

序 論

人口減少がマクロ経済成長に与える影響* ——経済成長理論からの視点——

福田 慎一**

〈要 旨〉

わが国では、少子高齢化が未曾有のスピードで進行することが見込まれている。このため、少子高齢化対策は、わが国の成長戦略のなかでも最も優先度が高いものの1つとなっている。そこで本稿では、供給サイドの観点から、労働力人口の減少が経済成長に与える影響を、経済成長理論のフレームワークにもとづいて多角的に考察を行う。分析ではまず、技術進歩が外生的な新古典派成長理論と内生的な内生的成長理論をそれぞれ紹介し、いずれの理論的枠組みにおいても労働人口の減少は経済成長にマイナスの影響を与えることを明らかにする。次に、AcemogluとRestrepoによる論文の分析結果を紹介し、労働力がロボットや人工知能など新技術によって代替できる場合、労働人口が減少しても経済成長は必ずしも鈍化するとは限らないことを示す。特に、労働人口の減少がロボットや人工知能など新技術によって完全に代替される場合、その経済成長へのマイナスの影響は新技術によって相殺されることを明らかにする。この結果は、労働人口減少に対する悲観論に1つのアンチテーゼを提示するものである。ただし、労働力の減少をロボットなど新技術で代替することで成長する経済には、仮に経済成長率が高まる場合でも、負の側面がある。特に、新技術の開発に規模の経済性が存在する場合、新技術の導入は人口減少下でも経済成長を促進する一方で、新技術の価格の下落に伴って、賃金の下落をもたらすことになる。その結果、経済が成長するもとでも、労働者への分配が低下し、所得格差が拡大する可能性がある。本稿では最後に、全体の総括を行うと同時に、人口減少下の日本経済が抱える課題を議論する。

JEL Classification Codes : O11, J11, E24

Keywords : 人口減少、経済成長理論、ロボット、賃金

* 本稿の基礎となる研究は、独立行政法人日本学術振興会の二国間交流事業オープンパートナーシップ(共同研究)による支援を得て行われた。

** 福田 慎一：東京大学大学院経済学研究科教授

Macroeconomic Effects of Population Decline on Economic Growth

Shin-ichi FUKUDA

Abstract

The purpose of this paper is to consider supply-side effects of population decline in alternative economic growth models. In the analysis, we first overview supply-side effects in a neoclassical growth model and an endogenous growth model. We show that population decline has a negative effect on economic growth in both of the models. The result does not depend on whether technological progress is exogenous or endogenous. We then introduce a model of Acemoglu and Restrepo where labor force is substituted by a new technology such as robots. We show that population decline does not necessarily have a negative effect on economic growth in the model because the increased technological progress substitutes the role of labor force. However, we also find that when there exists increasing returns to scale in the new technology, population decline may have a negative effect on workers through reducing their wages even if it enhances economic growth. In the final section, we summarize our analytical results and discuss implications for the Japanese economy where the population is rapidly aging and shrinking at unprecedented speed.

JEL Classification Codes: O11, J11, E24

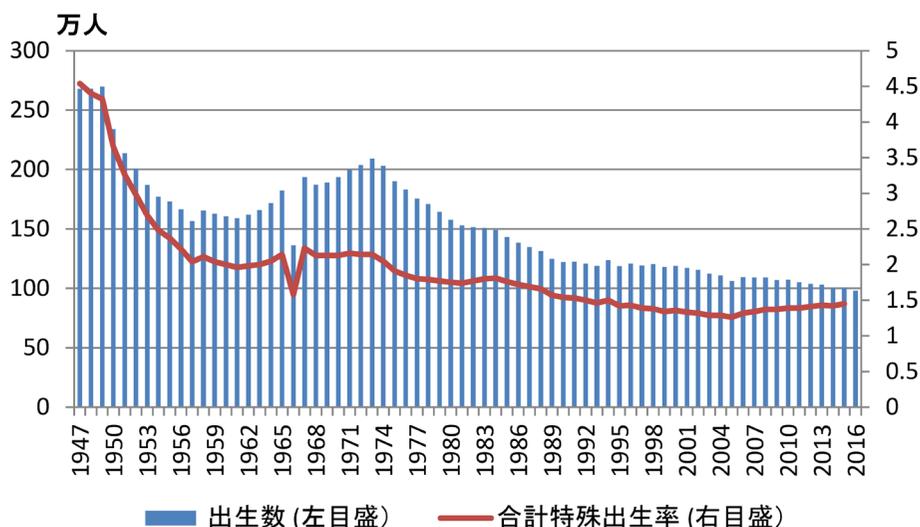
Keywords: population decline, economic growth theory, robots, wages

1. はじめに

わが国では、少子高齢化が未曾有のスピードで進行することが見込まれている。その結果、仮に他の主要国と同様の技術進歩を実現したとしても、労働人口の減少が足かせとなって、先進国の平均的な成長率を実現するのが難しくなりつつある。わが国では、終戦直後の第1次ベビーブームの頃には合計特殊出生率は4.5以上の高い値を示した。その後出生率は大きく減少したものの、1970年代半ばまでは、丙午の1966年前後を例外として、人口が減らないための2.0をほぼ維持してきた。その結果、労働力増加率が人口増加率よりも高くなる「人口ボーナス」が長期間持続し、経済成長を後押ししてきた。しかし、1970年代後半以降、合計特殊出生率は減少が続き、1993年には1.5を、また2003年には1.3を、それぞれ割り込んでしまった(図表1)。今後は、高齢人口が急増する一方、生産年齢人口の減少が財政や経済成長の重荷となる「人口オーナス」の時代が到来する。少子高齢化の問題に抜本的な対策が打たれない場合、2050年の人口ピラミッドは、65歳以上の高齢者が総人口の4割近くに達し、生産年齢人口1.3人で高齢者1人を支えなければならなくなる。

人口動態の変化は長期間にわたってゆるやかに進行するものであり、人口減少を放置すれば成長率はますます低下するという指摘は少なくない。少子高齢化を伴う人口減少は、社会保障制度の持続性を危うくするだけでなく、人口減少が著しい地方経済の活性化の障害になるなど、さまざまな弊害を日本経済にもたらす可能性がある(た

図表1 わが国の出生者数と合計特殊出生率の推移



注：1947～1972年は沖縄県を含まない。

出所：国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集」、厚生労働省「人口動態統計」。

たとえば、内閣府(2014))。少子高齢化対策は、わが国の成長戦略のなかでも最も優先度が高いものの1つとなっている。

もっとも、少子高齢化や人口減少の進行がマクロ経済成長にいかなる影響を与えるかは、理論的にも実証的にも必ずしも自明ではない。たとえば、Bloom *et al.* (2010) は、OECD 諸国のデータを用いて分析し、人口高齢化は経済成長に緩やかな負の影響をもたらすものの、女性の労働参加率の増加や定年延長などによってその負の影響は軽減できるとしている。また、吉川(2016) は、経済成長の鍵を握るのはイノベーションであり、人口減少は必ずしも成長の鈍化を意味しないと指摘する。内閣府(2017) が指摘するように、少子高齢化や人口減少の進行が急速な日本経済でも、それを代替するイノベーション(技術進歩)が他の主要国以上に活発に起これば、経済成長の鈍化はそれほど心配する必要がないことになる。

そこで、本稿では、いくつかの異なる経済成長理論の考え方を概観することを通じて、人口減少がマクロ経済成長にいかなる影響を与えるかをさまざまな観点から考察することにする。以下ではまず、技術進歩が外生的な新古典派成長理論と内生的な内生的成長理論をそれぞれ紹介し、いずれの理論的枠組みにおいても労働人口の減少は経済成長にマイナスの影響を与えることを明らかにする。次に、Acemoglu と Restrepo による論文の分析結果を紹介し、その上で労働力がロボットや人工知能など新技術によって代替できる場合、労働人口が減少しても経済成長は必ずしも鈍化するとは限らないことを示す。分析は、小国経済モデルを用いて行われ、労働人口が減少したことの影響が一国の供給サイドにどのような影響をもたらすかが論じられる。最後に、本稿の全体の総括を行うと同時に、人口減少下の日本経済が抱える課題を議論する。

2. 新古典派成長理論

この章では、まず技術が外生的に進歩するオーソドックスな新古典派成長理論を使って、人口減少が経済成長率に及ぼす影響を考察する。ソロー(Solow 1956)らによって考案された新古典派成長理論では、一国の実質生産量を Y 、資本ストックを K 、労働人口を N として、規模に関して収穫一定なマクロ生産関数

$$Y = F(K, AN) \tag{1}$$

が想定される¹。ここで、 A は(労働節約型の)技術水準を示す変数である²。マクロ生産

¹ 規模に関して収穫一定のマクロ生産関数は、すべての投入量が同じ割合で増加するならばそのとき生産量もそれと同じ割合で増加する「一次同次」の性質を持つ。

² 労働節約型の技術進歩は、「ハロッド中立型技術進歩」とも呼ばれる。

関数は、一国の総生産 Y が、資本ストックおよび労働投入量に加えて、技術水準 A が高ければ高いほど増加することを示している。

このようなマクロ生産関数のもとでは、経済成長の源泉は、技術進歩率、資本ストックの増加、労働人口の増加、の3つに分けられる。特に、競争的な市場と規模に関して収穫一定なマクロ生産関数のもとで、経済成長率 $(\Delta Y/Y)$ は、

$$\Delta Y/Y = (1-\lambda) \cdot (\Delta A/A) + \lambda \cdot (\Delta K/K) + (1-\lambda) \cdot (\Delta N/N), \quad (2)$$

に要因分解される。ここで、変数記号に Δ を付した場合には、その変数の増分を示す。式(2)の右辺は、 $(1-\lambda) \cdot (\Delta A/A)$ が経済成長率に対する(労働節約型の)技術進歩の貢献分、 $\lambda \cdot (\Delta K/K)$ が経済成長率に対する資本ストック増加の貢献分、そして $(1-\lambda) \cdot (\Delta N/N)$ が経済成長率に対する労働人口増加の貢献分となる³。

新古典派成長理論においては、技術進歩率を表す $\Delta A/A$ は、労働人口の増加率や資本ストックの増加率とは無関係に、外生的に決定される。また、資本ストックは、中長期的に成立する定常均衡では、技術が進歩すると増加する一方で、労働人口が減少すれば減少する⁴。したがって、式(2)から、新古典派成長理論では、外生的な技術進歩率が同じであれば、定常均衡では、労働人口の増加率 $(\Delta N/N)$ が小さい経済ほど経済成長率 $(\Delta Y/Y)$ が小さいという関係が導かれる。すなわち、新古典派成長理論では、外生的に決定される技術進歩率が同じであれば、長期的には労働人口が減少する国ほど経済成長率は低くなることが示唆される。

3. 内生的成長理論

前章で紹介した新古典派成長理論では、技術進歩率が外生的に決定されるものと考えた。その結果、新古典派成長理論では、労働人口の減少は、技術進歩率に影響を与えず、経済成長率にマイナスの影響を与えることが確認された。以下では、この結果が、技術進歩率が労働人口や技術水準に依存して内生的に決定される経済成長モデル(内生的成長理論)でも成立するかどうかを検討する。

本章では、技術進歩率が内生的に決定されるスタンダードなモデルとして、Romer(1990)らによる成長理論を考察する。内生的成長理論でも、マクロ生産関数は、新古

³ 要素市場が完全競争である場合、パラメータ λ は資本分配率、パラメータ $1-\lambda$ は労働分配率にそれぞれ等しい。

⁴ 新古典派成長理論では、貯蓄率を s 、資本減耗率を δ とすると、 $\Delta K/K = s(Y/K) - \delta$ という関係が成立する。また、定常均衡の Y/K は、(労働節約型の)技術進歩率が大きいと増加する一方で、労働人口の増加率が減少すれば減少する。したがって、資本ストックの増加率は、技術進歩率が大きいと増加する一方で、定常均衡では労働人口の増加率が減少すれば減少する。

典派経済成長理論と同様に、規模に関して収穫一定な次のような関数が想定される。

$$Y = F(K, AN_Y) \quad (3)$$

ここで、 N_Y は最終財の生産に投入される労働量である。

しかし、新古典派経済成長理論とは異なり、労働人口 N は、最終財の生産に N_Y が投入されるだけでなく、研究開発部門にも N_A が投入される（すなわち、 $N_Y + N_A = N$ ）。その結果、(労働節約型の)技術水準 A の変化 \dot{A} は、研究開発部門に投入される労働量 N_A と現在の技術水準 A の関数として、

$$\dot{A} = \alpha N_A A^\phi, \quad (\text{ただし、} 0 < \phi < 1) \quad (4)$$

と表現される。

式(4)は、技術水準 A が、新古典派成長理論のように外生的に決まるのではなく、研究開発部門に投入される労働量 N_A に依存して増加することを示している。また式(4)は、 $\phi = 0$ でない限り、技術の変化 \dot{A} が既存の技術水準 A に依存することを示している。研究開発を行う個々の経済主体にとって、式(4)の右辺にある A^ϕ は所与である。しかし、 $\phi > 0$ のとき、既存の技術水準 A が高いほど技術はより上昇する。これは、経済全体の既存の技術水準が技術進歩に与えるプラスの外部効果(マーシャルの外部性)を反映したものである。

式(4)から、 $\dot{A}/A = \alpha N_A/A^{1-\phi}$ となる。また、 $N_A/A^{1-\phi}$ は、

$$(1-\phi) \dot{A}/A = \dot{N}_A/N_A \quad (5)$$

が成立するとき、常に一定となる。このため、上式が成立する限り、技術進歩率 \dot{A}/A は時間を通じて一定となる。

以上のような内生的成長理論では、式(3)から、長期的に成立する均斉成長経路において、経済成長率 \dot{Y}/Y と資本ストックの増加率 \dot{K}/K は、 $\dot{A}/A + \dot{N}_Y/N_Y$ にいずれも等しく、かつ一定の値をとる。また、均斉成長経路では、各部門に投入される労働力の成長率は人口成長率 n に等しい(すなわち、 $\dot{N}_Y/N_Y = \dot{N}_A/N_A = n$)⁵。このため、式(5)から均斉成長経路では、以下の関係式が成立する(詳しくは、Jones and Vollrath (2013))。

$$\dot{A}/A = \{1/(1-\phi)\} n, \quad (6a)$$

$$\dot{Y}/Y = \dot{K}/K = \{(2-\phi)/(1-\phi)\} n. \quad (6b)$$

⁵ このことは、均斉成長経路では、各部門に投入される労働力の比率 N_Y/N_A が一定となることから導かれる。

この式は、内生的成長理論では、長期的な経済成長率 \dot{Y}/Y が人口成長率 n に比例することを示している。したがって、 $0 < \phi < 1$ である限り、内生的成長理論では、人口が減少する（すなわち、 $n < 0$ ）場合、長期的な経済成長率はマイナスとなる⁶。このように内生的成長理論において人口減少が技術進歩率を低下させ、経済成長率に負の影響を与える理由は、研究開発に「スケール効果」が存在するからである。前章の新古典派成長理論では、資本の限界生産力が逡減することで、外生的な技術進歩や労働人口の増加がない限り、長期的に成長が止まってしまうという性質があった。これに対して、内生的成長理論では、技術進歩率は研究開発部門に投入される労働力 N_A が大きければ大きいほど高いだけでなく、長期的には労働人口増加率に比例する。その結果、労働人口が増加する場合にだけ技術進歩が持続的に経済成長をけん引することが可能となる。

なお、人口減少が経済成長にマイナスの影響を及ぼすという以上の結果は、技術水準が内生的に決定されるモデルだけでなく、人的資本の蓄積が内生的に決定される成長モデルでも成立する。これは、人的資本が個人の時間配分によって蓄積されていくという Uzawa や Lucas らによる 2 部門モデル (Uzawa (1965) および Lucas (1988)) でも、同様のスケール効果が存在するからである。すなわち、スケール効果が存在する限り、人口減少は、技術進歩率の低下だけでなく、人的資本蓄積のスピードを低下させることを通じて、経済成長にマイナスの影響を及ぼすことが懸念される。

4. ロボットや人工知能など新技術の役割

(i) Acemoglu=Restrepo モデル

これまでの章で見てきたように、従来の経済成長理論では、技術進歩率や人的資本の蓄積が外生的に決定されるか内生的に決定されるかに関わらず、人口減少が経済成長率にマイナスの影響を及ぼすことが示されてきた。これに対して、Acemoglu と Restrepo は、一連の研究 (Acemoglu and Restrepo 2016, 2017a, 2017b) で、新技術と労働力が代替的な関係にあるケースを考察し、労働人口の減少をロボットや人工知能など新技術が代替することが可能な場合、人口減少は経済成長率にマイナスの影響を及ぼさないことを理論的・実証的に指摘した。

Acemoglu=Restrepo の理論分析の大きな特徴は、技術と労働の間に補完的な関係が

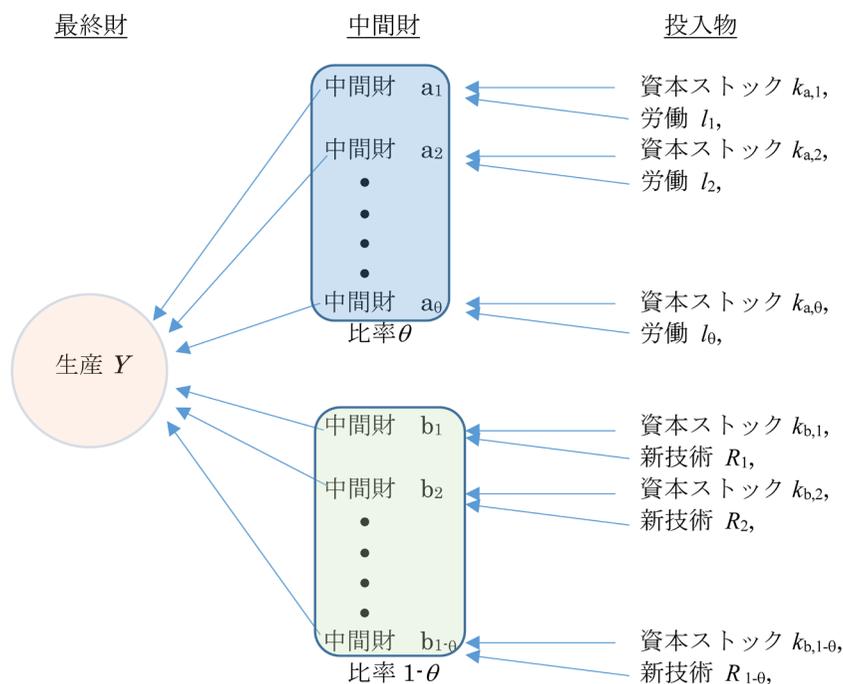
⁶ Romer (1990) が分析したような外部経済が大きく、 $\phi=1$ となるケースでは、 $\dot{Y}/Y = \alpha N_A + n$ となり、人口が減少しても経済成長率は一般にはマイナスとならない。しかし、この場合でも、人口が減少すると N_A や n も減少するため経済成長率は必ず減少する。

あると考えることが多かったこれまでの経済成長モデルとは対照的に、技術と労働の間に強い代替的な関係が存在すると考えたことである。その結果、これまでの内生的経済成長モデルとは逆に、人口減少が進行する経済ほど労働力を代替する技術進歩率が大きくなり、それによって人口減少によるマイナスの効果が相殺されることが明らかにされた。

加えて、Acemoglu と Restrepo は、この理論は実証的にも妥当性を持つと主張した。たとえば、Acemoglu and Restrepo (2017a) は、1990 年から 2007 年の米国のデータを用いて、労働者 1000 人に対して追加的なロボット一単位を使用すると、総人口に占める雇用が約 0.18~0.34% ポイント減少し、賃金が 0.25~0.5% 減少することを示した。また、Acemoglu and Restrepo (2017b) は、1990 年から 2015 年のデータを用いて国際比較を行い、高齢化率と一人当たり GDP 成長率の間には負の相関が観察されないことを示すと同時に、高齢化が進行している国ほどロボットの利用が進んでいることを明らかにした。

以下では、Acemoglu = Restrepo の理論分析の結果を、労働や中間財の国際間の移動は存在しないが、最終財や資本財の貿易は自由で、それぞれの価格が一定の国際価格に等しい「小国経済モデル」を用いて再考察する。図表 2 が、モデルの概要を示したものである。図で表されるように、この小国経済では、最終財 Y は、無数の中間財を

図表 2 小国経済モデルの構造



組み合わせることによって生産される。一方、各中間財は、資本ストックと労働の組み合わせ、あるいは資本ストックと新技術の組み合わせのどちらかで生産される。中間財がどちらの組み合わせで生産されるかは、中間財企業の利潤最大化によって決定される。その結果、内点解のケースでは、 θ の比率の企業が資本ストックと労働の組み合わせによって、また $1-\theta$ の比率の企業が資本ストックと新技術の組み合わせによって、それぞれ中間財を生産することになる。

(ii) モデルの構造

本稿で分析する小国経済モデルでは、中間財企業の数 n を1と基準化し、中間財企業が0と1の間に無数に存在すると仮定する。代表的な最終財企業の生産量 Y は、各中間財企業が生産する中間財 y_i （ただし、 $i \in [0, 1]$ ）を使って、以下のような関数として書き表される。

$$Y = \alpha \int_0^1 \ln y_i di. \quad (7)$$

このとき、中間財 i の価格を p_i とすると、最終財企業の利潤は、 $\alpha \int_0^1 \ln y_i di - \int_0^1 p_i y_i di$ である。このため、最終財の国際価格をニューメレールとして1と基準化すると、完全競争の下での利潤最大化の一階条件は、 $p_i y_i = \alpha$ となる。

一方、各中間財企業は同質で、中間財 i を資本ストック k_i と労働投入 l_i のコブ=ダグラス型関数として生産することが可能である。ただし、中間財 i を生産する際、労働投入 l_i は、ロボットや人工知能など新技術 R_i によって完全に代替することが可能である。このため、中間財 i （ただし、 $i \in [0, 1]$ ）の生産量 y_i は、以下の2つの関数のいずれかで決定される⁷。

$$y_i = A k_i^\eta l_i^{1-\eta}, \quad (l_i > 0 \text{ および } R_i = 0 \text{ のとき}), \quad (8a)$$

$$y_i = A k_i^\eta R_i^{1-\eta}, \quad (l_i = 0 \text{ および } R_i > 0 \text{ のとき}). \quad (8b)$$

ここで、 $0 < \eta < 1$ である。

このとき、資本ストックの価格を r 、賃金を w 、ロボットなど新技術の価格を q とすると、中間財 i の生産企業の利潤は、式(8a)のとき $p_i A k_i^\eta l_i^{1-\eta} - r k_i - w l_i$ 、また式(8b)のとき $p_i A k_i^\eta R_i^{1-\eta} - r k_i - q R_i$ である。このため、完全競争の下での中間財企業

⁷ 本稿では、中間財企業は l_i と R_i の一方のみ生産に利用するケースを考察するが、完全に代替的な l_i と R_i の両方を利用して生産することが可能な場合でも、基本的な結果は変わらない。

による利潤最大化の一階条件と、均衡では $p_i y_i = \alpha$ となることを使うと、

$$k_i = \eta \alpha / r, \quad (9a)$$

$$\begin{aligned} l_i &= (1 - \eta) \alpha / w \quad (w < q \text{ のとき}), \\ &= (1 - \eta) \alpha / w \quad \text{または} \quad 0 \quad (w = q \text{ のとき}), \\ &= 0 \quad (w > q \text{ のとき}), \end{aligned} \quad (9b)$$

$$\begin{aligned} R_i &= (1 - \eta) \alpha / q \quad (w > q \text{ のとき}), \\ &= (1 - \eta) \alpha / q \quad \text{または} \quad 0 \quad (w = q \text{ のとき}), \\ &= 0 \quad (w < q \text{ のとき}), \end{aligned} \quad (9c)$$

となる。

式(9a) から、資本ストック価格 r が一定の小国経済では、各中間財生産企業の資本ストック投入量は $k_i = \eta \alpha / r$ と常に一定の値をとる。また、式(9b) および式(9c) から、 $l_i > 0$ のとき $l_i = (1 - \eta) \alpha / w$ 、 $R_i > 0$ のとき $R_i = (1 - \eta) \alpha / q$ がそれぞれ成立する。

しかし、一定の国際価格 r で海外から輸入が可能な資本ストックとは異なり、労働の国際間の移動は存在しない。このため、一国全体の総労働投入量は、この小国経済の労働人口 N に等しい。したがって、 $l_i > 0$ となる企業の数 θ (ただし、 $0 < \theta \leq 1$) とすると、 $l_i = N / \theta$ となることから、労働市場において賃金は、以下のように内生的に決定される。

$$w = (1 - \eta) \alpha \theta / N. \quad (10)$$

一方、一国全体のロボットなど新技術 R は、価格 q に応じて供給される。完全競争の下では、個々の企業にとって q は所与である。また、労働と新技術のどちらかのみを使って中間財を生産するという式(8a) および式(8b) の仮定の下では、 $l_i > 0$ となる中間財企業の数 θ のとき、 $R_i > 0$ となる中間財企業の数 $1 - \theta$ (ただし、 $0 < \theta \leq 1$) となる。したがって、一国全体の新技術の投入量を R とすると、 $R_i = R / (1 - \theta)$ が成立することから、 $R > 0$ のとき R の投入量と価格の間には、

$$q = (1 - \eta) \alpha (1 - \theta) / R, \quad (11)$$

という関係が成立する。

(iii) 中間財企業による l_i と R_i の選択

労働市場では、式(10) から、企業の数 $\theta \in (0, 1]$ の変化が $w \leq q$ となるように賃金 w が調整されるので、この小国経済では $l_i > 0$ となる企業は必ず存在する（すなわち、労働人口 N は完全雇用となる）。これに対して、 $R_i > 0$ となる企業の数が増えるのは、 $q = w \equiv (1 - \eta) \alpha \theta / N$ が成立するときだけである。このため、 θ の最大値が1であることに注意すると、 $q > (1 - \eta) \alpha / N$ である限り、 $R_i > 0$ となる中間財企業は存在しない。このことは、新技術の価格 q が十分に高いか、労働人口 N が十分に多い経済では、ロボットなど新技術を採用する企業は存在しないことになる。また、このとき、式(8a) と $k_i = \eta \alpha / r$ からすべての i に関して中間財の生産量は $y_i = A \alpha (\eta / r)^\eta (N / \alpha)^{1 - \eta}$ となるので、これを最終財の生産関数式(7) に代入すると、最終財の生産量は、次のようになる。

$$Y = \alpha \{ B + (1 - \eta) \ln(N / \alpha) \}. \quad (12)$$

ただし、 $B \equiv \ln A \alpha + \eta \ln(\eta / r)$ である。式(12) は、労働人口 N が減少すると最終財の生産量も減少することを示している。すなわち、新技術の価格が十分に高いか、労働人口が十分に多い経済では、伝統的な経済成長理論と同様に、労働人口の減少は経済成長にマイナスの影響を与えることになる。

しかし、新技術の価格 q が十分に下落した場合や労働人口 N が十分に減少した場合、 $q > (1 - \eta) \alpha / N$ はもはや成立しなくなると考えられる。そこで以下では、 $l_i > 0$ および $R_j > 0$ となる中間財企業がそれぞれ存在する内点解（すなわち、 $0 < \theta < 1$ ）のケースを考察する。この内点解のケースでは、

$$q = w = (1 - \eta) \alpha \theta / N, \quad (13)$$

が成立し、中間財企業 $a \in (0, \theta]$ で $l_a = N / \theta = (1 - \eta) \alpha / q$ および $R_a = 0$ 、また中間財企業 $b \in (\theta, 1]$ で $l_b = 0$ および $R_b = N / \theta = (1 - \eta) \alpha / q$ となる。このことは、労働を投入する中間財企業 $a \in (0, \theta]$ の労働投入量と、新技術を投入する中間財企業 $b \in (\theta, 1]$ の新技術投入量が等しいことを示している。したがって、式(8a) および式(8b) と $k_i = \eta \alpha / r$ から、すべての $i \in [0, 1]$ に関して中間財の生産量 y_i は、次のように書き表される。

$$\begin{aligned} y_i &= A \alpha (\eta / r)^\eta \{ (1 - \eta) / q \}^{1 - \eta}, \\ &= A \alpha (\eta / r)^\eta \{ N / (\alpha \theta) \}^{1 - \eta}. \end{aligned} \quad (14)$$

式(14) は、生産に労働を使うか新技術を使うかに関わらず、すべての中間財企業の生産量が同じとなることを示している。この式を、最終財の生産関数式(7) に代入すると、

$$\begin{aligned}
 Y &= \alpha[B + (1-\eta) \ln \{(1-\eta)/q\}], \\
 &= \alpha[B + (1-\eta) \ln \{N/(\alpha\theta)\}],
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

となる。

式(15)は、最終財および中間財の生産関数のパラメータや $l_i > 0$ となる企業の数 θ を所与とすると、この小国経済における最終財の生産量 Y は N が減少すると下落する関係にあることを示している。しかし、 q を所与とすると、式(13)から、 N が減少すると θ の値も減少する。また、式(15)では、 θ の値が減少すると Y は増加する。このため、 N の減少が最終財の生産量 Y に与える総合的な影響は、次章でみるように一概には決定できず、 N が減少したときに価格 q がどのように変化するか依存する。

5. N の減少が最終財の生産量 Y に与える影響

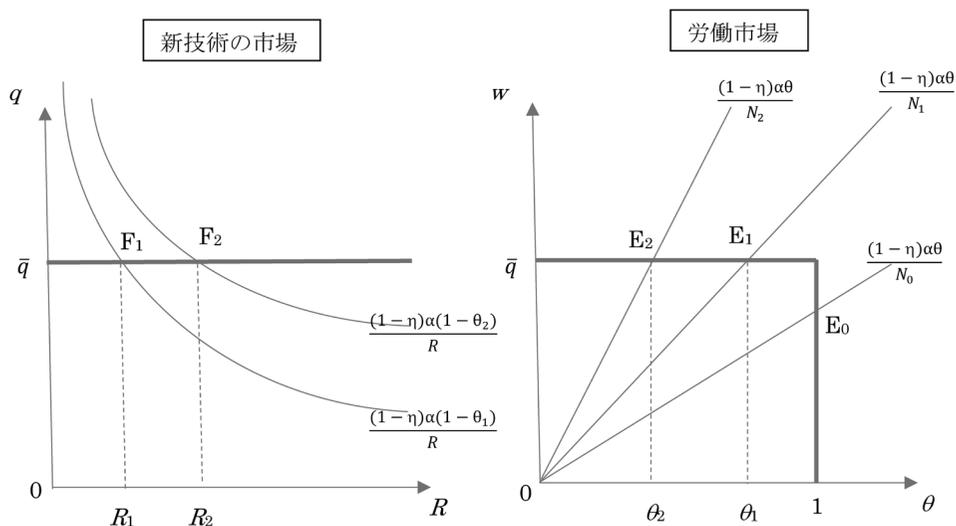
(i) q が一定のケース

以下では、まずロボットなど新技術が一定の価格 $q = \bar{q}$ で無限に供給されるケースを考察する。このケースは、小国経済が海外から新技術を一定の価格で無限に輸入できるケースに相当する。価格が $q = \bar{q}$ と一定の場合でも、 $\bar{q} > (1-\eta)\alpha/N$ である限り、中間財企業は存在せず、式(12)が示すように、労働人口 N が減少すると最終財の生産量も減少する。すなわち、新技術の価格 \bar{q} が十分に高いか、労働人口 N が十分に多い経済では、労働人口の減少は経済成長にマイナスの影響を与える。

しかし、新技術の価格 \bar{q} や労働人口 N が下落して $\bar{q} \leq (1-\eta)\alpha/N$ が成立するようになると、式(13)から w や N/θ の値も常に一定となる。このとき、式(15)から最終財の生産量 Y は、労働人口 N が減少した場合でも常に一定(すなわち、 $Y = \alpha[B + (1-\eta) \ln \{(1-\eta)/\bar{q}\}]$)となり、労働人口の減少は経済成長に中立となる(マイナスの影響を与えなくなる)。これは、 N の減少による Y へのマイナスの効果が、新技術 R の増加によるプラスの効果によって完全に相殺されるからである。

図表3は、 $q = \bar{q}$ のケースについて、労働人口 N の下落が一国全体の新技術の投入量 R や労働力を投入する中間財企業の比率 θ にどのような影響を与えるかを、左に新技術の市場の均衡、右に労働市場の均衡をそれぞれ示すことで表したものである。左図の $(1-\eta)\alpha(1-\theta)/R$ 線は式(11)に、また右図の $(1-\eta)\alpha\theta/N$ 線は式(10)にそれぞれ対応する。労働人口が $N = N_0$ と十分に大きく、 $\bar{q} > (1-\eta)\alpha/N_0$ であるとき、労働市場では $(1-\eta)\alpha\theta/N_0$ 線は $0 < \theta < 1$ の範囲では $w = \bar{q}$ と交わらないので、 E_0 点で端点解 $\theta = 1$ が成立し、その結果、賃金 $w = (1-\eta)\alpha/N_0$ のもとで新技術 $R = 0$ となる(すなわち、

図表3 労働人口の減少の影響： q が一定のケース



すべての中間財企業で労働力のみが投入され、新技術は導入されない。

しかし、 N が N_1 へと減少し、 $\bar{q} < (1-\eta)\alpha/N_1$ が成立するようになると、労働市場では $(1-\eta)\alpha\theta/N_1$ 線が E_1 点で $w=\bar{q}$ と交わるため、中間財企業のうち労働力を投入する企業の比率は θ_1 （ただし、 $0 < \theta_1 < 1$ ）となり、残りの $1-\theta_1$ の比率の企業は新技術を使って中間財を生産することになる。また、そのときの一国全体の新技術の投入量は $(1-\eta)\alpha(1-\theta_1)/R$ 線と $q=\bar{q}$ の交点 F_1 で決定される R_1 となる。さらに、 N が N_1 から N_2 へとより一層減少すると、 $(1-\eta)\alpha\theta/N_2$ 線が E_2 点で $w=\bar{q}$ と交わるため、中間財企業のうち労働力を投入する企業の比率は θ_2 （ただし、 $0 < \theta_2 < 1$ ）へと減少する一方、新技術を使って中間財を生産する企業の比率は $1-\theta_2$ へと増加する。また、それに伴って一国全体の新技術の投入量は $(1-\eta)\alpha(1-\theta_2)/R$ 線と $q=\bar{q}$ の交点 F_2 で決定される R_2 へと増加することになる。

このような $N=N_1$ や $N=N_2$ のケースでは式(13)が成立するので、上で述べたように最終財の生産量 Y は、パラメータや q の値のみに依存することとなり、 q の値が \bar{q} と一定である限り、労働人口 N が減少した場合でも変化しない（すなわち、 $Y = \alpha[B + (1-\eta)\ln\{(1-\eta)/\bar{q}\}]$ ）。これは、労働人口が減少した場合でも、労働力を投入する中間財企業数 θ の減少によって労働力を投入する中間財企業一社あたりの労働投入量 N/θ が減少しない一方で、新技術を使う中間財企業が労働力を新技術で完全に代替することによってこれまでと同じ生産量を実現できるからである。

(ii) q が R に依存するケース

これまではロボットなど新技術の価格が $q = \bar{q}$ と一定のケースを考察した。しかし、ロボットなど新技術が国内で開発される場合、その価格は一国全体の新技術の投入量 R に依存する可能性がある。そこで次に、一国全体の新技術が (逆) 供給関数 $q(R)$ にもとづいて供給される場合を考察する。このケースでも、完全競争の下では、個々の企業にとって $q(R)$ は所与である。しかし、 N が減少した結果として新技術を採用する企業が増加すると、一国全体の R は増加し、 $q(R)$ は変化することになる。以下では、新技術の価格 q が投入量 R の増加関数 (すなわち、 $q'(R) > 0$) であるケースと、減少関数 (すなわち、 $q'(R) < 0$) である場合をそれぞれ検討する。

まず (逆) 供給関数 $q(R)$ が R の増加関数であるケースは、国内で生産されるロボットなど新技術の限界費用が規模に関して収穫逓増であるケースに相当する。 $q'(R) > 0$ のとき、 N が減少して労働力を投入する中間財企業数 θ が減少すると、一国全体の新技術の投入量 R が増加する結果、新技術の価格 q が上昇し、それに伴って式 (13) から w や N/θ の値は上昇する。このため、式 (15) から、最終財の生産量 Y は労働人口 N が減少すると下落することとなる。この場合でも、 N の減少による Y へのマイナスの効果は新技術の導入によって部分的には相殺されている。しかし、新技術の価格 q が上昇する結果、 Y へのマイナスの効果は R の増加によるプラスの効果によっては完全に相殺されない。

一方、(逆) 供給関数 $q(R)$ が R の減少関数であるケースは、いわゆる「マーシャルの外部性」が存在することによって、ロボットなど新技術を利用する中間財企業が増加すればするほど、新技術を国内で生産する企業の限界費用が逓減するケースに相当する。 $q'(R) < 0$ のとき、 N が減少した結果として新技術を採用する企業が増加すると、一国全体の R が増加し、 $q(R)$ は下落する。したがって、式 (13) から、 N が減少して R が増加すると、 w や N/θ の値は下落する結果、式 (15) から、最終財の生産量 Y は労働人口 N が減少すると増加することとなる。これは、 N の減少による Y へのマイナスの効果よりも、新技術の増加によるプラスの効果が上回るからである。

N の減少による Y へのマイナスの効果は、新技術の価格 q が変化しないとき、新技術の導入によるプラスの効果によって完全に相殺される。しかし、新技術を採用する企業が増加して $q(R)$ が下落すると、新技術の導入がさらに促進され、その結果、新技術の増加によるプラスの効果が、 N の減少によるマイナスの効果を上回り、経済成長が促進されることになる。

6. インプリケーション

前章では、労働力の減少をロボットなど新技術によって完全に代替できる場合、労働力の減少が経済成長に及ぼすマイナスの影響は、新技術の導入によって相殺されることを明らかにした。特に、新技術を国内で開発する際にマーシャルの外部性によって規模の経済性が存在する場合（すなわち、 $q'(R) < 0$ のケース）では、労働人口が減少する経済ほどより安価な新技術が導入され、その結果、経済成長は逆に促進される可能性があることが示された。この結果は、労働人口減少に対する悲観論に1つのアンチテーゼを提示するものである。

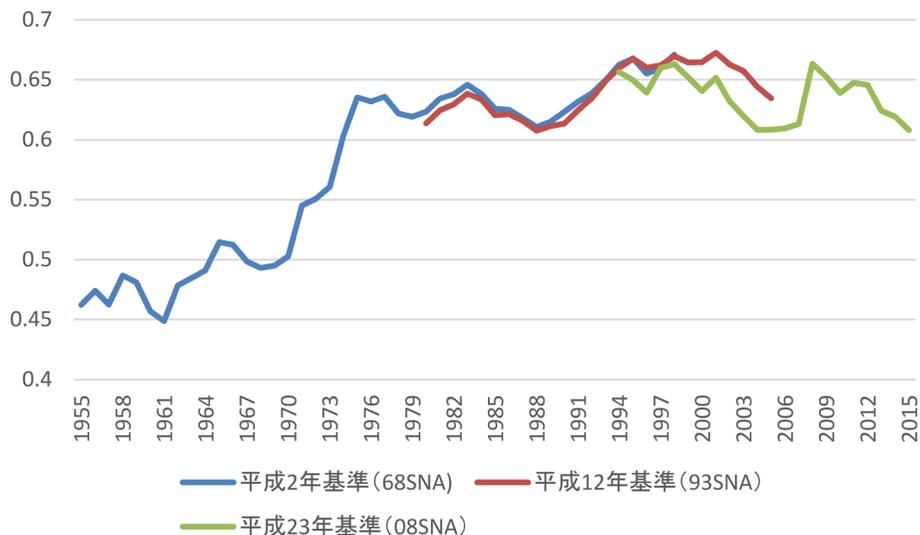
しかし、労働力の減少をロボットなど新技術で代替する経済には、仮に経済成長率が高まる場合でも、負の側面がある。特に注意すべきなのは、賃金や労働分配率への影響である。2章や3章で説明した伝統的な経済成長モデルでは、技術が労働力と補完的であることから、技術が進歩したり、労働人口が減少したりすると、賃金や労働分配率は上昇する傾向にあった。これに対して、前章で示したような新技術が労働力を完全に代替するモデルでは、労働人口が減少し、新技術が促進された場合でも、賃金はほとんど変化しない。特に、新技術の開発に規模の経済性が存在する場合、労働人口の減少は経済成長を促進する一方で、新技術の価格の下落に伴って、賃金を下落させることになる。その結果、経済が成長するもとも、労働者への分配が低下し、所得格差が拡大する可能性がある。

図表4からわかるように、わが国の労働分配率は、1970年代以降その伸び率が鈍化した後も、1990年代頃までは緩やかな上昇を続けてきた。この期間、伝統的な経済成長モデルが示したように、労働と補完的な技術進歩がトレンドとして労働分配率を高める方向で働いていたと考えられる。これに対して、1990年代末以降、わが国の労働分配率は緩やかながら低下トレンドをたどっている。この期間は、わが国の労働力人口が2000年を境にそれまでの上昇から減少へと転じた時期とも呼応する。労働人口が今後より一層減少することが見込まれるなかで、2000年以降、労働と代替的な新技術が導入されつつあることがトレンドとして労働分配率を低下させる一因となった可能性があるといえる⁸。

また、前章のモデルでは、すべての中間財企業や労働者は同質であることを仮定して議論を展開したが、現実には企業や労働者にはさまざまな異質性が存在する。異質性が存在する場合、労働人口の減少と新技術の導入がもたらす影響は、産業や職種に

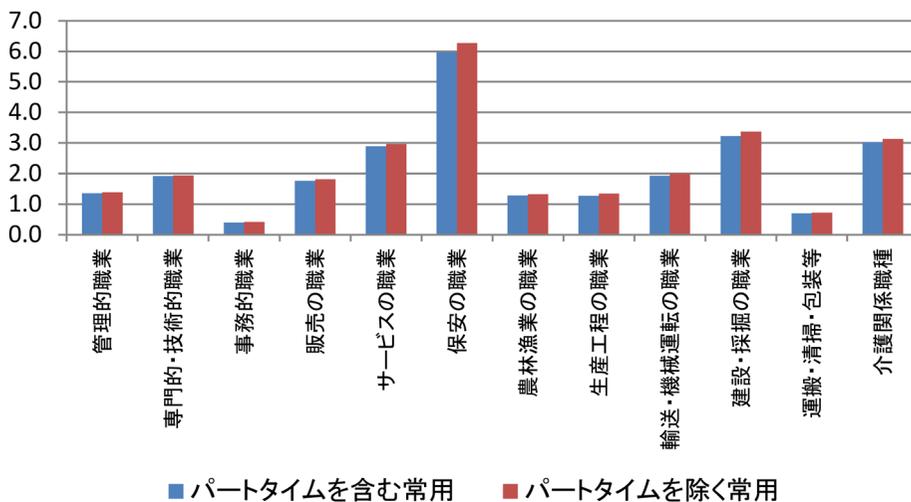
⁸ 2000年以降にわが国の労働分配率が低下したそれ以外の説明要因としては、玄田編（2017）が参考になる。

図表4 わが国の労働分配率の推移



注：労働分配率＝雇用人報酬÷国民所得（市場価格表示）。
出所：内閣府「GDP統計」。

図表5 職種別（大分類）でみた2016年度の有効求人倍率

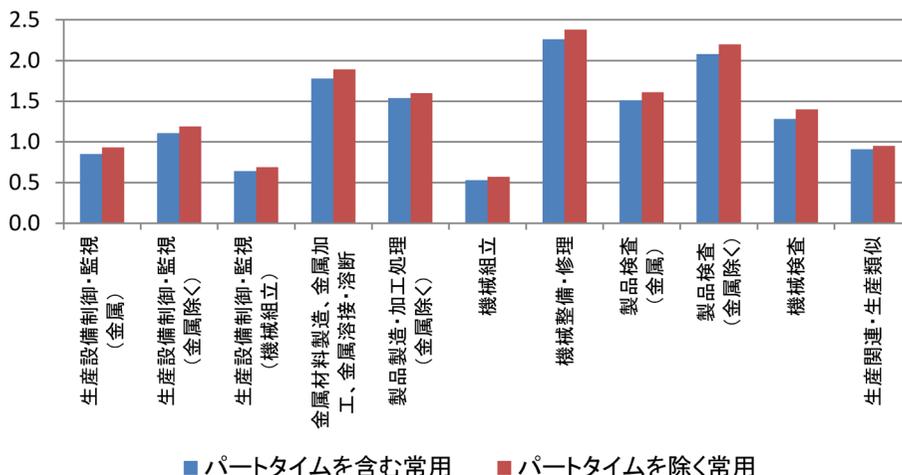


注：介護関係職種：平成23年改定「厚生労働省職業分類」に基づく「福祉施設指導専門員」、「その他の社会福祉の専門的職業」、「家政婦（夫）、家事手伝い」、「介護サービスの職業」の合計。

出所：厚生労働省「一般職業紹介状況（職業安定業務統計）」。

よって大きく異なると考えられる。たとえば、図表5は、2016年度の有効求人倍率（求職者数に対する求人数の比率）を、パートタイムを含む常用とパートタイムを除く常用それぞれに関して、職種別（大分類）で示したものである。2016年度の有効求

図表6 生産工程の職業（小分類）における2016年度の有効求人倍率



出所：厚生労働省「一般職業紹介状況（職業安定業務統計）」。

人倍率は全体では1.39と極めて高く、マクロ経済全体の数字だけをみると労働市場がきわめてタイトであったことを示している。実際、保安の職業、建設・採掘の職業、および介護関係職種では有効求人倍率が3を超えており、人手不足が顕著であった。その一方で、事務的職業や運搬・清掃・包装等の職業は1を大きく下回っており、労働力はむしろ過剰となっている。これら労働力が過剰な業種では、OA化（オフィスの事務システムの自動化）やロボットなどを利用した作業効率化が労働力を代替した影響が大きかったと考えられる。

加えて、大分類では有効求人倍率が1を超える職種でも、より細かな分類では人手不足かどうかの状況はさまざまである。たとえば、図表6は、製造業に対応する生産工程の職業について、2016年度の有効求人倍率を、パートタイムを含む常用とパートタイムを除く常用それぞれに関して、職種別（小分類）で示したものである。生産工程の職業では、特殊な技能労働を必要とする機械整備・修理の職業や製品検査の職業（金属除く）では有効求人倍率が2を上回っており、人手不足が顕著である。これに対して、ロボットなど新技术で従来の労働力が代替される傾向にある生産設備制御・監視の職業（金属）、生産設備制御・監視の職業（機械組立）、機械組立の職業、および生産関連・生産類似の職業では、有効求人倍率は1を下回っており、余剰人員が発生している。新技术の導入は、それによって既存の労働力を代替することが可能かどうかによって、雇用や賃金に与える影響が大きく異なる可能性があるといえる。

7. おわりに

本稿では、労働力人口の減少が経済成長に与える影響を、経済成長理論のフレームワークにもとづいて多角的に考察を行った。分析の結果、労働力人口が減少したときの成長への影響は、新技術が労働力と補完的なものなのか、代替的なものかによって大きく異なることが示された。特に、労働力人口の減少がロボットなど新技術によって完全に代替される場合、その経済成長へのマイナスの影響は新技術によって相殺されることが明らかとなった。

もっとも、本稿は、経済の供給サイドにのみ注目したものであり、労働力人口の減少が需要サイドを通じて経済にどのような影響を及ぼすかは明示的には分析していない点には注意が必要である。本稿で想定したように、価格が完全に伸縮的で、経済全体の供給量の変化に応じて総需要が調整される古典派的世界では、需要サイドを考慮した場合でも、本稿の結論はほとんど変わらない。しかし、価格が硬直的なケインズ的な経済では、需要サイドの変化が生産に影響を与える影響は少なくなく、経済の供給サイドにのみ注目した議論は十分なものといえなくなる。

価格が硬直的なケースでも、ロボットなど新技術の導入によって、労働力人口が減少した際の経済全体の供給能力（潜在生産量）の減少は限定的となる。その一方、国内人口の減少に伴って総需要は減少する。このため、価格が硬直的な場合、人口が減少すると経済全体で需要不足が発生し、その結果、マクロ経済では供給過剰によるデフレ圧力が働くことになる。このような場合、人口減少の影響は、仮に供給サイドでは小さかったとしても、需要サイドから経済全体に大きなダメージを与える可能性がある。このため、価格が硬直的な経済では、需要サイドから人口減少の影響を抑えるための抜本的な対策が必要になってくる。

もちろん、人口動態の変化は長期間にわたってゆるやかに進行するものであり、人口減少の流れを短期的に是正することは決して容易でない。しかし、最近では合計特殊出生率が2に近いフランス、スウェーデン、イギリスでも、1990年代までは出生率のトレンド的な低下が続いていた。このため、比較的短期間のうちに、出生率を回復させることは全く不可能なわけではない。少子化は放置すれば状況はますます悪化するだけであり、わが国でも、一刻も早く、問題に抜本的な対策を打つ必要がある。少子高齢化対策は、わが国の成長戦略のなかでも最も優先度が高いものの1つであるといえる。

参考文献

- 玄田有史編 (2017) 『人手不足なのになぜ賃金が上がらないのか』、慶應義塾大学出版会。
- 内閣府 (2014) 『地域の未来ワーキング・グループ報告書』。
- 内閣府 (2017) 『年次経済財政報告—技術革新と働き方改革がもたらす新たな成長—』。
- 吉川洋 (2016) 『人口と日本経済』、中公新書。
- Acemoglu, Daron and Pascual Restrepo (2016), “The Race between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment.” NBER Working Paper No. 22252.
- Acemoglu, Daron and Pascual Restrepo (2017a), “Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets.” NBER Working Paper No. 23285
- Acemoglu, Daron and Pascual Restrepo (2017b), “Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation.” *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 107(5), pp. 174–179.
- Bloom, David E., David Canning, and Günther Fink (2010), “Implications of Population Aging for Economic Growth.” *Oxford Review of Economic Policy*, 26(4), pp. 583–612.
- Jones, Charles I., and Dietrich Vollrath (2013), *Introduction to Economic Growth (3rd Edition)*, W W Norton & Co Inc: New York.
- Lucas, Robert (1988), “On the Mechanics of Economic Development.” *Journal of Monetary Economics*, 22(1), pp. 3–42.
- Romer, Paul M., (1990), “Endogenous Technological Change.” *Journal of Political Economy*, 98(5), part 2: S71–S102.
- Solow, Robert M. (1956), “A Contribution to the Theory of Economic Growth.” *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), pp. 65–94.
- Uzawa, Hirofumi (1965), “Optimum Technical Change in An Aggregative Model of Economic Growth.” *International Economic Review*, 6(1), pp. 18–31.