

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—

A Theory of Intelligence and Total Factor Productivity:
Value Added Reflects the Fruits of Fluid Intelligence

原 嶋 耐 治
Taiji HARASHIMA

〈要 旨〉

本論文は、心理学や計量心理学で用いられている知能のモデルに基づいて全要素生産性 (TFP) のモデルを構築するものである。その際、特に一般労働者の流動性知能 (Fluid intelligence) に着目し、一般労働者が仮令小さなものとはいえイノベーションを産み出す知能を有していることが TFP において極めて重要な働きをしていることを示す。一般労働者は小さいけれども数多くの想定外の問題に直面することから、それらを解決するためにイノベーションを産み出さなければならない。それ故、一般労働者の産み出すイノベーションは、生産全体にとって必要不可欠な存在となっている。本論文における TFP のモデルは、心理学や計量心理学において広く一般に使われている項目応答理論 (Item response theory) に基づいている。このモデルに基づくと、TFP は一般労働者の流動性知能の水準に正比例する。このことは、TFP の本質は、一般の人々がその知性に基づいて活動した結果得られた成果を凝縮したものであることを示唆している。

JEL Classification Code: D24, O15, O20, O31, O47

〈キーワード〉

イノベーション, 経験曲線効果, 項目応答理論, 全要素生産性, 知能

はじめに

推計される全要素生産性 (TFP) の値は、世界各国間で大幅に異なっている。特に、先進国と発展途上国の間では著しい相違が見られる。これを経済成長論の枠組みで考えてみると、まず、技術進歩一定のラムゼイ (Ramsey) 型経済成長モデルに基づくと、こうした大きな相違もいずれ最終的には同一の値に収斂していくことになる。一方、内生的経済成長モデルで考えると、多くのモデルにおいてこうした収斂仮説は支持されない (例えば、Romer, 1986, 1987)。何故なら、技術進歩を決定する知識の集積が内生的にどのように決まるかによって、経済成長の軌道が国によって大きく異なってくるからである。知識獲得の過程 (例えば、人的資本の蓄積) が各国間において異なることから、一人当たり GDP の収斂が生じることはないことになる。しかし、Prescott (1998) は人的資本に基づく経済成長の説明にはあまり説得力がないとしている。そこで、この点に関して実証研究を見てみると、様々な相反する結果が示されており一概にどちらが正しいか言うことは出来ない (例えば、Abramovitz, 1986, Baumol, 1986, Barro, 1991, Mankiw et al., 1992, Bernard and Durlauf, 1995, Michelacci and Zaffaroni, 2000, Cheung and Garcia-Pascual, 2004)。このように決定的な結論を導くことが出来ない現状を鑑みると、何故 TFP が著しく相違するのかという問いに答えるためには、TFP の値を決めるそもそもの機序を明らかにすることがまず必要なのではないかということになる。実際、Prescott (1998) は、この問いに答えるためには TFP の理論が必要であると結論付けている。

本論文では、心理学や計量心理学で用いられている知能のモデルに基づいて、TFP の新たな理論を提示する。そこ

における新規性は、一般労働者の知性が TFP を決定する上で重要な役割を果たしていることに着目した点にある。ただし、一般労働者に着目するという発想自体は特に新しいものではない。Arrow (1962) の体験型学習 (Learning-by-doing) の理論では、労働者が同一の型の作業を規則的に繰り返し行うことで生産性は上昇するとされる。この体験型学習の概念は経済学の多くの分野で応用されてきた (例えば、Sheshinski, 1967, Hall and Howell, 1985, Romer, 1986, Adler and Clark, 1991, Nemet, 2006)。また、Mincer (1958) 及び Becker (1962, 1964) 以来、人的資本が重要である点も広く受け入れられてきた。しかし、体験型学習や人的資本の理論は、殆ど専ら労働者が既存の知識を獲得することに焦点を当てたものとなっている。既存知識の獲得ではなく、一般労働者が何か新しいものを創造する (すなわち、イノベーションを産み出す) という観点に関しては、殆ど全く注目を浴びてこなかった。基本的に経済学では全く無視されてきたと言って良い。イノベーションは通常研究者や高度な教育・訓練を受けた人のみが行うものと暗黙の裡に仮定されてきた。イノベーションの創造者の範囲をこのように限定的に扱う考え方は、明示的にせよ暗黙裡にせよ殆ど全ての経済学の研究において仮定されてきたと言える。

しかし、一般労働者も、仮令それは小さなものであるにせよ、イノベーションを産み出すことが出来る。何故なら一般労働者も人間であることに研究者等と何ら変わることはないからである。したがって、研究者や高度な教育・訓練を受けた人々と同様に、当然に人間として新たなものを創造する能力を多少なりとも有している。さて、もし想定外の問題が一切生じないのであれば、ロボットや機械は事前の命令に従って極めて着実に作業をこなしていく。しかし、一旦想定外の問題が生じると、仮令それが非常に小さな問題であったとして、ロボットや機械は直ちに作業を正しく行うことが出来なくなってしまう。さらに重要な点は、ロボットや機械は作業を正しく行えなくなるだけでなく、その想定外の問題を自分で解決することが出来ないことである。一般労働者も含め人間だけが、何か新しいものを創造することによって想定外の問題を解決することが出来る。

ただし、一般労働者がイノベーションを産み出せるといっても、その殆どは小さくかつ使い捨てられるようなもので、「人類が蓄積した知識」の一部として後世まで残るといえることには全くならないかもしれない。しかし、一方で、彼らのイノベーションが TFP においては必要不可欠な存在となっていることも事実である。何故なら、生産現場に於いては日常的に小さいけれども数多くの想定外の問題が発生しているからである。これらの問題はイノベーションを創造し得る知能を持った人々が解決するしかない。そして、一般労働者もそうした知能を持っている。そうであるならば、企業から見れば、こうした一般労働者の創造活動が産み出す機会を最大限活用することが最も合理的な行動ということになる。したがって、企業が合理的であるならば、その労働者が出来るだけ多くのイノベーションを産み出すような動機付けを行うことが最適な行動ということになるであろう。こうした合理的行動の結果は経済各分野に様々な影響を及ぼすことになるであろう。本論文では、この一般労働者が産み出す小さいけれども数多くのイノベーションを、経験曲線効果 (Experience curve effect) の理論に基づいて原嶋 (2016) 及び Harashima (2009, 2011) で構築されたモデルを用いて考察し、それが TFP において決定的な役割を果たしていることを示す。

心理学や計量心理学 (Psychometric) においては、流動性知能 (Fluid intelligence) と結晶性知能 (Crystallized intelligence) の相違の重要性が特に強調されている。流動性知能は論理的思考を通じて新規の問題を解く能力を意味し、それは想定外の問題を解くために必要とされる。こうした知能を分析する方法として、心理学や計量心理学においては、知能と成果の関係を表現するモデルである項目応答関数 (Item response function) が広く用いられてきた (例えば、Lord and Novick, 1968, van der Linden and Hambleton, 1997)。本論文で提示する TFP のモデルは、この関数、さらに言えば、より広く心理学や計量心理学における研究成果に基づいている。本論文の TFP モデルでは、TFP は一般労働者の流動性知能の増加関数となっており、一般労働者の流動性知能無しに生産を行うことは事実上不可能である。このことは、TFP の本質は、人類がその知性に基づいて活動した成果の結晶であるということの意味している。

第1章 一般労働者の知性

本章では、原嶋 (2016) 及び Harashima (2009, 2011) に基づいて、一般労働者の知能及びそれが生み出すイノベーションが生産活動において必要不可欠な存在であること、及び、この必要不可欠な一般労働者のイノベーションを十分に考慮した上で作られている生産関数 (近似実効生産関数) について簡単に説明する。

第1節 一般労働者によるイノベーション

一般に、イノベーションは蓄積する性質を本質的に有していると考えられてきた。しかし、実は、イノベーションの核心は蓄積性にある訳ではなく、それは新規性にある。確かに、蓄積されないイノベーションは他者には移転されることはないことから、創造した本人以外の人間にとっては無意味かもしれない。しかし、そのイノベーションが創造した本人にとっても同様に無意味であるとは必ずしも言えない。何故なら、その人はそのイノベーションを自分の生産活動で活用できるからである。つまり、仮令「使い捨て」のイノベーションであっても有用でありえる。

非蓄積性イノベーションを創出するのは誰であろうか。蓄積性イノベーションと同様に研究者等もそれらを創出することもあるであろうが、非蓄積性イノベーションを主として創出しているのは一般の労働者である。生産現場では小さな想定外の問題が日々数多く発生している。こうした問題を解決するためにはイノベーションを創出することが必要であり、その創出を生産現場で行っているのが一般労働者である。

第2節 経験曲線効果と要素投入

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コストがより低くなるという効果である。つまり、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示している。経験曲線効果（当初は「学習曲線効果（Learning curve effect）」と呼ばれた）のアイデアは、Wright (1936)、Hirsch (1952)、Alchian (1963)、Rapping (1965) に遡る。経験曲線効果は、通常、以下の式で示される。

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

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、 α ($0 < \alpha < 1$) は定数パラメーターである。

2 実効技術投入

一人の労働者が一単位期間に $\frac{A}{K}$ に含まれる或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。ここで、 A は技術投入、 K は資本投入、 N_A は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或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）である。経験曲線効果に基づくと、

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

と表すことが出来る。ここで、 $C_{A,1}$ は、 $N_A = 1$ の時の非効率性であり、 α は定数パラメーター ($0 < \alpha < 1$) である。これから

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

が得られる。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、 γ_A は正の定数である。したがって、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 (\tilde{A})」は、

$$\tilde{A} = v_A W_A = \omega_A \left(\frac{A}{K} \right)^\alpha \quad (1)$$

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

3 実効労働投入

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。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} の低下は

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

と表すことができる。ここで、 $C_{L,1}$ は、 $N_L = 1$ のときの非効率性である。これから、

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

が得られる。ここで、 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、 L は労働投入、 γ_L は定数である。したがって、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 (\tilde{L})」は、

$$\tilde{L} = v_L W_L = \omega_L L^\alpha \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、 v_L と ω_L は正の定数パラメーターであり、 $\omega_L = \frac{v_L \gamma_L}{C_{L,1}}$ である。

4 資本投入と経験曲線効果

資本投入は一般労働者のイノベーションは基本的に無関係であり、したがって、それは経験曲線効果とも基本的に無関係である。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。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。 σ ($0 < \sigma \leq 1$) は、正のパラメーターであり、

$$\frac{\partial Y(\sigma, A, K, L)}{\partial \sigma} > 0$$

である。パラメーター σ の値には、以下のように上限が存在する。

$$\frac{1}{L} \leq \sigma \leq \bar{\sigma}$$

ここで、 $\bar{\sigma}$ ($0 < \bar{\sigma} < 1$) 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、平均的に、 $1 \leq L$ に対して

$$\tilde{K} = \bar{\sigma}K \quad (3)$$

となる。ある経済の平均的な $\bar{\sigma}$ の値は、運輸施設の物理的な利用可能性によって異なる値を取るが、それだけに限られず、その経済の法執行、規制、金融制度等の要因によっても変わってくる。 $\bar{\sigma}$ の値は、これらの要因全ての総合的な影響を反映するものである。

第3節 生産関数

生産には、それぞれある正の最小単位量を持つ技術 (\bar{A})、資本 (\bar{K})、労働 (\bar{L}) のいずれもが必要だと仮定する。さらに、 \bar{A} 、 \bar{K} 及び \bar{L} の限界生産力は通増しないと仮定する。つまり、 $\frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial A^2} \leq 0$ 、 $\frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial K^2} \leq 0$ 、さらに、 $\frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial L^2} \leq 0$ である。もし、 $\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial A^2} = 0$ 、 $\lim_{K \rightarrow \infty} \frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial K^2} = 0$ 、さらに、 $\lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\partial^2 f(\bar{A}, \bar{K}, \bar{L})}{\partial L^2} = 0$ であるならば、十分に大きな \bar{A} 、 \bar{K} 及び \bar{L} に対し、生産関数は、 \bar{A} 、 \bar{K} 及び \bar{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。

$$Y = \psi_1(\bar{A} + \psi_2)(\bar{K} + \psi_3)(\bar{L} + \psi_4) + \psi_5 \quad (4)$$

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 \bar{A} 、 \bar{K} 、 \bar{L} のいずれもが必要であるという仮定より、 $f(0, \bar{K}, \bar{L}) = 0$ 、 $f(\bar{A}, 0, \bar{L}) = 0$ 、 $f(\bar{A}, \bar{K}, 0) = 0$ である。(4) 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、

$$Y = \psi_1 \bar{A} \bar{K} \bar{L}$$

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、

$$Y = \bar{A} \bar{K} \bar{L} \quad (5)$$

となる。

直感的に考えると、(5) 式の実効生産関数は特段不思議なものではなく、むしろ極自然なものに見えるかもしれない。何故なら、全体の生産量が、 \bar{L} 人の労働者それぞれが、それぞれ \bar{A} だけの技術を体化した \bar{K} を用いて生産を行った産出量の合計からなることを意味しているからである。しかし、(5) 式で示される生産関数は、直感的には何となく納得出来てしまうものの、実はそのままでは成立し得ない。なぜなら、前節（すなわち、原嶋、2016 及び Harashima, 2009, 2011）で示されているように、幾つかの重要な不完全性が存在するために、投入量は現実には \bar{A} や \bar{L} とはなり得ないからである。実質的な投入量は、 \bar{A} と \bar{L} ではなく、それぞれ実効技術投入 \tilde{A} と実効労働投入量 \tilde{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 \bar{K} は、 \bar{K} ではなく \tilde{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、

$$Y = \tilde{A} \tilde{K} \tilde{L} \quad (6)$$

となる。ここで、(1)、(2)、(3) 式より、

$$\tilde{A}\tilde{K}\tilde{L} = \omega_A \left(\frac{A}{K} \right)^\alpha \bar{\sigma} K \omega_L L^\alpha = \bar{\sigma} \omega_A \omega_L A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \quad (7)$$

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場合に可能な生産量 Y を実現すべく行動するであろう。したがって、(6)、(7) 式より、各国・経済における生産関数は、基本的に、

$$Y = \bar{\sigma} \omega_A \omega_L A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \quad (8)$$

という式で近似出来ることになる。この生産関数を、「近似実効生産関数 (the approximate effective production function; AEPF)」と呼ぶ。

(8) 式で示される近似実効生産関数において特に注目すべき要素が $\omega_A \omega_L$ である。この値は、その導出の過程から明らかかなように、一般労働者のイノベーション、すなわち想定外の問題を解決する能力を示すものであり、以下の議論において中心的な役割を果たす要素である。

第2章 知能の性質

第1節 一般労働者に求められる知能

第1章では、一般労働者の知能が生産に必要不可欠であることを示した。生産における二種類の非効率性 ($C_{A,1}$ 及び $C_{L,1}$) は、一般労働者の産み出すイノベーションによって低減することが出来る。ここで、イノベーションを、様々な要素間の有益な連結・関係性が表現されている新たに発見された「法則」と捉えることにする。この見方に立つと、 $C_{A,1}$ 及び $C_{L,1}$ は、生産に必要な「法則」に関する知識の欠如の結果を示しているということになる。

$C_{A,1}$ は、生産に使われる技術に関する様々な法則 (例えば、或る科学的な法則) を一般労働者が認識していないことで生じる非効率性を示している。一般労働者は事前にこれらの法則の全ての説明を受ける訳ではない。何故なら、些末な法則も含め全てを説明し理解させようとしても、それは余りに煩雑なことになってしまうからである。このため、仮にこれらの法則に係る問題が生じた時、一般労働者がそれに対応しても不適切な対処を行ってしまう可能性が生じる。その結果として、非効率性 $C_{A,1}$ が生じることとなる。しかし、もし労働者がその知能を用いて「未知の法則」を発見することが出来れば、非効率性 $C_{A,1}$ を低減させることが出来る。

同様に、 $C_{L,1}$ は、生産に係る全体の戦略に関する重要な法則 (例えば、会社内の関連部局における詳細な作業計画) が一般労働者に知らされていないことによって生じる非効率性を示している。したがって、これらの法則に係る問題が生じた時、一般労働者によって不適切な措置が採られてしまう可能性が出てくる。その結果、非効率性 $C_{L,1}$ が生じることとなる。しかし、もし労働者がその知能を用いて「未知の法則」を発見することが出来れば、非効率性 $C_{L,1}$ を低減させることが出来る。

いずれの場合においても、一般労働者が想定外の問題を処理し生産における非効率性を低減するために求められる能力は、「未知の法則」を発見する能力であるということになる。

1 イノベーション創造過程

新しい法則を発見するためには、以下の三種の能力が必要であると考えられる。すなわち、(ア) 記号 (Symbol) から信号 (Signal) を読み取る能力、(イ) 法則の仮説を立てる能力、(ウ) 仮説が真の法則なのか検証する能力、である。新法則発見のために必要な知能は、この三種の能力を組み合わせた能力ということになる。認識の過程 (すなわち、記号から信号を読み取る過程) は、「色」を例にとりて考えると分かり易い。それぞれの色は可視光の中の或る特定の波長にそれぞれ対応している。可視光の中には無限の数の波長 (すなわち、記号) が含まれているが、人間はそれを或る限られた種類の色 (すなわち、信号) としてしか認識できない。それぞれの色は、黄、緑、青、紫等それぞれ一つの信号として認識されているが、それぞれの色に対応する波長帯には無数の波長 (すなわち、記号) が存在する。さて、生産の過程においては、様々な記号が生まれ利用される。利用される記号の組み合わせは法則として把握される。さて、労働者は生産に

においてこうした法則を利用する必要があるのであるが、労働者は直接的に記号を認識することは出来ない。ただ間接的に記号から放射される信号を通じてのみ認識することが出来る。

それぞれの記号と信号の間には一対一の関係が存在するかもしれないが、数多くの記号が一つの信号に対応することもあるかもしれない。さらに、この記号と信号の間の対応関係は、それぞれの労働者によって異なったものとなるかもしれない。或る記号の集合が与えられた時、或る労働者はそこから一つの信号しか受け取らないかもしれないが、別の労働者は複数の信号を受け取るかもしれない。さらには、同じ記号の集合から受け取る信号が、労働者によって全然別の異なるものとして受け取られていることもあるかもしれない。もし同一の記号の集合から少ない数の信号しか受け取れないとすると、それは記号を識別する能力が低いことを意味していると言える。この識別能力が低い場合には、未知の法則を発見することはより難しくならざるを得ないであろう。何故なら、上述のように、法則は記号の組み合わせとして把握されるものであるからである。

2 正確に記号を識別する能力

未知の法則を発見するために必要な能力は、まず記号から信号を認識する分解能である。分解能は、信号によって或る記号を他の記号とどれだけ正確に識別出来るかということによって測ることが出来る。もし分解能が低いと、仮に数多くの記号であっても皆同じ信号を放つもの（すなわち同一の記号）としてしか認識出来ず、結果として、受け取った信号からはぼやけた記号の像しか見えないことになってしまう。そのため、正しい法則を発見できる確率は低くなり、誤った法則を導いてしまうことが屢々起きてしまうことになる。例えば、単純に考えれば、もし労働者が記号を正しく識別出来る確率が80%であるとすると、正常な生産を行い得る確率は80%未満となってしまふかもしれない。何故なら、識別出来なければ、労働者が誤った法則に基づいて行動してしまう可能性が高くなるからである。

3 仮説を立てる能力

次に求められる重要な能力は、法則の仮説を立てる能力である。新規の法則を発見する過程では、数多くの仮説を立てそれらを検証していくことが必要になる。法則が記号の組み合わせを意味していることに鑑みると、法則の仮説もまた記号の組み合わせから成っていることになる。ここで、もし可能性のあるあらゆる組み合わせを全て等しく仮説として取り扱うならば、仮説の数（すなわち、真の法則である可能性がある記号の組み合わせの総数）は著しく増加してしまう。したがって、必要な検証の数も異常な程多くなり、それらの検証を全て終えるまでには途方もない時間を要してしまうことになる。

しかし、勿論、必ずしも全ての仮説の検証を行わなければならない訳ではない。検証を行うかどうかを、先験的に得られた知識等からその重要性の高低を測り、その結果に基づいて判断する方法もある。その場合、検証は重要性が高いと判断されたものから順に行われることになる。もしこの重要性の高低の判断が適切なものであれば、真の法則を発見するまでに検証が行われる仮説の数は大幅に削減されることになるであろう。

しかし、一方で、先験的に得られた知識等によって重要度を測ることは、法則の発見を遅らせる危険性も有している。重要度の認識が適切でない場合には、正しい仮説が検証からそもそも除外されてしまう可能性が生じる。とりわけ先入観や偏見が強い場合には、重要度の判断が著しく歪められる可能性が高くなるであろう。未知の法則を発見する過程において、重要度の判断を行うことによってその効率性を高めることが出来るが、一方で、先入観が存在すると必然的にその効率は低下してしまうことになる。したがって、先験的に得られた知識を用いることは両刃の刃であると言える。この問題は簡単には解決することが難しい悩ましい問題である。ただ一つ指摘出来る点は、先入観は経験の蓄積とともに強化されると考えられるので、若い人の場合には先入観の影響を受けることはより少ない可能性が高いことである。一般に若い人の方が年配者よりもよりイノベーションをより多く創造すると言われるが、その背景にはこうしたことがあるのかもしれない。

なお、上記の問題は、一方で、イノベーションの創造過程において手違いによる失敗をしたことが結果として凶らずも突破口を開くことになる可能性があることも示している。手違いによる失敗は、それまで無視されてきた、すなわち重要性が低いと判定され検証が後回しにされてきた仮説が意図せず早めに検証される機会を得たことを意味している。この意図しない早期の検証実施の結果、幸運にも思いがけず早い段階で法則の発見が可能となることがあるかもしれない。こうして得られたイノベーションは正に幸運によってもたらされたものである。手違いによる失敗のお陰で先入観から抜け出すことが出来なければ、早期の発見は不可能であったであろう。したがって、先験的に得られた知識を用いること

で仮説の重要性を完璧に判断することが出来るとは言えない。やはり、イノベーションの創造においては、幸運も非常に重要な役割を果たしていることは否定できないであろう。

3 演算能力

或る仮説が妥当なものであるかどうかは、当該仮説の模擬実験 (Simulation) を行った上でその結果に基づいて検証される。模擬実験の結果は、実際に観察された現象さらには別の仮説の模擬実験の結果と比較される。こうした比較の結果、当該仮説には十分に妥当性があると判断されれば一連の法則発見作業は終了となる。そうならない場合には、当該解説に次いで重要性が高いと判断された仮説が新たに検証に移されることになる。こうした過程は、真の法則が発見されたと考えられるまで繰り返される。

仮説の検証においては、脳内において演算を行う能力が求められる。何故なら、仮説の模擬実験に際しては、脳内において膨大な演算を行う必要があるからである。演算速度が早ければ、真の法則をより早く見出すことが可能になる。演算速度は、単位時間当たりの法則発見確率に直接的な影響を与えることになる。さらに、速度だけでなく、より複雑な演算を行うことが可能であれば、真の法則をより早く発見出来る確率はさらに高くなる。複雑な演算を行うためには、作業記憶 (Working memory) の容量が十分に大きくなければならない。このように、演算能力は、演算速度と作業記憶の二つの側面から成っている。

第2節 流動性知能

1 流動性及び結晶性知能

心理学や計量心理学では、多くの様々な型の知能が考察されてきた。例えば、流動性知能、結晶性知能、短期記憶、長期記憶保存・想起 (Long-term storage and retrieval)、読み書き能力、視覚画像処理 (Visual processing) 等である。これらの知能に関しては様々な論点から考察がなされてきたが、そうした論点の中でも特に流動性知能と結晶性知能の相違が重要な論点として注目を集めてきた。

Cattell (1963, 1971) によると、流動性知能とは「以前に獲得した知識だけに頼らずに、論理的に考察することによって新規の問題を解く能力」である。すなわち、学校教育その他それまでの経験で得られた知識のみに頼ることなく想定外の問題に対処出来る能力である。流動性知能を用いることによって、新しい問題や状況が生じた時に、人々は柔軟にその思考を変えて適応していくことが出来る。これとは対照的に、結晶性知能は、知識を獲得し経験を積み、そしてそれら蓄積された知識・経験をを用いる能力を指している。

2 Raven の漸進的マトリックス

流動性知能を測る検査としては、かねてより Raven の漸進的マトリックス検査 (Raven's Progressive Matrices test) が最適な検査であるとされてきた (Raven, 1962, Snow et al., 1984, Raven et al., 1998)。この検査では、被験者 (受験者) は、まず様々な画像を行列の形に並べて描いてある紙を提示される。なお、その行列の中において、一か所だけ画像が描かれておらず空白のままとなっている箇所がある。次に、被験者 (受験者) は、この空白を埋める候補となる画像を幾つか提示され、その中から空白を埋めるのに一番ふさわしい画像を一つ選択する。さて、当初与えられた空白付きの画像行列は、元々一定の規則に従って構成されている。したがって、空白箇所を埋める正しい画像を選択することは、正しい規則を発見することを意味することになる。

さて、Carpenter et al. (1990) を始めとして、コンピューターに Raven 漸進的マトリックス検査を受けさせる試みが様々な形で行われてきた (例えば、Lovett et al., 2007)。これらの試みを通じて、Raven 検査の持つ特性が次第に明らかになってきた。すなわち、この検査は未知の規則を発見することが出来るかどうかを測る検査であり、そこで正解を得るために求められる能力は、仮説を立て、それを演算を通じて検証する能力であるということである。

ただし、こうしたコンピューターを用いる研究が必ずしも常に満足出来る成果をもたらすという訳でもない。例えば、Carpenter et al.'s (1990) のモデルは、コンピューターが行う「仮説化」の過程が実は人間によって事前にかなり制御されているのではないかという欠点が指摘されている。Lovett et al.'s (2007) のモデルはこうした批判を回避するものとして作られたが、また別の問題に直面することとなった。人間にとっては、Raven 検査において正しく信号を認識することは重要な問題とはならない。何故なら、この検査における記号や信号は人間みとっては非常に単純で分かり易く作られているからである。しかし、こうした単純で分かり易い記号や信号であっても、コンピューターにとってはそれらを認識

することが非常に難しいということが起きる。こうしたことから、記号を認識する十分な能力を備えたモデルが開発されるようになってきている（例えば、McGreggor et al., 2010）。

なお、Raven 検査における成績は他の多くの種類の認知機能検査における成績と高い相関を示している（例えば、Marshalek et al., 1983, Snow et al., 1984）。つまり、信号を正しく認識し、仮説を立て、その妥当性を演算を通じて検証する能力は、多くの認知機能検査で共通して測られている能力であると言える。

3 共通する知能—流動性知能

第2章におけるこれまでの考察から分かることは、想定外の問題を解決するために求められる能力（第2章第1節）と Raven 漸進的マトリックス検査で求められる能力（第2章第2節2）は殆ど同じであるということである。両者に違いがあるとすれば、Raven 検査では正しく信号を認識する能力が求められていない点位なものである。しかし、この相違は、Raven 検査ではそもそも記号と信号を一般の人が極めて容易に明白に識別出来るように作ってあるからに過ぎない。両者で求められる能力がほぼ同一であるということは、Raven 検査で必要とされる能力が流動性知能であることから（Raven, 1962, Snow et al., 1984, Raven et al., 1998）、想定外の問題を解決するために一般労働者に求められる知能も同じく流動性知能である可能性が極めて高いということである。

ただ、それでは結晶性知能の方は想定外の問題を解決するために一般労働者に求められる能力とは完全に無関係であるかという点、必ずしもそういう訳ではない。例えば、仮説を立て検証する際には、まず先験的に得られている知識によってそれぞれの仮説（記号の組み合わせ）の重要性の高低が測られる。これを行う時に、結晶性知能は重要な役割を果たすことになる。しかし、その他の局面においては、結晶性知能は流動性知能と比較すると重要度はかなり低いものとどまることは確かであろう。想定外の問題を解決するためにこれら二種類の知能はいずれも用いられるものの、全体として見れば、流動性知能の方が遥かに重要ということになる。

なお、結晶性知能は人的資本や体験型学習に必要とされる知能とは密接に関係している。人的資本（例えば、Becker, 1962; Lucas, 1990; Barro, 1991）や体験型学習（例えば、Arrow, 1962; Sheshinski, 1967; Romer, 1986）の概念は、一般労働者の生産への関与、貢献に焦点を当てているという点では、一般労働者によるイノベーションの概念と一面では共通している。しかし、両者の概念は根本的な点で異なっている。人的資本や体験型学習は既に明らかとなっている知識、技術、発想を学ぶ活動を意味しているが、一般労働者によるイノベーションは何か新しいものを創造する活動を意味している。つまり、人的資本や体験型学習はその多くが結晶性知能に関するものであり、一方、一般労働者によるイノベーションはその多くが流動性知能に関するものである。

第3章 一般労働者の流動性知能と項目応答理論

第1節 項目応答理論

第2章までの考察が示すことは、生産過程において一般労働者に求められる知能は流動性知能であるということである。このことは、一般労働者に求められる知能を項目応答理論（Item response theory）に基づいてモデル化することが出来ることを意味している。項目応答理論は、計量心理学の研究において広く用いられており（例えば、Lord and Novick, 1968, van der Linden and Hambleton, 1997）、特に、項目応答関数が能力と項目応答（例えば、試験成績や成果）の関係を表現するものとして広く活用されている。

典型的な項目応答関数は

$$\tilde{p}(\tilde{\theta}) = \tilde{c} + \frac{1 - \tilde{c}}{1 + e^{-\tilde{a}(\tilde{\theta} - \tilde{b})}}$$

である。ここで、 \tilde{p} は項目（例えば、試験問題や質問事項）に対して正しい応答（つまり、正解）をする確率、 $\tilde{\theta}$ ($-\infty < \tilde{\theta} < \infty$) は被験者個人の能力を示すパラメーター、 \tilde{a} (> 0) は関数の傾きを示すパラメーター、 \tilde{b} ($-\infty \leq \tilde{b} \leq \infty$) は項目の難易度を示すパラメーター、 \tilde{c} ($0 \leq \tilde{c} \leq 1$) は項目に対して偶然（幸運によって）正しい応答が出来る確率である。

第2節 項目応答関数に基づく一般労働者の知能のモデル

項目応答理論に基づく、平均的な一般労働者が一単位時間当たりに想定外の問題を解決する確率 $p(\theta)$ を

$$p(\theta) = c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta-b)}}$$

とモデル化することが出来る。ここで、 $\theta (\infty > \theta > -\infty)$ は平均的な一般労働者の流動性知能、 $a (> 0)$ は定数、 b は平均的な一般労働者が解決することを求められる想定外の問題の困難度、 $c (1 \geq c \geq 0)$ は想定外の問題が運良く偶然解決される確率を示す。 b には下限 $\underline{b} (> -\infty)$ が存在する。上記の関数形から明らかなように、一般労働者の流動性知能が高い程 (θ の値が高い程)、一単位時間当たりに想定外の問題を解決出来る確率は高くなる。

第1章で示されたように $\omega_A \omega_L$ が一般労働者の想定外の問題を解決する能力を示していることから、 $\omega_A \omega_L$ を $p(\theta)$ によって表現することが出来る。或る $\omega_A = \frac{v_A \gamma_A}{C_{A,1}}$ 及び $\omega_L = \frac{v_L \gamma_L}{C_{L,1}}$ が与えられた時、 $\omega_A \omega_L$ は生産の非効率性 $C_{A,1}$ 及び $C_{L,1}$ と単調に逆相関していることから、 $p(\theta)$ とは単調に正相関することになる。つまり、 $\omega_A \omega_L$ は平均的な一般労働者の流動性知能 θ の値によって決まってくることになる。したがって、TFP は、

$$T(\theta, \bar{\sigma}, A) = \bar{\sigma} \omega_A \omega_L A^\alpha = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta-b)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha$$

とモデル化することが出来る。ここで、 ω は計量単位であり定数である。故に、生産関数は、

$$Y(\theta, \bar{\sigma}, A, K, L) = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta-b)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha$$

と表すことが出来る。

第3節 パラメーター $\bar{\sigma}$ と流動性知能

一般労働者の流動性知能は、 $\omega_A \omega_L$ だけでなく TFP のもう一つのパラメーターである $\bar{\sigma}$ にも影響を与えている可能性がある。 $\bar{\sigma}$ は一般労働者の資本への到達可能性 (Accessibility) を示す。到達可能性は、運輸施設の物理的な利用可能性のみならず、例えば、法執行、規制、金融制度、その他の制度的な要因の影響も受ける。適切かつ厳格に法を執行することが可能となるためには、政府高官の知能が高いのみならず多くの一般職員の知能も高いものである必要がある。したがって、もし或る国の一般労働者の流動性知能が他の或る国のそれより高いのであれば、その国の法執行は他の国よりもより良いものとなる可能性が高いであろう。このことが意味していることは、 $\bar{\sigma}$ も一般労働者の流動性知能の関数であり、かつ、

$$\frac{\partial \bar{\sigma}(\theta)}{\partial \theta} > 0$$

となっているということである。したがって、TFP は、より正確には、

$$T(\theta, \bar{\sigma}, A) = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta-b)}} \right] \omega \bar{\sigma}(\theta) A^\alpha$$

と表すことが出来る。ゆえに、生産関数は、

$$Y(\theta, \bar{\sigma}, A, K, L) = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta-b)}} \right] \omega \bar{\sigma}(\theta) A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha$$

となる。

しかし、本論文においては、専ら θ の $\omega_A \omega_L$ への影響に焦点を当てることとし、それ故単純化のために $\bar{\sigma}$ の値は一定不変で θ の値により変化することはないものと仮定する。なお、 θ の $\omega_A \omega_L$ への影響と $\bar{\sigma}$ への影響はその方向が同じであることから、 $\bar{\sigma}$ への影響を無視したとしても本論文の主たる結論が変わることは基本的にない。

第4章 流動性知能と TFP

第1節 高度専門労働者を派遣する費用

ここで、一般労働者の平均的な流動性知能 (θ) は外生的に与えられ一定と仮定する。一方で、平均的な困難度 (b) は、所与の θ を念頭に置いて企業によって内生的に決定されるものとする。こうした内生性が生じるのは、企業には想定外の問題の解決を一般労働者に委ねる以外の選択肢もあるからである。企業は、一般労働者に委ねるのではなく、追加的な費用を払って専門家や同等の高度な専門的知識を有する労働者を派遣することで想定外の問題の解決を図ることも出来る。そのため、企業は、その利潤極大化を念頭に置きつつ、この二つの選択肢の中のいずれか一方を選択することになる。このため、 b の値は、一般労働者に委ねるか或いは追加的な費用を払って専門家や高度専門労働者を派遣するかという二つの行為の間の裁定を通じて決定されることになる。もし一般労働者の平均的な流動性知能が比較的高くより難易度の高い想定外の問題も解決出来るならば、企業は追加的な費用が発生する専門家や高度専門労働者の派遣を躊躇うことが多くなるかもしれない。このことから、 b は、 θ 及び専門家や高度専門労働者の派遣に伴う追加的な費用の関数となっているということになる。

さて、ここで、労働者には一般労働者と高度専門労働者の二つの型の労働者が存在するものとする。高度専門労働者には、経営者、管理職、専門職、専門家、その他高度な教育や訓練を受けた職員が含まれる。数としては、一般労働者の方が高度専門労働者より遥かに多い。生産現場で或る想定外の問題が発生した時の対処として、企業には二つの選択肢がある。すなわち、「(ア) その問題の解決を現場の一般労働者に委ねる」或いは「(イ) 追加的な費用を払って遠く離れた生産現場へ高度専門労働者を派遣する」の二つの選択肢である。追加的な費用には、交通費だけでなく高度専門労働者が到着するまでの間の待機時間に係る機会費用も含まれる。

第2節 内生的困難度

1 b の決定

もし発生した問題がたいしたものであれば、選択肢 (ア) が選ばれる可能性が高いであろう。追加的な費用がかからないからである。しかし、解決が困難な問題であれば、仮令追加的な費用が発生するとしても選択肢 (イ) が選択されることになるであろう。一般労働者の能力と追加的な費用を所与とすると、「最適」な b の値がこれら二つの選択肢の間の裁定を通じて決定されることになる。

ここで、 θ_1 を及び $\theta_2 (> \theta_1)$ をそれぞれ一般労働者及び高度専門労働者の平均的な流動性知能とする。 θ_1 と θ_2 の値はいずれも外生的に与えられているとする。さらに、 M を一般労働者に解決を任される想定外の問題の数とする。困難度 b の値が高い値に決定されるということは、より多くの問題の解決が一般労働者に委ねられるようになることを意味する。このことは、ひいては、一般労働者の能力がより高いと認識されていることを意味していることを示す。ここで、さらに、 q を、想定外の問題の解決するために高度専門労働者を派遣する場合の追加的な費用の大ききとす。より多くの問題を高度専門労働者に委ねると、想定外の問題一単位当たりの追加的な費用はより高いものになる。何故なら、高度専門労働者が到着するまでの待機時間がよりかかるようになり、それに伴って機会費用が増加するからである。困難度 b の値が低い値となるということは、高度専門労働者がより多くの問題を解決するために派遣されるようになることを意味する。したがって、以下のように、 q は b の単調減少関数ということになる。

$$\frac{dq(b)}{db} < 0$$

なお,

$$\lim_{b \rightarrow \underline{b}} q(b) = \infty$$

及び

$$\lim_{b \rightarrow \infty} q(b) = 0$$

と仮定する。ここで、 \underline{b} は b の下限値である。一単位の商品の価格を 1 とし、さらに、単純化のため、一般労働者と高度専門労働者の賃金に差はないものとする。企業数は十分に多く、かつ、全ての企業は同一であるとする。

想定外の問題を高度専門労働者が処理することになる場合、それらを一般労働者が処理する場合に比べ、追加的費用 $q(b)$ はかかるにせよ生産量は多くなる。したがって、想定外の問題を高度専門労働者が処理する場合と一般労働者が処理する場合の企業の利潤 (R) の差は、生産量の差と追加的費用によって表すことが出来る。つまり、 M に関する限界的な R は、

$$\frac{dR}{dM} = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_1-b)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - \left\{ \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_2-b)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - q(b) \right\}$$

と表すことが出来る。ここで、 $\hat{\omega} = \frac{\omega}{\mu}$ であり、 $\mu (> 1)$ は定数である (つまり、 $\hat{\omega}$ は、 M 一単位の処理当たりの計量単位 ω の値を意味する)。したがって、

$$\frac{dR}{db} = \frac{dM}{db} \frac{dR}{dM} = \frac{dM}{db} \left\{ (1-c) \left[\frac{1}{1+e^{-a(\theta_1-b)}} - \frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha + q(b) \right\} \quad (9)$$

となる。裁定を通じて、 b は $\frac{dR}{db} = 0$ となるところに、すなわち、(9) 式より、

$$(1-c) \left[\frac{1}{1+e^{-a(\theta_1-b)}} - \frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha + q(b) = 0 \quad (10)$$

が満たされる場所に決定される。関数 $\frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b)}} - \frac{1}{1+e^{-a(\theta_1-b)}}$ 及び $q(b)$ の性質から、(10) 式を満たす b が少なくとも一つは存在する。このことは、仮令 θ_1 の値が非常に小さくても (すなわち、仮令 θ_1 の値が大きな負の値であっても)、一部の想定外の問題はやはり一般労働者に委ねられることになることを示している。

2 θ_1 と b の関係

さて、 θ_2 は一定であるとし、(10) 式を θ_1 と b に関して全微分すると、

$$\frac{db}{d\theta_1} = \left\{ 1 - \frac{[1+e^{-a(\theta_1-b)}]^2}{e^{-a(\theta_1-b)}} \frac{\frac{\partial q(b)}{\partial b}}{(1-c)a\omega\bar{\sigma}A^\alpha K^{1-\alpha}L^\alpha} - \frac{e^{-a(\theta_2-b)} [1+e^{-a(\theta_1-b)}]^2}{e^{-a(\theta_1-b)} [1+e^{-a(\theta_2-b)}]^2} \right\}^{-1}$$

となる。ここで、 $b < \theta_2$ であり、 $|\theta_2 - b|$ は $|\theta_1 - b|$ よりかなり大きいと仮定する。つまり、 $e^{-a(\theta_2-b)}$ は 1 よりかなり小さく、一方で、 $e^{-a(\theta_1-b)}$ は 1 よりそれ程大きくないと仮定する。故に、 $\theta_1 < \theta_2$ 及び $e^{-a(\theta_2-b)} < e^{-a(\theta_1-b)}$ であることから、

$$\frac{e^{-a(\theta_2-b)} \left[\frac{1 + e^{-a(\theta_1-b)}}{1 + e^{-a(\theta_2-b)}} \right]^2}{e^{-a(\theta_1-b)} \left[\frac{1 + e^{-a(\theta_2-b)}}{1 + e^{-a(\theta_1-b)}} \right]^2} < 1$$

となる。したがって、 $\frac{dq(b)}{db} < 0$ であることから、

$$\frac{db}{d\theta_1} > 0$$

である。つまり、一般労働者の流動性知能 θ_1 が高ければ、企業は、その利益を増加させるために、より困難度の高い想定外の問題の解決であってもそれを一般労働者に委ねることになる。

第3節 TFP と生産の関係

1 TFP と生産

ここで、 b_1 及び $b_2 (> b_1)$ を、それぞれ一般労働者と高度専門労働者が解決を任される想定外の問題の平均的な困難度とする。 b_2 の値は外生的に与えられ一定とする。一方で、 b_1 は内生変数である。さて、経済における生産の一部は高度専門労働者によって行われ、残りの部分の生産は一般労働者が担っているものとする。もし一般労働者が担っている生産の部分において困難度が b_1 より高い想定外の問題が発生した場合には、高度専門労働者がその問題の解決のために派遣される。ここで、 $w (0 \leq w \leq 1)$ を一般労働者が担う生産部分の割合とし、さらに、 w は全投入要素 $K^{1-\alpha} L^\alpha$ の中で一般労働者が使用する生産要素の割合も示していると仮定する。なお、一般労働者の数は高度専門労働者の数より遥かに多いことから、 w は 1 に近い値をとる（すなわち、 $w \approx 1$ ）。

したがって、生産関数は、

$$\begin{aligned} Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) &= w \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_1-b_1)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha + (1-w) \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \\ &= \left\{ c + (1-c) \left[\frac{w}{1+e^{-a(\theta_1-b_1)}} + \frac{1-w}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \right\} \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

となり、TFP は、

$$T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) = \left\{ c + (1-c) \left[\frac{w}{1+e^{-a(\theta_1-b_1)}} + \frac{1-w}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \right\} \omega \bar{\sigma} A^\alpha$$

となる。

2 TFP と θ_1

(10) 式及び $\hat{\omega} = \frac{\omega}{\mu}$ より、

$$\left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_1-b_1)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha = \left[c + \frac{1-c}{1+e^{-a(\theta_2-b_1)}} \right] \hat{\omega} \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - q(b_1)$$

であることから, (11) 式より,

$$Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) = \left\{ c + (1-c) \left[\frac{w}{1+e^{-a(\theta_2-b_1)}} + \frac{1-w}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \right\} \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - w\mu q(b_1) \quad (12)$$

である。したがって, $\frac{dT(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A)}{d\theta_1}$ の符号は, $\frac{d(1+e^{-a(\theta_2-b_1)})^{-1}}{db_1} (<0)$ 及び $\frac{dq(b_1)}{db_1} (<0)$ の値によって決まる。もし θ_1 が高くなれば (そして, それに伴って b_1 が高くなれば), $\frac{dq(b_1)}{db_1} < 0$ であることから, $w\mu q(b_1)$ は減少する。しかし, 一方で, $(1+e^{-a(\theta_2-b_1)})^{-1}$ も減少する。したがって, θ_1 の変化によって生産と TFP がどのように変化するのか, その変化の方向は一概には言えない。しかし, もし θ_1 と b_1 の僅かな上昇が q を大幅に減少させるならば, $\frac{dT(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A)}{d\theta_1}$ の符号は正となり, TFP は θ_1 の増加関数ということになるであろう。

一方, もし高度専門労働者が殆ど全ての想定外の問題の解決出来るならば,

$$\frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b_1)}} \approx 1$$

及び

$$\frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \approx 1$$

である。さて, 当然ながら, 高度専門労働者は殆ど全ての想定外の問題の解決出来るはずである。何故なら, 高度専門労働者は現在の技術水準 A さらには会社の全体的な戦略に関する知識を十分に持っていると考えられるからである。したがって, (12) 式より

$$Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) \approx \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - w\mu q(b_1)$$

となる。故に, $\frac{dq(b_1)}{db_1} < 0$ 及び $\frac{db_1}{d\theta_1} > 0$ であることから, 一般的に

$$\frac{dT(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A)}{d\theta_1} > 0$$

が成立していると考えられる。

3 TFP の範囲

生産 Y は負の値を取らないことから,

$$Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) = \left\{ c + (1-c) \left[\frac{w}{1+e^{-a(\theta_2-b_1)}} + \frac{1-w}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \right\} \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha - \mu w q(b_1) \geq 0 \quad (13)$$

が常に成り立つ。不等式 (13) が示唆するところは, 仮令 θ_1 が非常に低くても, $\mu w q(b_1)$ が大きくなって

$Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) < 0$ となってしまうところまで b_1 の値が低くなることはないということである。つまり、第4章第2節1で言及したように、例え θ_1 が非常に低くても、知的作業の一部が或る程度一般労働者に委ねられるということである。そうでなければ、不等式 (13) は満たされない。このことは、逆に言えば、一般労働者の知能はどのような場合でも常に重要な役割を果たしていることを意味する。

(11) 式及び $\frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \approx 1$ より、 θ_1 が非常に低いことは、

$$\begin{aligned} \lim_{\theta_1 \rightarrow -\infty} Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) &= \lim_{\theta_1 \rightarrow -\infty} \left\{ c + (1-c) \left[\frac{w}{1+e^{-a(\theta_1-b_1)}} + \frac{1-w}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \right\} \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \\ &= \left[c + \frac{(1-w)(1-c)}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \approx [1-w+wc] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha \end{aligned}$$

であること、したがって、

$$\lim_{\theta_1 \rightarrow -\infty} T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) \approx [1-w+wc] \omega \bar{\sigma} A^\alpha$$

であることを意味している。 w の値は 1 に近いことから ($w \approx 1$)、もし θ_1 が非常に低い場合には、

$$\lim_{\theta_1 \rightarrow -\infty} T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) \approx c \omega \bar{\sigma} A^\alpha \tag{14}$$

となる。これが TFP の下限値である。

一方、一般労働者が高度専門労働者に匹敵する知能を持っている場合（すなわち、 $b_1 = b_2$ ）には、(11) 式、

$$\frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b_1)}} \approx 1 \text{ 及び } \frac{1}{1+e^{-a(\theta_2-b_2)}} \approx 1 \text{ より、}$$

$$\lim_{\theta_1 \rightarrow \theta_2} Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) \approx \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha$$

及び

$$\lim_{\theta_1 \rightarrow \theta_2} T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) \approx \omega \bar{\sigma} A^\alpha$$

となる。これが TFP の上限値である。

したがって、一国の TFP の値は $c\omega\bar{\sigma}A^\alpha$ と $\omega\bar{\sigma}A^\alpha$ の間の何れかの値を取るようになる。パラメーター a の値によっては、 θ_1 の僅かな低下によって TFP の値が著しく低下することが起こり得る。こうしたことから、僅かな知能の相違によって TFP や一人当たり GDP の値に著しい相違が生じる可能性がある。

4 c の値

(14) 式から明らかなように、TFP の下限値は c の値によって決まる。しかし、この c の値は限りなく 0 に近い可能性が非常に高い。 c の値は想定外の問題が偶然解決される確率を示す。Raven 検査においては偶然正解が得られる確率は低くない。何故なら Raven 検査は多肢選択問題であり、被験者には予め幾つかの答の選択肢（例えば、8つ）が示されているからである。当然に、被験者が何も考えずに答えたものが偶然正解であることが一定の確率で生じる（例えば、8つの選択肢の場合、12.5%）。一方で、一般労働者が想定外の問題を解決するに際して、予め答の案が幾つか外生的に与

えられているようなことはない。一般労働者は、一から考えて無数に近い仮説の中から正しい法則を見つけ出さなければならぬ。したがって、偶々正解を得ることが出来る確率は当然に 12.5% より遥かに低く、限りなく 0 に近いものと考えられる。

或る事象が意図せずに偶々生じたお陰で、想定外の問題が思いがけず無意識のうちに解決されてしまうこともあるかもしれない。ただ、そのような幸運が生じる可能性を否定することは出来ないものの、そうした幸運が生じる確率は非常に低いであろう。

こうしたことから、やはり c の値は限りなく 0 に近い可能性が非常に高いと考えられる。もし $c=0$ であるならば、(11) 式より、生産関数は

$$Y(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A, K, L) = \left[\frac{w}{1 + e^{-a(\theta_1 - b_1)}} + \frac{1-w}{1 + e^{-a(\theta_2 - b_2)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha K^{1-\alpha} L^\alpha$$

となり、また、TFP は、

$$T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) = \left[\frac{w}{1 + e^{-a(\theta_1 - b_1)}} + \frac{1-w}{1 + e^{-a(\theta_2 - b_2)}} \right] \omega \bar{\sigma} A^\alpha$$

となる。さらに、(14) 式より、TFP の下限値（すなわち、 θ_1 及び θ_2 の両者が共に非常に低い時）は、

$$\lim_{\theta_1 \rightarrow -\infty} T(\theta_1, \theta_2, \bar{\sigma}, A) \approx c \omega \bar{\sigma} A^\alpha \approx 0$$

となる。したがって、各経済の TFP の値は、0 と $\omega \bar{\sigma} A^\alpha$ の間の何れかの値を取ることになる。

第4節 流動性知能の成果としての付加価値

c の値がほぼ 0 ということは、もし流動性知能が存在しなければ（つまり、 θ_1 と θ_2 のいずれもが極めて低いならば）、生産活動は殆ど不可能となってしまうことを意味する。つまり、流動性知能は生産活動にとって必要不可欠な存在である。このことが意味していることは、付加価値が流動性知能の成果から成り立っているということである。

しかし、当然ながら、流動性知能が生産に必要な唯一の要素であるということでは勿論ない。生産は知能だけでなく A や K によっても制約されている。このことは、流動性知能の成果が A や K によって増幅されていると解釈することも出来よう。ただし、さらに考えてみると、そもそも A や K 自体が過去の流動性知能による成果から成り立っているものである。そう考えると、やはり、付加価値の根本的な源は流動性知能であると言い切っても良いかもしれない。

一般労働者の流動性知能が付加価値を生み出す源泉であるということは、それを高めることが経済発展にとって非常に重要であることを意味している。従来、経済発展において重要な要素として強調されてきたことは、物理的及び人的資本を蓄積することである。しかし、本論文の結論を踏まえると、資本蓄積に頼るだけでは不十分である。流動性知能を高める政策も併せて必要である。この点に関しては、教育学、心理学、脳神経科学等において膨大な研究がなされているが、それによると流動性知能は高めることが出来る。これらの研究の成果は、経済発展の戦略を立てる際に積極的に活用されるべきであろう。

結論

TFP の推計値は各国間で大きく異なる。Prescott (1998) は、何故このように TFP の値が大きく異なるのか、その答を見出すためにはそもそもまず TFP の理論を打ち立てる必要があると訴えた。こうした中で、本論文では、一つの TFP の理論を提示した。その理論に基づくと、TFP は人間の知的活動の成果を反映していることになる。そこで特に強調されている点は、一般労働者の流動性知能が TFP の値を決定する重要な要素となっていることである。

一般労働者も新しいものを創造出来る（イノベーションを行い得る）存在であるという考え方は、これまで殆ど注目

されることはなかった。しかし、一般労働者がそれを行うことが出来ることは確かである。何故なら、研究者や高度に教育・訓練された人々と同じく、人間としての知能を有しているからである。ただし、勿論、一般労働者の作り出すイノベーションの殆どは非常に小さいものでしかなく、人類が蓄積する知識の一部を成すようなものではないかもしれない。しかし、これらが生産活動において必要不可欠なものであることもまた事実である。何故なら、生産過程においては、一般労働者が解決しなければならない無数の小さな想定外の問題が日々生じているからである。

一般労働者の流動性知能が TFP を構成する重要な要素となっているという観点に立って、本論文の TFP のモデルは構築されている。したがって、TFP は流動性知能の関数となっている。そして、その関数形は、心理学や計量心理学で広く活用されている項目応答理論を用いて示されている。そこでは、TFP は一般労働者の流動性知能の増加関数となっている。このモデルが示すところでは、TFP は一般労働者の流動性知能に決定的に依拠しており、それなしに生産活動を行うことは殆ど不可能である。したがって、付加価値は流動性知能の成果から成り立っていると言うことが出来る。

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
- Abramovitz, Moses (1986) "Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind," *Journal of Economic History*, Vol. 46, No. 2, pp. 385-406.
- 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.
- Arrow, Kenneth J. (1962) "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, Vol. 29, No. 3, pp. 155-173.
- Barro, Robert J. (1991) "Economic Growth in a Cross Section of Countries," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106, No. 2, pp. 407-43.
- 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.
- 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.
- Carpenter, Patricia A., Marcel Adam Just and Peter Shell (1990) "What One Intelligence Test Measures: A Theoretical Account of the Processing in the Raven Progressive Matrices Test," *Psychological Review*, Vol. 97, No. 3, pp. 404-431.
- Cattell, Raymond Bernard (1963) "Theory of Fluid and Crystallized Intelligence: A Critical Experiment," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 54, pp. 1-22.
- Cattell, Raymond Bernard (1971) *Abilities: Their Structure, Growth, and Action*, Houghton Mifflin, Boston.
- 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.
- 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
- Hirsch, Werner Z. (1952) "Manufacturing Progress Functions," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 34, No. 2, pp. 143-155.
- Lord, Frederic M. and Melvin R. Novick (1968) *Statistical Theories of Mental Test Scores*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Lovett, Andrew, Kenneth Forbus and Jeffery Usher (2007) "Analogy with Qualitative Spatial Representations Can Simulate Solving Raven's Progressive Matrices," in *Proceedings from the 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp.

- 449-454, Cognitive Science Society, Nashville, TN.
- Lucas, Robert E. Jr. (1990) "Why Doesn't Capital Flow from Rich to Poor Countries?" *American Economic Review*, Vol. 80, No.2, pp. 92-96.
- 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
- Marshalek, Brachia, David F. Lohman and Richard E. Snow (1983) "The Complexity Continuum in the Radex and Hierarchical Models of Intelligence," *Intelligence*, Vol. 7, No. 2, pp. 107-127.
- McGreggor, Keith, Maithillee, Kunda and Ashok Goel (2010) "A Fractal Analogy Approach to the Raven's Test of Intelligence," in *AAAI Workshops at the 24th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pp. 69-75, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, Atlanta.
- Michelacci, Claudio and Paolo Zaffaroni (2000) "(Fractional) Beta Convergence," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 45, No. 1, pp. 129-153.
- 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.
- Prescott, Edward C. (1998) "Needed: A Theory of Total Factor Productivity," *International Economic Review*, Vol. 39, No. 3, pp. 525-51.
- Rapping, Leonard (1965) "Learning and World War II Production Functions," *The Review of Economic Statistics*, Vol. 47, No. 1, pp. 81-86.
- Raven, John Carlyle (1962). *Advanced Progressive Matrices: Sets I and II*, H. K. Lewis, London.
- Raven, J., John Carlyle Raven and J. H. Court (1998) *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales. Section I: General Overview*. Harcourt Assessment, San Antonio, TX.
- 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.
- Sheshinski, Eytan (1967) "Tests of the 'Learning by Doing' Hypothesis," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 49, No. 4, pp. 568-578.
- Snow, Richard E., Patrick C. Kyllonen and Brachia Marshalek (1984) "The Topography of Ability and Learning Correlations," in Sternberg, Robert J. ed. *Advances in the Psychology of Human Intelligence Vol. 2*, Erlbaum, Hillsdale, NJ:
- van der Linden, Wim J. and Ronald K. Hambleton (Eds.) (1997) *Handbook of Modern Item Response Theory*, Springer-Verlag, New York.
- Wright, Theodore Paul (1936) "Factors Affecting the Cost of Airplanes," *Journal of the Aeronautical Sciences*, Vol. 3, No. 4, pp. 122-128.