

人口動態，人的資本，および経済成長

同志社大学大学院経済学研究科
経済政策専攻 博士課程（後期課程）
1404171101 番 廣野誠

目次

序論	1
第1章 人口成長，公教育，および R&D ベース成長モデル	6
1.1 はじめに	6
1.2 モデル	8
1.2.1 家計部門	8
1.2.2 生産部門	8
1.2.3 市場均衡	11
1.3 動学分析	12
1.3.1 均斉成長経路	12
1.4 移行動学	14
1.4.1 一意性	14
1.4.2 安定性	15
1.5 数値例	19
1.6 おわりに	20
第2章 人口成長，公教育，私教育，および R&D ベース成長モデル	23
2.1 はじめに	23
2.2 モデル	24
2.2.1 家計部門	24
2.2.2 生産部門	25
2.2.3 市場均衡	28
2.3 動学分析	28
2.4 比較静学	30
2.4.1 人口成長の効果	30
2.4.2 所得税率の効果	31
2.5 おわりに	32

第 3 章	人口動態，人的資本蓄積，および産業間雇用—子どもへの教育—	34
3.1	はじめに	34
3.2	モデル	39
3.2.1	生産部門	39
3.2.2	家計部門	41
3.2.3	市場均衡	43
3.3	動学分析	44
3.3.1	産業間雇用シェア	44
3.3.2	移行動学	45
3.3.3	一人当たり所得成長率	46
3.4	数値例	48
3.5	拡張	49
3.6	おわりに	51
付録		52
	補論.1 命題 3.1 の証明	52
	補論.2 一人当たり所得成長率：式 (3.26) の導出	54
第 4 章	人口動態，人的資本蓄積，および産業間雇用—自分への教育—	55
4.1	はじめに	55
4.2	モデル	56
4.2.1	生産部門	56
4.2.2	家計部門	57
4.2.3	市場均衡	59
4.3	動学分析	60
4.3.1	産業間雇用	60
4.3.2	移行動学	61
4.3.3	一人当たり所得成長率	62
4.4	おわりに	64
結び		65
参考文献		68

謝辞

本論文は、筆者が同志社大学大学院経済学研究科博士後期課程に在籍時の研究の成果をまとめたものです。本論文の執筆にあたり、宮澤和俊教授（同志社大学）、三野和雄特任教授（京都大学）、四谷晃一准教授（同志社大学）から終始多大な御指導御支援を賜りましたことに深く感謝の意を表します。

また、博士前期課程1年次より、二神孝一教授（大阪大学）、柴田章久教授（京都大学）から研究、あるいは講義内容だけでなく、研究・教育に向かう基本姿勢など多くのことをご指導・ご教授頂きました。心より感謝申し上げます。

茂見岳志教授（同志社大学）、荒渡良准教授（同志社大学）、本領崇一准教授（同志社大学）からは、授業内容だけでなく、研究の進め方や多くの相談にのって頂きました。厚く御礼申し上げます。さらに、Been-Lon Chen 教授 (Academia Sinica)、阿部顕三教授（中央大学）、田畑顕教授（関西学院大学）、八木匡教授（同志社大学）からは論文改善のための多くのコメントを頂きました。深く感謝申し上げます。

本山卓実講師（富山大学）、清水涼介助教（青山学院大学）、桃田翔平氏（京都大学）、坪井美都紀講師（和光大学）からは研究を進めるうえで多くの助言を賜りました。深く感謝の意を表します。

また、大学院生活を支えてくださいました八田英二名誉教授（同志社大学）、新関三希代教授（同志社大学）、小林千春教授（同志社大学）、上田曜子教授（同志社大学）、ならびに仲北浦淳基助教（大正大学）、福原隆一氏（同志社大学）に深く御礼申し上げます。

同志社大学月例研究会参加者の東良彰教授（同志社大学）、加茂知幸教授（京都産業大学）、小橋昌准教授（同志社大学）、佐竹光彦教授（同志社大学）、田中靖人教授（同志社大学）、京都大学マクロ経済学研究会参加者の西山慎一教授（京都大学）、高橋修平准教授（京都大学）、安井大真准教授（京都大学）、遊喜一洋准教授（京都大学）、大阪大学研究会参加者の祝迫達郎教授（大阪大学）、橋本賢一准教授（神戸大学）、菅原晃樹准教授（名古屋学院大学）、高尾築講師（青森公立大学）、秋本清香講師（福岡大学）、斎藤祐樹講師（中京大学）、須永美穂助教（大阪大学）、森本貴陽講師（二松学舎大学）、東京工業大学研究会参加者の桃田朗教授（立命館大学）、大土井涼二准教授（東京工業大学）、堀健夫准教授（東京工業大学）、荒戸寛貴准教

授（東京都立大学），任リヨンフン氏（京都大学）および大学院生の岡田光平氏（大阪大学），前田大輝氏（大阪大学），浅海達也氏（神戸大学），江本正和氏（神戸大学），王 睿霆氏（京都大学）から多くの有益なコメントを頂戴しました。深く感謝いたします。

最後に，これまで私をあたたく応援してくれた両親、兄，祖父母に心から感謝します。

2020年11月 廣野誠

序論

経済成長の停滞期から持続的な成長の時代への移行は、人類の歴史の中で最も注目すべき変革の一つである。人口動態と経済成長の変遷については、Galor の一連の研究によって言及されている。その内、Galor and Weil (2000) は、一人当たり所得成長率と人口成長率の長期的な推移を内生的に説明した研究である。Galor and Weil (2000) によれば、国民所得の減少が人口減少を促し、その結果、一人当たり所得の水準が変化しない段階があったとされている。この段階を、Galor and Weil (2000) では、“Malthusian Regime” と定義し、この低所得・低出生率の均衡は、“マルサスの罫”と呼ばれている。やがて、外生的なショックにより資本蓄積が進み、国民所得の増大が人口成長率の上昇をもたらす状態に至る。この段階を Galor and Weil (2000) では、“Post-Malthusian Regime” と定義している。この段階では、一人当たり所得を増大させることに成功した点においてマルサスの罫からの離陸が始まっているものの、人口成長率が上昇しているという点において、マルサスの罫から完全に脱却していない状態にある。さらに、Post-Malthusian Regime を経て、国民所得の増大が人口成長率の低下を伴い、一人当たり所得の大幅な増大を導く状態を、Galor and Weil (2000) では “Modern Growth Regime” と呼んでいる。この人口成長率の上昇から低下への転換を経験した後にみられる高所得低出生率の段階において、経済が初めてマルサスの罫から離陸したことになる。この人類の歴史における経済成長の過程を統一的に説明することを目的としたマクロ経済学の理論を、Galor (2011) でまとめられる一連の研究では、“Unified Growth Thoery” と呼ばれている。本博士論文の目的は、この “Unified Growth Theory” の内の “Modern Growth Regime” の成長過程を説明する新たなメカニズムを与えることにある。

Galor (2010) では、Galor and Weil (2000) のモデルに各国特有の要素を考慮することで、マルサスの罫から脱却するタイミングを分析した比較発展モデルを構築している。Galor and Weil (2000) によると、18 世紀後半以降に西欧諸国がマルサスの罫から脱却できたのは、人口がある程度の規模にまで成長し、産業革命に代表される技術進歩に到達したことによるとしている。しかし、各国の人口規模をみると、マルサスの罫からの脱却要因が、必ずしも人口規模であるとはいえない。たとえば、イギリスで産業革命が始まった 18 世紀半ばの日本などアジア諸国の人口規模は、イギリスよりもはるかに大きな水準であった。したがって、人口規模の効果の

みを要因とするならば、イギリスよりも先に日本が産業革命を迎えていてもおかしくはなかった。しかし、実際に日本で産業革命がおこったのは、イギリスから100年以上遅れた明治時代であった。したがって、Galor (2010)の比較発展研究の立場からすると、マルサスの罠からの離脱には人口規模以外のほかの要因があったと考えられる。

Galor and Moav (2002)では、イギリスがマルサスの罠から脱却することができた内生的要因として、進化を自然選択、ないしは適者生存の結果として説明するダーウィニズムのメカニズムを提示している。Galor and Moav (2002)によると、イギリスでの人口転換が起こるまでの、国民所得の増大が人口増加を伴う時代において、子どもの質を重視する家計は、子どもの数を重視する家計に対して、進化論的に見て優位性を持っていた。子どもの数を重視する家計は一人当たりでみて生活のための最低水準の所得しか得られなかったために、人口規模は一定水準に留まった。一方で、子どもの質を重視する家計は一人当たりでみてより高い所得が得られたため、高い子どもへの教育だけでなく、より多くの子どもをもつことができた。その結果、子どもの質を重視する家計の割合は時代とともに増えていったとGalor and Moav (2002)では結論付けている。

マルサスの罠の時代をはるかに遡ると、子どもの数よりも質に重点を置く家計の割合は非常に小さかった。一方で、社会全体の教育水準が相当に低かったので、技術進歩率も非常に低かったはずである。したがって、国民所得と人口成長が微小ながらも同じ率で成長するが、結果として一人当たり所得は一定であった。このような時代から、少しずつ子どもの質を重視する家計の割合が増えていき、それに伴い技術進歩率も少しずつ加速していった。しかし、Malthusian Regimeでは国民所得と人口成長は同率で増減していたため、一人当たり所得は一定であった。やがて、技術進歩が十分に高くなり、産業革命以降、人口よりも国民所得の増加のスピードが速くなり、Post-Malthusian Regimeを迎えた。Clark (2007)では、Galor and Moav (2002)のメカニズムを強く支持しており、イギリスでは産業革命が起こる200年以上前から、長期的に識字率が上昇し続けていたことを示している。さらに、東(2015)では、日本においても幕末から明治維新にかけて国民の教育水準がすでにある程度高く、産業革命期にはほぼすべての学齢児童が6年間の義務教育に就学する状況であったと示している。したがって、イギリスと日本で一国の教育水準が高まる経緯は異なっているが、いずれの国でも国民の教育水準が産業革命が起きる頃までにある程度高い水準にまで到達していたことがわかる。このことから、一国がマルサスの罠から脱却するために必要な基本条件として、国民のある程度高い教育水準の達成が挙げられる。

上述の通り、マルサスの罠からの脱却、さらには、Post-Malthusian Regimeの段階からModern Growth Regimeへの離陸は、技術進歩と人的資本の蓄積が寄与している。つまり、持続的な成

長を実現するには、技術進歩と人的資本が重要な役割を担うと考えられる。本論文では、技術進歩と人的資本の両方を経済成長の原動力とした成長モデルを用いて Modern Growth Regime の成長過程に新たなメカニズムを与える。以下では、内生成長理論の研究の系譜について紹介する。

研究の系譜

技術進歩

技術進歩を成長の源泉とした内生成長モデルは、Romer (1986, 1990) を契機として以降、Grossman and Helpman (1991), Aghion and Howitt (1992) など影響力のある研究開発（以下、R&D）部門ベースの内生成長モデルが構築された。Romer (1990) では、技術進歩率は中間財の種類が増えることで上昇していた variety-expansion のモデルに対し、Grossman and Helpman (1991), Aghion and Howitt (1992) では、財の質の向上が技術進歩を促進させる quality-ladder のモデルになっている。しかし、Romer (1990) は、理論分析の発展に大きく貢献したものの実証的に支持されない要素を含んでいる点が指摘されている。その代表的な例が規模効果である。規模効果とは、研究開発に必要な資源が豊富であるほど研究開発が促進され経済成長が高まるという効果である。研究開発に必要な資源には労働がある。特に Romer (1990) の成長モデルでは、労働の賦存量が増加すると、研究開発に向けられる労働量も増え、成長率が上昇するという結論を導いている。しかし、前述の通り、日本の人口規模はイギリスよりもはるかに大きかったにも関わらず、産業革命の時期はイギリスよりも大幅に遅れていた。さらに、第2次世界大戦後の経済協力開発機構（以下、OECD）のデータによると、OECD 諸国においてエンジニアの数が増加しているにも関わらず全要素生産性の成長率は概ね一定で推移していることが挙げられる。

こうした点を改良するために、Jones (1995), Segerstrom (1998) をはじめとした準内生成長モデルが構築され、近年でも理論モデルの改良が進んでいる。たとえば、技術進歩と資本蓄積を成長の原動力とした内生成長モデルを構築し、特許保護の強化が、経済成長に与える影響を分析した Iwaisako and Futagami (2013) がある。Iwaisako and Futagami (2013) では、投資財部門を導入し、資本需要の減少による資本蓄積の減少から成長への負の影響を示唆している。そのほかにも、既存企業による研究開発投資と新規企業の参入を同時に考慮した Peretto (2007, 2011) や、これらのフレームワークに連続時間世代重複モデルと資産価格バブルの存在を導入した Takao (2015) がある。

人的資本

一方で、Modern Growth Regime への離陸の、もう一つの契機は、教育による人的資本の蓄積であった。人的資本の蓄積を用いた内生成長モデルの発展は、Lucas (1988) による貢献以降、多岐にわたっている。Lucas (1988) は、Becker (1964) の人的資本論を基礎として、人的資本の蓄積が成長の源泉となる内生成長モデルを構築した。Lucas (1988) の貢献により、人的資本投資に関する研究は、今日に至るまで多く存在し続けている。公教育体制と私教育体制が所得格差と成長率にどのような影響を与えるのかを比較をした論文に Glomm and Ravikumar (1992), Futagami and Yanagihara (2008) がある。

また、人的資本は人口成長率とも密接に関わっている。Becker, Murphy, and Tamura (1990) は、出生率を生産化する中で、人的資本と人口成長の関係について分析した初期の論文である。また de la Croix and Doepke (2003, 2004) は格差と経済成長の観測データを説明するため、各国の出生率の差に着目した影響力のある研究である。さらに、Kimura and Yasui (2007) では、親自身の教育投資と職業の選択が出生率と資本蓄積に与える影響を検討している。さらに Chen (2010) では、Kimura and Yasui (2007) のモデルに高齢化の効果を用いて分析し、Chen (2015) では、政府が教育補助政策を行った場合と育児支援政策を行った場合の経済に分けてそれぞれ分析している。Kimura and Yasui (2007), および Chen (2010, 2015) では、それぞれが複数均衡の可能性を示している。

研究の位置づけ

本論文は、全章通じて技術進歩と人的資本を原動力とした成長モデルを用いて、人口動態の変遷と経済の成長過程を分析しているが、大きく分けて二つに大別することができる。前半（第一章と第二章）は、財部門とは切り離された R&D 部門による技術進歩と人的資本を原動力とした準内生成長モデルを用いて、人口成長の経済成長率効果を分析する。後半（第三章と第四章）は、技術進歩を労働者の経験による学習効果の蓄積によって定義している学習効果モデル（以下、learning-by-doing モデル）を用いている。第一章では、まず、代表的な R&D ベースの準内生成長モデルに公教育部門と 3 期間世代重複モデルを組み合わせた Prettnner (2014) のモデルと、その結果を紹介している。Prettnner (2014) の貢献は、R&D ベースの内生成長モデルを用いて、実証データと統合的な理論的な結果を与えたが、分析の余地を残した。それは、定常状態までの移行過程を証明せずに、定常状態上の分析を行っている。したがって、第一章では、公教育部門を備えた R&D ベースの成長モデルの移行過程を分析することを目的としている。移行過程を分析することで、定常状態での分析に対する相対的な重要性を示すこと

ができる。第一章は Hirono (2020b) として出版されている。また, Prettner (2014) では, 教育の効果について政府が行う公教育のみを分析していた。より教育の外部効果を分析するためには, 親が家庭内で行う私教育を考えるのが妥当である。事実, 公教育の水準と家計による私教育との正の相関は多くの実証研究で示されている。したがって, 第二章では, Prettner (2014) に私教育を導入して人口成長が一人当たり所得の成長率へ与える効果を分析している。第二章は Hirono (2020a) として出版されている。前半の章は, 人口成長を一定としている。しかし, Becker (1965) にあるように, 家計がどれだけの子どもを生むかの選択は, どれだけの子どもに与えるかと密接に関連している。したがって, 子どもの数を外生的においている設定では, 人口動態の変遷に伴う家計の教育選択を分析する上で, 不十分といえる。そこで, 後半(第三章と第四章)では出生率を内生化している。さらに, 成人期死亡率を導入することで, 高齢化の効果も考慮に入れている。第三章では, 高齢化によって労働集約産業から資本集約産業へと労働移動が起こっているという実証研究をもとに, 少子高齢化が産業間の労働移動というチャンネルを通じて一人当たり所得の成長率へ与える影響について二部門の生産部門を備えた成長モデルを用いて分析している。このモデルでは, 若年世代と老年世代の両方の世代が消費する財部門と若年世代のみが消費する教育部門で表している。第三章では, 教育について, 市場で取引される教育財・サービスを自分の子どもに与えながら, 自分自身への教育投資のために時間を使うという設定にしている。しかし, 実際には, 大人になってからの教育の方が金銭的な費用がかかることが多いと考えられる。したがって, 第四章では, 教育部門から生産される教育財・サービスを用いて自分自身への教育投資を行うという設定に拡張している。第三章と第四章はそれぞれ, Hirono (2020c), および廣野 (2020) で発表されている。最後に, 本論文で分析できなかった内容について今後の研究課題として紹介し, 結びとしている。

第1章 人口成長，公教育，およびR&Dベース 成長モデル

1.1 はじめに

本研究では、公教育部門を備えたR&Dベースの成長モデルの移行動学と、内生的な長期振動が発生するための十分条件を示している。本研究の結果は、Romer (1990) や Jones (1995) の移行動学を分析した Arnold (2000, 2006) と比較可能である。Romer (1990) はR&Dベースの内生的成長モデルの先駆的研究であり、Jones (1995) はRomer (1990) を拡張し、準内生的成長モデルを構築した影響力の大きい研究である。Arnold (2000, 2006) は、Romer (1990) と Jones (2006) のモデルが安定性を満たし、かつ単調に定常状態へと収束することを示している。Romer (1990), および Jones (1995) では、技術進歩が財の variety が増えることで、経済成長が促進する variety-expansion モデルであるのに対し、Segerstrom (1998) のモデルでは研究開発により財の質が向上することで経済成長が促進する quality-ladder の準内生的成長モデルに属する有名なモデルである。Steger (2003) は、Segerstrom (1998) のモデルの移行動学が安定かつ単調であることを証明している。つまり、上記の成長の源泉を技術進歩のみとした代表的なR&Dベースの成長モデルでは、経済が単調に均斉成長経路 (Balnced Growth Path, 以下, BGP) に収束することを示している。本章では、成長の源泉を技術進歩と人的資本の2つとした準内生的成長モデルの下での移行動学を分析することを目的としている。本章では、分析対象とするモデルとして Jones (1995) のモデルに公教育部門を導入した Prettner (2014) のモデルを採用している。Prettner (2014) は、Joens (1995) のR&Dベースの準成長モデルに政府が所得税を用いてファイナンスする公教育部門を導入し分析している。したがって、Prettner(2014) のモデルでは、技術進歩率と総人的資本が増加すると経済成長が促進するモデルとなっている。労働生産性には、労働人口と人的資本が含まれている。Becker (1965) の質と量のトレードオフは、出生率の上昇に伴って各人の教育が減少することを示している。したがって、人口増加は教育に正の効果と人口に負の効果の両方を持つ。Prettner (2014) は、公教育部門の生産性が高い場合、人口が減少するにつれて経済成長率が上昇することを示している。これは、公教育

この章は、Hirono(2020b) を加筆修正したものである。

部門が充実していれば、学校教育の上昇による労働生産性への正の効果が人口減少による労働生産性への負の効果を上回ることに起因する。

Prettner (2014) の貢献は、R&D ベースの成長モデルを用いて、人口減少による経済成長への正の影響を与えるという実証的データと統合的な理論結果を示していることにあり、このメカニズムは Unified Growth Theory の Modern Growth Regime の成長過程を表している。しかし、Prettner(2014) では、BGP へ至るまでの移行経路を証明することなく、BGP 上での比較静学を分析している。BGP の存在を証明することは、Prettner (2014) の貢献を強固にする上で重要である。さらに、BGP が存在するとしたならば、どのような過程を描いて収束するのかを分析することで新たな知見が得られると考えられる。

そこで本研究では、Prettner (2014) に基づいて、技術進歩と公教育という二つの成長の源泉を持つ準内生的成長モデルの移行過程を明らかにした。その結果、Arnold (2000, 2006) 同様、BGP が存在する場合はそれは、一意に決まり、単調に、あるいは振動しながら、BGP に収束していくことを示した。ただし、Prettner(2014) の局所的な安定性には追加の条件が必要であり、Arnold(2000, 2006) とは決定的に異なる長期的な振動が生じる可能性を示唆している。マクロ経済学において、長期的な経済活動の変動を生み出す根本的な原因を明らかにすることは重要である。例えば、Day(1982) は新古典派の資本蓄積理論を用いてカオスの発生条件を示している。また、Futagami and Mino (1993) では、完全予見をもつ代表的家計の無限期間モデルで資本蓄積が、複数均衡だけでなく、長期振動を発生させる可能性を示唆している。これに対し、Farmer (1986), Reichlin (1986), de Vilder (1996), Fanti and Gori (2010) は世代重複モデルを用いて、景気循環が起こりうることを示している。特に、Fanti and Gori (2010) は、世代重複モデルを用いて、老年世代の労働力の供給に影響を与える公衆衛生投資が行われている経済の移行動学を分析している。Fanti and Gori (2010) は、個人が完全予見できる場合に、内生的な循環が出現するための必要十分条件を示している。これらの研究と比較して、本研究は、成長の源泉が技術進歩と人的資本である内生的成長モデルを用いて、長期的な循環変動が発生するための十分条件を示している。Benhabib (2014) では、Agihon and Howitt (1992) の quality-ladder タイプの R&D ベースの成長モデルを用いて長期振動が発生する可能性を示している。この移行過程は、研究開発が成功するか否かの確率に起因している。この他にも、不決定やカオスの発生条件に関する研究は Mino (2017) でまとめられている。しかし、Romer (1990), および Jones (1995) の variety-expansion タイプの技術進歩のみが成長の源泉である一般的な R&D ベースの成長モデルでは、この結果は得られていない。このように、本研究の貢献は、R&D ベースの成長モデルに新たな知見を与えることにあると考える。また、教育政策や人口成長が収束速度に与える影響を数値例を用いて分析する。収束速度を分析することは以下の

2つの理由から重要である。

第一に、理論モデルに定量的な実証的意味付けを示すことができる。第二に、収束速度を知ることによって、BGP上での分析に対する移行動学の相対的な重要性を評価することができる。数値例の結果、公教育をファイナンスするための所得税率が上昇すると、技術進歩率がBGPへ収束するまでのスピードが加速することが示された。この結果は、収束過程に対する人的資本蓄積の正の効果进行分析したLall and Yilmaz (2001)でも実証的に示されている。

本章は次のように構成されている。第2節でモデルを紹介し、第3節で分析結果を示す。第4節は結びである。

1.2 モデル

1.2.1 家計部門

Prettner (2014) は、個人が3期間（幼少期、労働期、老年期）を生きる世代重複モデルを考えている。幼年期に個人は公教育を受ける。労働期に労働を非弾力的に供給する。得られる賃金所得を消費（ c_t ）と貯蓄（ s_t ）に振り分ける。さらに個人は、労働期に子供を出産する。人口の粗成長率は $n > 0$ で各期間で一定である。引退期に個人は、消費（ d_{t+1} ）のみを行う。このとき、各期予算制約は以下のように書ける。

$$(1 - \tau)w_t h_t = c_t + s_t.$$

$$(1 + r_{t+1})s_t = d_{t+1}.$$

ここでは、 τ は所得税率、 w_t は効率労働あたり賃金率、 h_t は労働世代一人当たり人的資本、 r_{t+1} は実質利子率を表している。 t 期に労働世代を生きる個人を世代 t とおくと、世代 t の効用関数を

$$u_t = \log c_t + \log d_{t+1}$$

と定義する。効用最大化問題を解くと、最適な c_t と s_t は次のようになる。

$$c_t = \frac{(1 - \tau)w_t h_t}{1 + \beta}, \quad s_t = \frac{\beta(1 - \tau)w_t h_t}{1 + \beta}.$$

1.2.2 生産部門

この経済の生産部門は、最終財部門、中間財部門、R&D 部門、公教育部門の4つある。

最終財部門

最終財部門は、完全競争市場であり、労働と中間財を用いて、最終財 (Y_t) を生産する。生産関数は、以下のように定義する。

$$Y_t = (H_t^Y)^{1-\alpha} \int_0^{A_t} [x_t^i]^\alpha di.$$

このとき、 H_t^Y は最終財部門の人的資本、 x_t は中間財、 A_t は t 期の中間財の種類、 α は中間財の最終財生産弾力性である。利潤最大化問題を解くと、要素需要はそれぞれ、以下のように表される。

$$w_t^Y = \frac{(1-\alpha)Y_t}{H_t^Y}. \quad (1.1)$$

$$p_t^i = \alpha(H_t^Y)^{1-\alpha} x_t^{\alpha-1}. \quad (1.2)$$

w_t^Y と p_t^i は、それぞれ最終財部門の賃金率と i 番目の中間財の価格である。

中間財部門

中間財部門は、Romer (1990)、Jones (1995) にしたがって、独占的競争市場である。物的資本と一つの設計図を用いて、中間財 1 単位を生産する。すなわち、設計図を購入後、可変的生産要素である物的資本を中間財に一对一に変換する。物的資本は、1 期間で完全減耗する。このとき、中間財企業 i の生産関数は、

$$x_t^i = k_t^i$$

と定義され、中間財企業 i の利潤 π_t^i は、

$$\pi_t^i = p_t^i k_t^i - (r_t + 1)k_t^i - p_t^A$$

と定義される。 k_t^i は、物的資本、 p_t^A は、設計図の価格である。このとき、利潤最大化条件と独占的競争のゼロ利潤条件から、それぞれ次の式を得る。

$$\begin{aligned} p_t^i &= \frac{r_t + 1}{\alpha}. \\ p_t^A &= (1-\alpha)p_t^i x_t. \\ k_t^i &= k_t. \end{aligned} \quad (1.3)$$

したがって、 t 期の物的資本の集計値は、 $K_t = \int_0^{A_t} k_t^i di = A_t k_t$ と定義することができ、その結果、マクロ生産関数は、以下のように書くことができる。

$$Y_t = (A_t H_t^Y)^{1-\alpha} (K_t)^\alpha.$$

式 (1.2) と (1.3) を使うと、

$$p_t^A = \alpha(1-\alpha) \frac{Y_t}{A_t} \quad (1.4)$$

が導出される。特許の保護期間は、Strulik, Prettner, and Prskawetz (2013) にしたがって、以下のように取り扱う。設計図の特許は 1 期間で切れる。その後、特許の切れた設計図は政府が回収し、ランダムに選んだ中間財企業に販売する。得られた利潤は、政府が非生産的に消費する。このとき、政府支出 (G_t) は、 $G_t = p_t^A A_{t-1}$ と定義される。

R&D 部門

R&D 部門は、完全競争市場である。労働として科学者を雇用しており、設計図を開発する。新しい設計図の生産関数は、以下のように定義される。

$$A_{t+1} - A_t = \delta A_t^\phi H_t^A. \quad (1.5)$$

H_t^A は、R&D 部門の科学者の人的資本、 $\delta > 0$ が、生産性を表すパラメーター、 $\phi \in (0, 1)$ は、既存技術の外部性を表すパラメーターである。完全競争市場と整合的なのは、

$$w_t^A = p_t^A \delta A_t^\phi \quad (1.6)$$

であり、 w_t^A は、R&D 部門の賃金率である。

公教育部門

公教育部門は、政府が所得税を使ってファイナンスする。労働者として教員を雇用し、生徒に教育サービスを提供する。このとき、政府の均衡予算は、

$$\tau w_t h_t L_t = w_t h_t L_t^E \quad (1.7)$$

と定義できる。 L_t は、総労働人口であり、 $L_t^E = \tau L_t$ は、教員の数である。式 (1.7) の左辺は税収を表し、右辺は教員の賃金所得を表している。したがって、政府は、税収を公教育部門のファイナンスのみに用いている。公教育部門の生産関数は、

$$e_t = \xi \frac{L_t^E}{L_{t+1}} \quad (1.8)$$

と定義する。このとき、 e_t が、生徒一人当たりの公教育の生産量を意味しており、 ξ は、教員の生産性、 L_{t+1} は生徒の数である。ここで、人口の粗成長率から、人口の動学式は、 $L_{t+1} = nL_t$ で表される。この人口動学式と政府の均衡予算式 (1.7) を式 (1.8) に代入すると、

$$e_t = \frac{\xi\tau}{n}$$

が導出される。個人の人的資本は公教育と親の人的資本に依存すると仮定する。したがって、人的資本蓄積式を

$$h_{t+1} = \exp \left[\psi \left(\frac{\xi\tau}{n} \right)^\eta \right] h_t \quad (1.9)$$

と定義する。 ψ は、公教育の生産性を表すパラメーターであり、 $\eta \in (0, 1)$ は、公教育の人的資本弾力性を表すパラメーターである。

1.2.3 市場均衡

この経済には、財市場、資本市場、効率労働市場の3つの市場が存在する。

- 物的資本市場均衡式：

$$K_{t+1} = s_t L_t.$$

- 効率労働市場均衡式：

$$H_t^Y + H_t^A + \tau H_t = H_t.$$

ここでは、 $H_t = h_t L_t$ は、総効率労働を表す。上の二つの式が成立するとき、ワルラス法則から、財市場均衡

$$Y_t = L_t c_t + L_{t-1} d_t + G_t + K_{t+1}$$

も満たされる。

1.3 動学分析

1.3.1 均斉成長経路

市場均衡では、最終財部門、R&D 部門、公教育部門の賃金率は、等しくなる。したがって、式 (1.1) と (1.6) を使うと、

$$(1 - \alpha) \frac{Y_t}{H_t^Y} = p_t^A \delta A_t^\phi$$

が導出される。上式に式 (1.4) を代入すると、最終財部門の効率労働需要が以下のように与えられる。

$$H_t^Y = \frac{A_t^{1-\phi}}{\alpha \delta}. \quad (1.10)$$

さらに、式 (1.10) を効率労働市場均衡式に代入すると、R&D 部門の効率労働需要が

$$H_t^A = (1 - \tau) H_t - \frac{A_t^{1-\phi}}{\alpha \delta} \quad (1.11)$$

で与えられる。式 (1.5) と (1.11) を使うと、新しい設計図の開発は

$$A_{t+1} = \delta(1 - \tau) A_t^\phi H_t - \frac{(1 - \alpha) A_t}{\alpha} \quad (1.12)$$

と定義される。次に、式 (1.9) を使うと、人的資本の成長率は、

$$\frac{H_{t+1}}{H_t} = \exp \left[\psi \left(\frac{\xi \tau}{n} \right)^\eta \right] n \equiv g^{H*} \quad (1.13)$$

と表わすことができる。したがって、人的資本の成長率は時間を通じて g^{H*} で一定であることがわかる。このとき、 t 期の技術進歩率を g_t^A と定義した場合、式 (1.13) を使うと、式 (1.12) は以下のように書き直すことができる。

$$\frac{g_t^A + (1 - \alpha)/\alpha}{g_{t-1}^A + (1 - \alpha)/\alpha} = \left(\frac{1}{g_{t-1}^A} \right)^{1-\phi} g^{H*} \quad (1.14)$$

ただし、式 (1.5) から $g_t^A > 1$ の制約があることを明記しておく。さらに式 (1.14) を変形していくと

$$g_t^A = \left(\frac{1}{g_{t-1}^A} \right)^{1-\phi} g^{H*} \left[g_{t-1}^A + \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right] - \frac{1 - \alpha}{\alpha} \quad (1.15)$$

が得られる。すべての成長率が一定となる状態を BGP と定義すると式 (1.15) から、BGP での技術進歩率は、

$$g^{A*} = (g^{H*})^{\frac{1}{1-\phi}} \quad (1.16)$$

と定義される。したがって、BGP が存在するとしたら、それは一意に決まる。ここで、マクロ生産関数から最終財部門の効率労働一単位当たり生産量は、

$$y_t = \frac{Y_t}{A_t H_t^Y}$$

とおける。 $k_t = K_t/A_t H_t^Y$ であるので、

$$y_t = k_t^\alpha$$

が得られる。このとき、 y_t と k_t は一定である。また、一人当たり所得は $y_t = Y_t/L_t$ と定義することができるので、

$$y_t = \frac{y_t A_t H_t^Y}{L_t}$$

と変形することができる。BGP 上では、 y_t は一定である。したがって、人的資本の成長率の式を使うと、BGP 上の一人当たり所得成長率は、次のようにあらわされる。

$$g^y + 1 = (g^A + 1)(g^h + 1). \quad (1.17)$$

さらに、式 (1.14) と (1.16) を式 (1.17) に代入すると、

$$g^y = \left\{ \exp \left[\psi \left(\frac{\xi \tau}{n} \right) \right] n \right\}^{\frac{2-\phi}{1-\phi}} n^{\frac{1}{1-\phi}} - 1 \quad (1.18)$$

が導出される。このとき、式 (1.18) を粗人口成長率 n で比較静学を行った場合、以下のようにあらわされる。

$$\frac{\partial g^y}{\partial n} = \left\{ \exp \left[\psi \left(\frac{\xi \tau}{n} \right) \right] \right\}^{\frac{2-\phi}{1-\phi}} \left[1 - \eta \psi \left(\frac{\xi \tau}{n} \right)^\eta (2 - \psi) \right] \quad (1.19)$$

式 (1.19) は、公教育の生産性をあらわすパラメーター τ , ψ , ξ , η の値が十分大きいとき、 n の上昇によって、一人当たり所得成長率は減少する。この結果は、Modern Growth Regime を描写する実証研究を R&D ベースの成長モデルを用いて理論的に証明しており、Prettner (2014) の貢献である。

1.4 移行動学

Prettner (2014) では、BGP までの移行経路は示されていない。この節では、Prettner (2014) のモデルをもとに、技術進歩と人的資本を成長の源泉とした準内生成長モデルの移行過程を証明する。

1.4.1 一意性

まず、BGP の存在と、その一意性を示す¹。式 (1.15) の 1 階微分と 2 階微分はそれぞれ、以下のように示される。

$$\frac{\partial g_t^A}{\partial g_{t-1}^A} = g^{H^*} \left(\frac{1}{g_{t-1}^A} \right)^{2-\phi} \left[\phi g_{t-1}^A - \frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\alpha} \right]. \quad (1.20)$$

$$\frac{\partial^2 g_t^A}{\partial (g_{t-1}^A)^2} = -g^{H^*} \left(\frac{1}{g_{t-1}^A} \right)^{3-\phi} (1-\phi) \left[\phi g_{t-1}^A - \frac{(2-\phi)(1-\alpha)}{\alpha} \right]. \quad (1.21)$$

式 (1.20) と (1.21) から次が成立する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial g_t^A}{\partial g_{t-1}^A} \geq 0 \\ \frac{\partial^2 g_t^A}{\partial (g_{t-1}^A)^2} \leq 0 \end{array} \right\} \iff \left\{ \begin{array}{l} g_{t-1}^A \geq \frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha} \\ g_{t-1}^A \leq \frac{(2-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha} \end{array} \right.$$

したがって、 $g_{t-1}^A < \frac{(2-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha}$ のとき、 g_t^A は g_{t-1}^A に関して凹関数であり、 $g_{t-1}^A > \frac{(2-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha}$ のとき凸関数である。 $\frac{(2-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha} > \frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha}$ は、明らかであるので、変曲点は頂点より右側に存在する。これらを考慮すると技術進歩率は、図 1.1 のように描くことができる。ここで、定常状態の存在を証明する。ただし、分析対象は、技術進歩率の実現可能範囲 $g_t^A > 1$ に限定する。まず、式 (1.20) の極限をとると、

$$\lim_{g_{t-1}^A \rightarrow \infty} \frac{\partial g_t^A}{\partial g_{t-1}^A} = 0$$

となり、この動学の傾きは、時間とともに 0 に収束することがわかる。したがって、技術進歩率のグラフは 45 度線と一度交わり、かつ定常状態は、常に一意に存在することが示された²。

¹初期条件は、 A_0 と H_0 を所与とする。

²図 1.1 で描かれたグラフは、45 度線と必ず一度だけ交わる。

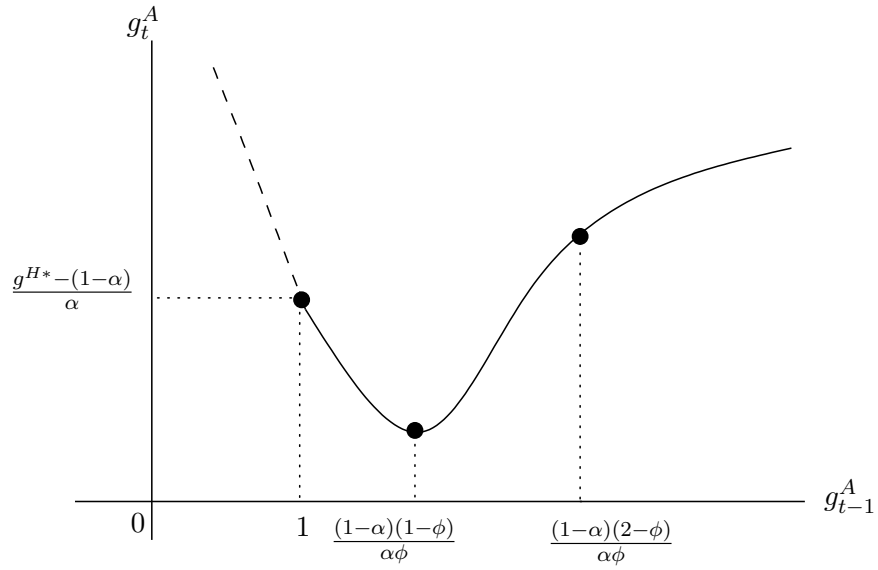


図 1.1: 技術進歩率

1.4.2 安定性

次に、BGP の安定性を証明する。まず、式 (1.20) を BGP 上で評価すると、

$$\left. \frac{\partial g_t^A}{\partial g_{t-1}^A} \right|_{g_t^A = g_{t-1}^A = g^{A*}} = \phi - \frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\alpha g^{A*}}$$

となる。このとき、局所安定条件は、

$$\left. \frac{\partial g_t^A}{\partial g_{t-1}^A} \right|_{g_t^A = g_{t-1}^A = g^{A*}} > -1 \Leftrightarrow g^{A*} > \frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\alpha(1+\phi)}$$

である。ここで、頂点の値を

$$\frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\phi\alpha} \equiv \mathcal{R},$$

さらに、局所安定の閾値を

$$\frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\alpha(1+\phi)} \equiv \mathcal{L}$$

と定義する。BGP の安定性を考慮すると、以下の 3 つの場合分けが考えられる：

- I. $\mathcal{R} < 1$
- II. $\mathcal{L} < 1 < \mathcal{R}$
- III. $1 < \mathcal{L} < \mathcal{R}$

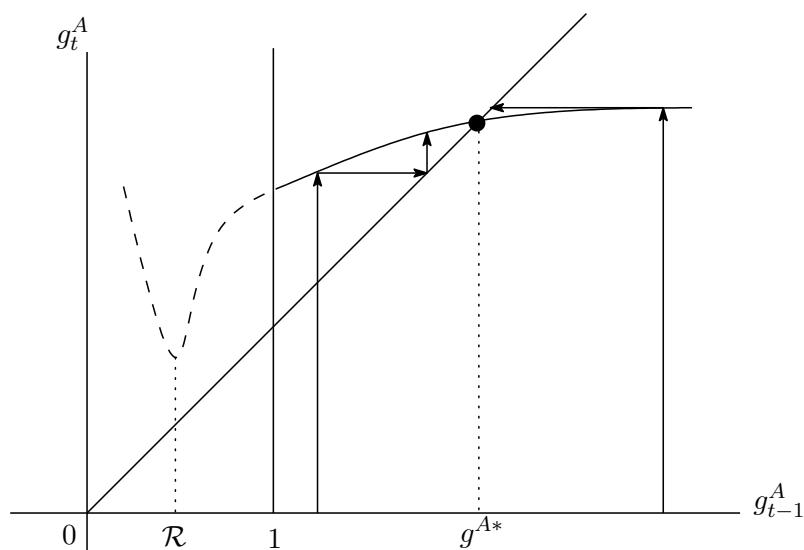


図 1.2: 大域安定かつ単調収束

それぞれの場合について、技術進歩率の安定性を分析する。

ケース I

まず、ケース I を考える。このとき、 \mathcal{R} は、下限 1 より右側に位置する。ケース I の g_t^A の位相図を描くと、図 1.2 のように描くことができ、単調かつ大域安定的に収束する。

補題 1.1 ケース I では、技術進歩率は、単調かつ大域安定的に BGP に収束する。

ケース II

次に、ケース II について考える。このとき、 \mathcal{R} と g_t^{A*} の位置によって、さらに場合分けがされる。

i. $\mathcal{R} < g^{A*}$

この場合、 \mathcal{R} は、 g^{A*} の左側に位置する。このとき、位相図は、図 1-3 のように描くことができる。図 1-3 より、 g_t^A は、単調かつ局所安定的に収束する。

ii. $\mathcal{R} > g^{A*}$

この場合、 \mathcal{R} は、 g^{A*} の右側に位置する。このとき、位相図は、図 1.4 のように描くことができる。図 1.4 より、 g_t^A は、振動しながら収束する。

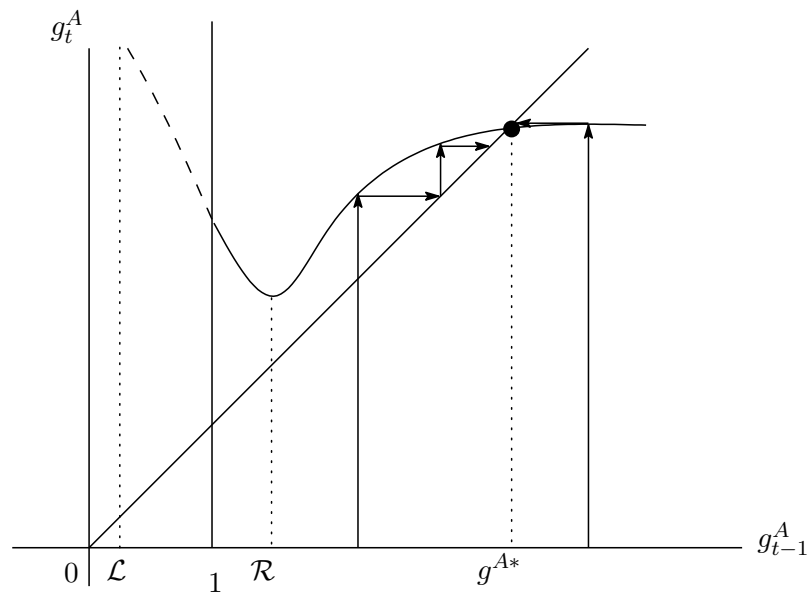


図 1.3: 局所安定かつ単調収束

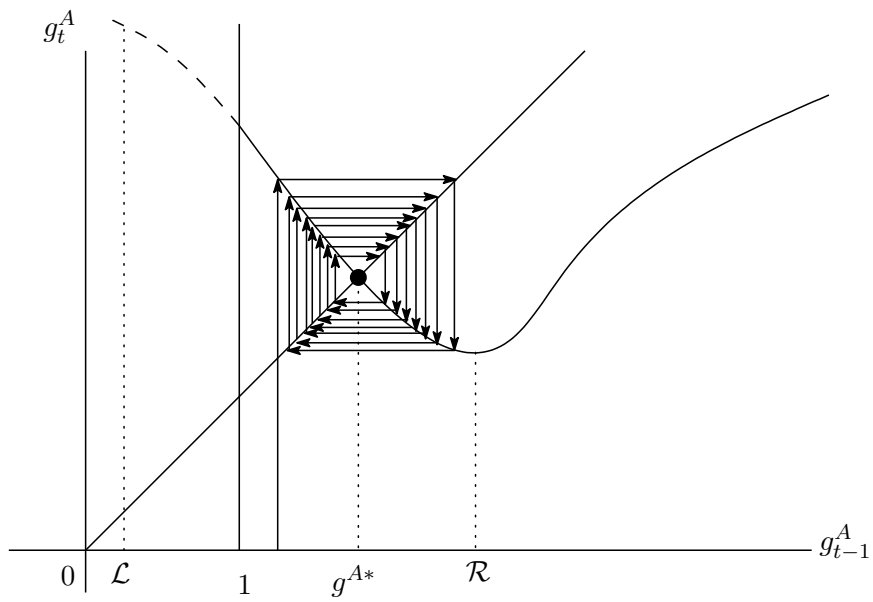


図 1.4: 局所安定かつ振動収束

補題 1.2 ケース II では、技術進歩率は、 $R < g^{A*}$ のとき、単調かつ局所安定的に BGP に収束し、 $R > g^{A*}$ のとき、振動収束する。

ケース III

最後に、ケース III について考える。ケース III についても、場合分けが必要である。

i. $R > g^{A*}$

このとき、 R は、 g^{A*} の右に位置する。したがって、位相図は、図 1.3 と同様である。

ii. $\mathcal{L} < g^{A*} < R$

このとき、位相図は、図 1.4 と同様である。

iii. $g^{A*} < \mathcal{L}$

このとき、 g^{A*} は \mathcal{L} の左に位置し、局所安定性を満たさない。

これらを踏まえると、 g_t^A が局所安定性を満たす条件は、

$$\frac{(1-\phi)(1-\alpha)}{\alpha(1+\phi)} > 1 \Leftrightarrow 1-2\alpha > \phi$$

であり、上記を以下の命題としてまとめることができる。

命題 1.1 ケース III の場合、既存技術の外部効果 ϕ が十分小さく、かつ、 $\mathcal{L} < g^{A*} < R$ を満たすとき安定性を満たさなくなる。

この結果は、式 (1.13) から解釈することができる。 ϕ が十分大きいとき、 g_t^A と g_{t-1}^A の差は、小さくなり、その結果、 g^A は単調に BGP へと収束する。逆に、 ϕ が十分小さければ、 g_t^A と g_{t-1}^A の差は、大きくなり、その結果、 g^A は振動収束する、もしくは収束しなくなる。この結果についての直観的説明は、 ϕ が十分小さい経済は、既存技術の外部効果が小さい経済である。この場合の、既存技術の外部効果が小さい経済とは、研究者同士のコミュニケーションの機会が少なく、アイデアがヒトやモノを通じて波及されづらい経済と解釈できる。つまり、技術の波及効果が小さい、もしくは、技術が未発展の経済である。そのような経済では、技術開発が成功したからといって、次の期に、その技術を参考に、同じような技術開発がうまく行える保証はない。そうした場合、今期と来期の技術進歩に大きな差が生まれてしまう。さらに、命題 1.1 から瞬時に得られる \mathcal{L} と R についての比較静学を次の系でまとめる。

系 1.1 ϕ の上昇とともに、安定性の閾値 \mathcal{L} と R は、左へシフトする。その結果、BGP への収束を促す。

1.5 数値例

この節では、簡単な数値例を用いて、技術進歩率の動学を分析する。各パラメーターについては、Prettner and Werner (2015) を参考に表 1.1 のように設定する。さらに、 ϕ に関しては、

<i>Description</i>	<i>Parameters</i>	<i>Value</i>
人的資本蓄積のパラメーター	η	0.75
	ξ	1.01
	τ	0.02
粗人口成長率	n	1.08
マクロ生産関数のパラメーター	α	0.3

表 1.1: 基本設定での値

0.3, 0.41, 0.7 の 3 つのパターンに分けて分析する。この数値例の結果は、図 1.5 で示される。図 1.5 の上段、中段、下段は、それぞれ、単調収束、振動収束、振動しないケースをそれぞれ表している。この数値例の結果は、前節の理論分析の結果を描写している。最後に、振動収束のケースに着目し、公教育政策と人口成長が収束するまでの速度に与える効果について検証する。収束の速度を分析することは、二つの理由で重要である。まず、一つの理由として、収束の速度を分析することは、理論モデルの実証的意味付けを与えることができる。二つ目は、BGP とは対照的な、移行動学の重要性を評価することができる。ここでは、収束の速度を調べるための手法として、“90% life”を使う³。ここで、初期値を 1.4 と設定すると、ベースラインのパラメータである $\tau = 0.02$, $n = 1.08$ の範囲内では、BGP 上での値は 1.2424 であり、 g^A の値が $1.22664 < g^A < 1.25816$ を満たすときが 90% life である (表 1.2)。その結果を図 1.6 の左部、表 2 の中・下部分に示します。ここで、 τ を 0.1 に上昇させる、もしくは、 n が 1.22 に上昇すると、BGP 上での値はそれぞれ 1.5219 と 1.516 に変化する。このとき、90% life が満たされる範囲は、それぞれ $1.5097 < g^A < 1.5341$, $1.5044 < g^A < 1.5276$ となる (表 1.2)。図 1.6 の右部、表 1.2 の中段と下段は、それぞれ 90% life に到達する期間が 7 期目と 6 期目であることを示している。したがって、 τ , もしくは、 n の上昇は収束の速度を速めることになる。この結果を、以下の命題にまとめる。

命題 1.2 技術進歩率が振動収束する場合、所得税率 τ , もしくは、人口成長率 n の上昇によって収束までのスピードは速くなる。

この結果の直観的理由は、効率労働が、既存技術を補完していることにある。つまり、既存技術の外部性が小さい場合においても、公教育への支出、もしくは、人口成長が上昇することで

³定常状態までの距離が、初期値と定常値との間の距離に比べて 90%減少する最初の期間

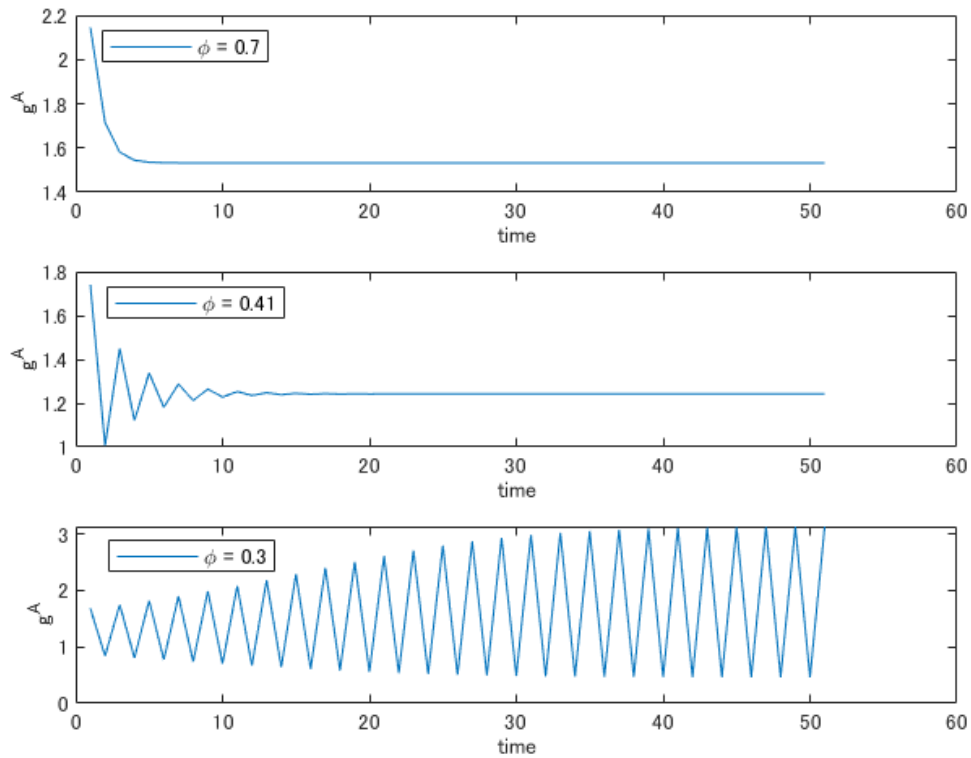


図 1.5: 技術進歩の移行動学

効率労働の生産性を上げることができれば、移行動学は、既存技術の外部性が大きい場合の単調な収束へと誘因することができる。これは、日本経済における、ゆとり教育を例として、解釈することもできる。ゆとり教育により、学校教育の生産量と支出が減少する、つまり τ の低下が人的資本蓄積を阻害してしまう。このとき、長期振動が起こりやすくなり、より経済は不安定になる可能性がある。Lall and Yilmaz (2001) は、アメリカのデータを用いて、人的資本の上昇が収束の過程に正の効果を与えるということを実証的に示している。したがって、命題 1.2 の結果は、実証研究と部分的に整合的である。

1.6 おわりに

本章では、公教育部門を導入した R&D ベースの準内生成長モデルである Prettner (2014) を紹介し、Prettner (2014) では示されていない移行動学を証明した。その結果、技術進歩率の移行経路に 3 つのパターン（単調収束、振動収束、収束しない）が存在する可能性を示した。特に、既存技術の外部効果が十分小さいとき、長期振動が起こる可能性を示した。これは、

Model	SV	Gap	Lower limit	Upper limit
<i>Baseline</i>	1.2424	0.1576	1.2266	1.2582
$\tau \uparrow$	1.5219	0.1219	1.5097	1.5341
$n \uparrow$	1.5160	0.1160	1.5044	1.5276

表 1.2: ケースごとのパラメーターの値: SV は定常値, Gap は初期値と定常値の差, Lower と Upper limit は, それぞれ 90%life の上限と下限をあらわす. ただし, 初期値は 1.4 である.

Period	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
<i>Baseline</i>	1.7393	1.0060	1.4488	1.1210	1.3370	1.1814	1.2873	1.2121	1.2640	1.2275
$\tau \uparrow$	2.1306	1.3269	1.6353	1.4705	1.5483	1.5090	1.5283	1.5187	1.5234	1.5211
$n \uparrow$	2.1223	1.3200	1.6308	1.4636	1.5432	1.5226	1.5127	1.5176	1.5176	1.5151

11th	12th	13th	...
1.2529	1.2531	1.2475	...
1.5223	1.5217	1.5220	...
1.5164	1.5158	1.5161	...

表 1.3: 各ケースの移行過程の値

代表的な R&D ベースの内生成長モデルの移行動学を証明した研究である Arnold (2000,2006), および Steger (2003) とは異なる結果である. 加えて, 人口成長率, もしくは, 公教育をファイナンスするための所得税率が増加したとき, BGP へ収束するまでの期間は短くなることを示した. しかし, Prettner (2014) の拡張の余地はほかにもある. その一つが, 家庭内教育である. Prettner (2014) では, 政府が主導する公教育のみを仮定している. より現実的には, 家庭内で親が子どもに与える私教育を考慮するべきである. さらに, 私教育が公教育の生産性自体に影響する可能性もある. したがって, 次章では, 公教育に加え, 家庭内の私教育の効果を導入して R&D ベースの準内生成長モデルを分析していく.

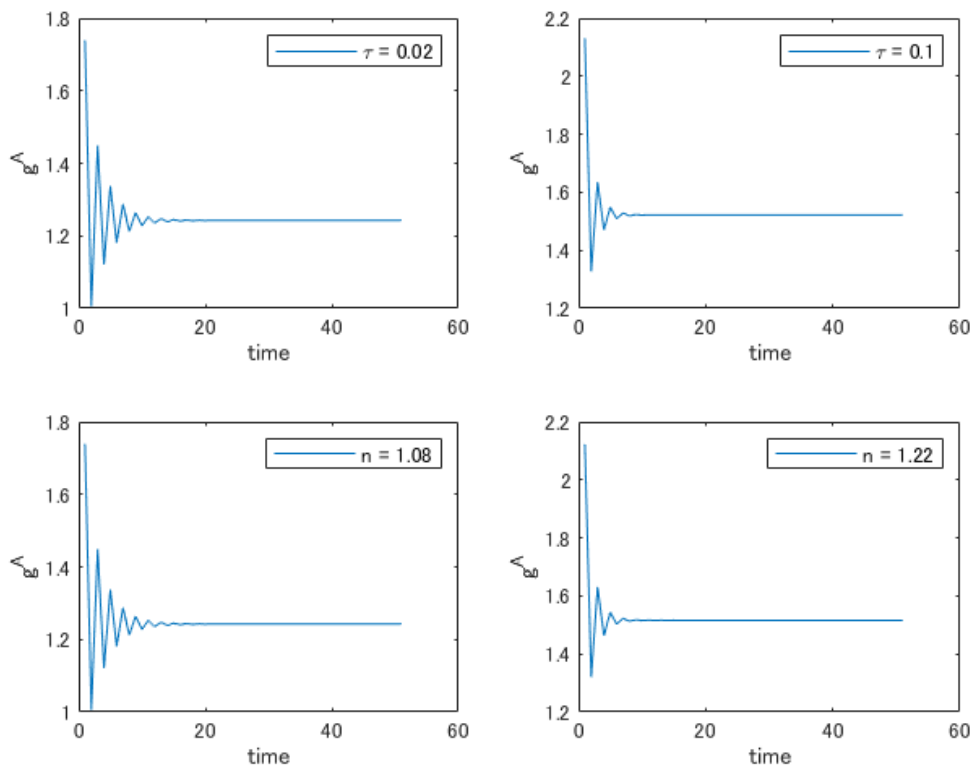


図 1.6: 収束速度への効果：所得税率と人口成長率

第2章 人口成長，公教育，私教育，および R&D ベース成長モデル

2.1 はじめに

本章では，主に先進国を対象に，政府が運営する公教育と，親が家庭内で子どもに与える私教育の両方を用いた R&D ベースの成長モデルを分析する．本研究では，高い人口成長が経済成長に負の影響を与えるという観測データに，追加的な筋道を提示している．本研究は，所得税を財源とする公教育部門を備えた R&D ベースの成長モデルを分析した Prettnner (2014) と関連している．Prettnner (2014) は，R&D ベースの準内生成長モデルの分野において貢献を与えたが，公教育の経済成長への効果のみを考慮に入れて人的資本の蓄積を分析している．より現実的に考えると，親が家庭内で行う私教育も考慮に入れるべきある．事実，Unified Growth Theory における Modern Growth Regime への離陸に関して，子どもの質を重視した家計の増加が寄与していることがあげられる．そこで，本研究では，Prettnner (2014) モデルに家庭内教育（以下，私教育）を導入し，R&D ベースの成長モデルの下で，子どもの量と質のトレードオフ効果を再考する．

学校教育以外の組織的な学習活動（塾や家庭教師などを含む）は，Bray (1999) によって“shadow education”と定義されている．Bray (2006) によると，shadow education は先進国，発展途上国ともに増加傾向にある．学生の学校での成績と私教育への参加の関係については，Stevenson and Baker (1992) によって実証的に調査されている．Stevenson and Baker (1992) は，日本のデータを用いて社会経済的地位の高い学生ほど私教育を受け，大学に進学することを実証的に示している．Stevenson and Baker (1992) では，社会経済的地位を親の学歴や収入で測っている．また，Tobishima (2012) は，学校外教育を受けている子どもほど，高校時代の勉強時間が長くなることを実証している．このことから，子どもの頃の課外活動は，子どもの学習能力を向上させ，教育の習熟度に影響を与える可能性があることが示唆されている．

一方，Nishimura and Yagi (2017) は，親がよく躰をし，子どもとの時間を共有しているほど，子どもの学力が高くなり，成人後の所得が高くなることを実証的に示している．上記の実

この章は，Hirono(2020a) を加筆修正したものである．

証データは、Heckman (2013) の一連の研究でまとめられている。Heckman (2013) では幼児教育について、読み書き計算などの「認知能力」だけでなく、達成意欲などの「非認知能力」に着目し、幼児教育への投資が高等教育の価値を高めるという実証結果を示している。これらの実証研究は必ずしも一般化することはできないが、課外活動だけでなく、親の躰を含めた私教育が、学校教育の生産性を上昇させる重要な要因の一つと考えられる。そこで、本研究では、Prettner (2014) モデルに私教育を導入し、私教育が公教育部門で働く教師の生産性を高めるという設定を追加した。主な結論は以下の通りである。一つは、公教育の生産性が低い場合でも、私教育の生産性がある程度高ければ、少子化により一人当たり所得成長率が上昇することを示している。これは、私教育が教員の生産性を高めることで間接的に公教育の生産性上昇を促しているからである。この結果は、子どもの質と量のトレードオフ効果を補完するものである。もう一つの結果は、一人当たり所得成長率は所得税率に関して逆U字型の関係にある。これは、所得税が教員の数を増やすことで公教育に正の効果を、研究者の数が減ることによる技術進歩への負の効果、また、可処分所得が減少することによる私教育に負の効果を持つことに起因する。これらの結果は、Prettner(2014) とは決定的に異なっている。本章は以下のように構成されている。2節で、モデルを説明し、3節では結果を示す。4節では結論を述べる。

2.2 モデル

本研究のモデルは Prettner (2014) の設定にしたがっている。

2.2.1 家計部門

個人が幼年期、労働期、引退期の3期間を生きる世代重複モデルを想定する。1期目に個人は、意思決定を行わず、公教育と私教育を受ける。2期目には、労働を非弾力的に供給し、賃金所得 $(1 - \tau)w_t h_t$ を得る。ここでは、 τ を所得税率、 w_t を効率労働当たり賃金率、 h_t を一人当たり人的資本を表している。得られた賃金所得は消費 (c_t)、貯蓄 (s_t)、さらに私教育 (e_t) に振り分ける。3期目には、前期の貯蓄の利払いを消費にまわすので、引退期の消費 (d_{t+1}) を $d_{t+1} = (1 + r_{t+1})s_t$ と表わすことができる。 r_{t+1} は、実質利子率である。このとき、労働期と引退期の予算制約はそれぞれ、以下のように書くことができる。

$$(1 - \tau)w_t h_t = c_t + s_t + n e_t.$$

$$(1 + r_{t+1})s_t = d_{t+1}.$$

t 期に労働期を生きる個人を世代 t とおくと、世代 t の生涯効用関数を以下のように定義する。

$$U_t = \ln c_t + \sigma \ln d_{t+1} + \theta \ln e_t.$$

ここで、 $\sigma \in (0, 1)$ が割引因子、 $\theta > 0$ は joy-of-giving altruism を表すパラメーターである。個人は上記の効用関数を最大にするような消費、貯蓄、そして私教育を選ぶ。効用最大化条件から以下が導出される：

$$c_t = \frac{w_t h_t (1 - \tau)}{1 + \sigma + \theta}, \quad s_t = \frac{\sigma w_t h_t (1 - \tau)}{1 + \sigma + \theta}, \quad e_t = \frac{\theta w_t h_t (1 - \tau)}{n(1 + \sigma + \theta)}. \quad (2.1)$$

このとき、 $\theta = 0$ にすると、Prettner (2014) にもどる。

2.2.2 生産部門

生産部門は、最終財部門、中間財部門、R&D 部門、公教育部門の 4 部門が存在する。各部門への労働移動は完全であると仮定する。

最終財部門

最終財部門は、完全競争市場である。人的資本を備えた労働者 (H_t^Y) と中間財 (x_t) を用いて最終財 (Y_t) を生産する。Romer (1990), Jones (1995) やその他多くの研究にしたがって、生産関数を

$$Y_t = F(H_t^Y, x_t) = (H_t^Y)^{(1-\alpha)} \int_0^{A_t} [x_t(i)]^\alpha di$$

と定義する。ここで、 A_t は、 t 期の中間財の variety であり、 $x_t(i)$ は、 i 番目の中間財である。 $\alpha \in (0, 1)$ は、中間財の最終財弾力性を表すパラメーターである。最終財部門の利潤を

$$\pi_t^Y = Y_t - w_t H_t^Y - \int_0^{A_t} p_t(i) x_t(i) di$$

と定義する。このとき、最終財の価格を 1 に基準化しており、 $p_t(i)$ は、中間財 1 単位の価格である。利潤最大化条件から、

$$w_t = (1 - \alpha) \frac{Y_t}{H_t^Y} \quad (2.2)$$

$$p_t(i) = \alpha (H_t^Y)^{1-\alpha} [x_t(i)]^{\alpha-1} \quad (2.3)$$

が得られる。

中間財部門

中間財部門は、独占的競争市場である。1 単位の設計図と物的資本から中間財を生産する。中間財の生産関数を

$$x_t(i) = F^i(k_t(i)) = k_t(i)$$

と定義する。 $k_t(i)$ は、 i 番目の中間財企業が投入する物的資本の量である。物的資本は、1 期間で完全減耗するとする。このとき、 i 番目の中間財企業の利潤は、

$$\pi_t(i) = p_t(i)k_t(i) - (r_t + 1)k_t(i) - p_t^A(i)$$

と表すことができる。 $p_t^A(i)$ は、設計図の価格を表す。式 (2.3) から、すべての i 企業について、利潤最大化条件は、

$$p_t(i) = \frac{r_t + 1}{\alpha} \quad (2.4)$$

が成立する。さらにゼロ利潤条件から

$$p_t^A(i) = (1 - \alpha)p_t x_t(i) \quad (2.5)$$

$$k_t(i) = k_t$$

が成立する。対称性から、 $K_t = \int_0^{A_t} k_t(i) di = A_t k_t$ が成立し、このとき、マクロ生産関数は、

$$Y_t = (A_t H_t^Y)^{1-\alpha} (K_t)^\alpha$$

が成立する。したがって、式 (2.3) から、 $p_t x_t = \alpha Y_t / A_t$ と表すことができ、さらに、この式を (2.5) に代入すると、

$$p_t^A = \alpha(1 - \alpha) \frac{Y_t}{A_t} \quad (2.6)$$

が導出される。

R&D 部門

R&D 部門は、完全競争市場である。人的資本を備えた科学者 (H_t^A) が設計図を生産する。このとき、生産関数は、以下のように与えられる。

$$A_{t+1} - A_t = F_t^A(H_t^A, A_t) = \phi(A_t)H_t^A.$$

ϕ は、既存技術の外部効果であり、 $\phi' > 0$ 、 $\phi'' < 0$ を仮定する。R&D 部門の利潤は、

$$\pi_t^A = p_t^A \phi(A_t) H_t^A - w_t H_t^A$$

と定義され、完全競争と整合的なのは

$$w_t = p_t^A \phi(A_t) \quad (2.7)$$

である。Strulik, Prettner and Prskawetz (2013) にしたがって、設計図の特許保護の期間は、1 期間とする¹。保護期間が過ぎた設計図は、政府が一度回収し、ランダムに選んだ企業に販売する。利潤は、政府が非生産的に消費する。このとき、政府支出 (G_t) は、 $G_t = p_t^A A_{t-1}$ と表すことができる。

公教育部門

公教育部門は、政府がファイナンスし、雇われた教員 (L_t^E) が教育サービスを提供する。教員の賃金は、所得税を使って賄う。したがって、政府の均衡予算は、以下のように定義される。

$$\tau w_t h_t L_t = w_t h_t L_t^E.$$

公教育の生産関数を以下のように設定する。

$$E_t = F^E \left(\xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right), L_t^E \right) = \xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right) L_t^E. \quad (2.8)$$

E_t は、公教育の生産量であり、 $\xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right)^2$ は、教員の生産性である。 $\xi' \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right) > 0$ が満たされ、教員の生産性は、親からの私教育の増加関数であると設定する。この設定は、Heckman (2013) の一連の実証結果を反映している。ここで、政府の均衡予算を (2.8) に代入すると

$$E_t = \xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right) \tau L_t$$

が導出され、生徒一人当たり公教育は

$$\frac{E_t}{L_{t+1}} = \frac{\tau}{n} \xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right)$$

¹本研究は3 期間世代重複モデルであり、1 期間を、約 30 年の長い期間と想定している。したがって、この設定は、妥当であると考えられる。

²IT スキルなどの学校教育で求められる能力に対応できるように、所得に比例して私教育の投入も増えると想定している。

とあらわすことができる。さらに、人的資本の蓄積式は、以下のように決まる。

$$h_{t+1} = \psi \left[\frac{\tau}{n} \xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right) \right]^\eta h_t \quad (2.9)$$

ここでは、 ψ は、公教育の効率性をパラメーターであり、 $\eta \in (0, 1]$ は、公教育の人的資本弾力性をあらわすパラメーターである。

2.2.3 市場均衡

この経済の市場は、効率労働市場、資本市場、財市場の3つの市場が存在する。

- 効率労働市場均衡式：

$$H_t = H_t^Y + H_t^A + \tau H_t.$$

$H_t = h_t L_t$ は、総人的資本である。

- 資本市場均衡式：

$$K_{t+1} = s_t L_t.$$

さらに資本所得は、 $K_{t+1} = (1 + r_t) \int_0^{A_t} k_t(i) di$ で表される。

上式が成立するとき、ワルラス法則から、財市場均衡

$$Y_t = c_t L_t + d_t L_{t-1} + e_t L_{t+1} + G_t + K_{t+1}$$

も成立する。

2.3 動学分析

まず、技術進歩率からみていく。労働移動は自由であるので、各生産部門の賃金率は、等しくなる。したがって、式(2.2)、(2.6)、(2.7)から最終財部門の効率労働需要が

$$H_t^Y = \frac{A_t}{\alpha \phi(A_t)}$$

と導出され、この式を、効率労働市場均衡式に代入すると、R&D 部門の効率労働需要が

$$H_t^A = (1 - \tau) H_t - \frac{A_t}{\alpha \phi(A_t)}$$

とあらわされる。このとき、R&D 部門の生産関数から、新しい設計図の開発は、

$$A_{t+1} - A_t = \phi(A_t) \left[(1 - \tau)H_{t+1} - \frac{A_t}{\alpha\phi(A_t)} \right] \quad (2.10)$$

であらわすことができる。

ここで、人的資本の成長率を導出する。総人的資本成長率は、最終部門の人的資本の成長率から

$$\frac{H_{t+1}^Y}{H_t^Y} = \frac{H_{t+1}}{H_t} = (g^h + 1)n \quad (2.11)$$

と定義することができる。このとき、技術進歩率は、式 (2.10) と (2.11) を使うと

$$g^A + 1 = \frac{\phi(A_t)h_tL_t}{\phi(A_{t-1})h_{t-1}L_{t-1}} = \frac{\phi(A_t)}{\phi(A_{t-1})}(g^h + 1)n \quad (2.12)$$

とあらわされる。ここで、 $\phi(A_t)$ を δA_t^ϕ と定義する。 δ は生産性を表すパラメーターであり、 $\phi \in [0, 1]$ は既存技術の外部性を表すパラメーターである。このとき、技術進歩率は、Prettner (2014) と一致する。最後に、一人当たり所得成長率を導出する。まず、マクロ生産関数から最終財部門の効率労働一人当たり生産量は、

$$y_t = \frac{Y_t}{A_t H_t^Y}$$

とおける。 $k_t = K_t/A_t H_t^Y$ であるので、

$$y_t = k_t^\alpha$$

が得られる。このとき、 y_t と k_t は一定である。また、一人当たり所得は $y_t = Y_t/L_t$ と定義することができるので、

$$y_t = \frac{y_t A_t H_t^Y}{L_t}$$

と変形することができる。定常状態では、 y_t は一定である。このとき、すべての成長率が時間を通じて一定となる状態を Balanced Growth Path (以下、BGP) と定義すると、式 (2.11) と (2.12) を使うと、BGP 上の一人当たり所得成長率は、

$$g^y + 1 = (g^A + 1)(g^h + 1) \quad (2.13)$$

と導出される。ここで、 $\xi \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right)$ を $\xi \cdot \left(\frac{e_t}{w_t h_t} \right)^\beta$ と特定化する。ここでは、 ξ は、教員の生産性を表すパラメーターであり、 $\beta \in (0, 1]$ が、私教育の人的資本生産弾力性を表すパラメーター

である。なお、 $\beta = 0$ としたとき、Prettner (2014)にもどる。このとき、式 (2.13) は以下のように書き直される。

$$g^y + 1 = n^{-\Lambda}\Omega. \quad (2.14)$$

ただし、

$$\Lambda \equiv \frac{\eta(2-\phi)(1+\beta)+1}{(1-\phi)} > 0$$

$$\Omega \equiv \left[\psi(\tau\xi)^\eta \left(\frac{1-\tau}{1+\sigma+\theta} \right)^{\eta\beta} \right]^{\frac{2-\phi}{1-\phi}} > 0$$

である。

2.4 比較静学

この節では、人口成長率と所得税率の成長率効果を分析する。本研究のモデルについて、収束するケースについての分析に焦点をあてるため以下のような仮定をおく³。

仮定 1

$$1 - 2\alpha > \phi.$$

したがって、以下では、この経済に BGP が存在するものとして分析を進める。

2.4.1 人口成長の効果

人口成長の効果について、以下の命題でまとめることができる：

命題 2.1 教育の人的資本弾力性 (η) が小さい場合でも、私教育の人的資本弾力性 (β) が十分大きければ、人口成長率 (n) が低いときに、一人当たり所得成長率は上昇する。

証明. 式 (2.14) を n で微分すると、以下が導出される。

$$\frac{\partial g^y}{\partial n} = - \left(\frac{\eta(2-\phi)(1-\beta)+1}{1-\phi} \right) n^{-(\Lambda+1)}\Omega. \quad (2.15)$$

式 (2.15) から $\frac{\partial g^y}{\partial n} > 0 \Leftrightarrow \eta(2-\phi)(1-\beta) < 1$ が成立する。 η と β の関係は、図 2.1 で描かれる。図 2.1 の曲線の下領域は、人口成長率が低いとき、一人当たり所得成長率が減少する

³移行過程については、前章参照。

(少子化で経済成長率が減少) 経済を意味している。一方で、曲線より上の領域は、人口成長率が低いとき、一人当たり所得成長率が増加する(少子化で経済成長率が上昇) 経済を示唆している。このとき、たとえ、 $\eta = \eta' < \frac{1}{2-\phi}$ であっても、 $\beta > \beta'$ であれば、得られる座標は、曲線より上側の領域に位置する。 ■

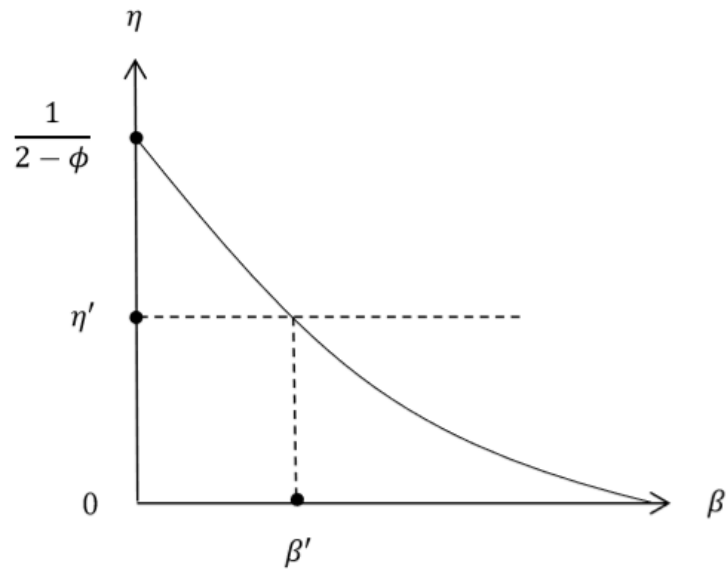


図 2.1: 公教育と私教育の生産性

2.4.2 所得税率の効果

次に、所得税率の効果について分析する。税率の効果を示すため、式 (2.14) を以下のように変形する。

$$g^y + 1 = [f(\tau)]^{\frac{\eta(2-\phi)}{(1-\phi)}} \psi \left(\frac{\xi}{(1+\sigma+\theta)^\beta} \right)^\eta n^\Lambda.$$

ただし

$$f(\tau) = \tau(1-\tau)^\beta \tag{2.16}$$

である。これらの式から、以下の命題が導出される：

命題 2.2 一人当たり所得成長率と所得税率は、逆 U 字の関係を描く。

証明. 式 (2.16) を τ で微分すると, 以下が導出される.

$$\frac{\partial f(\tau)}{\partial \tau} = (1 - \tau)^{\beta-1} [1 - \tau(1 + \beta)]. \quad (2.17)$$

式 (2.17) から, $\frac{\partial f(\tau)}{\partial \tau} \geq 0 \Leftrightarrow \tau \leq \frac{1}{1 + \beta}$ が成立する. したがって, τ の一人当たり成長率効果は, 図 2.2 のように描くことができる. このとき, 一人当たり所得成長率は, $\tau = \frac{1}{1 + \beta}$ で最大になる. ■

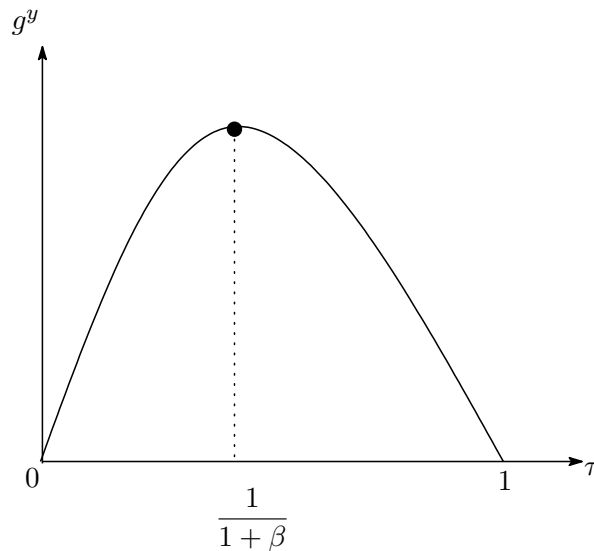


図 2.2: 所得税の一人当たり所得成長率の効果

この結果に対する直観的理由は以下の通りである. まず, 所得税率の上昇には, 二つの相反する効果がある. 一つは, 教員の数が増えることで公教育の生産性を上昇させる正の効果である. もう一つは, 負の効果であり, 負の効果はさらに二つに分類される. 一つ目が, 可処分所得が減少することで私教育に与える負の効果であり, もう一つが, 教員の数が増加することで研究者の数が減少することによる技術進歩への負の効果である. 税率が低いときには, 正の効果が負の効果を上回り, 一人当たり所得成長率を上昇させるが, 一定水準より高くなると, その関係は逆転し, 一人当たり所得成長率は負に転じる. 結果的に, 一人当たり所得成長率の最大値は, 一意に決まる.

2.5 おわりに

本章では, 政府がファイナンスする公教育と, 家庭内で親が与える私教育の両方を備えた R&D ベースの内生成長モデルを構築し, 人口成長と所得税率が一人当たり所得成長率に与える

影響を分析した。その結果、公教育の生産性が低い場合でも、私教育の水準が高ければ、少子化で一人当たり所得成長率が上昇するという結果を導出した。この結果は、家庭内教育が、学校教育の成果に正の効果があるという実証研究に基づき、親の私教育が教員の生産性を上昇させるというモデル設定に起因している。この結果のメカニズムは、Becker の子どもの質と量のトレードオフの関係を補完している。さらに、所得税率と一人当たり所得成長率は、逆 U 字の関係を描く。この理由は、所得税率が与える二つの相反する効果：公教育への正の効果、私教育への負の効果に起因する。所得税率が低いとき、正の効果が負の効果を上回り、一人当たり所得成長率を上昇させる。一方で、税率が高くなると、負の効果が正の効果を上回り、一人当たり所得成長率は減少へ転じる。したがって、一人当たり所得成長率を最大にする所得税率は一意に決まる。本研究は、以下のような拡張の余地がある。まず、一つが、人口成長率の内生化である。家計の教育選択が人口動態の変遷によって影響を受けているのであれば、当然家計の子どもの数の意思決定を考慮に入れるべきである。子どもの数と教育選択の意思決定を考慮に入れることで、人的資本蓄積と R&D 部門の労働者の数に相互に影響を与え、経済成長への非単調な効果を与える可能性がある。さらに、人口動態をより厳密に分析するのであれば、高齢化の効果も同時に考えるべきである。これらの効果について、次章でみていく。

第3章 人口動態，人的資本蓄積，および産業間 雇用—子どもへの教育—

3.1 はじめに

本研究では、非教育サービス部門と教育サービス部門の産業間雇用シェアの移動を考慮し、少子高齢化が経済成長に与える影響を理論的に分析している。多くの国で人口の高齢化が進んでいる。UN（2018）による推計によると、60歳以上の人口は2017年（約9億6,200万人）と比較して、2050年の2倍以上（約21億人）、2100年には3倍以上（約31億人）に増加すると予測されている。さらに、80歳以上の人口は、2017年（約1億3700万人）から2050年（約4億2500万人）には3倍以上に増加し、2100年（約9億900万人）には7倍近くに増加すると予測されている。この傾向は先進国と途上国共通であり、例えば、アフリカの60歳以上の人口の割合は、2017年の5%から2050年には9%程度に増加すると予測されている。そして、21世紀末までには、ほぼ20%まで上昇すると予想されている¹。高齢化は、経済成長を減退させる要因として懸念されている。その主な理由として、人口に対する高齢者の比率の増加が労働人口や労働生産性の低下を促すと予想されるからである。しかし、高齢化と経済成長に関する実証結果は必ずしも、単調な結果を示していない。例えば、Acemoglu and Johnson（2007）やMaestas, Mullen and Powell（2016）は、人口高齢化が一人当たり所得成長率に負の関係を持つことを示しているが、Barro and Sala-i-Martin（1995）やLorentzen, McMillan and Wacziarg（2008）は、平均寿命の延長が高い経済成長率と関連していることを示唆している。つまり、人口高齢化が経済成長にプラスに寄与するかマイナスに寄与するかは、国、環境、時代に依存するといえる。例えば、Kelley and Schmidt（1995）は、1960～1970、1970～1980、1980～1990の3つの期間と89カ国のパネルデータを用いて、高齢化と経済成長の間に非線形の関係が存在することを指摘している。その他にも、An and Jeon（2006）は、経済協力開発機構（以下、OECD）加盟国の1960-2000年のパネルデータを用いて、人口動態の変化と経済成長の間に逆U字型の関係を示している。さらに、Azomahou and Mishara（2008）は、一般化加法モデルを用いて、年齢別人口増加が一人当たり所得の成長に与える効果が、OECD諸

この章は、Hirono(2020d)を加筆修正したものである。

¹同様のデータは、Cigno and Werding（2007）でも示されている。

国、非 OECD 諸国ともに非線形であることを示し、特に一人当たり所得成長率は、65 歳以上の人口が増加している国では、それぞれの国で逆 U 型になっていることを示している。また、Kunze (2014) は、1960 年と 1980 年の初老寿命が異なる国について、1960 年から 1990 年までと、1980 年から 2010 年までの一人当たり GDP の平均成長率を世界銀行のデータを用いて計算している。Kunze (2014) は、初老寿命が 60~69 歳未満から上昇するにつれて経済成長率が大幅に上昇するが、70 歳以上になると経済成長率は低下するということを示している。本研究では、この結果を解釈するために単純な離散時間世代重複モデルを構築し、人口高齢化が一人当たり所得の成長に及ぼす非線形効果を理論的に分析した。

そこで、本章の主な研究目的は、高齢化と経済成長の間に逆 U 字の関係があるとするならば、どのような条件で平均寿命の延長が経済成長にプラスになるのかを。理論的に説明することにある。高齢化と経済成長の非線形性を分析している理論研究は、いくつか存在する。たとえば、de la Croix and Licandro (1999) では、個人が労働市場に参加する前の教育を受ける期間と平均寿命の正の相関を連続時間世代重複モデルを用いて説明した研究である。人的資本蓄積の成長率効果は、平均寿命が低い間は正の効果を示すが、平均寿命が高くなると労働者の平均年齢の上昇の効果で相殺されてしまい、負に転じるという結果を示している。Zhang, Zhang and Lee (2003) は離散時間世代重複モデルを用いて、個人の貯蓄決定と意図しない遺産選択の間の相互関係を考慮し、高齢化による意図しない遺産の減少が正の貯蓄効果を相殺することで経済成長を阻害することを示唆している。Tabata (2005) は、個人の貯蓄に対する私的医療費の影響に注目している。平均寿命が十分に大きい場合、医療費の増加は貯蓄を減少させ、経済成長を減少させる可能性を示している。さらに、Kunze (2014) は、遺産と世代間移転を用いて、経済成長と高齢化の非線形性を示している。平均寿命が延びると、子供の教育投資よりも老後の消費の方が相対的なウェイトが大きくなるため、貯蓄が増えることで物的資本蓄積が加速する。そのため、物的資本蓄積の促進による正の効果が教育費の減少による負の効果を上回るならば、経済成長は拡大する可能性がある。しかし、遺産を考慮に入れた場合には、貯蓄の正の効果が、子どもへの遺産の減少によって相殺され、物的資本蓄積が減退する。したがって、成長効果はマイナスとなる可能性がある。

ここで、人口高齢化が経済成長以外に与える効果について着目する。人口高齢化は、経済成長率だけでなく、生産部門の雇用シェアにも影響を与えることが実証的に示されている。Siliverstovs, Kholodilin and Thiessen (2011) は、先進国と発展途上国 51 カ国を対象に、1970 年から 2004 年間のパネルデータを分析している。その結果、人口高齢化は農業、建設業、鉱業など資本集約性の低い産業の雇用シェアを低下させ、一方で、金融部門などの資本集約性の高い産業の雇用シェアを増加させることを示している。また、Maestas, Mullen and Powell (2016) は、

人口高齢化によって産業構造が変化することを述べており、人口高齢化が産業の成長をほぼすべて減少させることを示している。特に、資本集約度の低い部門である建設業の雇用シェアが最も低下していることを明らかにしている。また、雇用シェアは生産性に正の外部性効果を持つことも観測されている。例えば、Dekle (2002) は、日本のデータを用いて金融業やサービス業において、知識の外部効果が生産性に正の効果をもたらすことを実証的に示している。また、Cingano and Schivardi (2004) は、イタリアのデータを用いて、製造業の各部門の雇用シェアと全要素生産性との間に正の関係があることを示している。この外部効果は、ピアグループ効果としても解釈できる。Calvo-Armengol et al. (2009) によると、より大きなネットワークと結びついている学生は、より良い教育成果を達成することを示している。さらに、外部性効果の大きさは生産部門ごとに異なる。Dekle (2002) は、産業別に相関係数の値が異なることを示しており、金融業における強い外部効果を示している。このように、高齢化が生産部門ごとに異なる影響を与える可能性があることがわかる。前述の実証研究では、人口高齢化が、低資本集約的産業から高資本集約産業へと雇用シェアの移動を誘発するという効果を示唆している。この実証データは、Guest (2011) によって理論的に反映されている。Guest (2011) は、アメリカとオーストラリアのデータをもとに数量分析を行っている。Guest (2011) では、人口高齢化によって、低資本集約産業から高資本集約かつ、年齢が上がるにつれて需要が高まる産業へと雇用シェアの移動し、その結果、資本集約型産業の労働生産性は上昇することを示している。ただし、Guest (2011) では、以下の拡張の余地を残している。一つ目に、経済成長は考慮されていない。また、年齢が上がるにつれて需要が増加する産業に着目する一方で、年齢とともに需要が減少する産業は考慮されていない。アメリカのデータを見ると、Guest (2011) の2004年のデータによれば、年齢が上がるにつれて家計の教育支出シェアは低下している。最新の観測（表 3.1）でも同様である。

item	Aggregate expenditures	Under 25 years	25-34 years	35-44 years	45-54 years	55-64 years	65 years and older
<i>Health care</i>	652,982	1.4	10.0	14.5	18.1	21.5	34.4
<i>Education</i>	184,932	9.3	12.6	13.4	35.0	22.9	6.7

表 3.1: 世帯別教育支出と健康投資支出のシェア (2018 年, アメリカ). 出所: Table 1300, the U.S. Department of Labour, Bureau of Labour Statistics: Shares of annual aggregate expenditures and sources of income, 2018, <http://www.bls.gov>.

高齢化が進行すると、人口構成比率は教育を需要しない高齢者に偏り、教育需要は減少することが予想される。人口高齢化と教育費の関係については、これまでも実証研究が行われている。例えば、Poterba (1997) は、人口構造と 12 歳以下の子どもへの教育に対する政府支

出の水準との関係を検証している。Poterba (1997) は、1960 から 1990 年のアメリカのパネルデータを用いて、高齢者の割合が増加すると、子ども一人当たりの教育費が減少することを示した。さらに、Harris, Evans and Schwab, R. (2001) は、州・地区レベル両方での高齢者の割合の増加が州の公教育支出を減少させることを示している。これらの研究は、公教育支出に焦点を当てている。しかし、高齢化によって教育への選好のウェイトが下がっていることも実証的に証明されている。例えば、Cattaneo and Wolter (2009) では、スイスのデータを用いて、人口高齢化が教育支出にマイナスの影響を与える原因が、高齢化によって個人の選好のウェイトが将来世代の教育よりも老後の社会保障へ移行していることにあると示した。このことから、公的・私的支出にかかわらず、高齢化によって家計の教育支出は減少することが予想される。このような世代間の資源配分の対立を理論的に分析した論文に Lancia and Russo (2016) がある。Lancia and Russo (2016) は、政治経済学の枠組みで世代間資源配分の対立を理論的に示している。Lancia and Russo (2016) は、公的予算の配分をめぐる世代間対立に焦点を当てており、個人が、選挙で次世代に向けた公教育政策と公的年金政策を選択するモデル設定となっている。公教育は人的資本の蓄積を向上させ、公的年金は老年世代への世代間移転である。Lancia and Russo (2016) では、高齢化は老年世代の有権者の政治力の上昇と解釈できる。Lancia and Russo (2016) のモデルの特徴は、政治経済における内部収益率が、人的資本蓄積と高齢者の政治的権力の 2 つの成分で構成されていることである。高齢者の政治力が閾値を下回ると、人的資本による成長効果が優先し、内部収益率が上昇する。逆に、高齢者の政治力が閾値を超えると、この関係は逆転する。したがって、内部収益率は逆 U 字型である。本研究のモデルは、Lancia and Russo (2016) とは異なり、各生産部門の雇用シェアの変化という実証データに基づき、世代間の対立を説明している。また、Hori (2009) は、高齢化が世代間および世代内の格差に与える影響を連続時間世代重複モデルを用いて理論的に分析している。Hori (2009) は、平均寿命の上昇は若年世代の世代間格差には正の効果があり、老年世代の世代間格差と、世代間格差には負の効果があることを示している。Hori (2009) では、高齢化と格差の関係について 3 つのバリエーションを分析している。しかし、高齢化の成長率効果については、単調な関係を示している。

そこで、本研究では、少子高齢化と経済成長の関係を明らかにするため、産業間雇用シェアと人的資本蓄積を考慮したモデルを構築する。生産部門については、教育部門と非教育部門の二部門を設定し、雇用シェアが労働生産性に及ぼす外部効果の部門間の違いに着目している。また、教育部門は非教育部門よりも労働集約的であると仮定する。このような設定の下で、人口高齢化の成長効果が非単調の関係になるメカニズムを説明する。高齢化は、部門間雇用に二つの効果を与える。第一の効果は、需要構造の変化に伴う直接的な労働移動効果である。人口高

齢化は、非教育部門で生産された財・サービスの需要を増加させる。非教育部門の雇用が増加することで、非教育部門の労働生産性が向上し、経済成長率が上昇する。しかし、教育部門の雇用は減少するため、教育部門の労働生産性は低下する。第二の効果は、資本蓄積に伴う間接的な労働移動効果である。平均寿命が延びると、個人の予備的貯蓄が増加し、資本蓄積が促進される。この傾向は、相対的に資本集約的な非教育部門の労働の限界生産性を上昇させる。したがって、人口高齢化は、教育部門から非教育部門への雇用シェアの移動を促進する。しかし、教育部門の労働供給量と生産量の減少により、人的資本の蓄積は低下する。このように、少子高齢化には、非教育部門の労働生産性への正の効果と人的資本蓄積への負の効果の二つの効果がある。この結果、経済成長がプラスの変化を示すかマイナスの変化を示すかは、どちらの効果が大きいかによって依存する。

二部門成長モデルを用いて高齢化と経済成長の関係を取り上げたモデルはいくつかある。Hashimoto and Tabata (2010) と Momota (2012) は、高齢化が医療サービス部門の雇用シェアと一人当たり所得成長率に与える影響を分析している。Hashimoto and Tabata (2010) は、小国開放経済では、高齢化により、財部門から医療サービス部門への雇用移動が起こり、一人当たりの所得成長率が低下することを示している。Momota (2012) は、Hashimoto and Tabata (2010) のモデルで、相似拡大的な選好を仮定すると、高齢化により一人当たり所得成長率が上昇することを示している。さらに、Shintani and Yasuoka (2019) は、財部門と養育サービス部門の二部門成長モデルを構築し、貨幣と金融政策が一人当たりの所得成長率、出生率、保育サービスの雇用シェアを上昇させることを示している。本研究は、Hashimoto and Tabata (2010) を拡張している。本研究では、医療サービスではなく、教育サービスを仮定している。高齢化については老年期の生存率の上昇と定義する。さらに、生産部門の生産性に雇用シェアの外部性効果を導入している。Cingano and Schivardi (2004), Dekle(2002), Calvo-Armengol, Patacchini and Zenou (2009) の実証データを反映し、各部門の生産性は雇用シェアの増加関数と仮定している。生産部門の外部性を用いた理論的研究は様々なものが存在する。例えば、Shintani and Yasuoka (2019) は、Romer (1986) と同様に資本ストックの外部性を採用している。また、Galor and Moav (2000) の定式化では、生産性が、相対的な労働需要に影響を与えないと仮定している。一方で、本研究のモデルの定式化では、非教育部門の労働シェアに応じて生産性が内生的に変化すると仮定している。この仮定は、Galor and Moav (2000) とは決定的に異なる。この設定の下で、生存率の上昇が一人当たりの所得成長率に与える影響を分析する。主な結果は以下の通りである。生存確率の上昇が、出生率の単調な低下をもたらす。さらに、生存確率には一人当たり所得成長率を増減させる閾値がある。生存確率が閾値を下回ると、一人当たり所得成長率は上昇し、生存確率が閾値を超えると、逆に一人当たりの所得成長率は低下する。これらの

結果の背景にある直観は以下の通りある。高齢化には、非教育部門に労働が集積することによる生産性へのプラスの効果と、教育サービス部門の労働が流出することによる生産性低下、およびそれに伴う人的資本蓄積に与えるマイナスの効果の二つの効果がある。生存確率が低い場合には、前者の効果が後者の効果を上回り、生存率が閾値を超えると、その関係は逆転する。したがって、非教育部門の生産性が高くなるほど、一人当たり所得成長率の最大値が大きくなる。この結果は、経済成長と高齢化の単調な関係を示唆した Hashimoto and Tabata (2010) や Momota (2012) とは決定的に異なる。また、部門間の雇用シェアの外部効果が労働生産性に異なる効果を与えるという実証研究をもとに、人口高齢化と経済成長の間に逆U字型の関係を理論的に示した研究はない。このように、本研究から得られた新たな知見は、Galor (2011) で紹介されている一連の研究の Modern Growth Regime の部分に貢献する。本章は以下のように構成されている。第2節で、モデルを紹介する。第3節で、モデルを分析し、少子高齢化が一人当たり所得成長率に与える影響を分析する。第4節では、数値例を用いて結果を検討する。第5節では、自分自身への教育投資を導入し、基本設定を拡張する。第6節は結びである。

3.2 モデル

3.2.1 生産部門

閉鎖経済に二部門の生産部門が存在するとする。一つは、 M でラベル付けされた非教育部門であり、もう一つが、 E でラベル付けされた教育部門である。非教育財の価格を1に基準化し、教育の価格を p_t とおく。両部門とも完全競争市場であり、労働移動は完全とする。したがって、賃金率は、両部門で同じである。

非教育部門

非教育財は、消費もしくは、投資に用いられる。生産要素は、物的資本と人的資本である。生産関数は、

$$Y_t^M = F(K_t, A_t H_t^M) = K_t^\alpha (A_t H_t^M)^{1-\alpha}$$

と定式化し、ここでは、 K_t は、総物的資本、 H_t^M は、非教育部門の人的資本を表す。 $A_t > 0$ は、生産性を表しており、現在の技術や知識、経験を意味している。 α は分配率を表すパラメーターである。非教育部門の人的資本は、 $H_t^M = N_t h_t l_t^M$ と定義し、 h_t は一人当たり人的資本、 l_t^M は非生産部門の一人当たり労働量、 N_t は総人口を表している。さらに、今期の労働生産性

は、今期の雇用シェアと前期の労働生産性に依存すると仮定する。このとき、 A_t は、以下のよ
うな定式化を仮定する。

$$A_t = \phi_A(\nu_t)A_{t-1}.$$

ここでは、 $\nu_t = \frac{H_t^M}{H_t}$ は、非教育部門の雇用シェアを表し、 $\phi_A'(\nu_t) \geq 0$ を仮定する。ただし、 H_t は総人的資本である。 $\phi_A'(\nu_t) = 0$ のとき、労働生産性は、一定となる。 $\phi_A'(\nu_t) > 0$ のとき、雇用シェアの上昇とともに労働生産性は上昇する。 Deckle (2002) では、日本のデータを用いて、金融部門とサービス部門において、労働者が集積することによる知識の外部効果が生産性を上昇させることを実証的に分析している。さらに、 Cingano and Schivardi (2004) は、イタリアのデータから、製造業の雇用シェアが、全要素生産性に正の効果を与えるという結果を示した。本節のモデルの設定は、 Deckle (2002) と Cingano and Schivardi (2004) の実証結果を反映させている。また、雇用シェアが生産性を促進するという設定は、 van Groezen, Meijdam and Verbon (2005) などの理論研究でも正当化されており、この効果は learning-by-doing 効果として解釈することができる。

資本レンタルを R_t とおくと、非教育部門の利潤 π_t^M は以下のように定義される。

$$\pi_t^M = Y_t^M - R_t K_t - w_t H_t^M.$$

このとき、利潤最大化条件から、

$$R_t = \alpha k_t^{\alpha-1} \tag{3.1}$$

$$w_t = (1 - \alpha) A_t k_t^\alpha \tag{3.2}$$

が導出される。ここでは、 $k_t \equiv \frac{K_t}{A_t H_t^M}$ を資本効率労働比率とおく。物的資本は、1 期間で完全減耗すると仮定する。したがって、 R_t は粗利子率と解釈できる。

教育部門

教育部門は、労働集約的であり、子どもの人的資本形成のための教育財・サービスを提供する。教育部門の生産関数を、以下のように定式化する。

$$E_t = B_t H_t^E. \tag{3.3}$$

非教育部門と同様に、 $H_t^E = N_t h_t l_t^E$ は教育部門で雇用される効率労働をあらわしており、 l_t^E は教育部門の一人当たり労働量である。教育部門の労働生産性は、

$$B_t = \phi_B(1 - \nu_t)B_{t-1}$$

で定義する。このとき、 $\phi_B' \geq 0$ が成立し、 $1 - \nu_t = \frac{H_t^E}{H_t}$ は教育部門の雇用シェアをあらわしている。この定式化は、Deckle (2002) や Cingano and Schivardi (2004) だけでなく、Calvo-Armengol, Patacchini and Zenou (2009) で実証的に示されているようなピアグループ効果を参考にしてしている。教育部門の利潤 π_t^E は、

$$\pi_t^E = p_t B_t H_t^E - w_t H_t^E$$

で定義する。 p_t は教育財・サービスの価格である。完全競争との整合性から

$$p_t = \frac{w_t}{B_t} \tag{3.4}$$

が導出される。

3.2.2 家計部門

個人が最大3期間（幼年期、労働期、引退期）を生きる世代重複モデルを想定する。個人は、確率 q で3期目を生きることができる²。生存確率 $q \in (0, 1]$ は外生である。2期目に個人は、子ども (n_t) を生む。したがって、人口動学式は、 $N_t = n_{t-1}N_{t-1}$ で定義される。 t 期に労働期を生きる個人を世代 t とおき、Hashimoto and Tabata (2010) を参考に、世代 t の期待効用関数を、

$$EU_t = \log c_t + \beta q \log d_{t+1} + \gamma [\log n_t + \theta \log e_t] \tag{3.5}$$

と定式化する。 c_t と d_{t+1} は、それぞれ、労働期と引退期の消費である。 $\beta \in (0, 1]$ と $\gamma > 0$ は、それぞれ、割引因子と altruism をあらわすパラメーターである。さらに、 e_t は、子どもへ与える教育財の需要量であり、 θ が、子どもの数に対する相対的な教育財へのウェイトをあらわすパラメーターである。幼年期には、個人は意思決定をせず教育を受ける。労働期には、個人は1単位の時間を労働と養育時間に振り分ける。賃金所得は、非教育財・サービス、教育財・サービス、貯蓄に振り分ける。引退期には、個人は前期の貯蓄を消費に回す。Yaari (1965) にしたがって、私的保険企業が完備であると設定する。したがって、老年期を生きることが出来る個人

²Cigno (1998) のように、幼児死亡率も高齢化の重要な要因であるが、本研究では成人死亡率に焦点を当てる。

は、私的年金 R_{t+1}/q を得る。このとき、世代 t の予算制約と時間制約は、以下のようにあらわすことができる。

$$w_t l_t h_t = c_t + n_t p_t e_t + s_t \quad (3.6)$$

$$\frac{R_{t+1}}{q} s_t = d_{t+1} \quad (3.7)$$

$$1 = l_t + z n_t. \quad (3.8)$$

ここでは、 l_t は労働時間をあらわし、 z は養育時間である。式 (3.6) を (3.7) に代入すると、生涯予算制約が

$$w_t l_t h_t = c_t + n_t p_t e_t + \frac{q}{R_{t+1}} d_{t+1}. \quad (3.9)$$

と導出される。さらに人的資本蓄積式を以下のように設定する。

$$h_{t+1} = \mu(e_t)^\sigma. \quad (3.10)$$

$\mu > 0$ は効率性をあらわすパラメーターであり、 $\sigma \in (0, 1)$ は教育財・サービスの人的資本の生産弾力をあらわすパラメーターである。式 (3.10) では、 h_{t+1} は子どもの人的資本を意味している。以上より、式 (3.9) の制約のもとで、式 (3.5) を最大にするような個人の選択は以下のようになる：

$$c_t = \frac{w_t h_t}{1 + \gamma + \beta q}$$

$$d_{t+1} = \frac{\beta q R_{t+1}}{1 + \gamma + \beta q} w_t h_t$$

$$s_t = \frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} w_t h_t \quad (3.11)$$

$$e_t = \frac{z\theta}{1 - \theta} \frac{w_t h_t}{p_t} \quad (3.12)$$

$$n_t = \frac{\gamma(1 - \theta)}{(1 + \gamma + \beta q)z} \equiv n(q) \quad (3.13)$$

$$l_t = \frac{1 + \beta q + \gamma\theta}{1 + \beta q + \gamma} \equiv l(q). \quad (3.14)$$

式 (3.12)-(3.14) を使うと、家計の教育支出は、

$$\frac{n_t p_t e_t}{w_t h_t l_t} = \frac{\gamma\theta}{1 + \gamma + \beta q}$$

と導出される。上式より、家計の教育支出は、生存確率 q に関して減少関数である。この傾向は、Poterba (1997), Harris, Evans and Schwab (2001), Cattaneo and Wolter (2009) の実証データを描写している。また、式 (3.13) から、 q の上昇により、子どもの数 n_t が減少することがわかる。人口動学式から、引退世代と労働世代の比率は、

$$\frac{qN_{t-1}}{N_t} = \frac{q}{n(q)}$$

とあらわすことができる。したがって、このモデルでは、生存確率 q の上昇を人口動態と解釈することができる。さらに、式 (3.14) は q の上昇が、労働時間 l_t を増加させることを示している。このメカニズムは、平均寿命の増加が、学校教育と労働時間に正の影響を与える Ben-Portah のメカニズムをあらわしている。

3.2.3 市場均衡

このモデルには、4つの市場（非教育財・サービス市場、教育サービス市場、物的資本市場、効率労働市場）が存在する：

- 効率労働市場均衡式：

$$H_t^M + H_t^E = N_t h_t l_t. \quad (3.15)$$

- 物的資本市場均衡式：

$$K_{t+1} = s_t N_t. \quad (3.16)$$

- 教育サービス市場均衡式：

$$E_t = N_{t+1} e_t. \quad (3.17)$$

式 (3.15)-(3.17) が満たされるとき、ワルラス法則から非教育財・サービス市場均衡式：

$$Y_t^M = c_t N_t + q d_t N_{t-1} + K_{t+1}$$

が成立する。

3.3 動学分析

3.3.1 産業間雇用シェア

まず，人口動態の変化が各産業間雇用シェアに与える効果を分析する．まず，式 (3.15) を

$$\frac{l_t^M}{l_t} + \frac{l_t^E}{l_t} = 1$$

と書くことができる．このとき，式 (3.3)，(3.12)，(3.17)，さらに人口動学式 $N_t = n(q)N_{t-1}$ を使うと，

$$B_t h_t l_t^E = n(q) \frac{z\theta}{1-\theta} \frac{w_t h_t}{p_t} \quad (3.18)$$

が導出される．式 (3.18) に式 (3.13) を代入し，さらに式 (3.15) を使うと，各生産部門の一人当たり雇用が，以下のように導出される：

$$l_t^E = \frac{\gamma\theta}{1 + \gamma + \beta q} \equiv l^E$$
$$l_t^M = \frac{1 + \beta q}{1 + \gamma + \beta q} \equiv l^M$$

このとき，上式と式 (3.14) から，各産業の雇用シェアが

$$1 - \nu_t = \frac{\gamma\theta}{1 + \gamma\theta + \beta q} \quad (3.19)$$

$$\nu_t = \frac{1 + \beta q}{1 + \gamma\theta + \beta q} \quad (3.20)$$

と導出される．したがって，各生産部門の雇用シェアは時間を通じて一定であり，子どもの数 n に影響しない．このとき以下の補題が導かれる：

補題 3.1 引退期の生存確率 q が上昇すると，均衡での非教育部門の雇用シェアは増加する．

証明. 式 (3.20) を q で微分すると，

$$\frac{\partial \nu}{\partial q} = \frac{\beta\gamma\theta}{(1 + \gamma\theta + \beta q)^2} > 0$$

が導出される． ■

この結果の直観的理由は以下のとおりである：高齢化が進行すると，引退世代の比率が高くなる．したがって，非教育部門・サービスの需要が増加し，それに応じた供給が必要になる．そ

の結果，教育部門から非教育部門への労働移動が起こる．この結果は，Guest (2011) で提示されているデータと整合的である．

また，式 (3.19) と (3.20) を各生産部門の learning-by-doing の関数に代入すると，

$$A_{t+1} = \phi_A \left(\frac{1 + \beta q}{1 + \gamma\theta + \beta q} \right) A_t \quad (3.21)$$

$$B_{t+1} = \phi_B \left(\frac{\gamma\theta}{1 + \gamma\theta + \beta q} \right) B_t \quad (3.22)$$

が導出される．これらの式から，以下の補題が導かれる：

補題 3.2 引退期の生存確率 q が上昇すると，非教育部門の生産性 A_t の成長率は上昇し，教育部門の生産性 B_t の成長率は減少する．

証明. 式 (3.21) と (3.22) から自明. ■

3.3.2 移行動学

この経済の移行動学を分析する．

人的資本の動学

まず，人的資本の動学から分析する．式 (3.21) と (3.22) は，各生産部門の生産性の成長率であり，時間を通じて一定である．したがって， $\frac{A_{t+1}}{A_t} \equiv \phi_A$ ， $\frac{B_{t+1}}{B_t} \equiv \phi_B$ と定義する．このとき，式 (3.4) と (3.12) を使うと，人的資本蓄積式 (3.10) は，以下のように書き直される．

$$h_{t+1} = \mu \left(\frac{z\theta}{1 - \theta} B_t h_t \right)^\sigma \quad (3.23)$$

人的資本の成長率を g^h と定義し，式 (3.23) を，

$$\frac{h_{t+1}}{h_t} = \left(\frac{B_t}{B_{t-1}} \frac{h_t}{h_{t-1}} \right)^\sigma$$

と書き直おすと，

$$g_t^h = (\phi_B g_{t-1}^h)^\sigma \quad (3.24)$$

が導出される．すべての成長率が時間を通じて一定となるときを，均斉成長経路 (Balnced Growth path, 以下 BGP) と定義する．このとき， $g^{h*} = (\phi_B)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}$ が得られる．したがって，

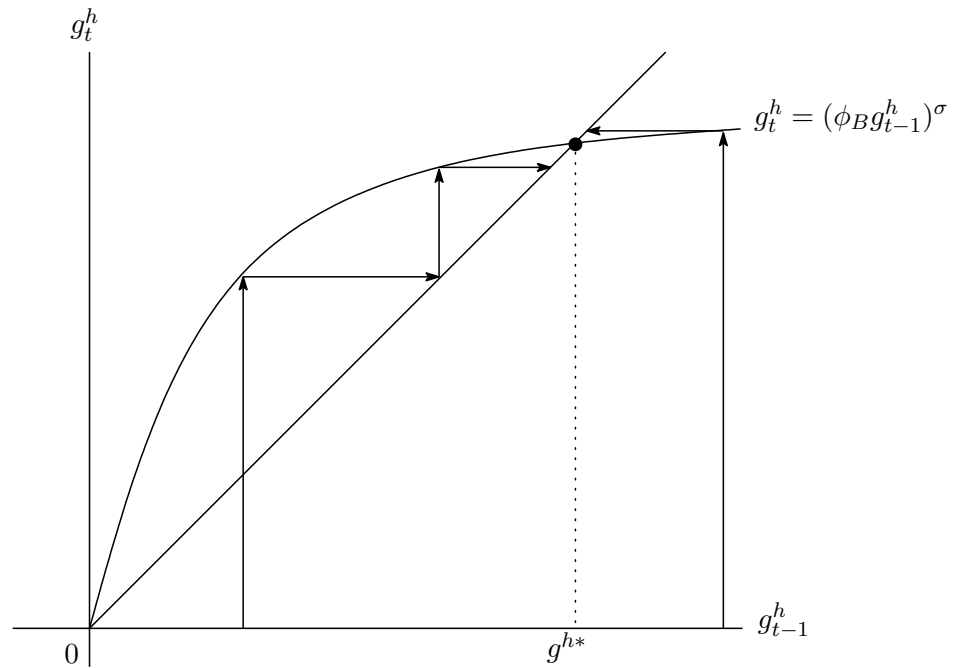


図 3.1: 人的資本の移行過程

BGP は常に一意に存在する。図 3.1 から、人的資本は、単調に収束することがわかる。

物的資本の動学

人的資本にしたがって、物的資本は単調に BGP へ収束することがわかる。これらの結果は、以下の命題でまとめられる。

命題 3.1 この経済の BGP は、大域安定かつ、一意に決まる。

証明. 補論.1 を参照 ■

3.3.3 一人当たり所得成長率

少子高齢化の一人当たり所得への効果を分析する。本章のモデルでは、Acemoglu (2008) で紹介される代表的な二部門成長モデル (Krugman, 1979; Ventura, 1997) にならい、国内総生産 (GDP) を以下のように定義する：

$$Y_t = Y_t^M + p_t E_t. \quad (3.25)$$

BGP の定義から，一人当たり所得成長率 g は，次のようにあらわされる³。

$$g \equiv \frac{y_{t+1}}{y_t} = \frac{A_{t+1}h_{t+1}}{A_t h_t} = \phi_A (\phi_B)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}. \quad (3.26)$$

式 (3.26) を q で微分すると，

$$\frac{g'}{g} = \frac{\phi'_A}{\phi_A} + \frac{\sigma}{1-\sigma} \frac{-\phi'_B}{\phi_B}$$

が導出され，さらに，上式に ν をかけると，

$$\epsilon_g = \epsilon_A - \frac{\sigma}{1-\sigma} \epsilon_B$$

が得られる。ただし，

$$\epsilon_g \equiv \nu \frac{g'}{g}, \quad \epsilon_A \equiv \nu \frac{\phi'_A}{\phi_A}, \quad \epsilon_B \equiv \nu \frac{\phi'_B}{\phi_B}$$

と定義する。上式から，少子高齢化の一人当たり所得成長率へ与える効果は，各生産部門の生産性の大きさに依存することがわかる。より，明瞭的に分析を進めるため，関数 ϕ_A , ϕ_B を以下のように特定化する。

$$\begin{aligned} \phi_A &= \psi \left(\frac{1 + \beta q}{1 + \gamma \theta + \beta q} \right)^\kappa \\ \phi_B &= \zeta \left(\frac{\gamma \theta}{1 + \gamma \theta + \beta q} \right)^\iota \end{aligned}$$

ここでは， ψ と ζ はそれぞれ，非教育部門と教育部門の効率性を， κ と ι は生産性をあらわすパラメーターである。このとき，一人当たり成長率が増減する q の閾値は，

$$q \begin{cases} \leq \\ > \end{cases} \frac{1}{\beta} \left[\frac{\kappa \gamma \theta (1 - \sigma)}{\iota} - 1 \right] \equiv \bar{q}$$

のように導出される。以上を命題 3.2 でまとめる：

命題 3.2 生存確率 q が上昇するとき，一人当たり所得成長率が上昇するための必要十分条件は，

$$\epsilon_g = \epsilon_A - \frac{\sigma}{1-\sigma} \epsilon_B > 0 \quad (3.27)$$

である。ただし， $\epsilon_A \equiv \nu \frac{\phi'_A}{\phi_A}$, $\epsilon_B \equiv \nu \frac{\phi'_B}{\phi_B}$ は，各生産部門における雇用シェアの労働生産性弾力性を意味する。さらに，式 (3.27) から，生存確率 q の一人当たり所得成長率への効果は以下

³式 (3.26) の導出は補論.2 を参照。

のように決まる：

- $q < \bar{q}$ のとき，一人当たり所得成長率は上昇する．
- $q > \bar{q}$ のとき，一人当たり所得成長率は減少する．
- $q = \bar{q}$ のとき，一人当たり所得成長率は最大になる．

この結果の直観的理由は以下の通りである：少子高齢化が一人当たり所得成長率へ与える効果は，二つある．一つは，非教育部門の雇用シェアが増加することによる生産性への正の効果であり，もう一つが，教育部門の雇用シェアが減少することによる，人的資本蓄積への負の効果である．生存確率が低いときは，正の効果が負の効果を上回り，一人当たり所得成長率は上昇する．しかし，生存確率が閾値を超えるほど大きくなると，負の効果が正の効果を上回り，一人当たり所得成長率は減少へ転じる．この逆 U 字の関係は，実証的に観測された人口動態の変遷を描写している．

3.4 数値例

この節では，数値例を用いて生存確率の一人当たり所得成長率の効果を分析する．各パラメータの値については，Tabata (2005)，Hashimoto and Tabata (2016)，Hirazawa and Yakita (2017) を参考に表 3.2 のように設定する．数値例の結果は，図 3.2 で表される．図 3.2 の縦軸は一

<i>Description</i>	<i>Parameters</i>	<i>Value</i>
人的資本蓄積のパラメーター	σ	0.8
効用関数のパラメーター	β	0.5
	θ	0.7
	γ	0.21
非教育部門のパラメーター	α	0.3
	κ	0.08
教育部門のパラメーター	ι	0.065

表 3.2: 基本設定のパラメーター

人当たり所得成長率 g を，横軸は，生存確率 q をとっている．この結果は，An and Jeon (2006)，Azomahou and Mishara (2008) の実証分析と整合的である．また，図 3.2 では $q = 0.556$ 付近で一人当たり成長率が最大となっている．このモデルは 3 期間世代重複モデルであり，1 期間を約 30 年とした場合， $30 + 30 + 30 \times 0.556 = 76.5$ となり，一人当たり所得成長率が減少す

る平均寿命の閾値は、約 76 歳である。WHO (2018) によると、先進国の平均寿命が約 81 歳であり、所得中位国の平均寿命が約 76 歳である。したがって、一人当たり所得が上昇する領域と減少する領域は、それぞれ、所得中位国と先進国の関係を描写している。本研究では、実証的に観測された経済成長率と少子高齢化の非線形な関係を、教育部門と教育の生産性への外部効果を導入することにより、理論的に説明した。この結果は、Hashimoto and Tabata (2010), Momota (2012) とは決定的に異なっている。

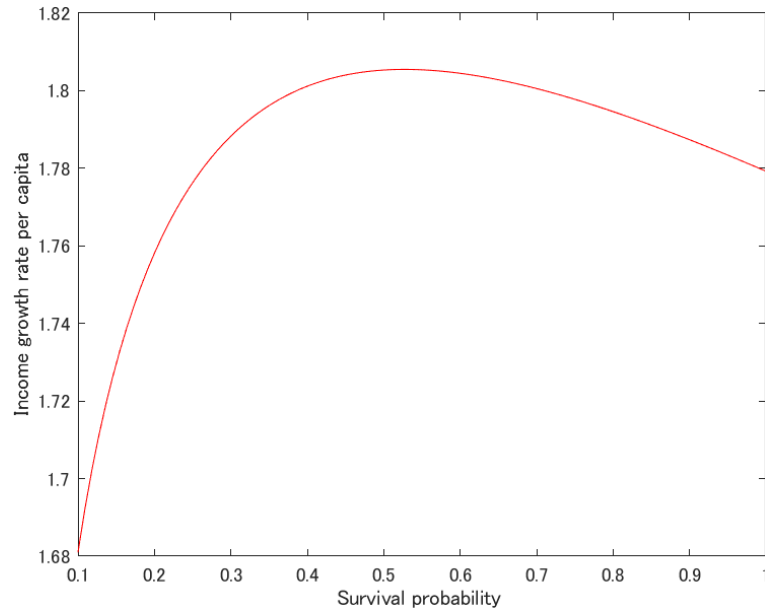


図 3.2: 少子高齢化の一人当たり所得成長率への効果

3.5 拡張

この節では、前節までの基本設定を拡張し、さらなる議論をする。基本設定では、altruism に基づく子どもへの教育を考えていた。しかし、多くの研究では、自分自身への教育投資を分析している。そこで、本節では親が自分自身への教育投資を考慮に入れた場合でも、基本設定の結果が保証されることを示す。基本設定を以下のように拡張する：2 期目に個人は子どもの教育に加え、自分自身への教育投資をする。この設定のもとで、人的資本の蓄積式を以下のように定義しなおす。

$$h_t = \mu(e_{t-1})^\sigma (m_t)^{1-\sigma}. \quad (3.28)$$

ただし、 m_t は労働期の教育時間をあらわし、 $1 - \sigma$ は労働期の教育時間の人的資本弾力性である。式 (3.28) は、人的資本が幼年期に受けた教育と労働期に受ける教育に依存して蓄積することを意味している。子どもへの教育は、教育部門の教育サービスを用いるのに対し、自分自身への教育は与えられた時間を振り分けて行う。したがって、個人の時間制約は以下のように書き直される。

$$1 = l_t + zn_t + m_t. \quad (3.29)$$

この設定のもとで、生涯予算制約式 (3.9) と時間制約式 (3.29) の制約のもとで効用最大化問題を解くと、以下が導出される：

$$s_t = \frac{\beta q}{\gamma(1 + \beta q + \gamma)} w_t h_t \quad (3.30)$$

$$n_t = \frac{\gamma(1 - \theta)}{z[(2 - \sigma)(1 + \beta q + \gamma\theta) + \gamma(1 - \theta)]} \quad (3.31)$$

$$e_t = \frac{\theta z}{1 - \theta} \frac{w_t h_t}{p_t} \quad (3.32)$$

$$m_t = \frac{(1 - \sigma)(1 + \beta q + \gamma\theta)}{[(2 - \sigma)(1 + \beta q + \gamma\theta) + \gamma(1 - \theta)]} \equiv m(q) \quad (3.33)$$

$$l_t = \frac{1 + \beta q + \gamma\theta}{[(2 - \sigma)(1 + \beta q + \gamma\theta) + \gamma(1 - \theta)]} \equiv l(q). \quad (3.34)$$

式 (3.33) と (3.34) は、それぞれ労働時間と自分自身への教育投資が生存確率の増加関数であることを示している。この関係は、Ben-Porath メカニズムを描写している。Ben-Portah メカニズムの実証的な尤度は、Hazan (2009) によって批判されている。しかし、近年の研究では、Cervellati and Sunde (2013) や Yasui (2016) でみられるように代替的な理論モデルの構築が進んでいる。

また、家計の教育支出は、

$$\frac{n_t p_t e_t}{h_t w_t l_t} = \frac{\gamma\theta}{1 + \beta q + \gamma\theta} \quad (3.35)$$

となる。式 (3.35) から、生存確率が上昇すると、自分自身への教育投資をおこなって場合でも、家計の教育支出は減少することを意味している。この結果の直観的理解は、式 (3.35) の分子の増加分（教育支出の増加分）が、分母の増加分（人的資本の増加分）と相殺するからである。

この設定の下で、3.3 節同様に、少子高齢化が一人当たり所得に与える影響を分析する。まず、式 (3.3), (3.4), (3.17), (3.32), (3.34) を使い、各生産部門の雇用シェアを以下のように

導出する。

$$1 - \nu = \frac{\gamma\theta}{1 + \beta q + \gamma\theta} \quad (3.36)$$

$$\nu = \frac{1 + \beta q}{1 + \beta q + \gamma\theta}. \quad (3.37)$$

式 (3.36), (3.37) は生存確率 q に関してそれぞれ, 減少関数と増加関数であることを示している. したがって, $A_t/A_{t-1} \equiv \phi_A$ と $B_t/B_{t-1} \equiv \phi_B$ はそれぞれ一定となり, かつ $\partial\phi_A/\partial q > 0$, $\partial\phi_B/\partial q < 0$ であることがわかる. この結果は, 補題 3.1, 3.2 と一致している. また, 式 (3.4) を使うと, 人的資本蓄積式が

$$h_{t+1} = \Gamma(B_t h_t)^\sigma \quad (3.38)$$

と導出される. ただし, $\Gamma \equiv \mu \left(\frac{1 + \beta q + \gamma\theta}{(2 - \theta)(1 + \beta q + \gamma\theta) + \gamma(1 - \theta)} \right)^{1-\sigma} \left(\frac{\theta z}{1 - \theta} \right)^\sigma$ であり, 一定である. このとき, 人的資本の成長率は, 式 (3.24) と同値となる. これらの結論は, 3.3 節と一致する. したがって, 命題 3.1 同様, この経済の状態変数 K と H は, 大域安定的に定常状態へ収束し, かつそれは一意に決まる. このとき, 一人当たり所得成長率は式 (3.26) に一致し, これは命題 2 を導出する. したがって, 自分自身の教育投資を考慮にいれても, 本研究の主な結論は保証されることが示された.

3.6 おわりに

本章では, 高齢化が低資本集約産業から資本集約産業へ雇用シェアが移動しているという実証研究の下, 3 期間世代重複モデルと二部門 (非教育部門と教育部門) の成長モデルを用いて, 少子高齢化が一人当たり所得成長率へ与える効果を分析した. その結果, 高齢化と一人当たり所得成長率は, 非単調な関係を描くことを示した. 具体的には, 生存確率が, ある一定水準よりも低いとき, 一人当たり所得成長率は増加し, 生存確率が一定水準よりも高くなると, 一人当たり所得成長率は減少に転じる. また, この結果は, altruism に基づく子どもへの教育だけでなく, 自分自身への教育投資を導入した場合でも保証される. しかし本研究のモデルの設定では, 子どもへの教育は財・サービスへの金銭で考えているのに対し, 自分自身への教育は時間費用で考えている. 現実的には, 子どもへの教育よりもむしろ, 高等教育のほうがより多くの金銭によるコストが必要な場合もある. したがって, 自分自身への教育を財・サービスを用いて行った場合場合, 本研究の結果は変わってくる可能性も考えられる. したがって, 次章でこの拡張について考えていく.

付録

補論.1 命題 3.1 の証明

式 (3.16) に (3.2) と (3.11) を代入して、次のように変形する。

$$K_{t+1} = \frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} h_t A_t (1 - \alpha) k_t^\alpha N_t. \quad (\text{A-1})$$

さらに、式 (A-1) を次のように変形する。

$$\frac{K_{t+1}}{A_{t+1} h_{t+1} l^M N_t} \frac{A_{t+1} h_{t+1} l^M N_{t+1}}{A_t h_t l^M N_t} = \frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} (1 - \alpha) k_t^\alpha \frac{N_t}{l^M h_t N_t}.$$

上式を非教育部門の効率労働当たりの資本になおすと、

$$k_{t+1} \phi_A g_t^h l^M n(q) = \frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} (1 - \alpha) k_t^\alpha. \quad (\text{A-2})$$

BGP が存在するとしたら、それは、 $k^* = \left[\frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} \frac{1 - \alpha}{\phi_A g^{h*} l^M n(q)} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}}$ で一意に決まる。ここで、式 (A-2) を以下のように定義する：

$$\Delta k_t = \Omega \frac{k_t^\alpha}{g_t^h} - k_t. \quad (\text{A-3})$$

ただし、

$$\Delta k_t \equiv k_{t+1} - k_t$$
$$\Omega \equiv \frac{\beta q}{1 + \gamma + \beta q} \frac{1 - \alpha}{\phi_A \nu n}.$$

$\Delta k_t = 0$ のとき、式 (A-3) は次のように書かれる。

$$g_t^h = \Omega k_t^{\alpha-1}. \quad (\text{A-4})$$

式 (A-4) は図 3.3 のように描かれる。人的資本が、 g^{h*} に到達すると、物的資本も単調に交点へと収束する。したがって、この経済の状態変数 H と K は大域安定的に BGP へと収束し、それは一意である。

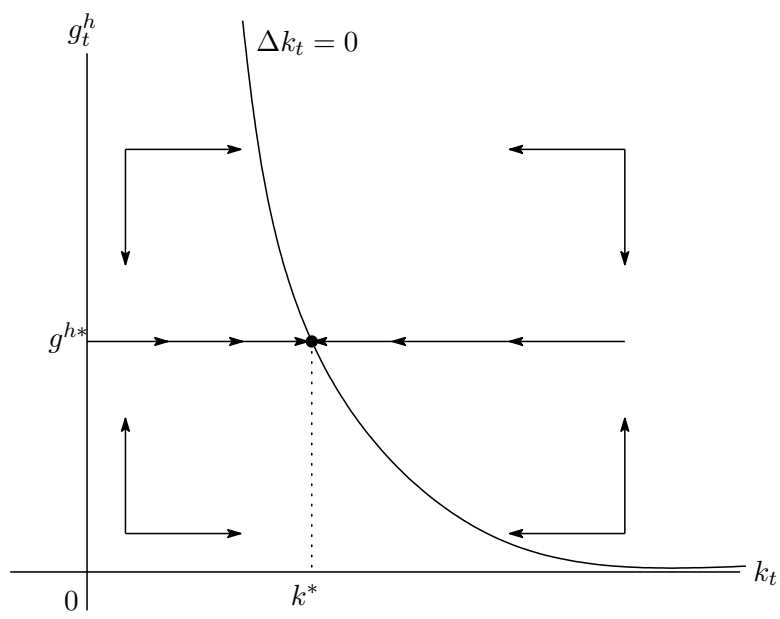


図 3.3: 物的資本の移行過程

補論.2 一人当たり所得成長率：式 (3.26) の導出

一人当たり所得成長率を導出するため、まず非教育部門の効率労働一人当たり生産量を以下のように定義する。

$$y_t^M = \frac{Y_t^M}{A_t H_t^M}.$$

このとき、マクロ生産関数は、以下のように書き直される。

$$y_t^M = k_t^\alpha.$$

ただし、 $k_t \equiv K_t/A_t H_t$ である。これらの式から、 k_t と y_t^M は一定であることがわかる。したがって、非教育部門の生産量は、

$$Y_t^M = A_t k_t^\alpha h_t l^M N_t$$

とあらわされる。次に、式 (3.2) を (3.4) に代入し、教育部門の生産の付加価値を以下のように定義する：

$$p_t E_t = (1 - \alpha) A_t k_t^\alpha h_t l^E N_t.$$

したがって、式 (3.25) は、次のように変形することができる。

$$y_t \equiv \frac{Y_t}{N_t} = A_t h_t \xi.$$

ただし、 $\xi \equiv k_t^\alpha [l^M + (1 - \alpha)l^E]$ は一定である。このとき、一人当たり所得成長率 g は

$$g \equiv \frac{y_{t+1}}{y_t} = \frac{A_{t+1} h_{t+1}}{A_t h_t} = \phi_A (\phi_B)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}$$

が導出され、これは、式 (3.26) と一致する。

第4章 人口動態，人的資本蓄積，および産業間 雇用—自分への教育—

4.1 はじめに

日本を含む多くの先進国で少子高齢化が進行している。UN (2018) によると、2050 年の高齢者の世界人口は、2017 年の 2 倍になると推計している。高齢化は、労働人口および労働生産性の減少により、経済成長への負の影響が懸念されている。しかし、実証研究では、必ずしも高齢化と成長の負の関係を示していない。たとえば、Cervellati and Sunde (2011) によると、Galor (2011) の Unified Growth Theory の観点から、Modern Growth Regime を迎えている国、いわゆる先進国に分類されている国、では、平均寿命の伸びとともに、経済成長率が上昇していることを示している。これらの実証データと整合的な、高齢化と経済成長の関係を示した理論モデルの構築が進んでいる。Futagami and Nakajima (2001) では、連続時間世代重複モデルを用いて、平均寿命の伸びによる予備的貯蓄の増加が、資本蓄積と経済成長率に正の効果を与えるという結果を示している。さらに Futagami and Hori (2009) では、少子化の効果に焦点をあて、成長率効果だけでなく厚生効果に着目している。Futagami and Hori (2009) では、Jones (2003) の準内生成長モデルを拡張し、社会的最適な子どもの数は、市場均衡での子どもの数よりも、少なくなるという結果を示した。本研究の目的の一つは、これらの研究にとってかわる、少子高齢化と経済成長の正の相関をもたらすメカニズムを構築することにある。

一方で、高齢化は教育投資に影響を与えている。この傾向は、Ben-Porath (1967) で議論されているが、近年の研究でも、Cervellati and Sunde (2011) では、死亡率の低下とともに教育投資は増加しているという観測データを提示している。吉川 (2016) では、技術革新や教育による人的資本の蓄積によって生産性を上昇させることができれば、少子高齢化による労働生産性の低下は脅威ではないと述べている。特に、吉川 (2016) では、技術進歩と人的資本の生産性のうち近年の経済成長へのウェイトは後者に寄っていると示唆している。したがって、少子高齢化によって、労働人口が減少したとしても、人的資本を蓄積することによって、経済成長率を増加させることは可能であると考えられる。そこで、本研究では、Hashimoto and Tabata (2010)

この章は、廣野 (2020) を加筆修正したものである。

をベースとした財部門と教育部門の二部門成長モデルを用いて、少子高齢化が一人当たり所得成長率を上昇させることを理論的に示している。本研究では、技術進歩に関して生産部門に労働者が集積することで知識と経験が蓄積され、労働生産性を向上させる learning-by-doing 効果を採用している。この設定の下で、少子高齢化が一人当たり所得に与える効果を分析した。その結果、少子高齢化によって一人あたり所得は上昇するという結果を示した。本研究のメカニズムは以下の通りである：まず、高齢化により、財の消費が増えるとともに人的資本の投資も起こる。財部門の雇用が増加することによる生産性上昇効果と、人的資本蓄積による生産性上昇効果が起こり、一人当たり所得成長率を上昇させる。この結果は、Hashimoto and Tabata (2010) の結果と異なる。本章の構成は以下の通りである。2 節で、モデルを紹介し、3 節で動学分析をする。4 節は結語である。

4.2 モデル

4.2.1 生産部門

閉鎖経済での二部門成長モデルを考える：財部門 (M)、教育サービス部門 (E)。状態変数は物的資本 (K) と人的資本 (H) の2つである。財の価格を1で基準化し教育サービスの価格を p_t で表す。両部門ともに完全競争であり、労働移動は自由とする。したがって、両部門の賃金率は w_t で同一である。

財部門

消費もしくは投資に使われる。生産要素は物的資本と人的資本である。生産関数を以下のよう

$$Y_t^M = F(K_t, A_t H_t^M) = K_t^\alpha (A_t H_t^M)^{1-\alpha}.$$

Y_t^M は財部門の生産量であり、 K_t は物的資本である。 $H_t^M = h_t l_t^M N_t$ は財部門で雇われる人的資本をあらわす。 α は分配率をあらわすパラメーターである。このとき、 h_t 、 l_t^M 、 N_t は、それぞれ一人当たり人的資本、財部門の一人当たり労働時間、 t 期の人口をあらわしている。 A_t は財部門の生産性を意味している。 t 期の生産性は t 期の労働時間と $t-1$ 期の生産性に依存すると仮定し、以下のように定式化する。

$$A_t = \phi_A(l_t^M) A_{t-1}, \quad \phi_A'(l_t^M) \geq 0.$$

もし、 $\phi'_A = 0$ ならば、労働生産性は一定の値で成長する。この定式化は van Groezen, Meijdam and Verbon (2005) に従っている。利潤最大化条件から

$$R_t = \alpha k_t^{\alpha-1} \quad (4.1)$$

$$w_t = (1 - \alpha) A_t k_t^\alpha \quad (4.2)$$

が導出される。資本は1期間で完全に減耗すると仮定する。このとき、 R_t は粗利子率をあらわし、 w_t は実質賃金率をあらわしている。ただし、 $k_t \equiv \frac{K_t}{A_t H_t^M}$ と定義する。

教育部門

教育部門の生産関数を以下のように定式化する。

$$E_t = B_t H_t^E, \quad (4.3)$$

E_t は教育財・サービスの生産量である。財部門同様、 $H_t^E = h_t l_t^E N_t$ は教育部門の人的資本をあらわしており、 l_t^E は教育部門の一人あたり労働時間である。 B_t は教育部門の生産性をあらわしており、財部門同様、以下のように定式化する。

$$B_t = \phi_B(l_t^E) B_{t-1} \quad \phi'_B \geq 0.$$

完全競争と整合的なのは

$$p_t = \frac{w_t}{B_t} \quad (4.4)$$

である。

4.2.2 家計部門

最大で3期間(幼年期, 労働期, 引退期)を生きる個人の世代重複モデルを考える。幼少期には、個人は意思決定を行わず、親からの教育を受ける。労働期に、個人は子どもの数 n_t を選ぶ。したがって、この経済の人口動学式は、 $N_{t+1} = n_t N_t$ であらわされる。さらに個人は1単位の時間を与えられ、労働 (l_t) と子供の養育 (σ) と教育 (z_t) に振り分ける。労働から得られた所得は、消費 (c_t)、貯蓄 (s_t)、そして自分自身の教育投資 (e_t) に振り分ける。引退期に、個人は労働供給を行わず、前期の貯蓄の利払いを消費 (d_{t+1}) にあてる。2期目末に、個人は確率

$1 - q \in (0, 1)$ で死亡する。したがって、確率 q で老年期を生きることができる。ただし、 q は外生とする。Yaari (1965) にしたがって、私的な保険市場が完備であると仮定する。3 期目まで生き残った個人は生存確率に応じた利払い ($R_{t+1}s_t/q$) を受け取り、死亡した個人の貯蓄は保険会社が回収する。 t 期に労働期を生きる個人を世代 t とおく。このとき、世代 t の期待効用を以下で定義する。

$$EU_t = \log c_t + \beta q [\log d_{t+1} + \theta \log h_{t+1}] + \gamma \log n_t, \quad \beta, \gamma, \phi \in (0, 1). \quad (4.5)$$

h_{t+1} は子供の人的資本をあらわし、 β は割引因子を、 θ は joy-of-giving altruism をあらわすパラメーターである。 γ は子ども数に対する効用のウェイトを意味するパラメーターである。さらに、世代 t の各期の予算制約と時間制約は以下のように定義される。

$$c_t + s_t + p_t e_t = w_t h_t l_t. \quad (4.6)$$

$$d_{t+1} = \frac{R_{t+1}}{q} s_t. \quad (4.7)$$

$$l_t + (\sigma + z_t) n_t = 1. \quad (4.8)$$

$w_t h_t l_t$ は、世代 t の賃金所得をあらわす。

Hashimoto and Tabata (2010, 2016) の定式化にしたがって、人的資本の蓄積式は以下を仮定する。

$$h_t = \mu e_t^\eta z_{t-1}^{1-\eta}, \quad \eta \in [0, 1]. \quad (4.9)$$

μ, η は生産性をあらわすパラメーターである。de la Croix and Licandro (2013) にしたがって、親から子どもへの教育投資 z_{t-1} は基礎教育 (初等教育, 家でのしつけ等) と想定する。一方で、自分自身への教育投資 e_t は高等教育と解釈する。

このとき、効用最大化条件から以下が導出される：

$$s_t = \frac{\beta q(1-\eta)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} h_t w_t. \quad (4.10)$$

$$z_t = \frac{\sigma \theta \beta q(1-\eta)}{\gamma - \beta q \theta(1-\eta)} \equiv z(q). \quad (4.11)$$

$$n_t = \frac{(1-\eta)[\gamma - \beta q \theta(1-\eta)]}{\sigma[1+\beta q+\gamma(1-\eta)]} \equiv n(q). \quad (4.12)$$

$$l_t = \frac{1+\beta q}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} \equiv l. \quad (4.13)$$

$$e_t = \frac{\eta(1+\beta q)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} \frac{h_t w_t}{p_t}. \quad (4.14)$$

式(4.11), (4.13), (4.14)の係数部分から、生存確率 q が上昇すると、初等教育、高等教育、さらに労働時間は上昇することがわかる。また、式(4.12)から、 q の上昇によって、子どもの数が減少する。この傾向は、Ben-Porath (1965)のメカニズム、および Cervellati and Sunde (2011)の実証結果をあらわしている。

4.2.3 市場均衡

この経済は、4つの市場(財市場、教育サービス市場、資本市場、労働市場)で構成されている。

- 労働市場均衡条件

$$h_t l_t^M N_t + h_t l_t^E N_t = h_t l_t N_t. \quad (4.15)$$

$H_t = h_t l_t N_t$ は労働世代の総労働供給をあらわす。

- 物的資本市場均衡条件

$$K_{t+1} = s_t N_t. \quad (4.16)$$

- 教育サービス市場

$$E_t = e_t N_t. \quad (4.17)$$

ワルラス法則から、式(4.15)–(4.17)が満たされるとき、財市場均衡条件

$$Y_t^M = c_t N_t + q d_t N_{t-1} + K_{t+1}.$$

が成立する。

4.3 動学分析

この経済の移行過程を分析する。

4.3.1 産業間雇用

式 (4.15) の両辺を $h_t N_t$ で割ると、

$$l_t^M + l_t^E = l.$$

が得られる。式 (4.3) と (4.14) から

$$B_l l_t^E = \frac{\eta(1 + \beta q)}{1 + \beta q + \gamma(1 - \eta)} \frac{w_t}{p_t}. \quad (4.18)$$

が得られる。式 (4.4) と (4.13) を式 (4.18) に代入すると、

$$l_t^E = \frac{\eta(1 + \beta q)}{1 + \beta q + \gamma(1 - \eta)} \equiv l^E. \quad (4.19)$$

式 (4.19) は、教育サービスの一人当たり労働時間をあらわしている。このとき、財市場の一人当たり労働時間は

$$l_t^M = \frac{(1 - \eta)(1 + \beta q)}{1 + \beta q + \gamma(1 - \eta)} \equiv l^M. \quad (4.20)$$

であらわされる。したがって、両部門の労働供給は時間を通じて一定であり、以下の補題が導出される。

補題 4.1 老年期の生存確率 q の上昇により、財部門と教育サービス部門、両方の雇用は上昇する。

証明.

式 (4.19) と (4.20) を q で微分すると

$$\frac{\partial l^E}{\partial q} = \frac{\beta\gamma\eta(1-\eta)}{[1+\beta q+\gamma(1-\eta)]^2} > 0$$

$$\frac{\partial l^M}{\partial q} = \frac{\beta\gamma\eta(1-\eta)^2}{[1+\beta q+\gamma(1-\eta)]^2} > 0$$

が得られる。 ■

この結論の直観は、以下の通りである。まず、生存確率の上昇により、労働世代に対する老年世代の比率が上昇し、財需要が上昇する。したがって、財部門の労働供給が上昇する。一方で、高齢化による長い期間を生きるため、個人はより多くの財を消費しなければならない。したがって、個人はより多くの所得を得るために、自分自身の教育投資を行う。この結果、教育サービスの需要と供給も上昇する。この結論は、Ben-Porath (1967) のメカニズムを描写している。

次に、式 (4.19) と (4.20) を learning-by-doing の関数 A_t と B_t にそれぞれ代入すると

$$\frac{A_{t+1}}{A_t} = \phi_A \left(\frac{(1-\eta)(1+\beta q)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} \right) \equiv g^A \quad (4.21)$$

$$\frac{B_{t+1}}{B_t} = \phi_B \left(\frac{\eta(1+\beta q)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} \right) \equiv g^B \quad (4.22)$$

が得られる。これらの式は以下の補題を導く。

補題 4.2 老年期の生存確率 q の上昇は財部門と教育部門の労働生産性 A_t と B_t の成長率を上昇させる。

証明。補題 4.1 と式 (4.21), (4.22) から自明。 ■

4.3.2 移行動学

式 (4.11) と (4.14) を式 (4.9) に代入すると

$$h_t = z\mu \left(\frac{\eta(1+\beta q)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} B_t h_t \right)^\eta \quad (4.23)$$

が得られる。この時、人的資本の成長率を g^h と定義すると、 g^h は時間を通じて一定である。

次に、式 (4.2), (4.10), (4.16) から

$$K_{t+1} = \frac{\beta q(1-\eta)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} (1-\alpha) A_t k_t^\alpha h_t N_t$$

が導出される。上式を変形すると

$$\frac{K_{t+1}}{A_{t+1}h_{t+1}l^M N_{t+1}} \frac{A_{t+1}h_{t+1}l^M N_{t+1}}{A_t h_t l^M N_t} = \frac{\beta q(1-\eta)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} (1-\alpha) k_t^\alpha \frac{1}{l^M}$$

が得られる。このとき、上式は以下のようにあらわすことができる。

$$k_{t+1} g^A g^h l^M n = \frac{\beta q(1-\eta)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} (1-\alpha) k_t^\alpha. \quad (4.24)$$

ここで、すべての成長率が時間を通じて一定であるときを均斉成長経路 (Balanced Growth Path, 以下, BGP) と定義すると, BGP の定義から $k_{t+1} = k_t = k^*$ が満たされる。したがって, BGP 上では,

$$k^* = \left[\frac{\beta q(1-\eta)}{1+\beta q+\gamma(1-\eta)} \frac{(1-\alpha)}{g^A g^h l^M n} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

となる。このとき, BGP は一意に決まり, 位相図は図 4.1 のように描くことができる。図 4.1 より, 物的資本は単調に BGP に収束する。

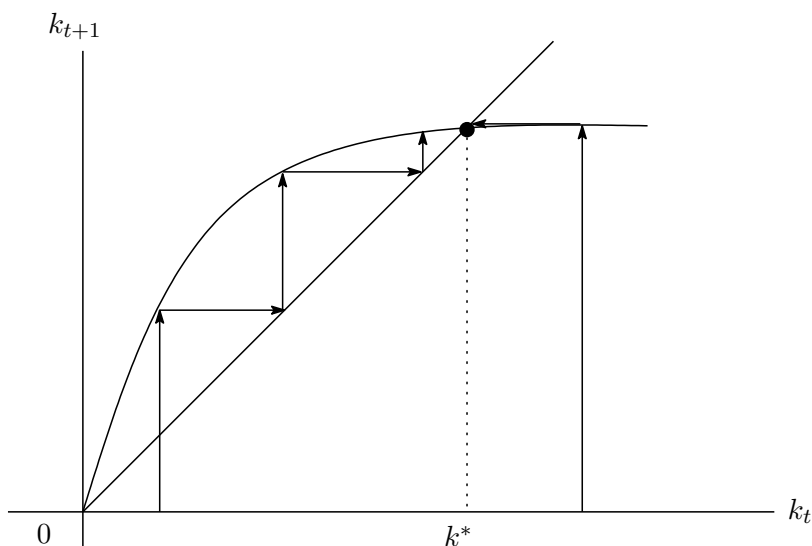


図 4.1: 物的資本の移行過程

4.3.3 一人当たり所得成長率

この経済の国内総生産 (GDP) は以下であらわされる。

$$Y_t = Y_t^M + p_t E_t. \quad (4.25)$$

ここで、一人当たり所得成長率を導出するため、財部門の効率労働一人当たり生産量 y_t^M を以下のように定義する。

$$y_t^M = \frac{Y_t^M}{A_t H_t^M}.$$

さらに効率労働一人当たり物的資本は $k_t \equiv K_t/A_t H_t^M$ であるので、マクロ生産関数は次のように書き直される。

$$y_t^M = k_t^\alpha.$$

したがって、 k_t と y_t^M は一定であることがわかる。

このとき、財部門の生産量は、

$$Y_t^M = A_t k_t^\alpha h_t l_t^M N_t$$

とあらわすことができる。一方で、教育部門の生産の付加価値は、

$$p_t E_t = (1 - \alpha) A_t k_t^\alpha h_t l_t^E N_t$$

であるので、式 (4.25) から、一人当たり所得は次のように書き直される。

$$y_t = \frac{Y_t}{N_t} = A_t h_t \Gamma.$$

ここでは、 $\Gamma \equiv k^\alpha [l^M + (1 - \alpha)l^E]$ は一定である。上式から一人当たり所得成長率は以下のようにならわされる。

$$g = \phi_A (\phi_B)^{\frac{1}{1-\eta}}. \quad (4.26)$$

式 (4.26) を q で微分すると

$$\frac{g'}{g} = \frac{1}{1-\eta} \frac{\phi_B'}{\phi_B} + \frac{\phi_A'}{\phi_A} > 0. \quad (4.27)$$

式 (4.27) の結果は命題でまとめられる：

命題 4.1 老年期の生存確率 q の上昇により、一人当たり所得成長率は上昇する。

この結果の直観は以下の通りである。高齢化により、両部門の雇用が上昇し、労働生産性が上昇する（補題 4.2）。さらに、高齢化によって人的資本の蓄積も促進される（補題 4.1）。二つの生産部門への正の効果により、一人当たり所得の成長率が上昇する。

4.4 おわりに

本章では、Cervellati and Sunde (2011) の実証研究を踏まえ、先進国における高齢化による経済成長率と人的資本投資への正の効果を二部門成長モデル (財部門, 教育部門) を用いて理論分析を行った。結果として、高齢化により、財部門と教育部門の両部門で労働供給が上昇し、財部門の生産性上昇効果と人的資本蓄積の上昇効果が同時に起こる。その結果、一人当たり所得成長率を上昇させることを理論的に示した。本研究は、以下のような拡張の余地を残している。まず、各生産部門の技術進歩に関する設定である。Learning by doing の存在やその影響の大きさが生産部門によって異なることを示唆する実証研究は存在する。しかし、こうした実証研究により、各部門の技術進歩率が、各部門の雇用シェアの増加関数で表されるという想定が正当化できるかは曖昧である。したがって、R&D 投資活動などを内生化した拡張モデルが本来は望ましい。また、本稿では政府の介入を仮定していない。高齢化にともなう社会保障政策の変化を考慮に入れることで、本研究の結果は変わる可能性がある。

結び

本論文では、Galor (2011) が提唱している Unified Growth Theory の, Modern Growth Regime における人口動態と経済成長の関係を, 人的資本と技術進歩を成長の源泉とした成長モデルを用いて分析した。前半 (第一章と第二章) では, R&D 部門による研究開発が技術進歩を促進し, 後半 (第三章と第四章) では, 生産部門に労働者が集積することによる知識と経験が, 労働生産性を上昇させるという設定である。第一章では, R&D 部門を備えた準内生成長モデルに, 公教育部門を導入した Prettner (2014) を紹介し, その移行動学を証明した。一定の条件の下では, Prettner (2014) の安定性が満たされなくなることを, さらに, 所得税率と人口成長率が高いほど, 技術進歩率の収束のスピードが速まることを明らかにした。第二章では, 教育の効果をより厳密に分析するために, 第一章のモデルに私教育を導入し, 人口成長が一人当たり成長率に与える効果を分析した。公教育の生産性が低い場合でも, 私教育の生産性がある程度高ければ, 少子化で一人当たり所得成長率は上昇することを示した。後半 (第三章と第四章) では, 出生率を内生化する。さらに成人死亡率を導入することで, 少子高齢化の経済効果を分析した。第三章では, 人口高齢化が, サービス業などの低労働集約産業から金融業などの資本集約産業への労働移動を促すという実証研究をもとに, 教育選択と産業間労働移動というチャンネルを通じて, 少子高齢化と一人当たり所得の成長率の関係を分析している。第三章では, 低資本集約産業として教育部門を, 資本集約産業として非教育部門と定義し, 親が利他動機に基づいて子どものために教育財を消費するという状況では, 人口高齢化によって, 教育部門から非教育部門への労働の移動が起こること, さらに, 一定の条件の下では, 寿命と一人当たり所得の成長率の間に逆 U 字の関係があるということを理論的に示した。第四章では, 教育部門の教育財・サービスを自分自身の人的資本形成のために教育財を需要するという設定に拡張して分析している。この仮定の下では, 教育部門, 非教育部門両方の雇用を増やし, 寿命が延びるにつれて成長率が上昇するということを理論的に示した。

本論文の一連の研究は, マクロ経済学, 人口経済学, 教育経済学の分野において一定の貢献を与えたと考えるが, その一方で, 多くの拡張の余地を残している。以下では, 今後の研究課題について述べる。

まず, ひとつには, 生存確率の内生性である。本博士論文の研究は, 老年期生存確率を一定

とおている。しかし、平均寿命の伸びは、健康状態の改善と関連しており、健康状態の改善は、個人の健康投資や政府による医療政策など様々な要因が考えられる。したがって、近年の高齢化の原因を考慮する場合、生存確率を内生化するべきであると考えられる。生存確率を内生化したモデルには、Chakraborty (2004) をはじめとして、Hashimoto and Tabata (2005), Agenor (2008), Dioikitopoulos (2014), Okada (2020) など主に成長率と出生率への効果に焦点をあてた理論研究が続いている。生存確率の内生化のモデルとして、内生的な二つの政策（教育政策と医療政策）が個人の厚生に与える影響については、Hirono (2020d) で分析している。

また、Kalwji and Vermeulen (2008) によると退職時期の延長は健康状態の改善と因果関係があるとされている。つまり、健康状態の改善と平均寿命の伸びは、高齢者の労働参加を促進している。老年世代の労働供給は、労働生産性、ないしは経済成長への重要な要素となると考えられる。Matsuyama (2008) では、二期間世代重複モデルを用いて老年期に労働参加した場合の効用水準を比較して、老年期に働くか引退するかを決めるモデルを展開している。また、老年世代の労働供給を考慮に加える必要がある。さらに、Gruber and Wise (1999), Oshio, Oishi and Shimizutani (2011) の実証研究では、高齢者の労働参加の増加は、政府による社会保障政策の変更と関連していると説明している。老年世代の労働供給をモデルに入れた理論研究は、Cipriani (2014), Miyazaki (2014, 2017), Hirazawa and Yakita (2017), Hirono and Mino (2019) など近年もモデル構築が進んでいる。

さらに、本論文は、技術進歩の成長率効果について議論をしており、その代表例として、R&D部門の科学者による技術開発と、労働者の知識と経験の集積による learning-by-doing を取り上げている。これらのほかに、近年注目されている技術進歩に自動化技術による機械化がある。Acemoglu and Restrepo (2018b) では、高齢化と機械導入率に正の相関があり、機械の導入が労働分配率を減少させているということを示している。自動化技術の導入とマクロ経済学の研究は、Acemoglu and Restrepo (2018a, 2018c, 2020a, 2020b), Prettner (2019), Nakamura and Nakamura (2019), Prettner and Strulik (2019), Momoda and Shimizu (2020) などがある。これらの新しい技術進歩は人口動態の変遷を説明する上で重要な要素となると考えられる。加えて、本論文の第二章では、均衡財政を仮定していた。実際の財政では、政府債務は増え続けている。したがって、国債によるファイナンスに拡張することで、本研究とは異なる結果が得られるかもしれない。また、本論文の後半（第三章と第四章）では、世代間の資源配分について議論している。世代間資源配分は政府の重要な目的の一つである。若年世代と老年世代の資源配分の問題については、政治経済学によって分析されている。教育支出と年金政策の配分については Ono (2015), Lancia and Russo (2016), Ono and Uchida (2016, 2018), また、人口成長の効果については荒渡 (2015) で分析されている。これらのモデルを参考に政府部門と投票

メカニズムを組み込むことで、本研究とは異なるアプローチが可能である。

本論文のモデル設定は、一貫して閉鎖経済で分析を進めている。実際の経済では開放経済で貿易をおこなっている。そこで、本論文の各章の分析をそれぞれ開放経済に拡張した場合に新たな知見が得られる可能性がある。また近年の経済発展と出生率の相関について新たな議論がなされている。Modern Growth Regime では、一人当たり所得の上昇とともに子どもの数は減少しており、今日の研究でも、この相関は広く受け入れられていた。しかし、近年、先進国の出生率に新たな変化が生じていることが議論されている。Myrskylä, Kohler, and Billari (2009) では、1975年時点と2005年時点のクロスセクションデータを用いて、人間開発指数と合計特殊出生率の相関を分析している。1975年時点では、人間開発指数と合計特殊出生率の相関は負であり、これは経済発展とともに出生率が低下する傾向であったことを示唆している。しかし、2005年時点の散布図の形状はU字型に変化している。つまり、人間開発指数が0.9を下回る国では、人間開発指数と合計特殊出生率の相関は負であるが、0.9を超える国をみると正の相関が観測される。この観測データは経済発展の最終過程で出生率が回復することを示唆している。このような実証データと統合的な理論モデルの構築が近年進んでいる。たとえば、宮澤 (2015) では、子どもの養育のために需要される養育財を導入し、一人当たり所得と出生率の時間経路に、正、負、正の相関があることを理論的に説明している。養育財を用いた理論研究には、Hirazawa and Yakita (2009), Kimura and Yasui (2010), Shintani and Yasuoka (2016) などが挙げられる。上記の養育財の導入によって、人口動態と経済成長の関係に新たなメカニズムを与える可能性がある。また、本論文では離散時間世代重複モデルを用いて分析を行っていたが、Blanchard (1985) や Weil (1989) に代表される連続時間世代重複モデルを用いることで定年延長を簡単なモデルで描写することができる。特に連続時間のモデルに定式化することで、多期間の世代重複モデルによる現実的な数値を用いたカリブレーション分析が可能になり、モデル現実的妥当性が与えられると考える。また本論文の研究は、厚生分析を行っていない。特に少子高齢化に対応した政策、もしくは教育政策を組み込んだモデル分析をする場合にも、成長率効果だけでなく、厚生効果を分析することが重要である。

本章で紹介した以外にも多くの拡張の余地が残されており、マクロ経済学、人口経済学、および教育経済学に関する理論研究は発展の可能性を秘めている。

参考文献

- Acemoglu, D., Johnson, S. (2007) Disease and development: The effect of life expectancy on economic growth. *Journal of Political Economy* 115(6), 925–85.
- Acemoglu, D. (2008) *Introduction to modern economic growth*. Princeton University Press.
- Acemoglu, D., Restrepo, p. (2018a) Artificial intelligence, automation and work. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, 24196.
- Acemoglu, D., Restrepo, p. (2018b) Demographics and Automation. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, 24421.
- Acemoglu, D., Restrepo, p. (2018c) The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *The American Economic Review*, 108 (6), 1488–1542.
- Acemoglu, D., Restrepo, p. (2020a) Robots and jobs: Evidence from us labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188–2244.
- Acemoglu, D., Restrepo, p. (2020b) Unpacking skill bias: Automation and new tasks. *AEA Papers and Proceedings*, 110, 356–361.
- Aghion, P., Howitt, P. (1992) A model of growth through creative destruction, *Econometrica*, 60(2), 323–351.
- An, C.-B., Jeon, S.-H. (2006) Demographic change and economic growth: An inverted-U shape relationship. *Economics Letters* 92(3), 447–454.
- Arnold, L. G. (2000) Stability of the market equilibrium in Romer’s model of endogenous technological change: A complete characterization. *Journal of Macroeconomics*, 22(1), 69–84.
- Arnold, L. G. (2006) The dynamics of the Jones R&D growth model. *Review of Economic Dynamics*, 9(1), 143–152.

- Azomahou, T., Mishara, T. (2008) Age dynamics and economic growth: Revisiting the nexus in a nonparametric setting. *Economics Letters* 99(1), 67–71.
- Barro, R.J., Sala-I-Martin, X.I. (1995) *Economic Growth*. McGraw-Hill, New York.
- Becker, G. (1964). *Human capital*. New York: Columbia University Press.
- Becker, G., Murphy, K., and Tamura, R. (1990) Human capital, fertility, and economic growth. *Journal of Political Economy*, 98(5), 12–37.
- Benhabib, J. (2014) Multiple equilibria in the Aghion–Howitt model. *Research in Economics*, 68(2), 112–116.
- Ben-Porath, Y. (1967) The production of human capital and the life cycle of earnings, *Journal of Political Economy*, 75(4), 352–365.
- Blanchard, O.J. (1985) Debt, deficits and finite horizons, *Journal of Political Economy* 93(2), 223–247.
- Bray, M. (1999) *The shadow education system: private tutoring and its implications for planners*. Fundamentals of educational planning 61. Paris: UNESCO International Institute for Educational Planning.
- Bray, M. (2006) Private Supplementary Tutoring: Comparative Perspectives on Patterns and Implications. *Compare*, 36(4), 515–530.
- Calvó-Armengol, A., Patacchini, E., Zenou, Y. (2009) Peer Effects and Social Networks in Education. *Review of Economic Studies* 76 (4) 1239–67.
- Cattaneo, M.A., S.C., Wolter. (2009) Are the elderly a threat to educational expenditures? *European Journal of Political Economy*, 25(2) 225–236.
- Cervellati, M., Sunde, U. (2011) Life expectancy and economic growth: The role of the demographic transition. *Journal of Economic Growth* 16(2), 99–133.
- Cervellati, M., Sunde, U. (2013) Life Expectancy, Schooling, and Lifetime Labor Supply: Theory and Evidence Revisited. *Econometrica*, 81(5), 2055–86.
- Chakraborty, S. (2004) Endogenous lifetime and economic growth, *Journal of Economic Theory*, 116(1), 119–136.
- Chen, H.J. (2010) Life expectancy, fertility, and educational investment. *Journal of Population Economics*. 23(1), 37–56.

- Chen, H.J. (2015) Child allowances, educational subsidies and occupational choice, *Journal of Macroeconomics*, 44, 327–344.
- Cipriani, P. (2014) Population Aging and PAYG Pension the OLG Model, *Journal of Population Economics* 27, 251–256.
- Cigno, A. (1998) Fertility decisions when infant survival is endogenous. *Journal of Population Economics* 11, 21–28.
- Cigno, A., Werding, M. (2007) *Children and Pensions*. MIT press, Cambridge.
- Cingano, F., F., Schivardi. (2004) Identifying the sources of local productivity growth. *Journal of the European Economic Association* 2 (4), 720–742.
- Day, R. H. (1982) Irregular Growth Cycles. *The American Economic Review*, 72(3), 406–414.
- Dekle, R. (2002) Industrial concentration and regional growth: Evidence from the prefectures. *Review of Economics and Statistics* 84, (2), 310–315.
- de la Croix, D., Doepke, M. (2003) Inequality and growth: why differential fertility matters *American Economic Review*, 93(4), 1091–1113.
- de la Croix, D., Doepke, M. (2004) Public versus private education: when differential fertility matters. *Journal of Development Economics*, 73(2), 607–629.
- de la Croix, D., Licandro, O. (1999) Life expectancy and endogenous growth, *Economics Letters*, 65(2), 255–263.
- de la Croix., Licandro, O. (2013) The child is father of the man: Implications for the demographic transition, *The Economic Journal*, 123(567), 236–261.
- de Vilder, R. (1996) Complicated endogenous business cycles under gross substitutability. *Journal of Economic Theory*, 71(2), 416–442.
- Dioikitopoulos, E. V. (2014) Aging, growth and the allocation of public expenditures on health and education. *Canadian Journal of Economics*, 47(4), 1173–1194.
- Fanti, L., Gori, L. (2010) Public health spending, old-age productivity and economic growth: chaotic cycles under perfect foresight. *Journal of Economics Behavior and Organization*, 78(1-2), 137-151.
- Farmer, R.E.A. (1986) Deficits and cycles. *Journal of Economic Theory*, 40(1), 77-86.
- Futagami, K., Hori, T. (2010) Technological progress and population growth: Do we have too few children? *The Japanese Economic Review*, 61(1), 64–84.

- Futagami, K., Mino, K. (1993) Threshold externalities and cyclical growth in a stylized model of capital accumulation, *Economics Letters*, 41(1), 99–105.
- Futagami, K., Nakajima, T. (2001) Population aging and economic growth. *Journal of Macroeconomics*, 23(1), 31–44.
- Futagami, K., Yanagihara, M. (2008) Private and public education: Human capital accumulation under parental teaching, *The Japanese Economic Review*, 59(3), 275–291.
- Galor, O. (2011) *Unified Growth Theory*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Galor, O., Moav, O. (2000) Ability biased technological transition, wage inequality and economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 115(2), 469–497.
- Galor, O., Moav, O. (2002) Natural selection and the origin of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 117(4), 1133–1191.
- Galor, O., Weil, D.N. (1999) From Malthusian stagnation to modern growth. *American Economic Review*, 89 (2), 150–154.
- Galor, O., Weil, D.N. (2000) Population, technology, and growth: From Malthusian stagnation to the demographic transition and beyond. *American Economic Review*, 90(4), 806–828.
- Glomm, G., Ravikumar, B. (1992) Public versus private investment in human capital: endogenous growth and income inequality, *Journal of Political Economy*, 100(4), 818–834.
- Grossman, G. M., Helpman E. (1991) Quality ladders in the theory of growth, *Review of Economic Studies*, 58(1), 43–61.
- Gruber, J. and Wise, D. eds. (1999) *Social Security and Retirement Around the World*, University of Chicago Press.
- Guest, R. (2011) Population aging, capital intensity and labour productivity. *Pacific Economic Review* 16 (3), 371–388.
- Harris, A.R., Evans, W.N., Schwab, R. (2001) Education spending in an aging America. *Journal of Public Economics*, 81(3), 449–472.
- Hashimoto, K, Tabata, K. (2005) Health Infrastructure, Demographic Transition and Growth. *Review of Development Economics*, 9(4), 549–562.
- Hashimoto, K, Tabata, K. (2010) Population aging, health care, and growth. *Journal of Population Economics* 23 (2), 571–593.

- Hashimoto, K, Tabata, K. (2016) Demographic change, human capital accumulation, and R&D-based growth. *Canadian Journal of Economics*, 49(2), 707–737.
- Hazan, M. (2009) Longevity and Lifetime Labor Supply: Evidence and Implications. *Econometrica* 77(6), 1829–63.
- Heckman, J.J. (2013) *Giving kids a fair chance*. MIT Press.
- Hirazawa, M., Yakita, A. (2009) Fertility, child care outside the home, and pay-as-you-go social security *Journal of Population Economics*, 22(3), 565–583.
- Hirazawa, M., Yakita, A. (2017) Labor supply of elderly people, fertility, and economic development. *Journal of Macroeconomics*, 57, 75–96.
- Hirono, M. (2020a) Impact of R&D growth model with public and private education on income and population growth, *Applied Economics Letters* 27(2), 131–135.
- Hirono, M. (2020b) The transitional dynamics of R&D growth model with public education, *Metroeconomica*, 71(4), 662–675.
- Hirono, M. (2020c) Demographic change, human capital accumulation, and sectoral employment, *Journal of Economics*, forthcoming.
- Hirono, M. (2020d) Population aging, human capital accumulation, and endogenous public policy: welfare analysis, *mimeo*.
- Hirono, M, Mino, K. (2019) Pension, Retirement, and Growth in the Presence Heterogeneous Elderly, *KIER Discussion Paper*, 1010, 1–27.
- Hori, T. (2009) Inequality and Growth: the roles of life expectancy and relative consumption, *Journal of Economics*, 96(1), 19–40.
- Iwaisako, T., Futagami, K. (2013) Patent protection, capital accumulation, and economic growth, *Economic Theory*, 52(2), 631–668.
- Jones, C. I. (1995) R&D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103(4), 759–784.
- Jones, C. I. (2003) *Population and Ideas: A Theory of Endogenous Growth*, in P. Aghion, R. Frydman, J.E. Stiglitz and M. Woodford, eds, *Knowledge, Information, and Expectations in Modern Macroeconomics: In Honor of Edmund S. Phelps*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 498–521.

- Kalwij, A., Vermeulen, F. (2008) Health and Labor Force Participation of Older People in Europe: What do Objective Health Indicators Add to the Analysis? *Health Economics* 17(5), 619–638.
- Kelley, A.C., Schmidt, R.M. (1995) Aggregate population and economic growth correlations: The role of the components of demographic change. *Demography*, 32(4), 543–555.
- Kimura, M., Yasui, D. (2007) Occupational choice, educational attainment, and fertility. *Economics Letters*, 94(2), 228–234.
- Krugman, P. (1979) A model of innovation, technology transfer, and world distribution of income. *Journal of Political Economy*, 87(2), 253–266.
- Kunze, I. (2014) Life expectancy and economic growth. *Journal of Macroeconomics*, 39, 54–65.
- Lall, S., Yilmaz, S. (2001) Regional economic convergence: Do policy instruments make a difference? *Annals of Regional Science*, 35(1), 153–166.
- Lancia, F., Russo, A. (2016) Public education and pensions in democracy: A political economy theory. *Journal of European Economic Association*, 14(5), 1038–1073.
- Lorentzen, P., McMillan, J., Wacziarg, R. (2008) Death and development. *Journal of Economic Growth*, 13(2), 81–124.
- Lucas, R. E. (1988) On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42.
- Maestas, N., Mullen, K.J., Powell, D. (2016) The effect of population aging on economic growth, the labor force and productivity. *National Bureau of Economic Research Working Paper* 224–52.
- Matsuyama, K. (2008) A One-Sector Neoclassical Growth Model with Endogenous Retirement, *Japanese Economic Review* 59(2), 139–155.
- Mino, K. (2017) *Growth and business cycles with equilibrium indeterminacy*, Springer.
- Miyazaki, K. (2014) The Effects of Raising the Official Pension-Age Policy in an Overlapping Generations Economy. *Economics Letters* 123(3), 329–332.
- Miyazaki, K. (2017) Optimal pay-as-you-go social security with endogenous retirement, *Macroeconomic Dynamics*, 23(2), 870–870.

- Momota, A. (2012) Population aging, sectoral employment shares. *Economics Letters*, 115(3), 527–530.
- Myrskylä, M., Kohler, H.-P., Billari, F.C. (2009) Advances in development reverse fertility declines, *Nature*, 460(7256), 741–743.
- Nakamura, H., Nakamura, M. (2019) Production function through automation in a task-based model. Available at SSRN 3461175.
- Nishimura, K., Yagi, T. (2017) How parenting affects children’s futures: empirical study in Japan. *Journalism and Mass Communication* 7, 35–45.
- Okada, K. (2020) Dynamic analysis of demographic change and human capital accumulation in an R&D-based growth model. *Journal of Economics*, 130, 225–248.
- Osang, T., Sarkar, J. (2007) Endogenous mortality, human capital and economic growth. *Journal of Macroeconomics*, 30(4), 1423–1445.
- Oshio, T., Oishi, A., Shimizutani, S. (2011) Social security reforms and labour force participation of the elderly in Japan, *Japanese Economic Review* 62(2), 248–271.
- Ono, T. (2015) Public education and social security: a political economy approach, *Economics of Governance*, 16(1), 1–25.
- Ono, T., Uchida, Y. (2016) Pensions, education, and growth: A positive analysis. *Journal of Macroeconomics*, 48, 127–143.
- Ono, T., Uchida, Y. (2018) Human capital, public debt, and economic growth: A political economy analysis. *Journal of Macroeconomics*, 57, 1–14.
- Poterba, J.M. (1997) Demographic structure and the political economy of public education. *Journal of Policy Analysis and Management*, 16(1), 48–66.
- Prettner, K. (2014) The non-monotonous impact of population growth on economic prosperity. *Economics Letters*, 124(1), 93–95.
- Prettner, K. (2019) A note on the implications of automation for economic growth and the labor share *Macroeconomic Dynamics*, 23(3), 1294–1301.
- Prettner, Klaus., Strulik, Holger. (2019) Innovation, automation, and inequality: Policy challenges in the race against the machine. *Journal of Monetary Economics*, 116, 249–265.

- Reichlin, P. (1986) Equilibrium cycles in an overlapping generations economy with production. *Journal of Economic Theory*, 40(1), 89–102.
- Romer, P. (1986) Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Segerstrom, P. (1998) Endogenous Growth Without Scale Effects. *American Economic Review*, 88, 1290–1310.
- Shimizu, R., Momoda, S. (2020) Does Automation Technology increase Wage? *KIER Discussion Paper*, 1039.
- Shintani, M., Yasuoka M. (2019) Fertility, inequality and income growth. *Discussion Paper* 187, School of Economics, Kwansei Gakuin University.
- Silverstovs, B., Kholodilin, A.K., Thiessen, U. (2011) Does aging influence structural change? Evidence from panel data. *Economic Systems* 35(2), 244–260.
- Steger, T.M. (2003) The Segerstrom Model: Stability, Speed of Convergence and Policy Implications. *Economics Bulletin*, 15, 1–8.
- Stevenson, D. L., Baker, D. P. (1992) Shadow education and allocation in formal Schooling: Transition to University in Japan. *American Journal of Sociology*, 97(6), 1639–1657.
- Strulik, H., Prettnner, K., Prskawetz, A. (2013) The past and future of knowledge-based growth. *Journal of Economic Growth*, 18(4), 411–437.
- Tabata, K. (2005) Population aging, the costs of health care for the elderly and growth. *Journal of Macroeconomics*, 27(3), 472–493.
- Takao, K. (2019) Asset bubble and economic growth under endogenous market structure. *Macroeconomic Dynamics*, 23(6), 2338–2359.
- Tobishima, S. (2012) The effect of early extra-school education on the study hours of high school students. *The Annual Review of Sociology*, 2012(25), 144–155.
- UN (2018) *World Population Prospects: The 2017 Revision*. United Nations.
- van Groezen, B., Meijdam, L, Verbon, H.A.A. (2005). Serving the old: Aging and economic growth. *Oxford Economic Papers*, 57 (4), 647–663.
- Ventura, J. (1997) Growth and independence. *The Quarterly Journal of Economics* 112, 57–84.

- Werner, K., Prettner, K. (2015) Public education and R&D-based economic growth. Beiträge zur Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 2015: Ökonomische Entwicklung - Theorie und Politik - Session: Development, A22-V3, 1–19.
- Weil, P. (1989) Overlapping families of infinitely-lived agents, *Journal of Public Economics*, 38(2), 183–198.
- WHO (2018) World Health Statics.
- Yaari, ME. (1965). Uncertain lifetime, life insurance, and the theory of the consumer. *Review of Economic Studies*, 32 (2), 137–150.
- Yasui, D. (2016) Adult Longevity and Growth Takeoff. *Macroeconomic Dynamics* 20(1), 165–188.
- Zhang, J., Zhang, J., Lee, R. (2003) Rising longevity, education, savings, and growth. *Journal of Development Economics* 70(1), 83–101.

- 東良彰 (2015) 「マルサスの罫と日本の経済発展」, 『経済学論叢』, 「同志社大学」, 67 卷 3 号, 231-248.
- 荒渡良 (2015) 「世代間投票格差・人口成長率と国債発行量の関係 — 動学的政治経済分析 —」, 『経済学論叢』, 「同志社大学」, 67 卷 3 号, 363-387.
- 宮澤和俊 (2015) 「養育財生産, 技術的補完, および出生率動学」, 『経済学論叢』, 「同志社大学」, 67 卷 3 号, 17-34.
- 廣野誠 (2020) 「人口動態, 人的資本, および産業間雇用」, 『経済学論叢』, 「同志社大学」, 27 卷 1 号, 73-103.
- 吉川洋 (2016) 『人口と日本経済—長寿、イノベーション、経済成長』, 中央公論新社.