され続ける訳ではない。ある程度の間隔をもって遊休状態になることがある。一方，一単位期間に，一人の労働者が複数の機械や道具を用いることもあれば，複数の労働者が同一の機械や道具を使うこともある。ここで，一人の労働者が平均的に使用する資本 K の一部分を，σK とする。$\sigma\left(0<\sigma\leq 1\right)$ は，正のパラメーターである。経済で使用される資本の総量は，その全存在量 K より小さいことはあり得ないであろう。したがって，$K\leq\sigma KL$ 及び $\frac{1}{L}\leq\sigma$ であり，ゆえに，$1\leq L$ に対して $\frac{1}{L}\leq\sigma\leq 1$ である。もし労働者一人当たりの使用可能な資本量が増加したとすると，生産は増加するであろう。つまり，生産関数 $Y=f\left(\sigma,A,K,L\right)$ に対して

$$\frac{\partial Y}{\partial\sigma}>0. \tag{15}$$

である。(15) 式の条件と制約 $\frac{1}{L}\le\sigma\le 1$ により，ある特定 σ の定常値が導かれる。すなわち，$\sigma=1$ である。これは，各労働者は，経済に存在する全ての資本を使用することを意味しているが，明らかにこれは不可能である。このことは，到達可能性は無限ではないことを意味する。ある労働者が遠く離れた場所に設置された資本を使用したいと思っても，通常それはできない。なぜなら，そうするためにはコストがかかりすぎるからである。したがって，到達可能性には，空間的な意味で上限が存在するといえる。一人の労働者が使用できる資本は，その労働者が労働する周辺の狭い地域に設置された資本のみであり，K 全体のごく一部分である。つまり，パラメーター σ の値には，以下のように上限が存在する。

$$\frac{1}{L}\le\sigma\le\bar{\sigma} \tag{16}$$

ここで，$\bar{\sigma}$ $\left(0<\bar{\sigma}<1\right)$は，正の定数である。この上限 $\bar{\sigma}$ が存在することから，一人の労働者が使用する K の最適値は，(15) 及び (16) 式の条件より，平均的に，$1\le L$ に対して

$$\widetilde{K}=\bar{\sigma}K\ . \tag{17}$$

となる。

パラメーター $\bar{\sigma}$ の値は，一人の労働者が空間的に到達・使用しうる資本量の上限を示している。[2] ある経済の平均的な $\bar{\sigma}$ の値は，まず運輸施設の物理的な利用可能性に依存するであろう。しかし，空間的な制約は，運輸施設の物理的な利用可能性のみによって生じるとは限らない。例えば，法執行，規制，金融制度等の要因も到達可能性に影響を及ぼすであろう。$\bar{\sigma}$ の値は，これらの要因全ての総合的な影響を反映したものである。

ある特定の現場で特定の機械を使って労働する労働者（例えば，工場で働く労働者）である場合，その $\bar{\sigma}$ の値は多くの労働者でほぼ同じ値となると思われる。しかし，様々な場所に移動して仕事をする，例えばサービス産業等で働く労働者の場合には，その仕事の内容によって $\bar{\sigma}$ の値は大きく異なるかもしれない。さらにいえば，たとえ工場で働く労働者であっても，その職種には様々なものがあり（例えば，金融機関との交渉，マーケティング），$\bar{\sigma}$ の値は労働者間で大きく異なるかもしれない。

ここで，ある国・経済における一単位の地域当たりの資本の密度が，全ての「産業地域」で同一であると仮定する。[3] なお，K は産業地域においてのみ配置されているとする。このとき，その国・経済における K の総量の増加は，その産業地域における資本密度の上昇を意味する。平均的 $\bar{\sigma}$ が変化しないとすると，資本密度の上昇に伴い，一人の労働者が使用可能な資本量も，資本総量の増加率と同じ率で増加する。一方，L の総量の増加は，産業地域における資本の密度に変化をもたらさない。したがって，平均的な $\bar{\sigma}$ が変化しないとすると，一人の労働者が使用可能な資本の部分も変化しない。

第3章　生産関数

第 1 節　近似実効生産関数（AEPF）

生産には，それぞれある正の最小単位量を持つ技術（ $\overline{A}$ ），資本（ $\overline{K}$ ），労働（ $\overline{L}$ ）のいずれもが必要だと仮定する。さらに，$\overline{A}$ ，$\overline{K}$ 及び $\overline{L}$ の限界生産力は逓増しないと仮定する。つまり，生産関数 $Y=f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)$ に対して，$\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial A^2}\le 0$ ，$\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial K^2}\le 0$ ，さらに，$\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial L^2}\le 0$ である。もし，$\lim_{A\to\infty}\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial A^2}=0$ ，$\lim_{K\to\infty}\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial K^2}=0$，さらに，$\lim_{L\to\infty}\frac{\partial^2 f\left(\overline{A},\overline{K},\overline{L}\right)}{\partial L^2}=0$ であるならば，十分に大きな $\overline{A}$ ，$\overline{K}$ 及び $\overline{L}$ に対し，生産関数は，$\overline{A}$ ，$\overline{K}$ 及び $\overline{L}$ の限界生産力が一定の以下のような生産関数で近似できる。

---

[2] 仮に様々な規模の多くの経済（国）が存在する場合、$\bar{\sigma}$ の値はそれぞれの経済（国）で異なるかもしれない。「経済の規模」の効果に関しては、第3章第3節で詳しく扱う。

[3] 「産業地域」としては、ここでは経済活動に適した地域と考え、砂漠、自然保護地域などは除いて考える。この概念は「経済の規模」を考えるときに重要であり、第3章第3節において詳しく考察する。

$$Y=\psi_1\left(\overline{A}+\psi_2\right)\left(\overline{K}+\psi_3\right)\left(\overline{L}+\psi_4\right)+\psi_5 \tag{18}$$

ここで，ψ_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)は定数である。さて，生産にはそれぞれある正の最小単位量を持つ $\overline{A}$，$\overline{K}$，$\overline{L}$ のいずれもが必要であるという仮定より，$f\left(0,\overline{K},\overline{L}\right)=0$，$f\left(\overline{A},0,\overline{L}\right)=0$，$f\left(\overline{A},\overline{K},0\right)=0$ である。(18)式を近似的に満たす生産関数の中で，この最小単位量の条件を満たすものは，

$$Y=\psi_1\overline{A}\,\overline{K}\overline{L}$$

である。ψ_1 を標準化して $\psi_1=1$ とすると，近似生産関数は，

$$Y=\overline{A}\,\overline{K}\overline{L} \tag{19}$$

となる。

(19)式の生産関数は，直感的に理解できるものであろう。全体の生産量は，$\overline{L}$ 人の労働者それぞれが，それぞれ $\overline{A}$ だけの技術を体化した $\overline{K}$ を用いて生産を行った産出量の合計を意味するからである。[4] しかし，この直感的に理解しうる(19)式で示される生産関数は，現実にはそのままでは成立しない。なぜなら，第1章で述べたような幾つかの不完全性が存在し，投入量は現実には $\overline{A}$ や $\overline{L}$ とはなり得ないからである。つまり，実質的な投入量は，$\overline{A}$ と$\overline{L}$ ではなく，それぞれ実効技術投入 $\widetilde{A}$ と実効労働投入量 $\widetilde{L}$ となる。さらに，各労働者が平均的に実質的に使用可能な $\overline{K}$ は，$\overline{K}$ ではなく $\widetilde{K}$ である。こうした実効性の問題があるために，近似生産関数は，現実には，

$$Y=\widetilde{A}\widetilde{K}\widetilde{L} \tag{20}$$

となる。ここで，(9)，(14)，(17) 式より，

$$\widetilde{A}\widetilde{K}\widetilde{L}=\omega_A\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha}\bar{\sigma}K\omega_L L^{\alpha}=\bar{\sigma}\omega_A\omega_L A^{\alpha}K^{1-\alpha}L^{\alpha} \tag{21}$$

である。

合理的な企業は，投入要素を遊休させることなくそれを完全に利用する生産量 Y を実現すべく行動するであろう。したがって，(20)，(21)式より，各国・経済における生産関数は，基本的に，

$$Y=\bar{\sigma}\omega_A\omega_L A^{\alpha}K^{1-\alpha}L^{\alpha}. \tag{22}$$

という式で近似できるであろう。この生産関数を，近似実効生産関数（the approximate effective production function; AEPF）と呼ぶこととする。

第２節　近似実効生産関数（AEPF）の性質

AEPF は，生産関数の性質として一般に広く妥当であると認識されている性質を有している。すなわち，コブ・ダグラス型関数形，約70%の労働分配率，さらに，厳密な意味でのハロッド中立性である。さらに，上記の性質を持つことから，AEPF は，労働，資本，技術に関して限界生産力逓減の性質を有している。

１　コブ・ダグラス型関数形

コブ・ダグラス型生産関数の妥当性やそのミクロ的基礎付けに関しては様々な議論がなされてきたが，現在でも必ずしも意見の一致は得られていない。例えば，Jones（2005）は，新規の着想がパレート分布に従って発生すると仮定すれば，コブ・ダグラス型生産関数を導くことができるとした。また，Growiec（2008）は，コブ・ダグラス型生産関数やCES生産関数を入れ子として有する Clayton-Pareto 型生産関数は，それぞれの単位要素生産性がパレート分布であること，それらの限界分布の依存関係が Clayton コピュラで表されること，さらに，局所的生産関数がCES生産関数で表されること，という条件が満たされれば導出できることを示した。

AEPF は，上記の根拠付けとは別に，コブ・ダグラス型生産関数の妥当性やミクロ的基礎を与えるものとなっている。その基となっている要素は，一般労働者のイノベーションと経験曲線効果である。

---

[4] 先述のように、全ての労働者は同質・均一であると仮定している。

2　約70%の労働分配率

パラメーター α は，労働分配率を意味している。多くの国・経済では，この値は約70%となっている。しかし，なぜこのような値をとるのか，これまで必ずしも十分説得的な説明はなされてこなかった。AEPF は，この問に答えることができる。AEPF では，α の値は，経験曲線効果の結果としてもたらされる。数多くの経験曲線効果の実証研究に基づくと，α の値は平均すれば約70%である（Hirsch, 1956; Womer and Patterson, 1983; Dutton and Thomas, 1984; Womer, 1984; Ayres and Martinas, 1992：Williams and Terzian, 1993; OECD/IEA, 2000）。したがって，労働分配率が一般に約70%である理由は，一般労働者の非蓄積性イノベーション創出に関する活動が，平均的にはほぼ常に約70%という値をもたらすような機序に従って行われているからということになる。

なお，α が1より小さい値を示すことは，逆にいえば，一般労働者が非効率性を緩和させる能力には限界があることを意味する。このような限界が存在する理由としては，経験が増加するに従ってもたらされる新規の情報が逓減すること，そして，情報量が増大するに従って一般労働者がイノベーションの創出に関する限界生産力が逓減することが挙げられる。

3　厳密な意味でのハロッド中立性と均斉経済成長

AEPFがコブ・ダグラス型生産関数であることから，そこに体化されている技術進歩として，ハロッド，ヒックス，ソローの各中立性のいずれをも仮定することができる。しかし，一単位の A が $A^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$（ソロー中立）でも $A^{-\alpha}$（ヒックス中立）でもなく A^{-1} であるという意味で，AEPF は厳密にハロッド中立であるといえる。一単位の A が A^{-1} であることは，経験曲線効果に基づいて，AEPFが導き出される前に定義されたものである。 なお，ハロッド中立性は，均斉経済成長の必要条件でもある。均斉経済成長経路では，経済における資本集約度（ $\frac{K}{Y}$ ）は一定に保たれ，$\frac{Y}{L}$，$\frac{K}{L}$ 及び A は同一の率で増加する。 AEPF が厳密な意味でハロッド中立であることから，AEPF を前提に経済成長モデルを作ることができる。

さて，AEPF に厳密な意味でハロッド中立をもたらしている中核的な要因は，一見すると，$\widetilde{A}$ と $\widetilde{L}$ のいずれもが一般労働者の知的活動に起因する経験曲線効果に影響されていることであるように思えるかもしれない。しかし，この見方は表面的な見方である。より根源的な理由は別にある。厳密な意味でハロッド中立であるためには，L が一定の場合の AEPF，また，A が一定の場合の AEPF が，それぞれ「A 及び K」，「K 及び L」に関して一次同次であることが必要である。これらの条件が AEPF において満たされる理由は，$\widetilde{A}$ が$\omega_A\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha}$ で示されるように，単純に A に比例しているのではなく $\frac{A}{K}$ に比例しているからである。つまり，厳密な意味でのハロッド中立性のためには，A を構成する様々な種類の蓄積性イノベーションが分散して K の中に配置されていることが必要である。このことは，硬貨の両面のような形で A と K が密接に関連していることを意味する。硬貨の両面のように A と K が同一の率で増加するので，資本集約度（ $\frac{K}{Y}$ ）は一定に保たれることになる。

第2章で論じたように，蓄積性イノベーションが K の中に分散して配置されるという性質は，A の混雑や重複に起因する非効率性を最小化（つまり，A の分割の効果を最大化）しようとする企業の最適化行動によってもたらされる。資本の用途が可能な限り様々に特化されたとき，技術投入は最適なものとなる。したがって，企業は，可能な限り資本の用途を特化させるように行動するであろう。このことは，ハロッド中立性と均斉経済成長をもたらしている最も根源的な要因は，合理的な企業の最適化行動であるということを示しているといえる。

第3節　経済の人口規模と集計問題

AEPF がコブ・ダグラス型生産関数であることから，全ての非集計化（disaggregate）された生産活動において資本労働比率 $\frac{K}{L}$ が同一でない限り，単純に非集計化することは不可能である。AEPF は，なぜ非集計化，逆にいえば集計化

（aggregation）が困難になってしまうのか，そのそもそもの原因を説明するものとなっている。

実効労働投入量 $\widetilde{L}$ は，分業がコブ・ダグラス型生産関数をもたらす決定的な要因となっていることを示している。労働投入は，全世界の規模で分割されている。どんなに小さな工場における分業であっても，国際分業等を通じて，全世界的規模での分業の一部をなすものとなっている。つまり，分業は，単に一工場の中だけで完結しているものではない。全ての分割された労働は相互に関連しており，単独では存立しえない。したがって，たとえ局地的な生産関数を考察する場合でも，全世界的規模での分業を考慮しなければならない。しかし，全世界的規模での分業を反映する変数（例えば，全世界の労働者数の総計）は，局所的な生産関数の近似式に組み込まれることは通常ない。つまり，一般に，全世界的規模での分業は，近似式において無視される。この点を無視することは，複数の局所的な生産関数が集計され，より上位の生産関数を求めるときに大きな問題となる。なぜなら，より上位の集計された生産関数においては，各局所の労働投入の相互間の相関関係が重要であるにもかかわらず，無視されたまま含まれないことになってしまうからである。つまり，いくつかの局所のコブ・ダグラス型生産関数を単純に足し合わせても，より上位のコブ・ダグラス型生産関数として集計したことにはならない。

同様な問題は，コブ・ダグラス型生産関数を規模の異なる複数の経済に適用するときにも生じるであろう。規模が大きい経済の場合，その性質は全世界的規模での経済に相対的に近いものを示すであろうが，規模の小さい経済の場合にはその逆となるであろう。このことは，コブ・ダグラス型生産関数を規模の大きい経済と小さい経済に同じ形で適用することができない可能性を示す。本論文では，これまで世界にただ一つの経済しか存在しないことを仮定してきたが，もし複数の経済が存在することを仮定する場合には，AEPF において経済の規模も考慮する必要がでてくるかもしれない。例えば，追加的な変数を加える必要がでてくるかもしれない。

しかし，同一の形式の AEPF を，人口規模の大きい経済にも小さい経済にも，その規模を考慮することなく適用することは可能である。その理由は，生産関数には，$\widetilde{L}$ だけでなく $\widetilde{A}$ や $\widetilde{K}$も関係しているからである。以下で詳しくその理由を説明する。ここで，$S\left(0<S\leq 1\right)$ を，「経済の規模」を示すパラメーターとする。ただし，S は，それぞれの経済の産業地域の空間的規模を意味し，内生変数 Y と K とは独立している。つまり，あくまでも与件としての空間的規模を意味するもので，結果としての生産活動量の規模を意味するものではない。$S=1$ は世界全体の経済を意味し，S の値が小さい程その経済の規模が小さいことを意味する。ここで，全ての経済において，その産業地域における人口密度は同一であると仮定する。したがって，S は，それぞれの経済の労働投入 L に正比例する。この経済の空間的（人口の）規模（ S ）も含めて考える場合，$\widetilde{A}$ ，$\widetilde{L}$ ，$\widetilde{K}$ は何らかの形で修正する必要がでてくる。

ここで，ある経済の Y ，K ，L ，S が，それぞれ Y_X ，K_X ，L_X ，S_X であるとする。また，A は世界各国で同一であるとする。この場合，まず，実効資本投入を，空間規模に関するパラメーター S_X に基づいて，$\bar{\sigma}K_X$ という定式化を修正する必要がでてくる。一人の労働者の資本への到達可能性は，単純に K_X に依存するのではなく，資本の空間密度 $\frac{K_X}{S_X}$ に依存する。つまり，一人の労働者が到達可能な資本は，$\bar{\sigma}K_X$ ではなく，$\bar{\sigma}\frac{K_X}{S_X}$ ということになる。したがって，実効資本投入は，$\widetilde{K}_X$ ではなく，$\frac{\widetilde{K}_X}{S_X}$ ということになる。

同様に，実効技術投入 $\widetilde{A}_X$ も，空間規模に関するパラメーター S_X に基づいて修正する必要がある。A の分散的性質は，たとえどのような種類の A を用いても構わないとしても，規模の小さな経済においては A の中の一部の種類のみを用いることを示唆している。つまり，ある A の種類に特化する。したがって，ある経済が使用する A の中の種類の数は，その経済の規模に依存するであろう。規模の大きな経済においては，より多くの種類が使用され，小さい経済ではより少ない種類が使用されるであろう。この考え方に基づくと，(5)式（ $N_A=\left(\frac{A}{K_X}\right)^{-1}$ ）は，空間規模に関するパラメーター S_X に基づいて $N_A=\left(\frac{S_XA}{K_X}\right)^{-1}$ のように修正される必要がある。$N_A=\left(\frac{S_XA}{K_X}\right)^{-1}$ を(5)式に代入することにより，実効技術投入は，$\widetilde{A}_X$ ではなく $S_X^{\alpha}\widetilde{A}_X$ であることが分かる。

さらに，実効労働投入量も，$\widetilde{L}_X$ の形から修正する必要がでてくる。前述したように，同一の人口密度の場合には，S はそれぞれの経済の労働投入量 L に正比例する。したがって，より大きな $S(L)$ は，より大幅な分業とそれによるより大幅な情報の分断化と不完全性を意味する。このため，より大きな $S(L)$ を有する経済は，より大きく情報の分断化と不完

全性による非効率性の影響を受けるであろう。この規模による歪みを取り除くために，まず，仮想的に当該経済の規模がその S_X^{-1} 倍の規模を持つと仮定して（つまり，全世界規模の経済と同一の規模を持つと仮想して），(10)式（ $N_L = \frac{1}{L_X}$ ）における N_L を $N_L = \frac{S_X}{L_X}$ と修正して考える。$N_L = \frac{S_X}{L_X}$ を(13)式に代入すると，$\widetilde{L}_X$ は $\frac{\widetilde{L}_X}{S_X^{\alpha}}$ に変更されることになる。しかしながら，現実の当該経済における労働投入量は S_X 倍小さい。したがって，現実には $\frac{\widetilde{L}_X}{S_X^{\alpha}}$ は S_X 倍だけ小さいことになる。つまり，実効労働投入は，$\widetilde{L}_X$ ではなく $S_X^{1-\alpha}\widetilde{L}_X$ ということになる。

以上の修正を基に，(20)式における実効技術投入，実効資本投入，実効労働投入，すなわち $\widetilde{A}$ ，$\widetilde{L}$ ，$\widetilde{K}$ のそれぞれを $S_X^{\alpha}\widetilde{A}_X$ ，$\frac{\widetilde{K}_X}{S_X}$ ，$S_X^{1-\alpha}\widetilde{L}_X$ で置き換えると，経済の規模を調整した AEPF は，

$$Y_X = S_X^{\alpha}\widetilde{A}_X \frac{\widetilde{K}_X}{S_X} S_X^{1-\alpha}\widetilde{L}_X = \widetilde{A}_X \widetilde{K}_X \widetilde{L}_X . \tag{23}$$

と表されることになる。一見して分かるように，(23) 式は，(20) 式と全く同一である。このことは，経済の空間的（人口の）規模は，AEPF になんら影響を及ぼさないことを意味している。つまり，AEPF は，人口規模の大小に係らずそのまま適用することができる。さらに，(23) 式は全ての規模の経済で成立することから，人口規模の大きい国と小さい国の間において，(23) 式のパラメーター $\bar{\sigma}$ ，ω_A ，ω_L のそれぞれの値の相違を，単純に比較して評価することができる。つまり，人口の規模の大小を考慮せずに，各国間におけるこれらのパラメーター値の非同一性がどのような効果を持っているか考察することができる。仮に人口規模の異なる二つの国でこれらのパラメーター値が非同一であった場合，それは人口規模の相違による歪みの結果ではなく，他の本質的な両国間の相違が存在している結果であると解釈することができる。

ただし，AEPF がコブ・ダグラス型生産関数であることから，資本労働比率 $\frac{K}{L}$ が同一でない限り，単純に集計できないという点に変更はない。集計が可能になるためには，上記で示した「S は Y ，K ，L の間の相互関係とは無関係である」という条件だけでなく，さらに制限的な制約条件 $Y_1 + Y_2 = f\left(K_1 + K_2, L_1 + L_2\right)$ を追加的に満たす必要がある。ここで，L_i ，K_i ，Y_i は，経済 i の Y ，K ，L である。つまり，集計可能となるためには，空間的な（人口の）規模（ S ）ではなく，生産量 Y の規模が問題となる。

第４節　一般労働者のイノベーション創出の動機

パラメーター ω_A ，ω_L の背後には，一般労働者は可能な限り多くの非蓄積性イノベーションを創出するという暗黙の仮定が存在する。このことは，AEPF が企業の合理的行動と同様に一般労働者の動機とも整合的であることを意味している。AEPF によると，高い ω_A と ω_L の値は高い生産量をもたらす。高い生産量は，企業だけでなく労働者にも恩恵を及ぼす。なぜならば，労働分配率（ α ）は経験曲線効果の定式化に基づき基本的に一定の値をとることから，高い生産量は労働者により高い賃金をもたらすからである。したがって，イノベーションの創出は，一般労働者の動機と整合的である。一方，合理的な企業は，一般労働者のイノベーションを奨励する，少なくとも妨害はしないであろう。それを受けて，一般労働者は進んでイノベーションを創出するであろう。もちろん，分業は規律を要求し，個々の労働者の生産工程における役割は限定されている。指示された業務から逸脱した場合には，通常罰せられる。しかし，与えられた業務の範囲内であれば，企業は一般労働者がイノベーションを創出することを大いに奨励するであろう。なぜなら，それは，企業にとっても労働者にとっても，その動機と整合的であるからである。

第4章　収斂仮説

AEPF は，コブ・ダグラス型生産関数に関し新たな観点からその妥当性やミクロ的基礎を与えるものであるが，そのことが AEPF の最も重要な点という訳ではない。より重要な点は，AEPF が収斂仮説に関して重要な示唆を与える点である。

第１節　地域・国家間の所得格差と収斂仮説

収斂仮説は，現在世界各国で大きく異なっている一人当たりGDPが長期的には同一水準に収斂していくという仮説である。この収斂は，ラムゼイ型の経済成長モデルにおいては自然な結果として導かれる。どのような国・経済であっても，同一の選好（preferences）を有しているとすれば，たとえ当初の資本量が非同一であっても，ある同一の一人当たり生産量に収束する。一方，多くの内生的経済成長モデルでは，収斂仮説は必ずしも支持されない（Romer, 1986, 1987; Lucas, 1988）。内生化された知識蓄積過程が経済成長に大きく影響するからである。知識蓄積過程（例えば，実践による学習や人的資本の蓄積）が非同一な国・経済の間では，一人当たりGDPは収斂しないことになる。

収斂仮説に関する実証研究としては，主として二つの種類がある。横断的な各国の成長率の回帰分析（Abramovitz, 1986; Baumol, 1986; Barro, 1991; Barro and Sala-i-Martin, 1992; Mankiw et al., 1992; Jones, 1997）と時系列分析（Bernard and Durlauf, 1995; Michelacci and Zaffaroni, 2000; Cheung and Garcia-Pascual, 2004）である。しかし，これらの実証研究の結論は必ずしも一致しない。概していえば，横断的な各国の成長率の回帰分析においては収斂仮説が支持され，時系列分析では支持されない傾向にある。明確な結論を出せない理由としては，推計モデルが様々である，使用するデータに問題がある，分析対象の国・経済が様々である等の問題点を指摘できる（Srinivasan, 1995; Bernard and Durlauf, 1996; Durlauf, 2003）。したがって，現時点では，収斂仮説が正しいのかどうか実証的に判断することはできない。なお，Prescott（1998）は，全要素生産性が各国・経済間で相違している理由は，技術（蓄積性イノベーション）の蓄積量の相違以外にあると結論付けている。そして，この相違の謎を解くためには，全要素生産性の新しい理論を構築することが必要であるとしている。

第２節　非同一 $\bar{\sigma}$ ，ω_A 及び ω_L

１　非同一$\bar{\sigma}$ ，ω_A 及び ω_Lの可能性

もし労働生産性が各国・経済間で長期的に非同一であるとすると，収斂は起こりえない。労働生産性が非同一であるためには，技術 A 以外の要素が非同一である必要がある。なぜなら，蓄積性イノベーションは各国・経済間で共通して利用可能であり，必然的に技術 A は各国・経済間で同一となると想定できるからである。もし技術 A 以外の要素が非同一であるとすると，収斂は必ずしも保証されない。AEPF では，生産性に影響する要素として，技術 A 以外のいくつかの要素も含んでいる。すなわち，α ，$\bar{\sigma}$ ，ω_A ，ω_L である。もし，これらのパラメーターの中の一つでも非同一であり続ければ，AEPF に基づくと，収斂仮説は必ずしも支持されないことになる。

第3章で記したように，経験曲線効果に関する多くの実証研究結果によると α の値は約0.7である。一方，労働分配率（理論的に α と等しくなる）の値も，多くの国で約0.7である。このように，独立した二つの視点からの実証分析において同じく約0.7という値が得られたことから，マクロ的な観点からみると，本来的に α の値は各国・経済間で大きく異なるという性質を持つものではないとも思われる。もちろん，推計された労働分配率の値は各国・経済間で異なるが，その差異は一人当たりGDPの大きな差異に比べるとかなり小さなものである。したがって，少なくとも，α の値の非同一性は，各国・経済間の大きな所得格差の主たる要因ではないと考えられる。

残りの三つのパラメーター（ $\bar{\sigma}$, ω_A, and ω_L ）のそれぞれが，一人当たりGDPの水準に大きな影響を持っていることは，AEPF の関数形（ $Y=\bar{\sigma}\omega_A\omega_L A^{\alpha}K^{1-\alpha}L^{\alpha}$ ）を見れば一目瞭然である。しかしながら，これらのパラメータ―の値が，現実に，労働者間あるいは国・経済間で大きく非同一であるかどうかは不明である。これらの値は多くの国・経済でほぼ同一である可能性もあるが，一方で，そのように考える先験的な理論的，実証的根拠もない。

もしこれらのパラメーターの中の一つでも大幅に非同一であるとすると，AEPF に基づけば，収斂仮説は必ずしも支持されないことになる。つまり，長期的には一人当たりの所得は共通するある水準に収斂するという保証はないことになる。したがって，AEPF におけるこれらのパラメーターの値が各国・経済間で非同一であるかどうかは，収斂仮説の妥当性を判断する上で考慮すべき重要な点の一つであると考えられる。

２　収斂仮説の基層部分の理論的説明

収斂仮説の検証において AEPF が持つ重要な点は，非同一性の基となる構造的なパラメーターを特定したという点である。実践による学習や人的資本の理論では，知識や人的資本の蓄積の非同一性によって各国・経済間の大きな所得格差を説明する。しかし，これらの要因が非同一となる理由として，例えば，産業化の時期の相違，教育支出額の相違等が挙げられている。つまり，実践による学習や人的資本の機序そのものに非同一性の理由があるのではなく，各国・経済間で

たまたま何らかの事情で蓄積量が非同一となってしまったことを根拠としている。そして，そうなった理由は場当たり的（ad hoc）に説明されている。しかし，こうした説明には問題がある。基層をなす構造的な機序を示すことなく所得格差を説明できるという利点はあるものの，そうした説明では表面的すぎるという批判に晒されるであろう。そもそも労働者の経験を強調する理論でありながら，これら経験をもたらす機序とは無関係に収斂の問題を説明しているからである。

一方，AEPF では，たまたま何らかの事情で蓄積量が非同一となってしまったことに基づいて各国・経済間の所得格差を説明するものではない。経験曲線効果に基づく労働者の作業に係る経験に関する構造的なパラメーター値の本源的な非同一性によって説明するものである。この意味で，AEPF による説明は，より基層的な部分に基づいて収斂仮説を説明するものとなっているといえる。さらに，AEPF は，収斂現象には多くの要因が関係する複雑な現象であることも示している。つまり，$\bar{\sigma}$，ω_A，さらに ω_L（より細かく言えば，$\bar{\sigma}$，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，γ_A，γ_L，υ_A，υ_L）という様々な要因が関係している複雑な現象である。

第３節　非同一 $\bar{\sigma}$ と収斂

１　到達可能性と経済成長

もし，到達可能性（accessibility）が改善すれば，$\bar{\sigma}$ の値が大きくなり，ひいては生産量が増加する。第2章で論じたように，到達可能性は，運輸施設の物理的な利用可能性に限らず，法執行，規制，金融制度など他の要因も関係すると考えられる。したがって，高い水準の行政組織や金融機関の維持は，輸送機関などへの投資と同じく，到達可能性ひいては経済成長にとって重要である。

高い水準の行政組織や金融機関の存在が経済成長にとって重要な要素となっているという考え方は，以下に述べるように，以前から存在する（Temple, 2000）。

１.１　社会の諸制度・機関と経済発展

従来より，良い社会の諸制度や機関の存在によって経済成長が促進されるという主張がなされてきた（Knack and Keefer, 1995; Mauro, 1995; Hall and Jones, 1999; Acemoglu et al., 2001, 2002; Easterly and Levine, 2003; Dollar and Kraay, 2003; Rodrik et al., 2004）。North（1981）によると，この場合の「社会の諸制度・機関」は，相手の効用や富を最大化するために個人の行動を制限すべく作られた規則，順守手続き，道義的倫理的行動規範等の全体を意味している。Acemoglu et al.（2005）は，経済に関する社会の諸制度・機関の水準の相違が経済発展の相違の主要な原因であることは，実証的にも理論的にも明らかであると結論付けている。しかし，この因果関係は逆である，すなわち，経済発展に伴って社会の諸制度・機関は改善されていくと主張する研究者もいる（Barro, 1999）。また，社会の諸制度・機関が経済発展に与える影響はそれ程大きくないと主張する研究者もいる（Glaeser et al., 2004）。

Acemoglu et al.（2005）によると，社会の諸制度・機関から経済成長へという方向の因果関係が生じる理由は，社会の諸制度・機関の相違によって経済主体の動機が変わってくることにある。例えば，社会の諸制度・機関は，物的・人的資本や技術への投資に影響を与えるであろうし，生産組織にも影響を与えるであろう。さらに，生産物の関係者間での分配にも影響を与えるであろう。こうした考え方に基づくと，社会の諸制度・機関のいくつかの側面は，確かに到達可能性に密接に関連していると考えることができるであろう。適切な法執行や簡素な規制は，生産組織や資源配分を改善することで，到達可能性を改善すると考えられるからである。到達可能性の改善を通じて生産が増加するという点で，社会の諸制度・機関が経済成長に影響するという考え方は，AEPF と基本的に整合的であると考えられる。

１.２　金融の発展と成長

20世紀初から，金融機関の発展により長期的な経済成長がもたらされるという議論がなされてきた（Schumpeter, 1939）。1990年代に入って，金融の発展と経済成長の相関に関する実証研究が再び盛んに行われるようになった（King and Levine, 1993a, b; Levine and Zervos, 1996; Demetriades and Hussein, 1996; Levine, 1997; Luintel and Khan, 1999; Beck et al., 2000; Levine et al., 2000; Beck and Levine, 2002; Wachtel, 2003; Abu-Bader and Abu-Qarn, 2008）。金融機関の発展と経済成長の間に正の相関が存在することが，多くの実証研究で報告されている。しかし，その因果関係の方向に関しては，結論は出ていない。おそらく，両方向に因果関係は存在するのであろう。

両者に因果関係が生じる理由として，主として以下の二つの理由が挙げられている。(1)金融の発展は，市場における摩擦，特に資本蓄積や技術革新における摩擦を低減する（Levine, 1997），(2)金融制度は資源配分において極めて重要な

役割を果たし，それは技術革新において決定的なものである（Schumpeter, 1912/1934; Shaw, 1973）。金融部門が発展すると，低減した摩擦により金融サービスのコストは低下し，利便性は向上する。さらに，資源配分は改善される。こうしたことから，到達可能性は改善されるであろう。この結果，労働者はより広い範囲の資本により容易に接することが可能になるであろう。金融機関は社会の諸制度・機関の一つにすぎないが，その他の諸制度・機関に関しても，金融機関と同様な因果関係の説明が可能であろう。到達可能性の改善を通じて生産が増加するという点で，金融の発展が長期的な経済成長をもたらすという考え方も，AEPF と基本的に整合的であると考えられる。

2　到達可能性と収斂

政府，金融部門等の社会の諸制度・機関の質は，各国・経済間で大幅に非同一となる可能性がある。したがって，$\bar{\sigma}$ の値も，各国・経済間で大幅に非同一となる可能性がある。ある国・経済で $\bar{\sigma}$ の値が小さいとすると，それは経済活動全体の効率の低さに結びつき，投資は不活発となり，ひいては生産量は低いものになる。各国・経済における $\bar{\sigma}$ の値の非同一性は，各国・経済間の一人当たりGDPの非同一性に大きな影響を及ぼすことになる。逆にいえば，到達可能性を改善すること，つまり，より良い運輸施設の構築のみならず，政府，金融機関等の諸制度・機関の改善が，経済発展にとって重要な政策課題であることも示唆している。

第４節　非同一ω_A 及び ω_L と収斂

1　非同一ω_A 及び ω_L の効果

パラメーター ω_A と ω_L の値が各国・経済間で非同一であり続けるとすると，収斂は起こらない。ω_A と ω_L の値が非同一な場合，技術 A が各国・経済間で同一であっても，生産水準は各国・経済間で非同一になる。さて，ω_A と ω_L の値は一般労働者の知的活動に基づいている。つまり，一般労働者の創造的活動が，収斂仮説に大きく関係していることになる。

ここで，次のような二つ経済（経済1と経済2）があるとする。両経済は，同一のA，$\bar{\sigma}$，さらに選好（preferences）を持つが，経済1の ω_A ω_L の値は，経済2の $v\,(>1)$ 倍である。ラムゼイ型の経済成長モデルでは，定常状態において，時間選好率（θ）は実質金利（r）と等しくなる。そして，r は常に資本の限界生産力と等しい。したがって，定常状態において，

$$\theta = r = v\left(\frac{A}{k_1}\right)^{-\alpha} = \left(\frac{A}{k_2}\right)^{-\alpha} \tag{24}$$

となり，それゆえ，

$$\frac{A}{k_1} < \frac{A}{k_2}, \tag{25}$$

である。ここで，k_i は経済 i $(i = 1 \text{ or } 2)$ の $k = \dfrac{K}{L}$ である。(25) 式より，$k_2 < k_1$となることが分かる。つまり，定常状態において，より小さい ω_A ω_L の値を持つ経済2の一人当たり生産量は，経済1よりも少なくなる。このことは，もし ω_A と ω_L の値が非同一であると，一人当たり生産量も非同一になることを意味する。

これまで述べてきたように，パラメーターω_A，ω_L（より細かく言えば，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，γ_A，γ_L，υ_A，υ_L）は，一般労働者の創造的活動と直接的に密接に関係している。このことは，一般労働者の創造的活動が各国・経済間で非同一であることによって，一人当たりGDPが大きく異なってくる可能性があることを示している。一般労働者が小さな想定外の問題をより多く解決するほど，全体の生産性は向上し，一人当たりGDPも高くなる。このことは，各国・経済間の所得格差を縮小するためには，一人当たりGDPの低い国・経済は単に既存の技術（蓄積性イノベーション）を輸入するだけではなく，その一般労働者の創造的活動を促進することが重要であることを示している。

(25)式は，さらに，より小さい ω_A ω_L の値を持つ経済2では，経済1よりも汎用性の高い機械や道具が使われることも示している。これは，第2章第2節2の議論から分かるように，より小さい ω_A ω_L の値を持つ経済においては，たとえより先端的な（より特殊化された）機械を利用することが可能であっても，より旧来型の（より汎用の）機械を使う方が適切であることを意味している。これは，技術の利用に関する何らかの摩擦が存在するために強いられた結果ではなく，企業の最適化行動の結果としてもたらされるものである。事実，発展途上国への技術移転は，ハイテク部門よりローテク部門への方がより効果的であることが多くの実証研究で示されている（Haddad and Harrison, 1993）。Keller（1996），

Borensztein et al.（1998）等によると，技術移転が成功するかどうかは，当該国の技術吸収力が決定的に重要な要素となっている。これらの実証研究は，ω_A ω_L が非同一である場合に起こり得る技術使用状況に関する本論文の結論を，間接的ではあるものの支持するものである。

2　未知の追加的な本源的投入要素

非同一な ω_A と ω_L の場合所得格差が生じるが，現実に，パラメーター ω_A と ω_L（より細かく言えば，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，γ_A，γ_L，υ_A，υ_L）の値は労働者間や各国・経済間で大幅に非同一なのであろうか。第2章で論じたように，$C_{A,1}$ と $C_{L,1}$ は，非効率性を示し，$C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ は生産性を示す。$C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ が生産性を意味することから，一見すると，それらがある種の知識，技術，発想等を意味していると思われるかもしれない。つまり，これらは，蓄積性イノベーションに含まれるのかもしれない。もし，本当にそれらがある種の知識，技術，発想等を意味しているのならば，それらは，蓄積性イノベーションとして流出可能であり，全ての労働者や国・経済で共通したものとなるであろう。つまり，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，$C_{A,1}^{-1}$，$C_{L,1}^{-1}$ は，特段の摩擦や非合理性を仮定しない限り労働者や各国・経済間で同一になるであろう。

しかし，$C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ は蓄積性イノベーションを意味するものではない。したがって，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，$C_{A,1}^{-1}$，$C_{L,1}^{-1}$ は，非同一になりうる。その理由は以下の通りである。$C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ は，一般労働者が非蓄積性イノベーションを創出する行為を含んだ概念である。イノベーションの創出は，人間の創造的活動である。人間の創造的活動は，人間を他の動物と区別させるものであり，また，機械と人間を区別させるものでもある。こうした人間と動物，機械との間の本源的な相違は，イノベーションを創出するためには，A，K，L だけでなく，何か追加的な本源的投入要素が必要であることを示唆する。人間のみが投入することが出来る，何らかの追加的な本源的投入要素である。非蓄積性イノベーションの創出行為を含んだ概念である $C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ は，この A，K，L とは異なる追加的な投入要素を反映したものであるといえる。このことから，$C_{A,1}^{-1}$ と $C_{L,1}^{-1}$ は，蓄積性イノベーション A とは基本的に異なる存在であるといえる。

この追加的な本源的投入要素の重要な点は，それが労働者間や各国・経済間で必ずしも同一であるとはいえないことである。なぜなら，それに基づく非蓄積性イノベーションの創出が，記録され，蓄積されないからである。記録され蓄積されないため，追加的な本源的投入要素は他に移転されない。本質的に，移転不可能であるといえる。移転不可能であるため，非蓄積性イノベーション創出のための追加的な本源的生産要素は，個々の労働者の内部にのみ孤立して存在し続ける。つまり，蓄積性イノベーションのように移転を通じて全労働者間，あるいは国・経済間で同一化されるという機構が存在しない。したがって，それらは，労働者間や各国・経済間で非同一となりえる。結果として，ω_A と ω_L も，労働者間や各国・経済間で非同一となりえる。

3　一般労働者の創造的活動

一般労働者を取り巻く環境における様々な要素の中で，どの要素がもっとも大きく ω_A と ω_Lの非同一性に関係するであろうか。また，どのようにしたら，ω_A と ω_Lの値を大きくすることができるであろうか。経済発展政策の観点から見ると，ω_A と ω_Lの値が相対的に小さいと考えられる場合，それらの値を引き上げる政策が非常に重要になる。

これらの問に答えようとする際に十分に認識しておくことは，ω_A と ω_Lの値を決めているものは，一般労働者がその日々の労働のなかで非蓄積性イノベーションを創出する創造的行為であることである。筆者の知る限り，ω_A と ω_L（より細かく言えば，$C_{A,1}$，$C_{L,1}$，γ_A，γ_L，υ_A，υ_L）の値がどのように決定されているのか，その詳細な機序は明らかにされていない。一般労働者がどのような機序で創造的活動を行っているのか，さらに深く踏み込んだ研究が必要であろう。多くの要因が，その機序に関係しているかもしれない。例えば，教育，訓練，政治や社会の状況，選好，人間の脳の諸機能等である。しかし，これらの研究は，本論文の範囲を超えるものである。おそらく，それらは，教育学，心理学，神経生物学等の分野で研究されるであろう。

結論

一般労働者は人間であり，小さなものに限られるかもしれないがイノベーションを創出することができる。合理的な企業は，この一般労働者のイノベーションを最大限活用しようとするはずである。一般労働者のイノベーションは，蓄積されたイノベーションの不完全性と分業の結果としての情報の不完全性を緩和するために必要なものである。一般労働者によるイノベーションの創出行為は，通常の労働投入や技術投入の概念だけでは捉えきることができない。それを正しく捉

えるためには，一般労働者のイノベーション創出と生産活動の関係について理解する必要がある。そして，両者の関係の一端は，経験曲線効果によって理解することが可能である。

本論文では，一般労働者のイノベーション及び経験曲線効果に基づく生産関数 AEPF を導出した。AEPF は，コブ・ダグラス型，労働分配率は約70%，そして厳密な意味でハロッド中立という性質を有する。これらの性質を有する生産関数はこれまで広く経済分析で利用されてきたものである。逆にいえば，AEPF は，こうした性質に関してそのミクロ的基礎を与えるものであるともいえる。

しかし，AEPF の最も重要な点は，上記の点ではなく，経済発展における収斂仮説の妥当性を判断する際に重要な示唆を与える点にある。なぜなら，AEPF は，全要素生産性に関する一つの理論を示すものとなっているからである。AEPFに基づくと，各国・経済間で，社会の諸制度・機関が非同一である，あるいは，一般労働者のイノベーション創出に係るパラメーター値が非同一であると，一人当たりGDPも非同一となる。したがって，現在存在する一人当たりGDPの大きな格差をもたらしている重要な要素として，各国・経済における諸制度・機関の質や一般労働者のイノベーション創出の効率性の相違を挙げることができる。もしそれらの要素が非同一であり続けるならば，収斂仮説は成立しないことになる。しかし，収斂仮説の成否に関して明白な結論を導くためには，社会の制度・機関の質がどのように決まるのか，さらに，一般労働者のイノベーション創出はどのような機序でなされるのかという点に関し，さらに一層詳細な研究が必要であろう。

参考文献

Abramovitz, Moses（1986）“Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind,” *Journal of Economic History,* Vol. 46, No. 2, pp. 385–406.

Abu-Bader, Suleiman and Aamer Abu-Qarn（2008）“Financial Development and Economic Growth：The Egyptian Experience,” *Journal of Policy Modeling,* Vol. 30, No. 5, pp. 887–898.

Acemoglu, Daron, Simon Johnson and James A. Robinson（2001）“The Colonial Origins of Comparative Development：An Empirical Investigation,” *American Economic Review,* Vol. 91, No. 5, pp. 1369–1401.

Acemoglu, Daron, Simon Johnson and James Alan Robinson（2002）“Reversal of Fortune：Geography and Institutions in The Making of the Modern World Income Distribution,” *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 117, No. 4, pp. 1231–1294.

Acemoglu, Daron, Simon Johnson and James A. Robinson（2005）“Institutions as a Fundamental Cause of Long-Run Growth,” in *Handbook of Economic Growth, Vol. 1, Part A,* Chapter 6, pp 385–472, Aghion, Philippe and Steven Durlauf（ed.）, Elsevier, Amsterdam.

Adler, Paul S. and Kim B. Clark（1991）“Behind the Learning Curve：A Sketch of the Learning Process,” *Management Science,* Vol. 37, No. 3, pp. 267–281.

Alchian, Armen A.（1963）“Reliability of Progress Curves in Airframe Production,” *Econometrica,* Vol. 31, No. 4, pp. 679–693.

Argote, Linda, Sara L. Beckman and Dennis Epple（1990）：“The Persistence and Transfer of Learning in Industrial Settings,” *Management Science,* Vol. 36, No. 2, pp. 140–154.

Argote, Linda and Dennis Epple（1990）“Learning Curves in Manufacturing,” *Science,* Vol. 247, No. 4945, pp. 920–924.

Argote, Linda, Bill McEvily and Ray Reagans（2003）“Managing Knowledge in Organizations：An Integrative Framework and Review of Emerging Themes,” *Management Science,* Vol. 49, No. 4, pp. 571–582.

Arrow, Kenneth J.（1962）“The Economic Implications of Learning by Doing,” *The Review of Economic Studies*, Vol. 29, No. 3. pp. 155–173.

Asher, Harold（1956）*Cost-Quantity Relationships in the Airframe Industry,* Report 291, RAND Corporation, Santa Monica, Ca.

Ayres, Robert U. and Katalin Martinas（1992）“Experience and Life Cycle：Some Analytical Implications”, *Technovation,* Vol. 12, pp. 465.

Baldwin, Carliss, Christoph Hienerth and Eric von Hippel（2006）“How User Innovations Become Commercial Products：A Theoretical Investigation and Case Study,” *Research Policy,* Vol. 35, No. 9, pp. 1291-1313.

Barro, Robert J.（1991）“Economic Growth in a Cross Section of Countries,” *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 106, No. 2, pp. 407–43.

Barro, Robert J.（1999）“Determinants of Democracy,” *Journal of Political Economy,* Vol. 107, No. S6, pp. S158–29.

Barro, Robert J. and Xavier Sala-i-Martin（1992）“Convergence,” *Journal of Political Economy,* Vol. 100, No. 2, pp. 223–251.

Baumol, William J.（1986）“Productivity Growth, Convergence, and Welfare：What the Long-run Data Show,” *American Economic Review,* Vol. 76, No. 5, pp. 1072–85.

Beck, Thorsten and Ross Levine（2002）“Industry Growth and Capital Allocation：Does Having a Market- or Bank-based System Matter?” *Journal of Financial Economics,* Vol. 64, No. 2, pp. 147–180.

Beck, Thorsten, Ross Levine and Norman Loayza (2000) "Finance and the Sources of Growth," *Journal of Financial Economics,* Vol. 58, No. 1-2, pp. 261–300.

Becker, Gary S. (1962) "Investment in Human Capital : A Theoretical Analysis," *The Journal of Political Economy,* Vol. 70, No. 5, pp. 9–49.

Becker, Gary S. (1964) *Human Capital : A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education,* Columbia University Press, New York.

Bernard, Andrew B. and Steven N. Durlauf (1995) "Convergence in International Output," *Journal of Applied Econometrics,* Vol. 10, No. 2, pp. 97–108.

Bernard, Andrew B. and Steven N. Durlauf (1996) "Interpreting Tests of the Convergence Hypothesis," *Journal of Econometrics,* Vol. 71, No. 1-2, pp. 161–173.

Borensztein, Eduardo, Jose De Gregorio and Jong-Wha Lee (1998) "How Does Foreign Direct Investment Affect Economic Growth?" *Journal of International Economics,* Vol. 45, No. 1, pp. 115–135

Boston Consulting Group (BCG) (1972) *Perspectives on Experience,* Boston, Mass.

Cheung, Yin-Wong and Antonio Garcia-Pascual (2004) "Testing for Output Convergence : A Re-examination," *Oxford Economic Papers,* Vol. 56, No. 1, pp. 45–63.

Criqui, Patrick, Jean-Marie Martin, Leo Schrattenholzer, Tom Kram, Luc Soete and Adriaan Van Zon (2000) "Energy Technology Dynamics," *International Journal of Global Energy Issues,* Vol. 14, No. 1-4, pp. 65–103.

Demetriades, Panicos O. and Khaled A. Hussein (1996) "Does Financial Development Cause Economic Growth? Time-Series Evidence from 16 Countries," *Journal of Development Economics,* Vol. 51, No. 2, pp. 387–411.

Dollar, David and Aart Kraay (2003) "Institutions, Trade and Growth," *Journal of Monetary Economics,* Vol. 50, No. 1, pp. 133–162.

Dudley, Leonard (1972) "Learning and Productivity Changes in Metal Products," *American Economic Review,* Vol. 62, No. 4, pp. 662–69.

Durlauf, Steven N. (2003) "The Convergence Hypothesis after 10 Years," *University of Wisconsin-Madison, Social Systems Research Institute Working papers,* No. 6.

Dutton, John M. and Annie Thomas (1984) "Treating Progress Functions as a Managerial Opportunity," *Academy of Management Review,* Vol. 9, No. 2, pp. 235–247.

Easterly, William and Ross Levine (2003) "Tropics, Germs, and Crops : How Endowments Influence Economic Development." *Journal of Monetary Economics,* Vol. 50, No. 1, pp. 3–39.

Glaeser, Edward L., Rafael La Porta, Florencio Lopez-de-Silanes and Andrei Shleifer (2004) "Do Institutions Cause Growth?" *Journal of Economic Growth,* Vol. 9, No. 3, pp. 271–303.

Growiec, Jakub (2008) "A New Class of Production Functions and an Argument against Purely Labor-Augmenting Technical Change," *International Journal of Economic Theory,* Vol. 4, No. 4.

Haddad, Mona and Ann Harrison (1993) "Are There Positive Spillovers from Direct Foreign Investment? Evidence from Panel Data for Morocco," *Journal of Development Economics,* Vol. 42, No. 1, pp. 51–74.

Hall, Graham and Sydney Howell (1985) "The Experience Curve from the Economist's Perspective," *Strategic Management Journal,* Vol. 6, No. 3, pp. 197–212.

Hall, Robert E. and Charles I. Jones (1999) "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others?" *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 114, No. 1, pp. 83–116.

Hirsch, Werner Z. (1952) "Manufacturing Progress Functions," *The Review of Economics and Statistics,* Vol. 34, No. 2, pp. 143–155.

Hirsch, Werner Z. (1956) "Firm Progress Ratios," *Econometrica,* Vol. 24, pp. 136–143.

Hollander, Samuel (2003) *The Sources of Increased Efficiency : A Study of DuPont Rayon Plants,* MIT Press, Cambridge.

Jones, Charles I. (1997) "Convergence Revisited," *Journal of Economic Growth,* Vol. 2, 131–153.

Jones, Charles I. (2005) "The Shape of Production Functions and the Direction of Technical Change," *The Quarterly Journal of Economics,* Vol. 120, No. 2, pp. 517–549.

Joskow, Paul L. and George A. Rozanski (1979) "The Effects of Learning by Doing on Nuclear Plant Operating Reliability," *Review of Economics & Statistics,* Vol. 61, No. 2, pp. 161–68.

Keller, Wolfgang (1996) "Absorptive Capacity : On the Creation and Acquisition of Technology in Development," *Journal of Development Economics,* Vol. 49, No. 1, pp. 199–227.

King, Robert G. and Ross Levine (1993a) "Finance and Growth : Schumpeter Might be Right," *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 108, No. 3, pp. 717–737.

King, Robert G. and Ross Levine (1993b) "Finance, Entrepreneurship and Growth : Theory and Evidence," *Journal of Monetary Economics,* Vol. 32, No. 3, pp. 513–542.

Knack, Stephen and Philip Keefer (1995) "Institutions and Economic Performance : Cross-country Tests Using Alternative Institutional Measures." *Economics & Politics,* Vol. 7, No. 3, pp. 207–227.

Lee, Samson S., John C. Dugger and Joseph C. Chen (1999) "Kaizen : An Essential Tool for Inclusion in. Industrial Technology Curricula," *Journal of Industrial Technology,* Vol. 16, No. 1.

Levine, Ross (1997) "Financial Development and Economic Growth : Views and Agenda," *Journal of Economic Literature,* Vol. 35, No. 2, pp. 688-726.

Levine, Ross, Norman Loayza and Thorsten Beck (2000) "Financial Intermediation and Growth : Causality and Causes," *Journal of Monetary Economics,* Vol. 46, No. 1, pp. 31-77.

Levine, Ross and Sara Zervos (1996) "Stock Market Development and Long-Run Growth," *World Bank Economic Review,* Vol. 10, No. 2, pp. 323-39.

Lieberman, Marvin B. (1984) "The Learning Curve and Pricing in the Chemical Processing Industries," *The RAND Journal of Economics,* Vol. 15, No. 2, pp. 213-228.

Lieberman, Marvin B. (1987) "The Learning Curve, Diffusion, and Competitive Strategy," *Strategic Management Journal,* Vol. 8, No. 5, pp. 441-452.

Lucas, Robert E. Jr. (1988) "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics,* Vol. 22, No. 1, pp. 3-42.

Luecke, Richard and Ralph Katz (2003). *Managing Creativity and Innovation,* Harvard Business School Press, Boston, MA.

Luintel, Kul B. and Mosahid Khan (1999) "A Quantitative Reassessment of the Finance-growth Nexus : Evidence from a Multivariate VAR," *Journal of Development Economics,* Vol. 60, No. 2, pp. 381-405.

Mankiw, N Gregory, David Romer and David N. Weil (1992) "A Contribution to the Empirics of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 107, No. 2, pp. 407-37

Mauro, Paolo (1995) "Corruption and Growth," *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 110, No. 3, pp. 681-712.

McDonald, A. and Schrattenholzer, L. (2001) "Learning Rates for Energy Technologies," *Energy Policy,* Vol. 29, No. 4, pp. 255-261.

Michelacci, Claudio and Paolo Zaffaroni (2000) " (Fractional) Beta Convergence," *Journal of Monetary Economics,* Vol. 45, No. 1, pp. 129-153.

Miketa, Asami and Leo Schrattenholzer (2004) "Experiments with a Methodology to Model the Role of R&D Expenditures in Energy Technology Learning Processes; First Results," *Energy Policy,* Vol. 32, pp. 1679-1692.

Mincer, Jacob (1958) "Investment in Human Capital and Personal Income Distribution," *The Journal of Political Economy,* Vol. 6, No. 4, pp. 281-302.

Nemet, Gregory F. (2006) "Beyond the Learning Curve : Factors Influencing Cost Reductions in Photovoltaics," *Energy Policy,* Vol. 34, No.17, pp. 3218-3232.

North, Douglass C. (1981) *Structure and Change in Economic History.* Norton & Co., New York.

OECD/IEA (2000) *Experience Curves for Energy Technology Policy,* The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) , Paris, France.

Papineau, Maya (2006) "An Economic Perspective on Experience Curves and Dynamic Economies in Renewable Energy Technologies," *Energy Policy,* Vol. 34, No. 4, pp. 422-432.

Pisano, Gary P., Richard M.J. Bohmer and Amy C. Edmondson (2001) "Organizational Differences in Rates of Learning : Evidence from the Adoption of Minimal Invasive Cardiac Surgery," *Management Science,* Vol. 47, pp. 752-768.

Prescott, Edward C. (1998) "Needed : A Theory of Total Factor Productivity," *International Economic Review,* Vol. 39, No. 3, pp. 525-51.

Preston, Lee E. and E. C. Keachie (1964) "Cost Functions and Progress Functions : An Integration," *American Economic Review,* Vol. 54, No. 2, pp. 100-107.

Rapping, Leonard. (1965) "Learning and World War II Production Functions," *The Review of Economic Statistics,* Vol. 47, No. 1, pp. 81-86.

Reis, Dayr A. (1991) "Learning Curves in Food Services," *The Journal of the Operational Research Society,* Vol. 42, No. 8, pp. 623-629.

Rodrik, Dani, Arvind Subramanian and Francesco Trebbi (2004) . "Institutions Rule : The Primacy of Institutions Over Geography and Integration in Economic Development," *Journal of Economic Growth,* Vol. 9, No. 2, pp. 131-165.

Romer, Paul Michael (1986) "Increasing Returns and Long-run Growth," *Journal of Political Economy,* Vol. 94, No. 5, pp. 1002-37.

Romer, Paul Michael (1987) "Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization," *American Economic Review,* Vol. 77, No. 2, pp. 56-62.

Schumpeter, Joseph Alois (1912/1934) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker & Humblot, Leipzig; English translation published in 1934 as *The Theory of Economic Development,* Harvard University Press, Cambridge, MA.

Schumpeter, Joseph Alois (1939) *Business Cycles : A Theoretical Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process,* McGraw-Hill, New York.

Searle, Allan D. and C. S. Goody (1945) "Productivity Increases in Selected Wartime Shipbuilding Programs," *Monthly Labor Review,* Vol. 61, No. 6, pp. 1132-1147.

Sheshinski, Eytan (1967) "Tests of the 'Learning by Doing' Hypothesis," *The Review of Economics and Statistics,* Vol. 49, No. 4. pp. 568-578.

Shaw, Edward S. (1973) *Financial Deepening in Economic Development,* Oxford University Press, New York.

Sorenson, Olav (2003) "Interdependence and Adaptability : Organizational Learning and the Longterm Effect of Integration," *Management Science,* Vol. 49, pp. 446-463.

Srinivasan, T. N. (1995) "Long-Run Growth Theories and Empirics : Anything New?" in *Growth Theories in Light of the East Asian Experience,* Takatoshi Ito and Anne O. Krueger, eds., NBER-East Asia Seminar on Economics, Vol. 4, The University of Chicago Press, pp. 37-70.

Stobaugh, Robert B. and Phillip. L. Townsend (1975) "Price Forecasting and Strategic Planning : The Case of Petrochemicals," *Journal of Marketing Research,* Vol. 12, pp. 19-29.

Sultan, Ralph G. (1976) *Pricing in the Electrical Oligopoly, Vol. 2 : Business Strategy,* Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University.

Temple, Jonathan (2000) "Summary of an Informal Workshop on the Causes of Economic Growth," *OECD Economics Department Working Papers,* No 260.

van der Zwaan, Bob and Ari Rablc (2003) "Prospects for PV : A Learning Curve Analysis," *Solar Energy,* Vol. 74, pp. 19–31.

van der Zwaan, Bob and Ari Rablc (2004) "The Learning Potential of Photovoltaics : Implications for Energy Policy," *Energy Policy,* Vol. 32, pp. 1545–1554.

Wachtel, Paul (2003) "How Much Do We Really Know About Growth and Finance?" *Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review,* Q1, pp. 33-47.

Wiersma, Eelke (2007) "Conditions That Shape the Learning Curve : Factors That Increase the Ability and Opportunity to Learn," *Management Science,* Vol. 53, No. 12, pp. 1903-1915.

Williams, R.H. and Terzian, G. (1993) "A Benefit/Cost Analysis of. Accelerated Development of Photovoltaic Technology," *PU/CEES Report No. 281,* Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, NJ.

Womer, Norman Keith (1984) "Estimating Learning Curves from Aggregate Monthly Data," *Management Science,* Vol. 30, No. 8, pp. 982-992.

Womer, Norman Keith and J. Wayne Patterson (1983) "Estimation and Testing of Learning Curves," *Journal of Business & Economic Statistics,* Vol. 1, No. 4, pp. 265-272.

Wright, T. P. (1936) "Factors Affecting the Cost of Airplanes," *Journal of the Aeronautical Sciences,* Vol. 3, No. 4, pp. 122-128.

Yelle, Louis E. (1979) "The Learning Curve : Historical Review and Comprehensive Survey," *Decision Sciences,* Vol. 10, pp. 302-328.

Zimmerman, Martin B. (1982) "Learning Effects and the Commercialization of New Energy Technologies : The Case of Nuclear Power," *Bell Journal of Economics,* Vol. 13, No. 2, pp. 297-310.