

内生的経済成長におけるAI要因の研究

近 勝 彦

『都市経営研究』第2巻 第1号 2022年3月
大阪市立大学 都市経営研究科
都市経営研究会

大阪市立大『都市経営研究』第2巻 第1号（通巻2号） 2022年3月

■ 論文 ■

13頁～23頁

内生的経済成長におけるAI要因の研究

近勝彦（大阪市立大学大学院・都市経営研究科・教授）

A Study on AI Factors for Endogenous Economic Growth

Katsuhiko CHIKA（Professor, Graduate School of Urban Management, Osaka City University）

はじめに

日本の経済成長率は、この30年間、低位のままで推移している。成長率が低い理由には様々なものが考えられるが、ここでは、新古典派経済成長モデルの基本的理解の上で、その発展モデルともいえる内生的経済成長モデルに対するAI要因における貢献可能性について考察してみたい。

内生的経済成長モデルは、新古典派経済成長モデルを基礎としながらも、知識やアイデアを成長のドライバーとしてとらえているので、まずはその理論を概観する。

そのうえで、本論文は、第三次AIブームの中、日本経済の発展可能性をAI要因の観点から分析を試みるものである

1. AI要因の経済学的意義

AIという言葉（概念）は、本来は情報科学における理論の総称であるが、現代社会経済のキー概念でもある。筆者は、経済学における資本（生産手段）のひとつとしてここでは想定している。「人工知能（Artificial Intelligence）」は、「人が作り出した、人のような知能をもったソフトウェア群の総称」といえる¹⁾。

AIの誕生は、コンピュータとそのプログラムが誕生した時ともいえるが、言葉としての正式な認知は、「ダートマス会議（Dartmouth Conference）」（1956年）からといわれている。その会議には、当時すでに著名だった、計算機科学者のJ・マッカーシー（John McCarthy）や、認知科学者のM・ミンスキー（Marvin Minsky）や、情報工学者のC・シャノン（Claude E. Shannon）などが参加しており、そこでまとめられた提案書の中にAIという言葉がでてきたとされている。

ということは、AIは、正式な誕生からみても、すでに65年が経っており、その間、理論的には長足の進歩があったものの、現実的な有用性が少なく、今世紀に入るまではあまり日の目を見ることもなかったといえる²⁾。

しかし、第三次AI世代の登場³⁾で、画像認識、音声認識、自然言語処理等が実用化され、規則性の高いゲームや様々なタスクの処理に人間以上の成果を出し始め今に至っている。

コンピュータがまさに知的な振る舞いができるようになったことで、AIに対する評価が一変し、今のAIブームが到来したのである。ただし、評価は大きな期待を伴うことが多いので、また失望も生まれつつあるともいえる。その両面を評価したうえでいえば、今の延長線上の技術でも出来ることはかなりあるといえる。さらに、本論文の中核概念であるアイデアおよび新しいテクノロジーは、収穫逓増的に成長発展するこ

とを考えると、10年後、20年後には、経済・経営領域に限っても、企業及び一国の生産性を飛躍的に高める可能性はあるといえる。

そこで、ここでは「AI資本 (AI Capital)」は、従来の資本（人的資本、金融資本、組織資本、インフラ資本など）と結合することによって新しい価値を創出していくと考えるのである。

他の言葉でいいかえると、内生的経済成長モデルに「AI要因」を組み込んだらどのような成長がありうるのかを考えることである。と同時に、インターネットは、経済経営領域の中にも当たり前のように活用され、新しいビジネスを次々に生み出しているが、労働者間のコミュニケーションとネット内の情報流通とその蓄積、および処理能力の向上は、労働者の働き方や組織に変革をもたらすといえる⁴⁾。

ただし、AIもインターネット技術も、その技術水準、普及度、活用度、活用方法、既存の資本とのマッチングの最適化などによって大いに効果が異なるといえよう。

2. マクロ経済学における経済成長理論の概観

ここでは、新古典派の経済成長理論である「ソロー＝スワンモデル (Solow=Swan model)」から考察することとする。

ハロッド＝ドーマモデル⁵⁾とは異なり、資本と労働との間に代替関係があり、資本レンタル料が高いときには、相対的に安い労働力を利用し、賃金率が高いときは資本を多く利用するということである。

これを定式化したものが、図1である。

第一式は、マクロ的生産関数として、コップ＝ダグラス型生産関数を用いている。第二式は、第一式の両辺をLで除したものである。すると、一人当たりの所得 (y) となる。よって、第三式は、一人当たりの資本装備率 (資本労働比率) を示している。さらに、第四式を一人当たりの所得と一人当たりの資本装備率に置き換えたものが第五式である。第六式は、労働力の増加は、「労働増加率×労働力 (量)」で表されることを示し、第七式は、資本の増加が、「貯蓄率×GDP」で計算されていることを示している。これらより、第八式が、ソローの方程式となる。左辺の一人当たりの資本装備の増加分は、「貯蓄率×一人当たりの所得」から、「労働増加率×一人当たりの資本装備率」を引いたもので表されることになる。

$Y = F (K, L)$	.....	①
$y = Y/L$	.....	②
$k = K/L$	.....	③
$Y/L = F (K/L, 1) = F (K/L)$	..	④
$y = F (k)$	.....	⑤
$\Delta L = nL$	.....	⑥
$\Delta K = sY$	.....	⑦
$\Delta k = sf (k) - nk$	.....	⑧

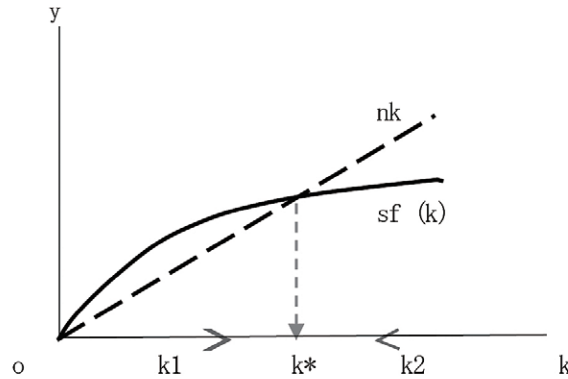
Y:GDP (国民総生産) K:資本 L:労働力 y:一人当たりの所得 (生産)
k:一人当たりの資本装備率 (資本労働比率) n:人口増加率 s:貯蓄率

図1：スワン＝ソローモデルの方程式

図2の横軸は、一人当たりの資本装備率をとっており、縦軸は、一人当たりの所得 (生産) をとっている。ここで、長期均衡は、 k^* の位置であり、そこで定常化するとみる。その理由を下記に示す。

まず、一人当たりの資本装備率が、 $k = k_1$ であった場合は、 $sf(k) > nk$ 、なので、 Δk は、プラスとなるので、一人当たりの資本装備は、一層増加する。逆に、 $k = k_2$ であれば、 Δk は、マイナスとなるので、一人当たりの資本装備は、減少することになる。結果、 k^* のところで、長期的には均衡すると考えるのである。

これらを、図式化したものが、図表2である。



図表2 新古典派経済成長の定常状態

この場合、一人当たりの貯蓄率 (s) が高まると、より一層の資本装備率は高まり、一人当たりの国民所得は上昇することとなる。

また、労働成長率 (n) が高まると、資本装備率が低下し、国民所得も減少することになる。

この新古典派のソロー理論 (Solow Theory) から「成長会計 (growth accounting)」が導かれる。これは、一国の経済成長がどの要因から構成されているのかを簡潔に表現できる方程式である。

まず、一国に投入される生産要素を「資本 (Capital)」と「労働 (Labor)」と考える。つぎに、それでは把握できないものを、「全生産性要素 (TFP: Total Factor of Productivity)」とする。ここでは、Aと表現されている。

様々な生産関数の中で、「コップ=ダグラス型生産関数 (Cobb-Douglas function)」を用いて、その中に時間 (t) が入った形をとる。それが、図3の第一式である。

$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$
$\ln Y_t = \ln A_t + \alpha \ln K_t + (1-\alpha) \ln L_t \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$
$\Delta Y/Y = \Delta A/A + \alpha \Delta K/K + (1-\alpha) \Delta L/L \quad \dots \dots \textcircled{3}$

図3：成長会計の方程式

第一式の両辺を対数にとったものが第二式である。さらに、それを微分したものが、第三式となる。

第一式の α は、「資本分配率 (capital share)」を示しており、 $(1-\alpha)$ は、「労働分配率 (labor share)」であり、これは労働所得の割合を示しており、この合計は、1となるので、「規模に関して収穫一定 (constant returns to scale)」ということの意味している。なお、 $(1-\alpha)$ を β として表すと、 $\alpha + \beta = 1$ 、で表現されることもある。

第三式の左辺である ($\Delta Y/Y$) は、国民所得 (GDP) の成長率 (経済成長率) を表し、右辺の ($\Delta A/A$) は、

TFPの成長率、 $(a \Delta K/K)$ は、資本分配率×資本の増加率、 $((1-a) \Delta L/L)$ は、労働分配率×労働の増加率を表している。よって、経済成長率は、TFP成長率（技術進歩率）と資本成長率と労働成長率の合計で把握できることになるのである。

ただし、 $(\Delta A/A)$ は、測定が困難なので、経済成長率から、資本の寄与分と労働の寄与分を引いた残りとして計算される。これは「ソロー残差（Solow residual）」と呼ばれている。

3. 内生的経済成長の理論について

ここでは、本論文の中心的理論である新古典派経済成長モデルの発展形ともいえる「内生的経済成長モデル」を考えることにする。

その出発となる「AKモデル」をまずは考えてみよう。

新古典派の標準的な経済理論では、技術進歩や人口成長率が外生的であること、および、資本投資のみではいずれは経済成長が止まることをどのように克服すべきかを考えるのが、AK理論である。

ここで、コップ＝ダグラス型生産関数からAK理論を導くことにする。

$Y = F(K, L)$	.....①
$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$	.....②
$Y = AK$	.....③
$K = sY - dK$	.....④
$K/K = sY/K - d$	.....⑤
$G_y = Y/Y = sA - d$	.....⑥
s: 貯蓄率 d: 減耗率	

図4：AKモデルの定式化

早い時期にこのAK理論を展開したのは、レベロ（1990）といわれている。

なお、 a が1ということは、労働力に対する労働分配率がゼロということであり、GDPの成長は、資本（K）およびA（技術進歩）が担うということの意味している。

ここで、資本蓄積方程式を第四式と考える。

左辺の資本形成量は、右辺第一項の資本量から、第二項の「減耗率×資本量」を引けば導ける。なお、減耗量とは、資本の減少量のことである。簡単にいえば、生産設備などが老朽化または劣化することである。

ここで解説を加えると、左辺は、GDPの成長率である。それが、右辺の二つの項の関係で決まることになる。sAは、「貯蓄率×技術進歩」で、Aが定数としても、sが増加することによって、結果、技術進歩は増大することになる。さらに、ここでの技術進歩は、様々な要因を含んでいる。たとえば、人的資本、金融資本、研究開発資本、インフラ資本などから生み出される知識・技術の総計、主に「インタンジブルズ（Intangibles Assets）」である。そこから、減耗量を引いたものがGDPの成長率となる。s（貯蓄率、それがすべて投資に回るとすると投資率）が増加すれば、または、d（資本減耗率）が減少すれば、経済成長率が高まることを示している。

これらをまとめると、このAKモデルは、第二式を援用していうと、広義の資本が増加する限り、経済成長が止まらないということの意味しているのである。

さらに、第六式でいえば、貯蓄が投資に回り、それにAを乗じた値が、資本減耗よりも大きければ、経済は成長し続けることを意味しているのである。

4. アイデアの経済理論について

ここで、「アイデアの経済学 (Economics of Ideas)」を考える。

ジョーンズ (Charles I. Jones) は、ローマーモデルを説明する前提として、アイデアの重要性や特性や経済における意義などを述べている⁶⁾。

確かに、現代経済において、アイデアやイノベーションや知識は、経済成長には欠かせないもっとも重要な要因だといっても過言ではないであろう。

それを論じる前に、そもそも「アイデア (idea)」とは何かを、調べてみると以下のような定義がでている⁷⁾。

アイデアとは、「a picture in the mind」、「a plan」、「an opinion」、「a guess」、「understanding」のことである。これに対して、他の辞書⁸⁾では、「考え」、「感じ」、「直感」、「見解」、「着想」、「意図」などと出ている。さらに、「思いつき」、「新奇な工夫」、「着想」、「観念」などもある⁹⁾。現代的には、最後の思いつきや新奇な工夫や着想などがもっとも近いようにも思えるが、総括すると、人の思考 (またはその成果・産物) であるといえよう。

ジョーンズは経済学者であるので、アイデアは、「生産技術を改善する」といっているように、研究・開発によって創出された「技術 (Technology)」や「知識 (Knowledge)」それ自体か、その源泉のように捉えている。言い換えるとシュンペータ (J.A. Schumpeter) のイノベーションに近い概念といってもいいようなものである。

筆者は、さらに広く捉えた方がよいと考えるが、これは後述する。

ジョーンズは、ローマー (Paul M. Romer) の考えを基礎にして、アイデアと経済成長の関係については、「アイデア」→「非競合性」→「収益逡増」→「不完全競争」という定式化がなりたつという。

これは、アイデアの経済学にとって、非常に重要な部分である。

まず、アイデアの特性として「非競合性 (non-rivalness)」があるといえる。これは、アイデアや知識は、広義の公共財だからである。かつ、「意図的な研究開発」に伴って生み出されるので、「不完全競争 (imperfect competition)」でかつ「収穫逡増 (increasing return)」になるという。完全競争下であれば、長期的均衡は、超過利潤がゼロとなるからである。理由は、平均費用 (AC) と限界費用 (MC) が交わる点まで価格が下がるからである。他の言葉で言い換えると、均衡価格は需要と供給で決まり、開発者には価格決定権がないということになるからである (すなわち、消費者を価格受容者とみなす)。

これでは、研究開発に巨費を投じる開発者は、その資金が回収できなくなり、結果、研究開発が少なくなるか、ゼロになる。そこで、特許権や著作権制度を導入して、開発者・創作者にいわば独占的に利益を確保しようとする必要があるとみる。確かに、特許権は、その技術に関する独占権といえる。これを言い換えると、「排除性 (excludability)」が必要であるということである。これを簡単にいうと、お金を払わない人には使わせないということである。排除できると、開発者 (社) には、限界費用の増加がないのに、開発者 (権利者) に生産数 (販売数) に応じた利益がもたらされるので、収穫が逡増するといえるのである。

これを前提としながらも、アイデアや知識や情報は、「外部性 (externality)」があるとみる。

この外部性によって、経済成長が高まるという面も大いにある。なぜなら、技術や知識がより広範に普及することを促すからである。この外部性は、「スピルオーバー効果 (spillover effects)」や「漏出効果」や「拡散効果」ともいう¹⁰⁾。

まとめると、優れたアイデアや技術や知識には、大きな固定費用 (Fixed const) がかかるので、排他的な権利を開発者・研究者に与え、数十年後には、知的財産権を失わせ、共有財産化するというのが、現代知的財産権制度の仕組みである。

ただし、この制度の下では、「勝者が全てを取る (winner-takes-all)」ので、不完全競争がさらに進み、寡占や独占となることが多い。すると、社会的余剰 (総余剰) が小さくなることが考えられる。ということは、

行き過ぎた不完全競争は、経済成長を鈍化させる可能性も指摘できよう。

総括すると、素晴らしいアイデアや知識を生み出すためには、そのためのインセンティブとしての排他性の確立が必要であるとともに、外部性も発現するように、最適な知的財産権制度の設計と運営が、経済成長の基盤となるといえよう。

内生的経済成長理論におけるローマーモデルは、「新アイデアを探求する人々の対人口割合が恒久的に増加した場合に、世界の先進経済国に何が生じるか」という問いにこたえようという理論であるといいかえることができる。

R & Dや教育に対する政府の補助金はいかなる意味を持つかなどが具体的な問いといえる。

ここで、アイデアの経済学の定式化を試みたものが、図5である。

第一式のSRは、「R & D要員の人口に占める割合」を示している。人口のなかで、研究開発者の人数が増加するのであるから、それ以前に比べて、LA/Aの値が上昇することとなる。しかし、全体人口は変わらないので、また、均等成長経路に従って長期的には低下する（収斂する）とみているのである。

第二式は、アイデアにおける一人当たりの生産における定常状態（左辺）は、均等成長下では一定ということの意味している。右辺は、分子に、一人当たりの資本を、分母には、人口成長率とアイデア蓄積の成長率とアイデアの減耗率をとっている。

第三式は、分子には、アイデア発見率×研究要員人口のシェア人数で、分母が、アイデアの成長率である。

$$\begin{aligned} \dot{A}/A &= \delta \text{SRL}/A && \dots \dots \dots \textcircled{1} \\ (y/A)^* &= (sk/ (n + gA + d))^{\alpha / (1-\alpha)} (1-SR) && \dots \dots \dots \textcircled{2} \\ A &= \delta \text{SRL}/gA && \dots \dots \dots \textcircled{3} \\ y^* (t) &= (sk/ (n + gA + d))^{\alpha / (\alpha-1)} (1-SR) \delta \text{SRL} (t) /gA && \dots \textcircled{4} \\ \dot{A} &= \delta L_A^\lambda A^\phi && \dots \dots \dots \textcircled{5} \end{aligned}$$

図5：アイデアの経済学の定式化

この第三式を第二式に代入すると、第四式ができる。この式全体は、均等経済成長経路では、一人当たりの産出は、人口に比例するという意味している。右辺第一項は、資本の増加が算出を大きくすることであり、第二項には、SRが入っているので、人口における研究開発要員の割合の変化が算出に影響を与えることを意味しているのである。

総括すると、経済成長においては、資本形成の増加が欠かせず、そのためには、アイデア（知識）の創出のための研究開発者の人口増加が重要との知見を示すことにある。

ここでローマーのアイデアの経済学をより簡潔に方程式化すると、第五式となる。この式の意味は、左辺は、知識（アイデア）の増加量（年間増加量）は、右辺の3つの変数と2つのパラメータからなるとみている。ここでの知識の増加量が、一国の経済成長のドライバーとみているのである。すなわち、知識量が増えれば、その分、経済成長をもたらすとみるのである。ここで、 L_A は、知識労働者数である。これが増加すれば知識量も増えるので、一国の若年層の教育水準が高まれば、この数は増えるといえる。現に、日本などの先進諸国の知識労働者数は増加傾向といえる。 λ は、このパラメータであるが、この値が増えれば、知識労働者数自体が増えなくても、効率概念で見た場合の知識労働者が増加したとみなせる。また、Aは知識総量である。一国の知識量の全量（ストック）である。この値をどう測るかは簡単ではない。なぜなら、知識は無形資産であるからである。そこで、その代理指標で測ることとなる。たとえば、図書数や特許数や大学数などである。いまでは、インターネット内に膨大な情報や知識やコンテンツが蓄積されている。このネット内の場合であれば、情報流通量の概念である程度把握可能である。この流通情報量はこの10年間でみても増

え続けている。ただし、この流通量は指数関数的に増加しているが、情報消費量は微増である¹²⁾。この問題自体が情報経済学的大問題であるが、ここでは紙面の都合上割愛する。ここで、知識労働者数や知識総量は変わらないとし、かつ、 λ や ϕ も変わらないと考えてみよう¹³⁾。

最後に δ は、アイデアの発見率といわれている。これは、通常、定数とみられているが、本論文では、これを変数として考えようとしている。変数としてみれば、このアイデアの発見率が高まれば、知識増加量も高まるといえる。日本の場合、人口の増加率がマイナスとなっているので、知識労働者数の増加にも限りがあるだろう。

では、このアイデア発見率は、いかにして高めることができるのであろうか。これは、別の表現を使えば、学習方法に関わっているといえよう。より効率的な学習をどのように進めていくかである。学習は、正規の教育機関や研究機関でおこなわれるとともに、人々の無数の経験によってもおこなわれる。この無数の経験のなかには、日常生活や職業生活におけるものがある。または、メディアからの情報入手とそれからの学びもあろう。インターネットにおけるSNSもその情報活動の一つとみなすことができる。

前者は、ローマーモデルにおけるアイデア発見活動である研究機関の研究活動が主なものとみている。なぜなら、ローマーモデルは、先にも示したように、知識労働者数を変数として組み込まれているからである。

ここで、AIとの関係で、アイデアの経済学を考えてみることにする。AIは、すでに述べたように、人工知能であり、人の知的活動・情報処理活動を代替したり、補完したりする。

まず個人活動とAIとの関係を考えて、一人ひとりの知的活動を支援する。コンピュータを使わない情報活動はほぼないのであり、その処理時間を大幅に節約する。端的に言えば、個人の仕事を効率化しているといえる。さらには、人間の創造活動の支援も考えられる。たとえば、様々な分析・解析によって、創造的な知見を発見できる。組織（企業）でいえば、AIを導入することで、様々な業務を自動化できる。生産機械の自動化や生産施設の効率化が果たせる。事務処理においても、RPAなどのソフトウェアを利用すると、劇的に作業効率が改善する¹⁴⁾。AIは、これまでのFAやOAの精度をより向上させたものといえる。このような場合は、生産資本にAIが内蔵されて、より精密かつ最適な作業を進めることを可能にするのである。

さらに、AIは、いわば社会資本として組み込まれているともいえる。我々が、様々なネットを利用するときには、すでに、AIが利用者の行動や意思決定に関わっている。たとえば、ネット検索をすれば、利用者が意識するかどうかに関わらず、すでにAIを活用しているのである。ECでモノを購入するときでも、様々なマーケティング技術にAIが組み込まれていて、購買に影響を与えているのである。

いまの話と連動しているのは、インターネットとAIの連結ないしは一体化である。ネット内の情報活動はログ化されて、ビッグデータを形成し、それをAIで処理することで、新しい知見が生まれているのである。

AIは、技術的（手法的）には、機械学習（Machine Learning）と深層学習（Deep Learning）に大別され、ヒトの認知機能や思考機能を代替したり、補完したりしている¹⁵⁾。より具体的には、画像認識、音声認識、自然言語理解や識別や予測をおこなうことができる。それを作動機械と組み合わせると自動運転車や自律型ロボットができる。

ここで、学習概念が出てくるが、それはあたかも様々な試行錯誤を伴う経験を通じて学習している人の頭脳の模倣をしているからである¹⁶⁾。

この学習は、アイデアの経済学におけるアイデアの発見率の向上に寄与すると考えられる。アイデアの発見や創造がAIで半自動的におこなわれるようになれば、 δ 値は飛躍的に高まることも考えられる。ある程度の知の創造のフレームや構造を与えれば、そのなかで新しい知識やコンテンツが生まれることも十分に考えられるのである¹⁷⁾。

アイデアの発見率の向上に寄与するものとして、さらに、社会的学習概念がある。ここでは、2つの学習をそのなかを含めたいと考える。そのひとつは、バンデューラの社会的学習理論（観察学習）¹⁸⁾であり、いまひとつは、アローのLearning by Doingである¹⁹⁾。前者は、他者の経験を観察することによって、自身の

学習効果が果たせるというものである。後者は、試行錯誤による学習や発見学習や経験学習といわれている。

ここでの知見は、アイデアの発見・創造は、他者を模倣することや純粋な学問研究でなくても可能であることを示しているといえよう。

これをシステムとして、社会装置として実現したものが、SNS（Social Network System）やSM（Social Media）である。これらの活用によって、人々の情報や知識の普及は進むと考えられるのである。これらの社会的メディアのなかにもAIが組み込まれている。またはこれらのメディアのなかにある非構造的データはビッグデータであり、それらがAIによって解析されることで、結果、消費者の効用や生産者の生産性の向上に成果を発揮し始めているのである。

まとめると、AK理論であれ、アイデアの経済学であれ、知識労働者の数が増えるか、アイデアの発見率が高まるのが、知識を増加させて、経済を拡大発展させるのである。その場合、AIは、人の知識の伝達や創造や蓄積および新しい知識の発見を実体化するものといえる。その場合、個人としての労働者の生産性を高めるとともに、組織や企業の生産資本と一体となって成果を生み出すといえるのである。

5. 結論

本論文では、マクロ経済学、とくに内生的経済成長モデルにおけるAIの寄与を考察した。

まずは、新古典派経済成長理論から、内生的経済成長理論のひとつであるAKモデルまでを概観し、ローマーモデルを中心に議論を展開した。さらには、アイデアの経済学におけるAIの経済成長への貢献可能性を述べた。

AKモデルでは、Kが蓄積されれば、経済成長は止まることなく発展し続けると考えられる。たしかに、すでにみてきたとおり、先進諸国も、低成長ではあるが成長し続けている。ただし、それは、新古典派経済成長理論の技術進歩がそれなりに成長していることが原因であることはマクロ経済指標から明らかとなっている。

逆にいうと、それがなぜ大きな経済成長への貢献を示さないかということである。

21世紀経済の大きな技術進歩に、インターネットとAIがある。前者は、世界大のコミュニケーションを可能にする技術である。PCおよびスマホ端末の普及と相まって、日本人のほぼ全員がなんらかの目的のために、インターネットを間断なく使用している。これは、人々に、新しい情報や知識やノウハウやコンテンツをあっという間に共有させる力をもっている。

第三次AI世代としては、10年余りしかたっていないので、まだその力は大きくないが、経済成長への潜在力は計り知れないといえる。人間の認知力を超え、休みなく情報・知識を処理し続けることによって、効率的な意味での労働力の大幅な拡大に資すると考えられる。インターネットとIoTによるビッグデータの形成は、新しい情報的価値を収集・蓄積しているといえるが、マンパワーでは処理できる量ではなくなってきている。そこで、AIによって、自動処理ができれば、新しい知見や知識や高度な判断が可能となるといえる。

しかし、それらがなぜ経済成長に十全な成果を生み出さないのかを考えることは、ローマーモデルを評価する場合でも、大きな課題であるといえよう。

では、いかなる本質的な課題が内在しているであろうか。

本論文の内容をさらにまとめると下記の3つに収斂することができる。

第一は、「人的資本（human Capital）」の問題である。ローマーモデルでも、究極的な知識労働者が生み出すアイデアが経済成長のエンジンとみているからである。先のインターネットとAIが一人ひとりの労働者に装備されると、一人の知識労働者の知識創出量は飛躍的に伸びると考えられるが、いまのところ目立った成果は生まれていない。このどこに問題があるのかを考える必要がある。言葉を変えると、人とAIとが一体となってアイデアを生み出すスキームや活用手法の一層の発展が望まれている。

第二は、「外部性 (externality)」の問題である。外部性とは、市場を通さずに様々な効果が外部にもたらされることであるから、資源の最適な配分が損なわれると古典的な経済学ではみている。いわゆる「市場の失敗 (market failure)」といえる現象が発生する。そこで、なんらかの政府による関与が必要となるのであるが、この外部性には、正の外部性 (外部経済: external economy) と負の外部性 (外部不経済: external diseconomy) の2つがある。インターネットとA Iもこの両方の効果が出現するといえる。この外部性は、測定が困難であることを前提として、正と負の両面の制御が非常に難しい問題である。

第三が、「インフラストラクチャー (infrastructure)」の問題である。同じような資本が蓄積されていても、国によって、経済成長率は異なり、経済の発展持続性は異なるといえる。それは、国家ごとにインフラに違いがあると考えられるからである。日本問題といわれるように、日本は主要先進諸国のなかで、経済成長率が低いとともに、一人当たりのGDPまたは生産性が低いことが知られている。日本の労働者の平均的な知識水準や教育水準は低くないにも関わらず、なぜ、労働生産性が低いのか。PCや携帯端末や通信インフラなどの装備水準は高く、A Iは別にしても、インターネット関連の技術やサービス利用率も高い。

やはり、日本の労働環境、労働法制、企業運営、組織様式などの無体の社会制度インフラ (社会制度資本) が、21世紀型のデジタル経済またはそれと連動するグローバル経済に不適応状態となっているのではないかという仮説がありうる。

このインフラ問題は、先の人的資本問題と外部性問題と密接にかかわっている。たとえば、人的資本に関しては、労働者の自由な移動や最適な配分がうまくいっていないことが考えられる。古い大企業体制における労働慣行や労働意識が新しい技術への対応を遅らせているといえる。また、外部性に関しては、外部経済性をうまく引き出すインセンティブ設計が社会としても十分に機能していない可能性がある。大学や公的な研究所は、公共財であり、新しい知識や技術という公共財を生み出す苗床や拠点であるが、その機能が先進国のそれと比して低いことが考えられる。また、情報通信技術の研究および開発に関して、もっと支援 (補助金など) することによって、より有用な知見が創出でき、かつインターネットによって共有化も進むはずである。A Iの導入は始まったばかりであるが、中小企業には高価すぎて導入が阻まれているのが現状である。さらに、それぞれの企業がうまく使いこなせる活用方法やスキルがほとんどなく、指導者もいないのが現実である。このA Iインフラの基盤構築と安価な提供が可能となれば、中小企業の実産性も、大幅に向上すると考えられる。

本論文で考察したように、内生的経済成長に対して、A Iは大きな貢献をする可能性はあるが、いまは、その投資額および知識創出基盤形成が緒に就いたばかりなので、はっきりした成果は表れていない。

今後は、ICTとA Iの投資は不可分な形でおこなわれ、アイデアを経済発展のドライバーとして、より一層の増強をおこなうことが必要である。

おわりに

「A Iによって未来世界はどうなるのか」や「A Iによって社会経済様式はどう変わるのか」や「A Iによって失業者があふれるのか」などの議論は百出している。

今後は、インターネットおよびA Iを企業及び地域社会の隅々にまで浸透させることによって、様々な活動主体のコストを削減し、付加価値を創出するためのメカニズムを詳細に論じていきたい。

それは、本論文で論じたように、内生的経済成長理論の知見のなかに、すでにその原形または基礎方程式は存在しているのである。しかし、インターネットとA Iによる個人、企業、及び国家経済の発展に資するフレームは十分に構築できていないといわざるを得ない。

そこで、さらに、「外部性」、「人的資本」、「社会インフラ」などの主要概念とA Iとの関係性や経済性を詳細に検討したいと考える。

【注】

- 1) これまでのプログラムと、一線を画すのは、人間に似た「知能」という点である。単に高速かつ正確に、情報を処理するのならば、人の耳目を惹くことはないであろう。やはり、人間のような「知性」をもっているかのような振る舞いに、人間は、ある種の畏敬の念や畏怖の感情を持ってしまふといえる。総務省『平成28年度情報通信白書』参照。
- 2) もっぱら大学や研究所の中のアルゴリズムの研究にとどまっていたといってもよいであろう。馬場口登・山田誠二『人工知能の基礎』(平成27年、オーム社)参照。
- 3) ジェフリー・ヒントン教授らの開発した深層学習(Deep Learning)の新たな手法によって新しい応用領域が広がったことが原因である。小川雄太郎『つくりながら学ぶ! 深層強化学習』(2018, マイナビ出版)参照。
- 4) いま日本経済および経営において、DX(Digital Transformation)という言葉(概念)が喧伝されている。その主要な構成要因は、インターネットおよびAI・ICTであるが、それは既存の組織原理や形態の維持では根本的抜本的に成果が生まれえないといえる。ユルゲン・メフェルト、野中賢治著、小川敏子訳『デジタルの未来』(2018, 日本経済新聞社)参照。
- 5) この理論は、ケインズ経済学を基盤においているために、有効需要論が前提となって作りあげられる。この理論の特徴は、経済成長は不安定であるというモデルとなっている。この理論では、3つの概念とは、「保証成長率」と「現実成長率」と「自然成長率」で論じている。保証成長率とは、資本の完全稼働を保証するような経済成長率のことをいい、 $G_w = \Delta Y/Y = s/v$ として表せる。
つぎに現実の経済成長率(G_g)は、 $I = \beta Y_{t-1}$ であり、 β は前期のGDPである。次に、自然成長率は、人口の成長と技術進歩率の合計となっており、 $G_n = n + \lambda$ (n :人口成長率 λ :技術進歩率)。これで、3つの成長概念が定式化される。
- 6) ジョーンズの著書『経済成長理論入門』の第4章のタイトル名でもある。
- 7) Longmanの辞書『LONGMAN DICTIONARY CONTEMPORARY ENGLISH』参照。
- 8) 研究社の『NEW ENGLISH-JAPANESE DICTIONARY』参照。
- 9) 小学館の『デジタル大辞泉』参照。
- 10) 外部性とは、ミクロ経済学では、市場取引をしていない第三者に、正または負の効果が及ぶことである。本文の表現は、近隣(物理空間)になんらかの効果が及ぶことであるが、ネットワークの外部性などは、サイバー空間でも生じるといえる。ハル・R・ヴァリアン著、佐藤隆三監訳『入門ミクロ経済学』(2003, 勁草書房)参照。
- 11) ティモシー・J・イエーガー著、青山繁訳『新制度派経済学入門』(2003, 東洋経済新報社)、青木昌彦・奥野正寛編著『経済システムの比較制度分析』(1997, 東京大学出版会)参照。
- 12) 情報消費量があまり増加しない理由は、ある意味はつきりしている。情報消費者(人口)が増加していないためと、ひとりの情報消費量には時間的制約があるからである。一日の可処分時間が限られているからである。総務省『平成29年度情報通信白書』参照。
- 13) λ や ϕ の値を1とする。すると、パラメータをなくすことと同値である。ただし、AI要因の関与はこのパラメータに及ぶともいえるが、本論文では考えていない。
- 14) RPAとは、Robotic Process Automationの略で、事務処理自動化のことである。日本経済新聞社編『RPA ホワイトカラー革命』(2019, 日本経済新聞社)参照。
- 15) 機械学習には、教師あり学習と教師なし学習と強化学習があり、深層学習はおもに人の認識をまねるとともに、人以上の精度を実現している。注3の著書、参照。
- 16) 強化学習に関していうと、その概念は、心理学者のスキナーの強化学習理論をもとにしている。注3の著書、参照。
- 17) AIプログラムのレベルで話をすれば、ある程度のスキームやアルゴリズムの設定は人がやらなければならない。しかし、それができるとパラメータは自動的に最適化してくれるのである。このパラメータの上位概念であるハイパーパラメータの自動化をどうするのが大きなAIの課題である。山口達輝・松田洋之『図解即戦力機械学習&ディープラーニングのしくみと技術がしっかりわかる教科書』(2021, 技術評論社)参照。
- 18) Bandura, A.は、心理学者であるが、注16と類似した強化学習モデルを提唱した。実森正子・中島定彦共著『学習の心

理』（2007，サイエンス社）参照。

19) Arrow, Kenneth J. 1962. "The Economic Implications of Learning by Doing." *Review of Economic Studies* 29 (June) 参照。

【参考文献】

- S. Rebelo (1990) 'Long Run Policy Analysis and Long Run Growth' " *Journal of Political Economy* " 96 (June) .
- Grossman, Gene M., and Elhanan Helpman (1991) " *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge", MA: MIT Press.
- Jones, Charles I (1995a) 'R&D-Based Models of Economic Growth' " *Journal of Political Economy* " 103 (August) .
- Romer, Paul M (1986) 'Increasing Returns and Long-Run Growth' " *Journal of Political Economy* " 94 (October) .
- Romer, Paul M. 1990. 'Endogenous Technological Change' " *Journal of Political Economy* " 98 (October)
- 足立秀之・鶴田忠彦・藪下史郎(1990)『マクロ経済学』有斐閣。
- 福田慎一・照山博司(2009)『マクロ経済学入門』有斐閣。
- N・グレゴリー・マンキュー著、足立秀之・地主敏樹・中谷武・柳川隆訳(2012)『マンキュー マクロ経済学 I』東洋経済新報社。
- ジョセフ・E・スティングリッツ著、藪下史郎他訳(1995)『スティングリッツマクロ経済学』東洋経済新報社。
- 中谷巖(1995)『入門マクロ経済学』日本評論社。
- 井堀利宏(1995)『入門マクロ経済学』新世社。
- チャールズ・L・ジョーンズ著、香西泰監訳(2000)『経済成長理論入門』日本経済新聞社。
- 谷口和久(2012)『生産と市場の進化経済学』共立出版。
- 林敏彦編(2003)『情報経済システム』NTT出版。
- 上村敏之(2016)『公共経済学入門』サイエンス社。
- 青木昌彦著、瀧澤弘和・谷口和弘訳(2007)『比較制度分析に向けて』NTT出版。
- ダグラス・C・ノース著、竹下公視訳(2004)『制度・制度変化・経済成果』晃洋書房。
- 歴史学研究会編(1995)『資本主義は人をどう変えてきたか』東京大学出版会。
- 大山正・岩脇三良・宮埜壽夫(2015)『心理学研究法』サイエンス社。
- 山内光哉・春木豊編著(2015)『グラフィック学習心理学』サイエンス社。
- 森敏昭・井上毅・松井孝雄共著(2015)『グラフィック認知心理学』サイエンス社。
- ステイーヴ・ロー著、久保尚子訳(2016)『データサイエンティストが創る未来』講談社。
- 長谷川貴博(2017)『A I化する銀行』幻冬舎。
- 坂村健(2016)『IoTとは何か』KADOKAWA。
- マレー・シャナハン著、ドミニク・チェン監訳(2016)『シンギュラリティ』NTT出版。
- 石井菜穂子(2003)『長期経済発展の実証分析—成長メカニズムを機能させる制度は何か』日本経済新聞社。
- 杉野元亮(2000)『人口システムと経済発展分析』創成社。
- 川合慧編(2009)『情報』東京大学出版会。
- 此本臣吾監修、森健・日戸浩之(2018)『デジタル資本主義』東洋経済新報社。