



日本銀行ワーキングペーパーシリーズ

人口成長と経済成長： 経済成長理論からのレッスン

平田 渉*

wataru.hirata@boj.or.jp

No.11-J-5
2011年8月

日本銀行
〒103-8660 郵便事業（株）日本橋支店私書箱第30号

* 調査統計局

日本銀行ワーキングペーパーシリーズは、日本銀行員および外部研究者の研究成果をとりまとめたもので、内外の研究機関、研究者等の有識者から幅広くコメントを頂戴することを意図しています。ただし、論文の中で示された内容や意見は、日本銀行の公式見解を示すものではありません。

なお、ワーキングペーパーシリーズに対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行情報サービス局までご相談下さい。転載・複製を行う場合は、出所を明記して下さい。

人口成長と経済成長：経済成長理論からのレッスン*

平田 渉

2011年8月

【要旨】

本稿では、人口減少がわが国経済にもたらすインパクトをうらなうため、人口問題を扱った経済成長理論をサーベイし、その含意を紹介する。人口減少が経済成長率に与える影響を正確に評価するためには、労働供給面への直接的な影響だけではなく、人口一人あたり実質 GDP の成長率、すなわち、労働生産性の伸び率に対する影響を適切に評価することが、重要である。このメカニズムについて、経済成長理論は有益な洞察を与える。

標準的な経済成長理論によれば、一人あたり実質 GDP 成長率は、技術進歩率および資本深化（一人あたりの資本が蓄積されること）のスピードに依存する。これは、資本と労働を投入して生産を行い、技術水準が高いほど所与の要素投入から多くの財を生産できるという考え方から派生する。労働者に備わる技術が高まれば、それは一人あたり実質 GDP を押し上げる要因となる。加えて、一人あたりに備わる資本が増えるほど、それを活用して多くの財を生産することが可能となる。

こうした経済成長理論の考え方をもとに、人口減少が、わが国の一人あたり実質 GDP 成長率に与える影響を考えると、以下の通りとなる。

まず、人口減少が資本深化に与える影響については、多くの理論で一人あたりが利用できる資本が増えることを通じて、一人あたり実質 GDP が上押しされることを強調している。これを「負の資本希釈化効果」と呼び、資本が労働対比豊富な資源になることから生じる。その裏側にある生産要素市場では、相対的に豊かになった資本の対価である自然利子率は低下し、乏しくなった労働の対価である実質賃金は上昇すると考えられる。ただし、こうしたメカニズムが強く働くためには、生産要素市場におけるスムーズ

* 本稿の作成に当たっては、青木浩介、加藤涼、木下信行、塩路悦朗、須合智広、関根敏隆、西崎健司、西村清彦、福永一郎、藤木裕、前田栄治、門間一夫の各氏から有益なコメントを頂いた。ただし、あり得べき誤りは、全て筆者に属する。また、本稿で示されている見解は、日本銀行の公式見解を示すものではない。

な調整が前提とされている。生産要素の硬直性が存在し、慢性的な需要不足を抱えている現在の日本経済において、どの程度、負の資本希釈化効果が働く条件が整っているかは、議論の余地がある。

他方で、人口減少は技術進歩率を低めることで、一人あたり実質 GDP 成長率を下押しするという考え方も存在する。経済成長理論では、技術革新を起こすには研究開発に労働を投入する必要がある、との考え方が有力視されている。この考え方の中では、人口減少は研究開発の縮小を通じてイノベーションの停滞を引き起こし、一人あたり実質 GDP の成長率を引き下げる。特に、人口成長率の恒久的な低下は、技術進歩率に恒久的な影響をもたらすため、長期的にはこの効果が有力になる可能性がある。もっとも、これに対しては、技術は国境を越えて伝播する性質を持つため、わが国企業が他国で開発された技術を活用すれば、国内人口が技術進歩の制約とはならない、との考え方もできる。研究開発を促進させる政策が長期的に技術進歩率を引き上げるモデルも考案されており、人口成長率の低下が直ちに一人あたり実質 GDP 成長率の低下に結びつくとするのは早計であろう。

以上のレッスンから導かれる、人口減少下でもわが国の経済成長を維持そして高めていくための方策は、次の通りである。まず、資本深化により一人あたり実質 GDP 成長率を高めるという果実を得るためには、生産要素市場を健全に機能させる必要がある。資本・労働市場の機能を向上させて、経済に生産的な資本を供給し、若年層のみならず、女性や高齢者を労働力として取り込むことが重要である。また、イノベーションの停滞を防ぐという観点からは、教育など人的資本への投資拡大や、優秀な技術者の招聘、さらにはイノベーションが進む世界への日本企業の積極的な進出が重要である。

経済成長理論には答えるべき問いも残されている。少子高齢化が進み人口構成が変化する中では、経済で需要される財の質も変化していく。こうした経済構造の変化に対して、民間経済が時間をかけて対応するような状況においても上記のレッスンが適用可能か否かについては、研究を深める必要がある。また、人口動態の変化が物価変動に与える影響については、経済成長理論の枠組みを用いた考察はまだ少ない。こうした課題については、さらなる研究の蓄積が待たれる。

1. イントロダクション

わが国では、今後数十年に亘って人口が減少することが見込まれており（図表1（1））、この問題への対応が大きな課題となっている。とりわけ、人口減少がわが国の経済成長に与える影響の評価が議論の焦点となっており、国民の関心が高まっている。経済成長率の動向は、金融政策運営にあたって指針の一つとなる自然利子率の動向を左右するだけに、人口減少がわが国の経済成長に与える影響を適切に理解することは、中央銀行としても重要である。

人口減少は、労働供給の減少を通じて経済成長の重石となる。しかし、人口減少が経済成長率に与える影響を正しく評価するためには、人口減少が一人あたり実質GDPの成長率、すなわち、労働生産性の伸び率にどのような影響を与えるかもみなければならない¹。

$$1 \text{ 国の経済成長率} = \text{人口成長率} + \text{一人あたり実質 GDP 成長率}$$

加えて、わが国の人口減少の特徴として、各世代が一様に減少しているのではなく、少子・高齢化の結果として、生産年齢人口の減少が際立っている点を考慮しなくてはならない（図表1（2）～（4））。

一人あたり実質GDP（＝労働生産性）の成長率を規定する要因には、様々なものが考えられる。まず、生産性の伸び率を規定するものとして、技術進歩が挙げられる。また、生産は、労働だけでなく資本も用いて行われるため、一人あたり実質GDPは、純粋な技術進歩だけでなく、資本蓄積の影響を受ける。加えて、人口成長率そのものが、一人あたり実質GDPに影響を与える可能性がある。個々人では達成できないことが、知の集積・ネットワークなど、人が集まることによって達成できるというメカニズムが働くとすれば、人口成長率が直接一人あたり実質GDP成長率に影響すると言えるかもしれない。

このように、人口減少が経済成長率に与える影響は、必ずしも自明ではない。この点、経済成長に関する実証研究の古典である Mankiw, Romer and Weil (1992) と Levine and Renelt (1992) では、様々な要因をコントロールすると、人口成長率の低下は、一人あたり実質GDPの水準を押し上げる効果がある一方、その成長率を長期的に押し上げる効果は統計的に有意に計測されない、との結果が得ら

¹ 一人あたり実質GDPは、経済厚生と必ずしも一致するものではない。しかし、一人あたり実質GDPが長期間持続可能な形でより高い成長を遂げることは、一人あたりの実質消費の伸び率を高めることを通じて、経済厚生上、望ましい結果をもたらすと考えられる。

れている。本稿では、こうした実証結果の背景を考えることも含めて、統一的な視座にたつて人口減少問題を俯瞰するため、人口成長と経済成長の関係を扱った経済成長理論のサーベイを行い、その含意を体系立てて整理する。経済成長理論で取り扱っている論点は多岐にわたっているため、本稿では、人口成長率が資本蓄積と技術進歩に与える影響に焦点をあててサーベイを行う。

経済成長理論を用いて人口成長と経済成長の関係にアプローチすることには、以下の利点がある。まず、経済成長理論が短期の経済変動ではなく、長期的な成長のエンジンに焦点を当てている点である。人口動態が経済変動に影響を与えるには、数十年というタイムスパンがかかることを考えると、こうした長期の視点は重要である。加えて、経済成長理論が依拠する一般均衡アプローチは、人口成長率の変化に対する経済の全体的な反応を考察する上で望ましい性質を持っている。すなわち、一般均衡アプローチを用いることにより、人口成長率の変化や人口問題への政策対応に対し、各経済主体の局所的な反応から始まり、それが集計されてマクロ的な変動が生成されていく過程、さらにはマクロ経済変動が経済主体の行動的インセンティブに撥ね返る過程を俯瞰することが出来る。例として、年金受給開始年齢引き上げによる高齢者の労働参加促進を考えてみよう。これが首尾よく効果を発揮すれば、経済の労働供給能力が上がる。しかし、同時に若年層に将来の年金支給額の減少も予想させる。これに対する一つの合理的な反応は、貯蓄を増やして引退後の生活に備えようとするかも知れない。それは結果として経済の資本蓄積を促進し、資本と労働のバランスの変化を通じて、要素価格（自然利子率・実質賃金）を変化させる圧力になる。こうした要素価格の変化が貯蓄・労働供給のインセンティブに更なる変化を与えることも考慮すべきとなる。

他方、本稿で紹介する経済成長理論では上手く表現できていない問題も現実には存在すると考えられる。わが国経済では、人口動態の変化に対して供給構造がスムーズに適応していないことに、構造問題の原因を求める立場もある。こうした問題は、資本・労働の需給を決める生産要素市場で摩擦が無く、需要と供給がスムーズに調整されることを仮定した経済成長理論の基本モデルで捉えることは難しい。本稿では、要素移動の硬直性を勘案した最新の研究成果にも簡潔に触れるが、この分野では更なる研究の蓄積が待たれる。また、本稿で紹介するモデルは名目変数が存在しない実物経済モデルである。したがって、本稿では、人口動態が、中央銀行が名目金利を設定する際に基準となる自然利

子率に与える影響については議論できるが、長期的な物価変動に与える影響まではカバーできない²。

本稿の構成は次の通りである。2章では人口成長と経済成長の関係を学ぶための準備段階として、経済成長理論の基本的な設定について概観する。3章では、人口成長と経済成長の関係について、ソロー、ラムゼイ、ダイヤモンドの3つの基本モデルから得られる含意を紹介する。4章では、人口成長と経済成長の関係に関する最新の研究を紹介する。ここでは、人口成長率の低下に起因するマクロ経済環境の変化が、経済主体の貯蓄や労働供給のインセンティブに与える効果について重点的に議論する。5章では、人口成長率が低下する中でも技術革新が長期的な経済成長のエンジンと成り得るかという点について、先行研究の考え方を紹介する。ここでは、技術革新のプロセスに人口が作用するチャンネルの定式化と技術が持つ特殊な性質である「非競合性」の効果が、主要なトピックになる。最後に6章で議論の纏めと今後の課題について述べる。

2. 経済成長理論の基本的設定

本稿では、ソローやラムゼイらの研究に代表される経済成長理論を紐解きながら、人口成長率の低下が経済成長に与えるインパクトについて整理していく。理論が導く結論、現実経済との整合性やギャップを考えるには、モデルで前提とされる仮定をよく知ることが重要である。本章では、個々のモデルについて解説する前に、今回紹介する文献の多くで共通する基本的設定をいくつか説明し、その経済的な意味と重要性について吟味することから議論を始める。まず、人口成長と経済成長の因果性について、以下の仮定を置く。

² 自然利子率とは、元々は、①貯蓄と投資を均衡させる実質金利を指し、そうした実質金利は、②資本の限界生産性に等しいのみならず、現実の実質金利がこれに等しければ、③一般物価が安定するとされていた (Amato (2005))。本稿で紹介する経済成長理論は実物経済モデルであるため、③の面を考慮することはできない。しかし、そこで実現する実質金利は、①と②の性格を有するため、以下、本稿では、実質金利を自然利子率と呼び変えて議論を展開する。

ニューケインジアン・モデルでは、GDPギャップをもたらす名目価格の硬直性を導入することにより、①～③の側面を考慮に入れた自然利子率を、「名目価格が伸縮的であれば、実現する実質金利」と定義し、政策金利を誘導する指針を与える金利水準としている。ただし、こうしたモデルでは、人口動態といった経済の長期トレンドを捨象しているため、本稿で紹介する経済成長理論での自然利子率は、「自然利子率の定常値」(小田・村永 (2003) でいう「長期自然利子率」)として一定値と扱い、自然利子率自身は、経済に加わる他の様々なショックによって、定常値から乖離するとしている。本稿での議論をニューケインジアンの立場からみると、一定値と仮定した自然利子率の定常値が、人口動態の変化によりどのように変わりうるのかを考察したもの、と考えられる。

仮定1：人口成長率は外生的な与件であり、経済活動の影響を受けない。

この仮定は、一義的には所与の人口成長率の変化が経済活動に与える影響にのみ着目し、マクロ経済の変動を考えようとする事と同値である。こうした仮定をおいた文献に焦点をあてたのは、「わが国で人口減少が確実視されている中では、それを所与とした上で家計や企業の行動の変化を追うという方法が、問題への第1次的接近として簡潔かつ明快であろう」と考えたためである³。

次に、経済成長を扱う上で欠かせないのが、総供給の能力に関する仮定である。多くの経済成長理論では、単純化のために人々は単一の財（ Y ）を消費し、その財は資本（ K ）と労働（ L ）の2要素によって生産されると仮定している。また、経済の技術水準が高いほど多くの財を生産でき、技術は労働節約的であるとしている。すなわち、技術水準（ A ）の上昇は、労働を追加的に投入することと同じ効果をもつと仮定する。その結果、生産関数は $Y = F(K, AL)$ と表されるが、その形状について、以下の仮定を置く。

仮定2：資本（ K ）と労働（ L ）を共に x 倍すると、生産（ Y ）も x 倍になる。

いわゆる規模に対して収穫一定の仮定である。ある程度成熟した経済においては、生産ラインを拡大するために同じ工場を複数建ててもその相乗効果は小さく、投入要素の変化と同程度しか生産も変化しないと考えられる。収穫一定の仮定とは、このように相乗効果の小さい経済状況を表している。この仮定から暗に導かれる結論は多岐にわたり、経済成長理論を俯瞰する上で鍵となる仮定の一つである。今、生産関数の両辺を $1/AL$ 倍すると、仮定2より $Y/AL = F(K/AL, 1)$ となり、効率労働単位あたりの生産（ $y \equiv Y/AL$ ）は、効率労働単位あたりの資本（ $k \equiv K/AL$ ）にのみ依存することがわかる。よって $y = F(k, 1) \equiv f(k)$ と書くことができる。 y は k に関する増加関数で、限界生産性は逓減するという性質を持つ。

規模に対して収穫一定の仮定を満たす生産関数のひとつに、コブ・ダグラス型の生産関数が挙げられる。

³ もっとも、本稿で紹介するモデルの範囲を越えると、経済的誘因が出生率に与える影響や、人口成長と経済成長の相互依存関係について幅広い議論が行われている。古くはMalthusが18世紀末に経済成長と人口成長の相互依存関係に関する考察を発表している。また、Barro and Becker (1989)やBecker and Barro (1988)は、現代的経済成長理論のひとつとして、出生率と経済成長が同時に決まるモデルを発表している。さらには、産業革命以前の成長レジームから現代的成長レジームへと転換する中で家計の出生行動に起きた変化を合理的に説明しようとするGalor and Weil (2000)らのアプローチも存在する。

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha}$$

$$y = Y / AL = k^\alpha$$

ここで、 α は資本分配率を表し、0以上1以下の値をとる。コブ・ダグラス型生産関数は、3～5章で紹介する経済成長理論でも頻繁に利用され、わが国の潜在成長率の推計など幅広い用途で用いられている。本稿では、以下、コブ・ダグラス型の生産関数を用いて話を進める。

さらに、個々の家計が、非弾力的に1単位の労働を供給すると仮定すると（総労働供給＝総人口）、以下の結果が導かれる。

- i) 人口一人あたりの実質 GDP ($\tilde{y} \equiv Y/L$) は、 $\tilde{y} = Ak^\alpha$ と書ける。すなわち、効率労働単位あたりの資本 (k)、および技術水準 (A) が高まるほど、一人あたり実質 GDP の水準が高まる。
- ii) 人口の変化に応じて資本量も変化し、効率労働単位あたりの資本 (k) が不変となるならば、効率労働単位あたりの生産 (y) は一定となる。
- iii) k が一定かつ技術水準 (A) が時間と共に g の割合で伸びるならば、一人あたり実質 GDP (\tilde{y}) は時間と共に g の割合で成長する。
- iv) 加えて、人口が時間と共に n の割合で増えるならば、経済の総生産 (Y) は $(n+g)$ の割合で成長する。
- v) マクロでみた資本の限界生産性 ($\partial Y / \partial K$) は、効率労働単位あたりの資本の限界生産性 ($\partial y / \partial k = \alpha k^{\alpha-1}$) と等しくなる。資本が労働よりも相対的に豊富になると、資本の限界生産性は下がる（逆に労働の限界生産性は上がる⁴）。

i)で述べたように、規模に関して収穫一定の仮定の下では、一人あたりの実質 GDPを決めるのは、資本・労働それぞれの生産要素の絶対的な投入量ではなく、効率労働単位あたりの資本 (k) と技術水準 (A) である。次章でも述べるように、人口減少により労働供給成長が鈍化する中では、資本の供給スピードが十分に低下しない限り、 k が上昇して、一人あたり実質GDPを押し上げる。ただし、v)にもあるように、資本が労働対比豊富になると、資本の限界生産性は低下する。このように資本のリターンが低下する中で、人々が無限に投資を行うことは考えづらい。加えて、資本を効率労働対比で高水準に維持するために貯蓄を増や

⁴ 労働の限界生産性は、 $\partial Y / \partial L = (1-\alpha)k^\alpha$ と書ける。

し消費をあきらめることは、社会的にみて望ましくない場合もある⁵。こうしたことから、次章で紹介するモデルでは、効率労働単位あたりの資本が、長い目でみると、定常状態にあたる一定値に収束するメカニズムを想定している。こうしたメカニズムが働くならば、人口成長率の低下が資本蓄積を介して一人あたり実質GDP成長率に与える効果は、長期的には消失する⁶。

ここまでは、投入要素を所与としたときの供給力の性質をみてきたが、現実には、投入要素の量や比率は、市場取引の結果として内生的に決定されると考えられる。経済成長理論では、議論の単純化のため、金融機関や就職エージェントなどを通さず、資本と労働の供給主体である家計と需要主体である企業が直接資本・労働の取引を行うと想定している⁷。また、多くのモデルでは、企業には独占力がなく、利潤最大化の際に障壁となる摩擦は、長期的には存在しないと想定している。その結果、企業は各要素の限界生産性 ($\partial Y/\partial K$ や $\partial Y/\partial L$) が要素価格と等しくなるまで投入要素を需要するという関係が、常に成り立つ。

仮定3：企業は完全競争、摩擦なしの下で利潤最大化を行い、資本と労働の限界生産性は市場での要素価格と等しくなる。

仮定2でみたように、各要素の限界生産性は効率労働単位あたりの資本 (k) に依存する。これに、仮定3を組み合わせることで、自然利子率 (r) と実質賃金 (w) は、以下の式のように、追加的な資本投入のリターン、追加的な労働投入のリターンとそれぞれ等しくなる。

$$r = \alpha k^{\alpha-1} - \delta = \text{資本のネット限界生産性}$$

$$w = A(1-\alpha)k^{\alpha} = \text{労働の限界生産性}$$

ただし、 δ は資本減耗率である。これも勘案した資本のネット限界生産性は k の減少関数、逆に労働の限界生産性は k の増加関数である。

これらの式を需要サイドからみると、個別企業にとって要素価格は所与なので、市場の要素価格に応じて、企業は効率労働単位あたりの資本 (k) を調整する。こうした状況では、人口成長に伴って外生的に労働供給 (L) が変化すると、

⁵ k は消費をあきらめて資本に投資を行うことによって増やすことができる。一人あたり実質GDPを高めるために恒常的に消費をあきらめることは、家計の所得を高めても経済厚生を低めるという結果を生む可能性がある。

⁶ 5章では、人口成長が、もう一つの決定要因である技術水準に与える影響を考えることによって、この結論の妥当性を改めて検討する。

⁷ 家計貯蓄が全て資本の生産に充てられるという仮定を置いている。

需要される資本の総量（ K ）が、上記の式を満たすように調整される。

このように需要サイドが受動的に調整されるため、人口成長率の変化が要素投入、ひいては経済成長に影響を及ぼすチャネルは、要素の供給側、すなわち家計行動にあると考えることになる。事実、経済成長理論は、主に家計の貯蓄行動に焦点をあてて経済成長の源泉や収束条件などを研究してきた⁸。次章で紹介する基本モデルも、他の条件を一定としつつ家計の貯蓄のあり方を吟味することで、異なったインプリケーションを導き出していると整理できる。

家計貯蓄についてさらに掘り下げるために、家計の資本遷移（蓄積）式を導入する。家計は毎期の所得（ Y ）を消費（ C ）と貯蓄（ S ）に配分する。翌期に持ち越す資本ストックは、前期から持ち越した資本ストックのうち減耗していない部分に新たな貯蓄を加えることで計算される。これを定式化すると

$$K_{t+1} = Y_t - C_t + (1 - \delta)K_t$$

となる。ただし、 t は時間を表す添え字である。この式は、両辺を効率単位で測った労働力（ AL ）で除すことにより、次のように書き換えられる。

$$(1+n)(1+g)\Delta k_{t+1} = y_t - c_t - (n+g+\delta)k_t$$

Δk_{t+1} は、効率労働単位あたりの資本の変化分であり、 $(n+g+\delta)k_t$ は、効率労働単位あたりの資本の実質的な減耗である⁹。実際の資本（ K ）は δ のスピードでしか減耗しないが、効率労働単位あたりの資本は、人口成長率や技術進歩率が加速しても減少する。これを資本希釈化効果といい、労働者一人あたりが利用できる資本が労働供給成長の加速によって低減し、所得を減少させる効果のことを指す。

この資本遷移式でポイントとなるのは、家計による貯蓄（ $y-c$ ）の決まり方である。これによって人口成長率（ n ）の変化にともなう資本蓄積の変化のあり方が決まる。次章ではこの点に着目して議論を進める。

3. 経済成長理論の基本モデルにおける人口成長率の影響

ソローやラムゼイなどの経済成長の基本モデルを援用した分析においては、

⁸ 経済成長理論の基本モデルでは、労働供給量＝人口であると仮定されている。そのため、家計の労働供給メカニズムが経済成長に及ぼす影響については捨象されている。ただし、近年では、労働供給を内生化したモデルも多数開発されている。本稿では、そうした研究成果の一部について4章で紹介する。

⁹ 本稿では、人口問題を扱った経済成長理論の多くが離散期間モデルを利用した重複世代モデルに基づくことに鑑み、基本モデルの説明を離散期間の設定で表す。

産業革命以降、欧米諸国の一人あたり実質GDPが爆発的に増加した事実や、各国、地域間で所得、生活水準に大きな格差が生じている事実は、資本蓄積と技術進歩のどちらにより説明される部分が大きいかという点が、主要な論点となっていた¹⁰。したがって、人口成長と経済成長の関係は、基本モデルにおいて必ずしもメインテーマとはされてこなかった。しかし、基本モデルにおいても人口成長率は外生的なパラメータとして組み込まれており、人口成長率の変化が経済成長に与える影響について分析・解釈することは可能である。以下では、ソロー、ラムゼイ、ダイヤモンドという3つの基本モデルを比較する。基本モデルでは、前章でも紹介したように、効率労働単位あたりの資本が一定値に収束することが想定されているため、長期的には技術進歩率のみが一人あたり実質GDP成長率に影響するという含意は共有される。しかし、3つのモデルでは、貯蓄行動に関する設定の相違により、一人あたり実質GDP成長率に対する中・短期的なインパクトや、自然利子率の動きに相違が生じる。以下では、この点を意識して3つのモデルにおける人口成長と経済成長の関係を整理する。

(Solow (1956))

現代経済成長理論の出発点であるソローの経済成長モデルの定式化は、非常にシンプルである。家計は所得水準や資産残高、残存寿命などに関わらず、所得の一定割合を貯蓄する、すなわち貯蓄率は一定との仮定を置いている。その貯蓄率を s とすると、効率労働単位あたりの資本の遷移式は、

$$(1+n)(1+g)\Delta k_{t+1} = sk_t^\alpha - (n+g+\delta)k_t$$

となる。一定の貯蓄率の下で、 k の新規供給（右辺第1項）と実質減耗（同第2項）のスピードの差が資本蓄積の推移を決める。こうした経済において、生産関数が稲田条件¹¹を満たすとすると、図表2（1）のように k の新規供給と実質減耗のスピードが一致する点（ k^* ）が唯一存在し、初期時点の k がどこであっても、経済は k^* に向かって単調に収束する、という結論が得られる。

ここで人口成長率が低下すると、その効果は k の減耗スピードの低下として現れる。これがいわゆる負の資本希釈化効果で、図表2（2）では k の減耗カーブの下方シフトとして描くことができる。ソロー・モデルでは、家計は人口成長

¹⁰ 例えば、Romer (2006)の第1章。

¹¹ $\lim_{k \rightarrow 0} f'(k) = \infty, \lim_{k \rightarrow \infty} f'(k) = 0$

率が低下しても資本を供給するペースを変えないため、労働供給の増加ペースが鈍ると、生産要素市場では資本が労働対比豊富になる状態が進行する。この負の資本希釈化効果の影響で、一人あたり実質 GDP の成長率は一時的に加速する。その一方で、人口成長率の低下は経済成長率を直接下押しする。この結果、長期的には、負の資本希釈化効果が消失し、1 国全体の経済成長率は人口成長率が低下した分だけ低下する。

また、負の資本希釈化効果は、自然利子率の低下を促す。すなわち、資本が労働対比で豊富になるにつれ、資本の価値は薄れ、リターンが低下する。具体的には、ソロー・モデルにおける自然利子率の定常値は、以下のように人口成長率の増加関数となる¹²。

$$r^* = \alpha [n + g + \delta] / s - \delta$$

(Ramsey (1928))

ソローの成長理論は、議論の出発点として示唆に富むものの、貯蓄率が一定であるという仮定は、現実の家計行動の描写としては単純化の度合いが大きすぎるとの批判も多い。

そこで、経済学でよく用いられるのが、ラムゼイによる最適貯蓄の理論である。このモデルでは、人々は家計を営むことで得る利得を可能な限り大きくするという規範を持ち、その規範にしたがって消費－貯蓄バランスを決めると考える¹³。ただし、利得の基準など規範に関する前提次第で最適貯蓄のあり方も変わり得る。本稿では、ラムゼイ・モデルから導出される消費－貯蓄バランスの関係式をレビューすることで、同モデルにおける最適化の規範への理解を深め、人口成長率の変化に対する自然利子率および資本蓄積の反応を考察する。

¹² 前ページの資本遷移式の左辺をゼロとし、右辺から定常状態での効率労働単位あたりの資本を解く。その資本ストック水準における資本のネット限界生産性を計算することで下式を得る。

¹³ 厳密には以下の効用関数を最大化すると定義される。

$$U \equiv \int_{t=0}^{\infty} u[\tilde{c}(t)] e^{-(n-\rho)t} dt \quad u'[\tilde{c}(t)] > 0, u''[\tilde{c}(t)] < 0$$

この数式は、i) 家計は今日から無限の将来にかけて行う消費から得られる効用を最大化する ($\tilde{c}(t)$ は一人あたりの消費) が、ii) 将来の消費は ρ の率で割り引かれ、iii) 家計のメンバーは人口成長率 n と等率で成長し、増えた子孫が新たに消費を行う分だけ将来の効用は増大する、と解釈できる。家計は所得や資産をメンバー間で均等に分け合い、それぞれのメンバーは自分の消費だけでなく、他のメンバーの効用も自分の効用のように喜ぶと考えられている。

ラムゼイ・モデルでは、貯蓄率 s は消費から得られる効用を最大化する結果として決定される。また、今日の消費だけでなく、先行きの消費から得られる効用も考えるため、家計の選択は動学的になる。すなわち、今日の富を今日消費して効用を得るか、貯蓄して将来の消費を高めるかを考えながら消費-貯蓄バランスを決める。その最適条件は、以下のように導くことができる¹⁴。

$$(\tilde{c}_{t+1} - \tilde{c}_t) / \tilde{c}_t \approx (r_{t+1} - \underbrace{n_{t+1}}_{\text{資本希釈化効果}}) - (\rho - \underbrace{n_{t+1}}_{\text{他主義の効果}}) = r_{t+1} - \rho$$

左辺は一人あたり消費の成長率で、消費-貯蓄バランスを表す。最右辺から、家計は自然利子率が高くなれば、貯蓄の誘因が高まり、時間を通じて消費を徐々に高めるパスを選好することがわかる。逆に、足下の消費を我慢することに対する個人的なペナルティー=割引率 (ρ) が高まれば、足下の消費を多くしてその後減少させていくパスを取ることが、家計の利得から見て最適になる。

以上の消費-貯蓄バランスの式には、人口成長率は結果として現れない。資本希釈化効果があれば、人口成長率の上昇は効率労働単位あたりの資本を減じることで貯蓄のリターンを減らすはずである。実は、ラムゼイ・モデルでもこの効果は出現している。上式には、 r の次に負の記号と共に人口成長率 (n) がある。これが、資本希釈化効果を表している。

しかし、ラムゼイ・モデルでは、人口増加は家計の効用に直接的にプラスであると設定されている。これを、親が子を産み、その子のことを我がことのように親が思うという「利他主義 (altruism)」という考え方から正当化している¹⁵。すなわち、家計内の子孫が人口成長率と等率で増え、それぞれの子孫が消費を行うことは、家計全体の利得を高めるとラムゼイ・モデルでは考えられている。すると、貯蓄した富を子孫に分け与え、その子孫が消費を行う分だけ貯蓄の効用は高まることになる。これが上式の ρ とともに括弧で括られた項にある n に体现されており、利他主義の仮定がもたらす効果である。

以上の考察を踏まえ、自然利子率に対する含意を導く。長期的には、消費が所得を超えて増加し続ける、あるいは所得が成長しているにもかかわらず消費

¹⁴ こうした条件を導くために、異時点間の代替の弾力性は消費水準によらず一定で、かつ1であると仮定した。こうした仮定を緩めても議論の本質は変わらない。

¹⁵ 親は自分の消費から得られる効用だけでなく、自身の子供の効用も勘案すると仮定する。子供はその子供の効用を勘案し、その子供はまたその子の効用を勘案すると考えていくと、親は自分のためだけではなく、自分の家計に連なる子孫の無限の消費流列から派生する効用の割引現在価値を最大化するよう行動する。この結果、老齢期でも遺産相続のために貯蓄を継続したり、逆に将来世代の所得をあてに消費するなどの行動が生まれる。

は減速し続けることは、予算制約の下で消費から得られる効用を最大化するという家計の規範と整合的ではない。長い目でみると、一人あたり消費は一人あたり実質 GDP と平仄を合わせて成長することがラムゼイ・モデルでは担保されている。上で論じた通り、長期では、一人あたり実質 GDP は技術進歩率と同率で成長することから、一人あたり消費の成長率も技術進歩率と同率で成長する。よって上式左辺の一人あたり消費成長率に g を代入し、自然利子率の定常値について以下の式を得る。

$$r^* = g + \rho$$

このように、ラムゼイ・モデルでは、資本希釈化効果を利他主義の効果が相殺する結果、自然利子率の定常値は人口成長率に影響されない。

(Diamond (1965))

最後に、最適貯蓄の議論でもう一つの有名なモデル、ダイヤモンドの重複世代モデルについて概観する。このモデルでは、各家計の一生を、労働を供給する現役期と、貯蓄によって蓄積した資産を消化する引退期の 2 期に分ける。そして引退後の消費を終えた家計は市場から退出し、同時に新たな世代が参入すると考える (図表 3 (1) を参照)。これにより、現実に観察される家計のライフサイクル的な行動を再現しつつ、経済全体の資本蓄積について分析を行うことが可能な枠組みとなっている。

しかし、最適貯蓄という観点から、ダイヤモンド・モデルがラムゼイ・モデルと決定的に異なる点は利他主義の有無であって、有限寿命・重複世代という設定そのものではない¹⁶。ダイヤモンド・モデルでは、利他主義が無い場合、経済に参入する新たな世代は、既存世代とも、さらに将来の世代とも繋がりを持たない。このため、家計は資産ゼロからスタートして貯蓄を行い、引退後は資産を全て使い切るというライフサイクル的行動が生まれる。これは、ラムゼイ・モデルでは起き得ないパターンである。こうしたライフサイクル的消費-貯蓄パターンを集計することにより、人口成長率の変化に対する一人あたり実質 GDP や自然利子率の変化が、ラムゼイ・モデルと異なる性質を持つことが示

¹⁶ ラムゼイ・モデルでは、利他主義により個人の寿命は有限でも家計の計画期間は無限に広がり得ることが示されている。事実、ダイヤモンド・モデルに利他主義を然るべき形で導入すると、解がラムゼイ・モデルと同じ形に収束することが示される。詳しくは Barro and Sala-i-Martin (2003) の第 3 章を参照。

される。

ダイヤモンド・モデルにおける家計の貯蓄選択をみると、家計の最適化問題は、現役期の消費と引退期の消費から派生する効用の割引現在価値を最大化するよう、現役時の労働所得を消費と貯蓄に配分することと定義される。遺産の相続や所得移転は考えないため、自分の労働以外に所得の源泉はない。したがって、現役世代の貯蓄(\tilde{s}_t^{young})は、

$$\tilde{s}_t^{young} = s(r_{t+1}, \rho)w_t$$

と表される。ここで $s(r_{t+1}, \rho)$ は時々の金利と割引率によって決まる貯蓄率で、 w_t は実質賃金である。現役世代の貯蓄が翌期の資本ストックとなるので¹⁷、経済全体の資本は以下のように決まる。

$$K_{t+1} = s(r_{t+1}, \rho)w_t L_t$$

ここで L_t は労働の総供給であり、現役世代の人口と一致する。現役世代の人口が每期 n の率で成長し、消費の時点効用として、対数型の効用関数($u(c) = \log(c)$)を仮定すると、鍵となる変数である効率労働単位あたりの資本の変遷は、

$$k_{t+1} = \frac{1-\alpha}{(1+n)(1+g)(2+\rho)} k_t^\alpha$$

と表すことができる。上式は、①実質賃金に相当する $(1-\alpha)k_t^\alpha$ 、②貯蓄率に相当する $1/(2+\rho)$ ¹⁸、そして③資本希釈化効果に相当する $1/(1+n)(1+g)$ の3つの部分に分けられる。ここで重要な点は、ダイヤモンド・モデルが、ラムゼイ・モデルと同じく最適貯蓄の枠組みでありながら、③の資本希釈化効果が現れることである。これは、ダイヤモンド・モデルが、利他主義を排しているため、将来世代の効用を既存世代が内部に取り込む経路を排除していることによる¹⁹。

このモデルでは、ソロー・モデルのように人口成長率の低下は効率労働単位あたりの資本を増加させる効果を持つ。横軸に今期の k 、縦軸に来期の k を取り、その推移の関係を図示すると、 k は定数 k^* に単調に収束する(図表3(2))。

¹⁷ 引退世代は、自分が積み立てた資本を全て崩して消費に充当するので、経済が前期から引き継ぐ資本はゼロと設定されている。

¹⁸ 対数型効用関数を仮定すると、所得効果と代替効果がそれぞれを相殺し、貯蓄率が金利に依存しないことがダイヤモンドの設定では示される。より一般的な効用関数、例えば代替の弾力性が1とは限らないCRRA型の効用関数の下では、貯蓄率が金利に依存することとなり、解の導出が複雑化する。

¹⁹ こうしたメカニズムはDiamond(1965)に特有なものではなく、連続時間モデルで、確率的有限寿命に加えて「利他主義がない」との仮定を置いたBlanchard(1985)等でも確認されている。

ここで、 n が低下すると、 k の遷移カーブが上方にシフトする。資本希釈化効果が和らぐ分だけ、効率労働単位あたりの資本は蓄積が進む。その結果、ソロー・モデルと同様に効率労働単位あたり所得の成長率は一時的に加速する。

負の資本希釈化効果が現れるということは、最適貯蓄の枠組みの中でも、人口成長率の低下が自然利子率を押し下げる効果が出現することを意味する。実際、ダイヤモンド・モデルにおいては、利他主義を排した結果、自然利子率の定常値は、以下のように人口成長率の増加関数となる²⁰。

$$r^* = \frac{\alpha(1+n)(1+g)(2+\rho)}{1-\alpha} - \delta$$

なお、重複世代モデルでは、労働者一人あたりの実質 GDP と人口一人あたりの実質 GDP が一致しない点には注意を要する。労働者一人あたりの資本が一定の場合でも、生産年齢人口比率が低下すれば、高齢人口も含んだ人口一人あたりの資本は低下する。すると、一人あたり実質 GDP は低下して見える。

(自然利子率がマイナスになる可能性)

本章で紹介した 3 つの基本モデルにおいて、自然利子率がマイナスに陥ることはあり得るのであろうか。これを、自然利子率の決定式を再掲することで確認する。

$$r^* = \begin{cases} \alpha[n+g+\delta]/s-\delta & : \text{ソロー} \\ \rho+g & : \text{ラムゼイ} \\ \alpha(1+n)(1+g)(2+\rho)/(1-\alpha)-\delta & : \text{ダイヤモンド} \end{cases}$$

まず、利他主義があるラムゼイ・モデルでは、自然利子率は、人口成長率にそもそも依存しないため、人口減少に伴い負の値をとることは無い。一方、貯蓄率が一定であるソロー・モデルや、利他主義が無いダイヤモンド・モデルでは人口成長率が低下すると、負の資本希釈化効果から資本の限界生産性（各々の式の第 1 項）が低下する。このとき、自然利子率が定常的に負になるか否かは、資本の限界生産性が資本減耗率を下回るか否かに帰着する。人口成長率の低下幅が大きく、資本の限界生産性がゼロ近傍まで低下するならば、資本減耗を勘案した資本のネット限界生産性はマイナス、すなわち自然利子率がマイナ

²⁰ ソロー・モデル同様、資本遷移式において効率労働単位あたりの資本の変化がゼロとなる資本ストック水準を割り出し、その水準における資本の限界生産性を計算することで導かれる。

スになる可能性がある²¹。

この点についてより具体的な議論を行うため、かなりラフな方法ではあるが、上記の自然利子率の決定式に、現実の経済と整合的と思われる値を代入して自然利子率の数値例を作成した（図表4）。

まず、人口動態が定常状態を迎える超長期の世界を想定し、人口成長率がゼロに収束すると仮定した場合の自然利子率を計算した。この場合、全てのシナリオにおいて、一定のプラスの値を持つ自然利子率が得られた（図表4（2）、各シナリオの左側の数値）。

しかし、実際に人口減少に伴って自然利子率がマイナスとなる可能性が論点となるのは、先行き数十年程度の人口減少局面についてであると考えられる。この点を考察するため、自然利子率をゼロにする人口成長率を逆算した²²（図表4（2）、各シナリオの右側の値）。これによると、ベースラインシナリオでは、人口成長率がマイナス3%程度で、IT化などに伴い資本減耗率が高まりかつ技術進歩率が低迷するシナリオでは、人口成長率がマイナス2%程度で、それぞれ自然利子率がゼロになるとの結果が得られた。わが国の人口動態予測（図表1）において、総人口の成長率のボトムがマイナス1%程度、生産年齢人口成長率のボトムがマイナス2%程度であることを踏まえると、来る人口減少局面において、自然利子率が少なくともゼロ近傍までは低下する可能性は相応に存在すると考えられる²³。脚注2で論じたように、中央銀行が物価安定との関係で指針とする自然利子率は、本稿で論じた自然利子率の定常値に加えて、経済成長理論の枠組みで考慮されていない様々な短期的ショックの影響も受ける。こうしたことも考えると、上記数値例で自然利子率の定常値がゼロ近傍にまで低下しているときには、名目金利のゼロ制約に陥りやすくなっていると考えられる。

²¹ 最近 Krugman は、過剰債務問題が需要を抑制することを通じて、わが国経済の自然利子率を下押ししている可能性を示唆している (Eggertsson and Krugman (2011))。しかし、本来、Krugman は、本稿で取り上げているような少子高齢化から自然利子率がマイナスになっている可能性を強調していた (Krugman (1998))。

²² 本来は、人口動態が均衡に達する移行過程において一時的（と言っても数十年間）にわたり人口成長率が負になる局面を想定し、自然利子率の経路を求めるべきであるが、計算が非常に煩雑となるため、簡便法を用いる。なお、移行過程においては、人口成長率が低下（上昇）すれば、自然利子率も概ね低下（上昇）する関係が存在すると考えられる。

²³ 数値例における人口増加率を、総人口の成長率で評価するか、生産年齢人口の成長率で評価するかは議論の余地は大きい。ただ、少なくともダイヤモンド・モデルについては、モデル上重要な意味を持つのは労働供給の成長率を表す生産年齢人口成長率であり、これで評価する方が適当である。

(表 1) 基本モデルにおける人口成長率低下の長期的インパクト

	ソロー	ラムゼイ	ダイヤモンド
経済成長率	人口成長率の低下分 だけ低下	人口成長率の低下分 だけ低下	人口成長率の低下分 だけ低下
一人あたり 実質 GDP 成長率	加速後もとの水準に	長期的には不変 ²⁴	加速後もとの水準に
自然利子率	もとの水準と 比べて低下	長期的には不変	もとの水準と 比べて低下

(基本モデルのまとめ)

ここで、基本モデルのインプリケーションをまとめる (表 1、図表 5)。

- i) 人口成長率の低下は、負の資本希釈化効果により効率労働単位あたりの資本を増加させる。ただし、将来世代に対して利他主義が働く場合には、これを相殺する力がはたらく。
- ii) 人口成長率の低下はマクロの経済成長率を直接押し下げるが、一人あたりの実質 GDP 成長率は、負の資本希釈化効果により一時的に押し上げられる。その間、自然利子率は低下基調を辿り、実質賃金は上昇する。
- iii) 効率労働単位あたりの資本は、あるところまで増加した後は一定となり、自然利子率の低下も止まる。長期的には、一人あたり実質 GDP や消費の成長率は、技術進歩率に規定される。

経済成長理論の基本モデル (ソロー、ラムゼイ、ダイヤモンド) では、労働供給の伸び率鈍化に対して資本蓄積が十分に減速せず、負の資本希釈化効果が出現するか否かが焦点となる。労働供給の成長鈍化は、一人あたりに備わる資本を増やす効果があるので、資本投資からのリターンが増加する。家計がこれを受けて貯蓄を労働供給対比で増やすのか、それを相殺するメカニズムが生み

²⁴ 人口成長率の低下が経済主体にとって予想されないショックであった場合、短・中期的にも不変である (消費が瞬間的にジャンプし、元の効率労働単位あたりの資本が維持される)。他方、予想されるショックである場合、長期では不変であるが、短・中期の動学は影響を受ける可能性がある。

出されるのかがポイントとなる。

ラムゼイ・モデルとダイヤモンド・モデルの比較から、負の資本希釈化効果を打ち消すメカニズムとして、経済に既に存在する世代が将来生まれてくる世代の効用を勘案するという利他主義が浮かび上がった。利他主義については、その存在は否定し難いが、ラムゼイ・モデルで想定されているように負の資本希釈化効果を完全に相殺するほどは強くない、という評価が妥当であると考えられる²⁵。この場合、人口成長率の低下が効率労働単位あたりの資本を増加させるという結論は、程度の差こそあれ変わらない。もっとも、こうした負の資本希釈化効果は一人あたり実質GDPの水準を押し上げる効果があっても、成長率を恒久的に押し上げる効果はない。この点は、冒頭で紹介した、Mankiw, Romer and Weil (1992)とLevine and Renelt (1992)の実証結果とも整合的である。

以上の含意を現在のわが国経済に適用する上では、留意すべき点が存在する。負の資本希釈化効果が実際に顕現化するには、生産要素市場に摩擦がなく、人口減少・高齢化社会においても経済が求める需要に対し、資源がスムーズに移動し適切な供給が行われるとの仮定が必要になる。1990年代以降のわが国経済で起きてきた事象を考えると、こうした仮定が成立しているか議論の余地がある。金融仲介機能の低下や硬直的な労働市場などにより、資本蓄積や若年層の雇用吸収が阻害される場合、資本深化にまつわるプラスの効果である一人あたり実質GDPや実質賃金の上昇が、顕在化しない可能性がある。

なお、経済成長理論にもこうした生産要素市場の硬直性に着目した研究は存在する。Hayashi and Prescott (2008)は、わが国経済が戦後に飛躍的な発展を遂げた事実とは対照的に、戦前のわが国の一人あたり実質GDPが米国対比で1/3程度で停滞していたという事実を示した。彼らは、当時、都市部での賃金が農村の賃金よりも高かったにも関わらず、農村から都市部への人口移動に障壁が存在したことに着目し、労働移動の硬直性を取り入れた2部門経済モデルを構築した。彼らはこのモデルにおいて、労働移動の障壁は、i)効率的な生産フロンティアに経済が達することを阻害し、ii)限界的に生産性が高い部門に労働が移動しないために資本蓄積も阻害することを示し、一人あたり実質GDPが効率フロンティアから大きく引き離されることを報告した。このように、資源配分がスム

²⁵ 大竹 (2009)も同様の見解を述べている。Ramsey (1928)では、追加的にメンバーに加わる個人が消費をすることに対する家計の限界的な効用が逓減しないという仮定を置いている。この限界効用一定という強い利他主義のため、資本希釈効果が完全に打ち消される。限界効用が逓減するという仮定を置くと、利他主義は残るものの、資本希釈効果を打ち消す力は弱まる。

ースに調整されない場合には、長期間資本蓄積が阻害され、負の資本希釈化効果が出現しない可能性がある。

ただし、Hayashi and Prescott (2008)は、戦前・戦後を通じてみると、労働移動の硬直性だけで米国と日本の一人あたり実質 GDP の格差の推移を全て説明することはできず、とくに戦後については製造業部門の TFP 成長率の加速が大きな説明要因となるとも述べている。これは経済成長における技術進歩の重要性を強く示唆する結果である。技術進歩を巡る議論については、5章において改めて紹介する。

4. 応用研究の紹介 1 : 効率労働単位あたりの資本の増加に対し、経済主体が反応するチャネルの追加とその帰結

ここからは、最新の研究が明らかにしてきた人口成長率の低下、高齢化と経済成長の関係を紹介していく。これらの最新の研究でも、突き詰めると、人口成長が資本と労働の配分にどのような影響をもたらすかに帰着する。基本モデルと違うのは、資本や労働の対価の変化に対して、家計が投資や労働供給のあり方を変えるチャネルが考慮されている点である。これらの応用研究では、マクロ経済環境の変化がミクロ的経済行動のインセンティブに及ぼすフィードバック効果も考えた分析を行っている。その中でも、開放経済モデルへの拡張、人的資本投資、年金制度改革のインパクトなどが主な研究の対象となっている。

最新の研究からは、次のような含意が導かれる。第一に、海外への投資が開かれると、人口成長率、生産年齢人口の成長率が低い国から高い国へと資本が移動する。これは前者の国で資本が豊富になり、資本の限界生産性が低下する圧力が働くためである。資本が移動する結果、両国で自然利子率は等しくなる。第二に、人的資本投資を考慮に入れると、人口成長率が低下したときに、家計は人的資本価値を高める投資を積極的に行うようになる。労働が相対的に稀少な資源となり、その対価が増加することが実現するならば、人々は自発的に教育などへの投資を増やすと考えられる。第三に、少子高齢化に対応して年金制度改革を行うことは、インセンティブ効果まで考慮するとマクロ経済に大きなインパクトをもたらす。年金支給額を維持しようと現役世代の負担を高めることは、増税だけでなく労働供給のインセンティブを落とす分だけ一人あたり実質 GDP を一層下押しする。

こうした最新の研究は、基本モデルの中でも、ダイヤモンドの枠組みに乗り

ながら、モデルの様々な側面を拡張することで含意の変化を見るというアプローチを取っている。本章では、まず、ダイヤモンド・モデルを現実経済に適合させるように、大型化した研究から紹介する。

(大規模 OLG モデル)

現実の家計の生計は、経済に参入して間もない若年期、仕事での経験を積み生産性が上がる中年期、引退後の生活についても考える壮年期、年金に依存して生活する老齢期など、2 期間モデルよりももっと細かくそのステージを分けることができる。このように、家計の生計ステージを細かく区切り、重複世代モデルを現実経済に適合するように大型化し、モデルの定量的なインパクトを計測する試みが、1980 年代後半以降発展してきた²⁶。

こうした研究の端緒となったのが Auerbach and Kotlikoff (1987) である。彼らは、大規模 OLG モデルを構築し、財政政策の変化が個人およびマクロ経済に及ぼす影響について数値シミュレーションを行った。その中で、人口動態の変化がマクロ経済に与えるインパクトについて 1 章分を割いている²⁷。彼らはモデルを現実の米国経済に適合するようカリブレートした上で、出生率を低下させて人口成長率を 3% から 0% に低下させるシミュレーションを行った。その過程で起こるのが、人口動態の高齢化である。

このシミュレーションを通じて、ダイヤモンド・モデルの含意はモデルを大型化しても維持されることが示された。すなわち人口成長率が低下すると、負の資本希釈化効果が発生し、自然利子率の低下、実質賃金の上昇が観察されるという結論が維持される。より詳細にみると、シミュレーションでは、①高齢化により資産残高を積み上げた老齢世代の人口比率が高まる一方で、②新たに労働を供給する若年層が大きく減少している。①の老齢人口比率の上昇は、マクロの貯蓄率を大きく低下させるため、資本蓄積のスピードを緩める。にもかかわらず、これを②の労働供給の減少の効果が上回るため、負の資本希釈化効果が生じる。

Auerbach and Kotlikoff (1987) の主要な貢献は、こうした負の資本希釈化効果の定量的なインパクトをはじき出した点にある。彼らは、3% の人口成長率の低下

²⁶ 大型モデルを用いると、出生率・死亡率等を細かく設定することで、現実を観察される人口動態をつぶさに再現できるというメリットが生じる。

²⁷ 同書の第 11 章を参照。この他にも課税ベースの変更や投資促進税、累進課税の影響などについてシミュレーションを行っている。

に対して、100年ほどかけて自然利子率が300bps低下し、実質賃金が11%上昇することを示した。ただし、米国経済にあわせたカリブレーションであり、かつ25年近くも前のデータを利用しているため、これを直ちに現状の日本経済へ援用することは問題が大きい。彼らが得た結果は、より最近の研究成果と比べて、かなり大きな値となっている。

(開放経済・資本の国際移動と人口成長率の低下)

ここまで紹介したモデルでは、閉鎖経済という仮定が維持されており、自然利子率が低下しても家計は国内資本に貯蓄を全額投資するとしていた。しかし、現実には経済は国境を超えて繋がっており、ある国で実質金利が下がれば、その国の家計はより高いリターンを求めて海外への投資機会を窺うと考えられる。

この点に着目した研究として、まず Krueger and Ludwig (2007)を取り上げる。彼らは大規模 OLG モデルを米国とその他 OECD 諸国の2カ国モデルに拡張し、人口動態の変化にともなう国際資本移動の変化と、そのマクロ経済的インパクトについて解析した。ここで鍵となる仮定とその含意は次の通りである。

- i) 自由な資本移動を仮定する結果、2国間で実質金利が均等化する。
- ii) したがって、均衡では効率労働単位あたりの資本が、2国間で一致する。
- iii) 開放経済モデルに拡張すると、問題になるのは1国の人口動態ではなく、2国間の人口動態の平均である。

開放経済において、自国では人口成長率が低下するが、他国では低下しないと仮定する。資本移動がなければ他国で資本が相対的に少ない状況が起き、自然利子率が高止まる。しかし、自由な資本移動がおこると、自然利子率の2国間の差は、自国から他国への資本流出、すなわち自国の経常収支黒字を引き起こす。この資本移動は両国間で自然利子率に差が無くなるまで続き(上記i)、最終的には両国の効率労働単位あたりの資本が同じになる(同ii)。

Krueger and Ludwig (2007)は、米国でも先行き人口成長率の低下・高齢化が進むものの、他の OECD 諸国対比その度合いは小さいという点に着目した。そのため、相対的に効率労働単位あたりの資本が低位である米国において、中長期的に資本流入圧力が働き、自然利子率が閉鎖経済を仮定したシミュレーションよりも大きく低下することが示された。逆にいえば、日本を含む他の OECD 諸国では、自然利子率の低下が抑制される。その定量的インパクトは次のように

報告されている。

- i) 開放経済の場合、米国とその他 OECD 諸国の自然利子率は、2005 年～2080 年にかけて、ともに 86bps 下がる。
- ii) 仮に閉鎖経済の場合、米国の自然利子率の低下幅は 79bps に止まり、その他 OECD 諸国の自然利子率の低下幅は 103bps にまで拡大する。

Ferrero (2006)やCooper (2008)も同様の視点から、米国の経常収支赤字が、米国と貿易相手国の人口成長率低下のスピードと高齢化スピードの差によって説明できる可能性を提示した。このうちFerrero (2006)は、Krueger and Ludwig (2007)同様、自国の出生率の相対的な低下は、投資リターンの裁定を通じて海外への資本流出を促す一方で、それを相殺し得る効果として、消費性向が高い高齢人口の割合が高まることにより消費が拡大する効果を指摘した²⁸。この両者の綱引きが経常収支への影響を決めるが、彼女の分析では資本流出の効果が消費拡大の効果を若干上回るとされている。

Börsch-Supan, Ludwig and Winter (2006)は、高齢化の進展が比較的早い独・仏・伊の欧州 3 カ国とその他の世界各国²⁹というフレームワークで、同様のシミュレーションを行った。彼らのシミュレーションでも世界の自然利子率の低下幅は、2000 年～2070 年の間で 100bpsを若干下回る程度であり、開放経済か閉鎖経済の違いによる差は、Krueger and Ludwig (2007)同様、大きくはないと論じられた。

以上の議論を要約すると、自由な国際資本移動が担保される中では、ある国の人口成長率の低下・高齢化の相対的な進展は、その国からの資本流出を促し、自然利子率の低下・実質賃金の上昇を和らげるということになる。ただし、国際資本移動の有無による定量的影響の差は、必ずしも大きくはないと評価可能である。こうした議論をわが国経済に適用すると、今後人口成長率の低下と高齢化が他国に先駆けて進む中で、自然利子率の低下を抑制し、経常収支の黒字を維持するメカニズムが働くものの、その寄与は決して大きくはないと評価すべきかもしれない。

²⁸ Ferrero (2006)は、出生率の低下の他に人口動態を変化させる要因として死亡率の低下、すなわち期待寿命の上昇についても取り上げている。ある国の期待寿命が他国対比で長くなると、引退後、長期間に渡って消費をする必要があるため、個人の消費性向が低まり、経常収支黒字を招くとした。

²⁹ 具体的には、その他 EU 諸国、その他 OECD 諸国、その他世界全体など複数のシナリオについて分析を行っている。

なお、以上の含意が現実の経済でも実現するためには、自由な国際資本移動が担保されている必要がある。過去数十年にわたり、国際資本移動自由化に向けた取り組みは進展しているが、Feldstein and Horioka パラドックスに代表されるように、投資には未だ自国バイアスが残存している。何らかの理由で投資のグローバル化を阻害する要因が残るならば、開放経済モデルのインプリケーションを全ては適用できない。

(人的資本への投資と人口成長率の低下)

経済成長の源泉として、経済学で重視されてきたものの一つに、教育など人的資本への投資が挙げられる³⁰。わが国においても、人口が減少する中では、一人ひとりの労働者が人的資本価値を高めて、単位あたり生産の付加価値を高めていくべきとの指摘がある。本稿で強調してきた効率労働単位あたりの資本にも人的資本投資は影響を与え得る。労働供給が減少し、実質賃金の上昇が予想される状況では、家計は人的資本への投資を増やし、労働報酬を高める誘因を持つかもしれない。しかし、人的資本の増加は、効率単位で測った労働力を増加させることで、効率労働単位あたりの資本に対し影響を与える可能性がある。

こうした議論を理解するため、人的資本投資と労働投入量の定式化について簡潔に触れる。基本モデルでは経済の労働投入量は労働力人口と一致していたが、人的資本を扱うモデルでは、事実上の労働投入＝労働力人口(L)×人的資本(h)と定義される。人的資本は労働者の能力と言い換えることもでき、それは教育などの人的資本投資により、以下のように変遷する。

$$\dot{h} = \beta h^\phi e^\lambda, \quad \beta > 0, \phi < 1, 0 < \lambda < 1.$$

ここで、 \dot{h} は新たな人的資本の形成を表し、 e は教育支出などの投資量を表す。教育などへの投資は、それを増やすほど人的資本を蓄積させるが、限界的な教育の効率は逡減する ($0 < \lambda < 1$)。

人的資本が増えるほど単位労働供給あたりの生産効率は高まるため、労働者一人あたりの報酬は上昇する。一方、人的資本投資への金銭的・時間的な支出は、消費・貯蓄のための原資の減少や労働時間の減少を招く分コストとなる。こうした枠組みの下、家計は人的資本投資の限界効用と限界費用をバランスさ

³⁰ Barro and Sala-i-Martin (2003)では、人的資本の形成についてほぼ一章分を割いている。

せるように教育への支出を決定する。

Ludwig and Vogel (2010)は、人的資本投資を組み込んだ2期間OLGモデルを用いて、出生率の低下が人的資本投資を増加させることを示した。出生率低下による生産年齢人口比率の低下は、効率労働単位あたりの資本（ここでは $k = K / ALh$ と定義される）を増加させ、実質賃金に上昇圧力を生む。この結果、人的資本を蓄積させることの限界効用が上昇し³¹、人的資本投資が増加する。均衡では、労働力人口の低下を人的資本の増加がカバーするため、効率労働単位あたりの資本は、人的資本投資が無い経済に比べて増加が抑制される³²。

Ludwig, Schelkle and Vogel (2010)は、米国経済に対する定量的なインパクトについて次のように報告している。

- i) 自然利子率の低下幅は、人的資本投資がない経済と比べて 50bps 程度抑制される。
- ii) また、生産年齢人口比率の低下により、高齢人口も含めた一人あたり実質 GDP の成長率は低下するものの、人的資本投資がある場合は無い場合と比べて、その低下幅が定常状態に移行する過程で最大 0.5%ポイントほど抑制される。
- iii) 人的資本投資の水準は増加するものの、成長率が恒久的に上昇する効果はない。このため、長期では一人あたり実質 GDP 成長率は高まらない。

iii)の結論は、人的資本投資が投資を行った本人の能力を引き上げるだけで、社会への外部的効果はないという考え方から導かれる。上述の通り人的資本投資には時間的・金銭的な機会費用があることから、個人の人的資本投資の水準は一定値以上は高まらない³³。また、個人が蓄積した人的資本から他人が恩恵を受けるなどの社会的効果もないので、人的資本投資を促進させる政策は、一人あたり実質GDPの水準を押し上げても、成長率を恒久的に押し上げる効果をもたらさない、というのがLudwig et al (2010)の考え方である。

これに対して、Lucas (1988)は、人的資本形成に正の外部性が強く働く場合には³⁴、一人あたり実質GDP成長率に対し長期的な効果がもたらされることを示

³¹ 教育に割く時間を増やすと、足下の賃金上昇を所得に取り込む度合いが低まるという負の効果も存在するが、将来の賃金がより大きく上昇する期待がある場合、人的資本投資は増加する。

³² 労働者一人あたりの資本 ($\bar{k} = Ahk$) は、人的資本の増加分だけ増える。よって、労働者が受け取る賃金は上昇する。

³³ 例えば、人生の持ち時間の全てを人的資本投資に割いてしまえば、蓄積した人的資本を用いて労働を行う時間がゼロになってしまい、そうした選択が最適でないことは明らかである。

³⁴ 外部性をどのように定式化するかについて、Lucas (1988)は二通りの解釈を示した。一つは、

した。個人の教育水準が上昇すると、社会全体にとって有益な技術・インフラが開発されるスピードが高まる場合や、将来世代への人的資本の継承が誘発される場合、個人の人的資本投資の増加は、経済全体の生産に正の外部効果を生み出す。こうした効果が十分に強い場合、人的資本投資の拡大が、一人あたり実質GDP成長率に恒久的な効果をもたらす可能性がある。このように、人的資本投資の経済成長率に対する長期的な効果は、人的資本の形成が外部性を有するか否かに大きく依存する³⁵。

出生率の低下が個人の労働供給を増加させる他のチャネルとして、Bloom, Canning and Fink (2008, 2009)は、子供に割く時間の減少を挙げた。すなわち、出生率の低下は、家計の中で労働供給を行う大人が子の養育のために割く時間を減少させるため、労働供給にとってプラスの方向に働くという議論である³⁶。これが、特に女性の労働参加率を高め、経済成長にとってプラスになる可能性を彼らは指摘した。ただし、彼らは、出生率の低下が相応に進んでいる先進国においては、先行きこの効果はさほど大きく現れないとも論じている。

(年金制度と人口成長率の低下・高齢化)

世代間の所得移転政策である年金制度のあり方についての応用研究も進んでいる。多くの先進国では、賦課方式の年金制度の維持可能性を探るために、様々な改革案が議論されている。こうした改革は、マクロ経済に大きな影響を与える。例えば、将来の年金支給額の増加を消費税増税で賄うことは、消費のコストの変化を通じて、家計の消費や貯蓄行動を変化させると考えられる。

年金制度の変更のマクロ経済に及ぼす影響については、経済学でも議論の対

個人の人的資本とは別に、経済の平均的な人的資本を社会資本とみなして生産関数に導入するやり方である ($Y = F(K, AhL, h_a)$)、 h は個人の人的資本、 h_a は社会資本としての人的資本)。もう一つが、新たな人的資本の生産が既存の人的資本に対して線形になるよう定式化する ($\dot{h} = \delta h e^{\lambda}$) 方法である。Lucas (1988)は、後者の定式化は単に個人の人的資本の遷移を表す式ではなく、例えば親が獲得した人的資本の一定割合を子が受け継ぐ等の社会的な側面があることも鑑み、世代を超えた経済全体の資本の遷移式とみなした。この定式化の下では、経済全体の人的資本の成長率は、 $\dot{h}/h = \delta e^{\lambda}$ となり、教育への支出 e を増やせば、恒久的に人的資本ストックの成長率、ひいては一人あたり実質GDPの成長率が高まることになる。

³⁵ なお、個人の投資が社会により広範な影響をもたらすチャネルとして、社会全体の技術水準を上げる研究開発投資が考えられる。この点については、5章で詳細な検討を行う。

³⁶ 出生率が経済成長と同時に内生的に決まるモデルでは、家計は産む子供の数を減らす一方で、一人あたりにかける養育費(子供一人あたり消費、教育、時間的コスト)を増やすため、親世代の一人あたり消費が増えるとは限らないという議論がある。詳しくは、Barro and Becker (1989) や、Becker, Murphy and Tamura (1990)などを参照。

象となってきた。中でも論点になっているのが、年金制度の変更が家計の労働供給や貯蓄のインセンティブに及ぼす影響である。こうしたインセンティブが変化すれば、効率労働単位あたりの資本の蓄積のあり方が変化し、一人あたり実質 GDP の成長率、所得の世代間格差、自然利子率や実質賃金へと影響が及ぶと考えられてきた。

年金制度は、人口問題を扱った学術的研究の中で、蓄積が最も進んだ分野の一つであるため、その分析内容は多岐にわたっている。ここでは、そうした分析の中から、以下の視点からの議論を紹介する。

- i) 賦課方式年金を所与とした上で、現役世代の拠出率 (contribution rate) と引退世代の受給の所得代替率 (replacement rate) のバランスの変化がマクロ経済に及ぼす影響。
- ii) 年金財源を賄う税制のあり方が労働供給・貯蓄インセンティブに及ぼす効果³⁷。
- iii) 公的年金から民営化された年金制度への移行の影響。

以上を分析するにあたって、基本モデルでは非弾力的とされていた労働供給を、内生・弾力化するとの変更が施されている。家計は余暇から得られる効用と、労働から得られる実質賃金をバランスさせるよう労働供給を決める。したがって、労働所得に対する課税が、労働供給に影響するというチャンネルが出現する。

こうした変更を加えても、経済成長をみる上で鍵となる変数が効率労働単位あたりの資本 (k) であることに変わりはない。しかし、 k は経済の総労働投入に対する資本の比率と定義されるため、

$$k \equiv K / ALH \quad (H \text{ は労働者一人あたりの労働時間})$$

となる。これは、同じ k の増加でも労働時間が減っているのか、資本が増えているのかで、労働者一人あたりの実質 GDP = AHk^α に対する含意が異なり得ることを意味する。換言すれば、 k の変化が同じであっても、 H の増減次第で労働者一人あたりの実質 GDP への影響は異なる。

以上を踏まえた上で、第一に、年金の給付・負担バランスがマクロ経済に与える影響についてみると、様々な文献で、①所得代替率 (=年金受給額/マクロの賃金) を一定として、高齢化に伴い現役世代の拠出率 (=年金保険料/マクロの賃金) を上げていくシナリオと、②拠出率を固定して、所得代替率を徐々に

³⁷ こうした影響を測定するため、労働供給は内生的、すなわち賃金や将来所得の期待の変化に応じて、家計が弾力的に労働供給量を変化させることを仮定している。

引き下げていくシナリオの比較が行われている。Miles (1999)は、英国経済および西欧経済において、いずれのシナリオでも自然利子率が低下するという結果を報告した。しかし、そのメカニズムは両者で異なる。前者では、所得税引き上げによる家計の労働供給インセンティブの低下が、後者では、年金受給額の低下を民間貯蓄により補おうとするインセンティブが主因となって、効率労働単位あたりの資本を増加させる³⁸。その際、労働供給が低下する前者のシナリオにおいて、一人あたり実質GDPにより大きなマイナスのインパクトがあることが示された。一方、Börsch-Supan, Ludwig and Winter (2006)は、長期的な効果についてはMiles (1999)と同様の結論を得ているものの、後者の所得代替率を低下させるシナリオでは、生涯所得を所与として引退後のために貯蓄を増やす誘因（代替効果）だけでなく、生涯所得を増加させるために労働供給を増やす誘因（所得効果）も強めるため、短期的には効率労働単位あたりの資本を減少させ、自然利子率が上昇することもあるとした。

第二に、年金財源を賄う税制がマクロ経済に及ぼす効果については、De Nardi, Imrohoroglu and Sargent (1999)に詳しい。この研究では、所得税引き上げの代わりに消費税引き上げによって年金財源を賄うことの影響をシミュレートした。消費税率の引き上げは、現役時のみならず引退後の消費のコストも一様に引き上げる。所与の所得の下で消費可能な水準が低下するため、家計は消費税の引き上げを、将来受け取る年金への課税と受け取る。特に消費税が段階的に引き上げられることが予想される中では、家計としては消費水準の低下を防ぐために貯蓄を増加させるインセンティブを持つ。その結果、マクロの資本蓄積が進み、自然利子率は低下すると報告した。米国経済向けにモデルをカリブレートした彼女らの研究では、消費税増税による自然利子率低下の効果は、所得税増税のケースと比べて大きいことが示された。

最後に、年金制度の民営化は、家計に引退時の消費を自身の貯蓄によって賄わせることを迫るため、効率労働単位あたりの資本の蓄積を促進する。De Nardi, Imrohoroglu and Sargent (1999)によれば、これによって自然利子率は大幅に低下するものの、実質賃金の上昇が若年層の労働供給増加を促す結果、一人あたり消費は他のシナリオ対比緩やかな減少に止まる。

以上のように、年金制度改革のあり方は、家計の労働供給・貯蓄へのインセ

³⁸ Miles (1999)では、抛出率を一定として所得代替率を低下させる後者のシナリオで自然利子率の低下幅が大きいとの結果が報告されている。

ンティブに作用して、一人あたり実質 GDP およびマクロの資本蓄積に影響を与える。年金制度改革は単に給付－負担バランスの変化だけでなく、それが家計行動に与える二次的インパクトまで含めると、大きなマクロ経済変動を生み出す可能性がある。

(資産価格と人口成長率の低下)

高齢化により、資産からのリターンを主な所得源とする高齢人口比率が高まる中では、自然利子率のみならず、資産価格の変動に及ぼす効果にも注意を払うべきとの議論がある。たとえば、Bean (2004)やTrichet (2007)は、金融政策が資産価格に影響を及ぼすチャンネルが、高齢化の進展に伴って、重要性を増してくるであろうと述べている。また、Poterba (2001,2004)は、高齢者が消費のために資産を売却する行動が資産価格を大きく下落させる可能性を、マイクロデータを用いて検証している³⁹。

Abel (2001, 2003)は、トービンの q に注目して人口動態の変化が資産価格に与える影響を理論的に考察した。トービンの q は、追加的に資本財一単位を生産するために要する消費財の量として定義され、いわば資本(資産)の購買力を表す。Abel (2001, 2003)では、既存モデルに資本の調整コストを追加することで、資産価格が投資/資本ストック比率と正比例するような経済を考えた⁴⁰。

$$q_t = \psi (I_t/K_t)^\gamma, \quad 0 \leq \gamma \leq 1$$

これは、経済の投資が現存する資本ストック対比で大きいとき、すなわち投資ブームが起きているときに資産価格が上昇するという関係を表している。

投資ブームがどのようなときに起きるかについて、Abel は、経済の出生率が高く資本の限界生産性が高いときであるという帰結を導いた。Abel 自身はこの点を特に強調していないが、家計による資本投資決定式として

$$I_t/K_t = \chi k_t^{\alpha-1}, \quad \chi > 0, 0 \leq \alpha \leq 1,$$

という式を導出した。右辺は効率労働単位あたりの資本の減少関数(資本の限

³⁹ Poterba (2001, 2004)は、現実のマイクロデータからは高齢者がライフサイクル仮説で示唆されているほど、資産の取り崩しを行っていないことを発見し、資産価格の下落がライフサイクル仮説で示唆されているほど大きくはならないということを実証的見地から主張した。これは、以下のAbelの理論的結論と一見矛盾する。しかし、Abel (2001)は、高齢者に遺産相続の誘引があり、資産の取り崩しが起きない場合でも、理論的には資産価格下落が起き得ることを示している。

⁴⁰ 基本モデルでは、資本の調整コストなどは無く、1単位の消費財から1単位の資本財が常に生産できると仮定していたため、資本財価格は1で固定されていた。

界生産性の増加関数) である。これは資本の限界生産性が高いときに投資が増えるという結果であり、これまでのモデルとメカニズム上、大きく異なる訳ではない。これを、上記の資産価格関数に代入すれば、

$$q_t = \psi (\chi k_t^{\alpha-1})^\gamma$$

を得る。すなわち、経済の人口成長率が高く、資本の限界生産性が高まるときに、投資ブーム・資産価格の上昇も起きやすいという結果を表している。

こうした式をもとに、Abel は 30~50 年という期間では出生率に系列相関がないという仮定の下では、一時的なベビーブームが資産価格上昇を招いたのち、その後反転下落に転じると論じた。Börsch-Supan, Ludwig and Winter (2006) も大規模 OLG モデルで同様の結論を定量的に確認している。ただし、彼らのシミュレーションでは、今後 30 年程度の間にはわずか 2~3% 程度しか資産価格は下落しないとされており、バブル崩壊のようなインパクトは無いとされている。

ただし、上記の含意を現実の経済に適用するには以下の点で注意を要する。まず、現実の出生率は 30~50 年単位でもても系列相関が存在する可能性がある。その場合、資産価格も系列相関を持って変動するか否かは、まだ研究がなされていない。また、本モデルが依拠するトービンの q 理論は、実証分析において棄却されることも多い。したがって、人口成長率が資産価格に与える影響については、資産価格の決定理論も含めてより幅広くかつ注意深い分析が必要であると考えられる。

この他、資産価格バブルと人口動態の関連性に注目した文献としては、Nishimura (2011) が挙げられる。Nishimura は、資産価格バブルを経験した先進諸国では、いずれも資産価格の高騰期と生産年齢人口比率のピークがほぼ一致していたという事実を示した上で、資産が有する価値の貯蔵手段という機能が資産価格の形成に大きな影響を与えることを示唆した。すなわち、ある証券が、それ自体の本源的な価値とは関係なく、価値の貯蔵手段として貯蓄主体である低・中年層に保有され、下の世代へ転売されていく経済を考えると、生産年齢人口比率の低下(上昇)が、資産を転売する市場の規模を小さく(大きく)することで、資産価格である証券価格を低下(上昇)させる。このように、人口動態が経済の基調に大きな影響を与える局面では、価値の貯蔵という機能の影響力が強まり、資産価格が大きく変動する可能性がある。

(わが国経済向けのシミュレーション)

ここまで紹介したフレームワークを日本経済に適用した研究も存在する。まず、本間・跡田・岩本・大竹 (1987)は、大規模 OLG モデルが誕生したごく初期の段階で、わが国のデータを用いたシミュレーション結果を発表している。彼らは高齢化社会の到来に対して、年金給付を維持して労働所得への課税を増やすシナリオを分析し、労働供給が減少するものの、大幅な労働所得減少が貯蓄を低めることに加え、貯蓄を取り崩す高齢者の比率が高まることから、効率労働単位あたりの資本が減少することがありうるとの結果を示した。これは、自然利子率が高まることを意味する。彼らは、年金給付率を下げるシミュレーションや、年金財源を消費税により賄うシミュレーションも実施し、貯蓄のインセンティブの高まりにより、効率労働単位あたりの資本が増加し、自然利子率が低下することを、先行研究と整合的な形で示している。

Braun, Ikeda and Joines (2009)やChen, İmrohoroğlu and İmrohoroğlu (2006, 2007)は、1990年代から2000年にかけてのわが国の貯蓄率の趨勢的な低下の原因を、理論モデルを用いたシミュレーションを用いて検証した。両者とも貯蓄率低下の原因として、わが国の人口動態の変化と技術進歩率の低下の影響を取り上げ、1990年代の貯蓄率の低下は、技術進歩率の趨勢的な低下によって大部分が説明可能であることを報告した。Braun, Ikeda and Joines (2009)は、こうした結果に加え、同時期の自然利子率の低下も技術進歩率低下の寄与が大きいことも報告している。ただし、こうした一連の研究による結論は、技術進歩率が、1990年代には低下したものの、先行きは過去の平均値程度まで戻るという仮定に大きく依存しているとみられる。すなわち、一時的な技術進歩率の低下に対しては、消費を大きく低下させないという消費平滑化の誘因が、同時期の貯蓄率低下を説明していると考えられる⁴¹。

島澤 (2004) は、年金制度改革が日本経済におよぼす影響について、シミュレーションを行った。この中で、2004年に厚生労働省が公表した年金制度改革案(年金保険料率20%以下、所得代替率50%台を維持)⁴²と、消費税により年金財源を賄う案の二つのシナリオを取り上げ、それぞれのマクロ的インパクトを計測した。その結果、消費税引き上げのシナリオにおいて、家計が将来の実

⁴¹ Braun, Ikeda and Joines (2009)は、わが国の貯蓄率・自然利子率は2010年をボトムに上昇に転じると予測しているが、この予測も技術進歩率が今後、上昇するという前提に依存している可能性がある。

⁴² その後、この案は2004年の年金制度改革として施行された。

質所得減少を補うために貯蓄を増やすため、効率労働単位あたりの資本の増加、自然利子率の低下、実質賃金の上昇が、それぞれ大きくなることを示した。こうした結果は、本章で紹介してきた海外の研究成果と整合的である。また、労働所得課税から消費課税への変更は、労働供給を阻害するインセンティブを取り除くことになるため、労働力率が上昇するとの結果も得られている。

5. 応用研究の紹介 2 : 人口成長率の低下に対し、技術進歩率を高めることで経済成長を維持することはできるか

これまでは人口成長率の低下が、効率労働単位あたりの資本の蓄積を通じて経済成長に与える影響を軸に議論を進めてきた。しかし、3、4章で見た通り、資本が労働対比で一方的に増え続けることは現実的でないため、経済学においては、経済成長を長期的に支える源泉として、資本蓄積よりむしろ技術革新が重要であるという考え方が重視されてきた。

しかし、3章で紹介した基本モデルにおいては、技術進歩率を高める方法や技術を生産することにかかるコストはブラックボックスの中にあっただ。そのため、技術進歩率を政策や企業努力により高められるのか、また、そもそも技術進歩率を高めることが経済の資源配分からみて望ましいのかなどを議論することができなかった。これは4章で紹介した研究においても同様である。

本章では、技術進歩の源泉、そして人口成長率が低下する中で技術進歩率を高めることの実現可能性について、経済学の考え方のレビューを行う。経済学では、研究開発に資源を投じることで新たな技術が作られるという考え方が有力視されてきた。その資源とは、研究開発への（技能の高い）労働者の投入である。従って、労働力という限られた資源を財生産と技術生産の2部門に如何に振り分けるか、が解くべき問題となる。

この問題を考える上で、財や資源には備わらない「非競合性」という技術特有の性質が、人口成長と経済成長の関係を変え得る点が重要となる。消費財や資本・労働といった資源は、ある人が利用すれば他人は利用できない競合性という性質を持つ。これに対し、技術は誰かが開発すれば、誰もが利用可能になると考えられてきた。この非競合性という性質と、技術開発を労働投入によって行うという関係から、人口成長率と一人あたり実質 GDP の成長率の間に相関が生まれることが示される。これは、4章で紹介した研究にはない特徴である。

以下では、研究開発と技術革新について論じた Jones (1995a) と Aghion and

Howitt (1992)を紹介する。両者は技術生産関数について、似て非なる関数を用いることで、技術進歩率と人口成長率との関係や、政策の効果について異なった見解を導き出している。

(研究開発、規模の経済と人口成長率の低下)

Jones (1995a)では、経済は最終財生産部門と技術生産部門の2部門経済からなる。それぞれの部門の生産関数と経済の資源制約は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{最終財生産} &: Y = K^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha} \\ \text{技術生産} &: \dot{A} = \nu(L_A)^\sigma A^\phi, 0 < \sigma \leq 1, \phi < 1 \\ \text{労働制約} &: L_Y + L_A = L \end{aligned}$$

L_Y, L_A は最終財生産と技術生産に投入される労働力を表し、その合計は総人口と等しくなる(第3行)。最終財生産については、基本モデルと同様である。

基本モデルからの大きな変更点は第2行の技術生産である。これは新たな技術の発見・生産(\dot{A})が、技術生産に投入する労働量(L_A)と現存する技術水準・知識のストック(A)に依存することを示している。このうち、既存の技術水準が与える影響は、 ϕ がゼロより大きいか否かにより決まってくる⁴³。技術進歩は、技術生産部門への労働投入を多くするほど高まるが、経済に存在する労働力には限りがあるため、コストなしで新たな技術開発を行えるわけではない。技術生産部門への労働投入の偏在は、財生産にとってマイナスでもある。家計消費や投資は、基本モデル同様、財をベースに行われるため、経済には適切な労働配分が存在すると考えられる。

Jones (1995a)は、長期的な技術進歩率は、労働力の配分から中立であることを示した。人口の一定割合が常に技術生産部門に配分されると仮定し、その割合を s_A とすると、経済の技術進歩率は、

$$g_A \equiv \dot{A}/A = \nu(s_A)^\sigma (L^\sigma/A^{1-\phi})$$

となる。技術進歩率が一定となる均整成長経路($g_A = g_A^*$)が存在するとすれば、 $(L^\sigma/A^{1-\phi})$ が常に一定の比率になる必要がある。この経済でも人口が n の割合で

⁴³ $\phi < 0$ の場合、経済の技術水準が高くなるほど新たな技術を発見・生産することが難しくなることを意味し(fishing effect)、 $\phi > 0$ の場合、既存の技術が新たな技術開発を促進する(standing on shoulders effect)ことを意味する。ただし、ここでより重要なのは、 $\phi < 1$ という仮定である。これにより、技術進歩率が人口成長率に比例するという結果を得る。

成長することが仮定されているので、 $(L^\sigma/A^{1-\phi})$ が一定となるには、

$$g_A^* \equiv n\sigma/(1-\phi)$$

となることが求められる。 $\phi < 1$ であるため分母は正であり、ゆえに長期では技術進歩率が正の定数かつ、人口成長率に比例する。また、 g_A^* は、 s_A に依存しないため、長期的な技術進歩率は労働力の配分から中立である。このため、 s_A を変える取り組みも、一人あたり実質GDP成長率に恒久的な効果を生み出すことはできない。ただし、所得や消費の水準をシフトさせるレベル効果は存在する⁴⁴。なお、Jones (2005)では、労働力の配分を市場均衡で決めた場合も同様の結論が得られることが示されている。

一人あたり実質GDPへの含意をより明確にするため、上の式を最終財生産部門に代入する。この部門の生産関数は、 (K, L) に関して収穫一定であり、一人あたり実質GDP(\tilde{y})は $\tilde{y} = Af(k)$ と表される。そして、 k が一定となる長期では、一人あたり実質GDPの成長率($\dot{\tilde{y}}/\tilde{y}$)は、以下の通りとなる。

$$\left(\frac{\dot{\tilde{y}}}{\tilde{y}}\right)^* = \left(\frac{\dot{A}}{A}\right)^* = g_A^* = n\sigma/(1-\phi)$$

一人あたり実質GDPの成長率は、技術進歩率と等しくなるが、技術進歩率が人口成長率に比例するため、一人あたり実質GDPの成長率は、最終的には人口成長率に規定されることとなる。

こうした関係が生まれる理由は、技術は、労働力を投入することによってのみ生産可能であると想定しているからである。経済は (K, L) に対して収穫一定だが、研究開発があるモデルでは、 A が L と比例して変動する。すると、上の最終財生産関数において (K, L, A) を等しく x 倍すると、

$$Y' = (xK)^\alpha (xAxL_Y)^{1-\alpha} = x^{2-\alpha} (K)^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha} = x^{2-\alpha} Y$$

を得る。これは経済が (K, L, A) に対して収穫逓増であることを意味する。このように、Jones (1995a)は、最終財部門の生産関数の形状を基本モデルから変えることなく、研究開発による技術生産を導入することで規模の経済を作り出した。

こうした帰結を導く上で、技術が非競合財であるという仮定は重要である。技術生産部門で作られた技術は、誰もが利用できるという性質のため、規模の

⁴⁴ 特に、技術生産には外部性や、後に説明するような規模の経済を生む効果があるので、市場均衡によって家計の効用を最大化するような資源配分を達成することはできなくなる。よって、技術生産への課税や補助金により労働の配分を変え、消費水準を調整する政策には経済厚生を改善させる効果が期待される。

経済が生まれる⁴⁵。技術に「他人は利用できない」という性質がある場合、最終財生産で問題になるのは一人あたりの技術になるが、現実経済ではそうではない。例えば、マイクロチップの性能を向上させる技術が開発されれば、それは世界中のパソコン製造企業や携帯電話製造企業によって利用される。こうした技術の伝播性という特色により、人口成長率が一人あたり実質GDPの成長率と相関するという強い関係が生まれる。

ただし、技術の伝播性を受容するならば、一国経済内の人口成長率の低下がその国の経済成長と1対1対応するとは限らない。新たな技術が海外で生まれ、それを国内に輸入することは可能である。このため、国内の人口成長率が低下しても、利用可能な技術の進歩スピードが低下するとは限らない。すなわち、わが国経済の人口成長率の恒久的な低下がわが国の一人あたり実質GDP成長の鈍化につながるとは限らない。技術進歩率と相関する人口成長率が、どの範囲の人口成長率を指すのかという点を現実に即して考える必要がある。

（研究開発、政策の恒久的効果と人口成長率）

前節では、研究開発が人口成長率と一人あたり実質GDPの成長率を結びつけるという議論を展開した。ただし、その結論は、研究開発を促進させようとするいかなる政策・手段も、長期的には一人あたり実質GDPの成長率を高めないという含意を持っていた。しかし、研究開発の促進が長期的効果を持つような理論も提示されている。以下では、Aghion and Howitt (1992)に代表されるシュンペーター的イノベーション論の基幹部分を紹介することで、Jones (1995a)との違いや研究開発への補助金政策が長期的成長への効果を出現させる条件を紹介する。

シュンペーター的イノベーション論においても、経済は財生産部門と技術生産部門に分けられる⁴⁶。技術生産関数については、以下の定式化を行う。

$$\dot{A} = \nu(L_A)^\sigma A$$

これは、Jones (1995a)の技術生産関数と非常に似ているが、新たな技術の生産

⁴⁵ 市場均衡では、利用するものが特許料を払って技術を購入するため、コストはゼロではない。ただ、特定の主体に利用が限定されるものではなく、誰でも特許料を払えば利用可能であるため、非競合財という性質は崩れない。

⁴⁶ このモデルでは、イノベーションを利用して中間投入財を独占的に供給するセクターと、中間投入財を結合して最終消費財を完全競争下で生産するセクターの二つの財生産部門が存在する。本稿では、これら二つのセクターを合わせて財生産部門と定義する。

(\dot{A}) が、既存の技術水準に対して収穫一定、すなわち、前節におけるパラメータ ϕ が厳密に 1 であることを仮定している。

ここで、前節同様、技術開発部門に配分される労働力の比率を s_A とすると、技術進歩率は、

$$g_A = \dot{A}/A = v(s_A L)^\sigma$$

となる。Jones (1995a) と異なる点は、①政策等によって変化し得る s_A が技術進歩率に影響する点と、②人口水準が技術進歩率を決める点である。このうち、①については、Jones (1995a) と対照的である。シュンペーター的なイノベーション論では、所得水準の成長は技術革新を促進させる政策により高められることになる。

以上の結論は、既存の技術水準が新たな技術を生み出す上でプラスになる効果が強く出現する ($\phi=1$) 時にのみ成立する。 $\phi < 1$ の場合、新たな技術を生産すればするほど、技術・知識水準の蓄積から得られるフィードバック効果が逡減する。すると技術生産部門への労働投入を促すような政策は、一時的には技術進歩率を加速させても、長い目でみるとその効果が減衰してゼロになる (図表 6)。

結局、シュンペーター的なイノベーション論に基づくモデルと Jones (1995a) のモデルのいずれが正しいかは、「 $\phi=1$ か、 $\phi < 1$ か」という実証的な問題に帰着する。それはまた、「人口水準が技術進歩率を決めるか否か」という論点とも密接に結びついている。Aghion and Howitt (1992) では、 $\phi=1$ を仮定する結果、人口水準が一人あたり実質 GDP 成長率に影響するという帰結を得た。これを Jones (2005) は strong scale effect と呼んだ。しかし、Jones (2005) は、米国では 1950 年以降、研究開発に投入される労働力の増加率が、経済全体の雇用の増加率を大きく上回って推移したにもかかわらず、同時期の米国の一人あたり実質 GDP の成長率に過去からの大きな乖離がないことを指摘した。Jones (1995b) は、米国のみならず日本、ドイツ、フランスでも研究開発部門の労働者が指数的に増加しているのに対し、TFP 成長率に顕著な加速が見られないことを報告している。こうした実証分析に基づき、strong scale effect は否定される傾向にある⁴⁷。

シュンペーター的なイノベーション論もこうした批判を回避すべくモデルの拡

⁴⁷ Kremer (1993) は、技術進歩率が人口規模に影響を受ける内生的成長モデルと、人口成長率が技術進歩率に規定される Malthusian モデルを組み合わせ、人口成長率が人口規模に依存するモデルを提示し、12000 年間に及ぶ人口成長率のデータを用いた実証研究によって、モデルが支持されることを示した。彼の研究は、strong scale effect を支持する数少ない実証研究の一つである。

張を行っている。Aghion and Howitt (2005)は、経済に存在する財は差別化されており、差別化された財は時間と共に増えると考えた。これは、昔よりも現代の工業製品においてよりたくさんの部品が組み込まれていることと対応する。このように財のバラエティー（ m ）が増える中で、各財の生産性を上げるためには、それぞれの財について研究開発に資源を投入する必要性が生じる。彼らは、研究開発への資源投入が増えない場合、効果が分散されるため、イノベーションの効率が落ちると考えた。こうした考え方に沿って技術生産関数を再定式化すると⁴⁸、

$$g_A = \dot{A}/A = v(s_A L/m)^\sigma$$

と書くことができる。ここで m が L と比例して増加すると仮定すると、上式の L/m の項が定数となり、strong scale effectが消滅する。かつ s_A の効果は消滅しないため、政策が長期の技術進歩率を変え得るという含意は残る⁴⁹。

（本章のまとめ）

本章における議論は、長期的な経済成長のエンジンである技術進歩率が人口成長率とは無縁ではないことを示唆している。これは、技術革新を生む上で必要な研究開発に投入可能な労働力量が、人口成長率に依存するためである。一人あたり実質GDPの成長率は、長期的には技術進歩率に等しくなるので、技術開発を明示的に考慮すると、人口成長率が一人あたり実質GDPの成長率を規定するという帰結が生まれる。これは技術進歩率を外生とした古典的な経済成長理論では生まれえない結論である。この結論は、普通の財にはない技術に特有な「非競合性」という性質から導かれる。一人が新たな技術を作れば皆がそれを利用できるため、多くの人が集まって多くの新技術が生産されるほど、全ての人の所得水準が高まるという規模の経済が出現する。これらのモデルでは、生産関数の形状は変えずに、人口と技術水準を関連付けることで、人口規模と一人あたり実質GDPに相関を生じさせるメカニズムを生み出してきた。しかし、こうした技術の非競合性をさらに一歩進めて、技術の伝播が国境を超えて行われることも考えると、一国経済の成長率にとって重要なのは、その国の人口な

⁴⁸ Madsen, Ang and Banerjee (2010)を参照した。彼らによれば、シュンペーター的イノベーション論は上記の定式化をさし、strong scale effectが出る Aghion and Howitt (1992)、Romer (1990)、Grossman and Helpman (1991)らのモデルは研究開発経済成長モデルの第1世代と分類される。

⁴⁹ ただし、この場合、人口が技術進歩率に影響を及ぼすチャンネルも消滅する。

のか、世界全体の人口なのかという新たな論点が浮かび上がってくる⁵⁰。

6. まとめ

本稿では、人口成長と経済成長の関係に関して、経済成長理論の分野における研究から導き出される知見を体系的に紹介することを試みてきた。経済成長理論からは、人口減少が経済成長率に与える影響を正確に評価するためには必要不可欠な、一人あたり実質 GDP 成長率の変動について、有益な洞察を得ることができる。

2章で導入した基本的設定の下では、資本深化のスピードと技術進歩率が、一人あたり実質GDP成長率を規定する。このうち、資本深化については、多くの理論において、人口減少に伴って負の資本希釈化効果が働き、効率労働あたりの資本が増加することが強調されている。すなわち、理論上人口減少は、一人あたりが利用できる資本の増加を通じて、一人あたり実質GDPを上押しすることとなる。このように負の資本希釈化効果が働くことは、抽象度の高い基本モデルのみならず、これを拡張して政策シミュレーションに耐えるまで大型化したモデルにおいても確認されている。この間、生産要素市場においては、相対的に豊かになった資本の対価である自然利子率が低下する一方、相対的に稀少になった労働の対価である実質賃金が上昇する⁵¹。ただし、こうしたメカニズムが強く働くためには、生産要素市場におけるスムーズな調整が前提とされる。生産要素の硬直性が存在し、慢性的な需要不足を抱えている現在の日本経済において、どの程度、負の資本希釈化効果が働く条件が整っているかは、議論の余地がある。

経済成長のもうひとつのエンジン、技術進歩率も人口成長率とは無縁ではない。技術革新の源泉を考えた多くの研究では、研究開発に労働を投入することで技術革新が起こるという立場に立っている。このため人口減少は、研究開発に投入できる資源の減少を通じてイノベーションを停滞させ、技術進歩率を低

⁵⁰ 冒頭で紹介した Levine and Renelt (1992)の実証分析では、1国の一人あたり実質 GDP 成長率と人口成長率の関係性は弱いことが指摘されている。この事実は、人口成長率と技術進歩率の関係を正しく捉えるには、国境を越えたより広いレベルでのデータを見る必要があることを示唆しているとも解釈できる。

⁵¹ 3章で計算したラフな数値例では、今後わが国が迎える人口減少局面において、自然利子率がゼロ近傍まで低下する可能性が相応に存在することを議論した。このように金融政策運営の指針となる自然利子率が低下することは、中央銀行にとって将来の政策運営上、制約になるかもしれない。

下させる可能性がある。ただし、こうした見方に対しては、技術が国境を越えて伝播する非競合性という性質を持つことを踏まえると、わが国企業が他国で開発された技術を活用すれば、国内人口が技術進歩の制約とはならない、との考え方も可能である。加えて、政策により長期的に技術進歩率を引き上げることも可能という見方も存在する。

以上の経済成長理論から得られるインプリケーションを踏まえると、人口減少は、労働供給減少の分だけ経済成長率にとってマイナスとなるものの、生産要素市場の機能強化やイノベーションの停滞を防ぐ工夫を通じて一人あたり実質GDP成長率を高めることによって、経済成長を維持し高めていくことは可能であるということとなる。まず、資本深化により一人あたり実質GDP成長率を高めるという果実を得るためには、労働・資本市場の機能を向上させて生産要素の再配分が適切に行われることが重要である。また、イノベーションの停滞を防ぐという観点からは、国内人口減少により、国内で技術開発に動員できる労働力は減るものの、人的資本への投資、優秀な技術者の招聘、企業の海外市場への進出促進などを通じて技術革新の輪を広げることが鍵となつてこよう⁵²。

最後に、今後とくに分析の蓄積が期待される点を挙げておきたい。第一に、少子高齢化に伴い需要される財が変化することの影響である。本稿で紹介したモデルでは、家計は時間を通じて常に同じ財を消費することが仮定されていた。しかし、現実にはライフステージの変化と共に家計が需要する財の性質は変わると考えられる。特に、高齢人口の比率が高まる中では、高齢者向けの消費サービスに対するニーズが高まる可能性が高い。こうした需要の質の変化に対して、生産要素がスムーズに再配置されるか否かについて、既存の経済成長モデルは上手く捉えきれていない。生産要素市場に摩擦が存在しないと仮定すれば、財の数の違いは効率単位あたりの資本に対する含意に大きな違いをもたらさないと予想される。しかし、より現実的に、生産要素市場に摩擦が存在し、かつ部門間の配分問題も存在する場合に、一人あたり実質GDPがどのような動きを示すかという点については、検討する価値が高いと考えられる。第二に、物価に対する影響である。本稿で紹介した全てのモデルが名目変数を捨象した実物経済モデルであった。こうしたモデルでは、人口動態の変化や本稿で再三強調してきた効率労働単位あたりの資本の変動が、物価変動に与える影響を分析で

⁵² 3章で導出した自然利子率の決定式をみると、技術進歩率の上昇は、資本の限界生産性を高めることを通じて、自然利子率を高めることにも繋がる。

きない。今後は、既存のアプローチをさらに発展させて、こうした観点からの
リサーチを蓄積させていくことが望まれる。

以 上

(参考文献)

大竹文雄. (2009) 「人口減少の政治経済学」 津谷典子・樋口美雄・編. 「人口減少と日本経済」 第5章、日本経済新聞出版社.

小田信之・村永淳. (2003) 「自然利子率について：理論整理と計測」 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ、No. 03-J-5.

島澤諭. (2004) 「年金は誰が負担するべきか？ー一般均衡型世代重複モデルによる数値計算ー」 ESRI ディスカッション・ペーパー・シリーズ、No. 95

本間正明・跡田直澄・岩本康志・大竹文雄. (1987) 「年金：高齢化社会と年金制度」 浜田宏一・黒田昌裕・堀内昭義・編 「日本経済のマクロ分析」 第6章、東京大学出版会.

Abel, Andrew B. (2003) “The Effects of a Baby Boom on Stock Prices and Capital Accumulation in the Presence of Social Security,” *Econometrica*, Vol. 71(2), pp. 551-578.

Abel, Andrew B. (2001) “Will Bequests Attenuate the Predicted Meltdown in Stock Prices When Baby Boomers Retire?” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 83(4), pp. 589-595.

Aghion, Philippe and Peter Howitt. (2005) “Growth with Quality-Improving Innovations: An Integrated Framework,” in *Handbook of Economic Growth*, P. Aghion and S.N. Durlauf (eds), Vol. 1A, Chapter 2, Elsevier.

Aghion, Philippe and Peter Howitt. (1992) “A Model of Growth through Creative Destruction,” *Econometrica*, Vol. 60(2), pp. 323-351.

Amato, Jeffery D. (2005) “The Role of the Natural Rate of Interest in Monetary Policy,” *BIS Working Papers*, No. 171.

Auerbach, Alan J. and Laurence J. Kotlikoff. (1987) “Dynamic Fiscal Policy,” Cambridge University Press.

Barro, Robert J. and Gary S. Becker. (1989) “Fertility Choice in a Model of Economic Growth,” *Econometrica*, Vol. 57(2), pp. 481-501.

Barro, Robert J. and Xavier Sala-i-Martin. (2003) “Economic Growth Second Edition,” The MIT press.

Bean, Charles R. (2004) “Global Demographic Change: Some Implications for Central Banks, Overview Panel,” *FRB Kansas City Annual Symposium*, Jackson Hole, Wyoming.

- Becker, Gary S. and Robert J. Barro. (1988) "A Reformulation of the Economic Theory of Fertility," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 103(1), pp. 1-25.
- Becker, Gary S., Kevin M. Murphy and Robert Tamura (1990) "Human Capital, Fertility and Economic Growth," *Journal of Political Economy*, Vol. 98(5-2), pp. S12-S37.
- Blanchard, Olivier J. (1985) "Debt, Deficits, and Finite Horizons," *Journal of Political Economy*, Vol. 93(2), pp. 223-247.
- Bloom, David E., David Canning and Günther Fink. (2009) "The Graying of Global Population and Its Macroeconomic Consequences," PGDA working paper, No. 47.
- Bloom, David E., David Canning and Günther Fink. (2008) "Population Aging and Economic Growth," PGDA working paper, No. 31.
- Börsch-Supan, Axel, Alexander Ludwig and Joachim Winter. (2006) "Aging, Pension Reform and Capital Flows: A Multi-Country Simulation Model," *Economica*, Vol. 73(292), pp. 625-658.
- Braun, Anton R., Daisuke Ikeda and Douglas H. Joines. (2009) "The Saving Rate in Japan: Why It Has Fallen and Why It Will Remain Low," *International Economic Review*, Vol. 50(1), pp. 291-321.
- Chen, kaiji, Ayşe İmrohoroğlu and Selahattin İmrohoroğlu. (2007) "The Japanese Saving Rate between 1960 and 2000: Productivity, Policy Changes and Demographics," *Economic Theory*, Vol. 32(1), pp. 87-104.
- Chen, kaiji, Ayşe İmrohoroğlu and Selahattin İmrohoroğlu. (2006) "The Japanese Saving Rate," *American Economic Review*, Vol. 96(5), pp. 1850-1858.
- Cooper, Richard N. (2008) "Global Imbalances: Globalization, Demography and Sustainability," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 22(3), pp. 93-112.
- De Nardi, Mariacristina, Selahattin İmrohoroğlu and Thomas J. Sargent. (1999) "Projected U.S. Demographics and Social Security," *Review of Economic Dynamics*, Vol. 2(3), pp. 575-615.
- Diamond, Peter A. (1965) "National Debt in a Neoclassical Growth Model," *American Economic Review*, Vol. 55(5), pp. 1126-1150.
- Eggertsson, Gauti B. and Paul Krugman. (2011) "Debt Deleveraging, and the Liquidity Trap: A Fisher-Minsky-Koo Approach," mimeo.
- Ferrero, Andrea. (2006) "Demographic Trends, Fiscal Policy and Trade Deficits," 2006 Meeting Papers, Society for Economic Dynamics.

Galor, Oded and David N. Weil. (2000) "Population, Technology and Growth: From Malthusian Stagnation to the Demographic Transition and Beyond," *American Economic Review*, Vol. 90(4), pp. 806-828.

Grossman, Gene M., and Elhanan Helpman (1991) "Innovation and Growth in the Global Economy," MIT press.

Hayashi, Fumio and Edward C. Prescott (2008) "The Depressing Effect of Agricultural Institutions on the Prewar Japanese Economy," *Journal of Political Economy*, Vol. 116(4), pp. 573-632.

Jones, Charles I. (2005) "Growth and Ideas," in *Handbook of Economic Growth*, P. Aghion and S. N. Durlauf (eds), Vol. 1B, Chapter 16, pp. 1063-1111.

Jones, Charles I. (1995a) "R&D-Based Models of Economic Growth," *Journal of Political Economy*, Vol. 103(4), pp. 759-784.

Jones, Charles I. (1995b) "Time Series Tests of Endogenous Growth Models," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110(2), pp. 495-525.

Kremer, Michael. (1993) "Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 108(3), pp. 681-716.

Krueger, Dirk and Alexander Ludwig. (2007) "On the Consequences of Demographic Change for Rates of Returns to Capital, and the Distribution of Wealth and Welfare," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 54(1), pp. 49-87.

Krugman, Paul. (1998) "It's Baaack! Japan's Slump and the Return of the Liquidity Trap," *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 29(2), pp. 137-206.

Levine, Ross and David Renelt. (1992) "A Sensitivity Analysis of Cross-Country Growth Regressions," *American Economic Review*, Vol. 82(4), pp. 942-963.

Lucas, Jr., Robert E. (1988) "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22(1), pp. 3-42.

Ludwig, Alexander, Thomas Schelkle and Edgar Vogel. (2010) "Demographic Change, Human Capital and Welfare," MEA Discussion Paper Series, 10196, University of Mannheim.

Ludwig, Alexander and Edgar Vogel. (2010) "Mortality, Fertility, Education and Capital Accumulation in a Simple OLG Economy," *Journal of Population Economics*, Vol. 23(2), pp. 703-735.

Madsen, Jakob B., James B. Ang and Rajabrata Banerjee. (2010) "Four Centuries of British Economic Growth: the Roles of Technology and Population," *Journal of Economic Growth*, Vol. 15(4), pp. 263-290.

Mankiw, Gregory N., David Romer and David N. Weil. (1992) "A Contribution to the Empirics of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107(2), pp. 407-437.

Miles, David. (1999) "Modeling the Impact of Demographic Change upon the Economy," *Economic Journal*, Vol. 109(452), pp. 1-36.

Nishimura, Kiyohiko G. (2011) "Population Ageing, Macroeconomic Crisis and Policy Challenges," Speech at the 75th Anniversary Conference of Keynes' General Theory, University of Cambridge, 20 Jun 2011.

Poterba, James M. (2004) "The Impact of Population Ageing on Financial Markets," *Proceedings, Federal Reserve Bank of Kansas City*, Issue August, pp. 163-216.

Poterba, James M. (2001) "Demographic Structure and Asset Returns," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 83 (4), pp. 565-584.

Ramsey, Frank P. (1928) "A Mathematical Theory of Saving," *Economic Journal*, Vol. 38(152), pp. 543-559.

Romer, David. (2006) "Advanced Macroeconomics Third Edition," McGraw-Hill Irwin.

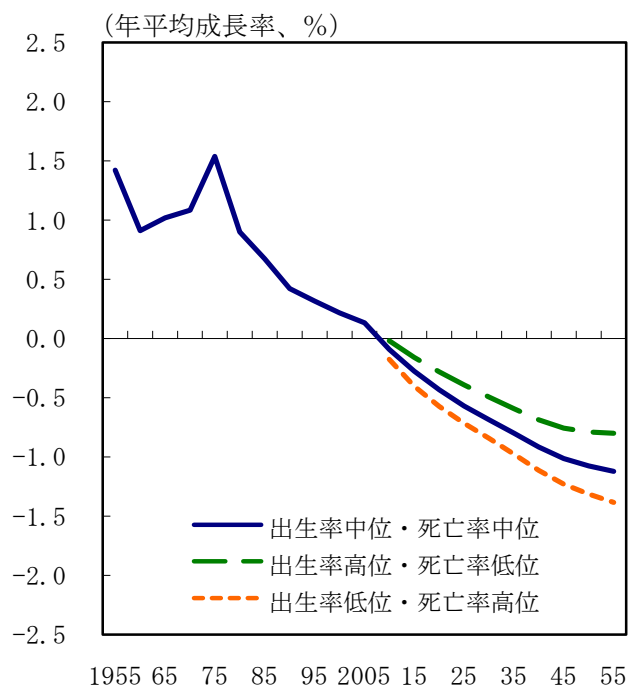
Romer, Paul M. (1990) "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, Vol. 98(5), pp.S71-S102.

Solow, Robert M. (1956) "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70(1), pp. 65-94.

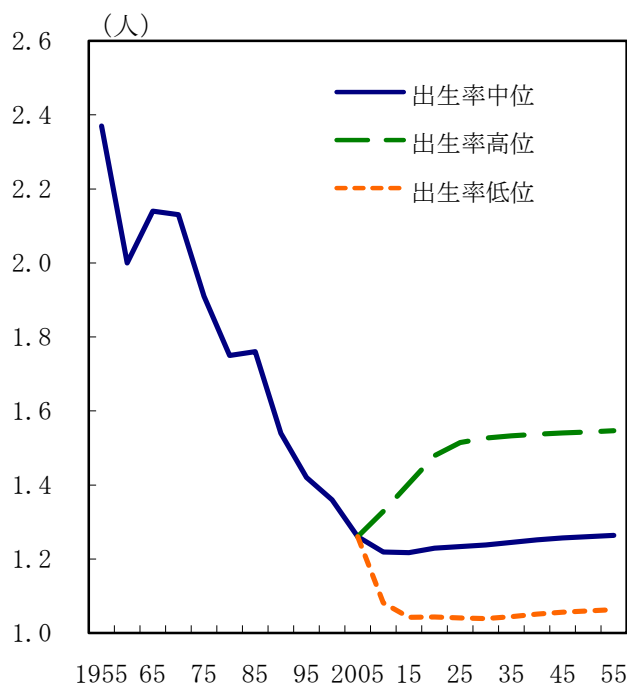
Trichet, Jean-Claude. (2007) "The Monetary Policy Implication of Aging," Speech at ABP Conference on Pension Diversity and Solidarity in Europe, Maastricht/Heerlen, 26 Sep 2007.

日本の人口動態予測

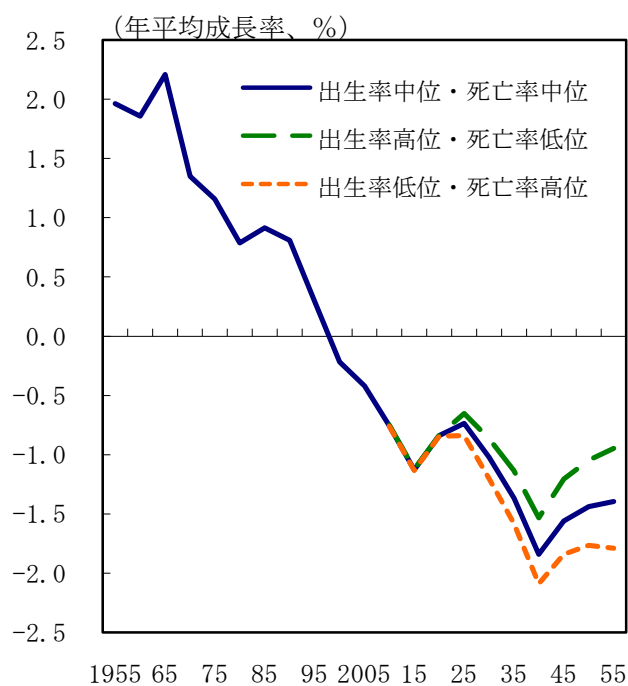
(1) 総人口の成長率



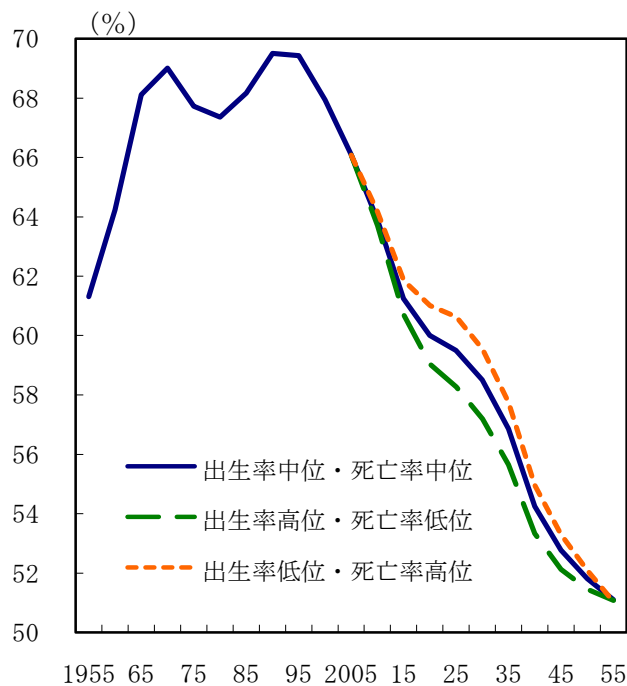
(2) 合計特殊出生率



(3) 生産年齢人口の成長率



(4) 生産年齢人口比率

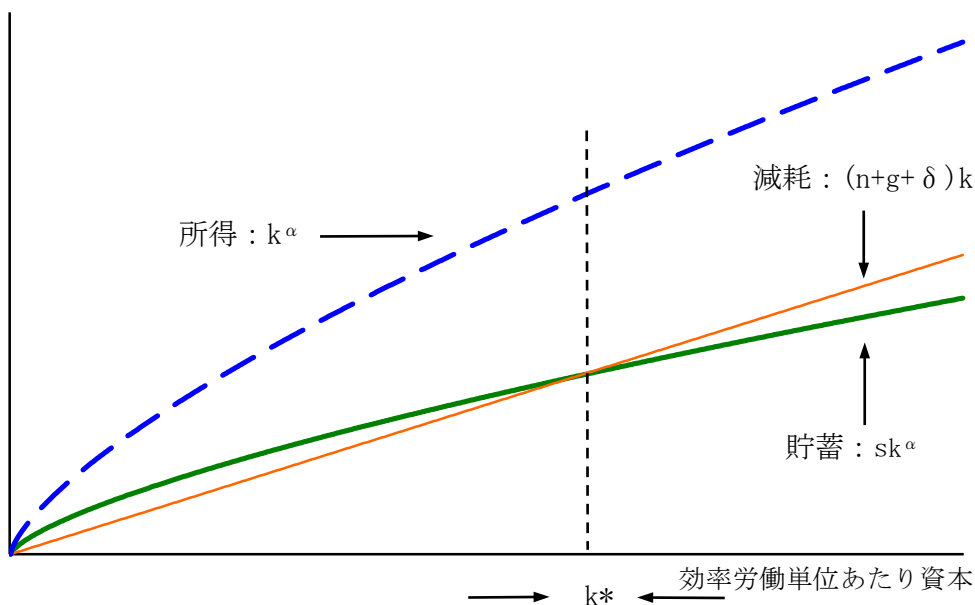


(資料) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」(平成18年12月推計)

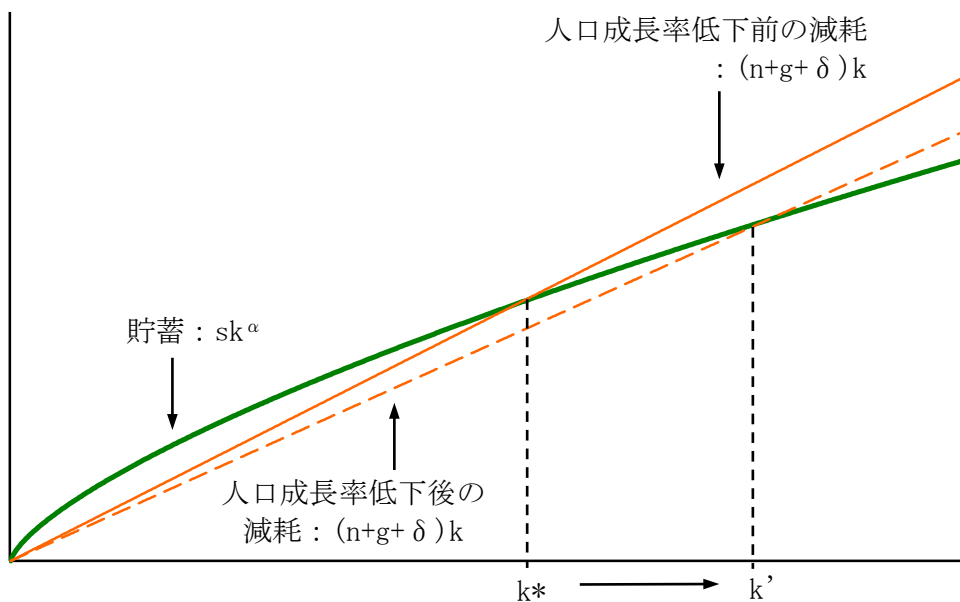
ソローモデルの概要

投資 : $i_t = sy_t = sk_t^\alpha$
資本蓄積 : $(1+n)(1+g)\Delta k_{t+1} = sk_t^\alpha - (n+g+\delta)k_t$

(1) 効率労働単位あたり資本の蓄積



(2) 人口成長率低下の影響

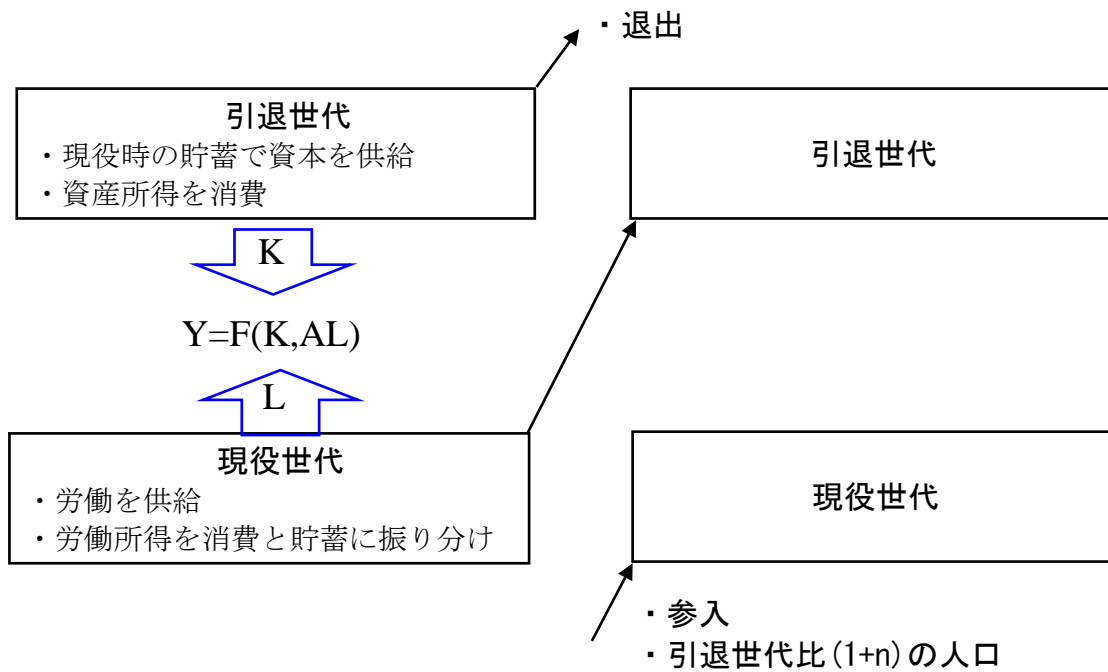


ダイヤモンドモデルの概要

$$\text{資本蓄積 : } k_{t+1} = \frac{1}{(1+n)(1+g)} s(r_{t+1}, \rho) w_t$$

$s(r, \rho)$: 自然利子率と割引率から決まる貯蓄率 w : 現役世代の賃金

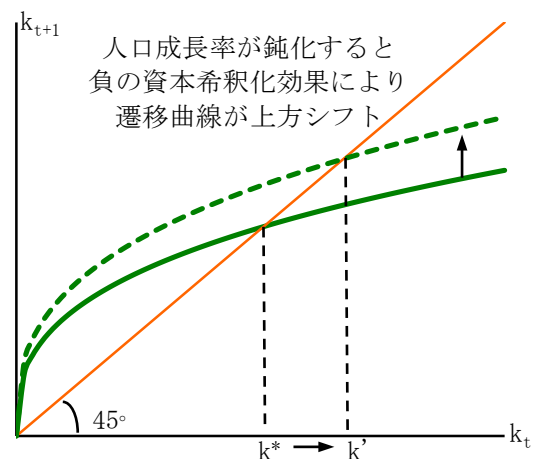
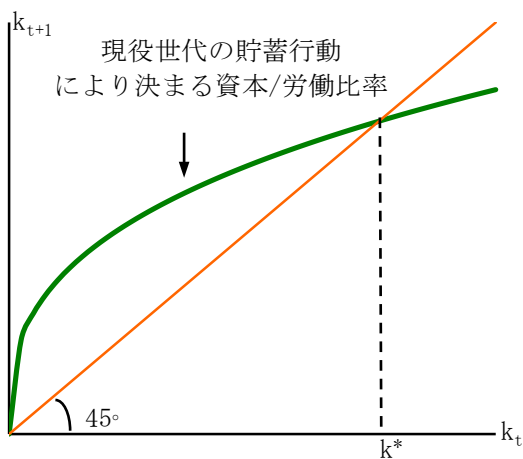
(1) 重複世代モデルの仕組み



(2) 人口成長率低下の影響

・コブ=ダグラス型の生産関数、代替の弾力性を1と仮定すると、

$$k_{t+1} = \frac{(1-\alpha)}{(1+n)(1+g)(2+\rho)} k_t^\alpha \quad \alpha: \text{資本分配率}$$



自然利子率がゼロ以下になる可能性：数値例

$$r^* = \begin{cases} \alpha[n+g+\delta]/s-\delta & \text{: ソロー} \\ \rho+g & \text{: ラムゼイ} \\ \alpha(1+n)(1+g)(2+\rho)/(1-\alpha)-\delta & \text{: ダイヤモンド} \end{cases}$$

(1) 長期均衡の前提条件

		ベースライン	資本減耗率上昇	資本減耗率上昇 + 技術進歩率低下
資本分配率	α	0.3	0.3	0.3
資本減耗率	δ	0.05	0.085	0.085
貯蓄率	s	0.25	0.25	0.25
割引率	ρ	0.02	0.02	0.02
技術進歩率	g	0.02	0.02	0.01
人口成長率	n	0	0	0

(注1) 資本減耗率、割引率、技術進歩率および人口成長率は年率換算。

(注2) ベースラインの資本減耗率は、経済成長理論でよく用いられる値（例えばBarro and Sala-i-Martin (2003)）。資本減耗率上昇シナリオでは、経済産業省公表のJIPデータベースから計算できる資本減耗率と整合的な値を用いた。

(注3) 長期均衡で人口成長率がマイナスになることは、国の経済規模がゼロに収束することと等しいので、人口成長率の長期均衡値をゼロと仮定した。

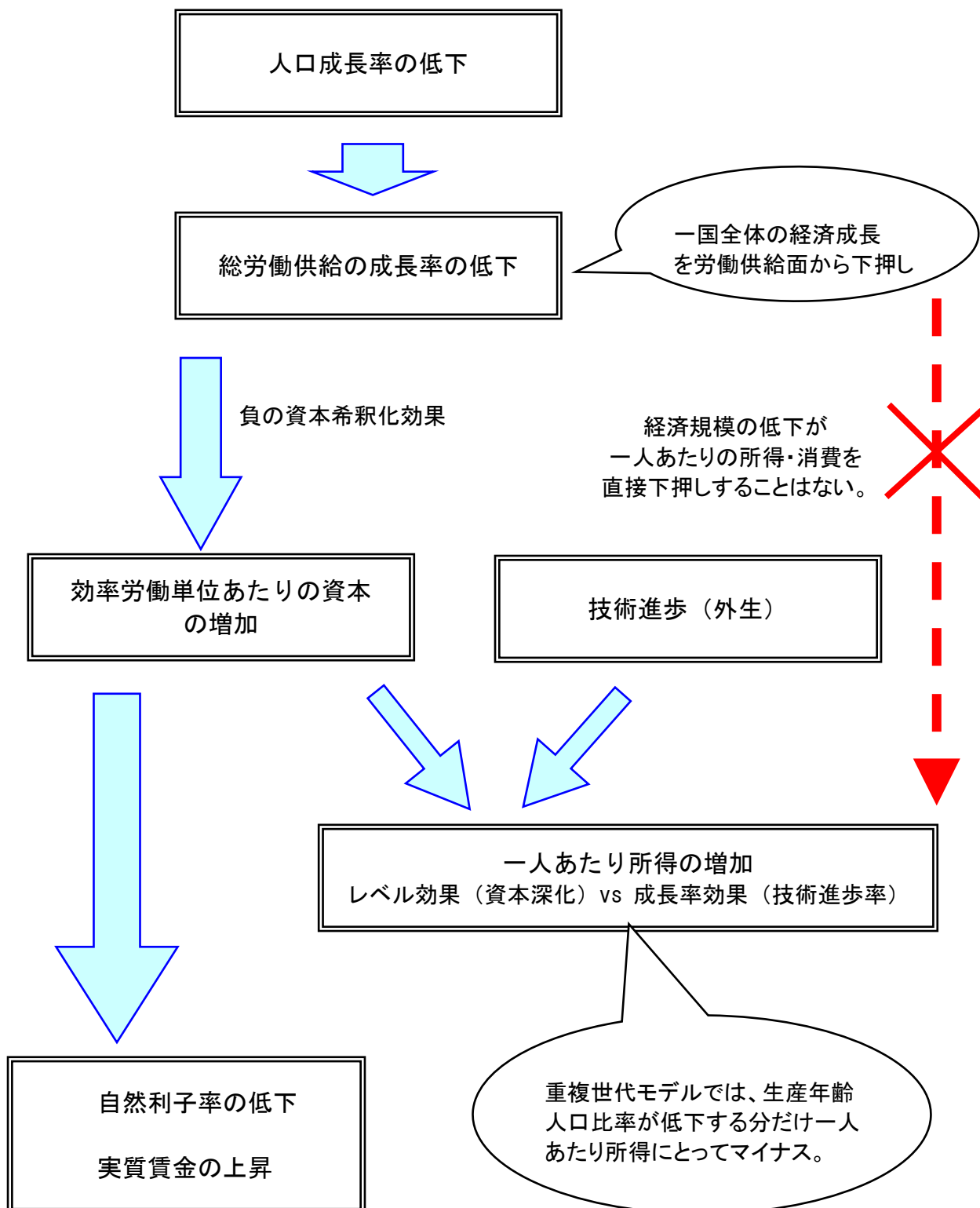
(注4) 貯蓄率は、わが国のSNA統計から計算される国民貯蓄率（固定資本減耗を差し引かない粗貯蓄率）の2000年代平均と整合的な値を用いた。

(2) 基本モデルから導かれる自然利子率

	ベースライン		資本減耗率上昇		資本減耗率上昇 + 技術進歩率低下	
	$n = 0$ の 下での r^*	$r^* = 0$ にする n	$n = 0$ の 下での r^*	$r^* = 0$ にする n	$n = 0$ の 下での r^*	$r^* = 0$ にする n
ソロー	3.4%	-2.8%	4.1%	-3.4%	2.9%	-2.4%
ラムゼイ	4.0%	-	4.0%	-	3.0%	-
ダイヤモンド	3.0%	-3.3%	2.7%	-2.8%	1.8%	-1.8%

(注1) ダイヤモンド・モデルは1期を30年と仮定。(1)の値から、30年間の人口成長率などを計算し、上記の自然利子率式を代入。(2)では、計算された自然利子率の年率換算値を掲載。

基本モデルからわかる人口成長率低下の経済的な影響の整理



人口成長率と技術進歩率の関係

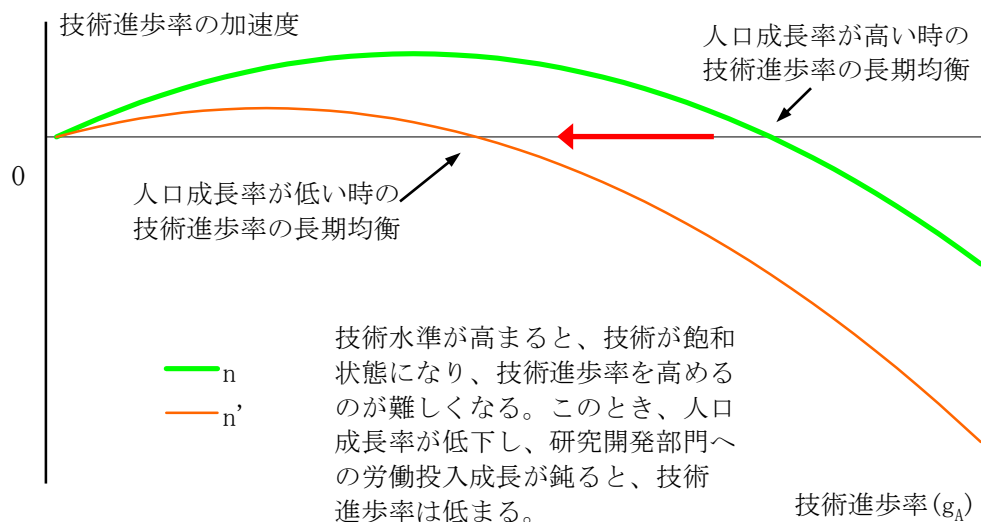
$$\dot{A} = v(s_A L)^\sigma A^\phi$$

$$\Rightarrow \text{技術進歩率} \equiv g_A = \dot{A} / A = v(s_A L)^\sigma A^{\phi-1}$$

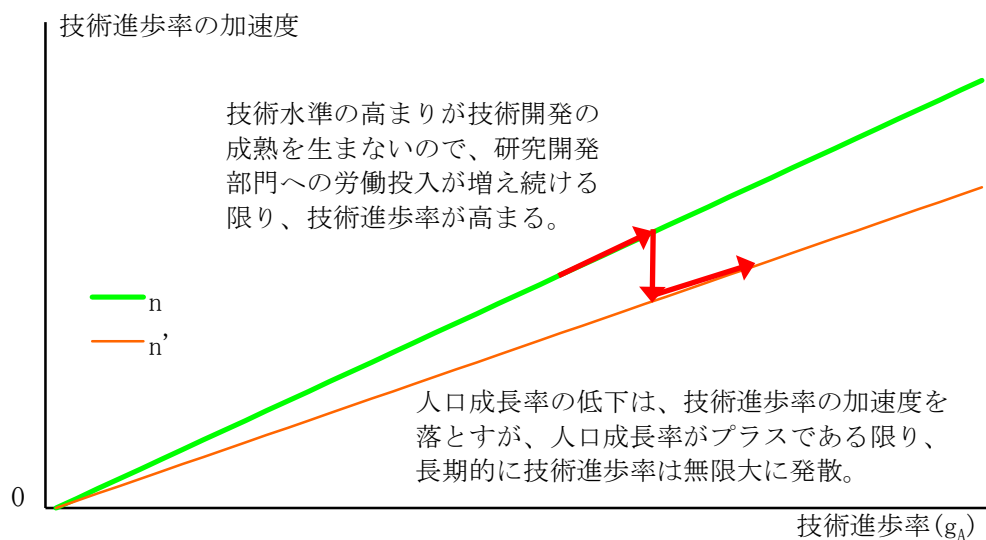
$$\Rightarrow \text{技術進歩率の加速度} \equiv \dot{g}_A = \sigma n g_A + (\phi - 1)(g_A)^2$$

- 技術進歩率の加速度と技術進歩率についてダイアグラムが描ける（上式3行目）
- 人口成長率がnからn'に低下するケースを考える（n' < n）

(1) Jones <新技術生産は既存技術に対して収穫逓減、 $\phi < 1$ >



(2) Aghion and Howitt <新技術生産は既存技術に対して収穫一定、 $\phi = 1$ >



(注1) 研究開発部門への労働投入比率は常に一定 (s_A) と仮定している。

(注2) n' は正の値を取るとした場合。人口が常に減り続けることはないという仮定との整合性を取った。