No. DP15-9

RCESR Discussion Paper Series

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

2015 年 10 月

外木暁幸
一橋大学経済研究所

RCESR
一橋大学 経済研究所
経済社会リスク研究機構

〒186-8603 東京都国立市中 2-1
http://risk.ier.hit-u.ac.jp/

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*

外木 暁幸†

2015 年 10 月

【要旨】

この研究の目的は R&D 投資減税，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評価することにある．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化した．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．景気循環会計からは，最終財生産の効率性ウェッジは 1990 年代以降の日本経済に対する影響は相対的に弱く，むしろ物的資本投資ウェッジ，労働投入ウェッジが大きな影響力を持ったことが明らかとなった．一方，R&D 生産の効率性ウェッジ及び R&D 投資ウェッジは R&D 生産の変動に大きな影響を示した．政策実験の結果からは，R&D 税額控除制度がなかった場合に最終財生産，R&D 生産，消費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を明らかになった．

Key words: 研究開発投資，一般均衡動学，成長会計，景気循環会計，政策シミュレーション
JEL Classification: E01, E17, E22, O38, O41

---

* 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，楡井誠氏（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（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．

† 一橋大学経済研究所 (E-mail: tonogi-akiyuki@ier.hit-u.ac.jp)

1. はじめに

この研究の目的はR&D（Research and Development）資本と人的資本を組み込んだ動学的一般均衡の数値モデルを構築して政策シミュレーションを行うことで，R&D投資減税，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推計し，経済成長への貢献が高いと結論付けている．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おり，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にして，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（RBC：Real Busines Cycle）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（BCA: Business Cycle Accounting）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構築したモデルの説明力を評価する．

この論文の貢献は，以下の通りである．先ず，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)を参考に推計した．また，推計したR&D資本ストック及び物的資本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

[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．

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（TFP : Total Factor Productivity）の生産への貢献を評価した．第 2 に，景気循環会計を行った．労働投入ウェッジ，物的資本投資ウェッジ，R&D 資本投資ウェッジ，最終財部門の生産性ウェッジ，R&D 生産部門の生産性ウェッジを計測して，それぞれの最終財生産や R&D 生産並びに消費等へのの効果を定量化した．第 3 にカウンターファクチュアル・シミュレーションとして，R&D 投資の税額控除率の R&D 投資への影響度を定量化した．第 4 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，景気循環会計では，最終財生産の効率性ウェッジは 1990 年以降の日本経済の不振に対する説明力は弱く，むしろ，物的資本投資ウェッジは 1990 年代から，労働投入ウェッジは 2000 年代から GNI にマイナスの影響を持ったことが明らかになった．第 4 に，R&D 効率性ウェッジ及び R&D 投資ウェッジは R&D 資本分配率の低さにより GNI には大きな影響を与えないが, R&D 生産には大きな影響を示した．特に R&D 投資ウェッジは 1990 年代以降，一貫して R&D 生産にプラスに影響しており，R&D 投資補助金と同様の効果を持った．第 5 に，政策実験の結果から R&D 税額控除が最終財生産，R&D 生産，消費に一定のプラス効果を持ったことが明らかになった．第 6 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の推計，及びカリブレーションを行う．第 4 節では，構築した生産と生産要素のデータと推計した生産関数を用いて成長会計を行う．第 5 節では，数値モデルを用いてウェッジを計測して景気循環会計を行い，計測されたウェッジがモデルの内生変数にどのような効果を持ったかを検討したのち，R&D 投資税額控除についての政策実験を行う．第 6 節では，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．

2. 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．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 の概念をは導入していない．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 投資税額控除を組み込んでいることである．これは，R&D 資本投資に関わる税制の変更が経済の定常均衡や均衡経路に与える影響に関心があるためである．

2.1. 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．

$$U(c_t, l_t) = ln(c_t) + \psi ln\,(l_t). \tag{1}$$

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, FGP に用いる労働投入，R&D 生産に用いる労働投入に分割する．

$$l_t + h_t^1 + h_t^2 = 1.$$

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．

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

ここで，β $(1 > \beta > 0)$は時間選好要因であり，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 FGP 部門への労働時間，R&D 部門への労働時間，余暇時間，毎期の FGP 部門への物的資本投資，R&D 部門への物的資本投資，R&D 生産と投資，そして消費水準を決定する．

$$c_t + (x_t^{T1} + x_t^{T2}) + q_t x_t^I = r_t^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I + w_t (h_t^1 + h_t^2) + \zeta_t - \tau_t. \tag{3}$$

(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^{T1}, x_t^{T2}, 及び x_t^I はそれぞれ，FGP 部門への物的資本投資，R&D 部門への物的資本投資，R&D 資本投資を意味している．k_t^{T1}, k_t^{T2}, 及び k_t^I はそれぞれ，FGP 部門の物的資本ストック，R&D 部門の物的資本ストック, 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．

$$\begin{aligned}\tau_t = \tau_t^c c_t + \tau_t^h w_t(h_t^1 + h_t^2) + \tau_t^k(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \kappa_t^I q_t x_t^I \\ + \tau_t^p\left(r_t^T(k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T\,(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I\right) \\ + \tau_t^d\big[r_t^T(k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T\,(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I \\ - \tau_t^p\left(r_t^T(k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T\,(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k(k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I\right)\big].\end{aligned} \tag{4}$$

ここで，τ_t^c, τ_t^h, τ_t^k, τ_t^p, 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），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．1 つの家計あたりの政府の収入は税収 τ_t であり，支出は ζ_t である．

FGP に用いる物的資本ストック，k_t^{T1}，R&D に用いる物的資本ストック，k_t^{T2}，及び R&D 資本ストック，k_t^I，はそれぞれ，次の資本遷移式に従って増減する．δ^Tは物的資本減耗率，δ^Iは R&D 資本減耗率である．

$$k_{t+1}^{T1} = [(1-\delta^T)k_t^{T1} + x_t^{T1}](1+\eta_t)^{-1}, \tag{5}$$

$$k_{t+1}^{T2} = [(1-\delta^T)k_t^{T2} + x_t^{T2}](1+\eta_t)^{-1}, \tag{6}$$

$$k_{t+1}^{I} = [(1-\delta^I)k_t^{I} + x_t^{I}](1+\eta_t)^{-1}. \tag{7}$$

ここで，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．

$$N_{t+1} = (1+\eta_t)N_t. \tag{8}$$

$t+1$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．

2.2. 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)式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消費，c_t，FGP 部門への物的資本投資，x_t^{T1}，R&D 部門への物的資本投資，x_t^{T2}，FGP 部門への労働投入，h_t^1，R&D 部門への労働投入，h_t^2，R&D 資本投資，x_t^I，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)，(7)に従う．
問題をラグランジアンの形に表現すると，以下のようになる．

$$\begin{aligned}L = \sum_{t=0}^{\infty}\beta^t U(c_t, l_t) + \sum_{t=0}^{\infty}\beta^t\lambda_t\{r_t^T(k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I + w_t^1(h_t^1 + h_t^2) + \zeta_t - \tau_t \\ - [c_t + (x_t^{T1} + x_t^{T2}) + q_t x_t^I]\}.\end{aligned}$$

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．

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

$$x_t^{T1} = (1+\eta_t)k_{t+1}^T - (1-\delta^T)k_t^{T1},$$

$$x_t^{T2} = (1+\eta_t)k_{t+1}^T - (1-\delta^T)k_t^{T2},$$

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

$$\tau_t = \tau_t^c c_t + \tau_t^h w_t h_t + \tau_t^k (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \kappa_t^I q_t x_t^I$$
$$+ \tau_t^p \left(r_t^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I \right)$$
$$+ \tau_t^d \left[r_t^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I \right.$$
$$\left. - \tau_t^p \left(r_t^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I - \delta^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - \tau_t^k (k_t^{T1} + k_t^{T2}) - q_t x_t^I \right) \right].$$

先ず，家計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消費水準，c_t，についての 1 階の偏微分を表す．t 期の消費についての 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．

FGP 部門への労働投入の 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．R&D 部門への労働投入 1 階の条件は，上記と等しい．

物的資本に関する 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，課税後の物的資本の利回りに等しいことを示している．

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

R&D 資本関する 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．

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

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ことを意味している．

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

このモデルでは，上式左辺第 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は，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 3 つの終端条件を課す．

$$\lim_{i \to \infty} \prod_{j=0}^{i} \frac{1}{1 + r_{t+j}} k_{t+i+1}^{T1} = 0, \tag{9}$$

$$\lim_{i \to \infty} \prod_{j=0}^{i} \frac{1}{1 + r_{t+j}} k_{\mathrm{t+i+1}}^{T2} = 0, \tag{10}$$

$$\lim_{i\to\infty}\prod_{j=0}^{i}\frac{1}{1+r_{t+j}}k_{i+1}^{I}=0. \tag{11}$$

2.3. 代表的企業

代表的企業は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．

$$Y_t=(K_t^{T1})^{\theta_1}(K_t^I)^{\phi_1}(A_t^1Z_tH_t^1)^{\varphi_1}. \tag{12}$$

ここで $\theta_1+\phi_1+\varphi_1=1$ ，かつ， θ_1，ϕ_1，φ_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．

$$X_t^I=(K_t^{T2})^{\theta_2}(K_t^I)^{\phi_2}(A_t^2Z_tH_t^2)^{\varphi_2}. \tag{13}$$

ここで， $\theta_2+\phi_2+\varphi_2=1$，かつ，$\theta_2$，$\phi_2$，$\varphi_2$>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．

$$A_{t+1}^1=(1+a_t^1)(1+\gamma)A_t^1, \tag{14}$$

$$A_{t+1}^2=(1+a_t^2)(1+\gamma)A_t^2. \tag{15}$$

人的資本水準， Z_t，は外生的に成長率 z_tで変動する．

$$Z_{t+1}=(1+z_t)Z_t. \tag{16}$$

代表的企業の利潤は以下のとおりである．

$$\Pi_t=Y_t+q_tX_t^I-(r_t^T(K_t^{T1}+K_t^{T2})+r_t^IK_t^I+w_t(H_t^1+H_t^2)). \tag{17}$$

2.4. 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(14)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 k あら，物的資本収益率は 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.

$$q_t = \frac{\theta_1}{\theta_2} \frac{Y_t}{X_t^I} \frac{K_t^{T2}}{K_t^{T1}}. \tag{18}$$

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.

$$w_t = \varphi_1 \frac{Y_t}{H_t^1}.$$

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.

$$w_t = \varphi_2 \frac{q_t X_t^I}{H_t^2}.$$

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.

$$q_t = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \frac{Y_t}{X_t^I} \frac{H_t^2}{H_t^1}. \tag{19}$$

企業が利潤最大化行動を行っている場合，(18)，(19)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.

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} \frac{K_t^{T2}}{K_t^{T1}} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \frac{H_t^2}{H_t^1}. \tag{20}$$

2.5. 動学的一般均衡の条件

代表的家計，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^{T1}, k_0^{T2}, 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)の予算制約式，(5)，(6)，(7)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(12)，(13)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，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.
- 全ての期で市場の均衡条件が成立する．つまり，最終財市場（$Y_t = N_t(x_t^{T1} + x_t^{T2} + c_t)$），R&D 生産物市場（$\mathrm{X}_\mathrm{t}^I = N_t x_t^I$），FGP の労働市場（$H_t^1 = N_t h_t^1$），R&D の労働市場（$H_t^2 = N_t h_t^2$），FGP 部門の物的資本市場（$K_t^{T1} = N_t k_t^{T1}$），R&D 部門の物的資本市場（$K_t^{T2} = N_t k_t^{T2}$），及び R&D 資本市場（$K_t^I = N_t k_t^I$）がそれぞれ需給均衡する.
- 全ての期で政府の予算制約式が均衡する（$\tau_\mathrm{t} = \zeta_t$）.
- 終端条件，(9), (10), 及び(11)を満たす.

2.6. 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，$(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t$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．消費：$\hat{c}_t = \frac{c_t}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$，　FGP 部門の物的資本：$\hat{k}_t^{T1} = \frac{k_t^{T1}}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$，R&D 部門の物的資本: $\hat{k}_t^{T2} = \frac{k_t^{T2}}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$, R&D 資本: $\hat{k}_t^I = \frac{k_t^I}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$, FGP 生産の TFP: $\hat{\mathrm{a}}_\mathrm{t}^1 = \frac{A_t^1}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$, R&D 生産の TFP: $\hat{\mathrm{a}}_\mathrm{t}^2 = \frac{A_t^2}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t}$, 最終財の生産: $\hat{y}_t = \frac{y_t}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t} = \left(\hat{k}_t^{T1}\right)^{\theta_1}\left(\hat{k}_t^I\right)^{\phi_1}(\hat{a}_t^1 h_t^1)^{\varphi_1}$, R&D の生産: $\hat{x}_t^I = \frac{x_t^I}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1 Z_t} = \left(\hat{k}_t^{T2}\right)^{\theta_2}\left(\hat{k}_t^I\right)^{\phi_2}(\hat{a}_t^2 h_t^2)^{\varphi_2}$ とそれぞれ定義する．このとき，$\hat{a}_t^1 = \frac{A_t^1}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1}$，そして，$\hat{a}_t^2 = \frac{A_t^2}{(1+\gamma)^\mathrm{t} A_0^1}$ である.

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,

$$\hat{\lambda}_t = \frac{1}{\hat{c}_t(1+\tau_t^c)} = (1+\gamma)^\mathrm{t} Z_t \lambda_\mathrm{t}\,. \tag{21}$$

消費と余暇についての 1 階の条件は,

$$\hat{\mathrm{c}}_\mathrm{t} = \frac{\left(1-\tau_t^h\right)}{1+\tau_t^c}\frac{(1-h_t)\hat{w}_t}{\psi}. \tag{22}$$

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,

$$\hat{\lambda}_t = \hat{\beta}_t \hat{\lambda}_{t+1}\left[1 + \left(r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k\right)\left(1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p\right)\right]. \tag{23}$$

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，

$$\hat{\lambda}_t = \hat{\beta}_t \hat{\lambda}_{t+1} \times \left[\frac{r^I_{t+1} + q_{t+1}(1-\delta^I)(1-\kappa^I_{t+1}) + (r^I_{t+1} + q_{t+1}(1-\delta^I))(-\tau^p_{t+1} - \tau^{\mathrm{d}}_{t+1} + \tau^{\mathrm{d}}_{t+1}\tau^p_{t+1})}{q_t\left[(1-\kappa^I_t) - \tau^p_t - \tau^d_t + \tau^d_t\tau^p_t\right]}\right]. \quad (24)$$

R&D 資本と物的資本についての 1 階の条件は，

$$1 + \left(r^T_{t+1} - \delta^T - \tau^k_{t+1}\right)(1 - \tau^d_{t+1} - \tau^p_{t+1} + \tau^d_{t+1}\tau^p_{t+1}) = \frac{r^I_{t+1} + q_{t+1}(1-\delta^I)(1-\kappa^I_{t+1}) + (r^I_{t+1} + q_{t+1}(1-\delta^I))(-\tau^p_{t+1} - \tau^{\mathrm{d}}_{t+1} + \tau^{\mathrm{d}}_{t+1}\tau^p_{t+1})}{q_t\left[(1-\kappa^I_t) - \tau^{\mathrm{p}}_t - \tau^d_t + \tau^d_t\tau^p_t\right]}. \quad (25)$$

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，

$$w_t = \varphi_1 \frac{\hat{y}_t}{h^1_t} = \varphi_2 \frac{q_t \hat{x}^I_t}{h^2_t}. \quad (26)$$

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，

$$\mathrm{r}^T_{\mathrm{t}} = \theta_1 \frac{\hat{y}_t}{\hat{k}^{T1}_t} = \theta_2 \frac{q_t \hat{x}^I_t}{\hat{k}^{T2}_t}. \quad (27)$$

R&D 資本についての 1 階の条件は，

$$r^I_t = \frac{\phi_1 \hat{y}_t + \phi_2 q_t \hat{x}^I_t}{\hat{k}^I_t}. \quad (28)$$

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のようになる．

$$\hat{x}^{T1}_t = (1+\eta_t)(1+\gamma)(1+z_t)\hat{k}^{T1}_{t+1} - (1-\delta^T)\hat{k}^{T1}_t, \quad (29)$$

$$\hat{x}^{T2}_t = (1+\eta_t)(1+\gamma)(1+z_t)\hat{k}^{T2}_{t+1} - (1-\delta^T)\hat{k}^{T2}_t, \quad (30)$$

$$\hat{x}^I_t = (1+\eta_t)(1+\gamma)(1+z_t)\hat{k}^I_{t+1} - (1-\delta^I)\hat{k}^I_t, \quad (31)$$

$$\hat{c}_t + \hat{x}^{T1}_t + \hat{x}^{T2}_t = \hat{y}_t, \quad (32)$$

$$\hat{\tau}_{\mathrm{t}} = \hat{\zeta}_t. \quad (33)$$

2.7. 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．

$$\hat{y}_{ss} = \left(\hat{k}^{T1}_{ss}\right)^{\theta_1}\left(\hat{k}^I_{ss}\right)^{\phi_1}(\hat{a}^1_{ss}h^1_{ss})^{\varphi_1}.$$

R&D 部門の生産の定常状態での値は次の通り．

$$\hat{x}^I_{ss} = \left(\hat{k}^{T1}_{ss}\right)^{\theta_2}\left(\hat{k}^I_{ss}\right)^{\phi_2}(\hat{a}^2_{ss}h^2_{ss})^{\varphi_2}.$$

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

$$\hat{c}_{ss} = \frac{(1-\omega^L_{ss})(1-\tau^h_{ss})}{1+\tau^c_{ss}}\frac{(1-h_{ss})}{\psi}\hat{w}_{ss}.$$

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．

$$1 = \hat{\beta}_{ss}\left[1 + (1-\tau_{ss}^{d})\left(1-\tau_{ss}^{p}\right)(\mathrm{r}_{ss}^{\mathrm{T}} - \delta^{T} - \tau_{ss}^{k})\right]$$

$$\Leftrightarrow r_{ss}^{T} = \frac{1-\hat{\beta}}{\hat{\beta}\left(1-\tau_{ss}^{d}\right)\left(1-\tau_{ss}^{p}\right)} + \delta^{T} + \tau_{ss}^{k},$$

ここでは $\omega_{ss}^{T} = 0$ が仮定されている.

$$1 = \hat{\beta}_{ss}\left[\frac{r_{ss}^{I} + q_{ss}(1-\delta^{I})(1-\kappa_{ss}^{I}) + (r_{ss}^{I} + q_{ss}(1-\delta^{I}))(-\tau_{ss}^{p} - \tau_{ss}^{\mathrm{d}} + \tau_{ss}^{\mathrm{d}}\tau_{ss}^{p})}{q_{ss}\left[(1-\kappa_{ss}^{I}) - \tau_{ss}^{p} - \tau_{ss}^{d} + \tau_{ss}^{d}\tau_{ss}^{p}\right]}\right],$$

ここでは $\omega_{ss}^{I} = 0$ が仮定されている.

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

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

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

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.

$$\hat{x}_{ss}^{T1} = [(1+\eta_{ss})(1+\gamma_{ss})(1+z_{ss}) - (1-\delta^{T})]\hat{k}_{ss}^{T1},$$
$$\hat{x}_{ss}^{T2} = [(1+\eta_{ss})(1+\gamma_{ss})(1+z_{ss}) - (1-\delta^{T})]\hat{k}_{ss}^{T2},$$
$$\hat{x}_{ss}^{I} = [(1+\eta_{ss})(1+\gamma_{ss})(1+z_{ss}) - (1-\delta^{I})]\hat{k}_{ss}^{I},$$
$$\hat{c}_{ss} + \hat{x}_{ss}^{T1} + \hat{x}_{ss}^{T2} = \hat{y}_{ss},$$
$$\hat{\tau}_{\mathrm{ss}} = \hat{\zeta}_{\mathrm{ss}}.$$

3. カリブレーションと構造推定

3.1. モデルに対応したデータの構築

子の小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.

先ず，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』（Servey of Reserch 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.

$$\textbf{R\&D総生産} = \textbf{SRDの内部使用研究費(コスト)}.$$

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して定義される.

$$\textbf{最終財総生産} =$$
$$\textbf{GNI}^{93} - \left(\textbf{政府R\&D 総生産} - \textbf{政府R\&D 資本減耗}\right) - \left(\textbf{NPISH R\&D 総生産} - \textbf{NPISH R\&D資本減耗}\right).$$

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

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

次に，R&D 部門のの物的資本総投資，X_t^{T2}，は次のように求める.

$$\textbf{R\&D部門の物的資本投資} = \textbf{SRDにおける有形固定資産購入費}.$$

次に，消費水準，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.

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

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，労働投入の合計（，h_t，については次のように求めた.

$$\textbf{労働時間比率} = \frac{\textbf{年間労働時間}}{\textbf{年間保有時間}}.$$

ここで,

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

[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.

年間保有時間＝1日の保有時間(16時間)×年間所定労働日数(250日)×15歳以上人口.

FGP 部門と R&D 部門の労働の配分については(20)式から，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.

$$Z_t = \left(\frac{\alpha_M}{1-\psi_M}(s_t)^{1-\psi_M}\right). \tag{34}$$

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, $\alpha_M = 0.32$, $\psi_M = 0.28$ を用いた.

3.2. 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×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適用した.

資本所得税率，τ_t^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_t^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.

[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.

3.3. 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は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ーを構造パラメーターと呼ぶ．生産関数のパラメーターや効用関数のパラメーター，資本減耗率などはこのような構造パラメーターに該当する．

資本減耗率

物的資本の資本減耗率，δ^T，については 1980 年から 2011 年の資本ストックに対する固定資本減耗率の平均値を用いた．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_t^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ーは, 両部門の労働分配率パラメーター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 推計した．

FGP 部門の労働分配率のパラメーター，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ー，φ_2，については，SRD の R&D 人件費[4]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，$\theta_1, \phi_1, \theta_2$ 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(25)，(27)式をモーメント条件に用いて，以下の設定で GMM 推計する．

$$\min_{\theta_1,\theta_2} \Gamma(\mathrm{M};\theta_1,\theta_2) = \chi(\mathrm{M};\theta_1,\theta_2)\Sigma^{-1}\chi(\mathrm{M};\theta_1,\theta_2)', \tag{35}$$

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

[4] 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．

$$f_1(m_t;\theta_1,\theta_2) = 1 + \left(r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k\right)\left(1 - \tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d\tau_{t+1}^p\right) - \frac{\left(r_{t+1}^I + q_{t+1}(1-\delta^I)(1-\kappa_{t+1}^I)\right)\left(1 - \tau_{t+1}^p - \tau_{t+1}^d + \tau_{t+1}^d\tau_{t+1}^p\right)}{q_t\left[(1-\kappa_t^I) - \tau_t^p - \tau_t^d + \tau_t^d\tau_t^p\right]},$$

$$f_2(\mathrm{X};\theta_1,\theta_2) = \theta_1\frac{\hat{y}_t}{\hat{k}_t^{T1}} - \theta_2\frac{q_t\hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^{T2}},$$

ここで,

$$r_t^I = \frac{\phi_1\hat{y}_t + \phi_2 q_t\hat{x}_t^I}{\hat{k}_t^I},$$

$$\varphi_1 = 1 - \phi_1 - \theta_1,$$

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

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，(15)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．$\Gamma(\mathrm{M};\theta_1,\theta_2)$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	0.980000000000000
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	0.150000000000000

4. 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 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 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．

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

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．

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

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(12),(13)式と同じである.

$$Y_t = (K_t^{T1})^{\theta_1}(K_t^I)^{\phi_1}(A_t^1 Z_t H_t^1)^{\varphi_1},$$
$$X_t^I = (K_t^{T2})^{\theta_2}(K_t^I)^{\phi_2}(A_t^2 Z_t H_t^2)^{\varphi_2}.$$

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[5].

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

[5] 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，労働市場の賃金の均等条件と資本市場の物的資本収益率の検討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.

5. 景気循環会計

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，日本経済の市場の歪み（ウェッジ）を計測し，景気循環に与える各ウェッジの効果を評価する．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．

5.1. 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．

$$\begin{aligned} c_t + (1+\omega_t^T)(x_t^{T1} + x_t^{T2}) + (1+\omega_t^I) q_t x_t^I \\ = r_t^T (k_t^{T1} + k_t^{T2}) + r_t^I k_t^I + (1-\omega_t^L) w_t (h_t^1 + h_t^2) + \zeta_t - \tau_t. \end{aligned} \tag{36}$$

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，(22), (23), 及び(24)式は次の(37), (38), 及び(39)式のように書き換えられる．

労働投入ウェッジ，$\Omega_t^L = 1 - \omega_t^L$，を組み込むことで(22)式は次のように書き換えることができる．

$$\Omega_t^L = (1-\omega_t^L) = c_t \frac{1+\tau_t^c}{1-\tau_t^h} \frac{\psi(1-h_t)^{-1}}{w_t} = \left(\frac{1+\tau_t^c}{1-\tau_t^h}\right)\left(\frac{\hat{c}_t}{\hat{y}_t}\right)\frac{\psi}{\varphi_1}\left(\frac{h_t^1}{l_t}\right). \tag{37}$$

労働投入ウェッジ・レート，ω_t^L，は労働所得税率と同じインセンティブ上の効果を持つ．

物的資本投資ウェッジ，$\Omega_t^T = 1 + \omega_t^T$，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，(23)式は次のように書き換えることができる．

$$\Omega_t^T = \hat{\beta}_t \frac{\hat{c}_t}{\hat{c}_{t+1}}\left(\frac{1+\tau_t^c}{1+\tau_{t+1}^c}\right)\left\{r_{t+1}^T + (1-\delta^T)\Omega_{t+1}^T - \tau_{t+1}^k + (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)\left(r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k\right)\right\}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\Omega_{t+1}^T = \frac{\frac{1}{\hat{\beta}_t}\frac{\hat{c}_{t+1}}{\hat{c}_t}\left(\frac{1+\tau_{t+1}^c}{1+\tau_t^c}\right)\Omega_t^T - r_{t+1}^T + \tau_{t+1}^k - (-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d \tau_{t+1}^p)\left(r_{t+1}^T - \delta^T - \tau_{t+1}^k\right)}{1-\delta^T}. \tag{38}$$

物的資本投資ウェッジ・レート，ω_t^T，は物的資本投資に対する税率と同じインセンティブ上の役割を効果を持つ.

R&D 投資ウェッジ，$\Omega_t^I = 1 + \omega_t^I$，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，(24)式は次のように書き換えることができる．.

$$
\begin{aligned}
q_t\left[(\Omega_t^I - \kappa_t^I) - \tau_t^d - \tau_t^p + \tau_t^d\tau_t^p\right] &= \hat{\beta}_t \frac{\hat{c}_t}{\hat{c}_{t+1}}\left(\frac{1+\tau_t^c}{1+\tau_{t+1}^c}\right)\left[r_{t+1}^I + q_{t+1}(1-\delta^I)(\Omega_{t+1}^I - \kappa_{t+1}^I)\right. \\
&\left. + (r_{t+1}^I + q_{t+1}(1-\delta^I))(-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p + \tau_{t+1}^d\tau_{t+1}^p)\right] \\
&\Leftrightarrow \\
(\Omega_{t+1}^I - \kappa_t^I)(1-\delta^I)q_t &= \\
q_t\left[(\Omega_t^I - \kappa_t^I) - \tau_t^d - \tau_t^p + \tau_t^d\tau_t^p\right]\frac{1}{\hat{\beta}_t}\frac{\hat{c}_{t+1}}{\hat{c}_t}\left(\frac{1+\tau_{t+1}^c}{1+\tau_t^c}\right) &- (r_{t+1}^I + q_{t+1}(1-\delta^I))(-\tau_{t+1}^d - \tau_{t+1}^p \\
+ \tau_{t+1}^d\tau_{t+1}^p) - r_t^I. &
\end{aligned}
\tag{39}
$$

R&D 投資ウェッジ・レート，ω_t^I，は R&D 投資に対する税率と同じインセンティブ上の役割を効果を持つ.

(12)，(13)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．生産要素及び生産量を$(1+\gamma)^t \mathrm{A}_0^1 Z_t N_t$で割って，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.

$$
\hat{a}_t^1 = \frac{1}{h_t^1}\left(\frac{\hat{y}_t}{\left(\hat{k}_t^{T1}\right)^{\theta_1}\left(\hat{k}_t^I\right)^{\phi_1}}\right)^{\frac{1}{1-\theta_1-\phi_1}}, \tag{40}
$$

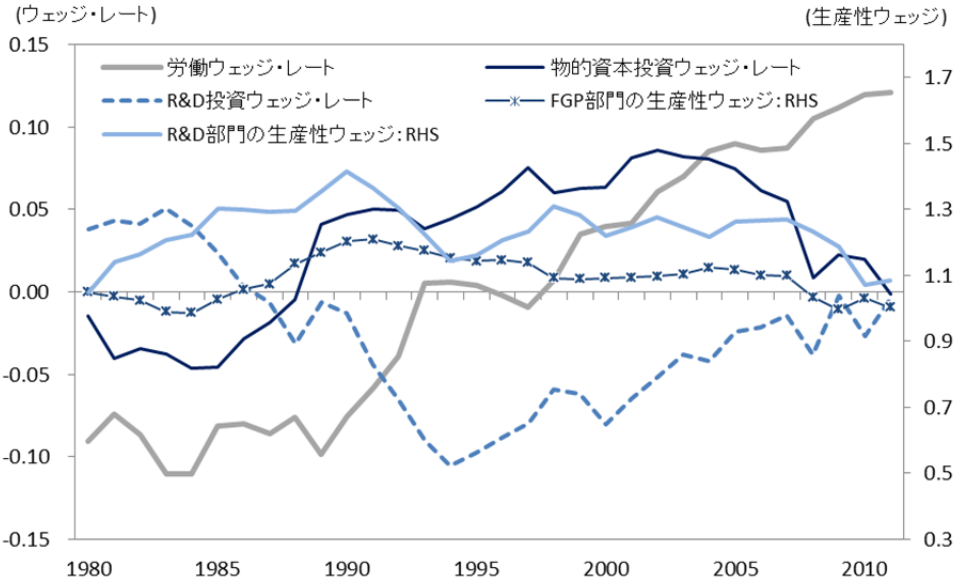
$$
\hat{a}_t^2 = \frac{1}{h_t^2}\left(\frac{\hat{y}_t}{\left(\hat{k}_t^{T2}\right)^{\theta_2}\left(\hat{k}_t^I\right)^{\phi_2}}\right)^{\frac{1}{1-\theta_2-\phi_2}}. \tag{41}
$$

5.2. 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(36)から(41)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.

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，マイナス幅が縮小している．FGP 部門の生産性ウェッジ，$\hat{a}_t^1$，は 1990 年にかけて上昇したものの，その後は低下傾向にある．R&D 部門の生産性ウェッジ，$\hat{a}_t^2$，も 1990 年にかけて上昇したものの，その後はほぼ横ばい，2000 年代中盤以降は低下傾向である.

図 1: 労働投入，物的資本投資，R&D 投資のウェッジ



5.2. ウェッジの経済変数への影響の評価

5 つのウェッジを外生変数として，モデルに内生変数を生成させると，正確に観測されたデータを再現することができる．従って，ある 1 つのウェッジを外生変数から外して生成した内生変数の値と，すべてのウェッジを外生変数としてモデルが生成した内生変数を比較することで，そのウェッジが与えた経済への影響を数値的に評価することができる．この手法は，Chari, Kehoe and McGrattan (2007)が景気循環会計（BCA）と呼んだ手法である[6].

外生変数を与えて定常均衡を計算し，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内生変数をグリッド上から探し出す方法を用いた[7].

図 2 は景気循環会計を行う際の外生変数の観測された値，及び，2012 年以降の外挿値を示している. 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．人口及び人的資本についても，1980 年から 2011

[6] 外生変数として全てのウェッジを与えたモデルは，観測されたデータと正確に一致した内政変数を生成するが，それが収束経路であるとは限らない. 外生変数の 1980-2010 年の平均値が定常状態で実現すると仮定した場合の定常状態へ収束する制御変数をグリッドサーチ・シューティングで求めたところ，その際に生成される内生変数は観測されたデータと若干乖離する．この論文では，この定常状態に収束するケースの内生変数をベンチマークとして，景気循環会計を行う．非線形の一般均衡動学モデルにおいて収束経路を求めた際に，外生変数として全てのウェッジを与えたモデルが観測されたデータと正確に同じ内政変数を生成する方法，あるいは定常状態に到達し，なおかつ，観測されたデータと正確に一致するウェッジの推計方法については今後の研究課題である．

[7] 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.

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．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.労働ウェッジについては2020年以降の期間に全て1を取ると仮定し，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.

図 2:景気循環会計における外生変数(ベンチマーク･ケース)

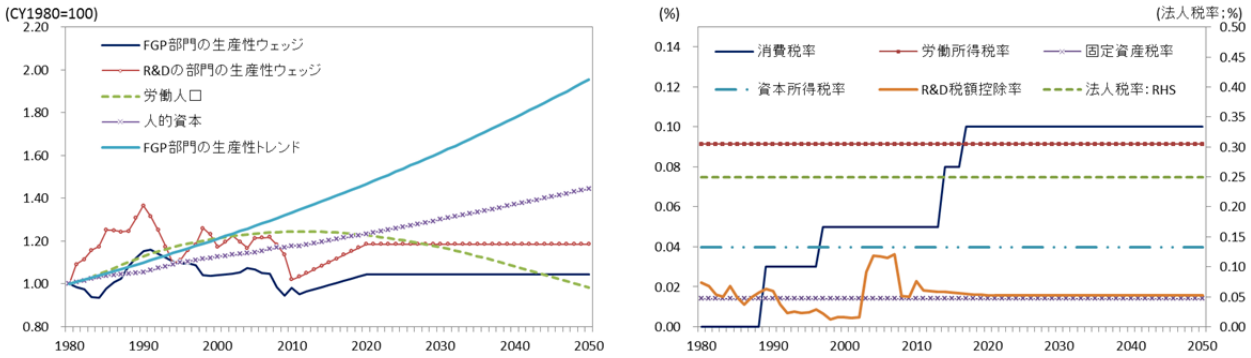
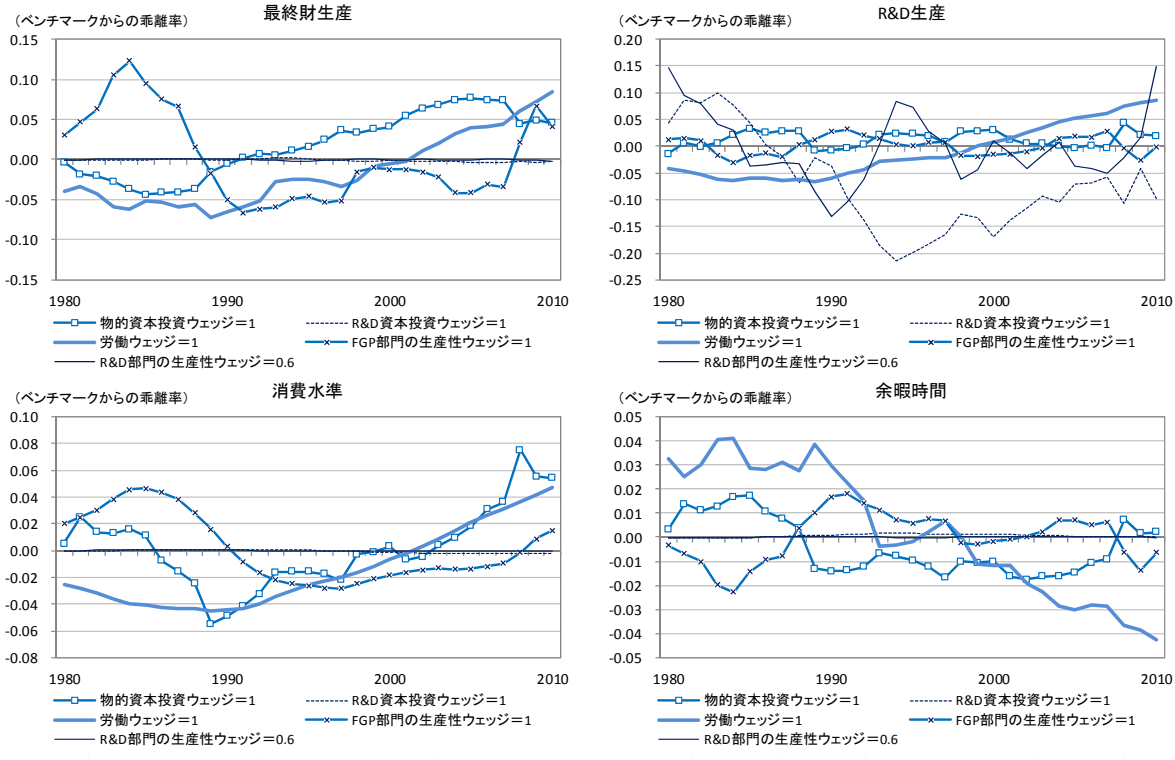


図 3 は同じ定常状態への収束経路が全てのウェッジが組み込まれたケース（ベンチマーク・ケース）の収束経路における内生変数に対して，それぞれのウェッジの変動がなかったケースの内生変数がどの程度乖離するかをみたものである．図 3 の左上のグラフをみると，物的資本投資ウェッジ，Ω_t^T，が全期間で 1 のケースでは 1980 年代までは FGP のベンチマーク・ケースからの乖離率が 0 を下回っており，データから計測されたウェッジの変動が産出にプラスの効果を持ったことを示している．1990 年代以降は乖離率が 0 を上回っていおり，計測されたウェッジ変動が FGP を抑制する効果を持ったことを示している．同様に，労働投入ウェッジ，Ω_t^L，が全期間で 1 のケースでは，計測された労働投入ウェッジ変動は 1990 年代までは FGP にプラスの効果（ベンチマーク・ケースからの乖離率がマイナス）を持ったが，2000 年ごろを境にして，マイナスの効果（ベンチマーク・ケースからの乖離率がプラス）に転じたことがわかる．次に，FGP 部門の生産性ウェッジが全期間で 1 のケースをみると，1990 年代から 2000 年代半ばにかけてプラスの効果を持ったことが示されている．TFP の伸び率低下は 1990 年代以降の日本経済の成長低迷の主犯と目されてきたが，トレンドを除去した後の FGP 部門の生産性ウェッジ，$\hat{a}_t^1$，を用いると，逆の結果を得たことになる．R&D 投資ウェッジ，Ω_t^I，を全期間 1 にするケースや R&D 部門の生産性ウェッジ，$\hat{a}_t^2$，が全期間で 1980 年から 2011 年の平均値(約 0.6)に等しくなるケースは，最終財生産に対しては微小な効果を与えるに過ぎないが，図 3 の右上のグラフをみると R&D 生産（=R&D 投資）に対しては大きなインパクトを持ったことがわかる．R&D 投資ウェッジは 1990 年代を通じて R&D 生産に大きなプラスの効果を持ったが，その効果は 2000 年代以降は縮小している．R&D 部門の生産性ウェッジはほぼ景気と相関して，好景気時にはプラスの，不況時にはマイナスの効果を示している．

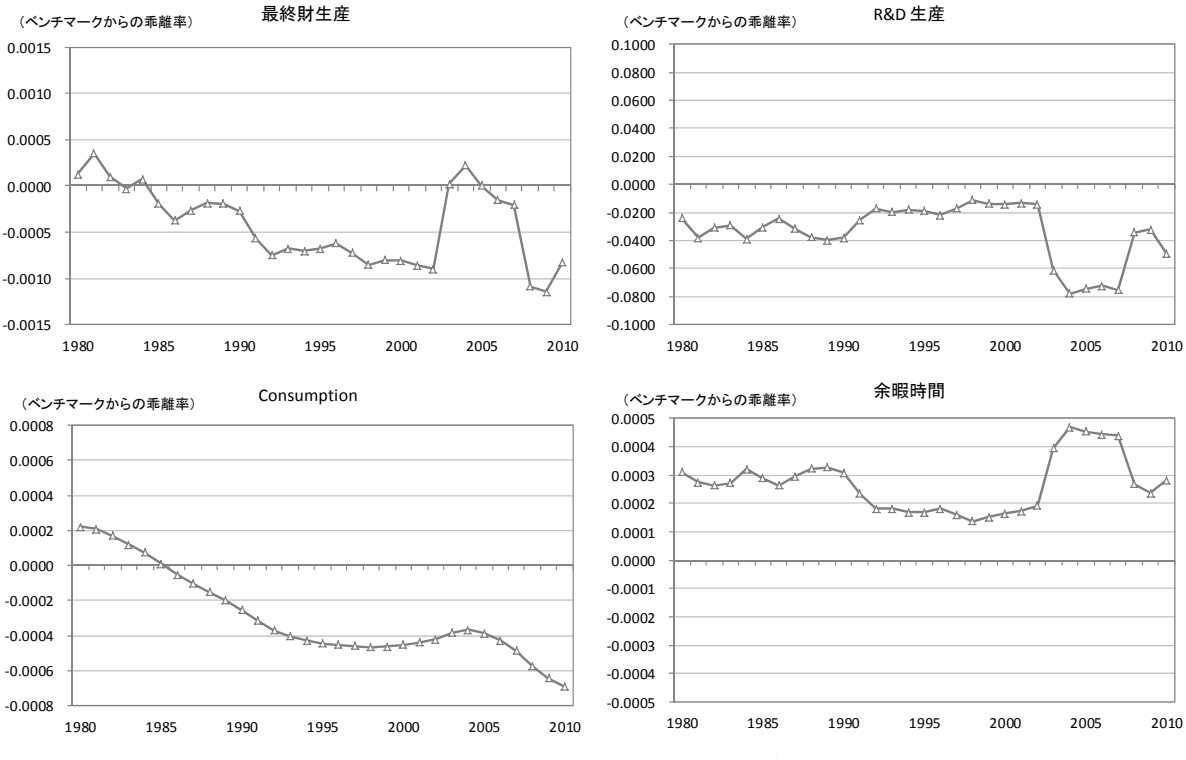
図 3: 経済に対するウェッジの効果



5.3. R&D 税額控除についての政策実験

この論文では科学技術政策の数値モデルを用いた評価を目的としている．ここでは重要な科学技術政策の一つである R&D 投資税額控除についての反実政策実験（Counter-Factual Policy Experiment）を行う．他の税率及び外生変数は図 2 で示した通りに，ウェッジについてはベンチマーク・ケースと同様に与える一方で，R&D 税額控除率のみを全てゼロとして，数値モデルの定常状態及び収束経路を計算する．R&D 税額控除は R&D 投資を促進する効果が有るため，控除率がゼロのケースでは控除率に実際のデータ（及び外挿区間は 1980 年から 2011 年の平均値）を用いたケースよりも定常状態の R&D 資本ストックが 3%程度小さくなる．それにより，定常状態での最終財生産，賃金，そして家計の消費は 0.1%程度低下する．控除率がゼロのケースの収束経路が，控除率がデータ通りであったケースからどの程度乖離しているか，内生変数の乖離率のグラフを図 4 に示す. R&D 税額控除が無いケースでは，ベンチマーク・ケースに比べて，最終財生産，R&D 生産，消費が少なく，余暇が多いことがわかる．特に税額控除の対象が R&D 投資の増分から総額に変わった 2003 年以降，R&D 投資に対して大きなのプラス効果を持ったことが示されている．

図 4:R&D 控除率についての政策実験



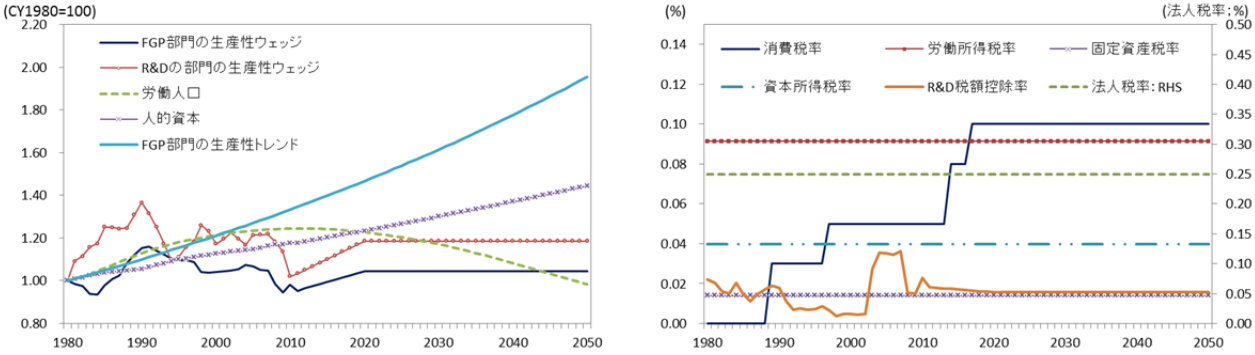
6. 政策シミュレーション

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．この数値モデルは経済モデルを定常状態の近傍で数値近似することなく，非線形のモデルの 1 階の条件と制約式，均衡条件から直接に内生変数を解き，定常状態への収束経路を探すことができる．そのため，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に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．

6.1. ベースライン・シナリオ

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．成長トレンド，人的資本水準， FGP 部門と R&D 部門の TFP については，前節の図 2 と同じデータを用いる．労働人口に関しては，前節では 1980 年から 2011 年の平均的な伸び率が継続するものとしていたが，この節では，国立社会保障・人口問題研究所の将来人口推計の中位予測を用いることとする．また，消費税率については，前節では 2012 年以降 1980 年から 2011 年の平均値に次第に戻ると仮定していたが，この節では税率を 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．その他の税率については，前節の想定を維持する．図 5 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．

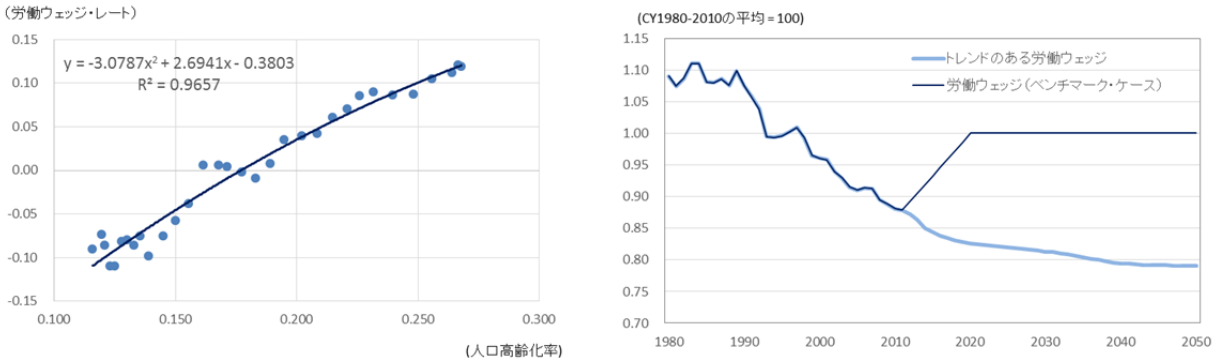
図 5: ベースライン･シナリオにおける外生変数



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．前節では労働ウェッジは 2012 年以降，徐々に 1980-2011 年の平均水準に戻るという想定を置いたが，この節での政策シミュレーションのベースライン・シナリオでは労働ウェッジは高齢化率（65 歳以上

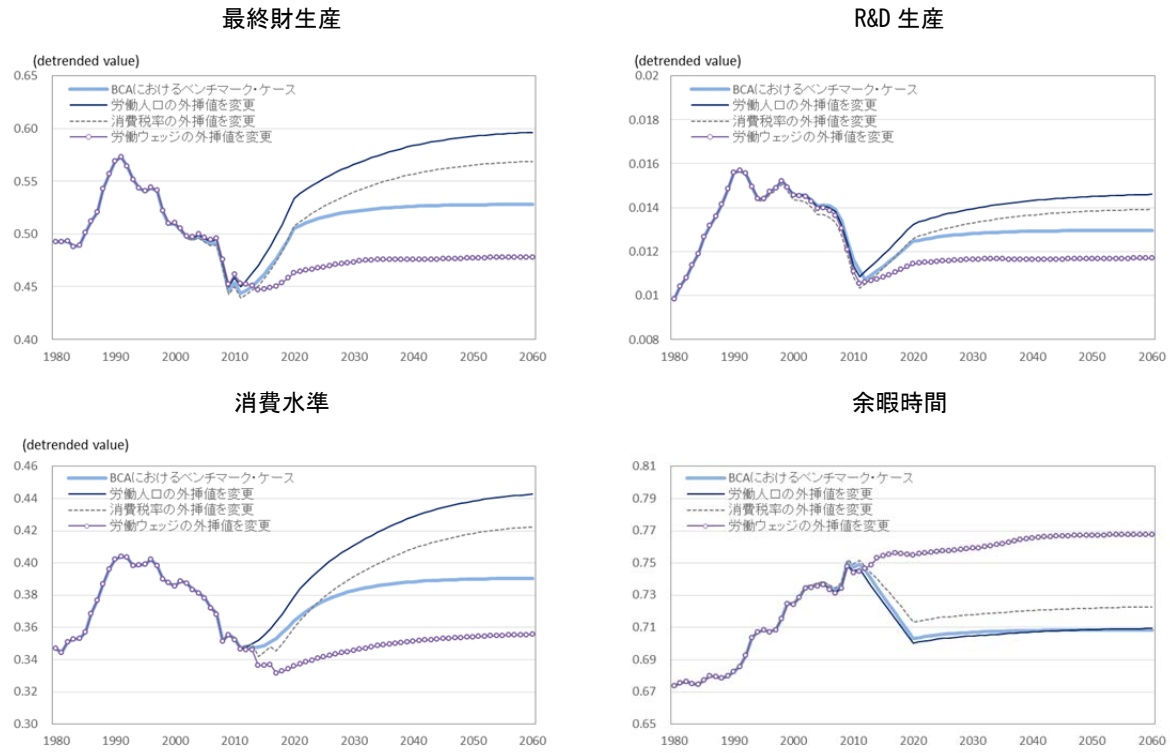
人口／15 歳以上人口）の関数であると仮定して外挿を行う．1980 年から 2011 年の労働ウェッジを高齢化率の 2 次多項式に回帰すると，図 6 の左図のような関係が観察される．この関係を用いて外挿区間の高齢化率（「将来人口推計」中位推計）から，労働ウェッジのトレンドを描くと図 6 の左図の様に推移する．高齢化に伴う社会保障負担の増大を鑑みるに，このような下降トレンドを持つ労働ウェッジは十分想定しうると考える．

図 6: 高齢化と労働ウェッジ



景気循環会計におけるの外生変数の外挿区間の推移から，この節で検討する外生変数のベースライン・シナリオへの変更が内生変数にどのような変化をもたらすかを示したのが図 7 である．前節で用いた外生変数の系列から，図 5 のように人口減少を勘案した人口予測値に変更すると，1 人当たりの最終財生産は増加するため，トレンド除去済みの FGP，$\hat{y}_t$，の外挿値は BCA のベンチマーク・ケースと比較して大きく上昇して，高い定常状態に収束する（図 7 左上）．ここに更に，消費税率の引き上げの予測を組み込むと，相対的に余暇への選好が増して労働供給が低下するため最終財生産は減少する．更に，高齢化を反映した下方トレンドを持つ労働ウェッジを組み込むと，さらに余暇選好が高まり，最終財生産が低下する．R&D 生産及び消費水準についても同様の傾向が見受けられる（図 7 右上，左下）．一方，余暇時間については労働人口の外挿値を変更すると，BCA のベンチマーク・ケースと比較して若干低下する（図 7 右下）．ここに更に，消費税率の引き上げの予測を組み込むと，消費に対して相対的に余暇選好が高まり，余暇時間が増加する．更に，高齢化を反映した下方トレンドを持つ労働ウェッジを組み込むと，より余暇時間の割合が上昇する．

図 7:外生変数の外挿区間推移の変更に伴う，定常均衡と収束経路の変化



6.2. R&D 部門の生産性と公的 R&D の役割

この小節では公的 R&D の R&D 部門の生産性に対する役割に焦点を当てる. 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．

$$Y_t = (K_t^{T1})^{\theta_1}(K_t^{IB} + K_t^{IP})^{\phi_1}(A_t^1 Z_t H_t^1)^{\varphi_1} \tag{42}$$

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．

$$X_t^I = (K_t^{T2})^{\theta_2}(K_t^{IB} + K_t^{IP})^{\phi_2}(A_t^2 (K_t^{IP}) Z_t H_t^2)^{\varphi_2} \tag{43}$$

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．

$$\log(A_t^2 - \bar{A}^2) = \rho \cdot \log(K_t^{IP} - \bar{K}^{IP}) + e_t \tag{44}$$

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．

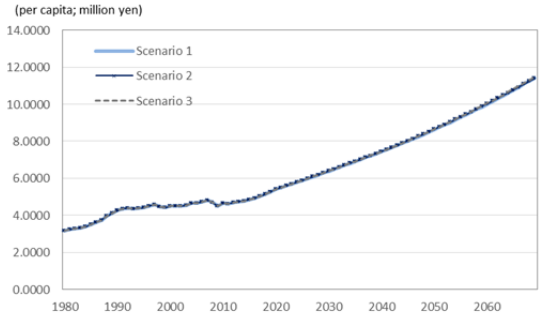
表 5:政策シミュレーションのシナリオ

	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	$\frac{X_{t+1}^{IP}}{X_t^{IP}} = 1.020$	−

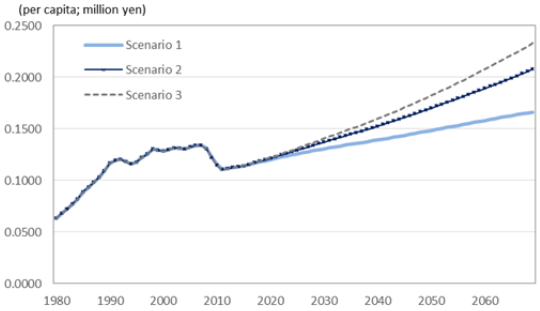
図 8 は公的 R&D 投資の 2012 年以降の伸び率についての上記 3 つのシナリオについて，公的 R&D ストックによる R&D 生産の TFP へのスピルオーバーを想定したモデルで定常状態への収束経路を計算したものである．図 9 には，この政策シミュレーションの 2070 年の数値を示した．数値モデルで収束経路を求める際には 2070 年，あるいは，それ以前に経済は定常状態に到達しているものとして計算している．2070 年における内生変数を比較するとシナリオ 3 ではシナリオ 1 に比べ，毎年の最終財生産は 1%程高くなる（図 9 左上）．また，R&D 生産は 42%ほど増加し（図 9 右上），R&D 生産物の相対価格は 29%ほど低下する（図 9 右下）．消費，賃金率は最終財生産と同様に 1%高くなり（図 9 第 2 段目左と図 9 第 2 段目右），余暇時間は変化がない（図 9 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．

図 8: 公的 R&D 投資政策のシミュレーションの結果（収束経路）

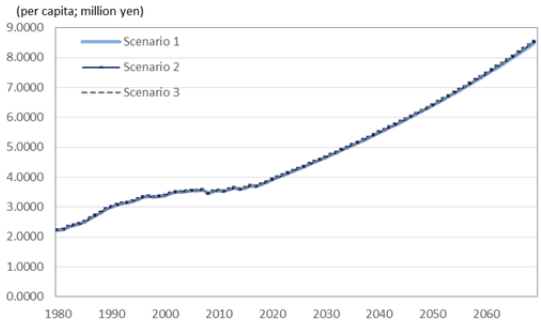
最終財生産



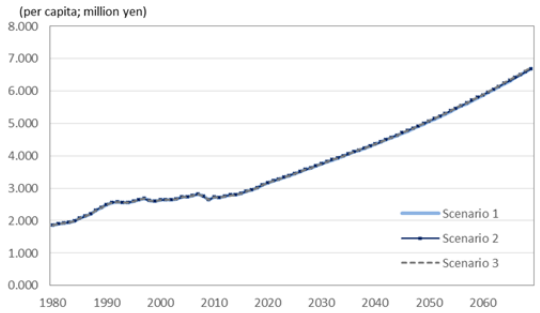
R&D 生産



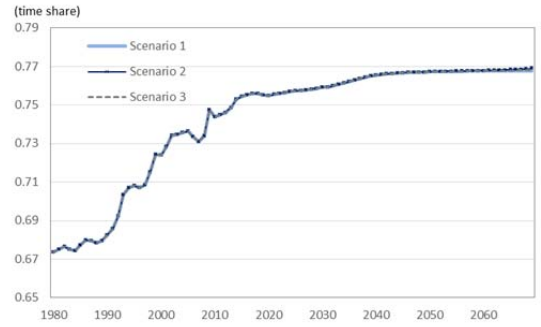
消費



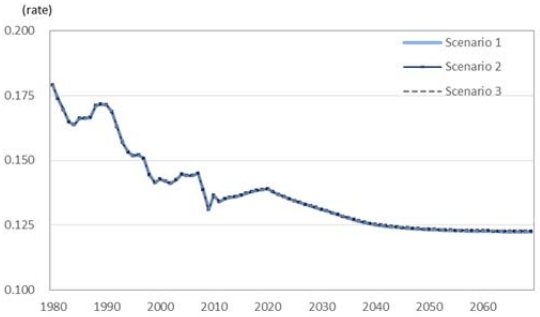
労働賃金



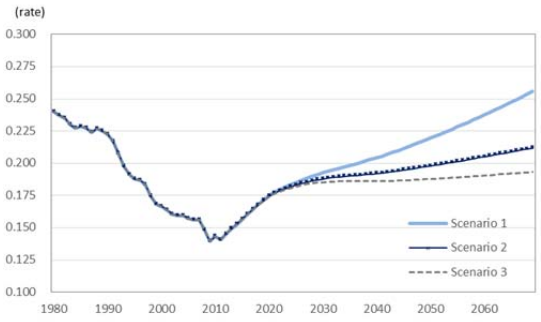
余暇



物的資本の収益率



R&D 資本の収益率



R&D 価格

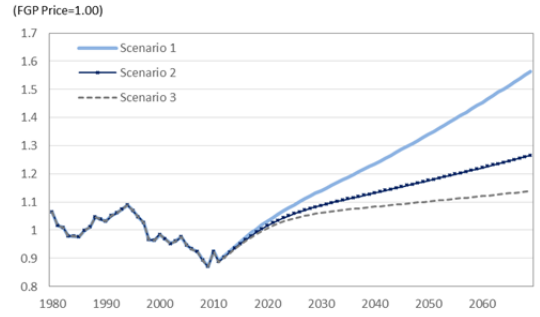
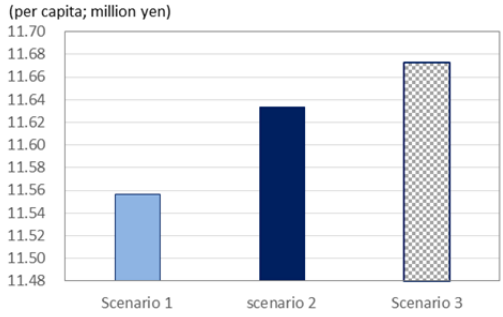
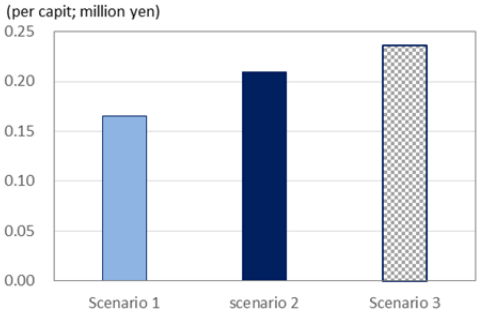


図 9：公的 R&D 投資政策のシミュレーションの結果（2070 年の値）

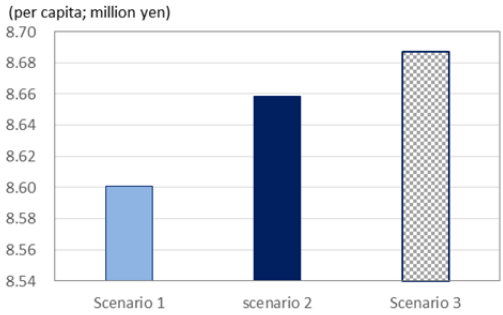
最終財生産



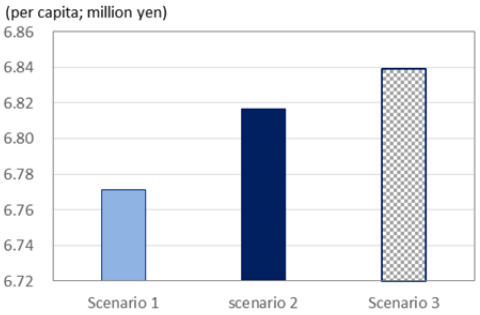
R&D 生産



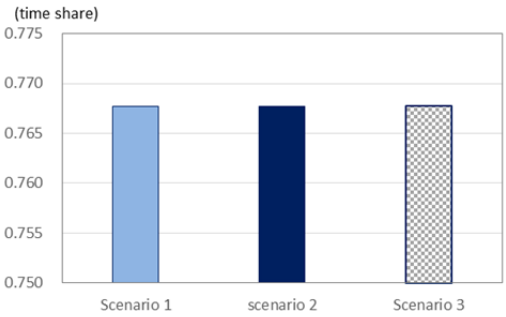
消費



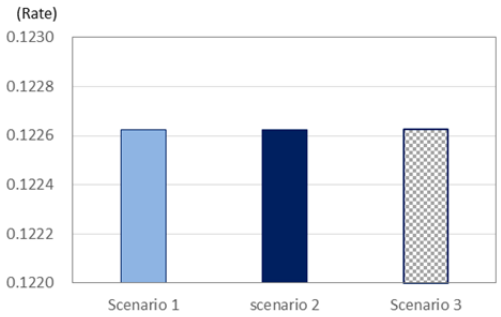
労働賃金



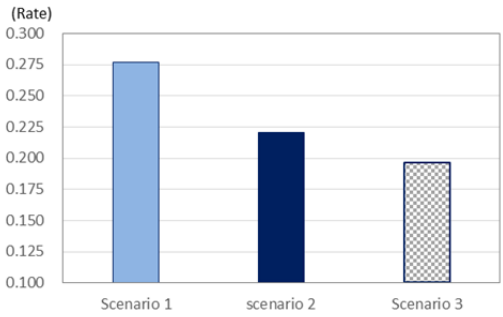
余暇



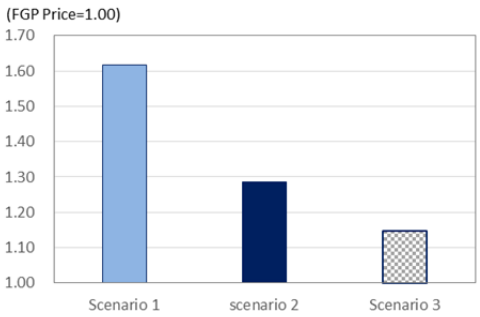
物的資本の収益率



R&D 資本の収益率



R&D 価格



7. 結語

この論文では，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，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，景気循環会計を行った．労働投入ウェッジ, 物的資本投資ウェッジ, R&D 資本投資ウェッジ, 最終財部門の生産性ウェッジ, R&D 生産部門の生産性ウェッジを計測して，それぞれの経済への効果を定量化した．第 3 にカウンターファクチュアル・シミュレーションとして，R&D 投資の税額控除率の R&D 投資への影響の度合いを評価した．第 4 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，景気循環会計では，最終財生産の効率性ウェッジは 1990 年以降の日本経済の不振に対する説明力は弱く，むしろ，物的資本投資ウェッジは 1990 年代から，労働投入ウェッジは 2000 年代から GNI にマイナスの影響を持ったことが明らかになった．第 4 に，R&D 効率性ウェッジ及び R&D 投資ウェッジは R&D 資本分配率の低さにより GNI には大きな影響を与えないが, R&D 生産には大きな影響を示した．特に R&D 投資ウェッジは 1990 年代以降，一貫して R&D 生産にプラスに影響しており，R&D 投資補助金と同様の効果を持った．第 5 に，政策実験の結果から R&D 税額控除が最終財生産，R&D 生産，消費に一定のプラス効果を持ったことが明らかになった．第 6 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．

この研究では，一般均衡動学モデルとそれに対応するデータ構築，構造パラメーターの推定，成長会計，景気循環会計，R&D 税額控除に関する反実仮想実験，公的 R&D 投資についての政策シミュレーションと, R&D を組み込んだマクロ経済分析としては包括的な検討を行った. しかし，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．今後，非物的資本投資を組み込んだ一般均衡動学の数値モデルを発展させるためには，平均就学年数では計測できない人的資本の推計が必要性となろう．また，こうしたモデルの展開は数値計算をより複雑にするため，計算機の処理能力の向上も必要となると考えられる．

Appendix A: 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．推計の過程は図 10 に要約されている．

具体的には，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[10]．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．

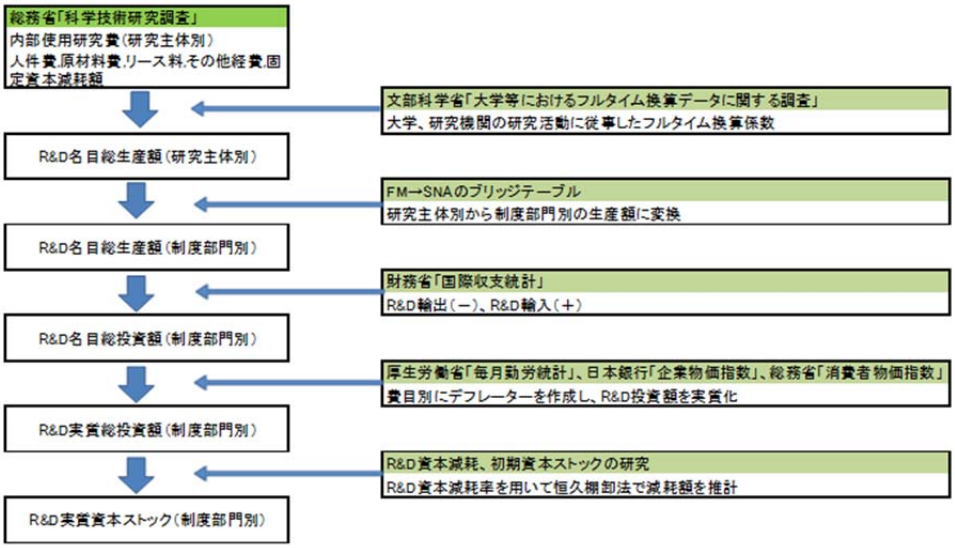
$$\mathrm{K}_{1959}^{I} = \frac{(\sum_{t=1960}^{1964} X_{t}^{I})/5}{[\sum_{t=1960}^{1964}(X_{t+1}^{I}/X_{t}^{I})]/5 + \delta^{I}}$$

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			○

[10] 価格指数はいずれも 2005 年を 1.0 として用いた．

図 10:R&D 資本投資及び R&D 資本ストックの計測



Appendix B: 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，2.7.節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，$\{k_t^{T1}, k_t^{T2}, k_t^I\}$，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．

- Step1: 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．

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

  - 観測期間の外生変数: $\Xi^{\mathrm{r}} = \left\{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\right\}_{t=1}^{T}$
  - 外挿期間の外生変数: $\Xi^{\mathrm{f}} = \left\{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\right\}_{t=T+1}^{S-1}$
  - 定常状態の外生変数: $\Xi^{\mathrm{s}} = \left\{A_t^1, A_t^2, \gamma_t, z_t, \eta_t, \tau_t^c, \tau_t^h, \tau_t^p, \tau_t^k, \tau_t^d, \kappa_t^I, \Omega_t^T, \Omega_t^I, \Omega_t^L\right\}_{t=S}$

- Step 2: 2.7.節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，$\Xi^{\mathrm{s}}$，の下で求める．
- Step 3: 状態変数の初期値，$\{k_1^{T1}, k_1^{T2}, k_1^I\}$，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 $\left\{h_2^1, h_2^2, \hat{k}_2^{T1}, \hat{k}_2^{T2}, \hat{k}_2^I\right\}$ 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，$\left\{\hat{k}_t^{T1}, \hat{k}_t^{T2}, \hat{k}_t^I\right\}$ 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 $\left\{h_{t+1}^1, h_{t+1}^2, \hat{k}_{t+1}^{T1}, \hat{k}_{t+1}^{T2}, \hat{k}_{t+1}^I\right\}$ 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，$\left\{\hat{k}_S^{T1}, \hat{k}_S^{T2}, \hat{k}_S^I\right\}$ 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，$\left\{\hat{k}_S^{T1}, \hat{k}_S^{T2}, \hat{k}_S^I\right\}$，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．

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

＜参考文献＞

- Arato, H., & 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., & 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., & 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.
- Fukao, K., Miyagawa, T., Mukai, K., Shinoda, Y., & 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., & 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. “Empirical Research on Depreciation of Business R&D Capital”. ESRI Discussion Paper Series No.319.
- 大津敬介. (2008). 「実物景気循環理論と日本経済」,『金融研究』,27(4), 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, 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, 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, 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): 27-72.