令和２年度　学士特定課題研究

オートメーションとスキル偏向的技術進歩が経済成長と賃金格差に与える影響

東京工業大学　経営工学系

学籍番号　17B01271

石川正人

指導教員　堀健夫

概要

スキル偏向的技術進歩はこれまで、賃金格差拡大の原因として挙げられることがあった。また、近年の AI 関連技術の発展により注目されているオートメーションも、機械に代替されにくい高スキル労働者と、代替されやすい低スキル労働者の間の賃金格差を拡大させる可能性がある。

これまでの先行研究では、スキル偏向的技術進歩とオートメーション資本の蓄積の両方が起こることを想定したモデルを用いた研究はなかった。そこで、この論文ではオートメーション資本とスキル偏向的技術進歩の 2 つを導入したソローモデルに基づくモデルを設定した。

このモデルを用いて、オートメーション及びスキル偏向的技術進歩は、経済成長と賃金格差にどのような影響を与えるのか。また、どのような相互作用があるのかを分析した。

主な結果は以下である。

(i)スキル偏向的技術進歩はオートメーション資本の蓄積を促す効果がある。

(ii)スキル偏向的技術進歩とオートメーションの進行はそれぞれが賃金格差を拡大させる効果を持つ。

(iii)スキル偏向的技術進歩は、高スキル労働者の賃金を上昇させる。低スキル労働者と高スキル労働者の代替が容易なとき、低スキル労働者の賃金を減少させる。

(iv)オートメーションの進行は、低スキル労働者の賃金を減少させる。低スキル労働者と高スキル労働者の代替が容易なとき、高スキル労働者の賃金も減少させる。

目次

目次

第 1 章　はじめに

スキル偏向的技術進歩[1]はこれまで、賃金格差の上昇や失業率の上昇の原因として考えられてきた。また、AI やロボット、3D プリンターの発展によって、自動化(オートメーション)も賃金格差や労働者の雇用を奪うのではないかという指摘がある。本研究では、スキル偏向的技術進歩と自動化が経済成長や賃金格差に与える影響を分析した。

スキル偏向的技術進歩とは、高いスキルを持った労働者の生産性を、低スキル労働者の生産性と比較してより大きく向上させる技術進歩のことである。高スキル労働者と低スキル労働者の生産性の差の拡大が賃金格差の原因になると考えられることがある。例としては、CAD、表計算ソフトの進歩やプログラミング言語の開発などがあり、一部の人の生産性のみを向上させるものだ。Guido Cazzavillana and Krzysztof Olszewskib(2011)はスキル偏向的技術進歩を入れたモデルを作り、そのモデルの妥当性を 1996~2006 年のポーランドと 1992~2008 年のアメリカのデータを用いて検証した。モデルで想定される経済には高スキル労働者と低スキル労働者の 2 つが存在する。労働供給は内生的に決まり、全要素生産性とスキル偏向的技術進歩の成長率は外生的である。Guido Cazzavillana and Krzysztof Olszewskib(2011)ではスキル偏向的技術進歩によって過去のスキルプレミアム[2]の上昇と低スキル労働者の労働供給の減少をある程度説明することができると述べている。スキル偏向的技術進歩は高スキル労働者の賃金を上昇させる効果を持つ。また、低スキル労働者の賃金に対しては、低スキル労働者と高スキル労働者が代替的な時は賃金を下げる効果を持ち、低スキル労働者と高スキル労働者が相補的な時は賃金を上げる効果を持つと考えることができる。どちらの場合も、高スキル労働者の賃金を上げる効果がより強く、賃金格差を大きくする。

自動化は、自動運転や 3D プリンター、産業ロボットなどが例として挙げられ、機械やソフトウェアが労働者と完全にとって変わり、これまで人が行ってきた仕事を人無しで実行可能にする。スキル偏向的技術進歩との違いは人の限界生産力を向上させるものではなく、人と完全に代替可能な生産要素であり、労働力を供給するものと捉えることができる点である。また、自動運転車や産業ロボットなどを資本(オートメーション資本)として考えることで、自動化の進行をオートメーション資本の蓄積という形で表すことができる。オートメーション資本の蓄積は、通常の資本とは異なり労働者への需要を増加させないため、労働者の賃金、特にオートメーション資本で代用が容易だと考えられる低スキル労働者の賃金を低下させる可能性がある。Lankisch et al(2019)では、オートメーション資本を含めた 4 つの生産要素(低スキル労働者・高スキル労働者・オートメーション資本・伝統的物的資本)を用いたソローモデルに基づいたモデルを作り、オートメーションが経済に与える影響について分析している。この先行研究では、オートメーション資本の蓄積が持つ効果として、以下の 4 つを示した。

(i)技術進歩なしでの永続的な経済成長を達成可能にする、(ii)低スキル労働者の実質賃金を低下させる、(iii)高スキル労働者の賃金もオートメーション資本との代替弾力性によっては低下させ

---

[1] スキル偏向的技術進歩：　高いスキルを持った労働者の限界生産力を相対的に大きくするような技術進歩のこと

[2] スキルプレミアム：　高スキル労働者の賃金を低スキル労働者の賃金で割ったもので、賃金格差の大きさを表す

る、(iv)賃金格差を拡大させる。その上で、高スキル労働者を増やすような政策を取ることによって賃金格差を緩和することができ、オートメーションによる経済成長の恩恵をより享受しやすくできると述べている。

これまでの先行研究では、スキル偏向的技術進歩とオートメーション資本蓄積の両方が起こることを想定したモデルを用いた研究はなかった。そこで、本研究では、スキル偏向的技術進歩とオートメーションの両方が起こるモデルを作り経済成長と賃金格差にどのような効果を与えるのかということを分析した。スキル偏向的技術進歩はこれまで実際に発生していた可能性があり、今後も高スキル労働者に有利な技術進歩が発生する傾向が見られることが予想できる。また、自動化に関しては RPA やロボットはすでにある程度普及しており、AI や通信システムの発展と共にさらにオートメーション資本の蓄積が進んでいくとも予想できる。以上のことから、スキル偏向的技術進歩と自動化は今後も発生していく可能性がある。では、スキル偏向的技術進歩と自動化が進む経済では、成長経路や賃金格差はどのようになるのか、また、スキル偏向的技術進歩と自動化にはどのような相互作用が存在するのか。本研究ではスキル偏向的技術進歩と自動化を入れたモデルを作り、その相互作用、経済の成長経路、労働者の賃金の変化を分析する。

オートメーション資本をソローモデルに導入することで、オートメーションが技術進歩なしの永続的な経済成長を可能にすることと、賃金格差を拡大させることを示した Lankisch et al(2019)を参考に、オートメーション資本を含めた 4 つの生産要素(低スキル労働者・高スキル労働者・オートメーション資本・伝統的物的資本)を用いたソローモデルに基づいたモデルを作り、そこに、高スキル労働者の生産性を決める技術水準を導入することで、スキル偏向的技術進歩を技術水準の上昇として表した。

分析の結果、スキル偏向的技術進歩はオートメーション資本の永続的な蓄積のきっかけになる可能性があることがわかった。また、スキル偏向的技術進歩とオートメーション資本の蓄積はそれぞれが賃金格差を拡大させる効果があるとわかった。

本研究の構成は以下のようになっている。第 2 章では、オートメーション資本を入れたモデルを設定し、オートメーション資本の動学を表す式を導出する。また、スキル偏向的技術進歩が瞬間的な場合と、持続的に技術水準を上昇させ続ける場合のそれぞれに対してモデルを設定する。第 3 章では、オートメーション資本の蓄積式をもとに、外生的に与えられる貯蓄率によって、どのように経済の成長経路が異なるのかを説明する。第 4 章では、瞬間的なスキル偏向的技術進歩が経済成長に与える影響を説明する。第 5 章では、スキル偏向的技術進歩とオートメーションは労働者の賃金にどのような影響を与えるのかを説明する。第 6 章では、結論を述べる。

第 2 章　モデル

2.1　瞬間的な技術進歩が起きるモデル

Lankisch et al(2019)のモデルをもとに、オートメーションを低スキル労働者と完全に代替可能な生産要素であるオートメーション資本としてモデルに導入する。そのモデルを用いて、高スキル労働者の生産性のみを向上させるスキル偏向的技術進歩が起きたときには、経済成長や賃金格差にどのような変化が見られるのかを分析する。スキル偏向的技術進歩については、Matthias Weiss(2008)のモデルを参考にした。

所得から一定の貯蓄率(s)で投資を行う家計が存在する経済を考える。家計は伝統的物的資本K(工場，オフィス，車など)もしくは、オートメーション資本P(産業ロボット, 3D プリンター，自動運転車など)の二種類の資本のどちらかに対して投資を行う。消費者の貯蓄率の意思決定については考えず、貯蓄率は外生的なものとする。また、時間tは連続的に増加し、人口成長率はn、技術水準をAとする。技術進歩は高スキル労働者の生産性のみを上昇させる、スキル偏向的技術進歩を考える。

生産要素は高いスキルを持った労働者L_s，低スキル労働者L_u，伝統的物的資本K，オートメーション資本Pの四種類。オートメーション資本と低スキル労働者は完全に代替可能であるとすると、最終財の生産量は以下の CES 型の生産関数で与えられる。

$$Y = \left[(1-\beta)L_s^{\gamma}A + \beta(P+L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot K^{\alpha}. \tag{1}$$

$\alpha \in (0,1)$は伝統的物的資本に対する生産量の弾力性($\{\partial Y/Y\}/\{\partial K/K\}$)を表し、$\beta \in (0,1)$は低スキル労働者及び、オートメーション資本への集約度を表しており、$\gamma \in (-\infty, 1]$は高スキル労働者と低スキル労働者の代替の弾力性を決めるパラメータである(代替弾力性: σ=1/1-γ)。低スキル労働者と高スキル労働者が完全に代替できる時は$\gamma = 1$、完全に補完的な関係の時は、$\gamma = -\infty$である。全人口Lについては、$L = L_s + L_u$が成立しており、毎期n%の成長をする。

伝統的物的資本Kとオートメーション資本Pは、家計の唯一の投資先である。全体の投資額の内、伝統的物的資本に投資される割合を$s_k \in [0,1]$とし、資本減耗率を$\delta \in (0,1)$とすると、それぞれの資本の資本蓄積式は以下の式で与えられる。(二種類の資本の間で資本減耗率は違うと考えられるが、減耗率の違いは結果に大きな影響を与えないと考えられる為、同じ減耗率とする。)

$$\dot{P} = (1-s_k)sY - \delta P \tag{2}$$

$$\dot{K} = s_k sY - \delta K \tag{3}$$

モデル簡略化の為、教育を受けるか受けないかの意思決定については内生化しないので、高スキル労働者と低スキル労働者の全人口に占める割合$l_s = L_s/L$，$l_u = L_u/L$は常に一定となる。一人当たりの生産量をy，一人当たりの伝統的物的資本をk，一人当たりオートメーション資本をpとい

うように、一人当たりの量を表す変数を小文字で表すこととすると、(1),(2),(3)式は以下のように書き換えることができる。

$$\mathrm{y} = \left[(1-\beta)l_s^{\gamma}A + \beta(p+l_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot k^{\alpha} \tag{4}$$

$$\dot{k} = s_k s y - \delta k \tag{5}$$

$$\dot{p} = (1-s_k) s y - \delta p \tag{6}$$

(5),(6)を足し合わせる事で、資本全体の蓄積式を導く事ができる。

$$\dot{p} + \dot{k} = s y - \delta(p+k) \tag{7}$$

伝統的物的資本への投資リターンr_kとオートメーション資本への投資リターンr_pについて、投資家は合理的であると仮定すると、$r_k = r_p$という式が成り立つ時のみ、投資家は両方の資本に対して投資を行う。生産関数(1)を用いて企業の利潤最大化の一階条件を導くと、それぞれの資本に対する投資リターンを求める事ができる。

$$r_K = \alpha K^{\alpha-1} \cdot \left[(1-\beta)L_s^{\gamma}A + \beta(P+L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \tag{8}$$

$$r_P = (1-\alpha)\beta K^{\alpha} \cdot (P+L_u)^{\gamma-1}\left[(1-\beta)L_s^{\gamma}A + \beta(P+L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}} \tag{9}$$

裁定取引が存在しない状況を仮定すると、$r_k = r_p$が常に成り立つ。$r_k = r_p$に(8),(9)を代入すると、

$$k = \frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^{\gamma}A}{(1-\alpha)\beta} \tag{10}$$

を得ることができ、伝統的物的資本を $l_u,\ l_s,\ p,\ A$によって表す事ができる。また、教育を受けるかどうかの意思決定は考えないことから、l_s, l_uは一定なので、この式から伝統的物的資本はp, Aの動きにのみ左右される事がわかる。

ここで、技術水準Aが非連続的な変化をすると仮定すると(10)式より、伝統的物的資本の時間変化は以下のように導く事ができる。

$$\dot{k} = \frac{\alpha\beta\dot{p} + \alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}(1-\gamma)(p+l_u)^{-\gamma}\dot{p}A}{(1-\alpha)\beta} \tag{11}$$

この(11)式と、(10)式を資本蓄積式(7)に代入することで、オートメーション資本pについてのみの資本蓄積式を導く事ができる。

$$\begin{aligned}\dot{p} = &\left[\frac{(1-\alpha)\beta}{\beta + \alpha(1-\beta)(1-\gamma)l_s^{\gamma}(p+l_u)^{-\gamma}A}\right] \cdot \\ &\left\{ s\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}A + \beta(p+l_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^{\gamma}A}{(1-\alpha)\beta}\right]^{\alpha} \right. \\ &\left. - (n+\delta)\left[p + \frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^{\gamma}A}{(1-\alpha)\beta}\right] \right\}\end{aligned} \tag{12}$$

この式は、技術水準Aがl_s^{γ}に掛かっている点以外には、Lankisch et al(2019)のモデルと変化がない。よって、Lankisch et al(2019)で示された、外生的に与えられる貯蓄率sがある値よりも大

きい時の、オートメーション資本の蓄積による技術進歩なしでの永続的な経済成長がこのモデルでも起こり得る。

(10)式において、オートメーション資本の蓄積が十分に進んでいる時、$p \gg l_u$となり、(10)式は$k = \frac{\alpha}{1-\alpha} p$と近似できるので、$p$と$k$は一次同次となる。また、生産関数(4)も$y = [\beta p^{\gamma}]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot k^{\alpha}$と近似する事ができ、$y$は$k, p$について一次同次と言える。よって、オートメーション資本の蓄積が進む時は、伝統的物的資本と生産量も同じ割合で成長し経済成長が進むと言える。

一方で、技術水準Aが成長率λで連続的に成長すると仮定したモデルを作ると、オートメーション資本の蓄積によって引き起こされる永続的な経済成長とは別に、技術水準の連続的な成長による永続的な経済成長、もしくは、その両方が関わる成長経路が起こり得ると考えられる。以上のような違いがあることから、この研究では、2 章でこれまで説明してきた瞬間的な技術進歩(非連続な技術進歩)が起きた場合の影響を分析するモデルに加えて、技術水準が常に一定の割合で成長していくモデルを作り、それぞれのモデルにおいて経済成長と賃金格差にオートメーション資本の蓄積やスキル偏向的技術進歩が与える影響を分析した。また、技術水準が常に一定の割合で成長していくモデルでは、その成長率が変化したときの賃金格差への影響についての分析も行った。

2.2　技術水準が常に一定の割合で成長していくモデル

技術水準Aが一定の成長率λで成長していくモデルを作る($A = e^{\lambda t}$)。瞬間的な技術進歩が起きるモデルとパラメータは同じだが、計算の都合上、生産関数の技術水準Aの指数をγに変更した。

$$Y = \left[(1-\beta) L_s^{\gamma} A^{\gamma} + \beta (P + L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot K^{\alpha}. \tag{13}$$

オートメーション資本と伝統的物的資本の資本蓄積式は、(2),(3)式と同じものが成立する。また、経済全体の資本蓄積を表す(2),(3)式が成り立つことから、一人当たりの資本蓄積を表す(5),(6),(7)式も成立する。

分析のために新しい変数$\hat{p}, \hat{k}, \hat{y}$を導入し、$\hat{p}$の動学を導くことで、技術進歩がオートメーション資本の蓄積や経済成長、賃金格差に与える影響を分析していく。$\left(\hat{p} = \frac{P}{LA}, \hat{k} = \frac{K}{LA}, \hat{y} = \frac{Y}{LA}\right)$

生産関数(13)と、資本蓄積式(7)から、以下の 3 つの式を導く事ができる。

$$\hat{y} = \left[(1-\beta) l_s^{\gamma} + \beta \left(\hat{p} + \frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \hat{k}^{\alpha}. \tag{14}$$

$$\dot{\hat{p}} = \frac{\dot{p}}{A} - \frac{p}{A} \cdot \lambda \tag{15}$$

$$\dot{\hat{k}} = \frac{\dot{k}}{A} - \frac{k}{A} \cdot \lambda \tag{16}$$

また、　$\hat{p},\hat{k}$それぞれの資本蓄積を表す(15),(16)式を足し合わせた式を、(7)式に代入する事で、$\hat{p}+\hat{k}$の動きを以下のように表す事ができる。

$$\dot{\hat{p}}+\dot{\hat{k}}=s\hat{y}-(n+\delta+\lambda)(\hat{p}+\hat{k}) \tag{17}$$

人口成長率 n が式の中に含まれているが、この研究において人口成長は重要な要因ではないため、以降の分析では無視することとする。

$$\dot{\hat{p}}+\dot{\hat{k}}=s\hat{y}-(\delta+\lambda)(\hat{p}+\hat{k}) \tag{18}$$

企業の利潤最大化について、それぞれの資本について一階条件を求めると、以下のような関係式を導く事ができる。

$$r_K=\alpha\hat{k}^{1-\alpha}\cdot\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \tag{19}$$

$$r_P=(1-\alpha)\beta\hat{k}^{\alpha}\cdot\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma-1}\left[(1-\beta)L_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}} \tag{20}$$

瞬間的な技術進歩が起きるモデルと同様に、合理的な投資家、無裁定取引という状況を仮定すると、$r_K=r_P$という式が常に成り立つ。これに(19),(20)式を代入することで、$\hat{k}$を$\hat{p}$に依存した変数として表す事ができる。

$$\hat{k}=\frac{\alpha\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta} \tag{21}$$

(21)式より、$\hat{p}$が十分大きい時$\hat{p}\gg\frac{l_u}{A}$と近似することができ、$\hat{k}$と$\hat{p}$は一次同次となる。また、(14)式より、$\hat{p}$が十分大きい時、$\hat{y}$は$\hat{p},\hat{k}$について一次同次となる。以上のことから、$\hat{p}$が成長していく過程では、$\hat{k},\hat{y}$も同じ成長率で成長し伝統的物的資本k,オートメーション資本p,生産量yが同じ割合で成長していく。以上のことから、オートメーション資本の永続的な増加が起こる場合、永続的な経済成長が起こると言える。

$\hat{k}$の時間変化は、以下のように表せる。

$$\dot{\hat{k}}=\frac{\alpha\beta\left(\dot{\hat{p}}-\frac{l_u}{A}\lambda\right)+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}(1-\gamma)\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{-\gamma}\left(\dot{\hat{p}}-\frac{l_u}{A}\lambda\right)}{(1-\alpha)\beta} \tag{22}$$

以上の(21),(22)式を、$\hat{p}+\hat{k}$の蓄積を表す(18)式に代入する事で、$\dot{\hat{p}}$を変数$\hat{k}$に依存しない関数として表す事ができる。

$$\dot{\hat{p}} = \left[\frac{(1-\alpha)\beta}{\beta+\alpha(1-\beta)(1-\gamma)l_s^{\gamma}\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{-\gamma}}\right]$$

$$\cdot\left\{s\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}\cdot\left[\frac{\alpha\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]^{\alpha}\right.$$

$$\left.-(\delta+\lambda)\left[\hat{p}+\frac{\alpha\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]\right\}$$

$$+\left[\frac{\alpha\beta+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}(1-\gamma)\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{-\gamma}}{\beta+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}(1-\gamma)\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{-\gamma}}\right]\cdot\frac{l_u}{A}\lambda \tag{23}$$

教育について考慮していないため、l_uは常に一定であり、技術水準Aは時間が経つに連れてどんどん大きくなっていく。この研究では、$\hat{p}$の蓄積を表す(23)式を簡略化するため、十分時間が経過し$l_u \ll A$という関係が成立する場合のみ考える。すると、(23)式は以下のように近似する事ができる。

$$\dot{\hat{p}} = \left[\frac{(1-\alpha)\beta}{\beta+\alpha(1-\beta)(1-\gamma)l_s^{\gamma}\hat{p}^{-\gamma}}\right]$$

$$\cdot\left\{s\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\hat{p}^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}\cdot\left[\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\hat{p}^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]^{\alpha}\right.$$

$$\left.-(\delta+\lambda)\left[\hat{p}+\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\hat{p}^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]\right\} \tag{24}$$

この式から、技術水準が一定の割合で成長していくモデルにおいても貯蓄率sの大小が、$\dot{\hat{p}}$の符号を決める大きな要因となっており、オートメーション資本pの蓄積の仕方に大きく関わっている事がわかる。3 章では、この章で紹介した 2 つのモデルを用いた分析から、外生的に与えられる貯蓄率の違いによって成長経路が異なる事がわかったので、その紹介をする。

第3章　貯蓄率によって異なる成長経路

3.1　瞬間的な技術進歩が起きるモデル

まず、瞬間的な技術進歩が起きるモデルにおいて、外生的に与えられる貯蓄率sによって与えられる経済成長のシナリオを調べた。Lankisch et al(2019)は、貯蓄率がある値より大きい時、技術進歩なしでの永続的な経済成長をする事ができると示し、貯蓄率が小さい時は技術進歩なしでのソローモデルのような定常状態に至ると述べている。本研究では、Lankisch et al(2019)で言及された永続的な経済成長をするかどうかの基準となる貯蓄率に加えて、オートメーション資本pが全く蓄積しないか、少なくとも0よりは大きくなるかの基準となる貯蓄率を導出した。

命題3.1

(25)式で定義される、オートメーション資本pが全く蓄積しないか、少なくとも0より は大きくなるかの基準となる貯蓄率s^*および、(26)式で定義される、永続的な経済成長をするかどうかの基準となる貯蓄率s^{**}と、外生的に与えられる貯蓄率sの大小関係により、以下のことが言える。

① $s < s^*$かつ$s < s^{**}$のとき

(12)式の$\dot{p}$は常に負となり、オートメーション資本の蓄積は全く進まず、$p = 0$となる。

② $s < s^*$かつ$s > s^{**}$のとき

全く資本蓄積が進まない場合と、オートメーション資本の蓄積が続き、永続的な経済成長をする場合の2つがある。(pの初期値によって、どちらの場合が起こるか決まる。)

③ $s > s^*$かつ$s < s^{**}$のとき

pは非負の定常状態に向かい経済成長はストップする。技術進歩なしのソローモデルのような状態になる。

④ $s > s^*$かつ$s > s^{**}$のとき

常に$\dot{p} > 0$なので、オートメーション資本は常に増加し続ける。このオートメーション資本の蓄積によって永続的な経済成長をする。

証明は、証明 3.1を見よ。

基準となる貯蓄率の導出

オートメーション資本pが全く蓄積しないか、少なくとも0より大きいかの基準となる貯蓄率$s*$、pが永続的に増加するかしないかの基準になる貯蓄率s^{**}を(12)式を用いて求める。技術水準Aは時間変化しないことから、オートメーション資本pの蓄積を表す(12)式はpについてのみの関数と捉えることができ、$\dot{p}(p)$と表す事ができる。この時、貯蓄率s^*は$\dot{p}(0) = 0$によって与えられる。($\dot{p}(0) > 0$であれば、オートメーション資本pがまったく蓄積しないということは起きな

い。）

また、貯蓄率s^{**}は$\dot{p}(\infty)=0$によって与えられる。

$$s^* = \frac{n+\delta}{\left[(1-\beta)l_s^\gamma A+\beta l_u^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta l_u + \alpha l_u^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^\gamma A}{(1-\alpha)\beta}\right]^{1-\alpha} \tag{25}$$

$$s^{**} = \beta^{-\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \alpha^{-\alpha} \cdot (1-\alpha)^{\alpha-1} \cdot (n+\delta) \tag{26}$$

この２つの基準となる貯蓄率と、外生的に与えられる貯蓄率sとの大小関係によって、経済の成長経路について以下の４つのシナリオを導くことができる。

証明 3.1

s^*が$\dot{p}(0)=0$で定義されていること、s^{**}は$\dot{p}(\infty)=0$によって定義されていることから、貯蓄率sとs^*,s^{**}の大小関係によって成長経路が異なることがわかる。以下、命題 3.1 の証明。

① $s<s^*$かつ$s<s^{**}$のとき

(12)式の$\dot{p}$は常に負となり、オートメーション資本の蓄積は全く進まず、$p=0$となる。

s^*,s^{**}の定義から、$s<s^*$かつ$s<s^{**}$は$\dot{p}(0)<0$かつ$\dot{p}(\infty)<0$を意味する。よって、常に$\dot{p}<0$となり、やがて$p=0$となる。

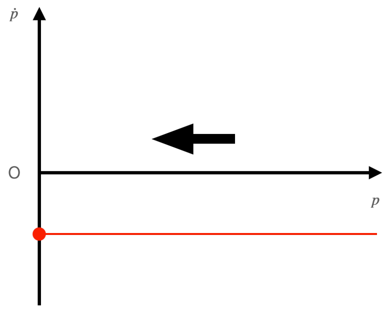

図 3.1(1)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 3.1(1)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。

貯蓄率がs^*,s^{**}の両方よりも小さければ、オートメーション資本への投資は、資本減耗や人口成長による減少量より常に小さくなってしまうと考えられる。

オートメーション資本の蓄積が 0 になっていても、伝統的物的資本の蓄積は 0 にならず、非負の定常状態に至る。両資本の蓄積が少ない時には、オートメーション資本よりも伝統的物的資本のリターンが大きいことを表しているのではないかと考えられる。(例：発展しておらず、民家しか無い町では、チャットボットや自動運転車の導入よりも先に、オフィスやパソコンを購入した方が町全体の生産量が増加する。)

② $s<s^*$かつ$s>s^{**}$のとき

全く資本蓄積が進まない場合と、オートメーション資本の蓄積が続き、永続的な経済成長をす

る場合の２つがある。pの初期値によって、どちらの場合が起こるか決まる。

s^*, s^{**}の定義から、$s < s^*$かつ$s > s^{**}$は$\dot{p}(0) < 0$かつ$\dot{p}(\infty) > 0$を意味する。なので、(12)式は必ず $\dot{p} = 0$と交わる。交点より小さい初期値pをもてば、$\dot{p}$は常に負の値をとり、交点より大きい初期値pをもてば、$\dot{p}$は常に正の値をとる。

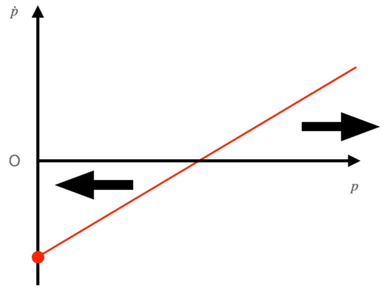

図 3.1(2)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 3.1(2)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。
貯蓄率sがs^{**}より大きいことから、pが十分蓄積されているときは、オートメーション資本に対する再投資額の方が資本減耗や人口成長による一人当たり資本の減少額よりも大きく、どんどんとオートメーション資本pが蓄積していく。一方でpが小さいときは、生産要素全体に占める労働者の割合が大きく、その分、アウトプットにおける労働者への賃金の割合が大きくなる。このとき、貯蓄率がs^*よりも小さければオートメーション資本への再投資が資本減耗や人口成長に負け、オートメーション資本は蓄積しない。伝統的物的資本については、①と同じことが言える。

③ $s > s^*$かつ$s < s^{**}$のとき

pは非負の定常状態に向かい経済成長はストップする、技術進歩なしのソローモデルのような状態になる。

s^*, s^{**}の定義から、$s > s^*$かつ$s < s^{**}$は$\dot{p}(0) > 0$かつ$\dot{p}(\infty) < 0$を意味する。なので、(12)式は必ず $\dot{p} = 0$と交わる。交点より小さい初期値pをもてば、$\dot{p}$は正の値をとり交点に向かう、交点より大きい初期値pをもてば、$\dot{p}$は負の値をとり、この場合も交点に向かう。よって、この交点が定常点となっている。

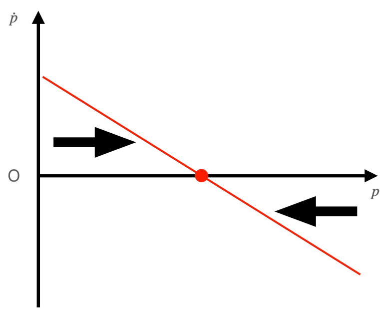

図 3.1(3)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 3.1(3)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。$\dot{p} = 0$との交点が定常点。

オートメーション資本の蓄積が少ないといは、貯蓄率sがs^*よりも大きいので定常点まで資本が蓄積をしていく。しかし、定常点よりも多くなると、貯蓄率sがs^{**}よりも小さいことから、オートメーション資本に対する再投資額よりも、資本減耗や人口成長による一人当たり資本の減少額の方が大きくなり、定常点までオートメーション資本は減少していく。(技術進歩なしのソローモデルのような状態。)

④ $s > s^*$かつ$s > s^{**}$のとき

常に$\dot{p} > 0$となるので、オートメーション資本は常に増加し続ける。このオートメーション資本の蓄積によって永続的な経済成長をする。

s^*, s^{**}の定義から、$s > s^*$かつ$s > s^{**}$は$\dot{p}(0) > 0$かつ$\dot{p}(\infty) > 0$を意味する。よって、常に$\dot{p} > 0$となり、常にpは増加し続ける。

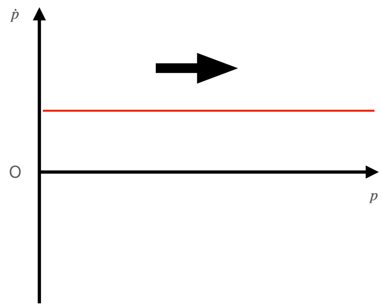

図 3.1(4)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 3.1(4)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。

オートメーション資本、伝統的物的資本に対する再投資が永続的経済成長を可能にする。

3.2　技術水準が常に一定の割合で成長していくモデル

技術水準が常に一定の割合で成長していくモデルにおいても、貯蓄率sの大小によって 成長経路に違いがあった。3.1 と同様の方法で、基準となる貯蓄率を導出し、 2 つの異なる成長経路を導く。

命題 3.2

(27)式で定義される貯蓄率s^*および、(28)式で定義される貯蓄率s^{**}と、貯蓄率sの大小関係により、以下のことが言える。

① $s > s^{**}$のとき

$\hat{p}$は常に増加し続け、オートーメーション資本の蓄積が永続的な経済成長を起こす。

② $s < s^{**}$のとき

$\hat{p}$は非負の定常点を持ち、$\hat{p}, \hat{k}$は定常状態に向かう。

証明は、証明 3.2 を見よ。

基準となる貯蓄率の導出

$\hat{p}$が全く蓄積しないか、少なくとも 0 より大きいかの基準となる貯蓄率s^*、$\hat{p}$が永続的に増加するか、永続的には増加しないかの基準になる貯蓄率s^{**}を(24)式を用いて求める。$\hat{p}$以外のパラメータは時間変化しないため、(24)式は$\dot{\hat{p}}(\hat{p})$と表す事ができる。この時、貯蓄率s^*は$\dot{\hat{p}}(0) = 0$によって求められ、貯蓄率s^{**}は$\dot{\hat{\mathrm{p}}}(\infty) = 0$によって求められる。

$$s^* = 0 \tag{27}$$

$$s^{**} = \beta^{-\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \alpha^{\alpha} \cdot (1-\alpha)^{\alpha-1} \cdot (\delta + \lambda) \tag{28}$$

$s^* = 0$より、技術水準が上昇し続ける状況では、どのような貯蓄率であっても$\hat{p}$の蓄積は少なくとも 0 より大きく、オートメーション資本は常に増加し続ける。また、連続的な技術進歩の効果として、どのような貯蓄率であっても永続的なオートメーション資本の蓄積と、永続的な経済成長を発生させる効果があるとわかった。

ただし、s^{**}と外生的に与えられる貯蓄率sとの大小関係によって、永続的な経済成長の要因がオートメーション資本の蓄積なのか、技術進歩なのかが異なる。

証明 3.2

① $s > s^{**}$のとき

$\dot{\hat{p}}$は常に正の値をとる。$\hat{p}$は常に増加し続け、オートーメーション資本の蓄積が永続的な経済成長を起こす。

s^{**}の定義から、$s > s^{**}$は$\dot{\hat{p}}(0) > 0$かつ$\dot{\hat{p}}(\infty) > 0$を意味する。よって、常に$\dot{\hat{p}} > 0$となり、$\hat{p}$は常に増加し続ける。

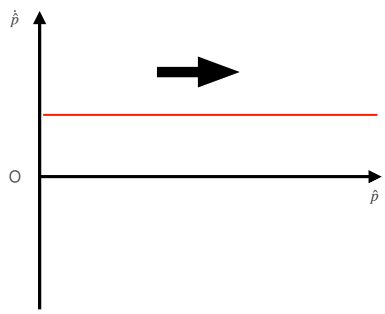

図 3.2(1)

赤い線は、(24)式の右辺を表す

図 3.2(1)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(24)式の右辺を表している。

この場合、3.1 の④と同じような状況になることから、以後の章ではこのシナリオについての

分析は行わない。

② $s < s^{**}$のとき

$\hat{p}$は非負の定常点を持ち、$\hat{p}, \hat{k}$は定常状態に向かう。

s^{**}の定義から、$s < s^{**}$は$\dot{\hat{p}}(0) > 0$かつ$\dot{\hat{p}}(\infty) < 0$を意味する。なので、(24)式は必ず$\dot{\hat{p}} = 0$と交わる。交点より小さい初期値$\hat{p}$をもてば、$\dot{\hat{p}}$は正の値をとり交点に向かう、交点より大きい初期値$\hat{p}$をもてば、$\dot{\hat{p}}$は負の値をとり、この場合も交点に向かう。よって、この交点が$\hat{p}$の定常点となっている。

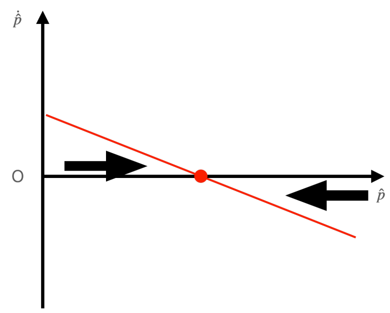

図 3.2(2)

赤い線は、(24)式の右辺を表す

図 3.2(2)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(24)式の右辺を表している。$\dot{\mathrm{p}} = 0$との交点が定常点。

定常状態では、$\hat{p}$は技術水準Aの成長率λで成長する。kについては、企業の利潤最大化の一階条件と無裁定取引より、

$$k = \frac{\alpha\beta(p + l_u) + \alpha(1 - \beta) l_s^{\gamma}(p + l_u)^{1-\gamma} A^{\gamma}}{(1 - \alpha)\beta} \tag{29}$$

であり、十分な時間が経過してp, Aが大きいとき、以下のように近似する事ができる。

$$k = \frac{\alpha\beta p + \alpha(1 - \beta) l_s^{\gamma} p^{1-\gamma} A^{\gamma}}{(1 - \alpha)\beta} \tag{30}$$

(30)式より、kはpとAについて一次同次なので、以下の式が成り立つ。

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{p}}{p} = \frac{\dot{A}}{A} = \lambda \tag{31}$$

k, p, Aは同じ成長率で成長する。また、一人当たり生産量yについても、p, Aが十分大きいとき、p, k, Aについて一次同次なので、伝統的物的資本及び、オートメーション資本、生産量は技術水準の成長率λで成長する。

第 4 章　瞬間的な技術進歩が経済成長に与える影響

3.1 では瞬間的な技術進歩が起こらない状態で、貯蓄率の大小により、異なる経済成長のシナリオがあることを示した。本章では、瞬間的な技術水準の上昇が経済成長に与える影響についての分析結果を記述する。

瞬間的なスキル偏向的技術進歩が経済成長に与える影響については、以下の 4 つのことがわかった。(i) s^*を小さくする、(ii) 貯蓄率 s が$s > s^{**}$を満たさないときは(3.1 の①,③)、技術進歩は永続的な経済成長へのきっかけにはならない、(iii) 貯蓄率 s が$s < s^*$,$s > s^{**}$の両方を満たし、定常状態に至っている状態では(3.1 の③の成長経路)、p, kの定常点を大きくし、資本蓄積を大きくする。(iv) 貯蓄率 s が$s > s^*$,$s < s^{**}$の両方を満たしているとき(3-1 の②)、永続的な経済成長へのきっかけになる。

命題 4.1

瞬間的な技術水準の上昇が、経済成長に与える影響として以下の 2 つのことを証明することができる。

① s^*を小さくする。

② 貯蓄率 s が$s > s^{**}$を満たさないときは(3-1 の①,③)、技術進歩は永続的な経済成長へのきっかけにはならない。

以下で、これを証明する。

証明 4.1

① s^*を小さくする。

s^*が小さくなることは、オートメーション資本pが少しは蓄積しやすくなることを意味している。

s^*を小さくする効果は、(25)式を技術水準Aで偏微分することによって導くことができる。

$$\frac{\partial s^*}{\partial A} = -\frac{(n+\delta)\alpha^{2-\alpha} l_u^{(1-\gamma)(1-\alpha)} (1-\beta) l_s^{\gamma}}{(1-\alpha)^{1-\alpha}\beta^{1-\alpha}} \left[(1-\beta) l_s^{\gamma} A + \beta l_u^{\gamma}\right]^{-(1+\alpha)} \tag{32}$$

(32)式より、以下のことが言える。

$$\frac{\partial s*}{\partial A} < 0 \tag{33}$$

(33)式より、瞬間的な技術進歩はs^*を小さくし、オートメーション資本pの蓄積を促す効果があることがわかる。労働者の生産性が上昇することで、生産要素のインプットが同じでも生産量が増え、貯蓄量も増えるので、それによってオートメーション資本の蓄積が起きやすくなると考えられる。

② 貯蓄率 s が$s > s^{**}$を満たさないときは(3-1 の①,③)、技術進歩は永続的な経済成長へのきっかけにはならない。

s^{**}は(26)式によって得られるが、(26)式は技術水準Aに影響を受ける変数を含まないため、変化しない。s^{**}の定義より、オートメーション資本が無限に蓄積するかしないかは貯蓄率 s がs^{**}よりも大きいかどうかによって決まる。なので、技術水準がどれだけ高くなっても、貯蓄率がs^{**}より小さければ、オートメーション資本の蓄積は進まず、永続的な経済成長はしない。

また、以上の 2 つの効果以外にも、もう 2 つ効果があると考えられる。
③ 貯蓄率 s が$s < s^{*}, s > s^{**}$の両方を満たし、定常状態に至っている状態では(3-1 の③の成長経路)、p, kの定常点を大きくし、資本蓄積を大きくする。
④ 貯蓄率 s が$s > s^{*}, s < s^{**}$の両方を満たしているとき(3-1 の②)、永続的な経済成長へのきっかけになる。
の 2 つだ。以下説明。

③ 貯蓄率 s が$s < s^{*}, s > s^{**}$の両方を満たし、定常状態に至っている状態では(3-1 の③の成長経路)、p, kの定常点を大きくし、資本蓄積を大きくする。

生産要素のインプットの増加なしでも、生産量が増えることからオートメーション資本pの定常点が大きくなり、また、それに連動して伝統的物的資本kの定常点も大きくなる。

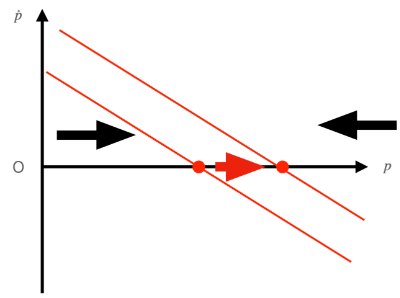

図 4(1)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 4(1)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。$\dot{p} = 0$との交点が定常点になり、生産量が増えることで定常点が右に移動する。
④ 貯蓄率 s が$s > s^{*}, s < s^{**}$の両方を満たしているとき(3-1 の②)、永続的な経済成長へのきっかけになる。
瞬間的な技術進歩が起こることによって、資本蓄積式が上へシフトし、$\dot{p}$が一瞬でも 0 より大きくなれば、永続的な経済成長をする経路に変化する。

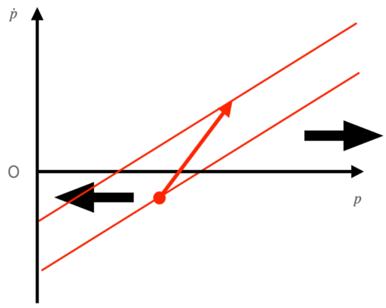

図 4(2)

赤い線は、(12)式の右辺を表す

図 4(2)はオートメーション資本pの位相図で、赤い線が(12)式の右辺を表している。瞬間的なスキル偏向的技術進歩によって$\dot{p}$が 0 より大きくなる可能性がある。

第 5 章　技術進歩が賃金格差に与える影響

この章では、瞬間的な技術進歩が起きるモデルと技術水準が常に一定の割合で成長していくモデルのそれぞれにおいて、オートメーション資本の蓄積と技術進歩が賃金格差に与える影響について分析する。

5.1　瞬間的な技術進歩が起きるモデル

命題 5.1.

瞬間的な技術進歩が賃金に与える影響として、以下の 3 つのことを導ける。

①賃金格差を拡大させる。

②高スキル労働者の賃金を上昇させる。

③低スキル労働者と高スキル労働者の代替が容易な時、低スキル労働者の賃金を減少させる。

また、オートメーション資本の蓄積については、Lankisch et al(2019)と同じく、以下の 3 つの影響を導くことができる

④賃金格差を拡大させる。

⑤低スキル労働者の賃金を減少させる。

⑥低スキル労働者と高スキル労働者の代替が容易な時、高スキル労働者の賃金も減少させる。

以下、証明。

証明 5.1

企業の利潤最大化の一階条件より、高スキル労働者の賃金w_s,低スキル労働者の賃金w_uを以下のように求めることができる。

$$w_s = (1-\alpha)\frac{Y}{L_s^{1-\gamma}} \cdot \frac{(1-\beta)}{(1-\beta)L_s^{\gamma}A + \beta(P+L_u)^{\gamma}} \cdot A \tag{34}$$

$$w_u = (1-\alpha)\frac{Y}{(P+L_u)^{1-\gamma}} \cdot \frac{\beta}{(1-\beta)L_s^{\gamma}A + \beta(P+L_u)^{\gamma}} \tag{35}$$

また、以上の 2 つの式から、スキルプレミアムは以下の式で与えられる。

$$\frac{w_s}{w_u} = \frac{1-\beta}{\beta} \cdot \left(\frac{P+L_u}{L_s}\right)^{1-\gamma} \cdot A \tag{36}$$

Lankisch et al(2019)と同じく、オートメーション資本の蓄積は賃金格差を拡大する。また、技術水準Aの瞬間的な上昇が賃金格差を拡大することもわかった。

スキル偏向的技術進歩が労働者の賃金に与える影響については、(34),(35)式をAで偏微分することで以下のように得ることができる。

$$\frac{\partial w_s}{\partial A} = \frac{(1-\alpha)(1-\beta)}{L_s^{1-\gamma}} Y \cdot \frac{1}{\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]^2} \cdot \frac{(1-\alpha-\gamma)(1-\beta)L_s^\gamma + \left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]}{\gamma}$$

$$\frac{\partial w_s}{\partial A} > 0$$

$$\frac{\partial w_u}{\partial A} = \frac{(1-\alpha)\beta Y}{(P+L_u)^{1-\gamma}} \cdot \frac{(1-\beta)L_s^\gamma}{\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]^2} \cdot \frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}$$

$(1-\alpha-\gamma)\beta(P+L_u)^\gamma < (1-\gamma)[\beta(P+L_u)^\gamma]$より、

$$\frac{\partial w_u}{\partial A} = \begin{cases} \geq 0 \ \ for \ \ (1-\alpha \geq \gamma) \\ \leq 0 \ \ for \ \ (1-\alpha \leq \gamma) \end{cases}$$

高スキル労働者の賃金はスキル偏向的技術進歩によって上昇する。低スキル労働者が高スキル労働者で簡単に代用できる場合には、低スキル労働者の賃金は下がり、代用困難なときには賃金が上昇することがわかった。

また、自動化については、(34),(35)式をオートメーション資本Pで偏微分することで、オートメーション資本の蓄積がそれぞれの労働者の賃金に与える影響を以下のように得ることができる。

$$\frac{\partial w_s}{\partial P} = (1-\alpha)Y \cdot \frac{(1-\beta)\beta L_s^\gamma}{L_s(P+L_u)^{1-\gamma}} \cdot \frac{1-\alpha-\gamma}{\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + (P+L_u)^\gamma\right]^2}$$

$$\frac{\partial w_s}{\partial P} = \begin{cases} \geq 0 \ \ (1-\alpha \geq \gamma) \\ \leq 0 \ \ (1-\alpha \leq \gamma) \end{cases}$$

$$\frac{\partial w_u}{\partial P} = \frac{(1-\alpha)\beta Y}{(P+L_u)^{2-\gamma}} \cdot \frac{(1-\alpha-\gamma)\beta(P+L_u)^\gamma - (1-\gamma)\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]}{\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]^2}$$

$$\frac{\partial w_s}{\partial P} < 0$$

高スキル労働者が、低スキル労働者及びオートメーション資本との代用が容易であれば高スキル労働者の賃金は下がるが、代用困難であれば、オートメーション資本の蓄積によって高スキル労働者の賃金は上昇する。

低スキル労働者は、オートメーション資本の蓄積が進むことによって、高スキル労働者との代替弾力性にかかわらず賃金が低下する。

オートメーション資本の蓄積は、労働者の賃金を減少させる側面が強い一方で、技術進歩は賃金を増加させる側面が強くなった。理由としては、技術進歩による労働者の生産性の向上は、企業が労働者に支払う対価の上昇につながるが、オートメーション資本の蓄積による企業の収入の増加は、オートメーション資本への再投資につながり、労働者への対価の増加にはならないとい

うことが考えられる。

5.2　技術水準が常に一定の割合で成長していくモデル

ここでは、オートメーション資本の蓄積による永続的経済成長をするシナリオではなく、技術進歩による永続的な経済成長をする場合についての分析のみ行う。(オートメーション資本の蓄積による永続的経済成長は、5.1 において分析しているため。)

命題 5.2

一定の技術進歩が賃金格差に与える影響として、以下の 3 つのことを導くことができる。

①賃金格差を拡大させる。

②高スキル労働者の賃金を上昇させる。

③低スキル労働者の賃金には影響を与えない。

以下で証明する。

証明 5.2

4.1 と同様の方法で、企業の利潤最大化の一階条件より、高スキル労働者の賃金w_s,低スキル労働者の賃金w_uを求めることができる。

$$w_s = (1-\alpha)\frac{\hat{y}}{l_s^{1-\gamma}} \cdot \frac{(1-\beta)}{(1-\beta)l_s^\gamma A^\gamma + \beta\left(\hat{p} + \frac{l_u}{A}\right)^\gamma} \cdot A$$

$$w_u = (1-\alpha)\frac{\hat{y}}{\left(\hat{p} + \frac{l_u}{A}\right)^{1-\gamma}} \cdot \frac{\beta}{(1-\beta)l_s^\gamma + \beta\left(\hat{p} + \frac{l_u}{A}\right)^\gamma}$$

スキルプレミアムは以下のようになる。

$$\frac{w_s}{w_u} = \frac{1-\beta}{\beta} \cdot \left(\frac{P + L_u}{L_s}\right)^{1-\gamma} \cdot A^\gamma$$

この式から、技術水準Aが大きくなれば、賃金格差が拡大することがわかる。

また、tが十分大きいときの賃金は以下のように表すことができる。

$$w_s = (const) \cdot A$$

$$w_u = (const)$$

この式から、命題 5.2②「高スキル労働者の賃金を上昇させる。」と、命題 5.2③「低スキル労働者の賃金には影響を与えない。」が言える。

4.1 の瞬間的技術進歩と同じように、技術進歩は高スキル労働者の賃金を上げる効果が強く、賃金を下げる効果は見られない。低スキル労働者の賃金が長期的に一定になるのは、一人当たり

生産量の増加による賃金上昇効果と、オートメーション資本の蓄積による賃金減少効果が均衡するためだと考えられる。

tが十分大きいときのスキルプレミアムは次のようになる。

$$\frac{w_s}{w_u} = \frac{1-\beta}{\beta}\hat{\mathrm{p}}^{1-\gamma} \cdot A \tag{37}$$

(37)式から、技術水準の成長率λが大きくなったとき以下の2つの効果が発生することが考えられる。

① $\hat{p}$の定常点が小さくなることによって生じる、短期的な賃金格差の縮小
② 技術水準Aの成長率λが大きくなることによって生じる、長期的な賃金格差の拡大

この2つの効果の大小を調べるため、シミュレーションを行った。

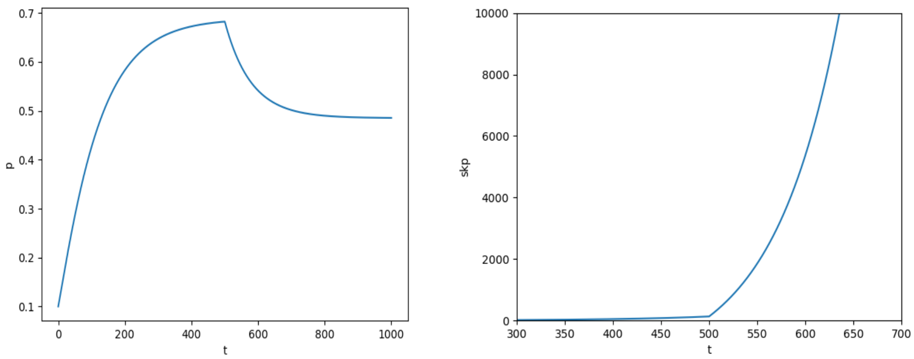

図 5.2

左の図は、オートメーション資本pを縦軸、時間tを横軸にとったもの

右の図は、スキルプレミアム(w_s/w_u)を縦軸、時間tを横軸にとったもの

図 5.2 左のグラフは$\hat{p}$を縦軸にとっており、右のグラフは、スキルプレミアムを縦軸にとっている。時間が 500 になった時点でλを 1.5 倍にしている。

表 5.2 は使用したパラーメータの値を載せている。パラメータは Lankisch et al(2019)と同じものを使っている(貯蓄率については、技術進歩による永続的経済成長が起きている時を調べるため、低い数値を利用している。)。

パラメータ	値
s	0.14
δ	0.04
α	0.33
β	0.5
γ	0.7
l_s	0.23

l_u	0.77
λ（初期値）	0.01

Lankisch et al(2019)より

表 5.2

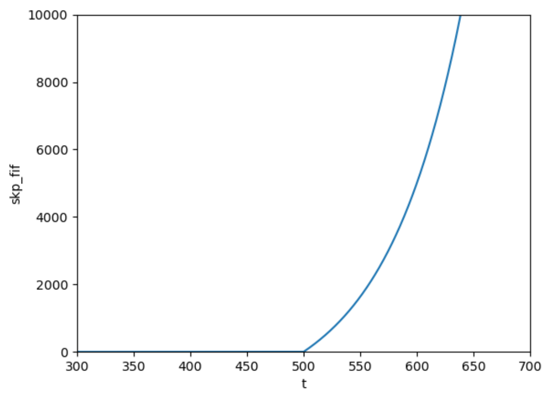

図 5.3

図 5.3 は、λを途中で変化させなかった時のスキルプレミアムを、変化させた時のスキルプレミアムから引くことで、λの変化が賃金格差に与える影響を表したもの。

シミュレーションの結果では、①の効果よりも②の効果が大きく、技術進歩が加速することは賃金格差を拡大する効果を持つという結果になった。$\hat{p}$の定常点が下がる効果は、グラフをしたに凸の形にするような形で現れているが、λの変化率を変えても、賃金格差を拡大する効果が常に大きいことがわかった。

第６章　おわりに

本研究では、瞬間的な技術進歩と、技術水準が一定の割合で成長していく場合の、２種類のスキル偏向的技術進歩についてそれぞれのモデルを作り、自動化とスキル偏向的技術進歩が経済成長や賃金格差にどのような影響を与えるのかを分析した。本章では、本研究で明らかになったことと、本研究の問題点を書く。

瞬間的な技術進歩が経済成長に与える影響としては、定常状態における資本の蓄積量を増加させる効果に加えて、定常状態から永続的な経済成長へのきっかけとなりうることがわかった。技術水準が一定の割合で成長していくモデルでは、どのような貯蓄率であってもオートメーション資本の蓄積、経済成長は起こるという結果になったが、貯蓄率の大小によって経済成長の原因が異なり、貯蓄率が大きければオートメーション資本の蓄積による経済成長であり、貯蓄率が小さければ、技術進歩による経済成長をする。

労働者の賃金に与える影響としては、オートメーション資本の蓄積は低スキル労働者の賃金を減少させ、スキル偏向的技術進歩は高スキル労働者の賃金を増加させる効果があった。また、どちらも賃金格差を拡大させる効果を持っていた。

以上の結果から、本研究を以下のように結論づける。

スキル偏向的技術進歩は、オートメーション資本の永続的な蓄積を促す効果があり、オートメーション資本の蓄積とスキル偏向的技術進歩は共に賃金格差を拡大させる効果がある。

スキル偏向的技術進歩は、オートメーション資本の永続的な経済成長を促す効果があると結論付けたが、この効果はスキル偏向的であるかどうかによらず、全要素生産性の上昇によるものだと考えられる。Japan Productivity Center(2020.4)のデータを元に日本の 2000 年~2018 年の全要素生産生上昇率の幾何平均を求めると 0.8%となる。本研究の結果では、貯蓄率がある基準より大きいか小さいかが永続的なオートメーション資本の蓄積による経済成長をするかどうかに大きくかかわっているが、もし、永続的なオートメーション資本の蓄積に必要な貯蓄率を日本が満たすとすれば、将来的にオートメーション資本の蓄積による永続的な経済成長を辿る。また、その場合には高スキル労働者と低スキル労働者の賃金格差は拡大を続ける。Lankisch et al(2019)では、オートメーションによるネガティブな影響を和らげる策として、高等教育への投資を挙げているが、オートメーション資本にとって変わられにくい労働者の比率を高めることが策として考えられる。

問題点としては、まず、貯蓄率を外生的に与えていることだ。本研究では貯蓄率によって４つの経済成長のシナリオがあるという結果になったが、貯蓄率を内生化することができれば、どのように経済成長するのかを資本の初期値によって一意に求めることができると考えられる。本研究では、経済成長と賃金格差を関連付けない結果を示したが、経済の成長経路を一意に求めることができれば、経済成長と賃金格差を関連付けた結果を見ることができると考えられる。

また、家計の行動をモデルに入れることで、本研究のようなスキル偏向的技術進歩もしくはオートメーション資本の蓄積が起こればその分だけ賃金格差が広がるという結果とは別の結果になる可能性がある。Matthias Weiss(2008)では、消費者の選好をモデルに入れることによって、ス

キル偏向的技術進歩による賃金格差は短期的なものであり、必ずしも賃金格差の継続的な増加にはつながらないと示している。

本研究の結論として、オートメーションやスキル偏向的技術進歩は賃金格差を拡大させると述べた。一方で、自動化と技術進歩についてオートメーション資本とは別の方法で分析しているAcemoglu and Restrepo(2011)では、短期的には自動化も新技術も賃金格差を増加させる効果があるが、長期的には低スキル労働者と高スキル労働者の賃金格差が均衡する可能性があると述べている。スキル偏向的技術進歩と自動化が賃金格差に与える影響、特に長期的な影響について、本研究のモデルでは説明不十分である。

参考文献

[1] Clemens Lankisch, Klaus Prettner, Alexia Prskawetz, “How can robots affect wage inequality?” , Economic Modeling, 81 (2019), pp161-169

[2] Guido Cazzavillana, Krzysztof Olszewskib, “Skill-biased technological change, endogenous labor supply and growth: A model and calibration to Poland and the US ”, Research in Economics, 65(2011), pp124-136

[3] Daron Acemoglu, Pascual Restrepo, “The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment”, American Economic Review, 108(2018), pp1488-1542

[4] Matthias Weiss, “skill-biased technological change: Is there hope for the unskilled? ”, Economics Letters, 100(2008), pp439-441

[5] Japan Productivity Center, 「生産性データベース 2020 年 4 月」、(https://www.jpc-net.jp/research/assets/doc/58b914b5c2937dc6494e6f27d0b9eab6.xlsx 閲覧日: 2021 年 1 月 31 日)

Appendix

1. 瞬間的な技術進歩が起きるモデル

A. 企業の利潤最大化

利潤： $\pi = Y - r_K K - r_p P - w_u L_u - w_s L_s$
をそれぞれの資本P, K、労働L_s, L_uで偏微分すると、以下の式が得られる

$$r_K = \alpha K^{\alpha-1} \cdot \left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}$$

$$r_P = (1-\alpha)\beta K^\alpha \cdot (P+L_u)^{\gamma-1}\left[(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}}$$

$$w_s = (1-\alpha)\frac{Y}{L_s^{1-\gamma}} \cdot \frac{(1-\beta)}{(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma} ¥cdotA$$

$$w_u = (1-\alpha)\frac{Y}{(P+L_u)^{1-\gamma}} \cdot \frac{\beta}{(1-\beta)L_s^\gamma A + \beta(P+L_u)^\gamma}$$

B. 基準となる貯蓄率の導出

オートメーション資本の蓄積式：

$$\dot{p} = \left[\frac{(1-\alpha)\beta}{\beta + \alpha(1-\beta)(1-\gamma)l_s^\gamma(p+l_u)^{-\gamma}A}\right] \cdot$$
$$\left\{ s\left[(1-\beta)l_s^\gamma A + \beta(p+l_u)^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^\gamma A}{(1-\alpha)\beta}\right]^\alpha \right.$$
$$\left. - (n+\delta)\left[p + \frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^\gamma A}{(1-\alpha)\beta}\right]\right\}$$

の{}の中の符号が正の部分を$f_1(p)$、符号が負の部分を$f_2(p)$とする。

$$f_1(p) = s\left[(1-\beta)l_s^\gamma A + \beta(p+l_u)^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^\gamma A}{(1-\alpha)\beta}\right]^\alpha$$

$$f_2(p) = (n+\delta)\left[p + \frac{\alpha\beta(p+l_u) + \alpha(p+l_u)^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^\gamma A}{(1-\alpha)\beta}\right]$$

$f_1(0) = f_2(0)$となる貯蓄率がs^*、$f_1(\infty) = f_2(\infty)$となる貯蓄率が$s^{**}$。
$f_1(0), f_2(0), f_1(\infty), f_2(\infty)$：

$$f_1(0) = s\left[(1-\beta)l_s^\gamma A + \beta l_u^\gamma\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta l_u + \alpha(1-\beta)l_s^\gamma l_u^{1-\gamma} A}{(1-\alpha)\beta}\right]^\alpha$$

$$f_2(0)=(n+\delta)\left[\frac{\alpha\beta l_u+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}l_u^{1-\gamma}A}{(1-\alpha)\beta}\right]$$

$$f_1(\infty)=s\cdot\beta^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}\cdot\alpha^{\alpha}\cdot(1-\alpha)^{-\alpha}\cdot p$$

$$f_2(\infty)=\frac{n+\delta}{1-\alpha}\cdot p$$

上の 2 式を$f_1(0)=f_2(0)$に代入すると、

$$s^*=\frac{n+\delta}{\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}A+\beta l_u^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}}\cdot\left[\frac{\alpha\beta l_u+\alpha l_u^{1-\gamma}(1-\beta)l_s^{\gamma}A}{(1-\alpha)\beta}\right]^{1-\alpha}$$

下の 2 式を$f_1(\infty)=f_2(\infty)$に代入すると、

$$s^{**}=\beta^{-\frac{1-\alpha}{\gamma}}\cdot\alpha^{-\alpha}\cdot(1-\alpha)^{\alpha-1}\cdot(n+\delta)$$

2.　瞬間的な技術進歩が起きるモデル

A. 企業の利潤最大化

利潤：　$\pi=Y-r_KK-r_pP-w_uL_u-w_sL_s$

をそれぞれの資本P,K、労働L_s,L_uで偏微分すると、以下の式が得られる

r_K：

$$r_K=\alpha K^{\alpha-1}\cdot\left[(1-\beta)L_s^{\gamma}A^{\gamma}+\beta(P+L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}$$

$$r_K=\alpha\widehat{k^{\alpha-1}}\cdot\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}}$$

r_P：

$$r_P=(1-\alpha)\beta K^{\alpha}\cdot(P+L_u)^{\gamma-1}\left[(1-\beta)L_s^{\gamma}A^{\gamma}+\beta(P+L_u)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}}$$

$$r_P=(1-\alpha)\beta\widehat{k^{\alpha}}\cdot\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma-1}\left[(1-\beta)L_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha-\gamma}{\gamma}}$$

w_s：

$$w_s=(1-\alpha)\frac{Y}{L_s^{1-\gamma}}\cdot\frac{(1-\beta)}{(1-\beta)L_s^{\gamma}A^{\gamma}+\beta(P+L_u)^{\gamma}}A^{\gamma}$$

分子、分母をAでわる。

$$w_s=(1-\alpha)\frac{\hat{y}}{l_s^{1-\gamma}}\cdot\frac{(1-\beta)}{(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}}\cdot A$$

w_u：

$$w_u=(1-\alpha)\frac{Y}{(P+L_u)^{1-\gamma}}\cdot\frac{\beta}{(1-\beta)L_s^{\gamma}A^{\gamma}+\beta(P+L_u)^{\gamma}}$$

$$w_u = (1-\alpha)\frac{\hat{y}}{\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{1-\gamma}} \cdot \frac{\beta}{(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\left(\hat{p}+\frac{l_u}{A}\right)^{\gamma}}$$

B. 基準となる貯蓄率の導出

オートメーション資本の蓄積式：

$$\dot{\hat{p}} = \left[\frac{(1-\alpha)\beta}{\beta+\alpha(1-\beta)(1-\gamma)l_s^{\gamma}\hat{p}^{-\gamma}}\right] \cdot \left\{ s\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\hat{p}^{\gamma}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\hat{p}^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]^{\alpha} - (\delta+\lambda)\left[\hat{p}+\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\hat{p}^{1-\gamma}}{(1-\alpha)\beta}\right]\right\}$$

の{}の中の符号が正の部分を$f_1(p)$、符号が負の部分を$f_2(p)$とする。

$$f_1(p) = s\left[(1-\beta)l_s^{\gamma}+\beta\widehat{p^{\gamma}}\right]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \left[\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\widehat{p^{1-\gamma}}}{(1-\alpha)\beta}\right]^{\alpha}$$

$$f_2(p) = (\delta+\lambda)\left[\hat{p}+\frac{\alpha\beta\hat{p}+\alpha(1-\beta)l_s^{\gamma}\widehat{p^{1-\gamma}}}{(1-\alpha)\beta}\right]$$

$f_1(0), f_2(0), f_1(\infty), f_2(\infty)$：

$$f_1(0) = 0$$

$$f_2(p) = 0$$

$$f_1(\infty) = s \cdot \beta^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \alpha^{\alpha} \cdot (1-\alpha)^{-\alpha} \cdot \hat{p}$$

$$f_2(\infty) = \frac{\delta+\lambda}{1-\alpha} \cdot \hat{p}$$

上の 2 式を$f_1(0) = f_2(0)$に代入すると、

$$s^* = 0$$

$$s^{*} *= \beta^{-\frac{1-\alpha}{\gamma}} \cdot \alpha^{\alpha} \cdot (1-\alpha)^{\alpha-1} \cdot (\delta+\lambda)$$

謝辞

　最後に、卒業研究を進めるに際して多くの助言をいただいた指導教員の堀健夫准教授に深く感謝を申し上げます。そして、ご支援をいただきました所属するゼミのみなさまに感謝の意を表します。他にもたくさんの方々にサポートしていただき、本研究を完成させることができました。ありがとうございました。