仕事の分割と情報の分断化
―労働の限界生産力が逓減する理由―

Division of Work and Fragmented Information:
An Explanation for the Diminishing Marginal Product of Labor

原　嶋　耐　治
Taiji HARASHIMA

〈要　旨〉

本論文では，情報理論におけるエントロピーの概念を援用して，何故労働の限界生産力が逓減するのかを考察する。まず「仕事の分割」という概念を導入し，分業（労働の分割：Division of labor）,すなわち，作業の専門化ではなく，この仕事の分割（Division of work）,すなわち，生産工程における作業の配分こそが，労働の限界生産力逓減の淵源であることを示す。仕事の分割により，個々の労働者は分断された情報の断片しか入手出来ない。この情報の分断化により，良く知られた労働投入における重複や混雑による非効率性とは別の種類の非効率性が生じることになる。この非効率性を情報理論におけるエントロピーの概念を援用しつつ経験曲線効果の理論に基づいてモデル化する。このモデルに基づくと，労働の限界生産力が逓減する理由を十分に説明することが出来る。このモデルと同様の考え方に立って，資本の限界生産力逓減を説明することも出来る。

JEL Classification：D24, D80, E23, J24, M54

〈キーワード〉
エントロピー，仕事の分割，経験曲線効果，限界生産力逓減，情報量，分業

はじめに

経済学においては労働の限界生産力逓減は確固たる法則であり，それはミクロのみならずマクロの生産関数においても成立するとされてきた（例えば，Barro and Sala-i-Martin, 2004）。この性質は実証研究においてもほぼ完全に支持されている。労働の限界生産力が逓減する理由としては，通常，労働投入が増加するにつれ重複と混雑の程度が悪化するからであるとされている。この理由付けには確かに説得力があり，一般にそこに疑問の余地はないもの考えられてきた。特に，ミクロの生産関数においては十分納得出来る説明である。そのようなこともあり，近年の経済学における研究においては限界生産力逓減の理由を改めて考察する類の研究は殆ど存在しない。労働の限界生産力逓減の法則は当然のものとして広く前提とされており，それはマクロの生産関数を用いる場合においても同様である。

しかし，マクロでみるとそこには労働投入の重複や混雑を解消させる要素が存在する。もし経済全体としての分業がうまく行われるならば重複や混雑は解消されるかもしれない。そうであれば，適切な分業を行うことによって少なくともマクロにおいては労働の限界生産力は逓減することはなくなるかもしれない。Adam Smith（1776）は，分業を「生産性を高める教育，訓練，練習を通じた個々の労働者或いは組織全体としての技能の専門化」と捉えていた。Adam Smith（1776）によれば，分業による生産性の向上は，（1）個々の労働者の腕の向上（Dexterity），（2）別の作業に移るために必要な時間の損失を特化した同一の仕事を続けることで節約，（3）機械の使用を通じた生産の円滑化（Facilitation），を通じて生じる。しかし，上記の三つ性質は基本的に重複や混雑とは関係がない。性質（1）及び（3）は，重複や混雑の解消ではなく，専門化の結果としての労働者の技能の向上に係るものである。性質（2）も重複や混雑とは関係がない。何故

なら，重複や混雑が存在しようがしまいが，個々の労働者の業務がそれぞれ一つに特化されると様々な業務の間を行き来するための時間が不必要になるからである。このように，Adam Smith（1776）における分業の概念は，基本的に重複や混雑とは無関係である。したがって，Adam Smith（1776）の考える分業によって労働投入における重複や混雑は解消されることはない。すなわち，分業と労働の限界生産力逓減は完全に整合的で相互に矛盾しない。逆に言えば，分業によって労働の限界生産力逓減をなくすことは出来ない。

しかし，重複や混雑を解消させるかもしれない要因は分業以外にも存在する。それは「仕事の分割」である。これは一見すると分業と同じもののように見えるかもしれないが，全く別のものである。分業は「労働者の技能の専門化の程度」を示すものであるが，仕事の分割は「一つの特定化された業務の労働者間における配分」を示すものである。本論文では，重複や混雑に影響を与えるものは分業ではなく，この仕事の分割であることを示す。もし十分に適切に仕事が分割されるならば，マクロでみると重複や混雑はほぼ無くすことが出来る。

しかし，仕事の分割を巧くさえすれば重複や混雑を解消出来るのだとすると，当然に一つの疑問が生じる。それなのに何故労働の限界生産力逓減が現実に観察されているのであろうか。限界生産力逓減が現実に観察されていることが意味することは，仕事の分割によっても解消されない何か別の非効率性が存在している可能性が高いことである。恐らく，この非効率性こそが労働の限界生産力を逓減させる真の要因なのであろう。

そこで，本論文では，まずこの仕事の分割の性質を詳細に分析し，その上で，仕事の分割と労働の限界生産力逓減の間の関係を考察することとする。仕事の分割の有する重要な性質は，労働者間で情報が分断化されることである。原嶋（2016, 2020）及び Harashima（2009, 2011, 2012）で示されているように，情報が分断化されると限界生産力は逓減する。本論文では，この 原嶋（2016, 2020）及び Harashima（2009, 2011, 2012）のモデルで示された機序を，情報理論におけるエントロピーの概念（例えば，Shannon, 1948; Theil, 1967, 1972）を援用しつつ経験曲線効果の理論（例えば，Wright, 1936; Hirsch, 1952; Boston Consulting Group［BCG］, 1972）に基づいてより詳細に分析する。その分析においては，エントロピーの概念から派生させた概念として，新たに「情報の嵩（The quantity of information）」という概念を導入する。本論文のモデルの示すところでは，労働の限界生産力は個々の労働者が保有する情報の嵩と密接に関係しており，さらに，1人当りの情報の嵩は労働者数と逆相関しているが，それは労働の投入量の増加率と同じ率で減少することはない。以上の考察に基づいて，情報の嵩が労働の限界生産力逓減の鍵となる要因であることを示す。

第1章　分業（労働の分割）と仕事の分割

第1節　分業（労働の分割）と仕事の分割の相違

分業の概念は Smith（1776）以来の長い歴史がある。一方，仕事の分割という視点はこれまで殆ど全く注目されてこなかった（例えば，Rizavi and Sofer, 2009）。仕事の分割は分業と混同され，たとえそれを思い付いたとしても，単に分業を別の言葉で言い代えただけのものと思われたからなのかもしれない。しかし，以下で記すように，両者は全く異なる概念である。

1.　分業（労働の分割）

Smith（1776）に基づいて，ここでは分業を「労働者の技能の専門化（Specialization）」と定義する。この専門化された技能は，労働者の現役時代を通じて保持される。それぞれの労働者には或る一つの専門化された技能が割り当てられる。さて，分業には，「はじめに」で記したような，すなわち，Smith（1776）で記されているような三つの性質がある。この分業の利点を成す三つの性質は，経済全般を通じて常に働いている。さらに，「はじめに」で述べたように，これらの性質は重複や混雑とは無関係である。つまり，専門化は，労働投入量（L）とは無関係に，技術（A）の水準と資本量（K）に基づいて最適化される。その結果，分業は以下のような性質を持つこととなる。

N1−1：所与の或る A と K の組み合わせに対して，或る一つの最適な分業が存在する。
N1−2：市場における裁定を通じて，各経済において常に最適な分業が維持される。

性質 N1−1 は，Smith（1776）の分業に対する見方を反映したものである。つまり，最適な分業は L に依存しない。最適な専門化は，A と K によって決まる。例えば，現代の医師は様々な専門に分かれているが，その昔は一人の医師が様々

な病気の人を診ていた。これは，現在と比べると医学知識も医療設備もまだまだ初歩的なものでしかなかったからである。その時代にたとえ医師の数が増加したとしても，それに伴って医師の専門化も促進されるということには必ずしもならなかったであろう。何故なら，その時代に存在する医療知識や医療設備による制約がかかるからである。

2. 仕事の分割

仕事の分割は，ここでは「或る特定化された業務の各労働者への割り当て」と定義する。そこでは，(1) 複数の労働者が全員同一技能を持つ労働者であっても，それぞれ異なる業務が割り当てられることがある，(2) 新規の事業や契約がなされる都度に改めて業務は分割される，(3) 一人の労働者が終生或る特定の分割された業務に縛られるということはない。

仕事の分割は，専門化された技能の配分を意味するものではなく，特定化された業務の配分を意味する。同一の技能を有する複数の労働者がそれぞれ異なる特定化された業務を割り当てられることもあり得るし，専門化された技能を有する一人の労働者がその技能とは必ずしも直接関係しない様々な業務を割り当てられることもあり得る。ここで，一単位の業務を「被分断業務」と呼ぶとすると，仕事の分割は特定化された被分断業務の割り当てを意味することから，それは以下のような性質を持つことになる。

N2-1：所与の或る A，K，L の組み合わせに対して，或る一つの最適な仕事の分割が存在する。
N2-2：市場における裁定を通じて，各経済において常に最適な仕事の分割が維持される。

N2-1 は，最適な仕事の分割が A と K だけでなく L にも依存していることを示している。L を含むという点で，N1-1 と根本的に異なっている。この相違が意味することは，仕事の分割は，分業とは異なり，労働投入における重複や混雑によって影響を受ける可能性があるということである。N2-2 が示すように，L が変化すると，その結果変化した A，K，L の組み合わせに対応した最適な仕事の分割となるように仕事の分割を再調整しなければならない。例えば，或る所与の A と K に対して L だけが増加したとすると，その結果として労働投入に新たに重複や混雑が生じ，最適な仕事の分割の状態ではなくなってしまう。このため，この新たに生じた重複や混雑が完全に解消され再び最適な仕事の状態に戻れるように，仕事の分割をやり直すことが必要となる。この仕事の分割の再調整は，生産工程や人員配置の再調整を通じて行われることになる。

N1-1，N1-2，N2-1，N2-2 に基づくと，L の変化に対する分業と仕事の分割の反応はかなり異なるものとなる。例えば A と K が変化せず L だけが増加する場合，分業は変化しないが，仕事の分割は変化することになる。すなわち，N1-1 により L が変化しても最適な分業は変化せず，したがって，N1-2 により分業は変化しない。しかし一方で，N2-1 により L が変化すると最適な仕事の分割も変化することになり，したがって，N2-2 により仕事の分割もその最適性を回復するために変化することになる。仮に，所与の A と K に対して，異なる L にはそれぞれ異なる最適な仕事の分割が一対一対応で存在するならば，所与の A と K に対して L が変化した時には仕事の分割は必ず変化することになる。

第2節　分業の長所と短所

分業の長所は昔から強調されているものなので，敢えてここで改めて詳しく述べる必要はないであろう。ただ，Smith (1776) が指摘した分業の短所については，改めて考えてみる価値があるかもしれない。その指摘の一つが，分業による労働者の精神面への悪影響である。労働者は同一の作業のみを繰り返すだけとなることから，他の物事に対して無関心，そして無知となる可能性がある。しかし，この短所はその後経済学で深く考究されることはなかった。何故なら，このことはパレート効率性とは無関係であるからである。確かに，この短所が経済活動にそれなりの負の影響を及ぼす可能性もある（例えば，労働者のそもそもの能力低下）が，それが故に L が変化した時に分業が変化することは，第1章第1節2で記した理由により，長所の場合と同じく殆どあり得ないであろう。

第3節　仕事の分割の長所と短所

1　長所：相殺

N2-1 及び N2-2 が示すように，労働投入における重複や混雑は仕事の分割によって解消し得る。所与の A，K，L

に対して，適切に仕事を分割することで生産を最大化させることが出来る。N2-1 及び N2-2 は，L の増加によって生じる負の影響を仕事の分割を再構築することで相殺し得ることを示している。

2　短所：情報の分断化

労働の限界生産力逓減は事実として厳然として存在しているが，そのことは，逆に言えば，仕事の分割によっても労働投入に係る非効率性を完全には解消出来ないことを意味している。このことは，重複や混雑以外の何らかの別種の非効率性が存在していることを強く示唆している。この別種の非効率性の源となるものとして，仕事の分割の結果としての情報の分断化を指摘することが出来る。

個々の現場の労働者は生産工程全体の極一部にしか関わっておらず，したがって，生産工程全体の極僅かな部分の情報にしか触れることが出来ない。当然ながら，様々な異なる現場における多数の労働者が接している情報全体を一人の現場の労働者が全て知ることはまず不可能である。こうした問題は，分業の結果として生じたものではない。何故なら，技能の専門化自体によって必ずしも労働者が接することの出来る情報が制限される訳ではないからである。専門化された技能を持つ労働者は或る特定の業務に配分されることが多いであろうから，その接することの出来る情報は限定されたものとなるかもしれないが，この情報の限定は分業の結果として生じるものではなく，仕事の分割の結果として生じるものである。

生産工程における全ての労働投入は仕事の分割を通じて相互に関連付けされていることから（つまり，分割された仕事のどの一部分が欠けても生産は完結しないことから），労働者が知的活動を行っている場合には，この情報の分断化によって深刻な問題が引き起こされる可能性が生じる。意思決定やイノヴェーションのような知的活動は，労働者が利用できる関連情報量が増加する程活発化するであろう。全労働者間の相互関連性が意味することは，全ての労働者が完全に正しい意思決定を行うためには，全ての労働者が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ということである。しかし，当然ながら，個々の現場の労働者は関係する情報の極一部しか知る術がない。必然的に，各労働者は，この分断化された不完全な情報故の想定外の問題に直面することになる。想定外の問題が生じた場合，分断化された不完全な情報しか有しない労働者は，情報が完全な場合とは異なるより悪い意思決定を行う可能性が高くなる。その結果として，全体の効率性は低下することになる。

例えば，大企業の最高経営責任者（CEO）は生産計画の全体像は知っているかもしれないが，日々個々の生産現場で生じている多くの小さな局所的な事象については殆ど知ることがない。対照的に，各現場の個々の労働者は，生産計画の全体像は良く分かっていないかもしれないが，それぞれが配置されている特定の作業現場で日々生じている多くの小さな局所的な事象については良く知っている。さて，全体として最も効率的な状態となるためには，たとえ数多くの想定外の問題が生じたとしても，最高経営責任者も現場の労働者も含む全ての関係者が生産工程における全ての情報を等しく持っている必要がある。何故なら，全ての労働投入は仕事の分割を通じて相互連関しているからである。しかし，当然ながら，一人の現場の労働者が他の全ての関係する労働者が接した情報の全てに触れることは基本的に不可能である。

すなわち，仕事の分割によって，重複や混雑から生じる非効率性と情報の分断化から生じる非効率性の両方を同時に解消することは出来ない。仕事の分割を最大限進めることで重複や混雑による非効率性を解消出来たとしても，そのことにより逆に情報の分断化から生じる非効率性が生じてしまう。さて，現実を見ると，殆どの場合仕事はかなりの程度分割されている。このことは，重複や混雑から生じる非効率性の方が情報の分断化から生じる非効率性よりもより深刻な問題と認識されていることを示唆している。つまり，仕事の分割の結果情報の分断化による非効率性が生じると分かっていても，仕事の分割を進めた方が良いと考えられていると言えよう。

3　分断化された情報の下での想定外の問題への対処

情報が分断化されているがために，前述のように一般の労働者は数多くの想定外の問題に直面することになる。その結果として，効率性は低下することになる。一般の労働者がそれらの問題を多少でも自力で解決出来れば効率性の低下を緩和させることが出来る。ただし，一般の労働者は，通常，指示されたことのみを行い，それ以外のことは行わないことが求められている。しかし，仮に自力で想定外の問題を解決しようとするならば，この指示された範囲を超えて活動する必要が出てくる。その解決のためには，まず状況を把握し，さらに，生産工程全体の中での位置付けや重要度にも思いを巡らし，その上でさらに必要なイノヴェーションを生み出す必要がある。つまり，未知の機序や法則を発見する知的活動を行う必要がある。このことは，一般の労働者が時にその指示された範囲を超えて活動する，さらに，そのために解決に導

くだけの知能を有している必要があることを意味している。当然ながら，予め指示されたことしか出来ないロボットとは違い，一般の労働者は知能を有する人間であり，機械とは根本的に異なる存在である。重要なことは，人間だけがイノヴェーションを生み出し想定外の問題を解決することが出来ることである。一般の労働者は勿論人間であり，したがって，たとえ不完全な情報しか持っていない状況であっても，或る程度は想定外の問題を解決出来る存在である。さらに言えば，現実に小さいながらも非常に多くの想定外の問題が日々生産現場で生じていることを考えれば，この一般の労働者の持つ想定外の問題を解決する能力がなかったとすれば生産に大きな支障が生じてしまう，すなわち，この一般労働者の能力は生産工程において必要不可欠なものであると言える。

しかし，一般の労働者が完全にこの非効率性を解消させることが出来る訳ではない。何故なら，各労働者が想定外の問題を解決するためにイノヴェーションを生み出す時に用いることが出来る情報は，分断化された不完全な情報しかないからである。仕事の分割の度合いが高まる程，より分断化された不完全な情報しか得ることが出来なくなる。そのため，各労働者は生産工程の全体構造をより不正確にしか推測出来なくなり，想定外の問題を解決するための最適な対応をすることがより難しくなる。このように，仕事の分割に起因する非効率性をどれだけ軽減出来るかは，情報の分断化の程度に依存することになる。

第2章　情報の嵩と経験

本章では，情報はどのように分断化されるのか，その分断化された情報をどのように量的に把握するか，さらに，その量が仕事の分割とどのような関係を有しているのか考察する。

第1節　エントロピー

情報理論（例えば，Shannon, 1948; Theil, 1967, 1972）においては，或る確率変数 $x_i(\in X)$ の情報量（Information content）は，

$$-\ln(p_i)$$

と定義される。ここで，$X=\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n\}$ であり，p_i は x_i の生起確率である。X のエントロピーは，

$$H(X)=-\sum_{i=1}^{n} p_i \ln(p_i) \tag{1}$$

と定義される。

情報理論におけるエントロピーは，メッセージに含まれる情報の量的尺度とも解釈出来るし，「情報の嵩（The quantity of information）」とも解釈出来る。したがって，この概念を情報の分断化を分析する際に援用する，特に分断化の程度を図るものとしてそれを用いることは十分に可能であろう。高い水準の情報の分断化は各労働者の低い水準のエントロピーに対応すると考えることが出来よう。

第2節　情報の嵩と仕事の分割

ここで，「信号（sign）」を分断化された情報の一断片とする。各労働者は，その配分された分割された仕事に関係する様々な信号を感知する。各労働者は，それぞれその所与の分割された仕事において N_L 個の信号を感知するものとする。なお，信号の中には，たとえ質的には同一であっても，異なる時間や異なる場所で感知された場合には異なる信号と見なされるものもある。仮に仕事が全く分割されていないとするならば，一人の労働者が全ての信号を感知することが可能となるが，現実には仕事は分割されており，各労働者は信号総計の中の一部分しか感知することが出来ない。したがって，或る労働者が感知出来ない信号が運ぶ情報は，当該労働者にとっては未知の情報のままということになる。仕事の分割の程度が高まる程，各労働者が信号総計の中で感知可能な信号の量は減少することになる。つまり，仕事の分割によって，各労働者が取得し得る情報の嵩は制約されることになる。

信号は幾つかの型に分類され，それぞれの型に属する信号は質的に同一であるとする。ここで，或る分割された仕事においては m 個の型の信号（$s_1, s_2, s_3, \ldots, s_m$）を感知し得るものとする。一単位期間において或る信号がどの型であるかという確率は平均すれば一定であると仮定し，s_i 型である確率を p_i とする。或る労働者が j 個の信号を感知した後に初めて s_i 型の信号を感知する確率は，

$$p_i(1-p_i)^{j-1}$$

である。したがって，或る労働者が N_L 個の信号を感知した時に，少なくとも一回は s_i 型の信号を感知する確率は，

$$p_i + p_i(1-p_i) + p_i(1-p_i)^2 + \cdots + p_i(1-p_i)^{N_L-1} = 1-(1-p_i)^{N_L}$$

である。

本論文では，エントロピーの概念を援用し，「情報の嵩」を以下のように定義する。情報量 $-\ln(p_i)$ に対し，N_L 個の信号に対する情報の嵩は，

$$\Pi(N_L) = -\sum_{i=1}^{m} \left\{\left[1-(1-p_i)^{N_L}\right]\ln(p_i)\right\}$$

である。(1) 式の $H(X)$ における加重 p_i を，$\Pi(N_L)$ では $1-(1-p_i)^{N_L}$ に置き換えた形となっている。このことは，情報の価値（すなわち，情報量 $-\ln(p_i)$）は如何なる N_L に対しても同一であるが，この情報を得る確率は，N_L の増加につれて，p_i から $1-(1-p_i)^{N_L}$ へと増加することを意味している。もし $N_L = 1$ ならば，$\Pi(N_L)$ はエントロピーと等しいが，N_L が増加するにつれエントロピーからは乖離していく。$\Pi(N_L)$ は，一人の労働者が N_L 個の信号を感知した時に保有出来る情報の嵩を示している。ここで，如何なる i に対しても $1 > p_i \geq p_{i+1} > 0$ であると仮定する。さらに，単純化のために，$\tau > 1$ に対して $p_i = i^{-\tau}$ と特定化する。したがって，$\Pi(N_L)$ を $\Pi(N_L, \tau)$ の形で以下のように再定義する。

$$\Pi(N_L, \tau) = -\sum_{i=1}^{m} \left\{\left[1-(1-p_i)^{N_L}\right]\ln(p_i)\right\} = \sum_{i=1}^{m} \left\{\left[1-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\right] i^{-\tau}\ln\left(i^{\tau}\right)\right\} \tag{2}$$

如何なる i に対しても $1 > p_i \geq p_{i+1} > 0$ であることから，$\Pi(N_L, \tau)$ は有限である。

第3節　情報の嵩の限界増加（微分係数）の逓減

N_L の増加につれて（すなわち，分割された仕事において労働者がより多くの信号を感知すれば），情報の嵩は増大するが，情報の嵩の限界増加（Marginal increase）（微分係数）は逓減する。何故なら，

$$\begin{aligned}\frac{d\left[1-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\right]}{dN_L} &= -\frac{d\exp\left[N_L\ln\left(1-i^{-\tau}\right)\right]}{d\left[N_L\ln\left(1-i^{-\tau}\right)\right]}\,\frac{d\left[N_L\ln\left(1-i^{-\tau}\right)\right]}{dN_L} \\ &= -\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\ln\left(1-i^{-\tau}\right)\end{aligned}$$

であるからである。$\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L} > 0$ 及び $\ln\left(1-i^{-\tau}\right) < 0$ であるから，

$$\frac{d\left[1-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\right]}{dN_L}>0$$

であり，故に，(2) 式より，

$$\frac{d\Pi\left(N_L,\tau\right)}{dN_L}>0$$

である。さらに，

$$\frac{d^2\left[1-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\right]}{dN_L^2}=-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\left[\ln\left(1-i^{-\tau}\right)\right]^2$$

であるが，$\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}>0$ and $\ln\left(1-i^{-\tau}\right)<0$ であるから，

$$\frac{d^2\left[1-\left(1-i^{-\tau}\right)^{N_L}\right]}{dN_L^2}<0$$

であり，故に，(2) 式より，

$$\frac{d^2\Pi\left(N_L,\tau\right)}{dN_L^2}<0$$

であり，情報の嵩の限界増加は逓減する。したがって，各労働者の有する情報の嵩は，その労働者の経験（N_L）が増しても，その増加する率より低い率でしか増加しない。

$\frac{d\Pi\left(N_L,\tau\right)}{dN_L}>0$ 及び $\frac{d^2\Pi\left(N_L,\tau\right)}{dN_L^2}<0$ という性質を有することから，多くの τ の値に対して，近似的に $\Pi_{NL,\tau}$ を，$N_L<\overline{N}$ に対して

$$\Pi\left(N_L,\tau\right)\approx\mu N_L^{\beta} \tag{3}$$

となるような指数関数として表すことが可能である。ここで，μ，β，$\overline{N}$ は正の定数で，$0<\beta<1$ である。

第4節　情報の嵩と経験曲線効果

(3) 式の関数の形は，以前より経済学や経営学で数多くの研究がなされてきた「経験曲線効果（The experience curve effect)」を表現する関数の形と良く似ている。この類似性の示すところは，経験曲線効果が生じる機序を情報の嵩の概念を用いて説明するこが出来る可能性があることである。

1　経験曲線効果

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ためのコストが低下するという効果のことを指す。同じ作業を繰り返し行う程その作業効率が向上することと言い替えても良い。経験曲線効果（当初は学習曲線効果と呼ばれた）の発想は，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年代第から1970年代初にかけて，特に Boston Consulting Group（BCG）によって強調された。これらの先駆的業績以降，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お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。

$$C_N = C_1 N^{-(1-\alpha)} \tag{4}$$

ここで，C_1 はある作業の最初の生産一単位のコスト，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，$\frac{C_{2N}}{C_N}$ 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良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，生産量が倍増する都度 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様々な値を取るであろう（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。

経験が伝達する重要な要素が情報である。或る作業の経験を繰り返すことにより，労働者の持つ当該作業に係る情報の嵩は増大し，情報はより完全なものへと近づくことになる。この意味で，(4) 式の中で経験を示す変数 N は，当該作業に関して労働者が有する現時点での情報の嵩を反映していると言える。経験を重ねる毎にその作業に係わる労働者の持つ情報の嵩は増大することから，当該労働者の作業効率は上昇する。しかし，一方で，N が増加するにつれて，それに伴う作業効率の上昇の程度は逆に逓減していくことになるであろう。何故なら，当該作業に係る情報の嵩が飽和点に近づいていくと考えられるからである。

経験の持つ核心的な性質はそれが情報を運ぶことであるから，その点を押さえている限りは，経験曲線効果の概念を反復される作業・仕事，つまり時間的に分割される作業・仕事に限定する必要はなく，その他の様々な型の作業・仕事に

拡張して応用することが可能であろう。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。或る「活動」に係る「経験」の一つ一つは，それぞれ当該活動に係る全情報の中の或る一つの部分集合をもたらす。その部分集合は，他の経験がもたらす情報の部分集合と部分的に重複する。経験曲線効果は，こうした形の活動であれば，それが時間的に分割される活動でなく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出来るであろう。この経験曲線効果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，その活動が人間の知的活動であるならば，その経験が時間や労働者以外の要因によって分割された場合であっても，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。

ただし，経験曲線効果の概念を無限に拡張し続けることも出来ない。それは労働者の持つ情報の嵩に依存して作業の出来不出来が変わってくるような類の作業に対してのみ適用が可能である。

2　情報の嵩と経験曲線効果

第2章第2節で示されたように，各労働者はその配分された仕事に関して N_L 個の信号を受け取る。一方，第2章第4節1が示すように，(4) 式における経験 N は労働者がその作業に関して有する現時点における情報の嵩を反映しており，さらに，N が増加するに従い，当該作業に関する情報が飽和に近づいていくことから，効率の改善の程度は逓減していくことになる。この経験曲線効果の持つ性質は，第2章第2節及び第3節で示された情報の嵩が持つ性質と非常に良く似ている。この類似性が示唆することは，(4) 式における N を N_L で置き換えることが可能であるということである。

或る経済における全ての信号を $\tilde{N}$ とする。したがって，N_L は $\tilde{N}$ の一部分である。単純化のために，全ての労働者は同一で，各労働者が感知する信号の数も同一とする。したがって，各労働者の経験（N_L）は，労働者数に反比例する。つまり，

$$N_L = L^{-1}\beta_L$$

である。ここで，β_L は定数である。$N_L L(=\beta_L)$ は当該経済における信号総計を意味する。すなわち，$\beta_L = \tilde{N}$ である。さて，$\tilde{N}$ は，L の大きさを適当に取ることによって，$\tilde{N} = 1$ と標準化することが出来る。そうすると，$\tilde{N} = 1$ であることから，

$$N_L = L^{-1} \tag{5}$$

となる。ここで，C_{L,N_L}を，「或る労働者の経験が N_L である時，当該労働者の分割された仕事において情報が分断化された結果生じる非効率性の程度」とする。注意すべき点は，C_{L,N_L} が，「情報の分断化の結果当初から存在している非効率性」を意味するのではなく，「当該労働者が想定外の問題を処理し非効率性を緩和した後でもさらに残存している非効率性」を意味している点である。非効率性の増加に比例して費用も増加するであろう。つまり，C_{L,N_L} は費用の大きさも示している。逆に言えば，C^{-1}_{L,N_L} を「分割された仕事に係る労働者の生産性の程度」と解釈することが出来る。この生産性は，労働者によって非効率性が軽減されればされる程上昇する。

(4) 式において，N は或る作業に従事している労働者の経験と解釈されていたが，(5) 式においても，N_L は或る特定の分割された仕事に従事している労働者の経験と解釈出来る。そこで，(4) 式における N を N_L と置き換えると，

$$C_{L,N_L} = C_{L,1} N_L^{-(1-\alpha)} \tag{6}$$

となる。ここで，$C_{L,1}$ は，$N_L = 1$（すなわち，$N_L = \widetilde{N}$ 及び $L = 1$）の時の非効率性である。第2章第3節に基づくと，情報の嵩は近似的に

$$\Pi(N_L, \tau) = \mu N_L^{\beta} \tag{7}$$

と表すことが出来る。したがって，(6) 式と (7) 式を組み合わせると，

$$C_{L,N_L} = C_{L,1}\left[\frac{\Pi(N_L, \tau)}{\mu}\right]^{\frac{-(1-\alpha)}{\beta}} \tag{8}$$

となる。もし $1-\alpha = \beta$ ならば，

$$C_{L,N_L} = \frac{C_{L,1}\mu}{\Pi(N_L, \tau)} \tag{9}$$

である。(8) 及び (9) 式は，情報の嵩が増大すれば非効率性 C_{L,N_L} は低下することを示している。このことは，情報の嵩が経験曲線効果を生み出す源泉である可能性があることを意味している。そうであれば，経験曲線効果を生み出す機序は以下のようなものであると考えることが出来よう。すなわち，労働者が経験を積み情報の嵩を積み上げる程，その知能を用いてより多くの想定外の問題を解決出来るようになり，その結果として非効率性は低下する。第1章で考察したように，経験が運ぶ重要な要素は情報である。情報の嵩（すなわち，経験）を積み重ねる程，労働者は仕事の全体的な枠組みをより良く理解出来るようになり，さらに，より多くのイノヴェーションを生み出すことが出来るようになり，その結果として，仕事の分割の結果生じた非効率性をより低減させることが出来る。

3　様々な型の仕事全体にわたる平均的な情報の嵩

τ の値は仕事の型によって異なってくるであろう。したがって，もし $1-\alpha = \beta$ のように α と β が相関しているならば，(7) 式より，α の値も仕事の型によって異なってくるであろう。第2章第4節1で示されたように，様々な業種での経験曲線における α の値の推計値は，通常 0.6 と 0.9 の間の値をとる。こうした分布は，業種毎に τ の値が異なることを反映していると言える。しかし，経済全体で α の推計値を平均すると，経済や時期に係わらず，通常 0.7 程度となっている。このことから，業種毎に見れば様々に異なっているとしても，平均的な情報の嵩は，経済や時期に係わらず，ほぼ同じような値をとると考えられる。

第3章　情報の嵩と労働の限界生産力逓減

第1節　労働の限界生産力逓減

1　知能による非効率性の軽減と情報の嵩

$C_{L,N_L}^{-1} = C_{L,1}^{-1}L^{\alpha-1}$ であることから，生産性 C_{L,N_L}^{-1} は，L^{-1} ではなく $L^{\alpha-1}$ に比例する。つまり，たとえ L が増加したとしても，すなわち，L 一単位当たりの信号が減少したとしても，L^{α} の項が示しているように労働者の知能とそれによるイノヴェーションを通じて生産性の低下は或る程度緩和される。(9) 式及び $C_{L,N_L}^{-1} = C_{L,1}^{-1}L^{\alpha-1}$ より，

$$L^{\alpha-1} = \mu\Pi(N_L, \tau) \tag{10}$$

である。(8)，(9)，(10) 式は，C_{L,N_L}^{-1} が $L^{\alpha-1}$ に比例する理由が，情報の嵩 $\Pi(N_L, \tau)$ が L の増加率よりも緩やかな率で

減少するためであることを示している。

2　実効労働投入

W_L を，「分断化され不完全となった情報が故に生じた非効率性を軽減するために労働者がイノヴェーションを生み出し，その結果を受けて補正された労働者が提供する実効的な労働投入の総計」とする。したがって，$L^{-1}W_L$ は，一人の労働者が提供する実効的な労働投入の提供量である。生産性（C_{L,N_L}^{-1}）が上昇する程一人の労働者が提供する実効的な労働投入の提供量は増加することから，$L^{-1}W_L$ は，

$$\frac{W_L}{L}=\frac{\gamma_L}{C_{L,N_L}} \tag{11}$$

のように C_{L,N_L}^{-1}に正比例している。ここで，γ_L は定数である（すなわち，γ_L は，$C_{L,N_L}=1$ の時の一単位期間における労働者一人当たり生産量を表している）。(5) 及び (6) 式を (11) 式に代入すると，

$$W_L=\frac{\gamma_L}{C_{L,N_L}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}N_L^{-(1-\alpha)}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}L^{1-\alpha}}L=\frac{\gamma_L}{C_{L,1}}L^{\alpha} \tag{12}$$

となる。(12) が示すことは，W_L と正比例しているのは，L ではなく L^{α}，すなわち，労働者が実効的に提供している労働投入量であること，故に，実効労働投入（$\widetilde{L}$）は

$$\widetilde{L}=\upsilon_L W_L=\omega_L L^{\alpha} \tag{13}$$

であるということである。ここで，υ_L 及び ω_L は正の定数で，$\omega_L=\dfrac{\upsilon_L\gamma_L}{C_{L,1}}$ である。たとえマクロの生産関数であっても，実効労働投入は近似的に (13) 式で示されるような関数形を持つことになる。このことは，明らかに，労働の限界生産力はマクロで見ても逓減することを意味している。

第2節　情報の嵩と合理的期待仮説

ここで，$N_L=1$ の時の当初の非効率性（つまり，労働者のイノヴェーションによって軽減される前の非効率性）を $\rho C_{L,1}$ $(\rho>1)$する。この当初の非効率性は，労働者がその知能を用いてイノヴェーションを創出することによって，$C_{L,1}$ へと ρ^{-1} だけ軽減される。(6) 式に基づくと，N_L が減少する（すなわち，L が増加する）に従い，当初の非効率性の軽減の程度は減少することになる。つまり，$\rho C_{L,1}$ は $C_{L,N_L}=C_{L,1}N_L^{-(1-\alpha)}$ へと $\rho^{-1}N_L^{-(1-\alpha)}$ だけ軽減される。単純化のために，$1-\alpha=\beta$ とする。したがって，(7) 式より，$\rho^{-1}N_L^{-(1-\alpha)}=\dfrac{\mu}{\rho\Pi(N_L,\tau)}$ である。経験が N_L である時，当初の非効率性は，労働者がその知能を用いることで，$\dfrac{\mu}{\rho\Pi(N_L,\tau)}$ だけ軽減される。情報の嵩が増大する程，当初の非効率性はより高い率で軽減される。別の表現をすれば，情報の嵩が増大する程，労働者はより正確に想定外の問題の解決策を見出すことが出来るようになる。この関係が意味することは，想定外の問題に対する解決策の不正確性の程度は $\Pi(N_L,\tau)$ と逆相関しているということである。

想定外の問題の解決策の不正確性は，その解決策に基づく予測値と実際の観察値の間の相違の分散（σ^2）によって測ることが出来る。つまり，労働者が想定外の問題を解決するために最終的に選択した解決策が常に最適なものとなっているとは限らず，分散 σ^2 が示すような形で最適な解決策とはなっていないであろう。上記のように，この分散（すなわち，不正確性の程度）は $\Pi(N_L,\tau)$ と逆相関していると考えられ，最も単純な形では，

$$\frac{1}{\Pi(N_L,\tau)}=\psi\sigma^2 \tag{14}$$

と表すことが出来る。ここで，ψ は正の定数である。

（14）式は合理的期待形成仮説と整合的である。つまり，経済主体による経済変数の将来予測値には系統的誤差が存在しない，簡単に言えば，経済主体の予測の平均値は正確である。仕事の分割によって生じる非効率性は，平均値ではなく，予測値と実際の観察値の間の相違の分散の値に関係している。もし経済主体が合理的であれば，予測の平均値に系統的誤差は存在しない（つまり，期待は合理的である）が，予測の分散は労働者が有する情報の嵩によって様々な値を取り得る。

第3節　情報の嵩と中心極限定理

ここで，$\Pi(N_L,\tau)=1$ の時，各解決策の不正確性の程度の期待値を σ_1^2 とする。つまり，（14）式より $1=\psi\sigma_1^2$ である。したがって，（14）式より，

$$\frac{\psi\sigma_1^2}{\Pi(N_L,\tau)}=\psi\sigma^2$$

つまり，

$$\sigma^2=\frac{\sigma_1^2}{\Pi(N_L,\tau)} \tag{15}$$

である。（15）式で示される性質は，中心極限定理の持つ性質と非常によく似ている。中心極限定理は，平均 μ，分散 $\tilde{\sigma}^2$ を持つ確率変数の標本数 n の標本平均の分布が平均 μ，分散 $\frac{\tilde{\sigma}^2}{n}$ の正規分布に従うというものである。情報の嵩 $\Pi(N_L,\tau)$ は確率変数の標本数と解釈ことが出来る。この確率変数の標本においては，$\Pi(N_L,\tau)$ 単位の情報（すなわち，標本数 $\Pi(N_L,\tau)$）は，不正確性 $\sigma^2=\frac{\sigma_1^2}{\Pi(N_L,\tau)}$ を与えることになる。情報の嵩 $\Pi(N_L,\tau)$ が増大する程，不正確性の程度は同じ率で低減する。この中心極限的理に類似する機序により，情報の嵩が増大するにつれ，労働者が最適な解決策を見出し得る確率は高くなることになる。

第4章　情報の嵩と資本の限界生産力逓減

労働投入と同様に，資本投入も限界生産力逓減という性質を有している。この性質に関しても，労働投入の場合と同様に情報の嵩に基づいて説明することが出来る。

第1節　情報の嵩

一単位の資本には様々な種類の技術が組み合わされて体化されているが（$\frac{A}{K}$），一人の労働者はそのうち或る特定の技術の組み合わせが体化された資本に接することになる。ここで，N_A を，「或る労働者が，一単位期間に，一単位の資本に体化されている各技術のそれぞれに接する平均的な回数（頻度）」とする。さて，生産工程においては，労働者が対処しなければならない数多くの（通常は小さな）想定外の問題が発生する。ここで，「事象」を，「或る技術の組み合わせを用いて問題を解決することが求められる事態」を意味するとする。この事象は，それぞれの解決のために必要な技術の組み

合わせの相違に基づいて，様々な型に分類することが出来る。型の異なる事象は別の種類の事象ということになるが，同一の型の事象の場合には質的に同一の事象と見なされる。

ここで，或る生産工程では m 個の型の事象（$i_1, i_2, i_3, \ldots, i_m$）が生じ得るものとする。この生産工程において，一単位期間に，或る一つの種類の技術に対して或る特定の型の事象が生じる確率（つまり，一労働者が当該種類の技術に接する時に，当該の特定の型の事象が生じる確率）は平均的には一定であるとし，i_q 型の事象が生じる確率を p_q とする。一単位期間において一人の労働者が或る技術に接する回数（頻度）が平均すれば N_A である時，i_q 型の事象が少なくとも1回は生じる確率は，

$$p_q + p_q(1-p_q) + p_q(1-p_q)^2 + \cdots + p_q(1-p_q)^{N_A-1} = \frac{\left[1-(1-p_q)^{N_A}\right]}{1-(1-p_q)} p_q = 1-(1-p_q)^{N_A}$$

である。この確率は，「接触回数（頻度）が N_A である時，i_q 型の事象の処理を経験する確率」と解釈することが出来る。したがって，接触回数（頻度）が N_A である生産工程における情報の嵩は，

$$\Pi(N_A) = \sum_{i=1}^{m} \left\{ \left[1-(1-p_i)^{N_A}\right] \ln\left(\frac{1}{p_i}\right) \right\}$$

と表すことが出来る。$\Pi(N_A)$ は，一人の労働者が一つの技術にN_A 回接する（経験する）ことによって持ち得る情報の嵩である（したがって，N_A は資本一単位当たりの一つ種類の技術に係る労働者の経験を示している）。$\Pi(N_A)$ の場合と同様に，如何なる i に対しても $1 > p_i \geq p_{i+1} > 0$ とし，特に，$\tau > 1$ に対して $p_i = i^{-\tau}$ であるとする。したがって，$\Pi(N_A)$ は，$\Pi(N_A, \tau)$ として，

$$\Pi(N_A, \tau) = \sum_{i=1}^{m} \left\{ \left[1-(1-p_i)^{N_A}\right] \ln\left(\frac{1}{p_i}\right) \right\} = \sum_{i=1}^{m} \left\{ \left[1-(1-i^{-\tau})^{N_A}\right] \ln\left(i^{\tau}\right) \right\}$$

のように再定義することが出来る。如何なる i に対しても $1 > p_i > 0$ であることから，$\Pi(N_A, \tau)$ は有限である。$\frac{d\Pi(N_A,\tau)}{dN_A} > 0$ 及び $\frac{d^2\Pi(N_A,\tau)}{dN_A^2} < 0$ という性質から，多くの τ の値に対して，$\Pi(N_A, \tau)$ は以下のように近似的に指数関数として表すことが出来る。すなわち，$1 \leq N_L < \overline{N}$ に対して，

$$\Pi(N_A, \tau) = vN_A^{\gamma} \tag{16}$$

という指数関数である。ここで，v，γ，$\overline{N}$ は正の定数で，$0<\gamma<1$ である。特に，もし $\overline{N}$ が大きくなければ，$\Pi(N_A, \tau)$ は（16）式によって良く近似出来るであろう。

第2節　資本の限界生産力逓減

前述のように，一単位の資本には様々な種類の技術が組み合わされて体化されており（$\frac{A}{K}$），一人の労働者はそのうち或る特定の技術の組み合わせが体化された資本に接することになる。$\frac{A}{K}$ が上昇するにつれ，一単位の資本当たりの技術の種類は増加する。 したがって，一単位期間内に一単位の資本に含まれる或る一つの種類の技術に接する確率は低下し，故に，N_A は減少する。したがって，$\frac{A}{K}$ の値は，一単位の資本に含まれる各種類の技術それぞれに係る労働者の経験と反

比例しており，

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

のように表すことが出来る。ここで，β_A は正の定数である。労働者の平均接触回数（頻度）を標準化し，$\beta_A = 1$ と置くこととすると

$$N_A = \left(\frac{A}{K} \right)^{-1} \tag{17}$$

となる。

ここで，C_{A,N_A} を，「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或る一つの種類の技術を使用する時，当該技術の不完全性の結果として生じる非効率の程度」とする。ただし，C_{A,N_A} は，技術の不完全性の結果当初から存在する非効率性を示すものではなく，労働者の生み出すイノヴェーションによって軽減された後の非効率性を示している。非効率性の増加につれて費用も増加する。したがって，C_{A,N_A} は費用をも表している。逆に言えば，C_{A,N_A}^{-1} を，「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或る一つの種類の技術を使用し，各労働者の経験が N_A である時，労働者がイノヴェーションを生み出すことで高められた生産性」と解釈することが出来る。一人の労働者が一単位の資本に体化された或る一つの種類の技術に接する回数（頻度）が増加するにつれて，イノヴェーションの創出は増加するであろう。経験の回数（頻度）が増加するにつれてイノヴェーションの創出が増加することにより，不完全な技術の非効率性はより軽減され，生産性は高められるであろう。したがって，非効率性 C_{A,N_A} は，接触回数（頻度）の増加に伴って低下する。

経験曲線効果が示すことは，一単位の資本に体化された或る一つの技術に係る労働者の経験が増加する程（つまり，$\frac{A}{K}$ の値が小さくなる程），以下のように非効率性 C_{A,N_A} は低下する（つまり，生産性 C_{A,N_A}^{-1} は上昇する）ということである。すなわち，

$$C_{A,N_A} = C_{A,1} N_A^{-(1-\alpha)} \tag{18}$$

である。ここで，$C_{A,1}$ は，$N_A = 1$ である時の非効率性の程度である。なお，α は（4）式で用いられたパラメーター（$0 < \alpha < 1$）である。

第4章第1節で示されたように，情報の嵩 $\Pi(N_A, \tau)$ は，（16）式のように近似出来る。（16）式と（18）式を組み合わせると，

$$C_{A,N_A} = C_{A,1} \left[\frac{\Pi(N_A, \tau)}{v} \right]^{\frac{-(1-\alpha)}{\gamma}} \tag{19}$$

となる。もし $1-\alpha = \gamma$ ならば，

$$C_{A,N_A} = \frac{C_{A,1} v}{\Pi(N_A, \tau)} \tag{20}$$

である。（19）式及び（20）式が示すことは，情報の嵩が増大することで非効率性 C_{A,N_A} が低下することである。このこと

は，経験曲線効果という現象が生じる背景には情報の嵩という存在があることを示唆している。

非効率性が労働者のイノヴェーションによって軽減されることから，一単位の資本当たりの実効的な技術投入量は，生産性 C_{A,N_A}^{-1} が上昇するにつれて増加するであろう。したがって，「一人の労働者が一単位の資本に体化された一種類の技術を使用する時の一単位の資本当たりの実効的な技術投入量」は，

$$W_A\left(\frac{A}{K}\right)^{-1}=\frac{\gamma_A}{C_{A,N_A}} \tag{21}$$

のように C_{A,N_A} と逆相関するであろう。ここで，W_A は，「一人の労働者が一単位の資本に体化された或る特定の種類の技術の組み合わせを使用する時の一単位の資本当たりの実効的な技術投入量」であり，γ_A は正の定数である（つまり，γ_A は，「$C_{A,N_A}=1$ の時に，一単位期間に一人の労働者が一単位の資本に体化された或る特定の種類の技術の組み合わせを使用する時の一単位の資本当たりの実効的な技術投入量」を意味している）。(17) 式及び (18) 式を (21) 式に代入すると，

$$W_A=\frac{\gamma_A}{C_{A,N_A}}\left(\frac{A}{K}\right)=\frac{\gamma_A}{C_{A,1}N_A^{-(1-\alpha)}}\left(\frac{A}{K}\right)=\frac{\gamma_A}{C_{A,1}\left(\frac{A}{K}\right)^{1-\alpha}}\left(\frac{A}{K}\right)=\frac{\gamma_A}{C_{A,1}}\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha} \tag{22}$$

となる。

一単位の資本に体化された技術の量は $\frac{A}{K}$ である。しかし，如何なる技術も本質的に不完全なものであることから，この技術投入量が実際に全て実現されるということにはならない。一方で，同時に，こうした不完全性から生じる非効率性は，一般労働者の生み出すイノヴェーションによって，完全に除去できる訳ではないが，或る程度は軽減される。(22) 式が示していることは，この軽減の程度が $\frac{A}{K}$ の値に依存していること，そして，この軽減によって，一単位の資本当たりの実効的な技術投入量が $\frac{A}{K}$ ではなく $W_A=\frac{\gamma_A}{C_{A,1}}\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha}$ に正比例することになることである。したがって，(22) 式に基づくと，一単位の資本当たりの実効技術投入量（$\widetilde{A}$）は，

$$\widetilde{A}=\upsilon_A W_A=\omega_A\left(\frac{A}{K}\right)^{\alpha} \tag{23}$$

ということになる。ここで，υ_A 及び ω_A は正のパラメーターで，$\omega_A=\frac{\upsilon_A\gamma_A}{C_{A,1}}$ である。明らかに，(23) 式は資本の限界生産力が逓減することを示している。

結論

労働の限界生産力逓減に関しては，これまで一般に労働投入における重複や混雑がその理由とされてきた。一方で，分業（労働の分割）によってこの労働投入における重複や混雑は解消することは出来ない。したがって，分業とこの重複や混雑は相互に整合的な存在である。しかし，マクロで見ると，労働投入における重複や混雑を解消させる要素は分業でなくても存在する。それは，仕事の分割である。もし十分適切に仕事を分割することが出来れば，少なくともマクロにおいては重複や混雑を殆ど解消させることが出来るであろう。

しかし，もし仕事の分割によって重複や混雑を殆ど解消させることが出来るのであれば，何故労働の限界生産力逓減という現象が現実に観察されるのであろうか。この現実に限界生産力逓減が観察されることが示唆することは，重複や混

雑以外の全く別の非効率性が存在することである。しかも，仕事の分割によってもその非効率性を除去出来ないことである。こうした考え方に立って，本論文では，仕事の分割の結果生じる労働者間の情報の分断化こそが，労働の限界生産力逓減の理由であることを示した。その結論を導くため，まず，原嶋（2016, 2020）及び Harashima（2009, 2011, 2012）で示された情報の分断化の機序を，情報理論におけるエントロピーの概念（例えば，Shannon, 1948; Theil, 1967, 1972）を援用し，かつ，経験曲線効果の理論（例えば，Wright, 1936; Hirsch, 1952; BCG, 1972）を用いて詳細に考察した。本論文のモデルによると，労働の限界生産力は労働者が保持する情報の嵩と密接に関連しており，この情報の嵩が労働の限界生産力逓減の鍵となる存在となっている。

なお，本論文で示された概念は，経営学の分野でも活用できるものかもしれない。本論文では，仕事の分割は全ての企業で全く同様に行われると仮定されたが，実際には各企業によっては大きく異なっているかもしれない。企業内で情報の共有がより進めば，その企業の中における仕事の分割に係る非効率性は低減されることになる。もし或る企業が他の企業より情報の共有化を進めることが出来れば，その企業は他の企業に対し有利な立場に立つことが出来るかもしれない。

参考文献

原嶋 耐治（2016）「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」『金沢星稜大学論集』第50巻第1号（通巻128号）55～80頁

原嶋 耐治（2020）「知能の理論と全要素生産性―流動性知能の成果としての付加価値」『金沢星稜大学論集』第53巻第2号（通巻135号）65～82頁

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.

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, No. 7, pp. 465–486.

Barro, Robert J. and Sala-i-Martin, Xavier（2004）*Economic Growth*, 2nd edition, MIT Press, Cambridge, MA.

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

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.

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

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.

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

Harashima, Taiji（2009）“A Theory of Total Factor Productivity and the Convergence Hypothesis：Workers' Innovations as an Essential Element,” *MPRA*（*The Munich Personal RePEc Archive*）*Paper*, No. 15508.

Harashima, Taiji（2011）“ A Model of Total Factor Productivity Built on Hayek's View of Knowledge：What Really Went Wrong with Socialist Planned Economies?” *MPRA*（*The Munich Personal RePEc Archive*）*Paper*, No. 29107.

Harashima, Taiji（2012）“A Theory of Intelligence and Total Factor Productivity：Value Added Reflects the Fruits of Fluid Intelligence,” *MPRA*（*The Munich Personal RePEc Archive*）*Paper*, No. 43151.

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, No. 2, pp. 136–143.

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

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. 161–168.

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.

McDonald, Alan and Leo Schrattenholzer (2001) "Learning Rates for Energy Technologies," *Energy Policy*, Vol. 29, No. 4, pp. 255–261.

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.

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, No. 6, pp. 752–768.

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.

Rizavi, Sayyid Salman and Catherine Sofer (2009) "Women's Relative Position and the Division of Household Work: A Study of French Couples," *European Journal of Economic and Social Systems*, Vol. 22, No. 2, pp. 13–26.

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.

Shannon, Claude (1948) "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423 and 623–656.

Smith, Adam (1776) *The Wealth of Nations*, W. Strahan and T. Cadell, London.

Sorenson, Olav (2003) "Interdependence and Adaptability: Organizational Learning and the Longterm Effect of Integration," *Management Science*, Vol. 49, No. 4, pp. 446–463.

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.

Theil, Henri (1967) *Economics and Information Theory*, North-Holland, Amsterdam.

Theil, Henri (1972) *Statistical Decomposition Analysis: With Applications in the Social and Administrative Sciences*, North-Holland, Amsterdam.

van der Zwaan, Bob and Ari Rablc (2003) "Prospects for PV: A Learning Curve Analysis," *Solar Energy*, Vol. 74, No. 1, pp. 19–31.

van der Zwaan, Bob and Ari Rablc (2004) "The Learning Potential of Photovoltaics: Implications for Energy Policy," *Energy Policy*, Vol. 32, No. 13, pp. 1545–1554.

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, Robert 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, Theodore Paul (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, No. 2, 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.