

R&D 投資を導入した一般均衡動学モデルによる 日本の経済成長分析^{*1}

外木 暁幸^{*2}

要 約

この研究の目的は R&D 資本ストックの日本経済の成長における役割を評価し、公的 R&D 支出といった科学技術政策の経済成長への影響を R&D 資本の公共財的な性質を組み込んだ一般均衡動学モデルにより検討することにある。R&D 資本投資及び資本ストックのデータを構築し、SNA のデータを 2008SNA の定義に整理した上で、2 部門動学的一般均衡モデルの構造パラメーターを推計、またはカリブレートして数値モデルを構築した。最終財生産、R&D 生産の生産関数を用いた成長会計からは、1990 年代以降、最終財生産と R&D 生産の TFP 成長率が共に低下していたことが示された。公的 R&D のスピルオーバー効果の役割をモデルに組み込んで政策シミュレーションを行った結果、公的 R&D 投資の増加が R&D 生産をかなり押し上げ、また、最終財部門の生産、家計の消費についても増加させることが明らかになった。

キーワード：研究開発投資、一般均衡動学、成長会計、政策シミュレーション

JEL Classification：E01, E17, E22, O38, O41

I. はじめに

この研究の目的は研究開発（Research and Development：R&D）投資とその資本ストックの日本の経済成長における役割を評価し、公的 R&D 支出といった科学技術政策の経済成長への影響を R&D 資本の公共財的な性質を組み込んだ一般均衡動学モデルにより検討すること

にある。

近年、マクロ経済統計の分野では、R&D 資本や人的資本をはじめとする非物的な資本ストックの生産における役割を重要と考える研究が増えている。代表的な研究である Corrado, et al. (2012) は先進各国の無形資産投資及びそのストックを

* 1 本研究は科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発)による研究成果の一部である。また、JSPS 科研費(研究課題番号：15K03349)の助成を受けている。研究を進める上で、楢井誠氏(財務省財務総合政策研究所)、赤池伸一氏(文部科学省)、及川浩希氏(早稲田大学)、阿部修人氏(一橋大学)、小林庸平氏(三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング)、外木好美氏(神奈川大学)からは非常に有益なコメントを頂いた。また、第 8 回 Scirex セミナー、第 5 回明治大学経済学コンファレンス、一橋大学イノベーションフォーラム、第 35 回経済理論・政策ワークショップにおける議論も大変有意義であった。記して感謝の意を表する。本稿に残された誤りは筆者の責任に帰するものである。

* 2 一橋大学経済研究所、オーストラリア国立大学客員研究員。

推計し、経済成長への貢献が高いと結論付けている。また、国民経済計算（SNA：System of National Accounts）では、新しい推計基準である2008SNAにおいてR&D資本を初めとする様々な非物的資本を計上することが勧告された。マクロ経済学の分野でも非物的資本を従来の一般均衡動学モデルに組み込む研究が進んでおり、非物的資本を導入することで米国の景気循環に対するモデルの説明力が向上するとしたMcGrattan and Prescott（2010, 2012）はその代表例である。

日本においても、2016年度の2008SNA導入に向けて内閣府経済社会総合研究所を中心に、非物的資本の一つであるR&D資本投資及びストックの計上方法が研究されている¹⁾。また、Arato and Yamada（2012）では企業の保有する非物的資本ストックを財務諸表データから推計して、日本の非物的資本の物的資本に対する比率が、米国や英国の推計値に近いことを報告している。Miyagawa and Hisa（2014）では、R&D資本をはじめとする日本の様々な非物的資本投資及びストックについて推計が行われている。こうした非物的資本の重要性についての研究の進展を背景として、日本における非物的資本投資のマクロ経済的環境が経済の成長経路や定常均衡に与える影響を数値的に評価したいというのが本論文の目的である。

日本経済についての動学一般均衡モデルによる研究はHayashi and Prescott（2002）における実物的景気循環（Real Business Cycle：RBC）モデルを用いた「失われた10年」の説明を嚆矢として、Kobayashi and Inaba（2006）、大津（2008）でも景気循環会計（Business Cycle Accounting：BCA）の手法を用いた説明力の評価が行われてきた。景気循環会計はカリブレートされた動学一般均衡モデルと現実のデータから、当該モデルでは説明できない市場の歪み（Wedge；ウェッジ）を計測して、ウェッジの存在が経済

の内生変数にどの程度の影響を与えたかを評価する分析手法で、Chari, Kehoe and McGrattan（2007）において提唱された。この論文でもこの方法を用いて実際のデータと一般均衡動学モデルの出力の乖離を幾つかのウェッジとして説明する。

この論文の貢献は以下の通りである。まず、日本のR&D資本ストックを「科学技術研究調査」のデータをベースに推計し、また、人的資本ストックをBarro and Lee（2013）の平均就学年数とMiyazawa（2011）の推計した賃金関数を参考にして推計した。また、推計したR&D資本ストック及び物的資本ストックのデータを基に、R&D資本ストックを共有する最終財生産とR&D生産の生産関数の構造パラメーターを推計した。最終財生産部門とR&D生産部門の生産関数を持つ2部門一般均衡動学モデルを構築し、残りの構造パラメーターも推計またはカリブレートして以下の分析に用いた。第1に、成長会計を行った。最終財生産部門、R&D生産部門それぞれの成長会計を実施することで、それぞれの生産要素、全要素生産性（Total Factor Productivity：TFP）の生産への貢献を評価した。第2に、将来の人口、人的資本、TFP、税率等の外生変数を外挿し、公的R&D支出といった科学技術政策の定常均衡、経済成長経路への影響を評価する政策シミュレーションを行った。

主要な結果は以下のとおりである。第1に、最終財生産におけるR&D資本分配率は0.017と小さい一方、R&D部門におけるR&D資本分配率は0.37と高い。第2に、推計した最終財生産、R&D生産の生産関数を用いた成長会計では、最終財のTFP上昇率が1990年代以降低下しているのみならず、R&D生産のTFP成長率も同時期に低下している。第3に、公的R&Dのスピルオーバー効果の役割を想定したモデルによる政策シミュレーションでは、公的

1) 日本におけるR&D資本投資及びストック化の研究として、川崎（2006）、Fukao, K., et al.（2009）、内閣府経済社会総合研究所（2010）、茂野（2012）、外木・北岡・小林（2014）、及び、Tonogi, Kitaoka, and Li（2015）等がある。

R&D 投資の増加が R&D 部門の TFP を上昇させ、R&D 生産をかなり押し上げることを示した。同時に最終財生産部門の生産、家計の消費についても増加させることを示した。

この論文は次のように構成されている。第2節では、McGrattan and Prescott (2010) をベースとした R&D 投資を含めた2部門一般均衡動学モデルを展開する。第3節では、最終財生産、R&D 生産、物的資本ストック、R&D 資本ストック、人的資本水準の推計、及び両部門への労働投入の推計の方法を説明する。また、消費税率、労働所得税率、資本所得税率、企業利益課税（法人税）率、物的資本に対する固定資産税率の計測方法についても説明する。その後、生産関数、効用関数の構造パラメーターの

推定、及び、その他の構造パラメーターのカリブレーションを行う。第4節では、推計した生産と生産要素のデータ及び推定した生産関数を用いて成長会計を行う。第5節では、1980年から2011年の観測データとモデルの出力した内生変数の乖離を市場の歪み（ウェッジ）として計測した。計測したウェッジを外生変数としてモデルのシミュレーションに組み込むことで、モデルの出力する内生変数は観測データと一致する。第6節では、構築した数値モデルを用いて外挿区間について政策シミュレーションを行い、公的 R&D 投資がマクロ経済の定常状態及び均衡経路にどのような影響を持つかを検討する。

II. R&D 投資を組み込んだ一般均衡動学モデル

この節では、McGrattan and Prescott (2010) の非物的資本投資を組み込んだ非中立的技術進歩のモデル（以下 MP モデルと略す）をベースに、内生的な R&D 資本投資と外生的な人的資本成長を組み込んだ一般均衡動学モデルを展開する。MP モデルとの第1の大きな違いは、最終財生産（Final Goods Production, 以下 FGP と略す）部門の生産関数と R&D 生産部門のコブ・ダグラス型生産関数で異なった分配率を用いる点である。これは第2節において、日本の R&D 資本ストックを一定の仮定の下で推計することで FGP 部門、R&D 部門のそれぞれ生産関数を推計することが可能なためである。第2に、2つの性質の異なる非物的資本を導入することで、R&D 資本の生産への貢献は R&D 資本収益に、人的資本の生産への貢献は賃金に反映させた。このため MP モデルで用いられた1つの非物的資本の生産への貢献を資本所得と労働所得に分割する sweat equity の概念は導入していない。第3の違いは消費税、法人税、労働所得税、

固定資産税に加えて、R&D 投資に影響が大きいと考えられる R&D 投資税額控除を組み込んでいることである。

II-1. 代表的家計

t 期の代表的家計の効用関数を次のように仮定する。

$$U(c_t, l_t) = \ln(c_t) + \psi \ln(l_t). \quad (1)$$

ここで、 $c_t (c_t \geq 0)$ は最終財の消費水準、 $l_t (l_t \in [0, 1])$ は余暇時間である。 ψ は余暇から生じる効用のウェイトを表している。家計は1期あたり1単位の時間を保有しており、それを余暇時間、 l_t 、と労働投入、 h_t 、に分割する。

次に、 t 期における通時的な効用関数は次のように仮定する。

$$\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j U(c_{t+j}, l_{t+j}). \quad (2)$$

ここで、 $\beta (1 > \beta > 0)$ は時間選好要因であり、この数値が低いほど現在より将来の効用

を低く評価することを意味する。代表的家計は、次の予算制約式を全ての期で満たしつつ、

（2）の通時効用を最大化するように、毎期の労働投入、余暇時間、物的資本投資、R&D資本投資、そして家計消費を決定する。

$$c_t + x_t^T + q_t x_t^I = r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I + w_t h_t + \zeta_t - \tau_t. \quad (3)$$

（3）式の左辺は家計の支出を、右辺は家計の可処分所得を表している。 x_t^T 及び x_t^I はそれぞれ、物的資本投資、R&D資本投資を意味している。 k_t^T 及び k_t^I はそれぞれ、物的資本ストックとR&D資本ストックを意味している。 r_t^T 及び r_t^I はそれぞれ、物的資本の収益率、R&D資本の収益率である。 w_t は労働投入1単位あたりの賃金、 q_t はR&D生産物の相対価格である。 ζ_t は政府からの一括（lump sum）の移転所得であり、家計の所得に加算される。 τ_t は家計が負担する税の総額であり、家計の所得から控除される。 τ_t は次の様に内生変数に依存している。

$$\begin{aligned} \tau_t = & \tau_t^c c_t + \tau_t^h w_t h_t + \tau_t^k k_t^T - \kappa_t^I q_t x_t^I \\ & + \tau_t^b (r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I) \\ & + \tau_t^d [r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I \\ & - \tau_t^d (r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I)]. \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 τ_t^c 、 τ_t^h 、 τ_t^k 、 τ_t^b 、及び τ_t^d はそれぞれ、消費税率、労働所得税率、固定資産税率、企業利益税率（法人税等の税率）、及び資本所得税率（利子所得税、配当所得課税等の税率）である。 κ_t^I はR&D投資についての税額控除率である。従って、 $\tau_t^c c_t$ は消費税額、 $\tau_t^h w_t h_t$ は労働所得税額、 $\tau_t^k k_t^T$ は固定資産税額、 $\tau_t^b (r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I)$ は企業利益税額、そして、 $\kappa_t^I q_t x_t^I$ はR&D税額控除額を示している。企業の税抜き後の利益（（4）式右辺第6項の大括弧内）に τ_t^d をかけたものが、資本所得税額となる。

家計が所有する物的資本ストック、 k_t^T 、及びR&D資本ストック、 k_t^I 、はそれぞれ、次の資

本遷移式に従って増減する。

$$k_{t+1}^T = [(1 - \delta^T) k_t^T + x_t^T] (1 + \eta_t)^{-1}, \quad (5)$$

$$k_{t+1}^I = [(1 - \delta^I) k_t^I + x_t^I] (1 + \eta_t)^{-1}. \quad (6)$$

ここで、 δ^T は物的資本減耗率、 δ^I はR&D資本減耗率である。 η_t は経済に存在する家計数（人口）の成長率であり、人口、 N_t 、は以下のように外生的に成長する。

$$N_{t+1} = (1 + \eta_t) N_t. \quad (7)$$

$t + 1$ 期に家計数が η_t の率で増加した際には、1家計あたりの資本ストックが η_t の率で減少することが仮定されている。

II-2. 家計の最適化行動

代表的家計は価格、 q_t 、 r_t^T 、 r_t^I 、及び w_t が与えられた下で、（3）の予算制約を毎期満たしつつ（2）式の通時効用関数を最大化するよう家計の消費、 c_t 、物的資本投資、 x_t^T 、R&D資本投資、 x_t^I 、労働投入、 h_t 、及び余暇時間、 l_t 、を決定する。資本の遷移については式（5）、（6）に従う。

問題をラグランジアン の形に表現すると、以下になる。

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_t, l_t) + \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \lambda_t [r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I + w_t h_t \\ & + \zeta_t - \tau_t - [c_t + x_t^T + q_t x_t^I]] \end{aligned}$$

ここで、 λ_t は t 期のラグランジュ係数である。内生変数は以下の制約に服する。

$$l_t = 1 - h_t^1 - h_t^2,$$

$$x_t^T = (1 + \eta_t) k_{t+1}^T - (1 - \delta^T) k_t^T,$$

$$x_t^I = (1 + \eta_t) k_{t+1}^I - (1 - \delta^I) k_t^I,$$

$$\begin{aligned} \tau_t = & \tau_t^c c_t + \tau_t^h w_t h_t + \tau_t^k k_t^T - \kappa_t^I q_t x_t^I \\ & + \tau_t^b (r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I) \\ & + \tau_t^d [r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I \\ & - \tau_t^d (r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I - \delta^T k_t^T - \tau_t^k k_t^T - q_t x_t^I)]. \end{aligned}$$

まず、家計の消費についての通時効用最大化の1階の条件は以下のとおりである。

$$\lambda_t = \frac{U_c(c_t, l_t)}{1 + \tau_t^c}.$$

ここで、 U_c は (1) 式の効用関数における家計消費、 c_t 、についての 1 階の偏微分を表す。 t 期の家計消費についての 1 階の条件は、ラグランジュ係数が t 期の消費の限界効用を消費財 1 単位の取得コストで割ったものに等しいことを示している。

労働投入の 1 階の条件は、次のように消費と余暇の限界代替率と価格の比が等しくなるという条件である。

$$\frac{U_c(c_t, l_t)}{1 + \tau_t^c} = \frac{U_l(c_t, l_t)}{w_t(1 + \tau_t^h)}.$$

ここで、 U_l は (1) 式の効用関数における余暇時間、 l_t 、についての 1 階の偏微分を表す。

物的資本に関する 1 階の条件については、家計消費の取得コスト 1 単位あたりの限界効用についての t 期と $t + 1$ 期の比が、課税後の物的資本の利回りに等しいことを示している。

$$\frac{\lambda_t}{\beta \lambda_{t+1}} = (1 + \eta_t)^{-1} [1 + (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) (1 - \tau_{t+1}^d - \delta^T - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)].$$

R&D 資本に関する 1 階の条件については、消費の取得コスト 1 単位あたりの限界効用についての t 期と $t + 1$ 期の比が、課税後の R&D 資本の利回りに等しいことを示している。

$$\frac{\lambda_t}{\beta \lambda_{t+1}} = \left[\frac{r_{t+1}^I + q_{t+1}(1 - \delta^I)(1 - \kappa_{t+1}^I) + (r_{t+1}^I + q_{t+1}(1 - \delta^I))(-\tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)}{q_t[(1 - \kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d \tau_t^p](1 + \eta_t)} \right].$$

つまり、課税後の R&D 資本の利回りは課税後の物的資本の利回りに等しい。

$$\begin{aligned} & 1 + (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) (1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) \\ &= \frac{r_{t+1}^I + q_{t+1}(1 - \delta^I)(1 - \kappa_{t+1}^I) + (r_{t+1}^I + q_{t+1}(1 - \delta^I))(-\tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)}{q_t[(1 - \kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d \tau_t^p]}. \end{aligned}$$

このモデルでは、上式の左辺第 2 項の利回りが税率及び資本減耗率の影響を考慮した後の資本利回り、 r_t 、である。

家計の効用最大化の為に、家計が保有する資本の発散経路を排除する必要がある。3 つの

資本については、次の 2 つの終端条件を課す。

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{j=0}^i \frac{1}{1 + r_{t+j}} k_{t+i+1}^T = 0, \quad (8)$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{j=0}^i \frac{1}{1 + r_{t+j}} k_{t+i+1}^I = 0. \quad (9)$$

II - 3. 代表的企業

代表的企業は家計消費または物的資本投資に用いられる最終財、 Y_t 、と R&D 投資に用いられる知識、 X_t^I 、を生産する。MP モデルと同様に、R&D 資本ストックは知識であるため非競合性を持ち、企業内で生産要素として用いる場合に FGP 部門と R&D 部門で同時に利用できると仮定する。

最終財生産、 Y_t 、の生産関数は次の通り。

$$Y_t = (K_t^{T1})^{\theta_1} (K_t^I)^{\phi_1} (A_t^1 Z_t H_t^1)^{\varphi_1}. \quad (10)$$

ここで $\theta_1 + \phi_1 + \varphi_1 = 1$ 、かつ、 θ_1 、 ϕ_1 、 $\varphi_1 > 0$ である。生産関数は物的資本、 K_t^1 、R&D 資本、 K_t^I 、及び労働投入、 H_t^1 、を生産要素とするコブ・ダグラス型である。つまり、 θ_1 、 ϕ_1 、及び、 φ_1 はそれぞれ、FGP 部門の所得における物的資本分配率、R&D 資本分配率、労働分配率に相当する。 Z_t は人的資本の水準であり、 A_t^1 は最終財生産関数におけるハロッド中立的な TFP であり、外生的に変動する。

R&D 生産、 X_t^I 、の生産関数は次の通り。

$$X_t^I = (K_t^{T2})^{\theta_2} (K_t^I)^{\phi_2} (A_t^2 Z_t H_t^2)^{\varphi_2}. \quad (11)$$

ここで、 $\theta_2 + \phi_2 + \varphi_2 = 1$ 、かつ、 θ_2 、 ϕ_2 、 $\varphi_2 > 0$ である。最終財部門と同様に、R&D 部門の生産関数も、物的資本、 K_t^{T2} 、R&D 資本、 K_t^I 、及び労働投入、 H_t^2 、を生産要素とするコブ・ダグラス型である。つまり、 θ_2 、 ϕ_2 、及び φ_2 はそれぞれ、R&D 部門の所得における物的資本分配率、R&D 資本分配率、労働分配率に相当する。 A_t^2 は R&D 生産関数におけるハロッド中立的な TFP であり、外生的に変動する。

両部門の全要素生産性、 A_t^1 と A_t^2 、は次のように、共通のトレンド成長率、 γ 、と個別の成長率、 a_t^1 及び a_t^2 に従って成長する。

$$A_{t+1}^1 = (1+a_t^1)(1+\gamma)A_t^1, \quad (12)$$

$$A_{t+1}^2 = (1+a_t^2)(1+\gamma)A_t^2. \quad (13)$$

人的資本水準、 Z_t 、は外生的に成長率 z_t で変動する。

$$Z_{t+1} = (1+z_t)Z_t. \quad (14)$$

代表的企業の利潤は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \Pi_t = & Y_t + q_t X_t^I \\ & - [r_t^T(K_t^{T1} + K_t^{T2}) + r_t^I K_t^I + w_t(H_t^1 + H_t^2)]. \end{aligned} \quad (15)$$

II－4．代表的企業の最適化行動

代表的企業は(10)、(11)式の生産関数を前提にしつつ、価格、 q_t 、 r_t^T 、 r_t^I 、及び w_t が与えられた下で(15)式の利潤関数を最大化するように生産要素の投入量、 K_t^{T1} 、 K_t^{T2} 、 K_t^I 、 H_t^1 、及び H_t^2 を決定する。最適化の1階の条件は以下のとおりである。

K_t^{T1} についての1階の条件から、物的資本収益率がFGP部門の物的資本の限界生産性に等しい。

$$r_t^T = \theta_1 \frac{Y_t}{K_t^{T1}}.$$

K_t^{T2} についての1階の条件から、物的資本収益率はR&D部門の物的資本の限界生産性に等しい。

$$r_t^T = \theta_2 \frac{q_t X_t^I}{K_t^{T2}}.$$

つまり、上記の2つの式から、企業が利潤を最大化するときR&D生産物の価格 q_t について以下の関係が成立する。

$$q_t = \frac{\theta_1}{\theta_2} \frac{Y_t}{X_t^I} \frac{K_t^{T2}}{K_t^{T1}}. \quad (16)$$

K_t^I についての1階の条件から、R&D資本収益率はFGP部門とR&D部門のR&D資本の限界生産性の合計に等しい。

$$r_t^I = \frac{\phi_1 Y_t + \phi_2 q_t X_t^I}{K_t^I}.$$

次に、 H_t^1 についての1階の条件から、労働

賃金はFGP部門の労働投入の限界生産性に等しい。

$$w_t = \phi_1 \frac{Y_t}{H_t^1}.$$

H_t^2 についての1階の条件から、労働賃金はR&D部門の労働投入の限界生産性にも等しい。

$$w_t = \phi_2 \frac{q_t X_t^I}{H_t^2}.$$

つまり、上記の2つの式から、企業が利潤を最大化するときR&D生産物の価格 q_t について以下の関係が成立する。

$$q_t = \frac{\phi_1}{\phi_2} \frac{Y_t}{X_t^I} \frac{H_t^2}{H_t^1}. \quad (17)$$

企業が利潤最大化行動を行っている場合、(16)、(17)式を同時に満たすことから、物的資本のFGP部門とR&D部門の投入比率、及び、労働時間のFGP部門とR&D部門の投入比率について以下の関係が成立する。

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} \frac{K_t^{T2}}{K_t^{T1}} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \frac{H_t^2}{H_t^1}. \quad (18)$$

II－5．動学的一般均衡の条件

N個の代表的家計、1つの代表的企業及び政府の存在する経済において、動学的一般均衡の条件を次のように定義する。

- ・代表的家計は資本ストックの初期値、 k_0^T 、及び、 k_0^I が与えられた下で、価格、 q_t 、 r_t^T 、 r_t^I 、及び w_t を所与として、(3)、(4)式からなる予算制約式、(5)、(6)の資本の遷移を満たしつつ、(2)式の通時効用関数を最大化の1階の条件をすべて満たす。
- ・代表的企業は(10)、(11)式を生産関数を前提にしつつ、価格、 q_t 、 r_t^T 、 r_t^I 、及び w_t が与えられた下で、全ての期で(14)式の利潤関数の最大化の1階の条件をすべて満たす。
- ・全ての期で市場の需給均衡条件が成立する。
つまり、最終財市場の均衡条件、 $Y_t = N_t(x_t^T + c_t)$ 、R&D生産物市場の均衡条件、 $X_t^I = N_t x_t^I$ 、労働市場の均衡条件、 $H_t^1 + H_t^2 = N_t h_t$ 、物的資本市場の均衡条件、 $K_t^{T1} + K_t^{T2} = N_t k_t^T$ 、及びR&D資本市場の均衡条件、 $K_t^I =$

$N_t k_t^I$ がそれぞれ全ての期で成立する。

- ・全ての期で政府の予算制約式が均衡する ($\tau_t = \zeta_t$)。
- ・終端条件, (8), (9) 式を満たす。

II-6. 内生変数のトレンド除去

動学的一般均衡の定常状態を見つけるために, 内生変数から外生的なトレンド成分を除去する。具体的には1家計あたりの変数を全て,

$(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t$ で割る。トレンド除去後の変数は以下のようにハットを付けて表す。つまり,

家計消費は, $\hat{c}_t = \frac{c_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, FGP 部門の物的資本は $\hat{k}_t^{T1} = \frac{K_t^{T1}/N_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, R&D 部門の物的資本は $\hat{k}_t^{T2} = \frac{K_t^{T2}/N_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, R&D 資本は, $\hat{k}_t^I = \frac{K_t^I/N_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, 最終財の生産は $\hat{y}_t = \frac{Y_t/N_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, $\hat{x}_t^I = (\hat{k}_t^{T1})^{\theta_1} (\hat{k}_t^I)^{\phi_1} (\hat{a}_t^1 h_t^1)^{\phi_1}$, R&D の生産は $\hat{x}_t^I = \frac{X_t^I/N_t}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t} = (\hat{k}_t^{T2})^{\theta_2} (\hat{k}_t^I)^{\phi_2} (\hat{a}_t^2 h_t^2)^{\phi_2}$ とそれぞれ定義する。このとき, FGP 生産の TFP は $\hat{a}_t^1 = \frac{A_t^1}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, R&D 生産の TFP は $\hat{a}_t^2 = \frac{A_t^2}{(1+\gamma)^t A_0^1 Z_t}$, である。またこのとき, $h_t^1 = H_t^1/N_t$, 及び, $h_t^2 = H_t^2/N_t$ と定義する。トレンド除去後の一般均衡動学モデルの1階の条件は, 以下のとおりである。

消費についての1階の条件は,

$$\hat{\lambda}_t = \frac{1}{\hat{c}_t (1+\tau_t^c)}. \quad (19)$$

消費と余暇についての1階の条件は,

$$\hat{c}_t = \frac{(1+\tau_t^h) (1-h_t) \hat{w}_t}{1+\tau_t^c} \frac{1}{\psi}. \quad (20)$$

t 期の物的資本と $t+1$ 期の物的資本についての1階の条件は,

$$\hat{\lambda}_t = \hat{\beta}_t \hat{\lambda}_{t+1} [1 + (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) (1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)]. \quad (21)$$

ここで, $\hat{\beta}_t = \frac{\beta}{(1+z_t)(1+n_t)(1+\gamma)}$ である。

t 期の R&D 資本と $t+1$ 期の R&D 資本についての1階の条件は,

$$\hat{\lambda}_t = \hat{\beta}_t \hat{\lambda}_{t+1} \times \left[\frac{r_{t+1}^I + q_{t+1} (1-\delta^I) (1-\kappa_{t+1}^I) + (r_{t+1}^I + q_{t+1} (1-\delta^I)) (-\tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)}{q_t [(1-\kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d \tau_t^p]} \right]. \quad (22)$$

R&D 資本と物的資本についての1階の条件は,

$$1 + (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) (1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) = \frac{r_{t+1}^I + q_{t+1} (1-\delta^I) (1-\kappa_{t+1}^I) + (r_{t+1}^I + q_{t+1} (1-\delta^I)) (-\tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)}{q_t [(1-\kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d \tau_t^p]}. \quad (23)$$

FGP 部門の労働投入と, R&D 部門の労働投入の1階の条件は,

$$\hat{w}_t = \phi_1 \frac{\hat{y}_t}{h_t^1} = \phi_2 \frac{q_t \hat{x}_t^I}{h_t^2}. \quad (24)$$

FGP 部門の物的資本投入と, R&D 部門の物的資本投入の1階の条件は,

$$r_t^T = \theta_1 \frac{\hat{y}_t}{\hat{k}_t^{T1}} - \theta_2 \frac{q_t \hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^{T2}}. \quad (25)$$

R&D 資本についての1階の条件は,

$$r_t^I = \frac{\phi_1 \hat{y}_t + \phi_2 q_t \hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^I}. \quad (26)$$

資本遷移式及び, 最終財市場の均衡条件, 政府の均衡財政条件は以下ようになる。

$$\hat{x}_t^T = (1+\eta_t) (1+\gamma) (1+z_t) \hat{k}_{t+1}^T - (1-\delta^T) \hat{k}_t^T, \quad (27)$$

$$\hat{x}_t^I = (1+\eta_t) (1+\gamma) (1+z_t) \hat{k}_{t+1}^I - (1-\delta^I) \hat{k}_t^I, \quad (28)$$

$$\hat{c}_t + \hat{x}_t^{T1} + \hat{x}_t^{T2} = \hat{y}_t, \quad (29)$$

$$\hat{\tau}_t = \hat{\zeta}_t. \quad (30)$$

II-7. 定常状態

定常状態ではトレンド除去済みの変数について, $\hat{x}_t = \hat{x}_{t+1} = \hat{x}_{ss}$ が成立する。FGP 部門の生産の定常状態での値は次の通り。

$$\hat{y}_{ss} = (\hat{k}_{ss}^{T1})^{\theta_1} (\hat{k}_{ss}^I)^{\phi_1} (\hat{a}_{ss}^1 h_{ss}^1)^{\phi_1}.$$

R&D 部門の生産の定常状態での値は次の通り。

$$\hat{x}_{ss}^I = (\hat{k}_{ss}^{T1})^{\theta_2} (\hat{k}_{ss}^1)^{\phi_2} (\hat{a}_{ss}^2 h_{ss}^2)^{\theta_2}.$$

定常状態における消費の値, $\hat{c}_{ss}$ と余暇の値, $l_{ss} = 1 - h_{ss}$ は次の条件を満たす必要がある。

$$\hat{c}_{ss} = \frac{(1 - \tau_{ss}^h)(1 - h_{ss})}{1 + \tau_{ss}^c} \frac{1}{\psi} \hat{w}_{ss}.$$

物的資本収益率, R&D 資本収益率, 労働賃金は次の5条件を満たす必要がある。

$$\begin{aligned} 1 &= \hat{\beta}_{ss} [1 + (1 - \tau_{ss}^d)(1 - \tau_{ss}^p)(r_{ss}^T \delta^T \tau_{ss}^k)] \\ \Leftrightarrow r_{ss}^T &= \frac{1 - \hat{\beta}}{\hat{\beta}(1 - \tau_{ss}^d)(1 - \tau_{ss}^p)} + \delta^T + \tau_{ss}^k, \\ 1 &= \hat{\beta}_{ss} \left[\frac{r_{ss}^I + q_{ss}(1 - \delta^I)(1 - \kappa_{ss}^I) + (r_{ss}^I + q_{ss}(1 - \delta^I))(-\tau_{ss}^p - \tau_{ss}^d + \tau_{ss}^p \tau_{ss}^d)}{q_{ss}[(1 - \kappa_{ss}^I) - \tau_{ss}^p - \tau_{ss}^d + \tau_{ss}^p \tau_{ss}^d]} \right], \end{aligned}$$

$$\hat{w}_{ss} = \varphi_1 \frac{\hat{y}_{ss}}{h_{ss}^1} = \varphi_2 \frac{q_{ss} \hat{x}_{ss}^I}{h_{ss}^2},$$

$$r_{ss}^T = \theta_1 \frac{\hat{y}_{ss}}{k_{ss}^{T1}} = \theta_2 \frac{q_{ss} \hat{x}_{ss}^I}{h_{ss}^{T2}},$$

$$r_{ss}^I = \frac{\phi_1 \hat{y}_{ss} + \phi_2 q_{ss} \hat{x}_{ss}^I}{\hat{k}_{ss}^I}.$$

資本遷移式, 最終財市場の需給均衡条件, 政府の均衡財政の条件は以下のとおりであり, 定常状態ではこれらの条件も満たす必要がある。

$$\hat{x}_{ss}^T = [(1 + \eta_{ss})(1 + \gamma_{ss})(1 + z_{ss}) - (1 - \delta^T)] \hat{k}_{ss}^T,$$

$$\hat{x}_{ss}^I = [(1 + \eta_{ss})(1 + \gamma_{ss})(1 + z_{ss}) - (1 - \delta^I)] \hat{k}_{ss}^I,$$

$$\hat{c}_{ss} + \hat{x}_{ss}^{T1} + \hat{x}_{ss}^{T2} = \hat{y}_{ss},$$

$$\hat{\tau}_{ss} = \hat{\tau}_{ss}^c.$$

Ⅲ. カリブレーションと構造推定

Ⅲ-1. モデルに対応したデータの構築

この節では前節で構築した一般均衡動学モデルに対応した集計量の経済データを構築する。データの出所は主に内閣府の『国民経済計算』, 総務省の『科学技術研究調査』, 『人口推計』, 『労働力調査』, 厚生労働省『毎月勤労統計』等である。

まず, R&D の総生産, X_t^I の系列はについては, 内閣府経済社会総合研究所 (2012) の方法を用いて, 総務省の『科学技術研究調査』 (Survey of Research and Development: 今後 SRD と略す) における企業, 大学, 研究機関の「内部使用研究費」から求められる²⁾。ここでは, 海外との R&D の輸出入は考慮せず, R&D 総生産 = R&D 総投資として取り扱う。

R&D 総生産

= SRD の内部使用研究費 (コスト)。

次に, 最終財の総生産, Y_t , については, 1993SNA の国民総所得 (GNI) から, 政府と NPISH (対家計民間非営利団体) の R&D 総生産を控除し, 政府と NPISH の R&D 資本の減耗分を控除したものと定義される。

最終財総生産

= GNI⁹³ - (政府 R&D 総生産 - 政府 R&D 資本減耗) - (NPISH R&D 総生産 - NPISH R&D 資本減耗)。

FGP 部門の物的資本総投資, X_t^{T1} , は次のように計算する。

2) SRD における大学, 短大, 大学附置研究所の人件費については, フルタイム換算係数にて調整している。計算の詳細は Appendix A を参照せよ。

FGP 部門の物的資本投資

$$= \text{国内総資本形成} + \text{純輸出} - \text{R\&D 部門の物的資本総投資.}$$

R&D 部門の物的資本総投資, X_t^{T2} , は次のように求める。

R&D 部門の物的資本投資

$$= \text{SRD における有形固定資産購入費.}$$

家計消費, $C_t = N_t c_t$, は民間最終消費支出と政府最終消費支出の合計とする。

家計消費

$$= \text{民間最終消費支出} + \text{政府最終消費支出.}$$

上記の集計量については, それぞれ対応するデフレーターを用いて実質化している。

FGP 部門の物的資本ストック, K_t^{T1} , R&D 部門の物的資本ストック, K_t^{T2} , 及び, R&D 資本ストック, K_t^I , は次のような資本遷移式に従って計算した。

$$K_t^{T1} = X_t^{T1} + (1 - \delta^T) K_t^{T1},$$

$$K_t^{T2} = X_t^{T2} + (1 - \delta^T) K_t^{T2},$$

$$K_t^I = X_t^I + (1 - \delta^I) K_t^I.$$

次に, 労働人口あたりの保有時間あたりの労働投入, h_t , については次のように求めた。

$$\text{労働投入} = \frac{\text{年間労働時間}}{\text{年間保有時間}}.$$

ここで,

年間労働時間

$$= \text{平均月間労働時間} \times 12 \times \text{就労者数},$$

年間保有時間

$$= 1 \text{ 日の保有時間 (16 時間)} \times \text{年間所定労働日数 (250 日)} \times 15 \text{ 歳以上人口}.$$

FGP 部門と R&D 部門の労働の分配については (18) 式を用いて, 物的資本ストックの FGP 部門と R&D 部門比率に対応する労働時

間とした。

$$h_t^1 = \left(1 + \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \frac{\theta_1}{\theta_2} \frac{k_t^{T2}}{k_t^{T1}} \right)^{-1} h_t,$$

$$h_t^2 = h_t - h_t^1.$$

人的資本の水準, Z_t , については, 平均就学年数とミンサー型賃金関数を用いて計算した。

$$Z_t = \left(\frac{a_M}{1 - \psi_M} (s_t)^{1 - \psi_M} \right). \quad (31)$$

ここで, s_t は t 年の平均就学年数である。平均就学年数は Barro and Lee (2013) の日本の推計値を, ミンサー型賃金関数のパラメーターについては, Miyazawa (2011) の研究に従い, $a_M = 0.32$, $\psi_M = 0.28$ を用いた。

Ⅲ－２．税率の計算

家計の意思決定行動に影響を与える各種税率をモデルに組み込む。具体的には消費税, 労働所得税, 固定資産課税, 企業利益課税 (法人税等), 資産所得税 (配当税, 利子所得税) などを用いる。

消費税率, τ_t^c , については, 現実に実施されている消費税率とする。1980 年から 1988 年までは 0%, 1989 年から 1996 年までは 3%, 1997 年から 2011 年までは 5% である。

労働所得税率, τ_t^h , については給与所得, 退職所得, 報酬料金等所得, 非居住者所得, 及び地方税の住民税 (個人分) の合計を労働所得税とし³⁾, SNA の名目雇用者報酬で割って求めた。この税率の 1980 年から 2011 年の平均値を求めて全期間に適用した。固定資産税率, τ_t^k , については, 標準税率 1.4% を全期間で用いた。

企業利益課税率, τ_t^p , については国税の法人税額, 地方税の事業所税, 地方法人特別税, 住民税 (法人分) を企業利益課税とし, これを営業余剰より固定資本減耗, 内部使用研究費, 固定資産税率 $\times$ 物的資本ストック額を引いた課税前企業利益で割って求めた。この税率の 1980 年から 2011 年の平均値を求めて全期間に

3) 国税については国税庁の源泉所得税課税状況から, 地方税については『地方財政白書』からデータを得た。

適用した。

資本所得税率, τ_r^d については, 国税の利子所得等と配当所得の課税額の合計を課税前企業利益から企業利益税額を差し引いたもので割って求めた。この税率の1980年から2011年の平均値を求めて全期間に適用した。

R&D投資税額控除率, κ_r^I については, 試験研究費の控除額等をR&D投資額で割って求めた。この税率は平均値を全期間に適用せずに, 毎年変動するものとした。

Ⅲ-3. 構造パラメータのカリブレーション

一般均衡動学モデルにおいて, 政府の政策や外生変数の変動に影響を受けない経済の基本的なパラメータを構造パラメータと呼ぶ。生産関数のパラメータや効用関数のパラメータ, 資本減耗率などはこのような構造パラメータに該当する。

資本減耗率

物的資本の資本減耗率, δ^T については資本ストックに対する固定資本減耗の比率の1980年から2011年の平均値を用いた。R&D資本の資本減耗率, δ^I についてはBEA (2006) 及び, 内閣府経済社会総合研究所 (2012) のR&D資本ストック推計の先行研究で用いられた15%を採用した。

効用関数

効用関数における余暇からの効用のウェイトである, ψ , については第5節で説明する労働投入ウェッジ・レート, ω_v^L が1980年から2010年の期間の平均が0となるように値を決めた。代表的家計の時間選好要因, β , については0.98と仮定した。

生産関数

FGP部門とR&D部門の生産関数における構造パラメータは, 両部門の労働分配率パラメータをデータから推計した後, モデルの1階の条件 (FGP部門とR&D部門の物的資本

収益率, 及び, R&D資本収益率の同時点代替の条件) を用いてGMMで推計した。

FGP部門の労働分配率のパラメータ, ϕ_1 , については, SNAの雇用者報酬と混合所得の合計のGNIに対する比率の1980年から2011年の平均値とした。

R&D部門の労働分配率のパラメータ, ϕ_2 , については, SRDのR&D人件費の内部使用研究費 (コスト) に対する比率の1980年から2011年の平均値とした。

次にFGP部門とR&D部門の生産関数における物的資本分配率及びR&D資本分配率, つまり, θ_1 , ϕ_1 , θ_2 及び ϕ_2 については, 第2節で展開した1階の条件である (23), (25) 式をモーメント条件に用いて, 以下の設定でGMM推計した。

$$\min_{\theta_1, \theta_2} \Gamma(M; \theta_1, \theta_2) = \chi(M; \theta_1, \theta_2) \Sigma^{-1} \chi(M; \theta_1, \theta_2)', \quad (32)$$

ここで, $M = \{m_{1980}, \dots, m_{2010}\}$, $m_t = \{\hat{y}_t, \hat{x}_t^I, \hat{k}_t^{T1}, \hat{k}_t^{T2}, \hat{k}_t^I, \kappa_t^I, \kappa_{t+1}^I, \tau_t^p, \tau_{t+1}^p, \tau_t^d, \tau_{t+1}^d, \tau_{t+1}^k\}$, である。

また,

$$\chi(M; \theta_1, \theta_2) = \begin{bmatrix} \frac{1}{T} \sum_t f_1(m_t; \theta_1, \theta_2) \\ \frac{1}{T} \sum_t f_2(m_t; \theta_1, \theta_2) \end{bmatrix},$$

である。 $f_1(m_t; \theta_1, \theta_2)$, $f_2(m_t; \theta_1, \theta_2)$ については以下のとおり。

$$\begin{aligned} f_1(m_t; \theta_1, \theta_2) &= 1 + (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) \\ &\quad (1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) \\ &\quad - \frac{(r_{t+1}^I + q_{t+1}^I(1 - \delta^I)(1 - \kappa_{t+1}^I))(1 - \tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)}{q_t[(1 - \kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d \tau_t^p]}, \\ f_2(X; \theta_1, \theta_2) &= \theta_1 \frac{\hat{y}_t}{\hat{k}_t^{T1}} - \theta_2 \frac{q_t \hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^{T2}}, \end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned} r_t^I &= \frac{\phi_1 \hat{y}_t + \phi_2 q_t \hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^I}, \\ \phi_1 &= 1 - \phi_1 - \theta_1, \end{aligned}$$

$$\varphi_2 = 1 - \phi_2 - \theta_2.$$

q_t については、生産関数のパラメーター推計では全ての期間で $q_t = 1$ と仮定した。生産関数のパラメーターが求まった後に、(16) 式を用いることで、R&D 生産物の相対価格、 q_t 、を計算して用いるという方法を取った。 $\Gamma(M; \theta_1, \theta_2)$ が十分小さくなるまで、非線形 Grid Search による推定ラウンドが進む毎にサーチグリッドを縮小するという方法を繰り返すことでパラメーターを推定できる。ウェイト行列 (Σ) については、最初の推定ラウンドでは、

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

を用いた。2 回目以降の推定ラウンドでは前ラウンドのモーメント条件の推定誤差の分散—共分散行列、 $Cov(f_1(m_t; \theta_1, \theta_2), f_2(m_t; \theta_1, \theta_2))$ 、の固有値の対角行列、

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix},$$

を用いた。このようにして求めた生産関数から最終財部門の TFP、つまり、 A_t^1 を求め、その 1980 年から 2011 年までの平均成長率として γ を求めた。構造パラメーターのカリブレーション、推定結果については表 1 の通りである。

表 1 構造パラメーターの値

β	時間選好要因	0.9800000000000000
γ	TFP のトレンド成長率 (FGP 部門)	0.009624326842325
ψ	余暇時間からの対数効用ウェイト	1.730726793404400
θ^1	FGP 部門の物的資本分配率	0.396956117920397
ϕ^1	FGP 部門の R&D 資本分配率	0.017111500728346
φ^1	FGP 部門の労働分配率	0.585932381351257
θ^2	R&D 部門の物的資本分配率	0.153413459575458
ϕ^2	R&D 部門の R&D 資本分配率	0.369837767290490
φ^2	R&D 部門の労働分配率	0.476748773134053
δ^T	物的資本ストックの減耗率	0.073503400483774
δ^I	R&D 資本ストックの減耗率	0.1500000000000000

IV. 成長会計

この節では、日本経済の成長会計について標準的な生産関数のケースと、この論文で採用した R&D 資本ストックを 2 部門で共有するケースを検討する。まず初めに、以下のような生産関数を用いた成長会計の結果を示す。

$$Y_t = (K_t^T)^{1-\varphi_1} (A_t H_t)^{\varphi_1}.$$

ここで φ_1 は第 3 節で推計した FGP 部門の労働分配率を用いている。表 2 は成長会計の結

果である。Hayashi and Prescott (2002) は 1990 年代の日本の経済成長率の低迷の原因について、労働投入の成長率低下と、TFP 成長の減速を指摘したが、その結果をここでも再確認できる。また、2000 年代についても労働投入と TFP の成長は同様の傾向が継続しており、資本ストックの成長の減速も影響して、産出の成長率は 1990 年代よりもさらに低下している。

表3は第3節で推計した人的資本水準を生産要素として加えたケースの成長会計の結果である。生産関数は次の形となる。

$$Y_t = (K_t^T)^{1-\phi_1} (A_t Z_t H_t)^{\phi_1}.$$

表3では人的資本成長が加わった分、残差として計測されるTFPの成長の寄与度が低下している。1970年代と1990年代については、人的資本の成長率が高く、TFPの成長率はマイナスとなった。

最後に、第2節で導入した2部門成長モデルと第3節で構築した最終財生産とR&D生産のデータに基づいて、成長会計を行う。FGP部門とR&D部門の生産関数は(10)、(11)式と同じである。

$$Y_t = (K_t^{T1})^{\theta_1} (K_t^I)^{\phi_1} (A_t^I Z_t H_t^I)^{\phi_1},$$

$$X_t^I = (K_t^{T2})^{\theta_2} (K_t^I)^{\phi_2} (A_t^I Z_t H_t^I)^{\phi_2}.$$

Y_t は最終財生産、 X_t^I はR&D生産である。それぞれの生産関数の構造パラメーター値は第3節で推計したものを用いる。表4はこの新しい成長会計の結果を示している。最終財部門については、R&D資本ストックの成長寄与が組み込まれていることが特徴であり、1990-2000年代とその寄与度が低下していることが読み取れる。それ以外の生産要素については表3に示した人的資本を導入したバージョンの成長会計と大きな違いはない。R&D部門については、R&D生産の伸び率が1990-2000年代は低下が著しい。また、この時期はR&D部門のTFP成長率がマイナスとなっている⁴⁾。

表2 資本ストック、労働投入、TFPによる成長会計

寄与度（%ポイント）

	GDP			
		労働投入	資本投入	TFP
1960-1970	10.13	0.32	4.74	5.06
1970-1980	4.35	0.13	3.89	0.32
1980-1990	4.24	0.55	1.95	1.74
1990-2000	1.26	- 0.40	1.29	0.37
2000-2011	0.34	- 0.34	0.36	0.32

表3 資本ストック、労働投入、人的資本水準、及び、TFPによる成長会計

寄与度（%ポイント）

	GDP					
		労働投入×人的資本			資本投入	TFP
			労働投入	人的資本		
1960-1970	10.13	0.42	0.32	0.10	4.74	4.96
1970-1980	4.35	0.65	0.13	0.51	3.89	- 0.19
1980-1990	4.24	0.87	0.55	0.31	1.95	1.42
1990-2000	1.26	- 0.01	- 0.40	0.39	1.29	- 0.02
2000-2011	0.34	- 0.11	- 0.34	0.23	0.36	0.09

4) 労働投入のデータについては、FGP部門とR&D部門の人的資本水準は同じと仮定したうえで、FGP部門とR&D部門の賃金の均等条件と物的資本収益率の均等条件を用いて総労働投入を分割している。実際にはFGP部門とR&D部門の人的資本成長率は違っていたと考えられるため、残差としてのTFPは違った推移である可能性は高い。この点については更に研究の余地がある。

表4 R&D 投資を含むモデルによる成長会計

寄与度 (%ポイント)

最終財生産部門										
		労働投入×人的資本			資本投入					TFP (最終財 部門)
		労働投入	人的資本		物的資本	R&D 資本ストック				
							企業	政府・ NPISH		
1960-1970	10.13	0.41	0.31	0.10	5.02	4.83	0.19	0.14	0.05	4.70
1970-1980	4.37	0.66	0.14	0.51	3.89	3.78	0.10	0.08	0.02	- 0.17
1980-1990	4.24	0.84	0.52	0.31	1.97	1.87	0.10	0.09	0.02	1.43
1990-2000	1.25	- 0.02	- 0.40	0.39	1.31	1.23	0.07	0.06	0.02	- 0.04
2000-2011	0.35	- 0.11	- 0.34	0.23	0.38	0.34	0.04	0.03	0.00	0.08

R&D 生産部門										
		労働投入×人的資本			資本投入					TFP (R&D 部門)
		労働投入	人的資本		物的資本	R&D 資本ストック				
							企業	政府・ NPISH		
1960-1970	11.57	0.96	0.88	0.08	5.74	1.69	4.04	3.01	1.05	4.87
1970-1980	2.94	0.16	- 0.26	0.42	3.42	1.17	2.25	1.83	0.48	- 0.63
1980-1990	7.63	2.10	1.84	0.26	3.46	1.18	2.28	1.93	0.39	2.07
1990-2000	1.99	0.15	- 0.16	0.32	2.14	0.53	1.61	1.25	0.36	- 0.30
2000-2011	0.90	0.04	- 0.14	0.19	0.94	0.17	0.77	0.66	0.09	- 0.09

V. モデルとデータの乖離

この節では、構造パラメーターに数値を与えた動学的一般均衡動学モデルを用いて、1980年から2011年の日本経済の市場の歪み（ウェッジ）を計測し、モデルとデータの乖離を検討する。Chari, Kehoe and McGrattan (2007)の研究では、観測されたマクロ経済データと標準的なRBCモデルの生成するデータの乖離として複数のウェッジを計測することが提案された。計測されたウェッジは租税以外の観測されない市場の歪みとしてモデルに組み込むことで、モデルが生成する内生変数のデータと観測された経済データを完全に一致させることができる。この研究では、租税以外の市場の歪みとして、

物的資本投資ウェッジ、R&D投資ウェッジ、労働投入ウェッジを、生産関数において生産要素投入量と成長トレンドで説明できない要因として最終財部門の生産性ウェッジ、R&D生産部門のウェッジを導入する。

V-1. モデルへのウェッジの導入

(3)式の家計の予算制約に、労働ウェッジ、物的資本投資ウェッジ、R&D投資ウェッジを加えると次のように書くことができる。

$$C_t + (1 + \omega_t^T) x_t^T + (1 + \omega_t^I) q_t x_t^I \\ = r_t^T k_t^T + r_t^I k_t^I + (1 - \omega_t^T) w_t h_t^T + \zeta_t - \tau_t.$$

(33)

ここで、 ω_t^T 及び ω_t^I はそれぞれ、物的資本投資ウェッジ・レート、R&D資本投資ウェッジ・レートを意味する。これらのウェッジ・レートが正のとき、ウェッジ・レートは投資に対する課税率と同じ働きをする。 ω_t^L は労働ウェッジ・レートであり、 $\omega_t^L > 0$ であれば労働所得税率と、 $\omega_t^L < 0$ であれば労働補助金率と同じ働きをする。

これらのウェッジが存在すると仮定したもとで、家計の通時的効用最大化の1階の条件、(20)、(21)、及び(22)式は次の(34)、(35)、及び(36)式のように書き換えられる。

労働投入ウェッジ、 $\Omega_t^L \equiv 1 - \omega_t^L$ 、を組み込むことで(20)式は次のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned}\Omega_t^L &= (1 - \omega_t^L) = c_t \frac{1 + \tau_t^c}{1 - \tau_t^h} \frac{\psi(1 - h_t)^{-1}}{w_t} \\ &= \left(\frac{1 + \tau_t^c}{1 - \tau_t^h} \right) \left(\frac{\hat{c}_t}{\hat{y}_t} \right) \frac{\psi}{\varphi_1} \left(\frac{h_t^1}{l_t} \right).\end{aligned}\quad (34)$$

物的資本投資ウェッジ、 $\Omega_t^T \equiv 1 + \omega_t^T$ 、を組み込むことで、物的資本についての異時点間代替の条件、(21)式、は次のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned}\Omega_t^T &= \hat{\beta}_t \frac{\hat{c}_t}{\hat{c}_{t+1}} \left(\frac{1 + \tau_t^c}{1 + \tau_{t+1}^c} \right) \{ r_{t+1}^T \\ &\quad + (1 - \delta^T) \Omega_{t+1}^T - \tau_{t+1}^k + (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p \\ &\quad + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k) \} \\ &\Leftrightarrow \\ \Omega_{t+1}^T &= \frac{\frac{1}{\hat{\beta}_t} \frac{\hat{c}_{t+1}}{\hat{c}_t} \left(\frac{1 + \tau_{t+1}^c}{1 + \tau_t^c} \right) \Omega_t^T - r_{t+1}^T + \tau_{t+1}^k - (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) (r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k)}{1 - \delta^T}.\end{aligned}\quad (35)$$

R&D投資ウェッジ、 $\Omega_t^I \equiv 1 + \omega_t^I$ 、を組み込むことで、R&D資本についての異時点間代替の条件、(22)式、は次のように書き換えるこ

とができる。

$$\begin{aligned}& q_t \left[(\Omega_t^I - \kappa_t^I) - \tau_t^d - \tau_t^p + \tau_t^d \tau_t^p \right] \\ &= \hat{\beta}_t \frac{\hat{c}_t}{\hat{c}_{t+1}} \left(\frac{1 + \tau_t^c}{1 + \tau_{t+1}^c} \right) \left[r_{t+1}^I + q_{t+1} (1 - \delta^I) (\Omega_{t+1}^I - \kappa_{t+1}^I) \right. \\ &\quad \left. + (\tau_{t+1}^I + q_{t+1} (1 - \delta^I)) (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) \right] \\ &\Leftrightarrow \\ & (\Omega_{t+1}^I - \kappa_{t+1}^I) (1 - \delta^I) q_t = \\ & q_t \left[(\Omega_t^I - \kappa_t^I) - \tau_t^d - \tau_t^p + \tau_t^d \tau_t^p \right] \frac{1}{\hat{\beta}_t} \frac{\hat{c}_{t+1}}{\hat{c}_t} \left(\frac{1 + \tau_{t+1}^c}{1 + \tau_t^c} \right) \\ &\quad - (r_{t+1}^I + q_{t+1} (1 - \delta^I)) (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p) - r_t^I.\end{aligned}\quad (36)$$

(10)、(11)式の生産関数において、 A_t^1 と A_t^2 はそれぞれFGP部門とR&D部門のTFPに相当する。各期の生産要素及び生産量を $(1 + \gamma)^t A_0^1 Z_t N_t$ で割ることにより、トレンド除去後のモデルにおけるFGP部門とR&D部門のTFPはそれぞれ以下のように定義される。

$$\hat{a}_t^1 = \frac{1}{h_t^1} \left(\frac{\hat{y}_t}{(\hat{k}_t^{T1})^{\theta_1} (\hat{k}_t^I)^{\theta_1}} \right)^{\frac{1}{1 - \theta_1 - \phi_1}}, \quad (37)$$

$$\hat{a}_t^2 = \frac{1}{h_t^2} \left(\frac{\hat{y}_t}{(\hat{k}_t^{T2})^{\theta_2} (\hat{k}_t^I)^{\theta_2}} \right)^{\frac{1}{1 - \theta_2 - \phi_2}}. \quad (38)$$

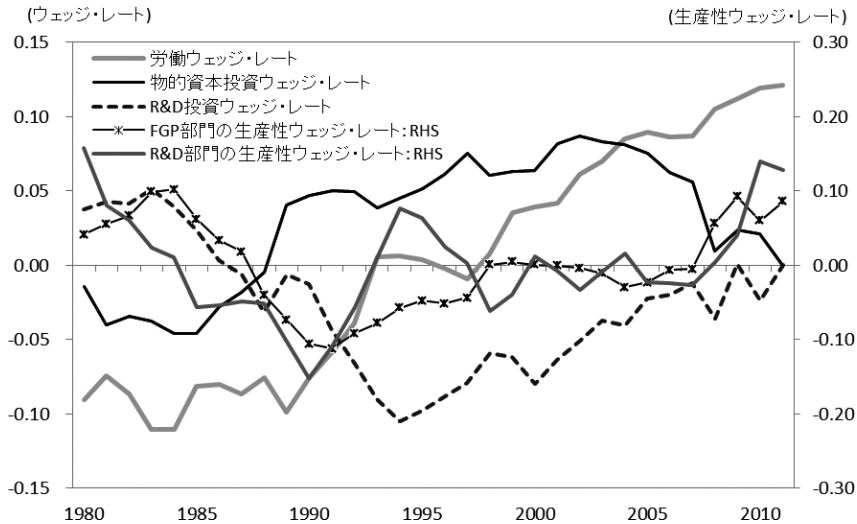
V-2. 計測された市場の歪み

構造パラメーターの数値を与えた(33)から(38)式に第3節で定義した税率の系列、及び、観測されたデータを与えることでウェッジを計測する事ができる⁵⁾。

図1には計測された各ウェッジ・レートの推移を示した。労働ウェッジ・レート、 ω_t^L 、は一貫して上昇傾向にある。物的資本投資ウェッジ・レート、 ω_t^T 、は1980年代中盤まではマイナスだが、その後はプラスに推移している。R&D投資ウェッジ・レート、 ω_t^I 、は1990年代に大幅なマイナスとなったが、その後、マイ

5) 物的資本投資ウェッジ、 Ω_t^T 、及びR&D投資ウェッジ、 Ω_t^I 、についてはt+1期のウェッジがt期のウェッジに依存するため、水準を定める基準がないが、ここでは2011年以降の物的資本投資ウェッジ及びR&D投資ウェッジが1となるように両ウェッジの初期値を与えた。

図1 計測されたウェッジ



ナス幅が縮小している。FGP 部門の生産性ウェッジ・レート, $1 - a_t^1$, は 1990 年にかけて低下してマイナス（つまり、生産性がそのトレンドを上回る）となったが、その後は徐々に上昇傾向にある。R&D 部門の生産性ウェッジ・レート, $1 - a_t^2$, も 1990 年にかけて低下したもののその後急上昇し、2000 年代中盤以降はプラス圏に浮上している。図 5 では各ウェッジ・

レートがマイナスの時は、労働供給、投資、生産に対して促進的な効果をもち、各ウェッジ・レートがプラスの時は、労働供給、投資、生産に対して抑制的な効果をもつ。

計測されたウェッジを外生変数としてモデルに与えて 1980 年から 2011 年についてモデルに内生変数を生成させると、実際に観測されたデータと一致する。

VI. 政策シミュレーション

この節では、前節で検討した数値モデルを用いて、外挿区間におけるシミュレーションを行い、異なる外生変数、政策環境の下での経済の定常均衡、及び、収束経路について検討する。非線形モデルに定常状態に収束する経路の内生変数を生成させる方法の一つとして、制御変数の初期値を次々に試し打ちして定常状態に収束する経路を見出す「シューティング・アルゴリズム」がある。このモデルでは制御変数が複数

存在するため、定常状態に収束する初期の制御変数の値をグリッド上から探し出す方法を用いた⁶⁾。この非線形モデルの収束経路を見つけるこの方法では、定常均衡が異なってくるような外生変数の変化があった際にも、シミュレーションが可能である。外挿区間は 2012 年から 2070 年の期間とし、2070 年、あるいはそれより早い時点で経済が定常状態に到達するものとして、予測シミュレーションを行う。

6) 複数の制御変数がある場合のシューティング・アルゴリズムの詳細は Appendix B を参照。

予測シミュレーションを行うためには、外生変数のベースライン・シナリオを用意する必要がある。最終財部門のTFPについては、その1980年から2011年までの成長トレンド、 $(1+\gamma)^t A_0^1$ が2020年以降も継続するものと仮定している。R&D部門のTFPについては、2020年以降、最終財部門のTFPと同じ率で成長すると仮定した。人的資本についても、1980年から2011年の平均成長率で2020年以降も成長すると仮定している。外生変数の急激な変動を避けるため、2012年から2019年については2011年の値と2020年の値の線形補完とした。消費税率については、税率を2014年に8%に、2017年に10%に引き上げ、その後は10%で推移すると想定した。消費税以外の税率については、1980年から2011年の平均税率を求め、2020年以降はその平均税率、2012年から2019年については2010年の値と2020年の値の線形補完とした。物的資本投資ウェッジ及びR&D資本投資ウェッジについては2012年以降の期間は全て1を取ると仮定した。図2にベースラ

イン・シナリオにおける外生変数の推移を示す。

更に、考慮すべき点として人口構成の高齢化に伴う、社会保障関連の負担増をどのようにシナリオに組み込むのかという点がある。このモデルに労働所得税は組み込まれているものの、高齢化に伴う確定給付型年金の保険料の支払い、介護保険料の支払いといった社会保証制度に伴う負担は組み込まれていない。宮崎（2009）では、労働所得税と同じ働きをする社会保障負担の増加が、労働ウェッジ ($\Omega_t^L = 1 - \omega_t^L$) の低下トレンドを作り出している可能性を指摘している。労働ウェッジの2012年以降の値については高齢化率（65歳以上人口/15歳以上人口）の関数であると仮定して外挿を行う。1980年から2011年の労働ウェッジを高齢化率の2次多項式に回帰すると、図3の左図のような関係が観察される。この関係を用いて外挿区間の高齢化率（「将来人口推計」中位推計）から、労働ウェッジのトレンドを描くと図3の右図の様に推移する。高齢化に伴う社会保障負担の増大を鑑みるに、このような下降トレンドを持つ労働ウェッ

図2 ベースライン・シナリオにおける外生変数

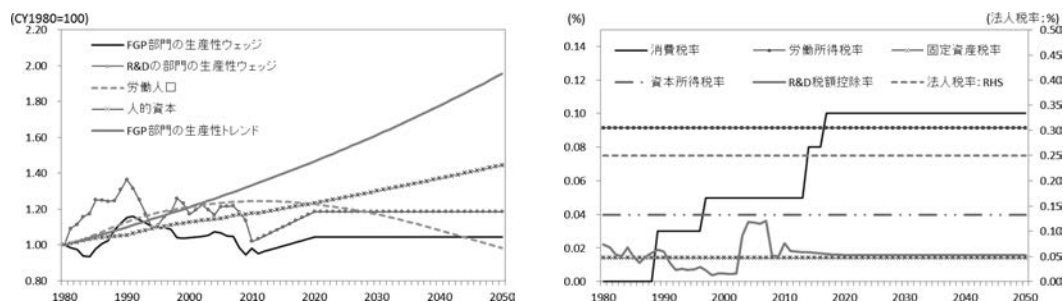
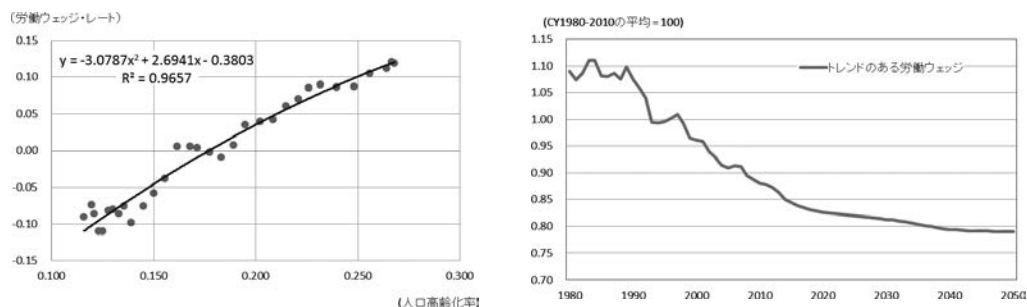


図3 高齢化と労働ウェッジ



ジは十分想定しうるものとする。

次に、公的 R&D 資本ストックの役割をモデルに組み込む。大学からの技術移転や研究室による企業という稀なケースはあるものの、公的 R&D は直接に民間企業の売上や利益に貢献する効果は小さいと考えられる。一方、基礎的な研究を提供することで民間企業の研究開発と特許取得、公的研究機関の研究開発と発展を共に誘発し、R&D 生産の生産性を高める効果があると考えられる。Ikeuchi et al. (2014) はこうした公的 R&D の民間企業生産へのスピルオーバー効果が存在することを指摘している。こうした点は基礎的な研究論文を引用した特許、そして特許をベースにした新製品への開発に至る「サイエンス・リンケージ」として認識され、1つの研究分野を形成しつつある。ここでは、公的 R&D 資本ストックが R&D 生産の TFP 水準と関係があると想定して、政策シミュレーションを試みる。

R&D 生産を、民間企業 R&D, K_t^{IB} , と公的 R&D, K_t^{IP} , (政府と NPISH の R&D) に分け、 K_t^{IP} には次のように R&D 部門の TFP と関係があると想定する。

このとき、最終財部門の生産関数は次の通りで、これまでと変更はない。

$$Y_t = (K_t^{T1})^{\theta_1} (K_t^{IB} + K_t^{IP})^{\phi_1} (A_t^1 Z_t H_t^1)^{\theta_1} \quad (39)$$

一方、R&D 部門の生産関数は、 K_t^{IP} が2つのルートで生産に貢献することになる。

$$X_t^I = (K_t^{T2})^{\theta_2} (K_t^{IB} + K_t^{IP})^{\phi_2} (A_t^2 (K_t^{IP}) Z_t H_t^2)^{\theta_2} \quad (40)$$

公的 R&D 資本ストックの R&D 生産への直接効果は、代表的企業の行動やそれを保有する代表的家計の最適化行動で考慮されるが、 $A_t^2(K_t^{IP})$ という R&D 部門の TFP を通じての効果はスピルオーバー効果であるため、代表的企業、代表的家計にとって外生変数として扱われる。

公的 R&D ストックが R&D 部門の TFP に与える影響については、1965-2011 年の公的 R&D 資本ストック、 K_t^{IP} , と同期間の R&D 部門の TFP, A_t^2 , から次の回帰式で推定する。

$$\log(A_t^2 - \bar{A}^2) = \rho \cdot \log(K_t^{IP} - \bar{K}^{IP}) + e_t \quad (41)$$

ここで、 $\bar{A}^2$ と $\bar{K}^{IP}$ はそれぞれ、 A_t^2 と K_t^{IP} の通時平均値である。推定された係数は $\rho = 0.3609$, である。R&D 部門の生産性の外挿区間については表5の3つのシナリオで公的 R&D 生産を成長させる。

図4は公的 R&D 投資の2012年以降の伸び率についての上記3つのシナリオについて、公的 R&D ストックによる R&D 生産の TFP へのスピルオーバーを想定したモデルで定常状態への収束経路を計算したものである。図5には、この政策シミュレーションの2070年の数値を示した。数値モデルで収束経路を求める際には2070年、あるいは、それ以前に経済は定常状

表5 政策シミュレーションのシナリオ

	公的 R&D 投資の成長率	
シナリオ 1	$\frac{X_{t+1}^{IP}}{X_t^{IP}} = 0.995$	2001-2011 年の平均成長率
シナリオ 2	$\frac{X_{t+1}^{IP}}{X_t^{IP}} = 1.012$	1991-2011 年の平均成長率
シナリオ 3	$\frac{X_{t+1}^{IP}}{X_t^{IP}} = 1.020$	-

図4 公的R&D投資政策のシミュレーションの結果（収束経路）

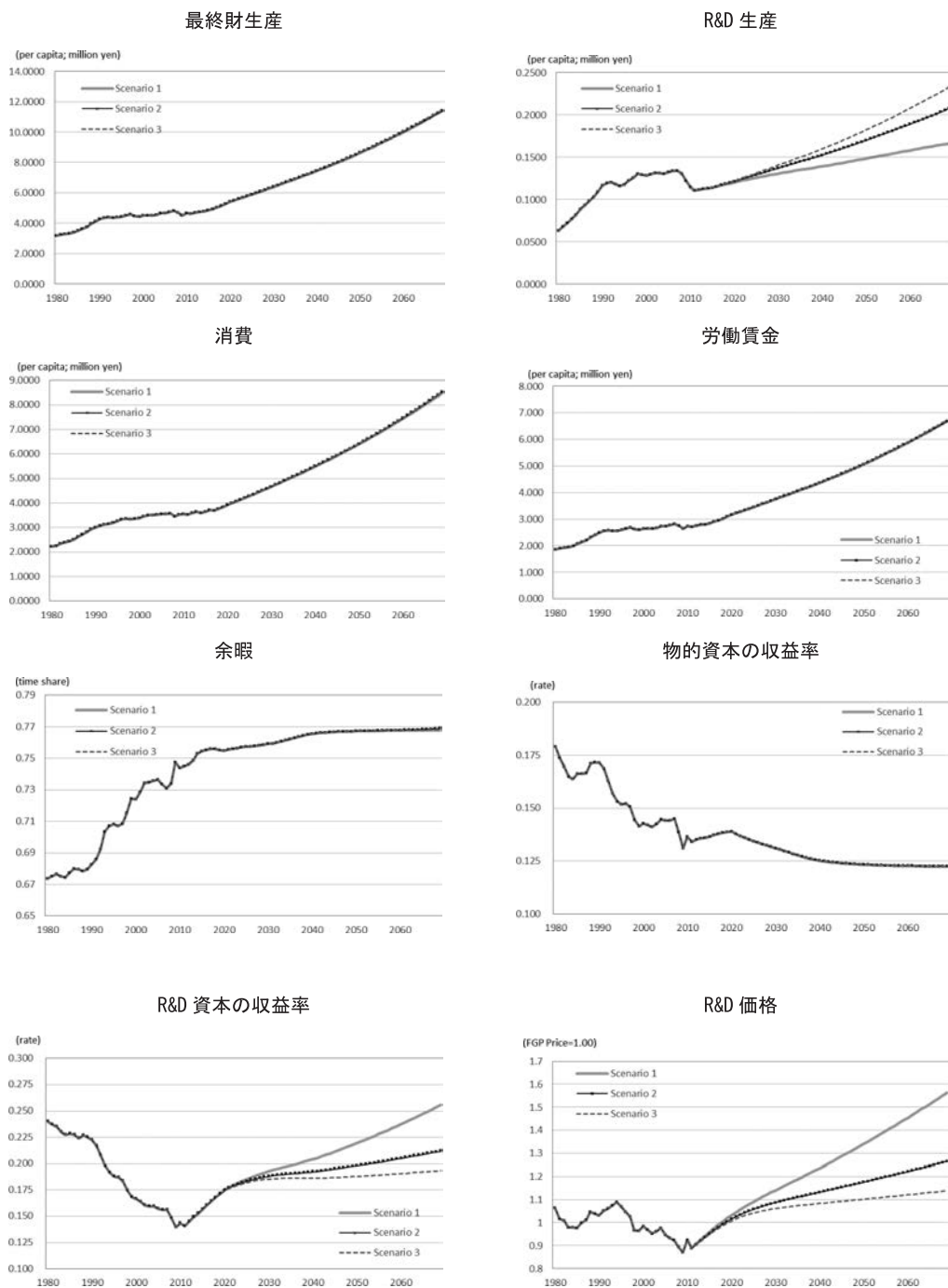
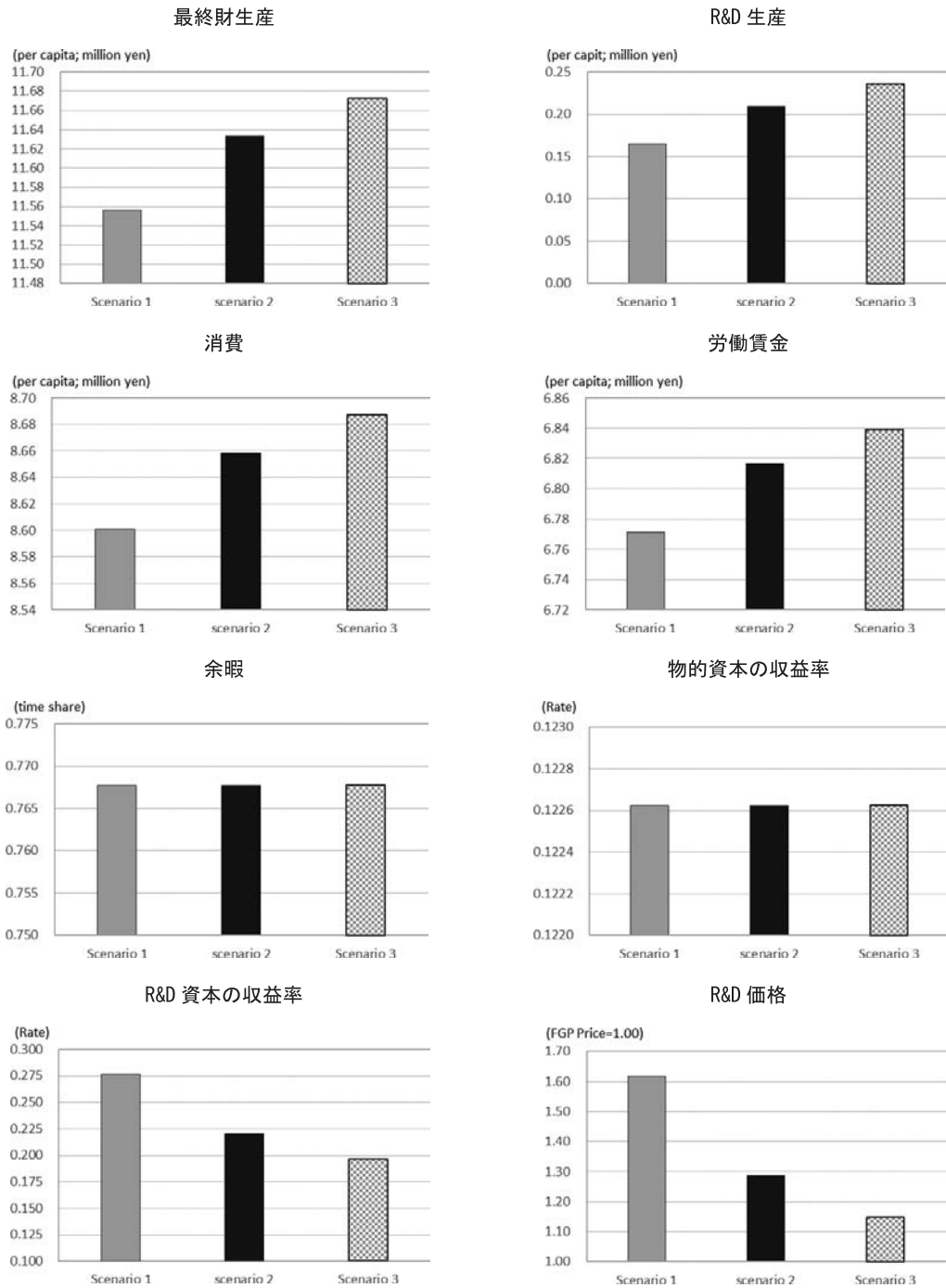


図5 公的 R&D 投資政策のシミュレーションの結果 (2070 年の値)



態に到達しているものとして計算している。2070年における内生変数を比較するとシナリオ3ではシナリオ1に比べ、毎年の最終財生産は1%程高くなる（図5左上）。また、R&D生産は42%ほど増加し（図5右上）、R&D生産物の相対価格は29%ほど低下する（図5右

下）。消費、賃金率は最終財生産と同様に1%高くなり（図5第2段目左と図5第2段目右）、余暇時間は変化がない（図5第3段目左）。このシミュレーションでは公的R&D投資を増やすことで、経済厚生を高めることが示された。

Ⅶ. 結語

この論文では、日本のR&D資本ストックを主として「科学技術研究調査」のデータを用いて推計し、人的資本ストックをBarro and Lee（2013）の平均就学年数とMiyazawa（2011）のミンサー型賃金関数を参考に推計した。また、最終財生産部門とR&D生産部門の物的資本ストック及び労働投入を用いることで、R&D資本ストックを共有する最終財生産とR&D生産の生産関数の構造パラメーターを推計した。最終財生産部門とR&D生産部門の生産関数を持つ2部門一般均衡動学モデルを構築し、残りの構造パラメーターを推計、またはカリブレートして以下の分析に用いた。第1に、成長会計を行った。最終財生産部門、R&D生産部門それぞれの成長会計を実施することで、それぞれの生産要素、TFPの生産への貢献を評価した。第2に、将来の人口、人的資本、TFP、税率等の外生変数を外挿し、公的R&D支出という科学技術政策の定常均衡、経済成長経路への影響を評価する政策シミュレーションを行った。

主要な結果は以下のとおりである。第1に、最終財生産におけるR&D資本分配率は0.017と小さい一方、R&D部門におけるR&D資本分配率は0.37と高い。第2に、推計した最終財生産、R&D生産の生産関数を用いた成長会計では、最終財のTFP上昇率が1990年代以降低下しているのみならず、R&D生産のTFP成長率も同時期に低下している。第3に、公的R&Dのスピルオーバー効果の役割を想定した

モデルによる政策シミュレーションでは、公的R&D投資の増加がR&D部門のTFPを上昇させ、R&D生産をかなり押し上げることを示した。同時に最終財生産部門の生産、家計の消費についても増加させることを示した。

残された課題も多い。今回構築したモデルではR&D資本の非競合性、公的R&DのR&D生産性へのスピルオーバーを組み込んで分析を行ったが、公的R&Dの実施機関は大学・大学院を含む高等教育機関、あるいは若手研究者を養成する研究機関であるケースが多い。従って、公的R&D資本の蓄積は、平均就学年数では計測できない人的資本の向上に結びついている可能性もある。公的R&Dの教育水準（人的資本or TFP成長の共通トレンド）への効果を取り入れるには、FGP部門、R&D部門に加えて、教育部門をモデルに組み込み、家計が物的資本投資、人的資本投資、R&D投資を行う数値モデルを考える必要がある。

また、この研究では計測可能な非物的資本として、R&D資本、人的資本を取り上げたが、2008SNAでは、その他の知的財産生産物として「Artistic Originals」を計上することが推奨されており、米国、英国等の国民経済計算では実際に推計が行われている。英国の文化メディア・スポーツ省（2016）では「Artistic Originals」やソフトウェアを主として生産する産業が英国の経済成長を牽引している事も指摘されている。こうした非物的資本を計測し、

その経済における役割・作用を明らかにしていくことも今後の研究課題である。

参 考 文 献

- 大津敬介 (2008) 「実物景気循環理論と日本経済」『金融研究』, 27(4), pp. 45-86
- 川崎泰史 (2006) 「R&D の資本化について」『New ESRI Working Paper Series』 No. 1
- 茂野正史 (2012) 「我が国の国民経済計算における R&D 資本化の導入に向けて」『季刊国民経済計算』 No. 149, pp. 83-99
- 外木暁幸・北岡美智代・小林裕子 (2014) 「R&D 資本投資の四半期及び確報推計手法の研究」『季刊国民経済計算』 No. 153, pp. 91-113
- 内閣府経済社会総合研究所 (2010) 「R&D サテライト勘定の調査研究報告書」『季刊国民経済計算』 No. 144, pp. 1-222
- 宮崎憲治 (2009) 「動学的一般均衡租税モデルと景気循環会計」『経済志林』, 77(2), pp. 27-72
- Arato, H., and Yamada, K. (2012), “Japan’s Intangible Capital and Valuation of Corporations in a Neoclassical Framework”, *Review of Economic Dynamics*, 15(4), 459-478
- Barro, R.J., and Lee, J.W. (2013), “A new data set of educational attainment in the world, 1950–2010”, *Journal of Development Economics*, 104, 184-198
- Bureau of Economic Analysis and National Science Foundation (2006), “R&D Satellite Account: Preliminary Estimates”
- Chari, V.V., Kehoe, P.J. and McGrattan, E.R. (2007), “Business Cycle Accounting”, *Econometrica*, 75(3), 781-836
- Corrado, C., Hulten, C., & Sichel, D. (2009), “Intangible capital and US economic growth”, *Review of Income and Wealth*, 55(3), 661-685
- Department of Culture, Media, and Sport (2016), “Creative Industries Economic Estimates”, UK Government.
- Fukao, K., Miyagawa, T., Mukai, K., Shinoda, Y., and Tonogi, K. (2009), “Intangible investment in Japan: Measurement and contribution to economic growth”, *Review of Income and Wealth*, 55(3), 717-736
- Hayashi, F. & Prescott, E.C. (2002), “The 1990s in Japan: A lost decade”, *Review of Economic Dynamics*, 5(1), 206-235
- Ikeuchi, K., Fukao, K., Belderbos R., Kwon H.U. and Kim Y.G (2014), “Plant Location and Private and Public R&D Spillovers: An Analysis of Productivity Effects of Spillovers through Technological, Geographic and Relational Proximity”, *NISTEP discussion Paper Series* No. 93.
- Kobayashi, K., & Inaba, M. (2006), “Business cycle accounting for the Japanese economy”, *Japan and the World Economy*, 18(4), 418-440
- McGrattan, E.R. and Prescott, E.C. (2010), “Unmeasured Investment and the Puzzling U.S. Boom in the 1990s”, *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(4), 88-123
- Miyagawa, T. and Hisa, S. (2013), “Estimates of intangible investment by industry and productivity growth in Japan”, *Japanese Economic Review*, 64(1), 42-72
- Miyazawa, K. (2011), “Measuring Human Capital in Japan”, *RIETI Discussion Paper Series* 11-E-037
- Tonogi, A., Kitaoka, M. and Li, W. (2015), “Empirical Research on Depreciation of Business R&D Capital”, *ESRI Discussion Paper Series* No. 319

補論1. R&D 資本投資及び R&D 資本ストックの計測

R&D 資本投資、及び、R&D 資本ストックの計測は、内閣府経済社会総合研究所（2010）の方法をベースに行った。

総務省『科学技術研究調査』の研究主体別の内部使用研究費のうち、人件費、原材料費、リース料、その他経費、固定資本減耗額の合計を当該、研究主体の R&D 生産額とした。この際、大学、短大他、大学附置研究所の別に、人件費を研究活動に従事したフルタイム換算係数（文部科学省『大学等におけるフルタイム換算データに関する調査報告（平成14年度）』を使用）で調整した。フルタイム換算係数は大学で0.475、短大他で0.342、大学附置研究所で0.634である。研究主体別（企業等、非営利団体／民営研究機関、大学）の R&D 生産額を表6のブリッジテーブルに基づいて、制度部門別の R&D 生産額に組み換えた。R&D 輸出・輸入による調整については、国際収支統計の研究開発サービスの収支が2005年以降のデータしかないため、この研究では行っていない。従って R&D 生産額 = R&D 投資額である。R&D 投資額の実質化は、人件費を毎月勤労統計の定期給与指数総額指数（産業計・5人以上の事業所）

で、原材料費を企業物価指数（中間財）で、リース料・その他経費を消費者物価指数（帰属家賃を除く総合）で、固定資本減耗額を GDP デフレーター（総固定資本形成）で割って行った⁷⁾。最後に、R&D 投資額の資本化は次の資本遷移式を用いて恒久棚卸法で行った。

$$K_{t+1}^I = (1 - \delta^I) K_t^I + X_t^I$$

この際、R&D 資本減耗率（ δ^I ）は BEA（2006）で用いられた15%という数値を用いた。また、R&D 投資の解任期間は0年と仮定している。

R&D 資本ストック額の初期値については、次の式で与えられると仮定した。

$$K_{1959}^I = \frac{(\sum_{t=1960}^{1964} X_t^I)/5}{[\sum_{t=1960}^{1964} (X_{t+1}^I/X_t^I - 1)]/5 + \delta^I}$$

表6 SRD 分類と SNA 分類の対応表

SRD 分類	SNA 制度部門		
	企業	一般政府	NPISH
企業等	○		
国公営研究機関 非営利研究機関		○	○
国公立大学 国公立短大ほか 国公立大学附置研究所		○ ○ ○	
私立大学 私立短大ほか 私立大学附置研究所			○ ○ ○

7) 価格指数はいずれも2005年を1.0として用いた。

補論2. グリッドサーチ・シューティングによる収束経路の計算

関数型と構造パラメーターの値, $\{\beta, \gamma, \psi, \delta^T, \delta^I, \theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2\}$, を与えられた非線形の一般均衡動学モデルの定常均衡は, 第2節第7項の定常状態の条件を満たす内生変数の値を数値的な非線形解法を用いることで求められる。定常均衡に収束するパスについては, 代表的家計, 及び, 代表的企業の最適化条件と経済の一般均衡条件を満たす経路の中で, 定常状態に収束するパスを探すことで求められる。この論文の2部門一般均衡動学モデルでは, 3つの状態変数, $\{\hat{k}_t^{T1}, \hat{k}_t^{T2}, \hat{k}_t^I\}$, と2つの制御変数, $\{h_t^1, h_t^2\}$ が存在することから, 外生変数の時系列と状態変数の初期値, $\{k_1^{T1}, k_1^{T2}, k_1^I\}$ が与えられた下で, 定常状態に収束するパスにのる制御変数の初期値, $\{h_1^1, h_1^2\}$, を探すことになる。このとき, 定常状態に収束するパスにのる制御変数の初期値, $\{h_1^1, h_1^2\}$, を探す方法として, グリッドサーチ・シューティングを用いる。具体的には次のような過程を経て定常状態に至る制御変数の初期値, $\{h_1^1, h_1^2\}$, を見つける。

Step 1: 観測期間の初期を1期, 観測期間の終期をT期, 外挿期間の初期をT+1期, 外挿期間の終期をS期として, 外生変数の系列を用意する。

$$\Xi = \{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\}_{t=1}^S$$

・観測期間の外生変数:

$$\Xi^r = \{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\}_{t=1}^T$$

・外挿期間の外生変数:

$$\Xi^f = \{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\}_{t=T+1}^{S-1}$$

・定常状態の外生変数:

$$\Xi^s = \{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\}_{t=S}$$

Step 2: 2節7項で展開した全ての定常状態の条件式を満たす状態変数の値, $\{k_{ss}^{T1}, k_{ss}^{T2}, k_{ss}^I\}$, を定常状態の外生変数の値, Ξ^s , の下で求める。

Step 3: 状態変数の初期値, $\{\hat{k}_1^{T1}, \hat{k}_1^{T2}, \hat{k}_1^I\}$, と外生変数の系列 Ξ が与えられた下で, 初期の制御変数についてのグリッドから $\{h_1^1, h_1^2; h_1^1, h_1^2 \in [0,1], h_1^1 + h_1^2 \leq 1\}$, $(h_0^1 + h_0^2 \leq 1)$ についての値を選択し, 内生変数の値 $\{h_1^1, h_1^2, \hat{k}_1^{T1}, \hat{k}_1^{T2}, \hat{k}_1^I\}$ を (21) から (33) 式が成立するように解く。この際, 非線形連立方程式を数値解法で解くことになる。

Step 4: 状態変数の前期の値, $\{\hat{k}_t^{T1}, \hat{k}_t^{T2}, \hat{k}_t^I\}$ と内生変数の今期の値, $\{h_t^1, h_t^2\}$, 及び, 外生変数の系列 Ξ が与えられた下で, 内生変数の値 $\{h_{t+1}^1, h_{t+1}^2, \hat{k}_{t+1}^{T1}, \hat{k}_{t+1}^{T2}, \hat{k}_{t+1}^I\}$ を (21) から (33) 式が成立するように解く。これを, $t = 2$ から $t = S - 1$ まで繰り返し, $\{\hat{k}_S^{T1}, \hat{k}_S^{T2}, \hat{k}_S^I\}$ を得る。途中, 内生変数の数値解が得られない場合, 数値が発散して十分大きな値, あるいはゼロに近い十分小さな値に到達した時は計算を停止する。

Step 5: 次の収束条件を満たす, $\{\hat{k}_S^{T1}, \hat{k}_S^{T2}, \hat{k}_S^I\}$, を生成する制御変数の初期値, $\{h_1^1, h_1^2\}$, をグリッド上で探す。

$$\left[\left(\frac{\hat{k}_{ss}^{T1} - \hat{k}_S^{T1}}{\hat{k}_S^{T1}} \right)^2 + \left(\frac{\hat{k}_{ss}^{T2} - \hat{k}_S^{T2}}{\hat{k}_S^{T2}} \right)^2 + \left(\frac{\hat{k}_{ss}^I - \hat{k}_S^I}{\hat{k}_S^I} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \approx 0.$$