

[SciREX-WP-2019-#01]

研究開発活動による全要素生産性の波及効果の測定

— 研究開発支出の資本化の枠組み —

2019/11

慶応義塾大学 名誉教授

政策研究大学院大学 科学技術イノベーション政策研究センター 客員教授

黒田 昌裕 (Masahiro Kuroda)



SciREX Center
WORKING PAPER

政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センター (SciREX センター)
ワーキングペーパー SciREXWP-2019-#01

政策研究大学院大学

科学技術イノベーション政策研究センター (SciREX センター)

ワーキングペーパー SciREX-WP-2019-#01

[SciREX-WP-2019-#01]

研究開発活動による全要素生産性の波及効果の測定

—研究開発支出の資本化の枠組み—

2019 年 11 月

慶応義塾大学 名誉教授

政策研究大学院大学 科学技術イノベーション政策研究センター 客員教授

黒田 昌裕

※. 本ワーキングペーパーの著作権は、著者もしくは政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センターに帰属しています。本ワーキングペーパーに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、またはコピーを行う場合には、政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】政策研究大学院大学科学技術イノベーション政策研究センター

TEL: 03-6439-6329 / E-Mail: scirex-center@grips.ac.jp

目次

エグゼクティブサマリー	4
Abstract	4
1. はじめに	6
2. 研究開発投資および情報処理投資の資本化とその資本サービス量の測定	8
3. 静的および動学的ユニット構造と研究開発および情報処理投資	29
4. 研究開発活動を含む産業連関表による TFP と成長会計の枠組み	35
5. 研究開発投資および情報処理投資の資本化による TFP 計測	42
6. 結びにかえて	54
References	55

エグゼクティブサマリー

研究開発投資や情報処理投資などの無形固定資本としての知的資産の蓄積が関連する財・サービス部門の生産効率に影響する構造を分析する論理的な枠組を投入・産出表を用いて提示し、1995年以降の我が国低成長の背景を探る。

2004年、(Kuroda-Nomura (2004))において、商品生産の静的な並びに動的な技術の構造的リンケイジを通じた技術進歩の波及効果の測定の枠組を提示した。そこでは、静的な並びに動的な技術波及が及ぼす影響を伝統的な全要素生産性の測定量を「静的ユニットTFP (static unit TFP)」と「動的ユニットTFP (dynamic unit TFP)」の二つの測定量に分化して評価することを提案した。技術の波及が単に中間原材料の波及を通じて生ずるばかりではなく、有形固定資産投資として蓄積された有形の資本ストックを通して動的に波及するかを示した。

21世紀に入って、科学技術の深化は、知識の蓄積という無形の固定資産の蓄積を通じて、有形無形の資産に体化されることによって、社会構造を大きく変化させているといわれている。情報技術の進歩が、研究開発投資の効率性を高め、さらに、その知的知識の集積が情報通信の進歩を通じて、トランス・サイエンスを生み、その功罪両面でグローバル社会の構造を大きく変移させているのは、われわれがまさに、日々実感しているところである。研究開発投資や情報処理投資などの無形固定資本としての知的資産の蓄積が、それが関連する財・サービス部門の生産効率に影響する論理的な枠組を提示し、それが生産部門の投入の構造に影響するメカニズムを投入産出表に陽表的に組み込み、その技術的な波及効果を測定する枠組を呈示する。研究開発投資を政府および民間非営利団体の公的研究開発投資、民間産業としての研究開発部門の研究開発投資、ならびに各産業部門内の企業内研究開発投資に区別して、それぞれが関連産業部門の生産活動に係わる構造を投入産出表に組み込む。また、情報処理活動によるソフトウェアやシステム開発などの情報処理関連の無形固定資産の蓄積を、それを推進する情報処理産業やインターネット等の通信関連産業および各産業部門の企業内情報処理活動など情報関連の無形固定資産の開発投資として体系に組み込む。この分析手法が、科学技術政策の将来シナリオを描くために役立つことを期待している。

Abstract

In the 21st century, the world has confronted substantial structural change from a top-down vertical division of labor system through the production process in manufacturing to a horizontal division of labor system as an interconnected platform of specific process characterized by recent development of info-technology. Such change has been drastically reconstructing the former production structure which has been desirable so far domestically and internationally.

We compiled Japanese input-output table in which R&D expenditures were internalized as intangible capital investment, enabling the evaluation on intangible assets as knowledge stock by quantity and quality measures. By the process, R&D investment by government as well as industry that contribute to static/dynamic total factor productivity improvement could be observed and coped with the production

efficiency improvement by industry through industry linkage. The static/dynamic total factor productivities are measurements by which we proposed as concepts to measure the technological linkage effects in the structure of the production among commodities statically and dynamically in Kuroda-Nomura (2004). Technologies of a productive activity are mutually interdependent through the market transactions of all the “produced” inputs. This implies that the production of one commodity is linked to that of all other related commodities, both directly and indirectly, through intermediate transactions. The change in a commodity’s technological efficiency should be measured as the change in the economy’s productivity induced by technical change in all linked activities. We also emphasized that the productivity of a specific commodity does not only be affected by the linked technologies through the interdependency of the current technologies, but also influenced by the past technologies which were embodied in the current capital stock. It is because the capital stocks used in the current production activity are composed by the past flow of the investments, which embodied the past technology at the time invested. We proposed two concepts of the measurement as “Static Unit Total Factor Productivity (Static Unit TFP)” and “Dynamic Unit Total Factor Productivity (Dynamic Unit TFP)”.

In this paper we propose the framework in which we try to measure the productive efficiency of the production activities by the accumulation of the knowledge stock through investments for Research and Development (R&D) and Information & Communication (ICT) activities. We try to introduce R&D and ICT activities into the Input-Output framework explicitly and show the theoretical frame to measure how the accumulated intangible assets in R&D and ICT as knowledge stock could create the efficiency of the production activities. R&D and ICT investments are introduced as capital formations as intangible assets, which are invested by government, non-profit organizations and independent research institutes as private industry as well as intra activities within private firm. It is assumed that each R&D and ICT investments accumulate knowledge stock as intangible assets and the knowledge stocks create the capital service flows as technological knowledge. We try to apply our proposed measurements of static/dynamic total factor productivity to evaluate the efficiency changes by the accumulation of knowledge stocks as intangible assets of R&D and ICT activities. We estimated the Japanese Input-Output Table during the periods 1995-2011 in time-series and show our results of the measurement of the contributions of the R&D and ICT investments on the changes of the production efficiency in the Japanese economy.

1. はじめに

(Kuroda & Nomura, 2004) において、商品生産の静学的ならびに動学的な技術の構造的リネイジを通じた技術進歩の波及効果の測定の枠組みを提示した。ある商品生産活動における技術は、その活動における中間投入を通じて、関連するすべての商品の生産活動における技術と関連性をもっている。したがって、その中間投入財の投入構造を通じて、直接的ならびに間接的に関連するすべての商品の生産技術と相互依存的な関係性をもっている。このことは、体系の何らかの商品生産に際して生じた技術効率の変化は、その生産活動に関連するすべての商品生産の生産効率に直接的、間接的に影響をもつことを意味し、技術変化はその影響を体系的にとらえなければならないことを示している。この商品生産活動の相互依存に伴う直接的・間接的波及は、その商品を生産する時点の他の商品生産技術の影響を受けるだけではなく、各生産活動で用いられる資本サービスの投入が現在までの過去の資本蓄積による資本ストックから生み出されていることを考慮すると、その資本蓄積を行った過去の各時点の投資財の生産に体化されている投資時点の技術にも依存していると考えなければならないこととなる。過去に遡った資本財の生産技術が関連しているという意味で、技術波及の効果は、当期の中間財を通じた商品生産構造を通じた技術波及（静学的波及）のみならず、過去の投資による資本蓄積を通じた技術波及（動学的波及）をも評価することが必要である。

この静学的ならびに動学的技術波及の可能性は、伝統的な全要素生産性の測定量を「静学的ユニットTFP (static unit TFP)」と「動学的ユニットTFP (dynamic unit TFP)」の二つの測定量に分化して評価することになる。2004年の論文で、この二つの測定量をレオンティエフの静学ならびに動学投入産出の枠組みから導きだすことができることを示した。伝統的なTFPの測定が特定の商品の生産活動における生産効率をその商品自体の生産の投入構造を踏まえて、成長会計の枠組みで、評価するのに対して、ある商品生産の静学的ユニットTFP は、その生産活動の生産効率に関連する生産活動における中間投入構造の相互依存性を踏まえて、体系的、総合的に評価することになる。¹

一方、動学的ユニットTFP(Dynamic unit TFP)は、ある時点での特定の商品の生産効率をその商品生産の資本サービスの投入について、過去の投資による資本の蓄積過程を歴史的に踏まえて評価することになる。当該商品の現時点での資本蓄積の歴史的な生産過程を遡ることによって、究極的には、すべての投入は歴史的に投下された労働投入にすべて還元されることになる。Peterson(Peterson,1979)に従えば、その商品に投下されたすべての要素を過去のすべての投入された労働に還元して、動学的垂直的に統合された部門として統合的に生産効率を評価した指標 (the productivity index of a "dynamically vertical integrated sector") ということになる。また、Ahmavara (1999)では、過去の資本要素の投入を動学的投入産出分析で評価した統合的 TFP 指標 (a "fully effective" rate of TFP) に対応するもので

¹ この測定尺度は、Kuroda-Nomura (2004)で示したように、Hulten(1978)で示された “the effective rate of TFP” に対応している。“Effective TFP ” はまた、Peterson(1979)およびWolff(1985)の英国および米国での産業連関分析による TFP の測定とも対応している。産業連関分析では、商品生産の静学的および動学的相互依存の構造を描いており、特に Ozaki(1980)では、"unit structure" and Leontief's "dynamic inverse"の枠組みを提示している。

ある。Ahmavara は、その論文では構造パラメーターとして中間投入係数と資本係数を用いて技術構造を表現した閉鎖的動学的投入産出モデルによる均衡成長経路の解として、この指標を算定している。他方、われわれの前述の論文では、動学的ユニット TFP を過去の時系列投入産出表のデータから、現時点の技術を過去に遡って、その効率性を評価する指標として、測定を試みている。そこでは、過去の中間投入係数と資本係数行列が技術パラメーターとして与えられていた。

先の論文では、資本蓄積の動学的効果を投資による有形固定資産の蓄積を通じて捉えることに着目してきた。近年の技術革新は、研究開発投資や情報処理技術開発投資など、その投資によって創造された無形の固定資産としての知識ストックの蓄積によっても、急速な構造的変化を齎しつつある。そこでは、研究開発投資や情報処理投資などの無形固定資本としての知的資産 (knowledge stock) の蓄積が、それが関連する生産部門の生産効率に影響し、生産効率を向上させる論理的な枠組みが必要となり、研究開発活動や情報処理活動によって生み出された無形固定資産としての知識ストックが、蓄積される構造とそれが生産部門の投入構造に影響するメカニズムを商品生産の投入産出の構造に陽表的に組み込んで、その技術的な波及効果を測定する枠組みを呈示することが求められる。研究開発投資については、政府および民間非営利団体による公的研究開発投資、民間産業としての研究開発部門の研究開発投資、ならびに各産業部門内の企業内研究開発投資に区別して、それぞれが関連産業部門の生産活動に係わる構造を投入産出の体系に組み込まなければならない。また、情報処理活動によるソフトウェアやシステム開発などの情報処理関連の無形固定資産の蓄積についても、それを推進する情報処理産業やインターネット等の通信関連産業および各産業部門の企業内情報処理活動など情報関連の無形固定資産の開発投資として体系に組み込む必要がある。第2節では、各知識資本のストックの蓄積とその知識ストックから生ずる知識サービスフローの捉え方についての理論的背景を示す。特に産業連関表の構造を前提に、知識ストックの蓄積としての研究開発投資や情報処理活動によるその無形固定資産の蓄積とそのストックから創造される資本サービスとの関係を明らかにし、その資本サービス量の測定方法を呈示する。2.3 節では、1995-2011 年の接続産業連関表データからの資本サービス量および資本サービス価格の推定結果を示す。第3節では、静学的および動学的ユニット構造の図式を整理し、明示的に研究開発投資および情報処理投資による知識サービスの投入構造を組み込んだ投入産出図式を整理する。第4節では、前節の研究開発投資や情報処理投資を通じた知識サービス・ストックの蓄積の静学的および動学的ユニット TFP に与える影響を測定する理論図式を示す。通常の有形固定資本投資の TFP への貢献を評価すると同様の枠組みで、無形固定資産としての知識ストックの生産効率への影響を評価することによって、知識の拡大が市場経済に与える影響を生産効率の拡張という観点からは把握できると考えている。我が国の国民経済計算 (System of National Accounts(SNA)) において、研究開発支出の資本化が 2016 年末に公表された。我が国の産業連関表との整合性という観点から、研究開発投資の資本化について課題の整理と日本経済の 1995 年から 2011 年の時系列産業連関表の時系列資料に基づき、研究開発支出の資本化を導入した産業連関表の推計に関しては、Working Paper 黒田 (2019) を参照されたい。最後の第5節では、3,4 節で示した静学的および動学的 TFP 測定の枠組みを用いた、1995 年から 2011 年までの我が国の研究開発投資および情報処理投資などの無形固

定資産の生産性上昇への寄与度を測定し、1995-2011 年におけるデフレ経済下の研究開発および情報処理活動の投資効率を実証的に評価したい。

2 研究開発投資および情報処理投資の資本化とその資本サービス量の測定

2.1 無形固定資産としての知識ストック蓄積の効果

無形固定資産としての研究開発投資や情報処理投資が、20 世紀後半から拡大し続けている。設備や構築物などの有形固定資産の蓄積が技術革新をもたらし、産業に生産効率を高め、日本経済の高度経済成長を実現したと同様に、20 世紀末から、21 世紀にかけて、知的資産としての研究開発の推進とその知見を活かした情報技術などの急速な進歩が、市場の生産効率の向上に与えた影響は極めて大きい。さらには、その情報科学の進化が、あらゆる科学分野における研究開発活動を活性化、そして精緻化させ、科学技術としての知識ストックの蓄積を進め、それらの各科学分野での技術開発が産業の生産性や市場効率をさらに高めるという循環構造をもつことが指摘されている。そうした新たな技術革新の本質を評価し、その影響を明確にすることが、極めて重要な課題となっている。言い換えれば、研究開発活動や情報処理活動による無形固定資産としての知識ストックの蓄積が、経済社会に与えた影響を捉え、その知的資産の拡大の意味を明確に捉えることが重要な課題となっている。まず、ここでは、知的資産の蓄積の構造を明らかにし、その蓄積による知識ストックの提供した知的サービス量を測定して、その市場への影響を測定・評価する方法論を提案したい。

産業連関表において、産業連関表の投入・産出構造と T F P 測定の理論的な整合性を確認し、その体系に研究開発投資や情報処理投資が無形資産としての知識ストックの蓄積を進め、そこから生ずる知的サービスが産業の生産性の変化させる構想を明らかにするのがこの節の目的である²。このため、まず、産業連関表の組み換えにより、情報処理活動（情報処理の活動のためのソフトウェアやシステム開発）や研究開発活動（研究開発による知識の開発）を無形資産生産活動として捉えて、その産出を無形固定資産投資として、明示的に示すことを試みる³。

われわれの作成した産業連関表の詳細は、第 5 節で改めて取り上げるが、重要な取り扱い点を要約すると、情報処理および研究開発活動については、以下の様な特徴をもつ。

1. 産業の企業内情報処理活動や企業内研究開発活動を各産業の主たる財・サービスの生産活動と区別し、企業内で行われる情報処理活動や研究開発活動による知的無形固定資産（知識ストック）の創出の活動を明示的に捉えて、そうした企業内での知識創造の活動が主生産活動としての財・サービスの活動に与える影響を評価する。

² わが国が、公式に産業連関表基本表として作成している産業連関(1951,1955,1960,1965, 1970,1975,1980,1985,1990,1995,2000,2005,2011 年表)では、研究開発活動による産出は、中間投入として扱われており、資本投資には格付けされていない。2016 年の国民経済計算の改定では、国連の 2008SNA 基準に従って、R&D の資本化が行われ、国民経済計算のマクロ推計では、改訂が行われた。産業連関表上は、平成 15 年表の基本表作成で、改訂が企画される予定である。黒田(2019)を参照のこと。

³ 黒田昌裕(2016)「研究開発活動による全要素生産性の波及効果の測定—研究開発支出の資本化の枠組み—」、政策大学院大学 SciREX センター、Working Paper 201602。

2. 各生産部門は、その主生産活動とは別に、企業内の情報処理活動や研究開発活動を行っており、それぞれの活動において、中間財投入、労働サービス投入、資本サービス投入が行われる。有形、無形の資本ストックは、その産業の有形、無形の資本財の投資活動の蓄積であり、前期までの投資行動によって形成された期首のストックから生まれる資本サービスが、主生産活動および企業内情報処理、および研究開発活動に投入されると考える。したがって、有形・無形の資本ストックとその資本サービスを区別して、推計することを試みている。
3. 知識ストックの蓄積は、各産業内での主生産活動をサポートする活動としての企業内情報処理活動と企業内研究開発活動によるものとは別に、独立した産業としての情報処理産業(ソフトウェアやシステム開発)や研究開発(民間シンクタンク等)があり、それらの産業は、それらの知識ストックを蓄積し、それらの知的サービスを他の産業部門に市場財として提供していると考ええる。
4. 国公立および私立の大学や研究機関などの非営利活動として行われる研究活動による知識資産の創造、蓄積は、政府のおこなう行う公的な研究開発投資がその大学や研究機関の研究者への支援としての資源配分となり、そこでの研究開発活動が無形固定資産としての知識ストックを蓄積する。この知識ストックから生まれる知的サービスは、そのストックの蓄積から生まれる知識サービスであり、社会的共通の公共財として社会に提供され则认为ている。

無形の固定資産としての知識資産の蓄積とその資本サービスの提供は、社会経済の進化をもたらすこととなる。それらの知識資産が市場を通じて、産業間、個人間の行動の高度化と相互依存の波及を生み出し、どのように経済発展や社会課題の解決を導くのかを定量的に把握し、科学技術政策の経済社会的な影響の評価に結びつけることが重要である。国公立および私立の大学や研究施設等が公的資金を得て行う研究開発活動によって創造された知識ストックは、産業の財・サービス生産における生産効率、生産性に影響すると考えられるけれども、一般の市場財とは、幾つかの異なった特性を持っている。一つは、政府が公的資金を投入して創造された知的資産(知識)は、その成果が論文等公表された場合の先取性は争われるけれども、ひとたび公表された場合は、その知的知識は、公共財(public goods)として扱われ、私的財としての市場性をもたない。もちろん、その知識が論文等で公表される前に、特許を取得した場合には、特許権は市場性を持ち、取引では特許料等の対価を生むことになる。現行の我が国の産業連関表での扱いとしては、特許権は特許を生み出した部門の資産からの特許料としての財産所得を生み出すと考えており、われわれもその方式に準拠する。この場合、国内部門間の特許権の売買は相殺されてマクロ的には、海外との売買の結果だけが財産所得の授受として記録されることになり、国内の部門間の特許を通じた取引は、明示的に観察されない。特許の国内部門間の取引を明示的に表すためには、特許によって取引される部門間の知識サービスの取引を観測しなければならない。現行に扱いでは、その取引を表現できず、今後課題として残っている。

もう一つの特性は、公共財として知識は、市場性を持たないという公共財と考えられる場合には、知識は普遍的であり、競合性を持たない(non-rivalry)という特徴をもつ。市場財としての投入産出の関係を表現する産業連関表では、この公共財としての知識サービスの

取引は表現できないという問題を残すことになる。この取り扱いに関しては、今後の課題であるが、改めて、最終節で取り上げたい。

こうした幾つかの制約があるが、ここで取り上げた知識資産の創造が、産業の生産性や市場の構造にいかなる影響を及ぼすかを、各産業の生産効率の変化、すなわち全要素生産性でとらえる。そこで、無形固定資産としての資本サービスが、知識資産ストックとどのように関係するかに関して、産業連関表の枠組みを踏まえて、その投入構造を模型図で表すと、(表1)のように表示できる。ここでは、特に以下の点に注目して、公表の産業連関表を組み替えることになる。

1. 各生産部門の活動を、主生産活動、その企業内の情報処理活動、企業内の研究開発活動の3部門に分割している。ただし、一部の産業部門では、企業内活動を特に特掲しない部門もある。情報処理と研究開発の社内活動は、直接的に利益を生み出す活動を行っているものではなく、主生産の生産活動を知識ストックの蓄積によってサポートする活動だと位置づけている。したがって、各産業の活動を3活動に分割する前の表示では、この企業内活動では、直接的には、営業余剰を生まず、主生産活動がその資本コストを負担していると考えている。そこで、産業部門の活動を、主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動の3活動に分けて表示する場合、主生産活動の営業余剰の部分に、それら3活動の資本サービス費用が計上されており、企業内の活動の資本コストは、主生産活動の営業余剰に一括されている。ここでの資本コストは、粗概念で定義しており、有形、無形それぞれの資産に関して、営業余剰に各資産の資本減耗引当額を加えて、総資本コストを把握し、以下に述べるような帰属計算方式で、各活動の有形・無形資本の資本コストを求めることが必要となる。労働要素投入費用に関しては、それぞれの活動への従事者が特掲できることから、それぞれの活動にわけて表示することとなる。

2. 産業連関表では、主生産活動、企業内情報処理活動および企業内研究開発活動にともなう有形固定資産に関しては、それぞれの有形固定資産にともなう資本減耗引当額は、税法上の償却率を用いて、それぞれの活動の資本減耗引当額は推計されている。一方無形固定資産の資本コストは、当初、主生産活動の営業余剰に一括計上されており、何らかの帰属計算によって、配分する必要がある。言い換えれば、産業連関表上は、それら企業内の無形固定資産の資本サービス要素費用は、その資本減耗引当額を含め、主生産活動の営業余剰に含まれていると考えるべきであろう。推計の方法としては、後述の資本サービスコストの推計手続きによる帰属計算によって、営業余剰の総額を活動間で振り分けることによって、企業内情報処理および研究開発活動の資本コストの推計している。

3. 政府のおこなう、大学(国公立および私立)、国研および私立大学付属研究所等の研究開発活動に関しては、現行の産業連関表では、非営利活動として営業余剰はゼロと仮定されている。国公立の機関に関しては、社会資本減耗として、また私立の非営利機関については資本減耗を計上しているが、有形・無形固定資産の区別はない。知識ストックの償却は想定されていないと考えられる。我々は、政府および国研および非営利民間機関の研究開発活動もまた、無形固定資産としての知識資産の蓄積活動だと位置づけており、その資本ストックの推計および資本サービスの推計を行っている。したがって、その資本コストに無形固定資産の資本減耗を加えて、産出額を補正している。

4. 国立大学など国立の研究機関(国研)では、無形固定資産の減価償却は行っていない

い可能性がある。その場合は、経済的陳腐化率を設定して、無形固定資本のストック計算に際しては、ストックの積みあげを行い、産業連関表上は、その資本減耗引当額を付加価値に加え、産出額にも上乗せして投入構造を推計している。一方で、費用計算上は、研究開発活動に伴う有形固定資産ストックと知識資産としての無形固定資産ストックを区別して推計し、その資本サービス量を帰属計算によって配分し、資本コストを分割している。

産業企業内の情報処理活動、研究開発活動の生み出される知識ストックを企業内の無形固定資産と考えており、その期首の資産ストックから生み出される知識サービスは、主生産活動の生産効率に寄与するものと考えており、それを主生産活動の資本コストに按分している。

以上を産業 j 部門について例示したものが、(表 1) である。
(表 1)の産業部門のコストにおける全要素生産性の測定と各要素の産出の成長寄与度を求めるために、幾つかの準備をしなければならない。主生産活動の営業余剰に集約されている 3 活動の有形固定資産、無形固定資産のコスト構成を明らかにし、資本サービスの投入量を算定するために、次節で、資本コストと資本サービス価格および資本サービス量の帰属計算の枠組みを説明する。

(表 1) 産業 j 部門の要素費用構成			
産業 j 部門 Activity			
	主生産 ($j=m$)	情報処理 ($j=IT$)	研究開発 ($j=RD$)
内生部門計(中間投入)	$\sum p_i X_{ij}$	$\sum p_i X_{ij}$	$\sum p_i X_{ij}$
家計外消費支出	BC_j		
労働投入コスト	$P_{em} h_m E_{dm}$	$P_{eIT} h_{IT} E_{dIT}$	$P_{eRD} h_{RD} E_{dRD}$
資本投入コスト(含資本減耗)			
うち有形固定資産	$P_{skm} K_{Sm}$	$P_{skIT} K_{SIT}$	$P_{skRD} K_{SRD}$
無形固定資産(IT)	$P_{skNIT} K_{NSIT}$		
無形固定資産(RD)	$P_{skNRD} K_{NSRD}$		
間接税(除関税・輸入商品税)	$IndTax_m$		
(控除) 補助金	$-SD_m$		
粗付加価値計	$V_j (j = m)$	$V_j (j=IT)$	$V_j (j=RD)$
(注)			
1. j 部門は、主生産活動($j=m$)、企業内情報処理活動($j=IT$)、企業内研究開発活動($j=RD$)に分かれている。			
2. p_i : 中間財 i 商品価格			
X_{ij} : i 商品 j 部門への中間投入			
$p_{ej} (j=m, IT, RD)$: 労働サービス価格			
$h_j (j=m, IT, RD)$: 労働時間			
$P_{skj} (j = m, IT, RD)$: 有形固定資本サービス価格			
$K_{Si} (j = m, IT, RD)$: 有形固定資本サービス量			
$P_{skNj} (j = IT, RD)$: 無形固定資本サービス価格			
$K_{Si} (j = IT, RD)$: 無形固定資本サービス量			
$IndTax_m$: 間接税			
SD_m : 経常補助金			
$V_j (j = m, IT, RD)$:			

2.2 産業部門における資本サービスおよび資本コストの算定

各部門資本コストの総額は、資本減耗を含む粗資本コストと定義する。したがって、資本サービス価格は、グロスのサービス価格で、資本減耗のコストも反映している。

粗資本コスト＝営業余剰＋資本減耗引当額＋固定資産税
となる。

ここで、 j 部門の t 年期首の資本サービス量は、資本ストック量に比例するものと仮定する。この粗資本コストは、産業連関表上の各産業部門の営業余剰と資本減耗引当金及び間接税に含まれる固定資産税の合計として、その観測値に対応づける。

ここで、粗資本コストの定義式に含まれる資本減耗率 δ_j^{KS} は、資本の経済的摩耗を含んだ陳腐化率であり、会計税務上の資本減耗率、したがって、産業連関表上に表記されている資本減耗引当金に対応する税法上の償却 δ_j^* とは、異なるものと考えている。これは、有形固定資産、無形固定資産についても同じものとして扱っている。したがって、資本減耗額は、ここでの資本減耗額は、経済的陳腐化を考慮した資本サービス測定の経済的減耗額に対応しており、産業連関表の資本減耗引当額の値とは異なっている。後者は簿価評価のために、会計ルール上求めているもので、ここでの技術変化や産業行動の変異を踏まえた経済的な陳腐化率とは異なる。資本サービス量およびその価格は、この経済的資本減耗分をも帰属計算に取り組むことによって算定している。粗資本コストの総額としては、営業余剰額で調整されると考えているので、産業連関表上の営業余剰、資本減耗引当額および固定資産税額の合計に資本サービス額は、一致すると仮定する。

資本サービス価格と資本コスト

ここでは、各資本ストック量と、その生み出すサービス量を区別するが、そのサービス量は、資本ストック量に比例すると仮定する。有形固定資本および無形資本の投資財価格に対応して、それぞれの資本サービス価格を導出する。

まず、各産業の主生産活動に際しての有形固定資本の資本サービス価格を、次のように定義する。

$$P_j^{KS_t} = (1 - \tau^K) r_j^{K_t} P_j^{INV_{K,t-1}} + \delta_j^{KS} P_j^{INV_{K,t}} - (P_j^{INV_{K,t}} - P_j^{INV_{K,t-1}}) + \tau^P P_j^{INV_{K,t-1}} \quad (1)$$

ただし、 $P_j^{INV_{K,t}}$ は、投資財価格であり、 $r_j^{K_t}$ は、投資期待収益率、 τ^K 、 τ^P は、投資収益税率、固定資産税率である。また上で述べように、 δ_j^{KS} は資本の経済的陳腐化率である。同様に、企業内情報活動(KITE)および企業内研究開発活動(KRDE)に関しても、その有形固定資本の資本サービス価格は、次のように定義する。

$$P_j^{KSITE_t} = (1 - \tau^{KITE}) r_j^{KITE_t} P_j^{INV_{KITE,t-1}} + \delta_j^{KITE} P_j^{INV_{KITE,t}} - (P_j^{INV_{KITE,t}} - P_j^{INV_{KITE,t-1}}) + \tau^{PITE} P_j^{INV_{KITE,t-1}} \quad (2)$$

ただし、 $r_j^{KITE_t}$ は、企業内情報処理有形固定資本投資の投資期待収益率、 τ^{KITE} 、 τ^{PITE} は、それぞれ、企業内情報処理投資の投資収益税率、固定資産税率である。 δ_j^{KITE} は、その資本の経済的陳腐化率である。

$$P^{KSRDEt}_j = (1 - \tau^{KRDE}) r^{KRDEt}_j P^{INVKRDEt-1}_j + \delta^{KRDE}_j P^{INVKRDEt}_j - (P^{INVKRDEt}_j - P^{INVKRDEt-1}_j) + \tau^{PRDE} P^{INVKRDEt-1}_j \quad (3)$$

ただし、 r^{KRDEt}_j は、企業内研究開発有形固定資本投資の投資期待収益率、 τ^{KRDE} は、企業内研究開発投資の投資収益税率、固定資産税率である。 δ^{KRDE}_j は、その資本の経済的陳腐化率である。

無形資本に関する資本サービス価格も同様に定義される。

$$P^{KSNITEt}_j = (1 - \tau^{KNITE}) r^{KNITEt}_j P^{INVSNITEt-1}_j + \delta^{KNITE}_j P^{INVKNITEt}_j - (P^{INVKNITEt}_j - P^{INVKNITEt-1}_j) + \tau^{SKNITE} P^{INVKNITEt-1}_j \quad (4)$$

$$P^{KSNRDEt}_j = (1 - \tau^{KNRDE}) r^{KNRDEt}_j P^{INVKNRDEt-1}_j + \delta^{KNRDE}_j P^{INVKNRDEt}_j - (P^{INVKNRDEt}_j - P^{INVKNRDEt-1}_j) + \tau^{SKNRDE} P^{INVKNRDEt-1}_j \quad (5)$$

ただし、 r^{KNITEt}_j 、 r^{KNRDEt}_j は、企業内情報および研究開発無形固定資産投資の投資期待収益率、 τ^{KNITE} 、 τ^{KNRDE} は、その投資の投資収益税率、 τ^{SKNITE} 、 τ^{SKNRDE} は、その投資の固定資産税率、 δ^{KNITE}_j 、 δ^{KNRDE}_j は、それぞれの無形固定資本に関する経済的陳腐化率である。

公的資本形成による有形、無形の固定資本ストックからの資本サービス価格も同様に投資財価格の同様に定義することができる。

$$P^{KSGt}_j = (1 - \tau^{KG}) r^{KGt}_j P^{INVKGt-1}_j + \delta^{KG}_j P^{INVKGt}_j - (P^{INVKGt}_j - P^{INVKGt-1}_j) + \tau^{PKG} P^{INVKGt-1}_j \quad (6)$$

$$P^{KSNGt}_j = (1 - \tau^{KNG}) r^{KNGt}_j P^{INVKNGt-1}_j + \delta^{KNG}_j P^{INVKNGt}_j - (P^{INVKNGt}_j - P^{INVKNGt-1}_j) + \tau^{PKNG} P^{INVKNGt-1}_j \quad (7)$$

資本コストと資本収益率

資本サービス価格は、有形固定資本ストック量および無形固定資本ストック量にそれぞれのサービス量が比例すると仮定し、そのサービス量に資本サービス価格を乗じた名目額の総計が、各産業部門の資本コスト総額に等しくなると仮定する。産業連関表では、各生産部門の営業余剰、資本減耗引当金および固定資産税額の合計を粗資本コスト(Gross Capital Cost)と仮定して、その観測値を産業部門別に与えることができる。各生産部門の資本コスト BS^t_j (純営業余剰+資本減耗引当額+固定資産税額)が有形固定資本および無形固定資本の提供する資本サービスの粗資本コストであると考え、以下のように定式化する。

(i) j 産業活動が主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動からなる場合

$$\begin{aligned}
 BS^t_j &= K^t_j P^{KS^t}_j + KITE^t_j P^{KSITE^t}_j + KNITE^t_j P^{KSNITE^t}_j + KRDE^t_j P^{KSRDE^t}_j \\
 &\quad + KNRDE^t_j P^{KSNRDE^t}_j \\
 &= [K^t_j \{ (1 - \tau^K) r^{Kt}_j P^{INVKt-1}_j + \delta^K_j P^{INVKt}_j - (P^{INVKt}_j - P^{INVKt-1}_j) + \tau^P P^{INVKt-1}_j \} \\
 &\quad + KITE^t_j \{ (1 - \tau^{KITE}) r^{Kt}_j P^{INVKITE-1}_j + \delta^{KITE}_{j+1} P^{INVKITE}_j \\
 &\quad - (P^{INVKITE}_j - P^{INVKITE-1}_j) + \tau^{PKITE} P^{INVKITE-1}_j \} \\
 &\quad + KNITE^t_j \{ (1 - \tau^{KNITE}) r^{Kt}_j P^{INVKNITE-1}_j + \delta^{KNITE}_{j+1} P^{INVKNITE}_j \\
 &\quad - (P^{INVKNITE}_j - P^{INVKNITE-1}_j) + \tau^{PKNITE} P^{INVKNITE-1}_j \} \\
 &\quad + KRDE^t_j \{ (1 - \tau^{KRDE}) r^{Kt}_j P^{INVKRDE-1}_j + \delta^{KRDE}_j P^{INVKRDE}_j \\
 &\quad - (P^{INVKRDE}_j - P^{INVKRDE-1}_j) + \tau^{PKRDE} P^{INVKRDE-1}_j \} \\
 &\quad + KNRDE^t_j \{ (1 - \tau^{KNRDE}) r^{Kt}_j P^{INVKNRDE-1}_j + \delta^{KNRDE}_j P^{INVKNRDE}_j \\
 &\quad - (P^{INVKNRDE}_j - P^{INVKNRDE-1}_j) + \tau^{PKNRDE} P^{INVKNRDE-1}_j \}] \cdot P^{SKO}_j \quad (8)
 \end{aligned}$$

ただし、ここで P^{SKO}_j は、基準時(2005 年)における単位あたり資本サービス価格の実勢金額とモデル上での資本サービス価格指数（基準時指数= 1.0）を調整する調整率である。実質資本サービス量（基準時=2005 年）を実質資本ストック量（基準時=2005 年）に等しいと仮定し、基準時の資本サービス価格指数および投資財価格指数を 1.0 と仮定することによって生ずる、基準時の資本コスト差額を補正する調整係数である。基準時（ $t=0$ ）において、資本サービス量が資本ストック量に等しいと仮定し、すべての資本サービス価格を 1.0 とすることによって、 P^{SKO}_j がもとめられる。この値は $t=0$ 以降、固定して与える。

部門によって、企業内活動が、主生産活動、情報処理活動、研究開発活動に分れている場合には、この j 産業部門では、主生産活動、企業内情報処理活動ならびに企業内研究開発活動に関しての有形固定資本ストック（ K^t_j 、 $KITE^t_{j+1}$ 、 $KRDE^t_{j+2}$ ）と企業内情報処理部門、企業内研究開発部門の無形固定資本ストック（ $KNITE^t_{j+1}$ 、 $KNRDE^t_{j+2}$ ）の資本コストを統合して、(8)式のバランスが成立すると想定している。該当する部門の有形・無形の固定資本ストックが区分できない場合には、その資産のストックをゼロと考える。また政府 R&D 活動部門では、産業連関表の定義では営業余剰はゼロであり、資本コストは、有形・無形資本の資本減耗引当額のみで定義される。

また企業の合理的な行動結果として、各資産の期待資本収益率は、その部門では、各有形固定資本、無形固定資本について均等化するものと仮定する。産業部門（主生産、企業内研究開発、企業内情報処理活動）の営業余剰、資本減耗額および固定資産税額の合計として、 BS^t_j が観測され、各有形固定資本、無形固定資本の投資財価格と資本税率パラメータおよび資本減耗率（経済的陳腐化率）が与えられると、均等化した資本収益率 r^K_j がこの定義式から求められることになる。資本収益率の算定後、各有形・無形固定資本サービス価格が上記定義式に従い求められる。

(ii) 政府の公的研究開発部門の場合

政府 R&D 活動部門では、営業余剰はゼロであり、資本コストは、有形・無形の固定資産ストックの資本減耗引当のみで定義される。そのとき、式は以下のように与えられる。先に述べたように、われわれの産業連関表では、公的研究開発部門には、民間非営利研究機関（私立大学等）が含まれていることに留意されたい。

$$\begin{aligned} BS^t_j &= KSG^t_j P^{KSG}_j + KSNNG^t_j P^{KSNNG}_j \\ &= [KG^t_j \{ (1 - \tau^K) r^{KG}_j P_j^{INVKGt-1} + \delta_j^{KG} P_j^{INVKGt} - (P_j^{INVKGt} - P_j^{INVKGt-1}) + \tau^P P_j^{INVKGt-1} \} \\ &\quad + KNG^t_j \{ (1 - \tau^{KNG}) r^{KNG}_j P_j^{INVKNGt-1} + \delta_j^{KNG} P_j^{INVKNGt} - (P_j^{INVKNGt} - P_j^{INVKNGt-1}) \\ &\quad + \tau^{PKNG} P_j^{INVKNGt-1} \}] \cdot P^{KSG0}_j \end{aligned} \quad (9)$$

ここでも、 P^{KSG0}_j は、基準年次で、資本コストを実勢に調整するための係数であり、基準年次の 2005 年で算定した値を固定値として、各年で用いる。

(iii) 民間研究開発産業部門の場合

民間研究開発産業部門の場合は、 BS^t_j は、産業連関表では、付加価値部分の営業余剰と有形・無形固定資本の資本減耗引当金の合計で定義され、以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} BS^t_j &= KSPI^t_j P^{KSPI}_j + KSNPI^t_j P^{KSNPI}_j \\ &= [K_j^t \{ (1 - \tau^K) r^{KPI}_j P_j^{INVKPIt-1} + \delta_j^{KPI} P_j^{INVKPIt} - (P_j^{INVKPIt} - P_j^{INVKPIt-1}) + \tau^P P_j^{INVKPIt-1} \} \\ &\quad + KNPI_j^t \{ (1 - \tau^{KNPI}) r^{KNPI}_j P_j^{INVKNPIt-1} + \delta_j^{KNPI} P_j^{INVKNPIt} - (P_j^{INVKNPIt} - P_j^{INVKNPIt-1}) \\ &\quad + \tau^{PKNPI} P_j^{INVKNPIt-1} \}] \cdot P^{KSPI0}_j \end{aligned} \quad (10)$$

となる。ここでも、 P^{KSPI0}_j は、基準年次で、資本コストを実勢に調整するための係数である。基準年次の 2005 年で算定したのを、固定で、各年で用いる。

資本収益率は、以下のようにして算定する。まず、基準年次(2005 年)に産業連関表をもとに、資本コストの補正係数 P^{KS0}_j 、 P^{KSG0}_j 、 P^{KSPI0}_j をそれぞれの対応部門で推計する。

i) 産業部門が主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動からなる場合

$$P^{KS0}_j = BS^0_j / \{ K^t_j + KITE^t_{j+1} + KNITE^t_{j+1} + KRDE^t_{j+2} + KNRDE^t_{jj} \} \quad (10-1)$$

基準年次における、すべての資本サービス価格指数は 1.0 であり、資本サービス量は資本ストック量に等しいと仮定する。また BS^0_j は、基準年次において観測される各部門の資本コストの集計額である。産業部門が主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動に分割されている場合には、それぞれの活動における、営業余剰ならびに有形・無形固定資本の資本減耗引当額および固定資産税額を集計してもとめる。産業部門が、主生産活動（80 医療福祉サービス、81.教育）のみ、もしくは主生産活動と企業内研究開発活動のみの場合は、1 活動もしくは 2 活動のみで集計する。

同様に、

ii) 政府の公的研究開発部門の場合

$$P^{KSG0}_j = BS^0_j / \{ KG^0_j + KNG^0_j \} \quad (10-2)$$

iii) 民間研究開発産業部門の場合

$$P^{KSP10}_j = BS^0_j / \{ KPI^0_j + KN^0_j \} \quad (10-3)$$

として、補正係数が求められる。基準年次に続く各期には、この基準年次の補正係数を与えて調整を基準年次に合わせることになる。

各産業部門の t 期の資本収益率は、上記 (8)、(9)、(10)式を用いて次のように求められる。

産業部門が主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動からなる場合

$$\begin{aligned} DD1 &= BS^t_j / P^{KSG0}_j - [K_j^t \{ \delta_j^K P^{INVKt}_j - (P^{INVKt}_j - P^{INVKt-1}_j) + \tau^P P^{INVKt-1}_j \} \\ &\quad + KRDE^t_j \{ \delta_j^{KRDE} P^{INVKRDEt}_j - (P^{INVKRDEt}_j - P^{INVKRDEt-1}_j) + \tau^{PKRDE} P^{INVKRDEt-1}_j \} \\ &\quad + KITE^t_j \{ \delta_j^{KITE} P^{INVKITEt}_j - (P^{INVKITEt}_j - P^{INVKITEt-1}_j) + \tau^{PKITE} P^{INVKITEt-1}_j \} \\ &\quad + KNRDE^t_j \{ \delta_j^{KNRDE} P^{INVKNRDEt}_j - (P^{INVKNRDEt}_j - P^{INVKNRDEt-1}_j) \\ &\quad + \tau^{PKNRDE} P^{INVKNRDEt-1}_j \} \\ &\quad + KNITE^t_j \{ \delta_j^{KNITE} P^{INVKNITEt}_j - (P^{INVKNITEt}_j - P^{INVKNITEt-1}_j) \\ &\quad + \tau^{PKNRDE} P^{INVKNRDEt-1}_j \}] \\ DD2 &= [K_j^t (1 - \tau^K) P^{INVKt-1}_j + KRDE^t_j (1 - \tau^{KRDE}) P^{INVKRDEt-1}_j \\ &\quad + KITE^t_j (1 - \tau^{KITE}) P^{INVKITEt-1}_j + KNRDE^t_j \{ (1 - \tau^{KNRDE}) P^{INVKNRDEt-1}_j \\ &\quad + KNITE^t_j \{ (1 - \tau^{KNITE}) P^{INVKNITEt-1}_j \}] \\ r^{Kt}_j &= DD1 / DD2 \end{aligned} \quad (11)$$

ただし、ここでの BS^t_j は、産業部門ごとに、主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動の3活動部門の付加価値側から求めた営業余剰と資本減耗引当金および固定資産税額を集計したものである。上で仮定した通り、基準時において、資本ストック量と資本サービス量が等しく、かつすべての投資財価格、および資本サービス価格が 1.0 と仮定していることから、基準時で資本収益率を(11)式のようにもとめれば、求められる資本サービス価格は、基準時では、1.0 になる。

基準時以外では、各年の IO 表からもとめられる、 BS^t_j と資本ストック量および資本財価格を観察値として与え、調整係数 P^{KSG0}_j を与えて、同様の計算を行い、サービス価格が推計する。基準時以外でも、資本ストック量と資本サービス量は比例関係にあることを仮定しているので、(12)式で求められた資本コストの総額を、各資本コストで按分して、それぞれの資本サービス価格で資本コスト除して、資本サービス量が求められる。

$$\begin{aligned} \text{総資本コスト} = & \{P_j^d X_j - (\Sigma_i P_i^d X_{ij}^d + \Sigma_i P_i^m X_{ij}^m + BCH_j + LC_j + HOJO_j)\} \text{ (主生産部門)} \\ & + \{P_j^d X_j - (\Sigma_i P_i^d X_{ij}^d + \Sigma_i P_i^m X_{ij}^m + BCH_j + LC_j + HOJO_j)\} \text{ (企業内情報処理部門)} \\ & + \{P_j^d X_j - (\Sigma_i P_i^d X_{ij}^d + \Sigma_i P_i^m X_{ij}^m + BCH_j + LC_j + HOJO_j)\} \text{ (企業内研究開発部門)} \end{aligned} \quad (12)$$

として、産業連関表の各部門の投入バランスから求められる。

ここで、 $\Sigma_i P_i^d X_{ij}^d + \Sigma_i P_i^m X_{ij}^m$ は、主生産活動、企業内情報処理活動および企業内研究開発活動における中間原材料投入であり、 $\Sigma_i P_i^d X_{ij}^d$ は、国内財の中間投入 (P_i^d は、 i 財国内需要価格、 X_{ij}^d は、 i 中間財の j 部門への投入)、 $\Sigma_i P_i^m X_{ij}^m$ は、輸入財の中間財投入 (P_i^m は、 i 財輸入財価格、 X_{ij}^m は、 i 中間輸入財の j 部門への投入) である。 BCH_j は、家計外消費支出、 LC_j は、労働コストの合計で、雇用者所得、自営業主所得、家族従業者所得の合計額である。また、 $HOJO_j$ は、純間接税額 (間接税－補助金－固定資産税額) である。

r_j^K が推定されると、各資本財の粗資本サービス価格が求められる。

まず、

主生産の有形固定資本サービス価格

$$P_j^{KS_t} = (1 - \tau^K) r_j^K P_j^{INVK_{t-1}} + \delta_j P_j^{INVK_t} - (P_j^{INVK_t} - P_j^{INVK_{t-1}}) + \tau^P P_j^{INVK_t} \quad (13-1)$$

企業内情報処理活動有形固定資本サービス価格

$$\begin{aligned} P_j^{KSITE_t} = & (1 - \tau^{KIT}) r_j^{KITE} P_j^{INVKITE_{t-1}} + \delta_j P_j^{INVKITE_t} - (P_j^{INVKITE_t} - P_j^{INVKITE_{t-1}}) \\ & + \tau^{PITE} P_j^{INVKITE_t} \end{aligned} \quad (13-2)$$

企業内研究開発活動有形固定資本サービス価格

$$\begin{aligned} P_j^{KSREDE_t} = & (1 - \tau^{KRDE}) r_j^{KRDE} P_j^{INVKRDE_{t-1}} + \delta_j P_j^{INVKRDE_t} - (P_j^{INVKRDE_t} - P_j^{INVKRDE_{t-1}}) \\ & + \tau^{PRDE} P_j^{INVKRDE_t} \end{aligned} \quad (13-3)$$

企業内情報処理活動無形固定資本サービス価格

$$\begin{aligned} P_j^{KSNITE_t} = & (1 - \tau^{SKNITE}) r_j^{KNITE} P_j^{INVSKNITE_{t-1}} + \delta_j P_j^{INVKNITE_t} - (P_j^{INVKNITE_t} \\ & - P_j^{INVKNITE_{t-1}}) + \tau^{SKMITE} P_j^{INVKNITE_{t-1}} \end{aligned} \quad (13-4)$$

企業内研究開発活動無形固定資本サービス価格

$$\begin{aligned} P_j^{KSNRDE_t} = & (1 - \tau^{KNE}) r_j^{KNRDE} P_j^{INVKNRDE_{t-1}} + \delta_j P_j^{INVKNRDE_t} - (P_j^{INVKNRDE_t} \\ & - P_j^{INVKNRDE_{t-1}}) + \tau^{SKNE} P_j^{INVKNRDE_{t-1}} \end{aligned} \quad (13-5)$$

である。ここで 資本収益率 r_j^K 、 r_j^{KITE} 、 r_j^{KRDE} 、 r_j^{KNITE} 、 r_j^{KNRDE} は、上で推計された t 期の資本収益率である。各収益率は、均等化していると仮定している。

産業 j 部門の資本コストの総計は、

資本コスト合計: $\text{Cost}(K)_j^t$

$$= P_j^{KS_t} K_j^t + P_j^{KSITE_t} KITE_j^t + P_j^{KSREDE_t} KRDE_j^t + P_j^{KSNITE_t} KNITE_j^t + P_j^{KSNRDE_t} KNRDE_j^t \quad (14)$$

となり、期首の各資本ストックからの資本サービスコストの総計が求められる。資本コストの合計に対する比率から、資本コストに占める各固定資本サービスのコストシェアを求めることができる。

産業の活動を主生産、企業内情報処理、企業内研究開発活動にわけた場合の費用分割に、2つの仮説が成立する。

「第1案」 企業内情報処理と研究開発活動を主生産活動と分離する仮説

主生産活動の資本コスト $P^{KS}_j K^S_j$ = 主生産の有形固定資本粗コスト

企業内情報処理活動資本コスト $P^{KSITE}_{jt} K^{SITE}_{jt} + P^{KSNITE}_{jt} K^{SNITE}_{jt}$

= 企業内情報処理活動有形資本粗コスト + 企業内情報処理活動無形資本粗コスト

企業内研究開発活動資本コスト $P^{KSRDE}_{jt} K^{SRDE}_{jt} + P^{KSNRDE}_{jt} K^{SNRDE}_{jt}$

= 企業内研究開発活動有形資本粗コスト + 企業内研究開発活動無形資本粗コスト

に区分することができる。この結果から、産業活動を主生産、情報処理、研究開発に区分別各活動の資本投入コストのシェアを求めることができる。以下の長期費用関数におけるコストシェアの算定に用いることになる。

ここでは、無形資産としての企業内情報処理活動や企業内研究開発活動は、それぞれ活動において、有形・無形の期首の資産からうまれる資本サービスを今期の情報処理や研究開発活動に際しての要素投入と考えている。この場合、企業内の知識ストックは、直接的には、主生産の生産活動には影響せず、主生産活動の生産効率の変化には、主生産の TFP に与える影響を生産化する必要がある。

「第2案」 企業内情報処理と研究開発活動の知識生産が主生産に直接影響する仮説

主生産活動の資本コスト = $P^{SK}_j K^S_j + P^{KSITE}_{jt} K^{SITE}_{jt} + P^{KSNRDE}_{jt} K^{SNRDE}_{jt}$

= 主生産有形固定資本粗コスト + 企業内情報処理活動無形資本粗コスト

+ 企業内研究開発活動無形資本粗コスト

企業内情報処理活動資本コスト $P^{KSITE}_{jt} K^{SITE}_{jt}$ = 企業内情報処理活動有形資本粗コスト

企業内研究開発活動資本コスト $P^{KSRDE}_{jt} K^{SRDE}_{jt}$ = 企業内研究開発活動有形資本粗コスト

と仮定しておく。この場合、主生産活動への資本サービスの投入は、期首の有形固定資産からの資本サービスばかりではなく、企業内情報処理および研究開発の期首の知的資本の蓄積が、当期の生産活動に影響することとなる。一方企業内情報処理および研究開発の知的生産は、そこで有形固定資産ストックからの資本サービスのみが活動に影響を与えることとなる。この2つの仮説は、3活動を統合した成長会計では、同じ結果をもたらすことになるが、短期供給行動および長期の投資行動には、異なるかたちで反映されることになる。

生産部門の活動が、特に分割されていない場合や2部門に分割されている場合も、取り扱いはいかならない。

また、生産活動が、政府公的研究開発部門および民間産業研究開発部門のその科学技術部門の知的知識の生産をおこなう部門の場合には、有形固定資産と無形固定資産の両者が、資本サービスを提供するものと考えている。

政府の公的研究開発部門の場合

$$\begin{aligned} DD1 &= BS_j^t / P_j^{KSO} - [KG_j^t \{ \delta_j^{KG} P_j^{INVKGt} - (P_j^{INVKGt} - P_j^{INVKGt-1}) + \tau^P P_j^{INVKGt-1} \} \\ &\quad + KNG_j^t \{ \delta_j^{KNG} P_j^{INVKNGt} - (P_j^{INVKNGt} - P_j^{INVKNGt-1}) + \tau^{PKNG} P_j^{INVKNGt-1} \}] \\ DD2 &= [KG_j^t (1 - \tau^K) P_j^{INVKGt-1} + KNG_j^t \{ (1 - \tau^{KNG}) P_j^{INVKNGt-1} \} \\ r^{K*G}_j &= DD1 / DD2 \end{aligned}$$

ここでも、 BS_j^t は、付加価値側から求めるが、この場合には、営業余剰がゼロに設定されており、資本コストは、有形、無形固定資産の資本減耗分のみである⁴。推定された資本収益率 r^{K*G}_j を用いて、政府公的研究開発部門の有形・無形の資本サービス価格が推定される。

有形固定資本サービス価格

$$P_j^{KSGKt} = (1 - \tau^K) r^{K*G}_j P_j^{INVKGt-1} + \delta_j^{KG} P_j^{INVKGt} - (P_j^{INVKGt} - P_j^{INVKGt-1}) + \tau^P P_j^{INVKGt-1}$$

無形固定資本サービス価格

$$\begin{aligned} P_j^{KSGNt} &= (1 - \tau^{KNG}) r^{K*G}_j P_j^{INVKNGt-1} + \delta_j^{KNG} P_j^{INVKNGt} - (P_j^{INVKNGt} - P_j^{INVKNGt-1}) \\ &\quad + \tau^{PKNG} P_j^{INVKNGt-1} \end{aligned}$$

民間研究開発産業部門の場合

$$\begin{aligned} DD1 &= BS_j^t / P_j^{KSI0} - [K_j^t \{ \delta_j P_j^{INVKIt} - (P_j^{INVKIt} - P_j^{INVKIt-1}) + \tau^P P_j^{INVKIt-1} \} \\ &\quad + KNI_j^t \{ \delta_j^{KNI} P_j^{INVKNIt} - (P_j^{INVKNIt} - P_j^{INVKNIt-1}) + \tau^{PKNI} P_j^{INVKNIt-1} \}] \\ DD2 &= [KI_j^t (1 - \tau^K) P_j^{INVKIt-1} + KNI_j^t (1 - \tau^{KNI}) P_j^{INVKNIt-1}] \\ r^{KI}_j &= DD1 / DD2 \end{aligned}$$

として求められる。ここでも、 BS_j^t は、付加価値側から求めるが、営業余剰と有形、無形固定資産の資本減耗引当の総計が資本コストとなる。推定された資本収益率を用いて、民間研究開発産業部門の有形・無形の固定資本サービス価格を推定することができる。

有形固定資本サービス価格

$$P_j^{KSIIt} = (1 - \tau^K) r^{KI}_j P_j^{INVKIt-1} + \delta_j P_j^{INVKIt} - (P_j^{INVKIt} - P_j^{INVKIt-1}) + \tau^P P_j^{INVKIt-1}$$

無形固定資本サービス価格

$$P_j^{KSIIt} = (1 - \tau^{KNI}) r^{KI}_j P_j^{INVKNIt-1} + \delta_j^{KNI} P_j^{INVKNIt} - (P_j^{INVKNIt} - P_j^{INVKNIt-1}) + \tau^{PKNI} P_j^{INVKNIt-1}$$

ここでは、各資産の期待資本収益率は、その部門では、各有形固定資本、無形固定資本について均等化するものと仮定している。生産部門の営業余剰と資本減耗額の合計として、 BS_j が観測され、各有形固定資本、無形固定資本の投資財価格が求められ、かつ資本税制パラメーターと資本減耗率が与えられると、(8)、(9)、(10) 式は、資本収益率 r_j^K の線形式とな

⁴ わが国の公表産業連関表では、研究開発投資を資本として扱っていないため、無形固定資産としての R&D ストックの資本減耗額は、付加価値には含まれていない。われわれの推計では、政府研究開発部門および産業の研究開発部門における無形固定資産の資本減耗額を推計して、それを付加価値に加えている。

り、各部門について、当期の資本収益率が求められることになる。資本収益率の算定後、各有形・無形固定資本サービス価格が上記定義式に従い求められる。

現行の 2005 年産業連関表の形式によれば、各産業部門の営業余剰、および資本減耗は以下のような取り扱いとなっている。

産業部門（公的および民間研究機関を除く）では、営業余剰：主生産部門に一括されており、企業内 R&D、企業内 I T 処理に関しては、営業余剰は、ゼロと処理されている。これは、産業が、主生産、企業内 I T、企業内 R&D に分割されていない場合でも、扱いは同じである。

資本減耗引当（無形資産）：企業内 I T の無形固定資産（ソフトウェア等）の資本減耗コストは、主生産部門の資本減耗コストとして格付けられているが、企業内研究開発部門の資本減耗は、推計されておらず、したがって主生産部門の営業余剰に含まれているものと考えられる。

資本減耗引当（有形資産）：主生産、企業内 I T、企業内 R D にそれぞれ格付けられている。1995~2011 年の接続産業連関表において、企業内情報処理活動および企業内研究開発活動における有形・無形固定資産の資本減耗引当の産業連関表ベースでの推計においては、有形固定資産と企業内情報処理の無形固定資産に関してのみ計算されている。企業内研究開発活動の資本減耗額は特掲されていないが、主生産部門の営業余剰に含まれていると考え、資本サービス価格の算定後、帰属計算によって、各活動の資本コストは、減価償却を含む租概念で求められる。

したがって、(表 1)に整理したように、産業部門では、

$$\begin{aligned} \text{主生産部門の資本コスト} &= \text{主生産} + \text{企業内 I T} + \text{企業内 R \& D の営業余剰合計} \\ &\quad + \text{企業内 I T および企業内 R D の無形固定資産の資本減耗} \\ &\quad + \text{主生産にかかわる有形固定資産の資本減耗} \end{aligned}$$

$$\text{企業内 I T 活動の資本コスト} = \text{企業内 I T に用いられる有形固定資産の資本減耗}$$

$$\text{企業内 R \& D 活動の資本コスト} = \text{企業内 R D に用いられる有形固定資産の資本減耗}$$

となっている。

・ 政府公的 R&D 部門（目的分類別）の場合

営業余剰：ゼロ。

無形資本減耗引当：情報処理、研究開発とも、無形資本の資本減耗は、無形固定資産ストックに法定資本減耗率を与えて推計し、産出額を補正している。

有形資本減耗引当：有形資本の資本減耗は計上。したがって、この部門では、生産部門の資本コストは＝有形の固定資本の資本減耗のみとなる。

・民間研究開発産業部門（目的分類別）の場合

営業余剰：あり

無形資本減耗引当：R&D、IT とも、資本減耗は、営業余剰に含まれていると仮定する。

有形資本減耗引当：企業活動にともなう有形固定資産の資本減耗は計上。したがってこの部門の資本コストは生産部門の資本コスト＝営業余剰＋有形資本の資本減耗となる。

民間産業部門におけるコスト・バランスは、上記の産業連関表の要素投入の形を前提としている。その特徴は、以下のようになる。

- (1) 民間産業部門の活動は、原則 1. 主生産活動、2. 情報処理活動、3. 企業内研究開発活動に 3 分割されている。95 部門のうち、幾つかの部門では、分割なし（3 活動を集計）ないし 2 分割（1. 主生産活動、および 2. 情報処理活動もしくは企業内研究活動にわけ活動を分割しなかったものは、主生産活動に集計）している部門もある。
- (2) 活動を分割した場合、情報処理活動および企業内研究開発活動にともなう有形固定資本（KITE および KRDE）および無形固定資本（KNITE および KNRDE）の資本コストは、主生産活動部門がその資本コストを負担するものと仮定する。
- (3) 資本減耗引当（無形資産）：企業内 R&D 活動による無形資産は、主生産部門の営業余剰に格付けられている。一方、企業内 IT 活動の無形資産の資本減耗引当は特掲され、主生産部門に格付けられている。
- (4) 資本減耗引当（有形資産）：主生産、企業内 IT、企業内 RD にそれぞれ格付けられている。

(表 2) 全要素生産性測定フレーム				
		産業j 部門 Activity		
		Main Activity	IT Activity	RD Activity
200	内生部門計	$\sum p_{di} x_{dij} + \sum p_{mi} x_{mij}$	$\sum p_{di} x_{dij} + \sum p_{mi} x_{mij}$	$\sum p_{di} x_{dij} + \sum p_{mi} x_{mij}$
501	家計外消費支出	BCHi		
502	雇用者所得(雇用者)	$LCj = PE_{mjhmj}ED_{mj}$	$LCitj = PE_{itjhitj}ED_{itj}$	$LCRDj = PE_{RDjhrd}ED_{RDj}$
503	自営業主及び家族従業者収入	$PS_{Emjhmj}SED_{mj}$	$PS_{Eitjhitj}SED_{itj}$	$PS_{ERDjhrd}SED_{RDj}$
504	営業余剰(Total Capital Service Cost)			
504-1	Tangible Assets	$PS_{kmKm}j$	$PS_{itKit}j$	$PS_{RDKRd}j$
504-2	Intangible Assets (IT)	$PS_{KNitKNit}j$		
504-3	Intangible Assets (RD)	$PS_{KNRDKNRD}j$		
508	間接税(除関税・輸入品商品税)	$IndTax_{mi}$		
509	(控除)経常補助金	$-SD_{mi}$		
600	租付加価値部門計	V_{mj}	V_{itj}	V_{RDj}
700	国内生産額	$P_{diZj} = P_{mjXj}$ $- PS_{itKit}j$ $- PS_{RDKRd}j$ $+ DEP_{KNit}j$ $+ DEP_{KNRD}j$	$P_{ditiZiti} = P_{itjXitj}$ $+ PS_{itKit}j$ $- DEP_{KNit}j$	$P_{dRDiZRDj} = P_{RDjXRDj}$ $+ PS_{RDKRd}j$ $- DEP_{KNRD}j$
(注：有形・無形固定資産の資本減耗引当額は、資本費用が「粗概念」で定義されているので、504営業余剰に含まれる。				
(内)505	資本減耗引当(無形R&D)	$DEP_{KNit}j$		
(内)506	資本減耗引当(無形企業内情報処理)	DEP_{KNRD}		
(内)507	資本減耗引当(有形)	DEP_{KNmi}	DEP_{KNiti}	DEP_{KNRDj}

(表 2) は、上述の「第 2 案」に基づいて、全要素生産性を把握するフレームを描いている。主生産活動の有形固定資本コストは、主生産活動における有形固定資本の資本減耗引当額を含む資本サービスコストと期首の情報処理および研究開発知識資産から生まれる無形固定資本サービスの資本減耗を含む資本サービスコストの合計となる。

企業内情報処理活動の資本コストは、有形固定資本の資本減耗引当を含む企業内情報処理有形資本コストとなる。同様に、企業内研究開発活動の資本コストも、企業内研究開発活動の有形資本減耗引当額を含む有形固定資本コストとなる。したがって、企業内情報処理および研究開発活動の営業余剰は、産業連関表の表現とはことなり、ゼロとは考えていない。

2.3 資本サービス量・資本サービス価格および資本収益率の測定結果

前節の資本サービス量および資本サービス価格の測定を、我が国の 1995-2011 年の接続産業連関表の資料に適用して、実測した結果を示そう。接続産業連関表の推計およびその特性は、資料黒田(2019)を参照されたい。ここでは、基本表の接続産業連関表を(表 3)にあるように、93 産業部門に集計している。そこでは、産業をまず日本標準産業分類 2 桁分類に準じて、33 部門に分けている。33 部門のうち、農林水産業、鉱業、ソフトウェア業、情報提供サービス業、インターネット業、その他サービス業の 6 部門で企業内研究開発活動を主生産・情報処理部門から特掲して、2 部門に分けている。また、医療福祉サービス、教育部門を各 1 部門、R&D(国公立・非営利)および R&D(産業)を各 5 分野(ライフ・情報通信・物質材料・環境エネルギー・その他)に分割、残りの産業 23 部門を、主生産・企業内情報処理・研究開発の 3 部門に分けている。

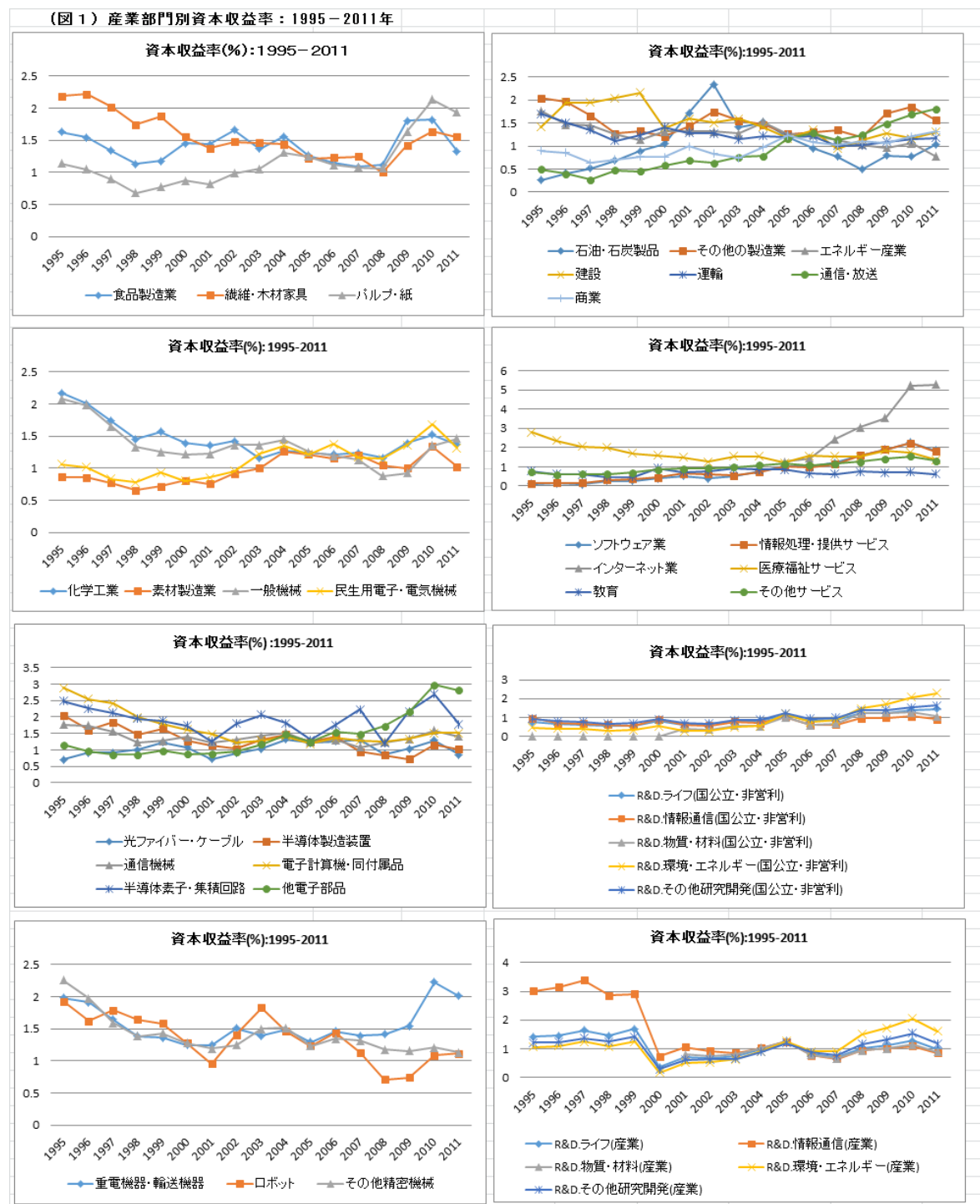
(表3) 接続産業連関表 93 部門表産業分類					
産業番号	産業部門名	産業番号	産業部門名	産業番号	産業部門名
001	農林水産業 (含主生産・情報処理部門)	032	通信機械 (主生産部門)	063	建設 (企業内情報処理部門)
002	企業内研究 (農林水産業)	033	通信機械 (企業内情報処理部門)	064	建設 (企業内研究部門)
003	鉱業資源 (含主生産・情報処理部門)	034	通信機械 (企業内研究部門)	065	運輸 (主生産部門)
004	企業内研究 (鉱業資源)	035	電子計算機・同付属品 (主生産部門)	066	運輸 (企業内情報処理部門)
005	食品製造業 (主生産部門)	036	電子計算機・同付属品 (企業内情報処理部門)	067	運輸 (企業内研究部門)
006	食品製造業 (企業内情報処理部門)	037	電子計算機・同付属品 (企業内研究部門)	068	通信・放送 (主生産部門)
007	食品製造業 (企業内研究部門)	038	半導体素子・集積回路 (主生産部門)	069	通信・放送 (企業内情報処理部門)
008	繊維・木材家具製造業 (主生産部門)	039	半導体素子・集積回路 (企業内情報処理部門)	070	通信・放送 (企業内研究部門)
009	繊維・木材家具製造業 (企業内情報処理部門)	040	半導体素子・集積回路 (企業内研究部門)	071	商業 (主生産部門)
010	繊維・木材家具製造業 (企業内研究部門)	041	他電子部品 (主生産部門)	072	商業 (企業内情報処理部門)
011	パルプ・紙製造 (主生産部門)	042	他電子部品 (企業内情報処理部門)	073	商業 (企業内研究部門)
012	パルプ・紙製造 (企業内情報処理部門)	043	他電子部品 (企業内研究部門)	074	ソフトウェア業 (主生産部門)
013	パルプ・紙製造 (企業内研究部門)	044	重電機器・輸送機器 (主生産部門)	075	ソフトウェア業 (企業内研究部門)
014	化学工業 (主生産部門)	045	重電機器・輸送機器 (企業内情報処理部門)	076	情報処理・提供サービス (主生産部門)
015	化学工業 (企業内情報処理部門)	046	重電機器・輸送機器 (企業内研究部門)	077	情報処理・提供サービス (企業内研究部門)
016	化学工業 (企業内研究部門)	047	ロボット (主生産部門)	078	インターネット業 (主生産部門)
017	素材製造業 (主生産部門)	048	ロボット (企業内情報処理部門)	079	インターネット業 (企業内研究部門)
018	素材製造業 (企業内情報処理部門)	049	ロボット (企業内研究部門)	080	医療福祉サービス (主生産部門)
019	素材製造部門 (企業内研究部門)	050	その他精密機械 (主生産部門)	081	教育 (主生産部門)
020	一般機械 (主生産部門)	051	その他精密機械 (企業内情報処理部門)	082	R&D. ライフ (国公立・非営利)
021	一般機械 (企業内情報処理部門)	052	その他精密機械 (企業内研究部門)	083	R&D. 情報通信 (国公立・非営利)
022	一般機械 (企業内研究部門)	053	石油・石炭製品 (主生産部門)	084	R&D. 物質・材料 (国公立・非営利)
023	民生用電子・電気機械 (主生産部門)	054	石油・石炭製品 (企業内情報処理部門)	085	R&D. 環境・エネルギー (国公立・非営利)
024	民生用電子・電気機械 (企業内情報処理部門)	055	石油・石炭製品 (企業内研究部門)	086	R&D. その他研究開発 (国公立・非営利)
025	民生用電子・電気機械 (企業内研究部門)	056	その他の製造業 (主生産部門)	087	R&D. ライフ (産業)
026	光ファイバー・ケーブル (主生産部門)	057	その他の製造業 (企業内情報処理部門)	088	R&D. 情報通信 (産業)
027	光ファイバー・ケーブル (企業内情報処理部門)	058	その他の製造業 (企業内研究部門)	089	R&D. 物質・材料 (産業)
028	光ファイバー・ケーブル (企業内研究部門)	059	エネルギー産業 (主生産部門)	090	R&D. 環境・エネルギー (産業)
029	半導体製造装置 (主生産部門)	060	エネルギー産業 (企業内情報処理部門)	091	R&D. その他研究開発 (産業)
030	半導体製造装置 (企業内情報処理部門)	061	エネルギー産業 (企業内研究部門)	092	その他サービス (主生産部門)
031	半導体製造装置 (企業内研究部門)	062	建設 (主生産部門)	093	その他サービス (企業内研究部門)

この時系列産業連関表から、各産業部門における資本サービス量および資本サービス価格を前節で述べた方法で推計した。1995-2011 年の日本経済は、1985 年のいわゆるプラザ合意以後の円高傾向とその影響をうけて始まったバブル期を経て、長期に経済停滞期に入った時期であった。その間の R&D 投資等の成果を評価することが、ここでの課題である。この節では、次節以降のこの課題に入る前に、前節で述べた資本サービスの測定の結果を整理しておくことにしたい。

まず、各産業部門の資本収益率の推計結果に注目しよう。

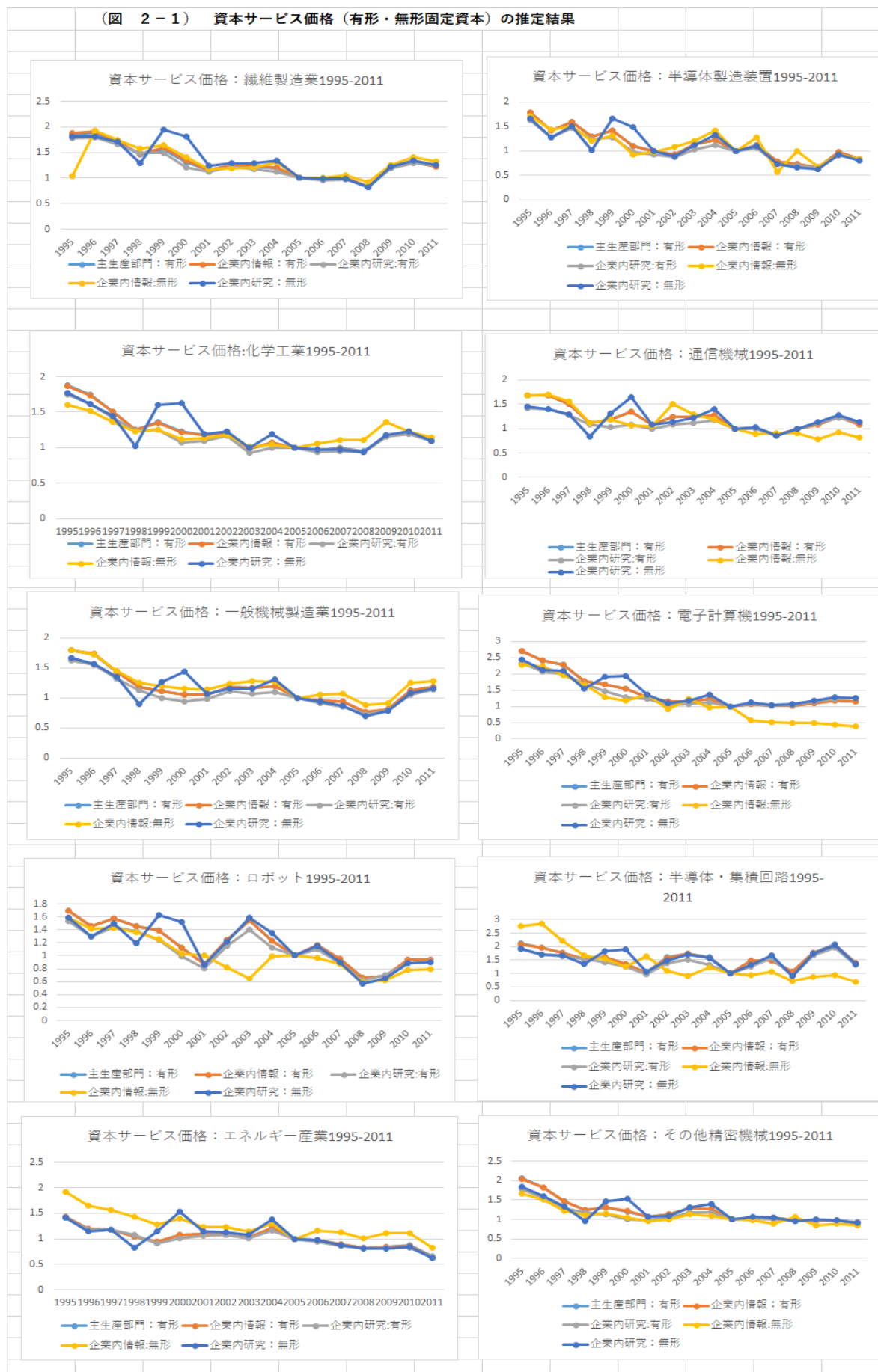
(図 1)は、推計された産業部門別の資本収益率である。産業部門によって若干の差異はあるものの、1995 年～2011 年の間、ほぼ年率 0.01~2.5% 範囲の水準で推移している。傾向としては、1990 年代に所謂、バブル崩壊後の修復期の 1995 年から 2000 年の水準から、2000 年～2002 年のバブルの後遺症が、2005 年頃まで続き、その後回復を見せたものの、2008 年のリーマンショックで再び収益率は低下する。リーマンショックの影響は、2010 年には、再び回復の軌道に戻る傾向を見せている。そうした全体の傾向のなかでも、光ファイバー、半導体関連、電子計算機・同部品など電子関係の産業の資本収益率の推移が、上記の傾向を明確に見せている。またそれに関連した情報処理産業やインターネット産業の 2005 年以降の回復が著しい。研究開発部門 R&D 部門 (国公立・非営利) の資本収益率は、他の民間産業部門に比して水準が低くなっている。先に述べたように、国公立の R&D 部門は、定義営業余剰はゼロとなっており、ここでは資本コストは、有形・無形資本の資本減耗引当と私立大学等非営利の研究開発部門の営業余剰を含めていることから、国公立および非営利の研究開発部門を集計しても、その資本収益率は、他の産業部門に比して小さくなっ

ている。産業としての研究開発部門の資本収益率は、他の産業部門とほぼ同じ傾向の推移を見せている。2000~2002年のITバブル崩壊と2007~2008年のリーマンショックの影響は、全産業を通じて共通した傾向を示している。

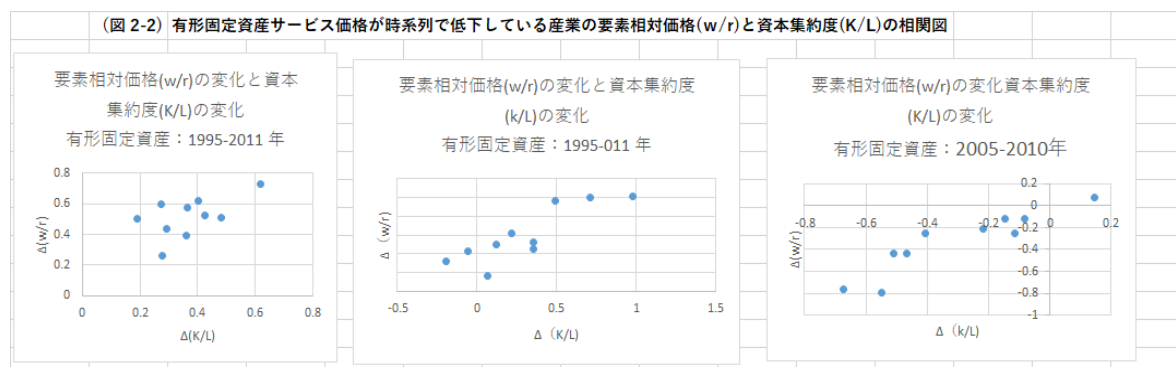


(図2-1) は、産業部門別に推定した有形・無形固定資本についての資本サービス価格の時系列推移を図に示したものである。ここでは、資本サービス価格が、有形、無形の固定資本に関して、1995年から2011年の観測期間で、時系列的に低下傾向に部門を取り上げている。

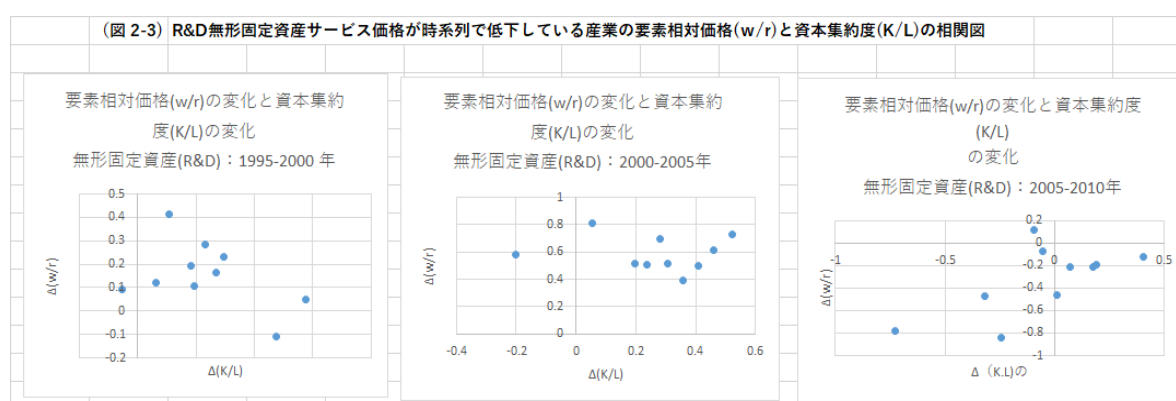
(図 2-1) 資本サービス価格(有形・無形固定資本)の推定結果



どの部門でも、有形、無形の資本サービス価格は、ほぼ並行して推移している。資本サービス価格の低下傾向を示す産業部門のなかに、半導体装置産業、通信機械産業、電子計算機、半導体・集積回路、ロボット、その他精密機械産業など、情報機器産業が多く含まれている。また、2000年のITバブル崩壊期、2007-2009年のリーマンショックには、資本サービス価格が上昇傾向にあることも、共通した現象である。資本サービス価格の低下は、労働サービス価格（賃金率）との関係では、労働と資本サービス価格の相対比としての要素相対価格(w/r)を上昇させることとなり、労働から資本への代替を加速することが予想される。

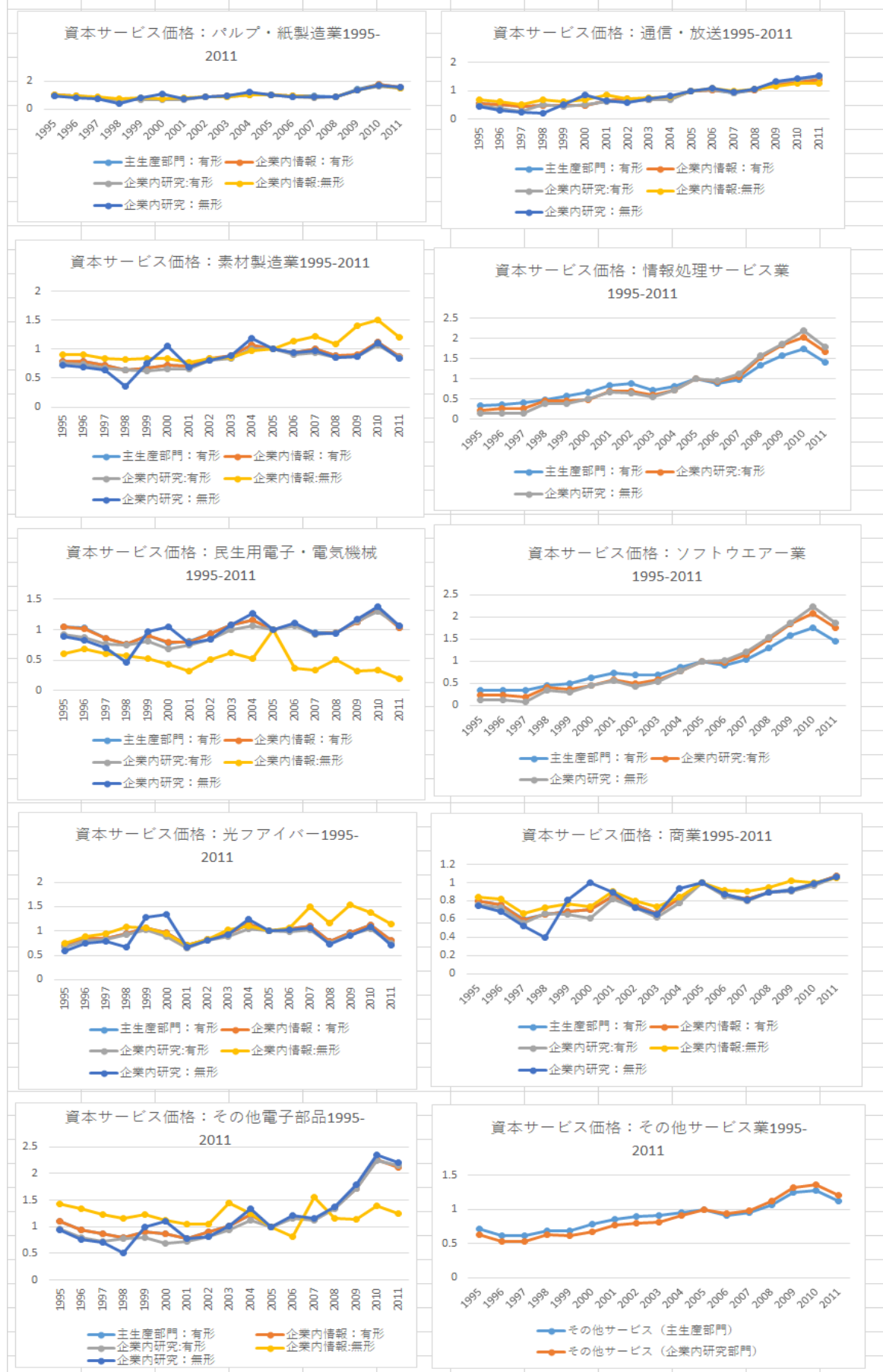


(図 2-2) および (図 2-3) は、有形固定資産と企業内 R&D 活動による無形固定資産に関して、1995-2010 年の期間を 3 区分して、資本サービス価格が時系列で低下している産業について、その期間内の要素相対価格の変化と資本集約度の変化をプロットしたものである。要素相対価格の変化 ($\Delta(w/r)$) と資本集約度の変化 ($\Delta(K/L)$) とは、正の相関関係を持ち、それが 1995 年以来、その関係が強まっていることが確認される。資本サービス価格が低下傾向にあるこれらの産業が、資本集約度を高め、要素間の代替を高め、有形固定資本サービスのみならず、研究開発投資に関する無形固定資産においても、生産の効率化を進めていることがわかる。

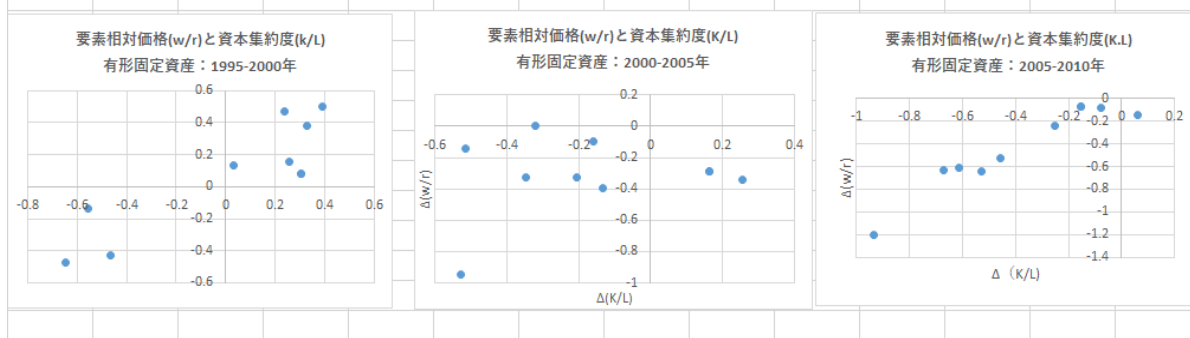


次に、有形・無形固定資産の資本サービス価格の時系列変異が、1995 年から 2011 年にかけて、上昇傾向にある産業部門に着目しよう。(図 3-1) がそれらの産業に資本サービス価格の推計値をプロットしたものである。ここに含まれている産業では、民生用電気機械産業を除いては、有形・無形資本の資本サービス価格は、1995 年以来、ほぼ上昇傾向にある。民生用電気機械産業も企業内情報処理にかかわる無形固定資本価格を除けば、上昇傾向は、余り上記の産業と変わらず、時系列的には上昇傾向となっている。

(図 3-1) 資本サービス価格（有形・無形固定資本）の推定結果



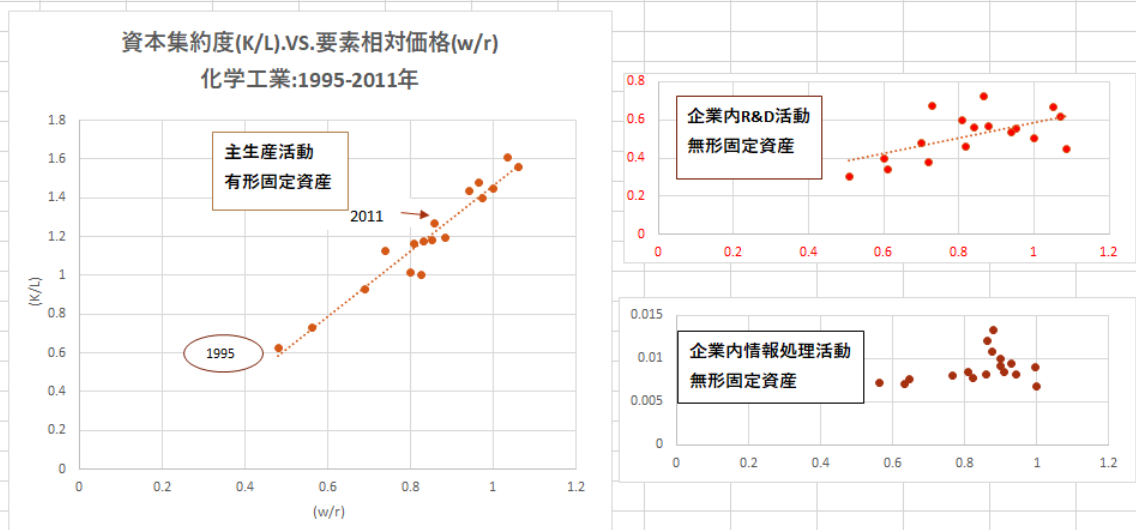
(図 3-2) 有形固定資産サービス価格が時系列で上昇している産業の要素相対価格(w/r)と資本集約度(K/L)の相関図



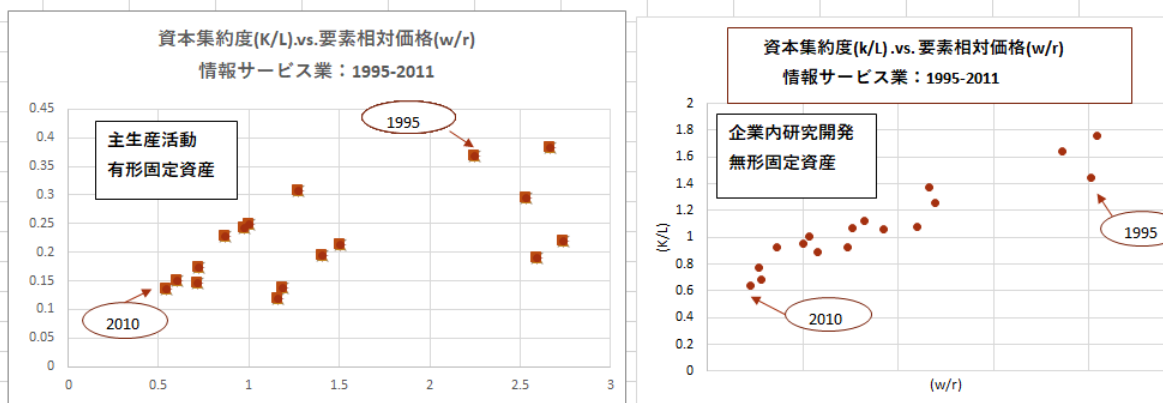
主生産活動の有形固定資産サービス価格が1995年以来上昇傾向にある産業について、1995年から5年ごとの要素相対価格の変化($\Delta(w/r)$)と資本集約度の変化($\Delta(K/L)$)とをプロットしたものが、(図 3-2)である。上の(図 2-2)比較すると、中間の2000-2005年では、要素相対価格の変化と資本集約度の変化は、他の期間ほど明確に正相関の関係を示していない。

(図 4) 資本集約度と要素相対価格の時系列変移

(図4-1)資本サービス価格が時系列で低下傾向にある産業例(化学工業)



(図4-2) 資本サービス価格が時系列で上昇傾向にある産業例(情報処理サービス業)



(図 4)は、資本サービス価格の時系列推移が、下降傾向にある産業群と上昇傾向にある産業群から、その特徴を示すために代表的な産業として、(図 4-1)に化学工業を、(図 4-2)に情報処理サービス業をとりだし、それぞれの主生産活動および研究開発や情報処理などの企業内知識サービス活動について、その要素相対価格(w/r)と資本集約度(K/L)の時系列変化を示したものである。両産業とも、要素相対価格と資本集約度とが正相関を示していることは共通している。すなわち、要素相対価格の上昇、すなわち相対的に労働サービス価格の上昇が資本サービス価格の上昇を上回る場合には、資本集約度が高まる傾向にあることは、企業の合理的な行動として、整合的であることを示している。しかしながら、化学工業と情報サービス業では、時系列的な要素相対価格の変化の方向、したがって資本集約化の方向は、逆になっている。化学工業では、1995 年から、2011 年かけて、労働サービス価格の上昇が資本サービス価格より高く、したがって資本集約度がそれに沿って上昇している。一方、情報処理サービス業では、逆に資本サービス価格の上昇が、労働サービス価格の上昇を上回っており、その結果資本集約度は、時系列的には相対的に低下していることを示している。この傾向は、(図 2)の産業群と(図 3)の産業群に共通してみられる傾向である。

この産業間の要素相対価格と資本集約度の傾向的な差異は、先の(図 1)の資本収益率の時系列推移とも整合的であることがわかる。化学工業などの資本サービス価格が低下傾向にある産業群は、資本収益率の水準は産業平均より高いレベルを示している一方、時系列では、その水準は低下傾向にある。一方情報処理サービス業など資本サービス価格が上昇傾向にある産業群は、資本収益率の水準は、産業平均を下回っているものが多いが、時系列的には、上昇傾向にある。労働サービス価格が、労働市場の状況を反映して、産業間ではそれほど大きな差異を示していないことから、産業間の資本収益率の水準とその時系列変化の傾向とが、産業間の資本集約度の変化の産業間格差を生み出しているように思われる。この関係は、各産業の生産効率の変化とも大きくかかわっており、一国全体の生産効率を改善するための政策的指針の在り方とも結びついている。次節の生産効率の観測事実と関連させて議論することが重要である。

3 静学的小および動学的ユニット構造と研究開発および情報処理投資

3.1 静学的小および動学的ユニット構造

簡単に、われわれの静学的小および動学的ユニット構造の概念を要約しておこう。静学的小ユニット構造の図式においては、 t 期の中間投入係数行列 A_t と最終需要ベクトル f_t および産出ベクトル x_t との関係は以下のように導かれる。

$$A_t x_t + f_t = x_t$$

If A_t が非特異行列であれば、単位行列 I を与えて、 $x_t = (I - A_t)^{-1} f_t$ をえる。 $e_{(i)}$ を i 要素のみが 1 で他の要素をゼロとする $n \times 1$ の単位ベクトルとして、 $f_t = e_{(i)}$ としたとき、中間投入、労働投入、資本投入に関して、この最終需要の生産を過不足なく満たす、それぞれの投入要素を次のように求めることができる。

$$U_t^S \Big|_{f_t^* = e(i)} = \begin{matrix} X_t^* \\ L_t^* \\ K_t^* \end{matrix} = \begin{matrix} A_t < (I - A_t)^{-1} f_t^* > \\ B_t^L < (I - A_t)^{-1} f_t^* > \\ B_t^K < (I - A_t)^{-1} f_t^* > \end{matrix} \quad (1)$$

ここで、 $\langle \cdot \rangle$ は、対角行列、 B_t^L および B_t^K は、労働係数行列($l \times n$) および資本係数行列($n \times n$)を表す。 l および k は、労働および資本サービス要素の種別数を表す。ここで、このとき、(1)式を、静学ユニット構造もしくは単にユニット構造と呼ぶ。このユニット構造は、最終需要として、商品 i の需要を1単位生産するに必要なすべての投入要素のバスケットを表している。

3.2 動学的波及の構造

静学的なユニット構造(static unit structure)の概念は、ある特定時点 t における生産構造の全体を特定の商品に着目してモジュール化しようと考えている。その構造の中で一つの生産要素として捉えられている資本要素投入は、過去に投資された投資財の蓄積による資本ストックから提供される資本サービスを表すものと考えられる。 t 時点の資本ストックを構成する過去のすべての投資系列が動学的に当期の資本の投入要素を形成していることになる。 t 時点の i 商品の生産構造の特性をその資本蓄積の過程を過去に遡って動学的にとらえようとするのが、動学的ユニット構造の概念である。過去の投資財の生産の技術構造は、その投資財が生産された時点の技術を反映しており、歴史を遡って、 t 時点の i 商品の生産構造への技術の過去の反映を評価できることになる。

次のような商品の産出バランスを仮定しよう。

$$A_t x_t + I_t^P i + I_t^G \Gamma + c_t = x_t \quad (2)$$

ここで、 I_t^P および I_t^G は、民間 ($n(\text{商品}) \times n(\text{商品})$) および政府 ($n(\text{商品}) \times m(\text{インフラ部門数})$) の固定資本形成マトリックスを表す。ここで、政府の $n(\text{商品}) \times m(\text{インフラ部門数})$ の固定資本形成マトリックスを $n(\text{商品}) \times n(\text{商品})$ のマトリックスに変換する変換行列 $\Gamma(m \times n)$ を定義する。この変換行列は、インフラ部門を商品部門に対応づける0または1の格付け行列である。また、 i は単位ベクトルである、民間資本形成マトリックス I_t^P は、恒久棚卸法(perpetual inventory method)によって、資本ストック行列 S_t^P と資本財の陳腐化率 δ^P のベクトルによって、次のように定義される。

$$I_t^P = S_{t+1}^P - (I - \langle \delta^P \rangle) S_t^P = B_{t+1}^P \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^P \rangle) B_t^P \langle x_t \rangle \quad (3a)$$

同様に政府固定資本形成行列も次のように定義される。

$$I_t^G \Gamma = S_{t+1}^G \Gamma - (I - \langle \delta^G \rangle) S_t^G \Gamma = B_{t+1}^G \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^G \rangle) B_t^G \langle x_t \rangle \quad (3b)$$

(3a) 式 および (3b) 式を (2)式に代入して、資本係数行列 B_t^P and B_t^G を用いて

$$(I - G_t) x_t - B_{t-1}^K x_{t-1} = c_t \quad (4)$$

をえる。

ここで、資本係数行列を $B_t^K = B_t^P + B_t^G$ 、として、 $G_t = A_t - (I - \langle \delta^P \rangle) B_t^P - (I - \langle \delta^G \rangle) B_t^G$ 。

(4) 式は、定差式で展開すれば、レオンテューフの動学的逆行列方程式体系(Leontief's dynamic inverse approach)の以下の定式化を導くことができる。過去の資本係数行列が安定的に与えられるとして、基準時 t 年から、時間を遡って産出バランスが求められることになる。

$$x = (I - D)^{-1} c = M c \quad (5)$$

ここで

$$D = \begin{bmatrix} G_{t-T} & B_{t-T}^K & & & \\ & \cdot & \cdot & & \\ & & \cdot & \cdot & \\ & & & G_{t-1} & B_{t-1}^K \\ & & & & G_t \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} x_{t-T} \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{t-2} \\ x_{t-1} \\ x_t \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} c_{t-T} \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{t-2} \\ c_{t-1} \\ c_t \end{bmatrix}$$

基準時 t 年では、 $G_t = A_t$ が成立する⁵。基準時 t 年の最終需要の要素が外生的に与えられるとしたとき、(5)式は、その最終需要を満たすに必要な静学的、動学的に必要な直接および間接波及による各部門の生産量を求めていることになる。われわれは、これを基準時 t 年の商品 i の生産の動学的ユニット構造 (dynamic unit system) と呼び、次のように定義する。

c_t^* を $c_t^* = e_{(i)}$ ($\tau=0$) かつ $\tau=1, \dots, T$ について、 $c_{t-\tau} = 0$ を表すベクトルとしたとき、(5)式は、
次のようになる。

$$x^* = D M c^* + c^* = M c^*$$

から、(6)式のように、動学的ユニット構造を定義できる。

⁵ ここでは、基準時から過去に遡って、動学的な枠組みを考えており、したがって、 $x_{t+1} = 0$ と仮定している。

$$U^D|_c^* = \begin{bmatrix} X^* \\ L^* \\ K^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D\langle Mc^* \rangle \\ B^L\langle Mc^* \rangle \\ B^K\langle Mc^* \rangle \end{bmatrix} \quad (6)$$

ここで、 $\langle Mc^* \rangle$ は、 $(n(\text{商品}) \times T+1(\text{期間})) \times (n(\text{商品}) \times T+1(\text{期間}))$ の対角行列であり、対角要素として、 x^* で求められた動学的な産出が並ぶ。したがって、 X^* は、 $(n(\text{商品}) \times T+1(\text{期間})) \times (n(\text{商品}) \times T+1(\text{期間}))$ の中間投入行列である。また B^L は、各期の労働係行列 (I (労働種別数) $\times T+1(\text{期間})$) である。同様に、 B^K は、各期の資本係数行列 ($n(\text{資本種別数}) \times T+1(\text{期間})$) であり、 L^* は、(I (労働種別数) $\times T+1(\text{期間})$) の労働要素投入行列、また、 K^* は、($n(\text{資本種別数}) \times T+1(\text{期間})$) の資本要素投入行列である。

3.3 研究開発投資の資本化と静学的および動学的ユニット構造

民間および政府がおこなう研究開発支出 (R&D expenditures) は、研究開発に伴う資本投資であり、その投資が、無形固定資本としての知識ストックを蓄積する。前述のように、2008年の国連の国民経済計算体系 (2008 UN recommendation for the new System of National Accounts) の勧告においては、研究開発投資を一つの無形固定資産の形成とみなすべきであるとしている。我が国においても、この国連勧告に沿って、研究開発支出を中間投入から、最終需要の一つとしての無形資本形成に移すべく検討が進められ、2016年に国民経済計算体系が、2008国連勧告基準に改訂されている。投入産出表もまた、国民経済計算体系と整合性をとるかたちで改訂されなければならない。2016年産業連関基本表で、その改定が準備されているが、ここでは、それに先立って、研究開発支出の産業連関表での資本化の枠組みを提示している。

投入産出表の枠組みの拡張において、生産部門 n は、主生産活動部門 (n^{NRD}) と研究開発部門 (n^{RD}) に区分されると考える。その研究開発部門は、企業内研究開発活動部門 (intra-firm R&D activity (n^{RDF})) と独立した公的ならびに民間非営利研究開発活動部門 (public R&D activity including government institute and non-profit R&D activity (n^{RDG})) および民間の独立した産業部門としての研究開発活動部門 (n^{RDI}) に区別できると考える。

$$n = n^{NRD} + n^{RD} = n^{NRD} + n^{RDF} + n^{RDG} + n^{RDI} \quad (7)$$

$$n^{RD} = n^{RDF} + n^{RDG} + n^{RDI} \quad (8)$$

ここで、企業内研究開発部門数 (n^{RDF}) であり、各産業部門が主生産活動と研究開発活動を行っているとするれば、主生産活動数 (n^{NRD}) 同じになる。また、研究開発を主活動とする公的研究開発活動部門ならびに民間産業研究活動部門があり、その部門数は、 $n^{RDG} + n^{RDI}$ となる。企業内研究開発とは別に独立した研究活動部門であり、大学や独立した研究機関であり、それぞれ、研究分野領域数に分割できると考えている。以下の実証分析では、研究分野領域は、5 分野領域に区分している。⁶

⁶ 公的および民間非営利研究活動は、その研究分野を、1)生命科学、2)情報科学、3)材料科学、4)環境・

3.2 節の(2) 式に対応した産出バランス式は以下ようになる。

$$\begin{aligned} A_t x_t + I_t^{NRDTA} i_{n(NRD)} + (I_t^{RDFTA} i_{n(RDF)} + I_t^{RDGTA} i_{n(RDG)} + I_t^{RDITA} i_{n(RDI)}) \\ + (I_t^{RDFINTA} i_{n(RDF)} + I_t^{RDGINTA} i_{n(RDG)} + I_t^{RDIINTA} i_{n(RDI)}) \\ + I_t^G \bar{t} + c_t = x_t \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $I_t^{NRDTA}(n \times n^{NRD})$ 、 $I_t^{RDFTA}(n \times n^{RDF})$ 、 $I_t^{RDGTA}(n \times n^{RDG})$ と $I_t^{RDITA}(n \times n^{RDI})$ は、それぞれ、主生産活動部門、企業内研究開発活動部門、公的研究開発・民間非営利研究開発活動部門ならびに民間産業研究開発部門の研究開発活動に際しての有形固定資産形成行列に対応しており、また、 $I_t^{RDFINTA}(n \times n^{RDF})$ 、 $I_t^{RDGINTA}(n \times n^{RDG})$ と $I_t^{RDIINTA}(n \times n^{RDI})$ は、企業内研究開発活動部門、公的・民間非営利研究開発活動部門および民間産業研究開発活動部門が形成する研究活動による無形固定資産形成行列に対応している仮定する。 $i_{n(\cdot)}$ は、サイズが n^{NRD} 、 n^{RDF} 、 n^{RDG} 、 n^{RDI} の単位ベクトルである。

前節で述べたように、各部門の資本形成行列は、資本財の経済的陳腐化率(economic rate of replacement) δ を与えて、恒久棚卸法によって、有形・無形の資本ストック行列 S_t に対応する。研究開発活動部門では、研究開発により知識資産を形成するが、それは無形資産として知識ストックを蓄積するものとする。そこでは、無形固定資産（知識ストック）の資本係数行列 $B_t^{RDFINTA}$ 、 $B_t^{RDGINTA}$ 、 $B_t^{RDIINTA}$ が、有形固定資産と同様に、恒久棚卸法によって定義された無形固定資産ストックから求められる。

資本係数（有形・無形資産）および労働係数が、主生産活動、研究開発活動について定義される。それを、それぞれ、資本係数を有形固定資本について、主生産活動の資本係数 B_t^{NRDTA} および研究開発活動の資本係数 $B_t^{RDITA} (=B_t^{RDFTA} + B_t^{RDGTA} + B_t^{RDITA})$ 、そしてその集計としての資本係数 B_t^K を定義する。また、研究開発部門の無形資産（知識ストック）の資本係数を企業内研究開発活動、公的研究開発活動、民間産業研究開発活動とそれらの集計として、 $B_t^{RDINTA} (=B_t^{RDFINTA} + B_t^{RDGINTA} + B_t^{RDIINTA})$ を定義する。

そのとき、静学的ユニット構造は、以下のように定義される。

$$\begin{aligned} U_t^S \Big|_{f_t^* = e(i)} = \begin{array}{ll} X_t^* & A_t \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \\ L_t^{NRD*} & B_t^{NRDL} \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \\ L_t^{RD*} & B_t^{RDL} \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \\ K_t^{NRDTA*} & B_t^{NRDTA} \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \\ K_t^{RDITA*} & B_t^{RDITA} \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \\ K_t^{RDINTA} & B_t^{RDINTA} \langle (I - A_t)^{-1} f_t^* \rangle \end{array} = \quad (10) \end{aligned}$$

この定式化は、前節に (1)式に対応している。労働係数ならびに資本係数は、主生産活動と研究開発活動（企業内、政府・民間非営利、産業）にわけて定義されている。

ここで、併せて、労働や資本の投入を非 R&D 投入と R&D 投入にわけた場合の動学的逆行列とその動学構造(dynamic inverse and dynamic structure)の定式化を示すことができる。

上述の (9)式に変えて、以下のバランス式をおく。

$$A_t x_t + I_t^K i + I_t^{RDF} i + I_t^{RDG} i + I_t^{RDI} i + c_t = x_t \quad (11)$$

ここで、 $I_t^K (n \times n)$ は、民間企業および公的・民間非営利研究活動部門ならびに公的インフラ整備にともなう有形固定資本形成、ならびに民間（企業内研究開発ならびに産業部門としての研究機関）および公的研究開発活動部門（国公立・私立大学研究部門および付属研究機関、国立研究所等）の活動にともなう有形固定資本形成の資本形成（フロー）マトリックスである。したがって、有形固定資本マトリックス I_t^K は、民間および公的なすべての部門の生産活動ならびに研究開発活動にかかわる有形固定資本形成を含んでいることに注意されたい。また、 $I_t^{RDF} (n \times n^{RDF})$ は、民間企業の企業内研究開発部門による無形固定資本形成フローマトリックスである。部門 n のうち企業内研究活動として知識資本という無形固定資本を形成した n^{RDF} の部門についてのみ、その無形固定資本形成が記述されている。それ以外の要素は、ゼロとなる。同様に、 $I_t^{RDG} (n \times n^{RDG})$ と $I_t^{RDI} (n \times n^{RDI})$ は、公的研究開発部門および民間産業研究開発部門における知識資本としての無形固定資本形成マトリックスを表す。したがって、無形固定資本は、民間企業内研究活動、公的・民間非営利団体の研究開発活動、および民間産業研究開発活動を通じて形成され则认为している。この各有形無形の固定資本形成 $I_t^K, I_t^{RDF}, I_t^{RDG}, I_t^{RDI}$ は、一定の各資産の陳腐化率の行ベクトル $\delta^K, \delta^{RDF}, \delta^{RDG}, \delta^{RDI}$ を与えて、恒久棚卸法により、有形無形の固定資本ストックと以下のような関係をもつと定義される。有形無形の固定資本ストックをそれぞれ $S_t^K, S_t^{RDF}, S_t^{RDG}, S_t^{RDI}$ として、

以下の関係が成立するものとする。

$$I_t^K = S_{t+1}^K - (I - \langle \delta^K \rangle) S_t^K = B_{t+1}^K \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^K \rangle) B_t^K \langle x_t \rangle \quad (12)$$

$$I_t^{RDF} = S_{t+1}^{RDF} - (I - \langle \delta^{RDF} \rangle) S_t^{RDF} = B_{t+1}^{RDF} \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^{RDF} \rangle) B_t^{RDF} \langle x_t \rangle \quad (13)$$

$$I_t^{RDG} = S_{t+1}^{RDG} - (I - \langle \delta^{RDG} \rangle) S_t^{RDG} = B_{t+1}^{RDG} \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^{RDG} \rangle) B_t^{RDG} \langle x_t \rangle \quad (14)$$

$$I_t^{RDI} = S_{t+1}^{RDI} - (I - \langle \delta^{RDI} \rangle) S_t^{RDI} = B_{t+1}^{RDI} \langle x_{t+1} \rangle - (I - \langle \delta^{RDI} \rangle) B_t^{RDI} \langle x_t \rangle \quad (15)$$

(11)式に (12),(13),(14) および(15) 式を代入して、資本係数行列 $B_t^K, B_t^{RDF}, B_t^{RDG}, B_t^{RDI}$, を用いて、書き直すと、

$$(I - G_t) x_t - (B_{t+1}^K + B_{t+1}^{RDF} + B_{t+1}^{RDG} + B_{t+1}^{RDI}) x_{t+1} = c_t \quad (16)$$

となる。

ここで、

$$G_t = A_t - (I - \langle \delta^K \rangle) B_t^K - (I - \langle \delta^{RDF} \rangle) B_t^{RDF} - (I - \langle \delta^{RDG} \rangle) B_t^{RDG} - (I - \langle \delta^{RDI} \rangle) B_t^{RDI}.$$

として、 G_t を定義している。

ここから、前節で定義したように、レオンテュフの動学的逆行列の定義を用いて、動学的

ユニット構造を定義できる。ここでは、ある時点の生産構造を過去の労働、有形・無形の資本形成と投入の構造に遡って歴史を記述していくことができる分析用具を提供することになる。特に、無形固定資産としての知識ストックの過去からの形成過程を記述することによって、研究開発を通じた知識の蓄積過程とそれを導入した生産構造の変化の歴史過程を追うことができるようになる。

4 研究開発活動を含む産業連関表による TFP と成長会計の枠組み

4.1 静学的ユニット TFP

特定の生産活動に関する技術進歩率、もしくは全要素生産性の成長率の測定は、その活動による粗生産量の成長率と各種の投入要素の投入量の過重平均でもとめられる総投入量の成長率の差によって定義される。そのとき、前節で述べた、特定の j 生産活動にともなう間接・直接の生産波及構造を「静学的ユニット構造」と呼んだが、その構造を踏まえた、特定 j 生産活動の構造を反映した全要素生産性を、ここでは、「静学的ユニット全要素生産性 (static unit TFP)」と呼んで、以下のように定義する。

まず、 t 時点における、特定 j 生産活動の伝統的な全要素生産性 (TFP) 成長率は、次のような投入費用バラン式に基づいて定義される。

$$p_{j,t} X_{j,t} = \sum_{(i=1,n)} p_{ij} X_{ij,t} + \sum_{(l=1,l)} p_{lj,t}^L L_{lj,t} + \sum_{(k=1,k)} p_{kj,t}^K K_{kj,t} \quad (17)$$

ここで、 X_j は、 j 部門の粗生産量、 X_{ij} 、 L_{lj} 、 K_{kj} は、それぞれ j 部門の i 中間投入量、 l タイプの労働投入量、および k タイプの資本投入量を表している。また j 部門の生産物価格を $p_{j,t}$ で表し、各投入要素の価格を p_j 、 $p_{lj,t}^L$ 、 $p_{kj,t}^K$ で表す。ここでは、資本投入は、資本ストックを、前節で展開していた固定資本マトリックス (投資財数 \times 生産活動部門数) を生産活動部門ごとに集計して、資本ストックを算定している。したがって資本投入のタイプは、各生産活動部門別に有形固定資本ストック、無形固定資本ストック等に別れていると考えている。前節との対応では、 $k = n$ と考えても構わない。

このとき、伝統的な全要素生産性の成長率は、次の式で定義される。

$$\begin{aligned} (\dot{T}_j/T_j) &= (\dot{X}_j/X_j)_t - \sum_i (p_{i,t} X_{ij,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{X}_{ij,t}/X_{ij,t}) - \sum_l (p_{lj,t}^L L_{lj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{L}_{lj,t}/L_{lj,t}) \\ &\quad - \sum_k (p_{kj,t}^K K_{kj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{K}_{kj,t}/K_{kj,t}) \end{aligned} \quad (18)$$

もし、研究開発活動にともなう労働、資本の投入費用を考慮すれば、費用定義式は、(17) 式にかえて、つぎのように定義できる。

$$\begin{aligned} p_{j,t} X_{j,t} &= \sum_{(i=1,n)} p_{ij} X_{ij,t} + \sum_{(l=1,INRD)} p_{lj,t}^{LNRD} L_{lj,t}^{NRD} + \sum_{(l=1,IRD)} p_{lj,t}^{LRD} L_{lj,t}^{RD} \\ &\quad + \sum_{(k=1,KNRD)} p_{kj,t}^{KNRD} K_{kj,t}^{NRD} + \sum_{(k=1,KRD)} p_{kj,t}^{KRD} K_{kj,t}^{RD} \end{aligned} \quad (19)$$

ここで、 $L_{lj,t}^{NRD}$ 、 $L_{lj,t}^{RD}$ 、 $K_{kj,t}^{KNRD}$ 、 $K_{kj,t}^{KRD}$ は、それぞれ、労働および資本投入に関して、生産活動と研究開発活動に区別して j 部門における費用を定義している。労働および資本投入に関しては、それぞれ主生産活動と研究開発活動に関して、労働サービス、資本サービスの投

入量とその各投入要素のサービス価格を $p^{LNRD}_{lj}, p^{LRD}_{lj}, p^{KNRD}_{kj}, p^{KRD}_{kj}$ で表している。⁷
そのとき、全要素生産性の成長率は、研究開発活動を考慮して、次のように定義できる。

$$\begin{aligned} (\dot{T}_j/T_j) = & (\dot{X}_j/X_j)_t - \sum_i (p_{i,t} X_{ij,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{X}_{ij,t}/X_{ij,t}) \\ & - \sum_{(l=I, LNRD)} (p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD}_{lj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{L}^{NRD}_{lj,t}/L^{NRD}_{lj,t}) \\ & - \sum_{(l=I, LRD)} (p^{LRD}_{lj,t} L^{RD}_{lj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{L}^{RD}_{lj,t}/L^{RD}_{lj,t}) \\ & - \sum_{(k=I, KNRD)} (p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD}_{kj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{K}^{NRD}_{kj,t}/K^{NRD}_{kj,t}) \\ & - \sum_{(k=I, KRD)} (p^{KRD}_{kj,t} K^{RD}_{kj,t}/p_{j,t} X_{j,t}) (\dot{K}^{RD}_{kj,t}/K^{RD}_{kj,t}) \end{aligned} \quad (20)$$

つぎに、国民経済計算の体系に基づき、この定式に対応した一国全体の集計レベルでの全要素生産性の成長率を導くことができる。(19)式の部門ごとのバランスを一国に集計して、集計レベルでの産出・投入のバランス式を次のように得ることができる。

$$\begin{aligned} \sum_{(j=I,n)} p_{j,t} X_{j,t} = & \sum_{(j=I,n)} \sum_{(i=I,n)} p_{ij,t} X_{ij,t} + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=I, LNRD)} p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD}_{lj,t} + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=I, LRD)} p^{LRD}_{lj,t} L^{RD}_{lj,t} \\ & + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=I, KNRD)} p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD}_{kj,t} + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=I, KRD)} p^{KRD}_{kj,t} K^{RD}_{kj,t} \end{aligned} \quad (21)$$

(21)式に、つぎに定義式を代入して

$$\sum_{(j=I,n)} p_{j,t} X_{j,t} - \sum_{(j=I,n)} \sum_{(i=I,n)} p_{ij,t} X_{ij,t} = \sum_{(i=I,n)} p_{i,t} f_{i,t}$$

最終的には、一国全体の集計レベルでの費用バランスは、一国集計の最終需要が対応する総投入要素費用の合計に等しくなる。

$$\begin{aligned} \sum_{(i=I,n)} p_{i,t} f_{i,t} = & \sum_{(i=I,n)} \sum_{(l=I, LNRD)} p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD}_{lj,t} + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=I, LRD)} p^{LRD}_{lj,t} L^{RD}_{lj,t} \\ & + \sum_{(i=I,n)} \sum_{(k=I, KNRD)} p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD}_{kj,t} + \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=I, KRD)} p^{KRD}_{kj,t} K^{RD}_{kj,t} \end{aligned} \quad (22)$$

(22)式の両辺を、時間で微分して、集計レベルでの TFP 成長率、

$$\begin{aligned} (\dot{T}/T)_t = & \sum_{(i=I,n)} (p_{i,t} f_{i,t} / P'_t F_t) (\dot{f}_i/f_i)_t \\ & - \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=I, LNRD)} (p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD}_{lj,t} / P'_t F_t) (\dot{L}^{NRD}_{lj,t} / L^{NRD}_{lj,t})_t \\ & - \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=I, LRD)} (p^{LRD}_{lj,t} L^{RD}_{lj,t} / P'_t F_t) (\dot{L}^{RD}_{lj,t} / L^{RD}_{lj,t})_t \\ & - \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=I, KNRD)} (p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD}_{kj,t} / P'_t F_t) (\dot{K}^{NRD}_{kj,t} / K^{NRD}_{kj,t})_t \\ & - \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=I, KRD)} (p^{KRD}_{kj,t} K^{RD}_{kj,t} / P'_t F_t) (\dot{K}^{RD}_{kj,t} / K^{RD}_{kj,t})_t \end{aligned} \quad (23)$$

そして、これは、

$$(\dot{T}/T)_t = \sum_{(j=I,n)} (p_{j,t} X_{j,t} / P'_t F_t) (\dot{T}_j/T_j)_t \quad (24)$$

⁷ (17)式は、R&D 活動にともなう費用を陽表的に労働や資本の投入要素として取り扱っていないとも考えられる。この場合には、研究開発活動の費用を中間投入コストとして扱っているものとも考えることができる。したがって、研究開発に係わる費用は、付加価値の要素として扱われていないし、最終需要項目としても扱われていない。これに対して、(19)式では、それら費用を付加価値要素および最終需要財として扱っている。国連の 2008 年国民経済計算体系の改訂に準拠した扱いとなる。詳細は、黒田 (2019) 参照のこと。

となる。ここで、 $P_t' F_t$ は、最終需要の名目集計額であり、定義により一国の発生した付加価値額の合計にも一致する。一国に活動を集計した集計 TFP 成長率 $(\dot{T}/T)_t$ は、各部門の TFP 成長率をいわゆるドマー・ウエイト (Domar- weights) $(p_{jt} X_{jt} / P_t' F_t)$ によって加重平均したものになる。⁸

(23)式における労働および資本投入は、最終需要 f_t を満たすに必要な直接、間接のすべての要素投入であると考えることができる。⁹ 前節の(10)式で定義した「静学的ユニット構造 (static unit structure)」に対応しており、(23)式にその概念を導入すれば、静学的ユニット構造で定義された特定の最終需要 i 財を 1 単位生産するに際しての生産性の指標として、「静学的ユニット TFP」の成長率 (the growth rate of “static unit TFP”) を求めることができる。

$$\begin{aligned} (\dot{T}_i/T_i)^U_t = & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(l=1,INRD)} (p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD*}_{lj,t} / p_{it}) (\dot{L}^{NRD*}_{lj} / L^{NRD*}_{lj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(l=1,IRD)} (p^{LRD}_{lj,t} L^{RD*}_{lj,t} / p_{it}) (\dot{L}^{RD*}_{lj} / L^{RD*}_{lj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(k=1,KNRD)} (p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD*}_{kj,t} / p_{it}) (\dot{K}^{NRD*}_{kj} / K^{NRD*}_{kj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(k=1,KRD)} (p^{KRD}_{kj,t} K^{RD*}_{kj,t} / p_{it}) (\dot{K}^{RD*}_{kj} / K^{RD*}_{kj})_t \end{aligned} \quad (25)$$

ここで、 $L^{NRD*} = B_t^{NRDL} \langle (I - A_t)^{-1} e_t^* \rangle$, $L^{RD*} = B_t^{RDL} \langle (I - A_t)^{-1} e_t^* \rangle$, $K^{NRD*} = B_t^{NRDK} \langle (I - A_t)^{-1} e_t^* \rangle$, $K^{RD*} = B_t^{RDK} \langle (I - A_t)^{-1} e_t^* \rangle$ である。これは、(23)式で定義された一国集計レベルでの生産性指標とは、以下の関係にあることに注意すべきである。

$$(\dot{T}/T)_t = \sum_{(i=1,n)} (p_{it} f_i / P_t' F_t) (\dot{T}_i/T_i)^U_t \quad (26)$$

ここから、一国集計レベルでの TFP 成長率の指標は、個々の最終需要 i 財を 1 単位生産するに際しての生産性の指標「静学的ユニット TFP」の成長率を各財の最終需要における名目シェアをウエイトとして加重平均したもの等しいことを意味している。その際のウエイトの合計は、1.0 である。¹⁰

(25) 式で定義した指標は、任意に最終需要 f_t^* に拡張することができる。

$$\begin{aligned} (\dot{T}/T)_t^{U(f^*)} = & \sum_{(i=1,n)} (p_{it} f_i^* / P_t' F_t^*) (\dot{f}^* / f^*) \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(l=1,INRD)} (p^{LNRD}_{lj,t} L^{NRD*}_{lj,t} / P_t' F_t^*) (\dot{L}^{NRD*}_{lj} / L^{NRD*}_{lj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(l=1,IRD)} (p^{LRD}_{lj,t} L^{RD*}_{lj,t} / P_t' F_t^*) (\dot{L}^{RD*}_{lj} / L^{RD*}_{lj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(k=1,KNRD)} (p^{KNRD}_{kj,t} K^{NRD*}_{kj,t} / P_t' F_t^*) (\dot{K}^{NRD*}_{kj} / K^{NRD*}_{kj})_t \\ & -\sum_{(j=1,n)}\sum_{(k=1,KRD)} (p^{KRD}_{kj,t} K^{RD*}_{kj,t} / P_t' F_t^*) (\dot{K}^{RD*}_{kj} / K^{RD*}_{kj})_t \end{aligned} \quad (27)$$

⁸ 各部門のウエイトの和は、ドマー集計の性質として、1.0 を超えることになる。詳細は、Domar (1961) および Hulten(1978)を参照されたい。

⁹ ここでは、各部門の生産関数が一次相似型生産関数 (homothetic production function) に従うものとし、各生産要素価格が外生的に所与であるとすると生産に必要とされる直接・間接の投入要素量は、生産量規模、もしくは最終需要規模に比例することとなる。したがって、(23)式において、特定の i 財 1 単位の最終需要に固定すれば、右辺第 1 項は、ゼロとなる。

¹⁰ われわれが、ここで定義した静学的ユニット TFP 成長率は、Hulten's(1978)が提示した“effective rate of TFP”に対応する。

これは、任意の最終需要 f_t^* の商品別成長率の構成変化に対応した集計 TFP 成長率であり、個別の財に対応する静学的ユニット TFP と区別して、複合ユニット TFP (compound unit TFP) と呼ぶ。(27) 式において、 $f_t^* = e_{(i)}$ とした場合には、(25) 式に帰着する。その場合、 $(T_i / T_i)^U = (\dot{T} / T)_t^{U(e_{(i)})}$ となり、特に最終需要ベクトルが、実際の最終需要の需要項目を集計したベクトルを与えた場合には、この複合ユニット TFP の成長率は、(23) 式で定義した集計レベル (マクロ GDP) の生産性成長率になる。

4.2 動学的ユニット TFP

前述のとおり、 t 年における生産活動は、過去の蓄積された有形・無形の固定資本に依存しており、それらは、その資本が投資された時点の技術を体化している。前述の論文 Kuroda-Nomura (2004) で展開した「動学的ユニット TFP」の考え方は、こうした t 時点での有形・無形の資本ストックの過去の蓄積の歴史を追って、体化されている過去の技術の動態を評価することによって、現時点の生産活動の効率性を評価しようとしたものである。ここでは、過去の投資系列を有形固定資本と無形固定資本に分けて、それぞれの資本の過去の蓄積の歴史的経過とそこに体化された技術特性を明らかにすることを試みている。前者の有形固定資本が、建物、構築物、機械、輸送機器等の資本財の蓄積であるのに対して、後者の無形固定資本は、民間企業内の研究開発、公的機関や民間非営利団体の研究開発、および民間の産業研究機関の研究開発による知識資本の蓄積を反映している。

TFP の成長と前述の動学的ユニット構造を結び付けることによって、動学的ユニット TFP を定義する。そのために、前述の論文に沿って、幾つかの理論的前提を課す。

(前提条件 1) 資本ストックとそのストックが提供する資本サービスは、有形・無形固定資本に関して、提供サービス量は、ストック量に比例すると仮定する。単純化のため、その資本ストック量とサービス量は、各種の資本ストックの集計レベルで比例するものと仮定する。したがって、次のような関係が成立するものと仮定する。

$$(\dot{S}/S)_t = (\dot{K}/K)_t = \sum_j \sum_k (p_{kj,t}^K K_{kj,t} / \sum_j \sum_k p_{kj,t}^K K_{kj,t}) (\dot{K}_{kj} / K_{kj})_t \quad (28a)$$

ここで、 $(\dot{S}/S)_t$ 、 $(\dot{K}/K)_t$ は、集計レベルの資本サービス量および資本ストック量の成長率である。さらに、資本を有形資本と無形資本にわけて、集計量をそれぞれ、次のように定義する。

$$\begin{aligned} (\dot{S}^{NRD}/S^{NRD})_t &= (\dot{K}^{NRD}/K^{NRD})_t \\ &= \sum_j \sum_k (p_{kj,t}^{KNRD} K_{kj,t}^{NRD} / \sum_j \sum_k p_{kj,t}^{KNRD} K_{kj,t}^{NRD}) (\dot{K}_{kj}^{KNRD} / K_{kj}^{KNRD})_t \end{aligned} \quad (28b)$$

$$\begin{aligned} (\dot{S}^{RD}/S^{RD})_t &= (\dot{K}^{RD}/K^{RD})_t \\ &= \sum_j \sum_k (p_{kj,t}^{KRD} K_{kj,t}^{RD} / \sum_j \sum_k p_{kj,t}^{KRD} K_{kj,t}^{RD}) (\dot{K}_{kj}^{KRD} / K_{kj}^{KRD})_t \end{aligned} \quad (28c)$$

労働投入と最終需要の集計量に関しても、次のように定義する。

$$(\dot{L}/L)_t = \sum_j \sum_l (p^L_{lj} L_{lj,t} / \sum_j \sum_l p^L_{lj} L_{lj,t}) (\dot{L}_{lj}/L_{lj})_t \quad (28d)$$

$$(\dot{f}/f)_t = \sum_i (p_{if_{ij,t}} / P_t F_t) (\dot{f}_i/f_i)_t \quad (28e)$$

同様に、労働投入を有形資本と無形資本に資本を分けたことに対応して、労働に関しても、活動を非研究開発活動と研究開発活動に際しての労働投入を区分して、以下のようにそれぞれの集計量を定義する。

$$\begin{aligned} & (\dot{L}^{NRD}/L^{NRD})_t \\ &= \sum_j \sum_l (p^{LNRD}_{lj} L^{NRD}_{lj,t} / \sum_j \sum_l p^{LNRD}_{lj} L^{NRD}_{lj,t}) (\dot{L}^{NRD}_{lj}/L^{NRD}_{lj})_t \end{aligned} \quad (28f)$$

$$\begin{aligned} & (\dot{L}^{RD}/L^{RD})_t \\ &= \sum_j \sum_l (p^{LRD}_{lj} K^{RD}_{lj,t} / \sum_j \sum_l p^{LRD}_{lj} L^{RD}_{lj,t}) (\dot{L}^{RD}_{lj}/L^{RD}_{lj})_t \end{aligned} \quad (28g)$$

(前提条件 2) 動学的ユニット構造の記述に際して、その歴史的過程は、連続型を離散型の時間推移で近似できるものと仮定する。そのうえで、有形、無形固定資本に関して、資本ストック量と粗投資量との間に以下の関係が成り立つものと仮定する。

$$S^{NRD}_{t-\tau} = (1-\delta^{NRD}) S^{NRD}_{t-\tau-1} + I^{NRD}_{t-\tau-1} \quad (\tau=0, 1, 2, \dots) \quad (29a)$$

$$S^{RD}_{t-\tau} = (1-\delta^{RD}) S^{RD}_{t-\tau-1} + I^{RD}_{t-\tau-1} \quad (\tau=0, 1, 2, \dots) \quad (29b)$$

ここで、 δ^{NRD} および δ^{RD} は、有形、無形固定資本の陳腐化率であり、パラメータとして一定値を仮定する。

時間 t で微分して、

$$\begin{aligned} (\dot{S}^{NRD}/S^{NRD})_{t-\tau} &= (1-\delta^{NRD}) (S^{NRD}_{t-\tau-1}/S^{NRD}_{t-\tau}) (\dot{S}^{NRD}/S^{NRD})_{t-\tau-1} \\ &\quad + (I^{NRD}_{t-\tau-1}/S^{NRD}_{t-\tau}) (\dot{I}^{NRD}/I^{NRD})_{t-\tau-1} \quad (\tau=0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (30a)$$

$$\begin{aligned} (\dot{S}^{RD}/S^{RD})_{t-\tau} &= (1-\delta^{RD}) (S^{RD}_{t-\tau-1}/S^{RD}_{t-\tau}) (\dot{S}^{RD}/S^{RD})_{t-\tau-1} \\ &\quad + (I^{RD}_{t-\tau-1}/S^{RD}_{t-\tau}) (\dot{I}^{RD}/I^{RD})_{t-\tau-1} \quad (\tau=0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (30b)$$

の関係を与える。

ここで、時点 t で、特定の商品（財またはサービス）の 1 単位を供給する際の動学的な生産構造を考えてみよう。その生産活動では、 t 期に投入される、その商品生産に必要な直接的な中間投入や労働投入ばかりではなく、資本投入に関しては、有形、無形の資本についてその時点までに蓄積された過去の投資の蓄積からの資本サービス投入が影響していると考えている。この関係を明確にするために、先にも述べた複合ユニット TFP (the compound unit TFP) の定義をもう一度整理しておきたい。 $t-\tau$ 時点の複合ユニット TFP は、(27)式で定義される。上の前提条件 (1) および(2)から、 $t-\tau$ 時点の集計量としての労働、資本、最終需要の成長率および複合ユニット TFP 成長率は、以下のように書くことができる。

$$\begin{aligned} (\dot{T}/T)_{t-\tau} U(f^*_{t-\tau}) &= (\dot{f}^*/f^*)_{t-\tau} - \sigma^*_{LNRD,t-\tau} (\dot{L}^{NRD*}/L^{NRD*})_{t-\tau} - \sigma^*_{LRD,t-\tau} (\dot{L}^{RD*}/L^{RD*})_{t-\tau} \\ &\quad - \sigma^*_{KNRD,t-\tau} (\dot{K}^{NRD*}/K^{NRD*})_{t-\tau} - \sigma^*_{KRD,t-\tau} (\dot{K}^{RD*}/K^{RD*})_{t-\tau}, (\tau=0,1,2,\dots) \end{aligned} \quad (31)$$

ここで

$$\begin{aligned} \sigma^*_{LNRD,t-\tau} &= \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=1,INRD)} (p^{LNRD}_{lj,t-\tau} L^{NRD*}_{lj,t-\tau} / P'_{it-\tau} F^*_{t-\tau}) \\ \sigma^*_{LRD,t-\tau} &= \sum_{(j=I,n)} \sum_{(l=1,IRD)} (p^{LRD}_{lj,t-\tau} L^{RD*}_{lj,t-\tau} / P'_{it-\tau} F^*_{t-\tau}) \\ \sigma^*_{KNRD,t-\tau} &= \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=1,KNRD)} (p^{KNRD}_{kj,t-\tau} K^{NRD*}_{kj,t-\tau} / P'_{it-\tau} F^*_{t-\tau}) \\ \sigma^*_{KRD,t-\tau} &= \sum_{(j=I,n)} \sum_{(k=1,KRD)} (p^{KRD}_{kj,t-\tau} K^{RD*}_{kj,t-\tau} / P'_{it-\tau} F^*_{t-\tau}) \end{aligned}$$

また

$$\begin{aligned} (\dot{T}/T)_{t-\tau} U(f^*_{t-\tau}) &= \sum_{(j=I,n)} (p_{j,t-\tau} X^*_{j,t-\tau} / P'_{t-\tau} f^*_{t-\tau}) (\dot{T}^*_j / T^*_j)_{t-\tau} \\ &\quad (\tau=0,1,2,\dots) \end{aligned} \quad (32)$$

(31)式は、 $\tau=0$ とした場合、(27)式で定義した複合ユニット TFP に等しい。いま、 t 時点での特定の商品 1 単位の最終需要 f^*_t の生産を満たす動学的な生産プロセスを考えたとき、その生産に必要なとされる資本サービス投入量を生み出すに必要な粗投資量が前年の最終需要として実現していることが必要条件となる。このことは、有形、無形の固定資本に関して、この前年に必要な粗投資量の実現のためには、それを生産するために、過去に遡って、粗投資量の蓄積の系列が必要となることを意味している。それを過去に必要な最終需要の系列として次のようにあらわすことができる。

$$\begin{aligned} (\dot{I}^{NRD*}/I)_{t-\tau} (\dot{I}^{NRD*}/I^{NRD*})_{t-\tau} + (\dot{I}^{RD*}/I)_{t-\tau} (\dot{I}^{RD*}/I^{RD*})_{t-\tau} &= (\dot{f}^*/f^*)_{t-\tau} \\ &\quad (\tau=1,2,\dots) \end{aligned} \quad (33)$$

(33)式は、 t 時点での特定の商品 1 単位の最終需要 f^*_t の生産を満たすに必要な $t-\tau$ ($\tau=1,2,\dots$) 時点での最終需要の系列の成長率が有形・無形の粗投資の成長率の集計量に等しいことを意味している。 $\tau=1$ として、(30a) 式および(30b) 式を (31) 式に代入して、 t 時点における資本サービス投入量の成長率を整理すると以下ようになる。(31)の右辺の第 3, 4 項を用いて展開すると、

$$\begin{aligned} (\dot{K}^*/K^*)_{t-\tau+1} &= (S^{NRD}_{t-\tau+1}/I^{NRD}_{t-\tau}) (\dot{K}^{NRD*}/K^{NRD*})_{t-\tau+1} + (S^{RD}_{t-\tau+1}/I^{RD}_{t-\tau}) (\dot{K}^{RD*}/K^{RD*})_{t-\tau+1} \\ &= [(T/T)_{t-\tau} U(f^*_{t-\tau}) + \sigma^*_{LNRD,t-\tau} (\dot{L}^{NRD*}/L^{NRD*})_{t-\tau} + \sigma^*_{LRD,t-\tau} (\dot{L}^{RD*}/L^{RD*})_{t-\tau} \\ &\quad + \{ (1-\delta^{NRD}) S^{NRD}_{t-\tau} / I^{NRD*}_{t-\tau} + \sigma^*_{KNRD,t-\tau} \} (S^{NRD*}/S^{NRD*})_{t-\tau} \\ &\quad + \{ (1-\delta^{RD}) S^{RD}_{t-\tau} / I^{RD*}_{t-\tau} + \sigma^*_{KRD,t-\tau} \} (S^{RD*}/S^{RD*})_{t-\tau}] \\ &\quad (\tau=1,2,\dots) \end{aligned} \quad (34)$$

ここで、

$$\begin{aligned} (\dot{K}^{NRD*}/K^{NRD*})_{t-\tau+1} &= S^*_{t-\tau} [(T/T)_{t-\tau} U(f^*_{t-\tau}) + \sigma^*_{LNRD,t-\tau} (\dot{L}^{NRD*}/L^{NRD*})_{t-\tau} \\ &\quad + \{ (1-\delta^{NRD}) S^{NRD}_{t-\tau} / I^{NRD*}_{t-\tau} + \sigma^*_{KNRD,t-\tau} \} (S^{NRD*}/S^{NRD*})_{t-\tau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\dot{K}^{RD*}/K^{RD*})_{t-\tau+1} \\
 & = s^*_{t-\tau} \left[(T/T)_{t-\tau}^{U f(I^{*RD})} + \sigma^*_{LRD t-\tau} (\dot{L}^{RD*}/L^{RD*})_{t-\tau} \right. \\
 & \quad \left. + \{ (1-\delta^{RDINTA}) S^{*RD}_{t-\tau} / I^{RD*}_{t-\tau} + \sigma^*_{KRD t-\tau} \} (\dot{S}^{RD*}/S^{RD*})_{t-\tau} \right] \\
 & \quad (\tau=1,2,\dots) \\
 & s^{*NRD}_{t-\tau} = I^{*NRD}_{t-\tau} / S^{*NRD}_{t-\tau-1}, \quad s^{*RD}_{t-\tau} = I^{*RD}_{t-\tau} / S^{*RD}_{t-\tau-1}.
 \end{aligned}$$

この式は、 t 時点において、特定の商品の 1 単位を最終需要として生み出すために必要な有形および無形の集計量としての資本サービス投入量の成長率が動学的な資本蓄積の過去の系列に分解されることを意味している。(34) 式の第二の等式の右辺は、 t 時点における資本サービス投入量の成長率が三つの過去の要素の分解されることを示している。その第一の要素は、 $\tau=1$ として、投資系列を生み出す $t-1$ 時点の各時点の複合ユニット TFP の成長率である。第二の要素は、 $t-1$ 時点の投資に必要な労働サービス投入量の貢献度、そして、第三の要素は、有形および無形の資本サービス量の蓄積の貢献度を示している。同様にして、(30)、(31)、(33) 式を (34) 式の第二等式の右辺の第三項、第四項に、 $\tau=2$ について順次展開することによって、次の式をえる。

$$\begin{aligned}
 & s^{*NRD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{NRD}) (S^{NRD}_{t-\tau+1} / I^{NRD*}_{t-\tau+1}) + \sigma^*_{KNRD t-\tau+1} (\dot{S}^{*NRD}/S^{*NRD})_{t-\tau+1} \} \\
 & = \Phi^{*NRD}_{t-\tau} \{ (T/T)_{t-\tau}^{U f(I^{*NRD})} + \Phi^{*NRD}_{t-\tau} \sigma^*_{LNRD t-\tau} (\dot{L}^{NRD*}/L^{NRD*})_{t-\tau} \} \\
 & \quad + \Phi^{*NRD}_{t-\tau} \{ (1-\delta^{NRD}) (S^{NRD}_{t-\tau} / I^{*NRD}_{t-\tau} + \sigma^*_{KNRD t-\tau} (\dot{S}^{NRD*}/S^{NRD*})_{t-\tau} \} \quad (35a)
 \end{aligned}$$

ここで

$$\Phi^{*NRD}_{t-\tau} = s^{*NRD}_{t-\tau} s^{*NRD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{NRD}) (S^{NRD}_{t-\tau+1} / I^{*NRD}_{t-\tau+1}) + \sigma^*_{KNRD t-\tau+1} \}$$

また

$$\begin{aligned}
 & s^{*RD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{RD}) (S^{RD}_{t-\tau+1} / I^{RD*}_{t-\tau+1}) + \sigma^*_{KRD t-\tau+1} (\dot{S}^{*RD}/S^{*RD})_{t-\tau+1} \} \\
 & = \Phi^{*RD}_{t-\tau} \{ (T/T)_{t-\tau}^{U f(I^{*RD})} + \Phi^{*RD}_{t-\tau} \sigma^*_{LRD t-\tau} (\dot{L}^{RD*}/L^{RD*})_{t-\tau} \} \\
 & \quad + \Phi^{*RD}_{t-\tau} \{ (1-\delta^{RD}) (S^{RD}_{t-\tau} / I^{RD*}_{t-\tau} + \sigma^*_{KRD t-\tau} (\dot{S}^{RD*}/S^{RD*})_{t-\tau} \} \quad (36b)
 \end{aligned}$$

ここで

$$\Phi^{*RD}_{t-\tau} = s^{*RD}_{t-\tau} s^{*RD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{RD}) (S^{RD}_{t-\tau+1} / I^{RD*}_{t-\tau+1}) + \sigma^*_{KRD t-\tau+1} \}$$

(35) 式は、 $t-1$ 期における資本サービス量の貢献度を(34)式で展開したと同様に $t-2$ 期について展開したものである。

最終的には、同様のステップを繰り返して、 t 時の任意の最終需要を 1 単位拡大するために必要条件としての過去の遡った動学的な生産活動の直接的・間接的波及効果を追跡することができる。そこでは、動学的なプロセスにおいて、過去に蓄積された資本ストックがその投資をおこなった時点での技術条件を反映して考慮され、それらの総計としての全要素生産性の成長率を導くことができる。

$$\begin{aligned}
 (\dot{T}/T)_t^{D(f*)} &= (\dot{T}/T)_t^{U(f*(NRD))} + (\dot{T}/T)_t^{U(f*(RD))} \\
 &\quad + \sigma^{*KNRD}_{t-\tau} \sum_{(\tau=1, \dots, \infty)} \Phi^{*NRD}_{t-\tau} (\dot{T}/T)_{t-\tau}^{U(f(NRD*))} \\
 &\quad + \sigma^{*KRD}_{t-\tau} \sum_{(\tau=1, \dots, \infty)} \Phi^{*RD}_{t-\tau} (\dot{T}/T)_{t-\tau}^{U(f(RD))}
 \end{aligned} \tag{36}$$

ここで

$$\begin{aligned}
 &\Phi^{*NRD}_{t-\tau} \\
 &\quad \text{if } \tau=1, \Phi^{*NRD}_{t-1} = S^{*NRD}_{t-1} \\
 &\quad \text{if } \tau=2, \dots, T, \\
 &\quad \Phi^{*NRD}_{t-\tau} = S^{*NRD}_{t-\tau} \Phi^{*NRD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{NRD}) S^{NRD}_{t-\tau+1} / I^{*NRD}_{t-\tau+1} + \sigma^{*KNRD}_{t-\tau+1} \} \\
 &\Phi^{*RD}_{t-\tau} \\
 &\quad \text{if } \tau=1, \Phi^{*RD}_{t-1} = S^{*RD}_{t-1} \\
 &\quad \text{if } \tau=2, \dots, T, \\
 &\quad \Phi^{*RD}_{t-\tau} = S^{*RD}_{t-\tau} \Phi^{*RD}_{t-\tau+1} \{ (1-\delta^{RD}) S^{RD}_{t-\tau+1} / I^{*RD}_{t-\tau+1} + \sigma^{*KRD}_{t-\tau+1} \}
 \end{aligned}$$

であり、動学的 Unit TFP の成長率は、(36)式であらわされ、有形固定資産と無形固定資産の生産性への動学的寄与度を分解して、計測することができる。

(36)式で定義された $(\dot{T}/T)_t^{D(f*)}$ を「動学的ユニット TFP」の成長率と呼ぶ。それは、 t 時点の「静学的ユニット TFP」と過去の $t-\tau$ ($\tau=1, 2, \dots$) 時点の「複合ユニット TFP」の成長率の加重平均として定義される。その際の各時点の複合ユニット TFP は、(32)式で示されるように、有形・無形の固定資産サービス投入と中間財投入の直接・間接の部門間波及を反映したものとして算定される。したがって、この「動学的ユニット TFP」の成長率は、特定時点の特定商品 1 単位を生産する際のすべての直接・間接の技術波及の状況を反映したものとなっている。

5. 研究開発投資および情報処理投資の資本化による TFP 計測

前節の産業連関表による産業部門別の全要素生産性 (Total Factor Productivity) の測定の枠組みを用いて、我が国における 1990 年代のバブル崩壊後の低成長下における経済構造の特性を明らかにするのが、本節の課題である。この期間 (1995-2011 年)、日本経済は、90 年代のバブル崩壊後、人口構造の少子高齢化による構造的問題も顕在化し、長期停滞の局面を迎えたといわれている。一方で、20 世紀末からの情報革命といわれる技術革新は、経済構造に大きな影響を与え、市場構造を大きく変容させている。情報革命は、SNS や AI を通じて、社会の情報伝搬の構造を大きく変えつつあり、第 4 次産業革命の時代ともいわれ、科学と社会の関係にかつてない変曲を予感させる。情報革命の影響は、あらゆる科学分野の研究深化にも大きく影響を与えており、情報化投資と研究開発投資による無形固定資産の蓄積による知識ストック、そしてそれが生み出す知識サービスをどのように評価するかが、科学と社会の関係性を見通すうえで極めて重要になってきている。

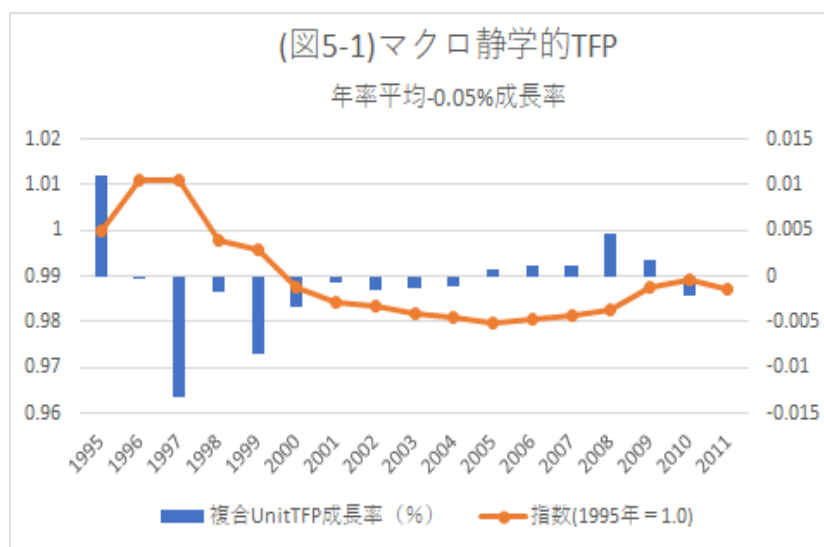
知識ストックとしての情報処理サービスと研究開発サービスとは、無形固定資産としての共通性はあるものの、その経済社会への影響の構造は大きく異なっている。情報処理技術は、そのサービスが市場財として市場経済の体系を通じて経済構造に波及するのにたいして、研究開発が生み出す知識サービス、とりわけ公的研究機関への政府の研究開発投資

の配分は、公共財としての性質をもち、市場財としての情報処理サービスとは異なった性質を有する。その影響の構造を探ることは、両者の科学技術の知見が社会をどのように変化させ、科学技術の進歩がどのように社会ニーズの実現に役立っているか、また政策として、社会役立つ科学技術を育成するかという政策への指針を与えることに役立つと考えられる。1996 年のブタペスト宣言がめざした、Science for Society, Science in Society, そして Science for Peace の精神の実現に資するものと思われる。

こうした視点から、ここでは、知識ストックの形成を、研究開発投資と情報処理投資という二つの知的資産を生み出す活動に区分して、産業連関表を組み替えている。研究開発投資に関しては、前節までの議論を踏まえて、産業各部門における企業内研究開発活動と国公立および非営利の大学および研究機関の活動、そして独立した営利活動としての民間産業の研究開発機関の活動に分け、国公立および非営利の大学および研究機関および民間産業の研究機関の活動を 5 分野の研究分野に区分している。また情報処理活動は、各産業に企業内の情報処理活動と民間産業としての情報処理サービスの提供を行う情報処理サービス業、ソフトウェア業、インターネット業、通信・放送業などの産業部門を特掲している。産業部門は、2 節の(表 2)の 93 部門分類としている。

1995-2011 年の 93 部門分類の研究開発投資および情報処理投資の資本化による接続産業連関表からの観事実を整理することから始めたい。

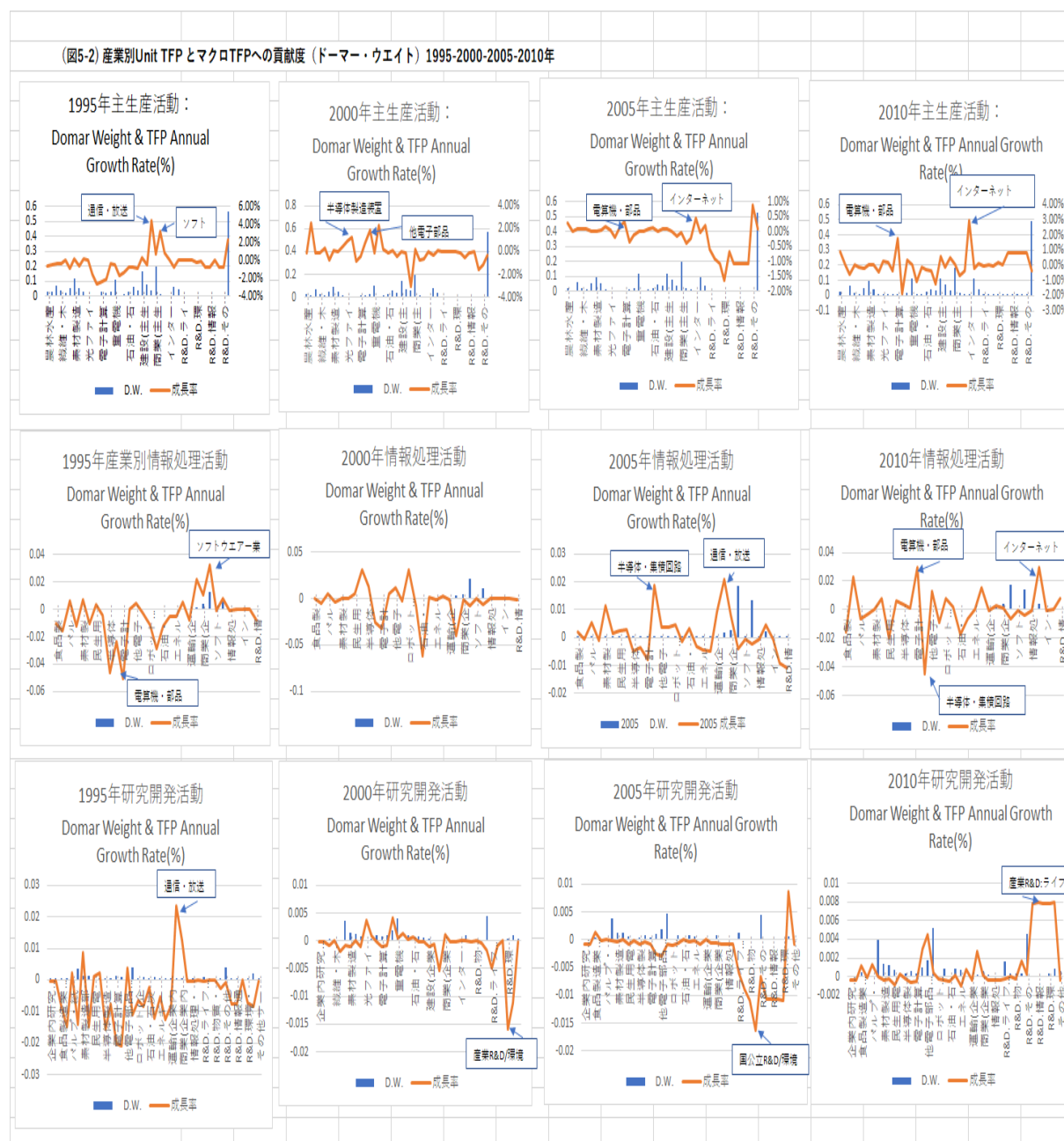
まず、この期間のマクロ経済の生産効率の変遷をみてみよう。前節 2.4 節の(26)式で定義したマクロ静学 TFP の算定式から、1995-2011 年のマクロ経済レベルでの静学 TFP の成長率と基準時 (2005 年) を 1.0 とした生産性指数をもとめたものが、(図 5-1)である。マクロ TFP 成長率は、各産業の静学ユニット TFP 成長率をドーマー・ウエイトで集計したものである。



マクロTFP	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
複合UnitTFP成長率 (%)	0.011036	-0.00017	-0.01319	-0.00167	-0.00855	-0.00335	-0.00072	-0.00152	-0.00123	-0.00111	0.000753	0.001149	0.001177	0.004736	0.001842	-0.00205	
指数(1995年=1.0)	1	1.011097	1.010921	0.997671	0.996005	0.987531	0.98423	0.98352	0.98207	0.980824	0.979739	0.980477	0.981604	0.982761	0.987426	0.989246	0.987221

この期間 (1995-2011 年) のマクロの TFP 成長率は、年率平均で-0.05%の低水準であり、90 年代のバブル崩壊にあと若干の回復をみせたものの、所謂 90 年代末から、2000 年第初めの IT バブルの崩壊、更には、2007-2008 年リーマンショックの影響から、殆ど生産

性の伸び率は無かったというのが実情であった。



(図5-2)は、マクロ TFP に対する産業別 TFP の貢献度を視るために、1995 年から 5 年おきの産業別 Unit TFP の成長率とその時点でのマクロ TFP に対するドーマー・ウェイトをプロットしたものである。折れ線が各時点での産業別 TFP 成長率、棒グラフがドーマー・ウェイトの大きさを示している。産業活動を主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動に区分している。主生産活動の産業別 Unit TFP の成長率は、1995 年には、バブル崩壊からの回復を見せて、比較的高く、通信・放送、ソフトウェア Unit 業、その他サービス業などのマクロ成長への貢献が大きかったが、2000 年以降、2005 年までは成長率は鈍化している。その状況でも半導体装置、電算機、電子部品などに産業の生産効率を向上させている。2010 年は、リーマンショックからの回復が進み、産業の生産効率が上昇、とり

わけインターネットなどの情報産業の生産効率の上昇が大きかったことを示している。グラフの中段は、企業内情報処理活動としての無形固定資産形成の生産効率への影響を示している。ここでも、1995 年以降の生産効率のトレンドは、主生産活動と傾向は大きく変わらない。最下段は、企業内研究開発活動による生産効率向上の効果を示している。企業内研究開発による産業の生産効率の向上は、各産業部門にわたって、余り大きなトレンドを示していない。科学技術の分野別研究開発の生産効率上昇への効果も、それほど大きくない。ただ、研究開発を専門とする産業としての研究開発活動は、2005~2010 年にかけて、2005~2010 年では、活発化していることが伺える。

こうしたマクロの生産効率の時系列トレンドの意味を明確にするために、産業別の主生産活動、企業内情報処理活動、企業内研究開発活動の特性を、産業別 TFP と併せて、静学 Unit TFP の動向をみてみたい。静学 Unit TFP は、4.1 節(25)式で提示した指標で、特定の産業の TFP に対して、静学 Unit TFP は、特定の産業の商品 1 単位を生産するに際してのすべての中間原材料の生産効率の変化を加味した生産効率指標である。

(表 4)は、各産業の TFP、その産業の商品の静学 Unit TFP の成長率を、1995-2010 年を 1995-2000 年、2000-2005 年、2005-2010 年の 3 期間にくぎって、その動向を算定したものである。産業の TFP 成長率が、その産業の生産効率の期間内の変化を示しているのに対して、静学 Unit TFP は、その商品生産に直接、間接に関係する産業の生産効率の変移も含めてこの期間内に生産効率がどのように変移したかを示す指標である。産業の生産効率の変化は、その産業の直接的な生産効率の向上ばかりではなく、すべての関連産業の生産効率の変化が関係することになり、通常は、産業別 TFP の成長率より、静学 Unit TFP の成長率が高くなることが期待される。

(表 4-1) は、各産業部門の主生産活動の産業別 TFP (Unit TFP) とその静学的 Unit TFP (Static Unit TFP) の成長率を 1995 年から 2010 年までを 5 か年ごとに区切って比較している。Unit TFP が正の値を示し、なおかつ、Static Unit TFP が Unit TFP を上回っている産業に、※印をつけている。1995 - 2000 年の 5 年の間に、この傾向を示す産業部門は、鉱業、素材製造業、石油・石炭製品の 3 部門のみである。Unit TFP が正値を示す産業部門は、この 2 部門以外でも、パルプ・紙、光ファイバー、商業、教育などの部門でみられるものの、波及効果を含めた Static Unit TFP では、その効率は低下することになっている。2000-2005 年の 5 か年では、半導体・集積回路、重電機・輸送機械、ロボット、エネルギー産業、インターネットなどの部門で、生産効率の向上がみられ、さらには、2005-2010 年の 5 か年では、鉱業、素材製造業、光ファイバー、半導体製造装置、ロボット、石油・石炭製品、エネルギー産業、商業、インターネット業以外の部門では、生産効率の改善が進んでいることが観測できる。これらの産業のうち、鉱業、素材製造業、光ファイバーでは、Unit TFP 自体が負値を示しており、他の産業との相互依存では、生産効率がさらに低下するという悪循環を示している。しかしながら、2005-2010 年の期間、多くの産業での生産効率の上昇が観察され、それが相乗効果となって、生産効率の回復がみられる。

(表 4-1) 産業別 TFP 成長率と静学 Unit TFP 成長率：主生産活動

産業別活動分野別 UNIT TFP vs. Static UNIT TFP	1995-2000		2000-2005		2005-2010		
主生産活動分野	U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP		
農林水産業(含主生産部門・組織部門・情報処理部門)	-0.45%	-0.53%	0.03%	-0.07%	0.18%	0.23%	※
鉱業資源(含主生産部門・組織部門・情報処理部門)	0.66%	0.78%	※	0.20%	0.05%	-0.67%	-0.65%
食品製造業(主生産部門)	-0.15%	-0.19%	0.08%	-0.13%	0.04%	0.14%	※
繊維・木材家具製造業(主生産部門)	-0.17%	-0.32%	0.01%	-0.06%	0.16%	0.26%	※
パルプ・紙製造(主生産部門)	0.01%	-0.05%	-0.02%	-0.06%	0.31%	0.50%	※
化学工業(主生産部門)	-0.30%	-0.36%	-0.13%	-0.20%	0.04%	0.09%	※
素材製造業(主生産部門)	0.01%	0.08%	※	0.02%	0.00%	-0.06%	-0.16%
一般機械(主生産部門)	-0.44%	-0.57%	0.00%	-0.03%	0.11%	0.22%	※
民生用電子・電気機械(主生産部門)	-0.20%	-0.53%	-0.15%	-0.38%	0.06%	0.42%	※
光ファイバー・ケーブル(主生産部門)	0.33%	0.31%	0.22%	0.14%	-0.05%	-0.06%	
半導体製造装置(主生産部門)	-0.41%	-0.54%	0.16%	0.10%	0.09%	-0.15%	
通信機械(主生産部門)	-0.74%	-1.20%	-0.28%	-0.34%	0.30%	0.78%	※
電子計算機・同付属品(主生産部門)	-0.70%	-2.01%	-0.37%	-0.75%	0.25%	0.83%	※
半導体素子・集積回路(主生産部門)	-0.58%	-1.29%	0.12%	0.25%	※	1.13%	1.33%
他電子部品(主生産部門)	-0.36%	-0.89%	-0.11%	-0.23%	1.15%	1.67%	※
重電機器・輸送機器(主生産部門)	-0.34%	-0.59%	0.13%	0.16%	※	0.23%	0.46%
ロボット(主生産部門)	-0.37%	-0.62%	0.15%	0.21%	※	0.11%	0.06%
その他精密機械(主生産部門)	-0.50%	-0.70%	-0.15%	-0.21%	0.00%	0.41%	※
石油・石炭製品(主生産部門)	0.34%	0.64%	※	0.30%	0.28%	0.28%	-0.14%
その他の製造業(主生産部門)	-0.42%	-0.51%	0.01%	-0.06%	0.13%	0.23%	※
エネルギー産業(主生産部門)	-0.36%	-0.22%	0.19%	0.21%	※	0.00%	-0.06%
建設(主生産部門)	-0.07%	0.00%	-0.04%	-0.10%	0.36%	0.36%	※
運輸(主生産部門)	-0.04%	-0.13%	-0.01%	-0.07%	0.04%	0.08%	※
通信・放送(主生産部門)	-0.10%	0.15%	-1.25%	-1.78%	0.02%	0.10%	※
商業(主生産部門)	0.22%	0.20%	0.08%	-0.02%	-0.09%	-0.05%	
ソフトウェア業(主生産部門)	-1.31%	-1.87%	-0.23%	-0.42%	0.53%	0.59%	※
情報処理・提供サービス(主生産部門)	-0.93%	-1.18%	0.30%	0.20%	0.38%	0.42%	※
インターネット業(主生産部門)	0.00%	-0.22%	0.00%	0.56%	※	2.20%	0.69%
医療福祉サービス(主生産部門)	-0.44%	-0.38%	0.01%	-0.15%	0.00%	0.05%	※
教育(主生産部門)	0.11%	0.10%	0.01%	-0.01%	0.00%	0.02%	※
その他サービス(主生産部門)	-0.08%	-0.15%	-0.12%	-0.26%	0.11%	0.15%	※

註※：UNIT TFP>0.0 & Static UNIT TFP > UNIT TFP

(表 4-2) では、企業内情報処理活動という無形固定資産としての知的サービスの拡大の生産効率への寄与を可視化している。ここでも、1995-2000 年の 5 か年の情報処理活動に関する Unit TFP の成長率は、極めて小さい。それが正値を示すのは、鉱業、パルプ・紙、素材製造業、通信・放送、商業、教育の 6 部門にすぎない。その内、Static Unit TFP で、産業間波及の正の効果を示す産業は、鉱業、素材製造業、通信・放送、商業の 4 部門に過ぎず、産業間波及の正の効果は、殆ど観測されていない。次の 2000-2005 年の 5 か年でも情報処理技術の進展が、自己産業の Unit TFP を上昇、正の生産効率に寄与する産業は、その前の 5 か年に比べて多くみられるものの、間接波及効果を含めた波及効果はまだ少ない。2005-2010 年の 5 か年では、鉱業、一般機械、半導体装置産業、石油・石炭産業、運輸、商業などの部門以外以外では、産業間の生産効率向上の波及効果は大きくなっていることがわかる。その上で、ソフトウェア業、インターネット業、情報処理・提供サービス業など情報産業の Unit TFP の上昇率は、その前の期間と比べて大きくなっており、それらの産業からの他の企業内情報処理活動への正の波及が大きかったことが示されている。

この効果の意味については、さらに後述したい。

(表 4-2) 産業別 TFP 成長率と静学 Unit TFP 成長率：情報処理活動

産業別活動分野別 UNIT TFP vs. Static UNIT TFP	1995-2000		2000-2005		2005-2010	
情報処理部門	U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP	
農林水産業(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	-0.45%	-0.53%	0.03%	-0.07%	0.18%	0.23%
鉱業資源(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	0.66%	0.78%	0.20%	0.05%	-0.67%	-0.65%
食品製造業(企業内情報処理部門)	-0.22%	-0.32%	-0.25%	-0.48%	0.50%	0.90%
繊維・木材家具製造業(企業内情報処理部門)	-0.91%	-1.15%	-0.68%	-1.06%	0.36%	0.53%
パルプ・紙製造(企業内情報処理部門)	0.13%	-0.01%	-0.10%	-0.26%	0.46%	0.61%
化学工業(企業内情報処理部門)	-0.72%	-0.88%	-0.19%	-0.38%	0.10%	0.21%
素材製造業(企業内情報処理部門)	0.29%	0.34%	-0.13%	-0.33%	0.02%	0.11%
一般機械(企業内情報処理部門)	-0.61%	-0.79%	-0.31%	-0.60%	-0.14%	-0.10%
民生用電子・電気機械(企業内情報処理部門)	-0.13%	-0.34%	-0.17%	-0.41%	0.95%	1.30%
光ファイバー・ケーブル(企業内情報処理部門)	-0.37%	-0.57%	0.06%	-0.22%	0.24%	0.36%
半導体製造装置(企業内情報処理部門)	-0.81%	-1.14%	-0.06%	-0.32%	-0.12%	-0.66%
通信機械(企業内情報処理部門)	-0.93%	-1.31%	-0.74%	-0.99%	0.53%	0.79%
電子計算機・同付属品(企業内情報処理部門)	-2.45%	-5.15%	-1.39%	-2.21%	1.62%	2.34%
半導体素子・集積回路(企業内情報処理部門)	-0.52%	-1.23%	-1.10%	-1.20%	1.33%	1.95%
他電子部品(企業内情報処理部門)	-0.02%	-0.22%	-0.66%	-0.94%	2.32%	2.90%
重電機器・輸送機器(企業内情報処理部門)	-0.61%	-0.88%	-0.09%	-0.25%	0.93%	1.22%
ロボット(企業内情報処理部門)	-0.43%	-0.82%	0.07%	0.06%	0.34%	-0.11%
その他精密機械(企業内情報処理部門)	-1.19%	-1.51%	-0.33%	-0.54%	0.21%	0.35%
石油・石炭製品(企業内情報処理部門)	-2.09%	-3.28%	-1.62%	-2.46%	-0.32%	-0.42%
その他の製造業(企業内情報処理部門)	-0.54%	-0.72%	-0.21%	-0.38%	0.33%	0.52%
エネルギー産業(企業内情報処理部門)	-0.28%	-0.46%	-0.19%	-0.39%	-0.24%	-0.22%
建設(企業内情報処理部門)	-0.30%	-0.46%	-0.19%	-0.36%	0.09%	0.16%
運輸(企業内情報処理部門)	-0.32%	-0.46%	0.02%	-0.12%	-0.29%	-0.31%
通信・放送(企業内情報処理部門)	0.61%	0.85%	-1.16%	-1.73%	0.05%	0.13%
商業(企業内情報処理部門)	0.49%	0.62%	-0.11%	-0.34%	-0.04%	0.02%
ソフトウェア業(主生産部門)	-1.31%	-1.87%	-0.23%	-0.42%	0.53%	0.59%
ソフトウェア業(企業内研究部門)	-1.21%	-1.82%	-0.26%	-0.41%	0.84%	1.03%
インターネット業(主生産部門)	0.00%	-0.22%	0.00%	0.56%	2.20%	0.69%
インターネット業(企業内研究部門)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.13%	0.44%
情報処理・提供サービス(主生産部門)	-0.93%	-1.18%	0.30%	0.20%	0.38%	0.42%
情報処理・提供サービス(企業内研究部門)	-1.14%	-1.97%	-0.35%	-0.55%	0.94%	1.24%
医療福祉サービス(主生産部門)	-0.44%	-0.38%	0.01%	-0.15%	0.00%	0.05%
教育(主生産部門)	0.11%	0.10%	0.01%	-0.01%	0.00%	0.02%

注： U.TFP > 0.0 & Static U.TFP > U.TFP

(表 4-3)は、企業内研究開発活動および独立した国公立・非営利の研究機関および研究開発産業の研究開発活動の知的資産の生産効率への影響評価の結果を示している。独立した研究開発部門は、国公立・非営利の大学および研究機関と産業としての研究機関とに区分され、それぞれが、5つの科学分野に別れている。国公立の大学および研究機関は、公共財としての知識ストックを生産しており、営業余剰はゼロと定義されている。研究設備等の有形固定資本投資があるが、そのコストとしての資本減耗引当が計上されている。さらにわれわれの産業分類では、国公立の大学・研究機関に非営利団体としての私立大学およびその附属研究機関の活動を統合しているために、弱化の営業余剰および資本減耗引当があり、それを国公立の活動と統合しており、結果として、Unit TFP が計上される。1995-2000年の期間、国公立・非営利研究機関の Unit TFP は、極めて小さい正の値を示している。政府の競争的資金の拡張など、R&D 投資の拡張は、2000-2005 年にわたって、この部門の Unit TFP を高めることとなった。しかし、2005-2010 年の期間では、逆に負の値を示しており、研究開発投資による生産性向上の効果は検出されていない。産業として独立した研究開発

部門の活動も、1995-2000 年の生産効率は一負であり、2000-2005 年で正に転じるが、2005-2010 年の期間でその効果は反転する。Static Unit TFP の値も、研究開発の生産効率上昇への相乗効果は、正の値を示しているものの余り顕著な効果はみられない。公共財としての色彩の大きい国公立・非営利研究機関の知的ストックの蓄積の成果の評価は、市場財として市場経済のメカニズムの中に波及が内生化される情報処理サービスの機能とは、評価の仕方の仕方を必要かもしれない。無形固定資産としての知識ストックの影響評価は、動学的 TFP (一方 Dynamic Unit TFP) の測定をまっして、評価しなければならない。企業内研究開発の効果は、1995 年以来着実に上昇傾向にあり、2005-2010 年の 5 か年では、電子機器、半導体素子・集積回路、その他電子部品、ソフトウェア業、情報処理サービス業、インターネットなど情報関連の産業の企業内研究開発の生産効率上昇への貢献は大きく、その相乗効果も著しい。

(表 4-3) 産業別 TFP 成長率と静学 Unit TFP 成長率：研究開発活動

産業別活動分野別 UNIT TFP vs. Static UNIT TFP	1995-2000		2000-2005		2005-2010	
研究開発分野	U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP		U.TFP vs. Static U.TFP	
企業内研究(農林水産業)	-0.44%	0.00%	0.06%	0.00%	0.18%	0.00%
企業内研究(鉱業資源)	0.28%	0.25%	0.44%	0.37%	-0.46%	-0.41%
食品製造業(企業内研究部門)	-0.22%	-0.33%	-0.02%	-0.11%	0.24%	0.34% ※
繊維・木材家具製造業(企業内研究部門)	-0.35%	-0.45%	0.13%	0.04%	0.12%	0.18% ※
パルプ・紙製造(企業内研究部門)	-0.08%	-0.17%	-0.10%	-0.20%	0.21%	0.30% ※
化学工業(企業内研究部門)	-0.28%	-0.38%	0.03%	-0.05%	0.07%	0.14% ※
素材製造部門(企業内研究部門)	-0.20%	-0.32%	-0.15%	-0.26%	-0.10%	-0.04%
一般機械(企業内研究部門)	-0.41%	-0.52%	0.08%	-0.01%	-0.12%	-0.06%
民生用電子・電気機械(企業内研究部門)	-0.22%	-0.30%	0.03%	-0.06%	0.07%	0.13% ※
光ファイバー・ケーブル(企業内研究部門)	-0.09%	-0.17%	0.06%	-0.02%	-0.11%	-0.04%
半導体製造装置(企業内研究部門)	-0.23%	-0.33%	0.08%	-0.01%	-0.33%	-0.27%
通信機械(企業内研究部門)	-0.14%	-0.23%	0.09%	0.00%	0.06%	0.12% ※
電子計算機・同付属品(企業内研究部門)	-0.41%	-0.52%	0.06%	-0.04%	0.12%	0.18% ※
半導体素子・集積回路(企業内研究部門)	0.00%	-0.08%	0.28%	0.19%	0.46%	0.50% ※
他電子部品(企業内研究部門)	-0.32%	-0.45%	0.00%	-0.09%	0.61%	0.64% ※
重電機器・輸送機器(企業内研究部門)	-0.28%	-0.37%	0.09%	0.01%	0.18%	0.24% ※
ロボット(企業内研究部門)	-0.06%	-0.14%	0.13%	0.04%	-0.17%	-0.10%
その他精密機械(企業内研究部門)	-0.20%	-0.28%	0.08%	-0.01%	0.03%	0.10% ※
石油・石炭製品(企業内研究部門)	-0.99%	-1.27%	0.30%	0.20%	0.18%	0.23% ※
その他の製造業(企業内研究部門)	-0.31%	-0.41%	0.10%	0.01%	0.16%	0.23% ※
エネルギー産業(企業内研究部門)	-0.13%	-0.21%	0.07%	-0.01%	-0.13%	-0.06%
建設(企業内研究部門)	-0.17%	-0.28%	0.03%	-0.06%	-0.03%	0.02%
運輸(企業内研究部門)	-0.19%	-0.26%	0.05%	-0.04%	-0.06%	0.01%
通信・放送(企業内研究部門)	-0.25%	-0.36%	-0.31%	-0.43%	0.22%	0.29% ※
商業(企業内研究部門)	0.14%	0.13%	0.04%	-0.03%	-0.26%	-0.26%
ソフトウェア業(企業内研究部門)	-1.21%	-1.82%	-0.26%	-0.41%	0.84%	1.03% ※
情報処理・提供サービス(企業内研究部門)	-1.14%	-1.97%	-0.35%	-0.55%	0.94%	1.24% ※
インターネット業(企業内研究部門)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.13%	0.44%
R&D.ライフ(国公立・非営利)	0.06%	0.04%	0.14%	0.10%	-0.23%	-0.16%
R&D.情報通信(国公立・非営利)	0.01%	-0.01%	0.28%	0.22%	-0.38%	-0.30%
R&D.物質・材料(国公立・非営利)	0.00%	0.00%	0.26%	0.22%	-0.39%	-0.31%
R&D.環境・エネルギー(国公立・非営利)	-0.07%	-0.04%	0.11%	0.04%	-0.55%	-0.45%
R&D.その他研究開発(国公立・非営利)	0.10%	0.07%	0.13%	0.08%	-0.24%	-0.17%
R&D.ライフ(産業)	-0.90%	-0.35%	12.93%	0.99%	-3.62%	-0.51%
R&D.情報通信(産業)	-3.59%	-0.42%	4.00%	1.05%	-0.08%	-0.51%
R&D.物質・材料(産業)	0.00%	0.00%	2.88%	1.21%	0.24%	-0.60%
R&D.環境・エネルギー(産業)	-3.58%	-0.09%	2.39%	0.80%	-2.77%	-0.56%
R&D.その他研究開発(産業)	-0.05%	-0.32%	5.07%	1.31%	-1.64%	-0.45%
その他サービス(企業内研究部門)	-0.02%	-0.08%	-0.15%	-0.26%	0.34%	0.45% ※
註※ UNIT TFP>0.0 & Static UNIT TFP > UNIT TFP						

生産効率の動学的な波及効果の議論に前に、情報処理活動という市場財の生産効率波及効果の意味を確認しておきたい。

独立した産業部門としての情報産業（通信・放送業、ソフトウェア業、情報処理サービス提供業など）の他産業部門への波及効果は、市場財としての他産業の中間投入への情報サービスの提供としての効果が大きい。その市場財としての効果は、これら情報関連産業からの各産業部門への中間投入の波及として、その効果を捉えることができる。

(図 6-1)、(図 6-2)、(図 6-3) は、通信・放送業、ソフトウェア業、情報処理サービス業からの各産業部門への中間投入係数の時系列推移をプロットしたものである。

(図 6-1) 通信・放送業の他産業への中間投入係数の時系列変化



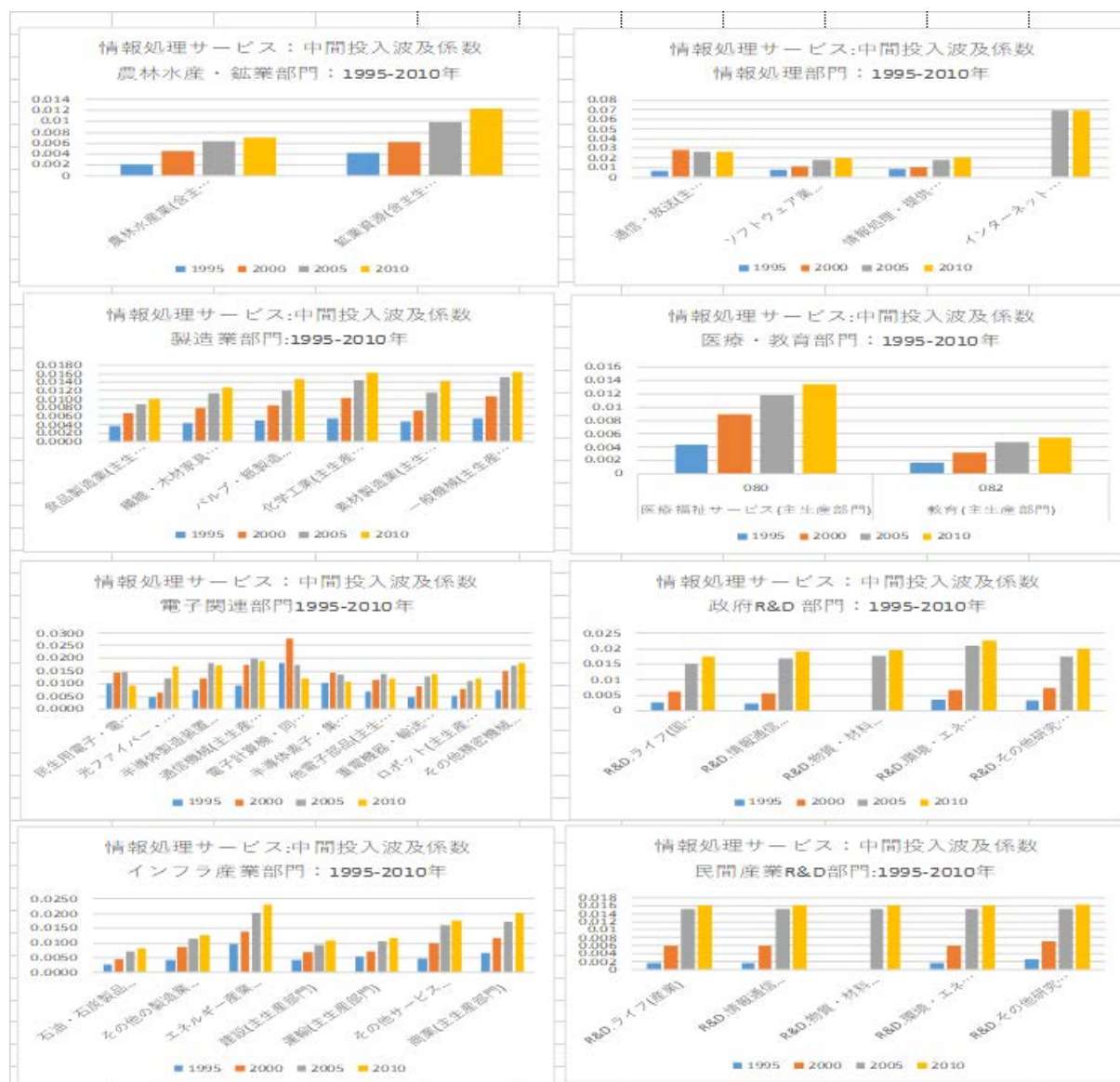
他産業における通信・放送部門からの中間投入の変移を時系列でみると、電子関連製造部門（民間用電子・電子機器、光ファイバー、半導体製造装置、通信機器、電子計算機、半導体・集積回路、その他電子部品、重電機器・輸送機械、ロボット、その他精密機械）を除くすべての産業部門で、通信・放送部門からの中間財投入は、急速に拡大してる。それは、独立した産業部門としての研究開発部門でも、その傾向は顕著であり、所謂プラットフォーム産業としての通信・放送部門の特性を示している。電子関連製造部門では、その通信・放送部門からの中間投入の構造に変動がみられるが、これは、これらの産業での通信・放送関連活動の内部化が進んでいることと解釈ができる。各部門の情報処理サービスの企業内処理という内部化の表れと考えられる。

(図 6-2) ソフトウェア業から他産業への中間投入係数の時系列変化



ソフトウェア産業からの他産業への中間投入は、先の通信・放送業とは異なり、その投入係数は減少傾向にある部門が多い。これは、ソフトウェアの企業内情報処理による内部化やパッケージ・ソフトの普及などが関連してるように思われる。一方で、国公立・非営利 R&D 部門や産業の R&D 部門など、着実に中間投入係数の拡張の傾向がみられる部門もある。科学技術のあらゆる分野で、情報化、電子化が進んでおり、研究開発の推進のソフトおよびシステム開発の外部化が進んでいることを示している。

(図 6-3) 情報処理サービス提供業の他産業への中間投入係数の変化



情報処理サービス提供業の他産業への中間投入の拡大傾向は、すべての産業に共通してみられる傾向である。情報提供サービスのプラットフォーム化が進んでいることを示している。

以上幾つかの情報産業から他産業への中間財投入の傾向は、情報産業のプラットフォームとしての役割を明確に示しており、情報産業の生産性の上昇、情報産業を支える電子産業の高度化が、あらゆる産業の効率化の重要な役割を担っていることが示されている。とりわけ公的研究機関、民間の研究機関の活動の活性化にも、情報産業との連携が不可欠であり、市場を通じたその効果の拡張が政策的にも不可欠であることを示している。

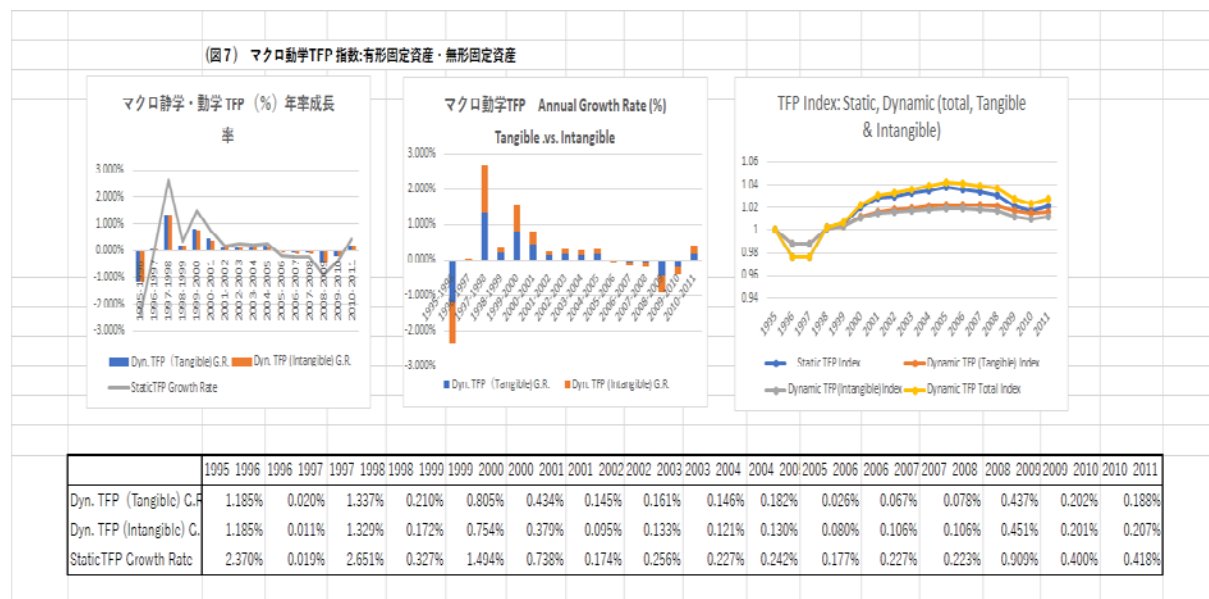
公共財としての政府の科学技術知識の開発の社会への影響の波及は、市場財としての情報処理技術の社会的影響とは、異なっている。

① 公共財としての研究開発投資は、政府の R&D 投資として行われ、国公立大学や研

究機関、私立大学等の非営利組織の研究機関などへの研究費として配分される。そこでの活動が公共財としての知識ストックを生み、民間産業の企業内研究開発や民間営利研究機関に開発された知識を伝搬し、民間部門の効率改善を促す。しかし、その知識の伝搬は、市場財としての取引ではなく、いわばコストレスに民間の各主体に伝搬されることになり、中間財の取引のように、明示的に現れるわけではない。

- ② 公共財としての知識サービスは、非市場財として、非競合財としての性質をもち、利用者の専有性はなく、配分される。
- ③ 一方で、政府の R&D 投資が、知識ストックの蓄積を重ねて、動学的にその R&D 投資の効率を変移させることは、研究開発の深化として、社会に影響を与えることを考えなければならない。
- ④ 研究開発の深化による知識の拡大は、その知的サービスの蓄積が、教育を通して、人的資本の蓄積に影響を与えることも無視できない効果である。

前節で提案した動学的 Unit TFP の考え方は、有形、無形の固定資産の拡張による生産効率の測定に際して、固定資産の蓄積時の技術条件を踏まえた動学的な TFP の測定が必要であること強調したものである。その手法を用いて、有形固定資本の蓄積の効果のみならず、無形固定資本の蓄積、すなわち R&D 投資や情報処理投資などの無形固定資産の蓄積が生産効率に与えた影響を、動学的 Unit TFP の指標によって、観測することができる。



(図7) は、マクロレベルで、1995-2011 年の動学的 Unit TFP を、有形固定資産および無形固定資産による資本ストックの蓄積を勘案して測定したものである。無形固定資産は、各産業部門の企業内情報処理活動と研究開発活動、および民間の情報処理産業、政府 R&D 部門、民間の独立産業の R&D 部門の資本蓄積を積算したものである。マクロレベルでは、それらの有形・無形の資本蓄積による動学的な TFP 効果は、年率にして、静学的 TFP 成長率と同程度の成長率を持ち、無視できない大きさであることが判る。知識ストックとして

の無形固定資産の効果も、有形固定資産の蓄積に匹敵するレベルの年率で TFP に影響していることが判る。

上で述べたように、公共財としての政府の R&D 投資の影響は、知識ストックとして動学的に蓄積されることを通じて、その効果を測定する指標を与える。R&D 投資の分野別深化の生産性に与える効果についても更なる分析を進めたいと考えている。

6. 結びにかえて

この小論では、R&D 投資の経済社会に与える効果を、産業連関表の枠組みで捉えることを提案した。産業連関表において、情報処理投資や研究開発投資を資本投資として表現する枠組みを提案して、1995-2011 年について、我が国の産業連関表を時系列で組み替えることを行った。その手続きについては、黒田(2019b)でまとめているので参照いただきたい。ここでは、その推計結果を用いて、この期間のこれらの投資が産業の生産効率に及ぼした影響をこれらの投資を無形固定資産の蓄積と考えて、その経済社会への影響を産業の全要素生産性 (TFP) の変化として測定することを提案した。情報処理や研究開発という無形資産としての蓄積を明示的に示して、その投資による知識ストックおよび知識サービスの測定方法を提案、さらにこれら無形固定資産への投資が、知識サービスを拡張し、それが産業各部門、さらにはマクロ経済の効率化に如何に貢献するかを測定する指標を提案して、1995-2011 年の不況期での日本経済における成果を実証することを試みた。

無形固定資産の蓄積としての投資行動が知的資産を蓄積し、その知的資産からの知的サービスの提供が経済社会の与える影響を測定したが、ここで具体化した情報処理投資と研究開発投資の間では、その経済的波及には、概念的な差異のあることが明白となった。それは、市場財として市場でのサービスの取引を通じて、経済構造に波及する情報処理サービスと政府研究開発投資に代表される公共財としての知的資産の蓄積およびその知的サービスとの違いである。前者が市場財として、他の一般的なサービスとして経済への影響を把握できるのに対して、後者は、非専有性をもつ公共財として価格メカニズムに直接的にはのらない無形固定資産としての知識サービスであるという点である。研究開発活動による知的サービス生産は、特許権などの知的市場財として市場評価価値をもつものと、政府の研究開発投資のように市場財としては、市場評価価値を持たないが、社会の知識ストックとして、社会基盤を形成するものとがある。後者の知的サービスは、教育活動を通じて、人的資本の蓄積に寄与し、知的に高度化した人的資本のサービス価値が市場経済に貢献することもあり得る。またある分野の知識サービスの高度化が他の部門の研究開発の効率化に、知識の高度化として無形の影響を与えることもあり得る。これらの影響は、市場の外部効果として、ここでの産業連関分析とは別の分析枠組みを構築することが求められる。知識ストックの提供する知識サービスの質的变化を測定する指標の開発が不可欠であろう。

References

- Ahmavara, P (1999) Effective rates of sectoral productivity change, *Economic Systems Research*, 11,349-363.
- Domar, E.D. (1961) On the measurement of technological change, *Economic Journal*, 71,709-729.
- Hulten, C.R. (1978) Growth accounting with intermediate inputs, *Review of Economic Studies*, 45,511-518.
- (1990) The measurement of capital, in E.R. Berndt and J.E. Triplett (eds) *Fifty Years of Economic Measurement: The Fubilee of the Conference on Research in Income and Wealth (Chicago, University of Chicago Press)*, 119-158.
- (1992) Growth accounting when technical change is embodied in capital, *American Economic Review*, 82, 964-980.
- Jorgenson, D.W. (1966) The Embodiment Hypothesis, *Journal of Political Economy*, 74, 1-17.
- Kuroda, M. and Nomura, K. (2004) Technological change and accumulated capital: a dynamic decomposition of Japan's Growth, Wassily Leontief and Input-Output Economics, E. Dietzenbacher and Lahr, M.L. (eds), (*Cambridge, Cambridge University Press*), 256-293.
- Leontief, W.W. (1970) The dynamic inverse, in A.P. Carter and A. Brody(eds), *Contributions to Input-Output Analysis (Amsterdam, North-Holland)*, 17-46.
- Ozaki, I. (1980) The structure of economic development (III) – a determination of economic fundamental structure, *Mita Journal of Economics*, 73, 66-94 (in Japanese).
- Peterson, W. (1979) Total factor productivity in the UK: a disaggregated analysis, in K.D. Patterson and K. Schott (eds.) *The Measurement of Capital: Theory and Practice (London, Macmillan)*, 212-225.
- Wolff, E.N. (1985) Industrial composition, inter-industry effects and the U.S. productivity slowdown, *Review of Economic and Statistics*, 67, 268-277.
- 黒田昌裕 (2019b) R&D投資の資本化による産業連関表の作成－研究開発活動の資本化と知識ストックの構造化－、SciREX Center Working Paper, 政策大学院大学。



SciREX Center



政策研究大学院大学
NATIONAL GRADUATE INSTITUTE
FOR POLICY STUDIES

科学技術イノベーション政策研究センター

Science for RE-Designing Science, Technology and Innovation Policy Center (SciREX Center)

〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1 / Tel 03-6439-6329 / Fax 03-6439-6260

7-22-1 Roppongi, Minato-Ku, Tokyo 106-8677 JAPAN

Tel +81-(0)3-6439-6329 / Fax +81-(0)3-6439-6260