

DBJ Research Center on Global Warming  
Discussion Paper Series No. 64 (9/2019)

## エネルギー生産性改善と全体効率

野村 浩二

本論は、執筆者個人の暫定的な研究（内容、意見については執筆者個人に属するもの）であって、関心ある研究者との議論等のために作成されたものである。

# エネルギー生産性改善と全体効率

野村浩二†

慶應義塾大学 産業研究所

2019年9月

## 概要

「環境と成長の好循環」の実現のため、戦後日本経済の経験から何を学ぶことができるだろうか。本稿は、エネルギー消費分析用に拡張された日本経済の産業別生産性統計（1955–2016年）に基づき、エネルギー生産性の改善（energy productivity improvement: EPI）と全体効率としての全要素生産性（total factor productivity: TFP）の測定を通じて、生産効率の観点から環境（EPI）と経済（TFP）との循環構造を分析することを目的としている。第一の方向性は、経済から環境である。EPIの実現は、エネルギー投入一単位あたりの資本・労働投入、そしてTFPによる寄与度へと分解される。経済成長のプロセスにおいては、同量の生産を実現するために、一単位の労働がより多くのエネルギー投入を必要とするような技術変化（労働浅化）がほぼ一貫して見いだされる。労働浅化は、労働から資本への代替、そして資本を稼働させるためのエネルギー消費の拡大という、二つの技術変化の結果として捉えられる。それは直接的にはEPIを低迷させるが、労働生産性とTFPを上昇させ、労働浅化によるマイナス効果を相殺してEPIに寄与している。戦後日本経済の長期EPIの実現は、全体効率の改善としてのTFP成長による貢献がもっとも大きな要因であり、省エネ投資による貢献を上回っている。

第二の方向性は、環境から経済である。TFP成長は、労働生産性、資本生産性、そしてエネルギー生産性変化の総合効果として解される。オイルショック後にはエネルギー多消費産業を中心として高いEPIが実現したものの、安価に利用可能な省エネ技術が制約されていく中で、その後の省エネ投資によっては資本生産性が大きく低下し、TFP成長がマイナスへと転じる傾向が見いだされる。また近年のサービス業では、労働浅化の逆行によってEPIが実現しており、それは労働生産性とTFPの成長を犠牲とするものである。こうした傾向は、EPIという一面の効率性改善の探求が、全体的な生産効率の改善と両立することの難しさを示唆している。

† 野村浩二（慶應義塾大学 産業研究所教授・日本政策投資銀行 設備投資研究所 客員主任研究員）。本稿に含まれる誤りは、著者の責任に帰する。

## 1 はじめに

日本政府は、2030年度の温室効果ガスを26%削減（2013年度比）させる中期目標において、最終エネルギー消費量（原油換算値）として、「技術的にも可能で現実的な」対策として考えられる限りのものを積み上げる「徹底した」省エネにより、5,030万klの削減（対策前比13%減）をその目標値としている（経済産業省, 2015）。また2050年までには、日本政府は温室効果ガスの80%排出削減という長期目標を掲げており、本年6月に大阪で開催されたG20のタイミングに合わせて、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が閣議決定された（日本政府, 2019）。そこでは長期的なイノベーションの推進を軸として、「環境と成長の好循環」の実現を目指すとしている。環境と経済成長の「両立」を超えた「好循環」をどう実現するのか、政府による長期戦略は新たに説得的な根拠を示すものではない。エネルギー需給の両面において、「好循環」の実現には何が求められるのか、引き続き実証分析の蓄積と慎重な考察とが求められている。

第一次オイルショック以降、省エネの推進は各国政府の仕事に組み込まれて、すでに半世紀近くが経過した。一般に、省エネ（energy conservation）という用語は、エネルギー効率性（energy efficiency）やエネルギー生産性（energy productivity）と互換的に用いられることもあるが、その意味は異なっている。一次エネルギー消費量の削減を、大きく三つの要因へと分離しよう。第一に、一次エネルギーから電力など二次エネルギーへと転換する上での効率性である。エネルギーの供給サイドで定義されるそれを、狭義のエネルギー効率性（energy efficiency）と呼ぼう。第二に、品質を調整した一単位のエネルギー投入によって生産される産出量の拡大である。エネルギーにおける品質変化を統御したもとの、エネルギーの需要サイドにおいて定義されるそれをエネルギー生産性（energy productivity）と呼ぼう。そして第三は、国内生産の縮小である。それは単純な生産減少のみではなく、一国経済の評価においては国際分業の在り方に依存している。こうした整理のもとで、「省エネ」とは、その要因を問わず、一次エネルギー消費量の削減自体を指している。ゆえに省エネは、原油換算エネルギー消費量の削減など、直接的な観察しやすい指標によって評価される。

しかし、省エネの実現は、経済成長や経済効率を犠牲としない、エネルギー効率性やエネルギー生産性の改善によるものだろうか。発電におけるエネルギー効率性の改善は、高価な発電プラントを必要とし、資本生産性や全体的な経済効率を犠牲にしているかもしれない。一国経済レベルで観察されるエネルギー生産性の改善は、エネルギー多消費的な国内生産が海外へとシフトしただけかもしれない。省エネ技術の多くはその価格が低廉化していき、将来の更新投資の機会に自ずと組み込まれていくとすれば、省エネ政策によって前倒しするメリットはほとんど存在しないかもしれない。エネルギー消費量が削減しようとも、その削減要因や経済効率への悪影響は、ほとんど観察が難しいところに潜んでいる。そのことは、誤ったエネルギー・環境政策を誘導するリスクを大きなものとしている。

社会における純便益を最大化するような経済的な効率性の最大化は、エネルギー効率性の最大化を意味するものではない（Gillingham, Newell, and Palmer, 2009）。「環境と成長の好循環」を評価するためには、エネルギー効率性やエネルギー生産性という一面的な評価

と、全体的な経済効率との乖離が認識されなければならないだろう。野村(2018)は、エネルギー品質や産業構造変化要因を統御した測定によって、戦後日本の経済成長プロセスにおいてほぼ一貫してエネルギー生産性の改善(energy productivity improvement: EPI)が実現してきたものの、そのスピードは半世紀の間に大きく逡減したことを見出している。安価に利用可能な省エネ技術が限られていく中、省エネ政策によって表面的には「環境と成長の好循環」が実現しているように見えながらも、その実は経済効率の低下や低成長を導いているのではないか。低成長は研究開発を含む投資水準を低迷させ、技術進歩を通じた全体的な生産性の改善を抑制し、その結果として将来のEPIを停滞させているのではないか。こうした懸念は大きなものとなっている。

EPIが全要素生産性(total factor productivity: TFP)の改善と経済成長を促進し、また経済成長が更新投資や省エネ投資、そして研究開発を促し、将来のEPIを実現していく。こうした「環境と成長の好循環」の実現のため、戦後日本経済の経験から何を学ぶことができるだろうか。本稿は、エネルギー消費の分析用に拡張された日本経済の産業別生産性統計(1955–2016年)に基づき、生産における投入と産出における効率評価としての視点から、環境(EPI)と経済(TFP)との循環構造を分析することを目的としている。

以下、第2節ではエネルギー生産性と全体効率の評価のための測定フレームワークを構築し、TFPのもつ全体効率の評価指標としての含意や、生産効率の視点におけるEPIとTFP成長の相互の実現におけるメカニズムについて論じる。現実の経済成長における典型的な技術変化のパターンとしては、労働量(L)から資本量(K)への代替(機械化による労働節約などの「LK代替」)、エネルギー量(E)から資本量(K)への代替(省エネ投資などによる「EK代替」)などがある。こうした技術変化によるエネルギー生産性への影響について、2.2節では簡単な数値例に基づいて考察する。第3節では、戦後日本経済における一国集計レベルおよび産業レベルでの測定値に基づき、EPIとTFP成長の要因分析をおこなう。第4節は結びとする。

## 2 フレームワーク

### 2.1 産業別勘定

日本の産業別生産性統計のフレームワークにおいて、エネルギー生産性を軸とした分析に関する定式化をおこなう<sup>1</sup>。生産関数を次のように定義する。

$$(1) \quad Y_j = f(K_j, L_j, E_j, M_j, S_j, T_j),$$

ここで $Y_j$ は $j$ 産業部門における粗産出量(gross output)であり、右辺の各変数は資本( $K_j$ )、労働( $L_j$ )、エネルギー( $E_j$ )、原材料( $M_j$ )、そしてサービス( $S_j$ )の投入量(まとめてKLEMS投入量と呼ぶ)、 $T_j$ は当該産業における技術状態を表す指標である。ここではエネルギー投入に関する分析のため、 $E_j$ は最終消費されるエネルギーに限られており<sup>2</sup>、石

<sup>1</sup> 日本の産業別生産性勘定のフレームワークとデータ構造はJorgenson and Nomura(2005)に詳しい。またここでの勘定では、家計については産業部門の一つ(第47産業部門)として、産出およびエネルギー投入ともに内生化することで、産業部門の集計量として一国経済が捉えられている。詳細は野村(2018)の3.2節を参照されたい。

<sup>2</sup> 「最終消費」とは、経済統計では生産過程に投入されるすべての中間消費を除くため、産業によるエネルギー消費を含まないが、エネルギー統計ではエネルギー転換部門による消費と在庫品純増を除く国内消費全体を示す。本稿での最終エネルギー消費とは後者の意味であり、それは産業部門(エネルギー転換用の消費分を除く)と家計部門に

油精製業に投入される原油や発電部門に投入される石炭・天然ガスなど、エネルギー転換部門で消費される一次エネルギーは原材料 ( $M_j$ ) として格付けられている。産業部門ごとに、名目の投入産出バランスは次のように成立している。

$$(2) \quad V_j^Y (= P_j^Y Y_j) = \sum_{\theta} V_j^{\theta} (= \sum_{\theta} P_j^{\theta} \theta_j), \quad (\theta = KLEMS)$$

ここで  $V_j^{\theta}$  は、KLEMS 投入要素それぞれの名目コストであり、右辺ではそれを価格と数量へと分離している (たとえばエネルギー投入 ( $\theta = E$ ) では、名目コスト  $V_j^E$  がその価格  $P_j^E$  と数量  $E_j$  の積であることを(2)式右辺では表記している)。  $j$  産業における KLEMS 投入要素は、それぞれが内部における細分類を持っており<sup>3</sup>、その細分類からのトランスログ指数による品質調整済みの産業集計量として測定されている。とくにエネルギー投入についてみれば、  $j$  産業におけるエネルギー投入コストは、エネルギー種 ( $i$ ) 別コストの合計値として次のように定義される。

$$(3) \quad V_j^E = P_j^E E_j = \sum_i P_{ij}^E E_{f,ij},$$

ここで  $E_{f,ij}$  は最終消費されるエネルギー量 ( final energy consumption ) であり、  $P_{ij}^E$  はその価格である<sup>4</sup>。最終消費されるエネルギーには電力や石油・石炭製品などがあるが、それらによって熱、動力、光などのエネルギー・サービスが提供されるとき、相対的に高価である電力はより高度なサービスを提供していると考えられる。エネルギー・サービス量の測定としてのための近似として、エネルギー種間の相対価格により品質の相違を考慮した集計量を、トランスログ指数により次のように定式化する。

$$(4) \quad \Delta \ln E_j = \sum_i \bar{v}_{ij}^E \Delta \ln E_{f,ij},$$

ここで  $\Delta$  は連続する二期間の差分として、  $\Delta \ln E_{f,ij}$  は産業別エネルギー種別の最終エネルギー消費量の成長率を示している。産業別の品質調整済みエネルギー投入量 ( quality-adjusted energy input :  $E_j$  ) を、(4)式では最終エネルギー消費総額におけるエネルギー種別コストシェアの二期間平均値 (  $\bar{v}_{ij}^E$  ) をウェイトとしたトランスログ指数によって定義している (  $\sum_i \bar{v}_{ij}^E = 1$  )<sup>5</sup>。(3)式でのエネルギー価格 (  $P_j^E$  ) は、  $V_j^E / E_j$  によってインプリシットに定義された品質調整済みの価格指数である。

(1)式における生産関数において、規模に関する収穫一定と完全競争を仮定して、産業別の全要素生産性 ( total factor productivity : TFP ) の成長率 (  $\tau_j^T$  ) をトランスログ指数によって次のように定義する。

$$(5) \quad \tau_j^T = \Delta \ln Y_j - \sum_{\theta} \bar{v}_j^{\theta} \Delta \ln \theta_j, \quad (\theta = KLEMS).$$

ここで  $\bar{v}_j^{\theta}$  は、産業別の粗産出額 (  $V_j^Y$  ) に占めるそれぞれの投入コストシェア (  $V_j^{\theta} / V_j^Y$  ) の二期間平均値であり、  $\sum_{\theta} \bar{v}_j^{\theta} = 1.0$  である (  $\theta = KLEMS$  )。

おける消費量の合計である。

<sup>3</sup> 長期時系列の分析における投入要素の品質統御のため、本稿での測定における資本投入は、産業別に 142 の生産資産 (ソフトウェア、R&D を含む) 4 の在庫資産、5 の土地、18 の耐久消費財サービス (家計部門用) として、全体として 169 の資産に基づく資本サービス価格からの集計値によっている。また労働投入については、産業別に性、4 つの学歴分類、11 の年齢階層、5 つの就業上の地位のクロス分類として、440 の労働属性分類に基づく労働サービス価格からの集計値による。

<sup>4</sup> エネルギー消費分析用に拡張された生産性体系では、エネルギー種別価格はその産業部門 ( $j$ ) によっても単価が異なって定義されているが、時系列的な価格変化は消費主体間では同一であると仮定している。

<sup>5</sup> 最終エネルギー消費 (  $E_f$  )、最終エネルギー消費の一次エネルギー換算値 (  $E_p$  )、品質調整済みエネルギー投入量 (  $E$  ) の関係性やそこから定義される品質指数については、野村 (2018) の 3.1 節を参照されたい。

ここではエネルギー生産性の分析のため、産業別純産出量 (net output:  $X_j$ ) を実質付加価値と最終消費されるエネルギー投入量との集計量として定義する。原材料 ( $M_j$ ) とサービス ( $S_j$ ) の集計量としての中間投入量 ( $N_j$ ) を、次のように定義する。

$$(6) \quad \Delta \ln N_j = \bar{v}_j^{MN} \Delta \ln M_j + \bar{v}_j^{SN} \Delta \ln S_j,$$

ここで  $\bar{v}_j^{\theta N}$  ( $\theta = MS$ ) は  $V_j^\theta / V_j^N$  の二期間平均値である ( $V_j^N = V_j^M + V_j^S$ )。 (1) 式の生産関数において  $N_j$  と  $X_j$  が分離可能であるという仮定のもと、次式に基づき  $X_j$  を定義する。

$$(7) \quad \Delta \ln Y_j = (1 - \bar{v}_j^X) \Delta \ln N_j + \bar{v}_j^X \Delta \ln X_j,$$

ここで  $\bar{v}_j^X$  は粗産出額に占める純産出額の名目シェア ( $V_j^X / V_j^Y$ ) の二期間平均値である。(7) 式を (5) 式に代入して、産業別 TFP 成長率は次のようにも定義される。

$$(8) \quad \tau_j^T = \bar{v}_j^X \Delta \ln X_j - \sum_{\theta} \bar{v}_j^{\theta} \Delta \ln \theta_j, \quad (\theta = KLE).$$

これは純産出量に基づく、TFP 定義を与えている。

いまエネルギー投入量あたりの純産出量として、産業別エネルギー生産性 (energy productivity) の成長率 ( $\tau_j^E$ ) を

$$(9) \quad \tau_j^E = \Delta \ln X_j - \Delta \ln E_j,$$

として定義する<sup>6</sup>。(8) 式よりエネルギー生産性の成長率について解けば次式を得る。

$$(10) \quad \tau_j^E = (1/\bar{v}_j^X) \tau_j^T + (\bar{v}_j^K/\bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^K + (\bar{v}_j^L/\bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^L,$$

ここで右辺第二項の  $\varepsilon_j^K$  は、

$$(11) \quad \varepsilon_j^K = K_j/E_j,$$

であり、エネルギー投入量に対する資本投入量の比率を示している。ここでは  $\varepsilon_j^K$  の上昇をエネルギーに対する資本深化 (capital deepening) と呼ぼう。省エネ技術が体化された資本財の導入など、資本深化は資本投入によってエネルギー消費を代替するような技術変化を示している。(10) 式の右辺第二項のように、資本深化は EPI に寄与するものとなる。資本に組み込まれた省エネ技術の詳細については、資本の測定問題とともに 2.2 節で論じる。

同様に労働投入量についても次式を定義する。

$$(12) \quad \varepsilon_j^L = L_j/E_j.$$

$\varepsilon_j^L$  は、エネルギー投入量に対する労働投入量の比率であり、 $\varepsilon_j^L$  の低下をエネルギー投入に対する労働浅化 (labor shallowing) と呼ぶ<sup>7</sup>。労働浅化は、一単位の労働がより多くのエネルギー投入を必要とするような技術変化である。Smil (2017) が論じるように、産業革命以来の持続的な労働生産性の改善はエネルギー投入量の拡大によるものであり、それ

<sup>6</sup> エネルギー生産性のグロス指標 (一次エネルギー消費量あたりの産出として定義される) や、エネルギー品質や産業構造変化による影響などは野村 (2018) を参照されたい。本稿の分析対象は、エネルギー品質要因や産業構造要因を統御したもとの調整済みエネルギー生産性のみであり、ここで定義される  $\tau_j^E$  は野村 (2018) でのエネルギー品質を調整した  $\tau_{e,j}$  に対応する。

<sup>7</sup> 日本の戦後経済成長における長期トレンドとしても、野村 (2019) は実質エネルギー価格の変化に対応して、エネルギーに対する資本深化と労働浅化が優勢であったことを指摘している。(11) 式と (12) 式はそれぞれエネルギー投入量に対する資本と労働の投入量の指数であるが、その優勢な傾向にしたがって、本稿では (11) 式の  $\varepsilon_j^K$  を資本深化、(12) 式の  $\varepsilon_j^L$  を労働浅化と呼んでいる。

は長期にわたる労働浅化のプロセスである。経済成長のプロセスにおいて顕著である労働浅化 $e_j^L$ は、労働(L)から資本(K)への代替(LK代替)そして資本(K)を稼働させるためのエネルギー消費(E)の拡大(KE補完)の二つの技術変化の結果であると捉えられる。(10)式のように、労働浅化はエネルギーという一面からみた生産性である $\tau_j^E$ を直接的には悪化させる影響を持つ。このように(10)式はEPIの要因分解を与えている。

労働浅化の進行により直接的にはエネルギー生産性が低下しようとも、一方での労働生産性の改善があり、全体的な効率性の方向性を評価することが求められる。(9)式において定義した $\tau_j^E$ は、エネルギー投入という一面のみから生産効率を評価した指標であり、単要素生産性(partial factor productivity: PFP)の一つである。同様に、 $j$ 産業において資本と労働についても単要素生産性の成長率を定義する。

$$(13) \quad \tau_j^\theta = \Delta \ln Y_j - \Delta \ln \theta_j, \quad (\theta = KL).$$

単要素生産性の(9)式および(13)式によって、(5)式の産業別TFP成長率は、

$$(14) \quad \tau_j^T = \sum_\theta \bar{v}_j^\theta \tau_j^\theta, \quad (\theta = KLE),$$

のように、KLE投入要素のPFP成長率それぞれの加重平均値としても解される。(14)式は、TFP成長率として、(5)式および(8)式の代替的な表現を与えている。PFP変化によるTFP成長率への寄与度の合計として、(14)式はTFP成長の要因分解を与えており、とくには「TFP成長のPFP分解」と呼ぼう。

いま生産量一定のもとで、名目エネルギー価格( $P_j^E$ )の上昇によって、エネルギーから資本や労働へと代替することで資本深化や労働浅化の逆行がおこれば、エネルギー生産性は改善( $\tau_j^E > 0$ )し、資本生産性と労働生産性は悪化( $\tau_j^K < 0$ と $\tau_j^L < 0$ )する。(14)式におけるEPIによるTFP成長率への寄与度( $\bar{v}_j^E \tau_j^E$ )が、非エネルギー生産性の変化によるマイナスの寄与度( $\bar{v}_j^K \tau_j^K + \bar{v}_j^L \tau_j^L$ )の絶対値よりも小さいならば、全体効率は悪化していると評価される。(14)式は、EPIによる全体効率への直接的な寄与を示すものであるが、同時に進行している資本生産性と労働生産性の変化を含めた全体としての効率性変化を評価している。2.2節では簡単な数値例によって考察をおこなう。

「環境と成長の好循環」において、生産効率の視点から、EPIが全体効率としてのTFP成長と経済成長とを促進するプロセスと、経済成長とTFP成長がEPIを実現していくプロセスとして捉えれば、本稿のフレームワークでは、その前者を(14)式に基づくTFP成長のPFP分解によって、その後者を(10)式に基づくEPIの要因分解によって評価する。両式の変数は同時に決定されるが、第3節では期間ごとの変化の断面を測定しながら、その背景にある構造的な変化を考察する。

最後に、一国集計レベルにおけるエネルギー生産性の成長率( $\tau^E$ )を次のように定義する(野村, 2018)

$$(15) \quad \tau^E = \sum_j \bar{s}_j \tau_j^E.$$

ここでウェイトとなる $\bar{s}_j$ は、一国経済の最終エネルギー消費量(一次エネルギー換算値)である $E_p (= \sum_j E_{p,j})$ の産業別シェア、

$$(16) \quad s_j = E_{p,j} / E_p$$

の二期間平均値である( $\sum_j s_j = 1.0$ )。(15)式における $\tau^E$ は、一次エネルギーから二次エネルギーへの転換における効率性の変化、電力化などによる品質のより高いエネルギーの

拡大などによる効果、またエネルギー多消費産業の生産拡大やサービス化などの進行による産業構造変化による要因を統御した、調整済みエネルギー生産性 (adjusted energy productivity) の指標として定義されている。(15)式は同時に一国全体の EPI の産業起因を明示する分解式となる。

(10)式を(15)式に代入して、

$$(17) \quad \tau^E = \sum_j (\bar{s}_j / \bar{v}_j^X) \tau_j^T + \sum_j (\bar{s}_j \bar{v}_j^K / \bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^K + \sum_j (\bar{s}_j \bar{v}_j^L / \bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^L,$$

のように、調整済みのエネルギー生産性の成長率は、TFP 変化による寄与度 (第一項)、資本深化の寄与度 (第二項)、そして労働浅化の寄与度 (第三項) へと分解される。(17)式は一国集計レベルにおける、EPI の要因分解を与えている。

## 2.2 エネルギーと資本投入の類型

省エネの経済学的な数量評価のためには、資本投入量の測定において、とくに技術進歩との関係性の明確化が必要となろう。技術が生産における投入要素に体化されているとする考え方は、技術の体化仮説 (embodiment hypothesis) と呼ばれる。体化とは、技術進歩によって、新しい投入要素はそれ以前の投入要素よりも、言い換えれば資本では新しい製造年代 (vintage) において、労働投入では新しい出生世代 (cohort) において、より効率的であることを意味する概念である (Nadiri, 1970)。近代経済成長の経験からみれば、技術進歩の多くは機械設備やソフトウェアなど、資本に体化された技術 (capital-embodied technology) であると考えられる。経済測定としての把握は、資本に体化された技術進歩を資本投入の「量」における増加として測定することで、非体化型の技術進歩である TFP 成長と識別するものである (Jorgenson, 1966)。言い替えれば、ある製造年代における資本財の品質を基準とした測定単位を設定し、この測定単位に基づく“分銅”によって、資本に体化された技術進歩は品質統御された資本投入量 (quality-adjusted capital input) の拡大として測定される。

資本測定におけるこうした品質統御は、自動車であれば排気量、最大積載量、馬力など、資本財の提供するサービス能力量に対して適用されている。他方、資本を稼働させるために必要なエネルギー消費量としての省エネ性能は、一般には資本財の品質を評価する一指標ではあるものの、その改善は資本投入量の増加としては測定されない。資本投入量は潜在的に提供しうるサービス量を評価したものであり (Hulten, 1990) 資本の稼働状況に依存したエネルギー効率とは切り離して考えられるからである。省エネ性能が改善しようとも、資本財の提供するサービス能力量が不変のままであれば、 $K_j$  の測定値は一定のままである<sup>8</sup>。

簡単な数値例によって示そう。前提として、ある  $j$  産業における粗生産額に占めるエネルギーコストの名目シェアは 5% ( $\bar{v}_j^E = 0.05$ )、資本コストシェアは 20% ( $\bar{v}_j^K = 0.2$ )、そして労働コストシェアは 25% ( $\bar{v}_j^L = 0.25$ ) とする (よって  $\bar{v}_j^X = 0.5$ )。表 1 のように、いま第一

<sup>8</sup> 一般に、資本の稼働にはそのオペレーターなど労働が付随的に必要となるが、必要となるオペレーターの人数や求められるスキルの低下が資本投入量と紐づけられていないことと類似している。こうした定義に基づけば、資本財の提供するサービス能力量が不変のまま、省エネ性能の改善によって価格が上昇したとすれば、それは資本財取得価格の上昇として捉えられる。

の事例 (Case-1) として、更新投資によって、資本財のサービス能力量とその価格も不変のまま、資本に体化された省エネ技術が追加的なコスト負担もなく自律的に導入され、省エネ性能のみが 5%改善したとしよう。このときリプレイスの前後において、 $K_j$ と $Y_j$ は一定のまま $E_j$ のみ 5%減少 (EPI は 5%改善) することから、(5)式にみるように、当該産業における TFP は 0.25%だけ上昇する。資本に体化された省エネ技術の自律的な導入は、 $K_j$ の拡大ではなく、非体化型の技術進歩である TFP の改善として測定される。資本生産性と労働生産性は不変のままであるが、(14)式にみるように、EPI の 5%上昇は TFP を 0.25%改善させる寄与度を持つ。

Case-1 に対し、省エネ自体を目的とした投資 (設備や建物の大規模改修を含む) があり、これは資本投入量 $K_j$ の測定量の内に含まれている。Case-2 として、鉄鋼業における転炉排ガスの回収設備や高炉の炉頂圧発電など、省エネを目的とした資本拡張 (EK 代替) を想定し、それによってエネルギー消費量が (Case-1 と同量の) 5%削減され、資本投入量が 2%拡大したとしよう。そのとき(5)式にみるように、当該産業の TFP は 0.15%だけ低下する。この事例では、(14)式に基づけば、省エネ投資による EPI (5%の改善) は TFP を 0.25 ポイント押し上げるものの、資本生産性の低下 (-2%) による TFP 成長率への負の寄与度 (-0.4 ポイント) がそれを上回り、全体効率としての TFP を 0.15%悪化させている。

表 1：エネルギー生産性要因分解の数値例

		Case-1	Case-2	Case-3	
		省エネ技術の 自律的導入	EK代替	(LK代替)	LK代替 +KE補充
仮定	$\Delta \ln Y$	-	-	-	-
	$\Delta \ln E$	-5.0	-5.0	-	1.0
	$\Delta \ln K$	-	2.0	1.0	1.0
	$\Delta \ln L$	-	-	-2.0	-2.0
1) 生産性成長率	TFP: $\tau^T$	0.25	-0.15	0.30	0.25
	資本生産性: $\tau^K$	-	-2.00	-1.00	-1.00
	労働生産性: $\tau^L$	-	-	2.00	2.00
	エネルギー生産性: $\tau^E$	5.00	5.00	-	-1.00
2) エネルギーに対する 資本深化 / 労働浅化	資本深化: $\varepsilon^K$	5.00	7.00	1.00	-
	労働浅化: $\varepsilon^L$	5.00	5.00	-2.00	-3.00
3) TFP成長( $\tau^T$ )の PPF分解	$\tau^K$ の寄与度	-	-0.40	-0.20	-0.20
	$\tau^L$ の寄与度	-	-	0.50	0.50
	$\tau^E$ の寄与度	0.25	0.25	-	-0.05
4) EPI( $\tau^E$ )の 要因分解	$\tau^T$ の寄与度	0.50	-0.30	0.60	0.50
	$\varepsilon^K$ の寄与度	2.00	2.80	0.40	-
	$\varepsilon^L$ の寄与度	2.50	2.50	-1.00	-1.50

単位： % (成長率)、パーセンテージ・ポイント (寄与度)、なお $\bar{v}_j^E$ 、 $\bar{v}_j^K$ 、 $\bar{v}_j^L$ はそれぞれ 5%、20%、25%と想定している (よって $\bar{v}_j^K=0.5$ )、 $\varepsilon_j^L$ はマイナスのとき労働浅化、プラスのとき労働浅化の逆行を示す。

二つの事例をみたように、資本に体化された省エネ技術の導入は、資本投入量の増加を伴わないもの (Case-1) と、それを伴うもの (Case-2) の二つのケースが存在している。前者は TFP 成長をもたらすが (ただし EPI 自体の改善率に比して TFP 成長率への貢献度は大幅に小さい)、後者では資本生産性の低下により全体効率としての TFP 変化の方向性は事前には定まらない。

あらためてこの二つの数値例を、(10)式における EPI の要因分解としてみよう。Case-1 では、資本と労働投入量は不変のままであるが、相対的にはエネルギーに対する資本深化 ( $\varepsilon_j^K$ ) および労働浅化 ( $\varepsilon_j^L$ ) の両指数ともに 5% 上昇している。資本深化と労働浅化の逆行は、エネルギー投入量あたりの産出量として定義される  $\tau_j^E$  を高める効果を持つ。(10) 式に基づけば、資本深化は 2.0 ポイント ( $=0.05 \cdot 0.2 / 0.5$ )、労働浅化の逆行は 2.5 ポイント ( $=0.05 \cdot 0.25 / 0.5$ )、それぞれ EPI に貢献する。この事例では TFP 成長は 0.25% であり、それによる EPI への貢献は 0.5 ポイント ( $=0.25 / 0.5$ ) である。Case-1 での省エネは直接的に TFP 成長をもたらす ( $\tau_j^K$  や  $\tau_j^L$  に影響しない) もの、EPI への貢献でみれば、労働浅化の逆行や資本深化を通じた効果がより大きな寄与を持っている。Case-2 では、EPI の要因分解として、TFP はマイナス 0.3 ポイント ( $= -0.15 / 0.5$ )、資本深化は 2.8 ポイント ( $= 0.07 \cdot 0.2 / 0.5$ )、労働深化の逆行は 2.5 ポイント ( $= 0.05 \cdot 0.25 / 0.5$ ) である。Case-1 からの Case-2 の差分でみれば (ともに EPI は 5% である) 資本深化の寄与度における増加分 0.8 ポイントが省エネ投資の拡大自体による直接的な効果であり、その分だけ (0.5 ポイントの改善から 0.3 ポイントの悪化へと) TFP 成長による EPI 寄与度が低下している (表 1 の下段)。

第三の数値例 (Case-3) として、労働と資本との代替 (LK 代替) を通じた、エネルギー生産性への間接的な影響をみよう。Case-3 では、はじめに仮想的に資本拡大はエネルギー消費量には影響しないとしたもとで、機械化による労働代替によって、 $Y_j$  は一定のまま、 $K_j$  を 1% 拡大 (資本生産性は 1% 悪化) し、 $L_j$  を 2% 減少 (労働生産性は 2% 改善) させたしよう。EK 代替 (Case-2) は労働浅化を逆行させるが、ここでの LK 代替は労働浅化をもたらす。このとき(14)式により、TFP 成長率に対して資本生産性はマイナス 0.2 ポイント、労働生産性はプラス 0.5 ポイントの寄与を持ち、全体効率率は 0.3% 改善している。ここで EPI はゼロであるが、(10)式による要因分解によれば、それは TFP と資本深化によるそれぞれ 0.6 ポイントと 0.4 ポイントのプラスの貢献と、労働浅化による 1.0 ポイントのマイナスの貢献の合計値である。機械化による労働代替は、資本深化や全体効率の改善による EPI をもたらすが、エネルギーに対する労働浅化がそれをちょうど相殺している。

LK 代替によって拡張した資本は、現実には、その稼働においてエネルギー投入量の拡大を必要とする (KE 補完)。ここでは  $K_j$  の 1% 拡大に伴い、エネルギー消費も 1% 増加するしよう。それは、 $\tau_j^E$  を 1% 悪化させ、全体効率の改善 (0.25%) は KE 補完を考慮しなかったケースに比して 0.05 ポイント低下している。 $\tau_j^E$  への寄与度でみれば、KE 補完を考慮しなかったケースに比して、TFP、資本深化、および労働浅化の寄与度がそれぞれ 0.1 ポイント、0.4 ポイント、0.5 ポイント低下する。LK 代替と KE 補完のセットによっては、TFP 成長の恩恵を受けながらも、労働浅化による大きなマイナスの影響によって、 $\tau_j^E$  は低下していく。

第 3 節で分析する日本経済の経験では、こうした技術変化のミックスした影響が観察される。また現実の経済成長では、Case-1 のような省エネを実現する技術の導入のみではなく、とくに高度経済成長期などでは輸入した機械設備に体化された生産能力の向上など、いわゆる「借りた技術 (borrowed technology)」の導入による影響もある。それも直接的な TFP 成長となり、EPI を実現していく。エネルギーと資本投入との関係性におけ

る類型としては、Case-2(EK 代替)は省エネ投資による“意図した”EPI であり、Case-3 や Case-1、あるいは「借りた技術」による効果は“意図せざる”EPI と呼ぶことができよう。

### 3 エネルギー生産性と全体効率

#### 3.1 一国経済の EPI

戦後日本経済においては、1990 年代から 2000 年代の停滞期を除き、一国集計レベルの指標によっても、一貫したエネルギー生産性の改善(EPI)が見いだされる。図 1 は 1955–2016 年の全観察期間における、一国集計レベルでの調整済みエネルギー生産性指数の推移であり、2016 年の水準は 1955 年比で 1.8 ほどに上昇している。EPI の産業起因に関する詳細は野村(2018)に詳しいが、ここでは図 1 の背景として、(15)式に基づいて大きく製造業と非製造業による EPI 寄与度(累積した寄与度)を示している。短期的な変動を除けば、一国全体の EPI はすべて製造業による貢献であり、非製造業(家計部門を含む)ではむしろエネルギー生産性を悪化させる要因となっている。製造業では 1960 年代および 1970 年代における EPI が顕著であるが、非製造業では第一次オイルショック後から 1980 年代後半までに穏やかな改善が見いだされるのみである。

日本経済が長期停滞へと入る 1990 年初めからは、EPI でも「失われた 20 年」となっている。その間、製造業はエネルギー生産性がほぼ横ばいとなり、低成長が継続する中で、景気変動など需要側の影響を受けやすいサービス業では 2000 年代半ばまで悪化している。近年の転換点は、製造業では第 2 次安倍内閣におけるアベノミクスの開始時ほどであり、そして非製造業ではそれより早く 2005 年ほどから、EPI は再び改善している。

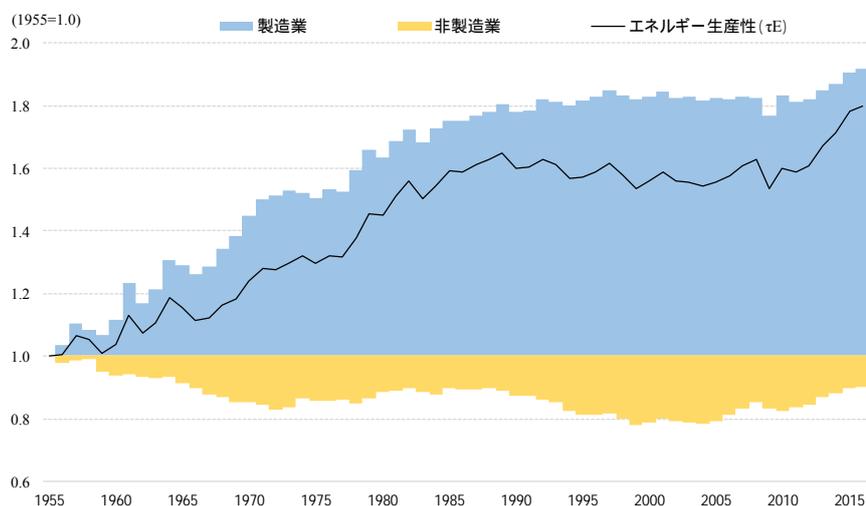


図 1: エネルギー生産性(製造業と非製造業)

図 2 では、(17)式に基づき、図 1 と同じ一国集計レベルでの EPI を、資本深化、労働浅化、そして TFP 成長による三つの効果(累積寄与度)への分解を描いている。戦後日本経済における長期 EPI の実現には、次のような観察事実が見いだされる。第一に、労働浅化によるエネルギー生産性の低下である。経済成長のプロセスには、機械化などによ

る労働から資本への代替（LK 代替）そして資本の稼働のためのエネルギー投入の拡大（KE 補完）が必要である。それによって、同量の生産のために、一単位の労働がより多くのエネルギー投入を必要とするような技術変化（労働浅化）が進行している。それは労働生産性を改善させる源泉となり、また同時に（直接的な効果として）エネルギー生産性の悪化をもたらす。労働浅化は、この全観察期間に実現した EPI の改善分を 15% 上回る、大きなマイナスの影響を持っている。

第二に、EPI 推進における最大の要因は TFP 成長である。TFP 成長による EPI へのプラスの累積寄与度は、労働浅化によるマイナスの累積寄与度を 47% 上回る。長期的に進行していく労働浅化は、その一面として直接的にはエネルギー生産性の悪化をもたらすものの、労働生産性の改善はそれを相殺して、生産における全体効率（TFP）の改善を導く。そして全体効率の改善は EPI へと間接的に寄与し、労働浅化による直接的なマイナスの効果を上回っていく。日本経済の経験からは、労働浅化による直接的なエネルギー生産性の低下は TFP 成長によって十分に相殺されるものであったといえる。

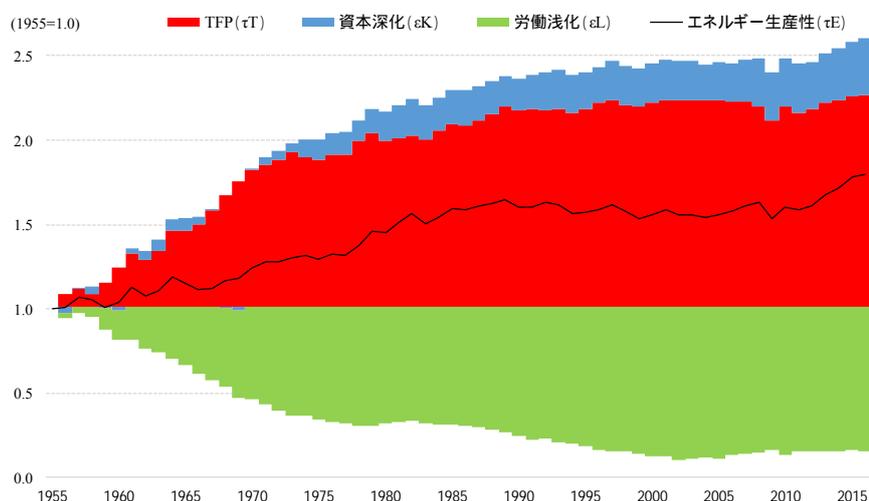


図 2: エネルギー生産性と変化要因の累積寄与度

第三に、資本深化による影響は、全期間内の累積寄与度として、TFP 成長による寄与を大きく下回っている。資本深化は、2.2 節での数値例（表 1）にみるようにさまざまな影響を受けるものの、その主要因は省エネ投資（EK 代替）である。一般に、ミクロ的に企業や家計などの経験からみれば、EPI 実現のためのアクセラは省エネ投資であると捉えられよう。しかし図 2 におけるマクロとしての計測値によれば、資本深化の貢献は TFP 成長による EPI 累積寄与度の 27% に過ぎない。戦後日本経済における長期 EPI の実現は、省エネ投資という直接的な要因よりも、生産における全体効率の改善という間接的な要因がもっとも重要であったことを示している。

表 2 は全観察期間とともに、第一次オイルショック後、あるいは 1990 年以降における中長期的な期間平均値としての EPI の要因分解を示している。図 2 での累積寄与度で見たように、全観察期間では、EPI の改善分を 1.0 とすれば、それは労働浅化による EPI に対するマイナスの影響（-1.15）を、TFP 成長による寄与（1.69）と資本深化による寄与

(0.46)とによって相殺した結果であると捉えられる。観察期間を1973–2016年とすれば、EPIに対する資本深化による寄与率は0.46から0.70へと拡大するものの、それでもTFP成長による全体効率の改善(0.82)を下回っている。さらに1990年以降に限れば、EPIに対する資本深化による寄与率は1.03にまで拡大し、他方でのTFP成長の低迷を反映して、その寄与率(0.60)を逆転している。1990年代以降のTFP成長の低迷と資本深化との関係性は、3.2節以降での産業レベルの測定値に基づいて評価するが、過度の省エネ投資の拡大による資本深化はTFP成長率を低下させてしまう。EPIの実現には、省エネ投資という直接効果としてのアクセラと、TFP改善という間接効果としてのアクセラがあるとすれば、前者を吹かし過ぎると、後者は自動的に緩められ、そのスピードは減速してしまうかもしれない。戦後日本経済の経験は、EPI実現における後者の役割は前者以上に大きいことを示唆している。

表2：一国経済の中長期 EPI の要因分解

	EPI	TFP	資本深化	労働浅化
1955–2016	0.96	1.63 ( 1.69 )	0.44 ( 0.46 )	-1.11 ( -1.15 )
1973–2016	0.76	0.62 ( 0.82 )	0.53 ( 0.70 )	-0.39 ( -0.52 )
1990–2016	0.45	0.27 ( 0.60 )	0.46 ( 1.03 )	-0.28 ( -0.63 )

単位： % (年平均成長率) 括弧内は各期間における EPI を 1.0 とした指数。

この観察期間内において、日本経済の構造は大きく変化してきた。エネルギー価格変化やエネルギー生産性の改善の視点から、以下の四期間を設定しよう。

- 第 I 期 高度経済成長期 (1955–1973 年)
- 第 II 期 オイルショック後 (1973–1990 年)
- 第 III 期 ポストバブル経済 (1990–2008 年)
- 第 IV 期 ポスト世界金融危機 (2008–2016 年)

こうした四期間において、図3は(17)式に基づき一国集計レベルでの EPI の改善率とその変化要因として、三つの効果による寄与度(期間平均値)を示している。

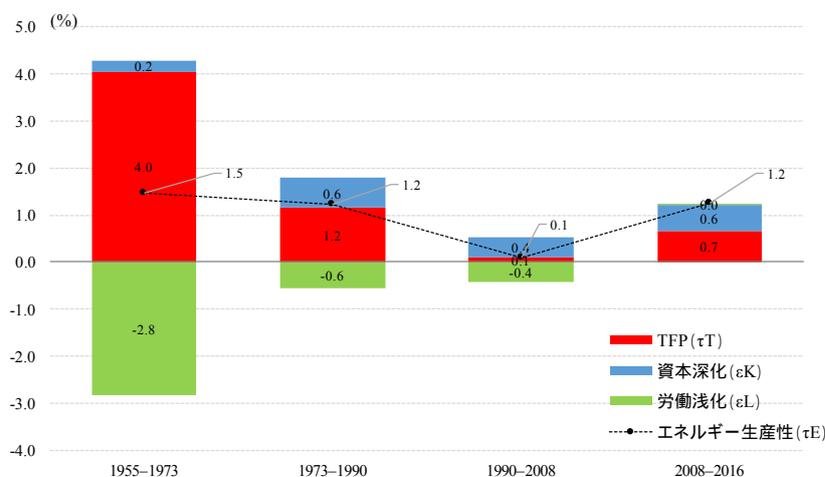


図3：一国経済における EPI の変化要因

一国経済の EPI は、第 I 期における年率 1.5%から第 II 期には 1.2%へと低下し、そして第 III 期には 0.1%まで逡減している。1955 年からの半世紀近くの間における EPI 逡減の主要因は、TFP 成長による寄与度の縮小にある（第 I 期の 4.0 ポイントから、第 II 期には 1.2 ポイントへ、そして第 III 期には 0.1 ポイントまで逡減）。同期間に、労働浅化によるマイナスの EPI 寄与度も逡減しているが、労働浅化による EPI 寄与度（負値の絶対値）を分母とし、TFP による EPI 寄与度を分子とした指数によれば、第 I 期から第 II 期にかけて  $1.4 (=4.0/2.8)$  から  $2.1 (=1.2/0.6)$  へと、TFP 成長による EPI 寄与度は相対的に拡大している。第 III 期には、TFP 成長による間接的な EPI (0.1 ポイント) は、もはや労働浅化によるマイナスの効果 (-0.4 ポイント) を相殺するには力不足となり、EK 代替に基づく資本深化の寄与度(0.4 ポイント)によって、かろうじてプラスの EPI を保っている。そして第 IV 期には EPI は再び第一次オイルショック後（第 II 期）と同じレベルにまで回復している。こうした EPI の要因を捉えるため、3.2 節以降では産業レベルでの測定値に基づきながら、EPI と全体効率の変化を考察していく。

### 3.2 第 I 期 (1955-1973 年)

日本経済の労働浅化は、第 I 期（高度経済成長期）においてもっとも早く進行している（図 3）。この期間、それはエネルギー生産性を年平均 2.8 ポイント低下させる要因となっている。日本経済における高い経済成長率の実現には、それを可能とするための産業構造の変革と、労働を代替しうる旺盛な資本蓄積の拡大(LK 代替)が不可欠であった<sup>9</sup>。そして同時に生じる KE 補完によって、日本経済の労働浅化が進行している。労働浅化によるエネルギー生産性の悪化は、高度経済成長を実現するための必然的な代償であった。しかし、こうした直接的な代償も、LK 代替によってもたらされる全体効率としての TFP 成長を通じて十分に報われるものとなっている。産業レベルでの変化をみよう。図 4 では横軸に労働浅化の成長率、縦軸に TFP 成長率をとり、第 I 期における産業ごとの変化をプロットしている。この期間、ほとんどの産業が第二象限に位置づけられ、エネルギーに対する労働浅化が進行する中で、プラスの TFP 成長を実現している。

図 5 では横軸に TFP 成長率、縦軸に EPI をとり、第 I 期における変化を産業ごとにプロットしている。プラスの TFP 成長率を実現した産業では、とくに製造業を中心として、高い EPI を実現している。この期間における技術変化の特性を反映して、産業を大きく 4 つのグループ分けをしよう。Panel-A は、労働浅化、TFP 上昇、そして EPI の三つを実現した産業群である。表 3 に示すように、全産業部門（47 部門）のうちの半数以上がここに属する（ほぼ図 5 の第一象限に位置づけられる）。6.繊維製品製造業、8.木材木製品製造業、9.家具製造業などの在来産業を例外として、ほとんどの製造業は Panel-A に属している。Panel-B は、労働浅化と TFP 上昇を実現しながら、エネルギー生産性が悪化している産業である。それは運輸業や卸小売などのサービス業によって構成されている（図 5 の第四象限）。Panel-C は労働浅化が進行しながらも TFP が低下している産業であり（図

<sup>9</sup> 「もはや戦後ではない」、1956 年の「経済白書」(経済企画庁)は日本経済の状況をそう表現した。しかし、それは単なる戦後経済の終焉宣言ではない。その意味するところは、ここからの経済成長には、旺盛な復興需要や朝鮮特需に依存していた成長パターンではなく、痛みを伴う産業構造の近代化と、より多くの資本蓄積が必要になることを指摘するものであった。

4の第三象限) 1.農林水産業、4.建設業、41.不動産業や42.教育業、そして企業や家計向けサービスの多くが含まれる45.その他のサービス業などが属している。

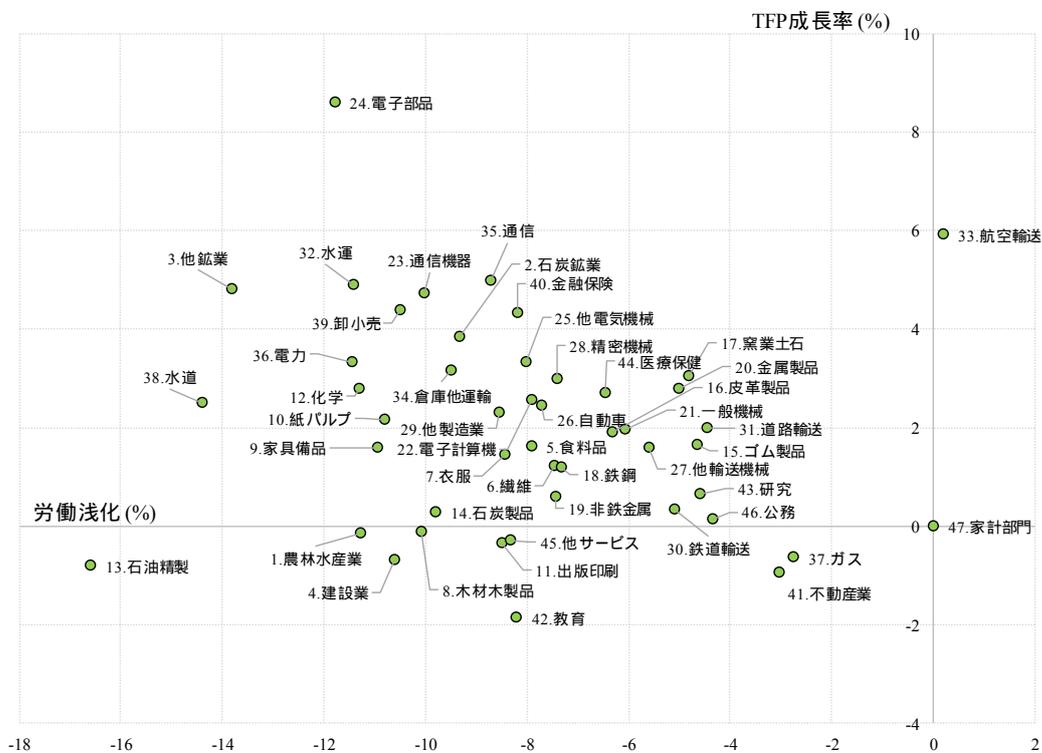


図 4: 産業別労働浅化と TFP 成長率 (第 I 期: 1955-1973 年)

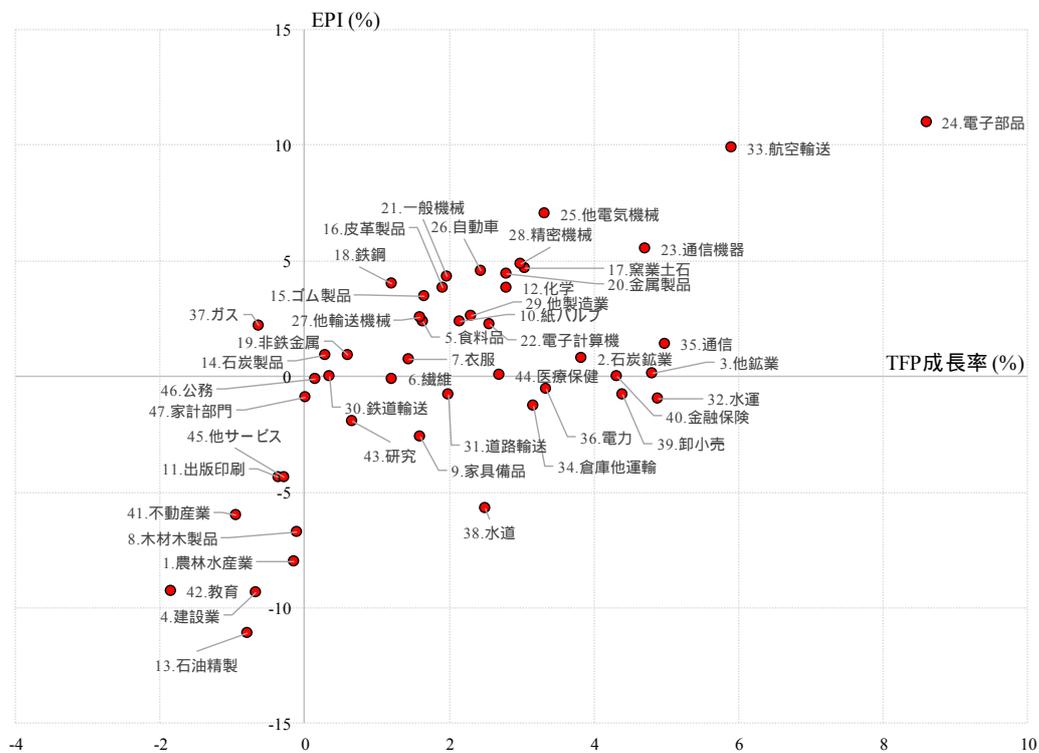


図 5: 産業別 TFP 成長率と EPI (第 I 期: 1955-1973 年)

Panel-A に属する 12.化学業や 18.鉄鋼業などのエネルギー多消費型の製造業や、21.一般機械や 26.自動車など組立型の製造業においても、TFP 成長は労働浅化によるマイナスの影響を大きく上回り、EPI を力強く改善させている（図 9）。他方、TFP 成長の PFP 分解（図 10）によれば、EPI 自体による全体効率への改善は、エネルギー多消費型の製造業の限られた期間で見いだせるのみである。例外的に、24.電子部品製造業では TFP 成長が逡減していく中で、EPI が相対的に重要性を拡大させてはきているものの、ほとんどの産業では全体効率は労働生産性と資本生産性の改善に依存している。

一国経済レベルでは、第 I 期における資本深化の影響はわずかであるが（図 3）、産業レベルでは 18.鉄鋼業や 17.窯業土石製品製造業では、資本深化による顕著な影響が見出される（図 9）。石炭への依存度も高いこうした産業では、生産拡張のための投資を拡大させながらもこの期間に省エネ技術を導入してきている<sup>10</sup>。それは EPI を通じた TFP 成長にも寄与し、図 10 にみるように 18.鉄鋼業では年率 1.2%の TFP 成長率のうちの 20.8%、17.窯業土石製品製造業では 3.0%の TFP 成長率のうちの 19.5%が EPI によってもたらされている。こうした産業では EPI と TFP 成長が同時に実現しているように、この期間における省エネ投資は全体効率を犠牲とするものではなかったと評価される。

Panel-B に属する 39.卸小売業では TFP 上昇も年率 4.4 と高いものの、それは労働浅化によるマイナスの効果とほぼ均衡し（図 9）、EPI は見出せない。また Panel-C に属する 45.その他サービス業では労働浅化は進行しているものの、TFP 成長率はむしろわずかに低下し、全体効率の改善という相殺する力をもたないままにエネルギー生産性も大きく低下（マイナス 4.3%）している。45.その他サービス業における労働生産性改善による TFP 寄与度も 39.卸小売業に比して 1/4 ほどと小さく、また例外的に資本生産性が大きく低下するほどの資本蓄積が進行することで、全体効率性を低下させている（図 10）。サービス業における資本拡大は建設物を中心としており、機械設備による労働代替を可能とする製造業とは対比的に、資本蓄積の拡大が労働生産性の改善につながらない技術特性に依存していると言えよう。

2.2 節での数値例（表 1）で考察したように、TFP 成長には LK 代替+KE 補完（Case-3）による効果に加え、資本に体化された安価な省エネ技術が自律的に組み込まれていく省エネの効果（Case-1）も含まれている。その両者に共通することは、ともに EPI それ自体を目的としたものではないことである。日本経済成長のプロセスにおいてもっとも高い EPI を記録した第 I 期には、とくに製造業を中心とした、高度経済成長期における先進国へのキャッチアップのプロセスにおける TFP 成長によって、“意図せざる”EPI が実現している。

### 3.3 第 II 期（1973-1990 年）

第 I 期における 18.鉄鋼業や 17.窯業土石製品製造業では、生産拡張のための投資を拡大させながら省エネ技術を導入してきた。そうした技術導入は、一国集計レベルで見れば資本深化を進行させる。しかし図 3 にみるように、第 I 期では一国経済における資本深化による EPI への影響はわずかなものに留まっている。そのことは、2.2 節での数値例

<sup>10</sup> 第 I 期における鉄鋼業の技術導入に関しては、野村（2018）の 5.2 節を参照されたい。

(表1)で考察したように、資本に体化された省エネ性能の向上や、(原油価格の安定を背景として)意図した省エネ投資によるEK代替もわずかであったことを示唆している。

資本深化の影響が拡大するのは、第一次オイルショック後の第II期である。エネルギー価格の高騰は、より多くの省エネ技術の導入が経済的に合理的なものとなるように投資環境を変化させた。EPIの改善率が第I期から第II期において1.5%から1.2%へと、減速幅が0.3ポイントの低下に留まったのは、意図した省エネ投資(EK代替)による資本深化の貢献であり、一国経済においてもそのEPI寄与度は第I期の0.2ポイントから0.6ポイントへと大きく拡大している(図3)。

第II期における資本深化は、12.化学業、36.自動車製造業、39.卸小売業などで拡大している(図9)。そしてこうした産業に共通していることは、エネルギー以外のPFP成長率を犠牲とすることなく、全体効率としてのTFPを改善させていることである(図10)。図6では横軸に資本深化の成長率、縦軸にTFP成長率をとり、第II期における産業ごとの変化を示している。資本深化の進行した産業のほぼ2/3では、TFP成長と両立している(図6の第一象限に位置する)。とくに12.化学業では、第II期のTFP成長のほぼ半分がEPIによってもたらされるほどの顕著な影響を持っている(図10)。

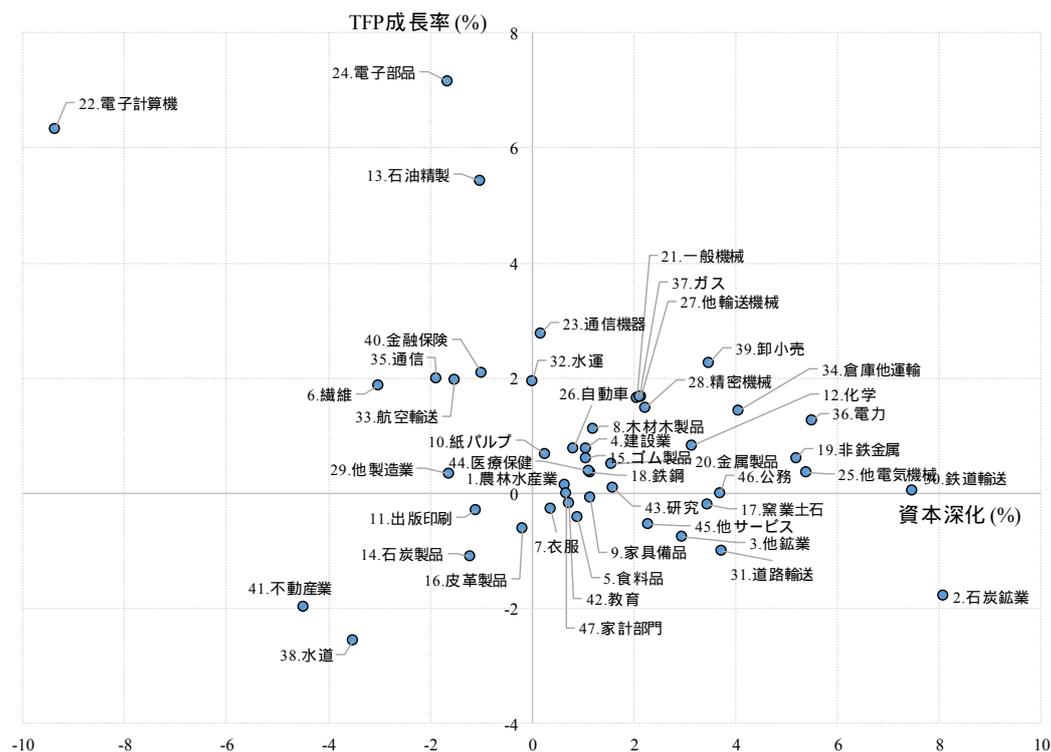


図6: 産業別資本深化とTFP成長率(第II期:1973-1990年)

この期間における資本深化という技術変化の特性を反映して、Panel-Aは資本深化、TFP上昇、そしてEPIの三つを実現した産業群、Panel-Bは同じ技術変化ながらもエネルギー生産性が低下した産業群、Panel-Cは資本深化しながらもTFPが低下した産業、そしてPanel-Dでは資本深化の進行していない産業のグループ産業へと分離している。Panel-Bに

属する 1.農林水産業、43.研究、44.医療保健などに共通していることは、LK 代替により労働浅化が大きく進行しているものの、資本生産性の低下により全体効率の改善は抑制され、労働浅化によるマイナスの EPI 寄与を十分には相殺できていないことである。44.医療保健では、労働に対してより資本をより多く投入することで労働生産性は年率 1.6%で改善しているものの、資本生産性はマイナス 3.7%の悪化である。全体効率としては、労働生産性の改善によっては 0.8 ポイントのプラス、資本生産性の悪化によっては 0.4 ポイントのマイナスとなり、TFP としては年率 0.4%で改善している（図 10）。しかし EPI 寄与でみれば、労働浅化による影響はマイナス 3.4 ポイントとなり、全体効率の改善によるプラス 0.6 ポイントを大きく上回り、エネルギー生産性は年率 2.6%で悪化している（表 5）。ここでも資本深化はプラス（0.3 ポイントの EPI 寄与度）であるから、省エネ投資の進行は見出されるものの、さまざまな医療機械器具の導入など、医療サービスとして求められる需要側の変化を反映しているものと評価される。サービス業におけるエネルギー生産性変化の方向性は、実質エネルギー価格の変化による EK 代替よりも、当該サービスへの需要変化に大きく依存している。

Panel-C の産業群（図 6 の第四象限）において、TFP 成長がマイナスとなった要因も資本生産性の低下にある。Panel-B との相違は、全体効率に対する資本生産性低下によるマイナスの影響は、労働生産性改善によるプラスの効果を上回ることである。31.道路輸送業でも資本生産性は大きく低下し、TFP をマイナスへと転じさせている（図 10）<sup>11</sup>。また 17.窯業土石製品製造業も Panel-C に含まれていることは特徴的である。当該産業では、第 I 期から第 II 期にかけて資本深化ははわずかに拡大したが、TFP 成長率は大きく減速し、むしろマイナスへと転じた（図 9）。これは他のエネルギー多消費産業とは異なる傾向であり、第 II 期においてすでに EPI は全体効率とは両立しないものとなっている。

第 I 期から第 II 期にかけて、一国集計レベルでは、TFP 成長による EPI 寄与度は労働浅化によるマイナスの効果に比して、相対的には拡大している（図 3）。Panel-A に属するようなエネルギー消費の大きな産業を中心として、この期間の省エネ投資は資本生産性の悪化によって全体効率としての TFP 成長率を大きく犠牲とすることなく、一国経済の EPI を実現していると評価される。それは、安価に利用可能な省エネ技術の存在が、EK 代替による EPI という一面の改善と、TFP という全体改善の両立を可能としたことを示唆している。

### 3.4 第 III 期（1990-2008 年）

第 III 期の日本経済は、エネルギーの名目価格の上昇は第 II 期より小さいものの、先進国の中でも例外的に、15 年間もの継続的な賃金率低下によって誘導されたアウトプット価格の低下により、相対的な実質エネルギー価格としての上昇率はむしろ高まっている（野村, 2019）。そうした価格変化を反映して、資本深化のプロセスは第 III 期でも 0.4 ポイントの EPI 寄与度を持つなど、省エネ投資の努力は継続されている（図 3）。しかし、TFP 成長による EPI 寄与度は、この期には 0.1 ポイントと、第 II 期の 1.2 ポイントから大

<sup>11</sup> ここでの測定では、道路輸送施設提供サービスは 31.道路輸送に格付けており、社会資本のうち高速道路に関しては当該産業における資本投入として含まれている。

大きく低下した。

図7は第III期における、産業ごとの資本深化とTFP成長率を示している。第II期の図6に比して資本深化が進行した産業は多いものの、第一象限に位置していた産業のプラスのTFP成長率は減速するか、あるいはマイナス（第四象限）へと変化しているものが多い。第I期から第II期にかけて26.自動車製造業のTFP成長率は年率2.4%から0.8%へ大きく低下したが、第II期から第III期にかけては、21.一般機械製品製造業において年率1.7%から0.4%へとTFP成長率が大きく低下している（図10）。当該産業では、資本深化によるEPIは進行しているものの（図9）資本生産性が悪化し、TFPの減速によってEPIも年率3.3%から1.6%へと減速している。

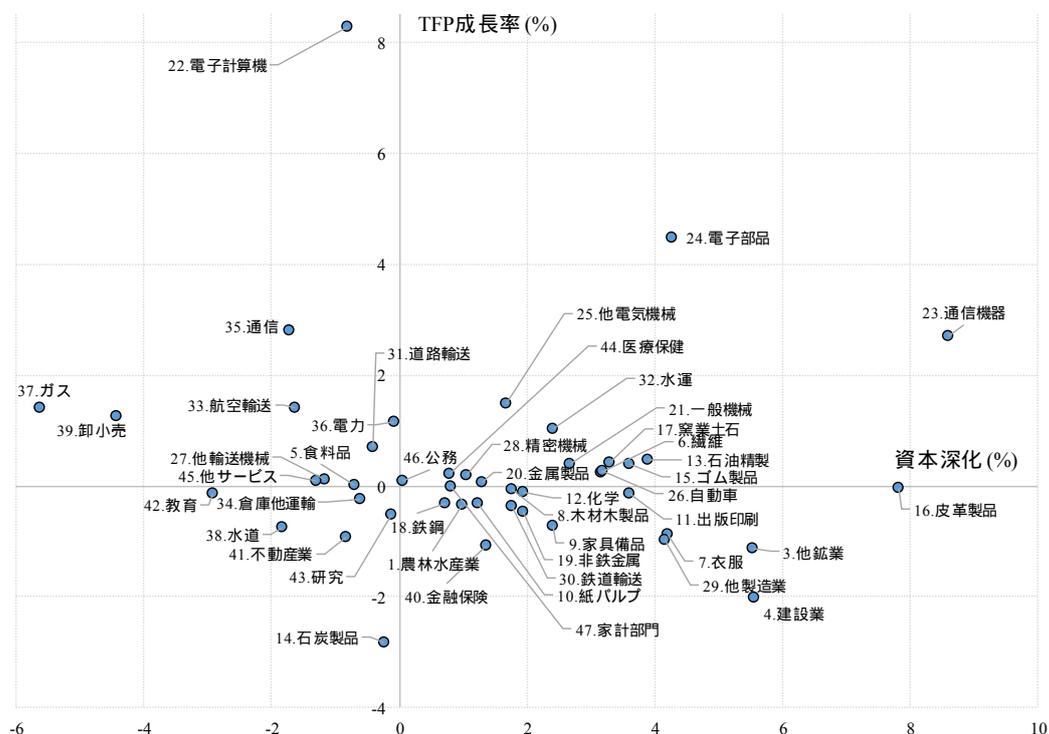


図7: 産業別資本深化とTFP成長率（第III期：1990-2008年）

第III期の表7では、第II期の表5と同じ技術変化の基準によって、産業をグループ分けしている。両者の比較においても、Panel-A（資本深化、TFP上昇、EPI実現）に属する産業数は減少し、Panel-C（資本深化しながらもTFP低下）の産業数は拡大している。そうしたシフトは、10.紙パルプ製造業、12.化学業、18.鉄鋼業など、主要なエネルギー多消費産業において見られる。こうした産業では資本深化がEPIのための唯一の源泉となりながらも（図9）資本生産性の悪化により、全体効率としてのTFP成長率はむしろマイナスへと落ち込んでいる（図10）。資本生産性の悪化とTFP成長率の低下が、EPI実現のためのEK代替によってもたらされたものであるかは識別されないが、ここでの測定値から見いだされるボトムラインは、もはや第III期には、こうしたエネルギー多消費産業においてEPIと全体効率の改善が両立していないことである。

### 3.5 第Ⅳ期（2008–2016年）

第Ⅳ期、EPIは年率1.2%へと再び回復している（図3）。この期間、2009–12年には一  
国経済の純投資がマイナスになるなど、日本経済の投資水準は低迷した。低投資であり  
ながらも、TFP成長によるEPI寄与度は第Ⅲ期に比して0.6ポイント拡大し、第Ⅳ期  
におけるEPI回復の半分以上を説明する要因となっている。一国経済のEPIでは12.化学  
製品製造業の貢献が顕著であり<sup>12</sup>、とくにそこでは石油化学基礎製品などエネルギー  
多消費的で付加価値が小さい財から、医薬品などエネルギー寡消費的で付加価値率が高  
い財へとシフトしたことによる製品構成変化の影響が大きい（野村, 2018）。こうした変  
化は国内生産の空洞化をもたらす懸念もあるが、ここでの生産効率としての評価によれ  
ば、化学業では労働生産性と資本生産性がともに改善しながら、年率3.6%というEPIと  
ともに、年率1.2%という高いTFP成長を実現している（図10）。製品構成の変化による  
ものであるとすれば高いEPIは技術的には見せかけに過ぎないが、経済的には全体効率  
を改善させる方向と合致している。

類似した変化は18.鉄鋼業にも見いだされる。鉄鋼業では、企業の統廃合によるコスト  
削減などの効果により、資本生産性の改善を中心としたTFP成長率の回復がみられる（図  
10）。この期間の鉄鋼業では、化学業とは異なりEK代替による資本深化はほとんど進行  
していないが、年率0.8%となる全体効率の改善が（第Ⅱ期に比して倍速となる）年率  
2.4%のEPIを説明する要因となっている（図9）。

すべてのエネルギー多消費産業でこうした全体効率の改善が見いだされるわけではな  
い。10.紙・パルプ製品製造業におけるTFP成長はごくわずか（年率0.1%）である。17.窯  
業土石製品製造業では、労働生産性と資本生産性の両者の低下により、TFPはマイナス  
1.1%にまで低下している。東日本大震災後の復興需要や国土強靱化政策による需要回復  
はあるものの、その回復力は弱く、稼働率の低下は資本深化をマイナスへと転じさせて  
いる。TFPの悪化を含め、当該産業ではEPIを実現する手段をほとんど失っている。

第Ⅳ期における一国経済におけるEPI回復の第二の要因は、労働浅化の縮小ないし  
逆行である（図3）。図8に見るように、この期間、ほぼ半数の産業では労働浅化は進行  
せず、むしろ一単位の労働による生産はより少ないエネルギー投入量によっておこなわ  
れるような変化が見いだされる。45.その他サービス業は、とくに労働浅化の逆行による  
影響が大きい。当該産業では、時系列的に労働浅化は縮小してきているものの、第Ⅳ期  
にはそれは逆行し、むしろEPI実現の主要因となっている（図9）。東日本大震災後に求  
められた節電や省エネへの要請は、これまで限定的なEPIであったサービス産業にまで  
及んでいる。賃金率低下によるデフレ経済のもとで、労働から資本への代替は抑制され、  
また企業内では省エネのための責任者の選定や組織体制が構築されてきた。

しかし、そうした労働浅化の逆行は労働生産性の低下を導いている。通信業などを例  
外として、資本に体化された技術進歩の恩恵を受けにくいサービス業では、一般にTFP  
成長率は低迷する傾向にある。45.その他サービス業で見れば、第Ⅰ期や第Ⅱ期などTFP  
成長率の低迷のほとんどは資本生産性の悪化によっている（図10）。しかし第Ⅳ期には、

<sup>12</sup> 第Ⅳ期におけるEPIとしての顕著な貢献は12.化学製品製造業と18.鉄鋼業によるものであり、両産業部門で一国  
全体のEPIの6割、非家計部門の8割近くを説明する（野村, 2018）。

労働生産性の低下が TFP を悪化させた主要因へと転じている。労働浅化の逆行による EPI の実現は、労働生産性を大きく低下させ、全体効率の改善と両立するものとはなっていない。

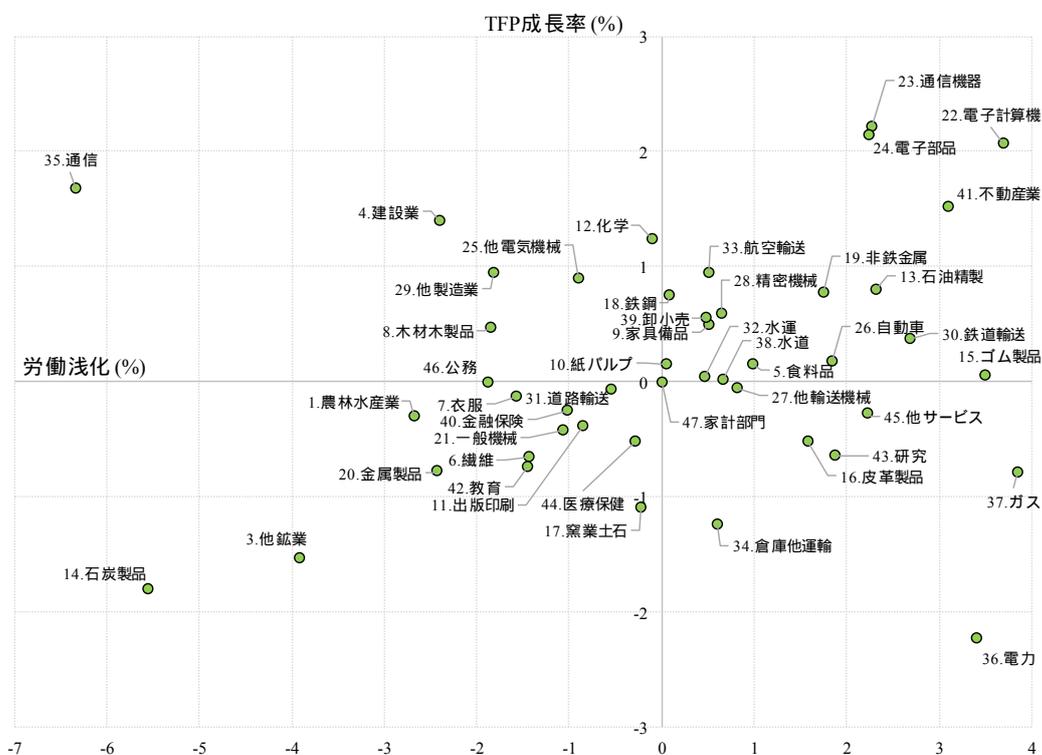


図 8: 産業別労働浅化と TFP 成長率 (第 IV 期: 2008-2016 年)

21.一般機械製造業での EPI 逕減傾向のほとんどは TFP 成長率の推移によって説明されるが、26.自動車製造業では TFP 成長の逕減を補うように、第 III 期および第 IV 期と資本深化による EPI 改善が顕著なものとなっている (図 9)。エネルギー多消費型の製造業などに比して、製造プロセスにおける省エネのための改善の余地が残されているのか、あるいはより付加価値の大きな財への生産シフトや、エネルギー多消費的となる部品などを海外 (子会社や他企業) からの輸入に切り替えるなど、さまざまな要因があろう。要因を特定化するためにはさらなる分析が必要であるが、産業レベルでの測定からみる化学業や鉄鋼業との相違は、自動車製造業では TFP の成長率が大きく低迷していることである (図 10)。米国に対し、1970 年代から高い TFP 水準を誇っていた日本の自動車製造業の優位性は、2000 年代後半にはほとんど失われている (Jorgenson, Nomura, and Samuels, 2016)。当該産業では、EPI の実現が全体効率の改善に寄与する効果はわずかである。EPI 実現への努力が、全体効率の最適化を阻害する要因とはなっていないのか、慎重な検討が必要であろう。

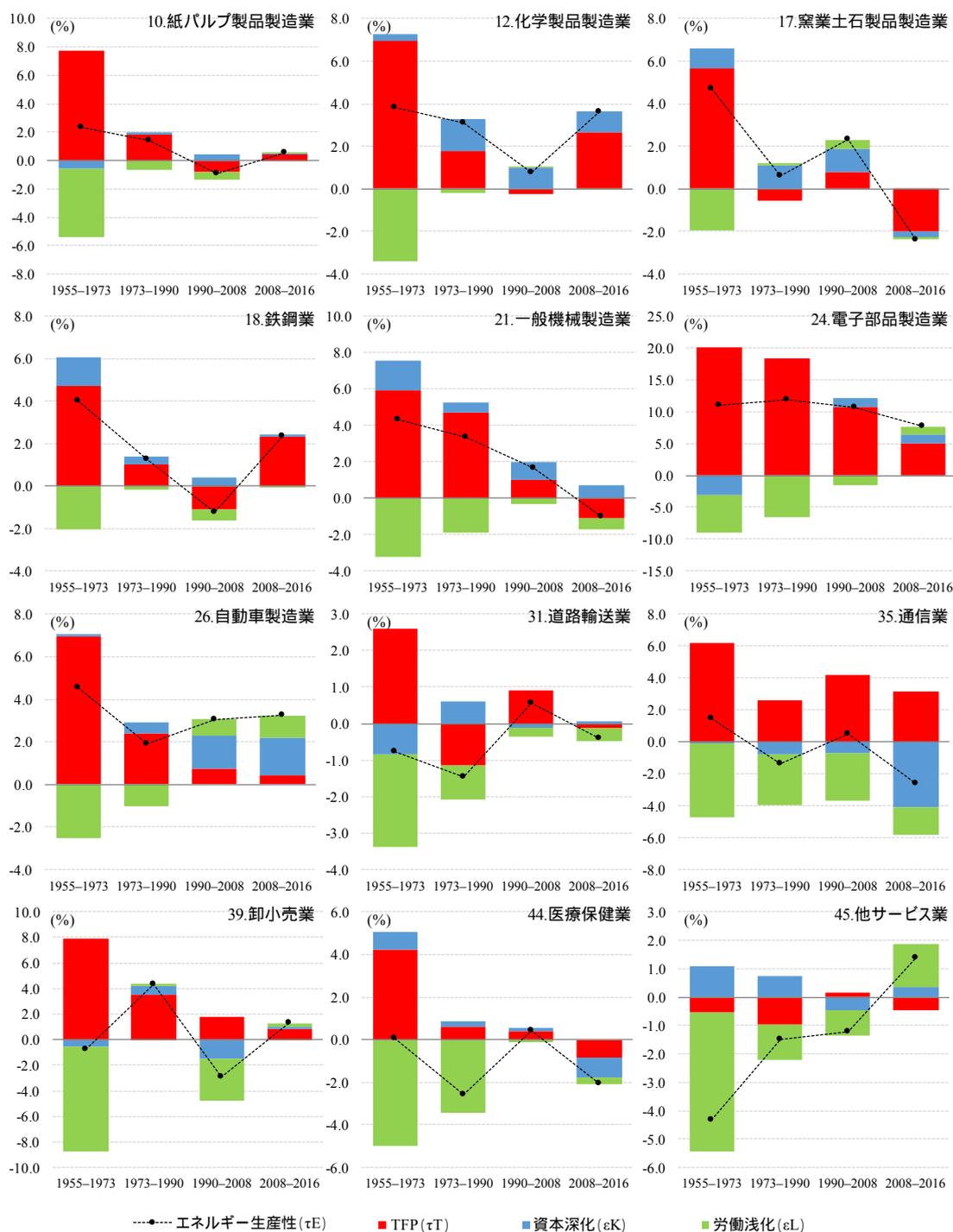


図 9: 産業別 EPI の要因分解

注: (10)式に基づく産業別 EPI の要因分解の測定値により、特定産業における時系列変化を明示したものの。計数は表 3、表 5、表 7、表 9 の各表を参照。

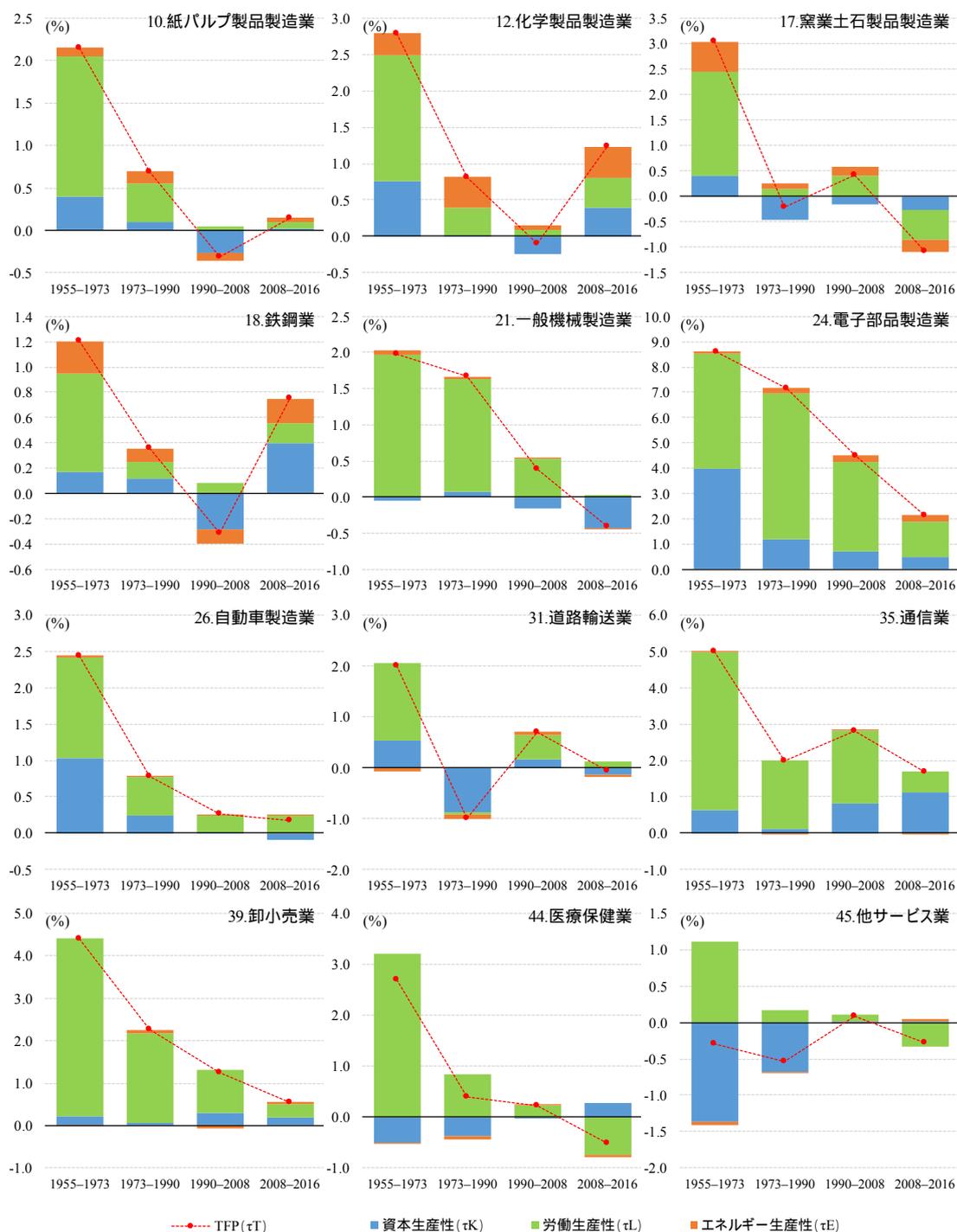


図 10: 産業別 TFP 成長の PFP 分解

注: (14)式に基づく産業別 TFP 成長の PFP 分解の測定値により、特定産業における時系列変化を明示したものの。計数は表 4、表 6、表 8、表 10 の各表を参照。

#### 4 結び

「環境と経済成長の好循環」の実現のため、戦後日本経済の経験から何を学ぶことができるだろうか。本稿は、エネルギー消費の分析用に拡張された日本経済の産業別生産性統計（1955–2016年）に基づき、生産における投入と産出における効率性評価における視点から、エネルギー生産性改善（EPI）によって測定される「環境」と全要素生産性（TFP）によって測定される「経済」との循環構造を考察してきた。

第一の方向性は、経済から環境への影響である。EPIの要因分解によれば、日本経済の長期におけるEPI実現は、省エネ投資（EK代替）よりも、全体効率としてのTFP成長に大きく依存している。経済成長のプロセスでは、機械化などによる労働から資本への代替（LK代替）が進行し、そして資本の稼働のためのエネルギー投入の拡大（KE補完）が必要となる。それによって、同量の生産を実現するために、一単位の労働がより多くのエネルギー投入を必要とするような技術変化（エネルギーに対する労働浅化）が進行し、労働生産性を改善させる源泉となっている。それは直接的にはエネルギー生産性の悪化をもたらすものの、他方での労働生産性の改善はTFP成長を導く。その全体効率の改善が、労働浅化による直接的なマイナスの効果を上回るEPIを実現してきた。一般に、企業や家計などのミクロ的な経験からみれば、EPIの主要な原動力は省エネ投資であると捉えられよう。しかし、日本の経済成長の経験は、EPIの実現には、省エネ投資という直接的な要因よりも、生産における全体効率の改善がもっとも重要な要因であることを示している。

第二の方向性は、環境から経済への影響である。TFP成長を労働生産性、資本生産性、そしてエネルギー生産性変化の総合効果として解すれば、大きく三つの点が指摘される。第一に、EPIによるTFP成長への貢献は、ほとんどの産業ではきわめて限定的な影響しかもたない。本稿での測定によれば、それは第一次オイルショック後の化学業、鉄鋼業、紙パルプ製造業など、安価に利用可能な省エネ技術が存在している外部環境のもとでの資本深化（EK代替）によって、限られた産業の限られた期間に見いだされる例外的な現象である。第二に、こうした資本深化によるEPI改善後には、安価な省エネ技術の利用可能性が制約されていく中で、いずれも資本生産性が大きく低下し、そしてTFP成長がマイナスへと転じている。それはEPIからTFPを導く効果における持続性の難しさを示している。第三に、EPIの実現が労働浅化の逆行によるとしても、全体効率にはマイナスの影響を与えている。長期の経済成長プロセスにおいては、一単位の労働がより多くのエネルギーを使用するような労働浅化が進行してきた。しかし近年の日本経済では、サービス業や自動車製造業などにおいて、その逆行が見いだされる。労働浅化の逆行によるEPIの実現は、全体効率にとってもっとも重要な労働生産性の改善を犠牲としたものである。

世界金融危機後、日本経済において再び回復傾向にあるEPIは、化学業や鉄鋼業による貢献が大きい。化学業における高いEPIは、石油化学基礎製品などエネルギー多消費的で付加価値が小さい財から、医薬品などエネルギー寡消費的で高付加価値な財へとシフトしたことによる、製品構成変化に大きく依存している（野村, 2018）。こうした変化は、産業空洞化や労働需給のミスマッチを誘発する懸念もあるが、生産効率としての本

稿での測定によれば、労働生産性と資本生産性、そしてエネルギー生産性のすべてが改善しながら、高いTFP成長を実現したと評価される。国際的な生産体制の見直しによってEPIとTFP成長とを両立させる方向性は、海外での安価なエネルギーを中間財(製品)に体化させて輸入していることと同等である。2050年など長期的には、海外での安価になった再エネ電力や原子力などによって生産された水素や合成燃料を輸入するための研究開発が進められている。しかしそれははるかに高いコストを要するものであり、中期的な排出削減目標への対応としては、中間財としての輸入品への代替は、海外生産がより安価な再生可能エネルギーや原子力などに非化石エネルギーに依存している限り、環境と経済の両立する道として評価されよう。

エネルギー・環境政策において、国際的な生産体系の再構築によるこうした効果を、省エネ政策による成果と混乱してはならない。その識別は容易ではないが、エネルギー消費の削減量という評価指標のみに基づき、省エネの要因を十分に分析しないまま省エネ政策の実効性を過大評価し、省エネ政策を強化するものであれば、輸入代替などの調整手段をとりえない国内産業は資本生産性と労働生産性の改善を犠牲とせざるをえず、全体効率の悪化と低成長とを導くであろう。低成長は研究開発を含む投資水準を低迷させ、技術進歩を通じた全体効率の改善を抑制し、長期的にはむしろEPIを停滞させてしまう。適切なエネルギー・環境政策の策定のためには、一面的な評価によらない、全体効率を評価することが求められている。

## 5 Appendix: 附表

表3：産業別 EPI の要因分解（第I期：1955-1973年）

	$\tau^E$	$\tau^T$	$\varepsilon^K$	$\varepsilon^L$
Panel-A: 労働浅化( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP上昇( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善( $\tau^E > 0$ )				
2.石炭鉱業	0.8	5.2 ( 3.8 )	1.7 ( 5.3 )	-6.0 ( -9.3 )
3.他鉱業	0.1	5.9 ( 4.8 )	-0.9 ( -1.5 )	-5.0 ( -13.8 )
5.食料品製造業	2.4	6.7 ( 1.6 )	-1.4 ( -1.9 )	-2.9 ( -7.9 )
7.衣服製造業	0.8	6.2 ( 1.4 )	-0.4 ( -0.8 )	-5.1 ( -8.4 )
10.紙パルプ製品製造業	2.3	7.7 ( 2.1 )	-0.6 ( -1.5 )	-4.8 ( -10.8 )
12.化学製品製造業	3.8	6.9 ( 2.8 )	0.3 ( 1.0 )	-3.4 ( -11.3 )
14.石炭製品製造業	0.9	0.8 ( 0.3 )	3.0 ( 5.5 )	-3.0 ( -9.8 )
15.ゴム製品製造業	3.5	4.5 ( 1.6 )	1.3 ( 2.4 )	-2.3 ( -4.6 )
16.皮革製品製造業	3.9	7.2 ( 1.9 )	0.6 ( 1.5 )	-3.9 ( -6.3 )
17.窯業土石製品製造業	4.7	5.6 ( 3.0 )	1.0 ( 2.4 )	-1.9 ( -4.8 )
18.鉄鋼業	4.0	4.7 ( 1.2 )	1.3 ( 2.4 )	-2.0 ( -7.3 )
19.非鉄金属製品製造業	0.9	2.1 ( 0.6 )	1.1 ( 1.4 )	-2.3 ( -7.4 )
20.金属製品製造業	4.4	6.9 ( 2.8 )	1.1 ( 4.3 )	-3.6 ( -5.0 )
21.一般機械製造業	4.3	5.9 ( 2.0 )	1.7 ( 3.5 )	-3.2 ( -6.1 )
22.電子計算機製造業	2.3	6.1 ( 2.6 )	-1.6 ( -2.1 )	-2.2 ( -7.9 )
23.通信機器製造業	5.5	11.6 ( 4.7 )	-1.2 ( -2.9 )	-4.9 ( -10.0 )
24.電子部品製造業	11.0	20.1 ( 8.6 )	-3.2 ( -6.8 )	-5.9 ( -11.8 )
25.他電気機械製造業	7.0	10.2 ( 3.3 )	0.9 ( 1.0 )	-4.1 ( -8.0 )
26.自動車製造業	4.6	6.9 ( 2.4 )	0.1 ( 0.0 )	-2.5 ( -7.7 )
27.他輸送機械製造業	2.5	4.6 ( 1.6 )	1.5 ( 6.1 )	-3.6 ( -5.6 )
28.精密機械製造業	4.9	7.5 ( 3.0 )	1.6 ( 4.4 )	-4.2 ( -7.4 )
29.他製造業	2.6	6.2 ( 2.3 )	0.7 ( 1.5 )	-4.2 ( -8.6 )
30.鉄道輸送業	0.0	0.5 ( 0.3 )	2.0 ( 5.5 )	-2.5 ( -5.1 )
35.通信業	1.4	6.2 ( 5.0 )	-0.1 ( -1.1 )	-4.6 ( -8.7 )
44.医療保健業	0.1	4.2 ( 2.7 )	0.8 ( 4.3 )	-5.0 ( -6.5 )
Panel-B: 労働浅化( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP上昇( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化( $\tau^E < 0$ )				
6.繊維製品製造業	-0.1	4.9 ( 1.2 )	-0.7 ( -1.7 )	-4.3 ( -7.5 )
9.家具備品製造業	-2.6	4.1 ( 1.6 )	-0.5 ( -1.8 )	-6.2 ( -10.9 )
31.道路輸送業	-0.8	2.6 ( 2.0 )	-0.9 ( -1.8 )	-2.5 ( -4.5 )
32.水運業	-0.9	7.8 ( 4.9 )	-3.5 ( -6.5 )	-5.2 ( -11.4 )
34.倉庫他運輸業	-1.3	3.9 ( 3.2 )	0.4 ( 0.5 )	-5.5 ( -9.5 )
36.電力業	-0.5	5.5 ( 3.3 )	-3.0 ( -4.3 )	-3.1 ( -11.4 )
38.水道業	-5.7	2.8 ( 2.5 )	-4.3 ( -6.1 )	-4.2 ( -14.4 )
39.卸小売業	-0.8	7.9 ( 4.4 )	-0.5 ( -3.8 )	-8.2 ( -10.5 )
40.金融保険業	0.0	6.2 ( 4.3 )	-1.2 ( -2.7 )	-5.1 ( -8.2 )
43.研究業	-1.9	0.9 ( 0.7 )	0.7 ( 5.0 )	-3.6 ( -4.6 )
46.公務	-0.1	0.2 ( 0.1 )	2.2 ( 4.8 )	-2.5 ( -4.3 )
Panel-C: 労働浅化( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP低下( $\tau^T < 0$ )				
1.農林水産業	-8.0	-0.2 ( -0.2 )	-4.0 ( -5.8 )	-3.8 ( -11.3 )
4.建設業	-9.4	-1.9 ( -0.7 )	0.3 ( 1.0 )	-7.7 ( -10.6 )
8.木材木製品製造業	-6.7	-0.4 ( -0.1 )	-0.9 ( -2.8 )	-5.4 ( -10.1 )
11.出版印刷業	-4.4	-0.6 ( -0.4 )	0.9 ( 2.3 )	-4.7 ( -8.5 )
13.石油精製製品製造業	-11.1	-3.2 ( -0.8 )	-6.4 ( -6.9 )	-1.5 ( -16.6 )
37.ガス業	2.2	-1.0 ( -0.6 )	3.9 ( 5.6 )	-0.6 ( -2.8 )
41.不動産業	-6.0	-1.0 ( -0.9 )	-4.6 ( -5.0 )	-0.3 ( -3.0 )
42.教育業	-9.3	-2.0 ( -1.9 )	-1.7 ( -5.8 )	-5.6 ( -8.2 )
45.他サービス業	-4.3	-0.5 ( -0.3 )	1.1 ( 2.1 )	-4.9 ( -8.3 )
Panel-D: その他				
33.航空輸送業	9.9	8.9 ( 5.9 )	1.0 ( 2.2 )	0.0 ( 0.2 )
47.家計部門	-0.9	0.0 ( 0.0 )	-0.9 ( -1.1 )	0.0 ( 0.0 )

単位：年平均成長率(%)と寄与度。括弧内は成長率。(10)式に基づくEPIの要因分解による。

表4：産業別 TFP 成長の PFP 分解（第I期：1955-1973年）

	$\tau^T$	$\tau^K$	$\tau^L$	$\tau^E$
Panel-A: 労働浅化 ( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
2.石炭鉱業	3.8	-0.9 ( -4.5 )	4.7 ( 10.1 )	0.1 ( 0.8 )
3.他鉱業	4.8	0.9 ( 1.6 )	3.9 ( 13.9 )	0.0 ( 0.1 )
5.食料品製造業	1.6	0.6 ( 4.3 )	1.0 ( 10.3 )	0.0 ( 2.4 )
7.衣服製造業	1.4	0.1 ( 1.5 )	1.3 ( 9.2 )	0.0 ( 0.8 )
10.紙パルプ製品製造業	2.1	0.4 ( 3.9 )	1.6 ( 13.1 )	0.1 ( 2.3 )
12.化学製品製造業	2.8	0.8 ( 2.8 )	1.7 ( 15.1 )	0.3 ( 3.8 )
14.石炭製品製造業	0.3	-0.3 ( -4.6 )	0.6 ( 10.7 )	0.0 ( 0.9 )
15.ゴム製品製造業	1.6	0.2 ( 1.0 )	1.4 ( 8.1 )	0.1 ( 3.5 )
16.皮革製品製造業	1.9	0.2 ( 2.4 )	1.7 ( 10.2 )	0.0 ( 3.9 )
17.窯業土石製品製造業	3.0	0.4 ( 2.3 )	2.0 ( 9.5 )	0.6 ( 4.7 )
18.鉄鋼業	1.2	0.2 ( 1.7 )	0.8 ( 11.3 )	0.3 ( 4.0 )
19.非鉄金属製品製造業	0.6	-0.2 ( -0.5 )	0.8 ( 8.4 )	0.0 ( 0.9 )
20.金属製品製造業	2.8	0.0 ( 0.1 )	2.7 ( 9.4 )	0.1 ( 4.4 )
21.一般機械製造業	2.0	-0.1 ( 0.8 )	2.0 ( 10.4 )	0.0 ( 4.3 )
22.電子計算機製造業	2.6	1.3 ( 4.4 )	1.2 ( 10.2 )	0.0 ( 2.3 )
23.通信機器製造業	4.7	1.3 ( 8.5 )	3.4 ( 15.6 )	0.0 ( 5.5 )
24.電子部品製造業	8.6	4.0 ( 17.8 )	4.5 ( 22.8 )	0.1 ( 11.0 )
25.他電気機械製造業	3.3	1.0 ( 6.1 )	2.3 ( 15.1 )	0.1 ( 7.0 )
26.自動車製造業	2.4	1.0 ( 4.6 )	1.4 ( 12.3 )	0.0 ( 4.6 )
27.他輸送機械製造業	1.6	-0.2 ( -3.5 )	1.7 ( 8.1 )	0.1 ( 2.5 )
28.精密機械製造業	3.0	0.1 ( 0.5 )	2.9 ( 12.3 )	0.0 ( 4.9 )
29.他製造業	2.3	0.3 ( 1.2 )	1.9 ( 11.2 )	0.0 ( 2.6 )
30.鉄道輸送業	0.3	-1.7 ( -5.5 )	2.1 ( 5.1 )	0.0 ( 0.0 )
35.通信業	5.0	0.6 ( 2.5 )	4.3 ( 10.2 )	0.0 ( 1.4 )
44.医療保健業	2.7	-0.5 ( -4.2 )	3.2 ( 6.5 )	0.0 ( 0.1 )
Panel-B: 労働浅化 ( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
6.繊維製品製造業	1.2	0.1 ( 1.6 )	1.1 ( 7.4 )	0.0 ( -0.1 )
9.家具備品製造業	1.6	-0.2 ( -0.8 )	1.8 ( 8.4 )	0.0 ( -2.6 )
31.道路輸送業	2.0	0.5 ( 1.0 )	1.5 ( 3.7 )	-0.1 ( -0.8 )
32.水運業	4.9	2.0 ( 5.6 )	2.9 ( 10.5 )	0.0 ( -0.9 )
34.倉庫他運輸業	3.2	-0.6 ( -1.8 )	3.7 ( 8.2 )	0.0 ( -1.3 )
36.電力業	3.3	1.7 ( 3.8 )	1.7 ( 10.9 )	0.0 ( -0.5 )
38.水道業	2.5	0.4 ( 0.4 )	2.2 ( 8.7 )	-0.1 ( -5.7 )
39.卸小売業	4.4	0.2 ( 3.0 )	4.2 ( 9.7 )	0.0 ( -0.8 )
40.金融保険業	4.3	0.8 ( 2.7 )	3.5 ( 8.2 )	0.0 ( 0.0 )
43.研究業	0.7	-0.8 ( -7.0 )	1.5 ( 2.7 )	-0.1 ( -1.9 )
46.公務	0.1	-1.8 ( -4.9 )	1.9 ( 4.2 )	0.0 ( -0.1 )
Panel-C: 労働浅化 ( $\varepsilon^L < 0$ ), TFP低下 ( $\tau^T < 0$ )				
1.農林水産業	-0.2	-0.8 ( -2.3 )	0.7 ( 3.3 )	-0.1 ( -8.0 )
4.建設業	-0.7	-0.8 ( -10.3 )	0.2 ( 1.2 )	-0.1 ( -9.4 )
8.木材木製品製造業	-0.1	-0.5 ( -4.0 )	0.4 ( 3.4 )	-0.1 ( -6.7 )
11.出版印刷業	-0.4	-1.4 ( -6.7 )	1.1 ( 4.1 )	0.0 ( -4.4 )
13.石油精製製品製造業	-0.8	-0.9 ( -4.2 )	0.1 ( 5.5 )	0.0 ( -11.1 )
37.ガス業	-0.6	-1.3 ( -3.4 )	0.6 ( 5.0 )	0.0 ( 2.2 )
41.不動産業	-0.9	-0.8 ( -1.0 )	-0.1 ( -3.0 )	0.0 ( -6.0 )
42.教育業	-1.9	-1.1 ( -3.5 )	-0.7 ( -1.1 )	-0.1 ( -9.3 )
45.他サービス業	-0.3	-1.4 ( -6.5 )	1.1 ( 4.0 )	0.0 ( -4.3 )
Panel-D: その他				
33.航空輸送業	5.9	1.7 ( 7.7 )	2.1 ( 9.7 )	2.2 ( 9.9 )
47.家計部門	0.0	0.2 ( 0.2 )	0.0 ( 0.0 )	-0.2 ( -0.9 )

単位：年平均成長率 (%) と寄与度。括弧内は成長率。(14)式に基づく TFP 成長率の PFP 分解による。

表5：産業別 EPI の要因分解（第Ⅱ期：1973-1990年）

	$\tau^E$	$\tau^T$	$\varepsilon^K$	$\varepsilon^L$
Panel-A: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
4.建設業	1.7	1.8 ( 0.8 )	0.4 ( 1.1 )	-0.6 ( -0.7 )
8.木材木製品製造業	2.8	3.8 ( 1.1 )	0.3 ( 1.2 )	-1.3 ( -1.9 )
10.紙パルプ製品製造業	1.4	1.9 ( 0.7 )	0.1 ( 0.3 )	-0.6 ( -1.4 )
12.化学製品製造業	3.1	1.8 ( 0.8 )	1.5 ( 3.2 )	-0.2 ( -0.6 )
18.鉄鋼業	1.2	1.0 ( 0.4 )	0.3 ( 1.2 )	-0.2 ( -0.5 )
19.非鉄金属製品製造業	5.2	1.8 ( 0.6 )	2.6 ( 5.2 )	0.9 ( 3.0 )
21.一般機械製造業	3.3	4.7 ( 1.7 )	0.5 ( 2.1 )	-1.9 ( -2.6 )
23.通信機器製造業	4.6	8.5 ( 2.8 )	0.3 ( 0.2 )	-4.1 ( -6.9 )
25.他電気機械製造業	3.8	0.8 ( 0.4 )	2.6 ( 5.4 )	0.4 ( 1.0 )
26.自動車製造業	1.9	2.4 ( 0.8 )	0.5 ( 0.8 )	-1.0 ( -2.3 )
27.他輸送機械製造業	0.9	4.5 ( 1.7 )	0.4 ( 2.1 )	-4.0 ( -6.0 )
28.精密機械製造業	1.5	3.5 ( 1.5 )	1.0 ( 2.2 )	-3.0 ( -4.3 )
30.鉄道輸送業	1.8	0.1 ( 0.1 )	2.2 ( 7.5 )	-0.5 ( -0.9 )
32.水運業	2.6	4.4 ( 2.0 )	0.0 ( 0.0 )	-1.7 ( -2.7 )
34.倉庫他運輸業	4.8	2.1 ( 1.4 )	0.7 ( 4.1 )	2.0 ( 2.7 )
36.電力業	6.2	3.1 ( 1.3 )	3.5 ( 5.5 )	-0.3 ( -2.0 )
37.ガス業	3.9	3.0 ( 1.7 )	1.2 ( 2.1 )	-0.4 ( -1.0 )
39.卸小売業	4.4	3.5 ( 2.3 )	0.7 ( 3.5 )	0.2 ( 0.2 )
47.家計部門	0.6	0.0 ( 0.0 )	0.6 ( 0.7 )	0.0 ( 0.0 )
Panel-B: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
1.農林水産業	-1.0	0.3 ( 0.1 )	0.3 ( 0.7 )	-1.6 ( -3.9 )
15.ゴム製品製造業	-0.2	1.3 ( 0.6 )	0.3 ( 1.1 )	-1.8 ( -2.9 )
20.金属製品製造業	-1.1	1.2 ( 0.5 )	0.5 ( 1.5 )	-2.8 ( -3.4 )
43.研究業	-2.7	0.1 ( 0.1 )	0.3 ( 1.6 )	-3.1 ( -4.0 )
44.医療保健業	-2.6	0.6 ( 0.4 )	0.3 ( 1.1 )	-3.4 ( -4.2 )
Panel-C: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP低下 ( $\tau^T < 0$ )				
2.石炭鉱業	-1.0	-2.7 ( -1.8 )	2.1 ( 8.1 )	-0.4 ( -0.9 )
3.他鉱業	0.4	-1.1 ( -0.8 )	1.5 ( 2.9 )	-0.1 ( 0.3 )
5.食料品製造業	-1.5	-1.3 ( -0.4 )	0.3 ( 0.9 )	-0.5 ( -1.0 )
7.衣服製造業	-2.3	-0.8 ( -0.3 )	0.3 ( 0.4 )	-1.8 ( -2.4 )
9.家具備品製造業	-1.1	-0.3 ( -0.1 )	0.4 ( 1.1 )	-1.3 ( -1.7 )
17.窯業土石製品製造業	0.6	-0.6 ( -0.2 )	1.1 ( 3.4 )	0.1 ( 0.3 )
31.道路輸送業	-1.5	-1.1 ( -1.0 )	0.6 ( 3.7 )	-1.0 ( -1.4 )
42.教育業	-1.0	-0.2 ( -0.2 )	0.2 ( 0.7 )	-1.0 ( -1.5 )
45.他サービス業	-1.5	-1.0 ( -0.5 )	0.7 ( 2.3 )	-1.3 ( -2.0 )
46.公務	0.7	0.0 ( 0.0 )	1.5 ( 3.7 )	-0.8 ( -1.2 )
Panel-D: その他				
6.繊維製品製造業	0.2	5.7 ( 1.9 )	-0.5 ( -3.0 )	-5.0 ( -7.6 )
11.出版印刷業	-3.3	-0.7 ( -0.3 )	-0.3 ( -1.1 )	-2.3 ( -3.2 )
13.石油精製製品製造業	69.5	71.2 ( 5.4 )	-0.6 ( -1.0 )	-1.0 ( -3.3 )
14.石炭製品製造業	-10.1	-8.4 ( -1.1 )	-1.1 ( -1.2 )	-0.6 ( -3.0 )
16.皮革製品製造業	-3.4	-1.8 ( -0.6 )	-0.1 ( -0.2 )	-1.4 ( -2.1 )
22.電子計算機製造業	5.4	14.9 ( 6.3 )	-4.9 ( -9.4 )	-4.5 ( -9.8 )
24.電子部品製造業	11.8	18.3 ( 7.2 )	-0.2 ( -1.7 )	-6.3 ( -8.5 )
29.他製造業	-2.1	0.7 ( 0.3 )	-0.7 ( -1.6 )	-2.1 ( -4.1 )
33.航空輸送業	1.8	3.5 ( 2.0 )	-0.8 ( -1.5 )	-0.8 ( -1.4 )
35.通信業	-1.4	2.6 ( 2.0 )	-0.8 ( -1.9 )	-3.2 ( -5.6 )
38.水道業	-7.7	-3.3 ( -2.6 )	-2.0 ( -3.5 )	-2.4 ( -6.9 )
40.金融保険業	-1.0	3.1 ( 2.1 )	-0.4 ( -1.0 )	-3.7 ( -5.6 )
41.不動産業	-6.6	-2.2 ( -2.0 )	-3.7 ( -4.5 )	-0.6 ( -4.3 )

単位：年平均成長率（%）と寄与度。括弧内は成長率。(10)式に基づく EPI の要因分解による。

表 6：産業別 TFP 成長の PFP 分解（第 II 期：1973–1990 年）

	$\tau^T$	$\tau^K$	$\tau^L$	$\tau^E$
Panel-A: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
4.建設業	0.8	0.1 ( 0.6 )	0.7 ( 2.4 )	0.0 ( 1.7 )
8.木材木製品製造業	1.1	0.1 ( 1.6 )	0.9 ( 4.7 )	0.1 ( 2.8 )
10.紙パルプ製品製造業	0.7	0.1 ( 1.1 )	0.5 ( 2.8 )	0.1 ( 1.4 )
12.化学製品製造業	0.8	0.0 ( -0.1 )	0.4 ( 3.6 )	0.4 ( 3.1 )
18.鉄鋼業	0.4	0.1 ( 0.1 )	0.1 ( 1.7 )	0.1 ( 1.2 )
19.非鉄金属製品製造業	0.6	-0.1 ( 0.0 )	0.3 ( 2.2 )	0.4 ( 5.2 )
21.一般機械製造業	1.7	0.1 ( 1.3 )	1.6 ( 5.9 )	0.0 ( 3.3 )
23.通信機器製造業	2.8	0.5 ( 4.5 )	2.2 ( 11.5 )	0.1 ( 4.6 )
25.他電気機械製造業	0.4	-0.3 ( -1.5 )	0.6 ( 2.9 )	0.0 ( 3.8 )
26.自動車製造業	0.8	0.2 ( 1.1 )	0.5 ( 4.2 )	0.0 ( 1.9 )
27.他輸送機械製造業	1.7	-0.1 ( -1.2 )	1.8 ( 6.9 )	0.0 ( 0.9 )
28.精密機械製造業	1.5	-0.3 ( -0.7 )	1.8 ( 5.9 )	0.0 ( 1.5 )
30.鉄道輸送業	0.1	-1.0 ( -5.7 )	0.9 ( 2.7 )	0.2 ( 1.8 )
32.水運業	2.0	0.5 ( 2.6 )	1.4 ( 5.3 )	0.1 ( 2.6 )
34.倉庫他運輸業	1.4	0.3 ( 0.7 )	0.9 ( 2.0 )	0.3 ( 4.8 )
36.電力業	1.3	0.3 ( 0.8 )	0.9 ( 8.2 )	0.1 ( 6.2 )
37.ガス業	1.7	0.6 ( 1.7 )	1.1 ( 4.9 )	0.0 ( 3.9 )
39.卸小売業	2.3	0.1 ( 0.9 )	2.1 ( 4.1 )	0.1 ( 4.4 )
47.家計部門	0.0	-0.1 ( -0.1 )	0.0 ( 0.0 )	0.1 ( 0.6 )
Panel-B: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
1.農林水産業	0.1	-0.5 ( -1.6 )	0.7 ( 3.0 )	0.0 ( -1.0 )
15.ゴム製品製造業	0.6	-0.1 ( -1.3 )	0.7 ( 2.7 )	0.0 ( -0.2 )
20.金属製品製造業	0.5	-0.3 ( -2.6 )	0.8 ( 2.3 )	0.0 ( -1.1 )
43.研究業	0.1	-0.4 ( -4.3 )	0.7 ( 1.3 )	-0.1 ( -2.7 )
44.医療保健業	0.4	-0.4 ( -3.7 )	0.8 ( 1.6 )	-0.1 ( -2.6 )
Panel-C: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 低下 ( $\tau^T < 0$ )				
2.石炭鉱業	-1.8	-1.5 ( -9.1 )	-0.2 ( -0.1 )	-0.1 ( -1.0 )
3.他鉱業	-0.8	-1.0 ( -2.6 )	0.2 ( 0.0 )	0.1 ( 0.4 )
5.食料品製造業	-0.4	-0.3 ( -2.4 )	-0.1 ( -0.5 )	0.0 ( -1.5 )
7.衣服製造業	-0.3	-0.2 ( -2.7 )	0.0 ( 0.1 )	0.0 ( -2.3 )
9.家具備品製造業	-0.1	-0.3 ( -2.2 )	0.2 ( 0.7 )	0.0 ( -1.1 )
17.窯業土石製品製造業	-0.2	-0.5 ( -2.8 )	0.1 ( 0.3 )	0.1 ( 0.6 )
31.道路輸送業	-1.0	-0.9 ( -5.2 )	0.0 ( 0.0 )	-0.1 ( -1.5 )
42.教育業	-0.2	-0.5 ( -1.8 )	0.3 ( 0.5 )	0.0 ( -1.0 )
45.他サービス業	-0.5	-0.7 ( -3.8 )	0.2 ( 0.5 )	0.0 ( -1.5 )
46.公務	0.0	-1.1 ( -3.0 )	1.0 ( 1.9 )	0.0 ( 0.7 )
Panel-D: その他				
6.繊維製品製造業	1.9	0.2 ( 3.2 )	1.7 ( 7.8 )	-0.1 ( 0.2 )
11.出版印刷業	-0.3	-0.3 ( -2.2 )	0.0 ( -0.1 )	0.0 ( -3.3 )
13.石油精製製品製造業	5.4	3.8 ( 70.6 )	1.3 ( 72.9 )	0.3 ( 69.5 )
14.石炭製品製造業	-1.1	-0.7 ( -8.9 )	-0.2 ( -7.1 )	-0.2 ( -10.1 )
16.皮革製品製造業	-0.6	-0.4 ( -3.2 )	-0.2 ( -1.3 )	0.0 ( -3.4 )
22.電子計算機製造業	6.3	3.3 ( 14.8 )	3.0 ( 15.2 )	0.0 ( 5.4 )
24.電子部品製造業	7.2	1.2 ( 13.5 )	5.7 ( 20.3 )	0.2 ( 11.8 )
29.他製造業	0.3	-0.1 ( -0.5 )	0.5 ( 2.0 )	0.0 ( -2.1 )
33.航空輸送業	2.0	0.6 ( 3.3 )	0.9 ( 3.3 )	0.4 ( 1.8 )
35.通信業	2.0	0.1 ( 0.5 )	1.9 ( 4.2 )	0.0 ( -1.4 )
38.水道業	-2.6	-1.9 ( -4.2 )	-0.3 ( -0.8 )	-0.3 ( -7.7 )
40.金融保険業	2.1	-0.2 ( 0.0 )	2.3 ( 4.7 )	0.0 ( -1.0 )
41.不動産業	-2.0	-1.6 ( -2.1 )	-0.3 ( -2.3 )	-0.1 ( -6.6 )

単位：年平均成長率 (%) と寄与度。括弧内は成長率。(14)式に基づく TFP 成長率の PFP 分解による。

表7：産業別 EPI の要因分解（第 III 期：1990–2008 年）

	$\tau^E$	$\tau^T$	$\varepsilon^K$	$\varepsilon^L$
Panel-A: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
13.石油精製製品製造業	4.7	1.1 ( 0.5 )	3.7 ( 3.9 )	0.0 ( 1.1 )
15.ゴム製品製造業	2.1	0.9 ( 0.4 )	1.0 ( 3.6 )	0.1 ( 0.3 )
17.窯業土石製品製造業	2.3	0.8 ( 0.4 )	1.1 ( 3.3 )	0.4 ( 0.8 )
21.一般機械製造業	1.6	1.0 ( 0.4 )	1.0 ( 2.7 )	-0.3 ( -0.4 )
23.通信機器製造業	11.7	7.7 ( 2.7 )	4.6 ( 8.6 )	-0.7 ( -1.8 )
24.電子部品製造業	10.6	10.7 ( 4.5 )	1.5 ( 4.3 )	-1.6 ( -2.3 )
25.他電気機械製造業	2.9	3.5 ( 1.5 )	0.7 ( 1.7 )	-1.4 ( -2.7 )
26.自動車製造業	3.1	0.8 ( 0.3 )	1.6 ( 3.2 )	0.8 ( 1.5 )
32.水運業	2.1	2.3 ( 1.0 )	1.0 ( 2.4 )	-1.2 ( -1.9 )
44.医療保健業	0.4	0.4 ( 0.2 )	0.2 ( 0.8 )	-0.1 ( -0.1 )
Panel-B: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
6.繊維製品製造業	-0.6	0.6 ( 0.2 )	0.3 ( 3.2 )	-1.5 ( -2.2 )
20.金属製品製造業	-0.8	0.1 ( 0.1 )	0.4 ( 1.3 )	-1.3 ( -2.0 )
28.精密機械製造業	-1.4	0.4 ( 0.2 )	0.4 ( 1.0 )	-2.3 ( -3.5 )
46.公務	-1.6	0.1 ( 0.1 )	0.0 ( 0.1 )	-1.7 ( -3.3 )
Panel-C: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 低下 ( $\tau^T < 0$ )				
1.農林水産業	0.0	-0.6 ( -0.3 )	0.5 ( 1.0 )	0.1 ( 0.1 )
2.石炭鉱業	-17.7	-23.4 ( -13.3 )	1.8 ( 9.2 )	3.8 ( 3.6 )
3.他鉱業	1.2	-1.9 ( -1.1 )	1.8 ( 5.5 )	1.4 ( 2.8 )
4.建設業	-0.4	-4.1 ( -2.0 )	1.0 ( 5.6 )	2.7 ( 3.2 )
7.衣服製造業	-3.8	-2.2 ( -0.9 )	0.8 ( 4.2 )	-2.3 ( -2.9 )
8.木材木製品製造業	-0.6	-0.1 ( -0.1 )	0.4 ( 1.8 )	-0.9 ( -1.2 )
9.家具備品製造業	-2.9	-1.9 ( -0.7 )	0.3 ( 2.4 )	-1.3 ( -1.5 )
10.紙パルプ製品製造業	-0.9	-0.8 ( -0.3 )	0.4 ( 1.2 )	-0.5 ( -1.1 )
11.出版印刷業	1.0	-0.3 ( -0.1 )	1.0 ( 3.6 )	0.4 ( 0.6 )
12.化学製品製造業	0.8	-0.2 ( -0.1 )	1.0 ( 1.9 )	0.0 ( 0.1 )
16.皮革製品製造業	1.9	-0.1 ( 0.0 )	1.8 ( 7.8 )	0.3 ( 0.6 )
18.鉄鋼業	-1.2	-1.1 ( -0.3 )	0.4 ( 0.7 )	-0.5 ( -1.4 )
19.非鉄金属製品製造業	-0.8	-1.7 ( -0.5 )	0.8 ( 1.9 )	0.0 ( 0.1 )
29.他製造業	-1.0	-2.7 ( -1.0 )	1.0 ( 4.2 )	0.7 ( 0.9 )
30.鉄道輸送業	-0.2	-0.5 ( -0.4 )	0.8 ( 1.8 )	-0.4 ( -1.0 )
40.金融保険業	-1.9	-1.6 ( -1.1 )	0.8 ( 1.4 )	-1.2 ( -2.3 )
47.家計部門	0.7	0.0 ( 0.0 )	0.7 ( 0.8 )	0.0 ( 0.0 )
Panel-D: その他				
5.食料品製造業	-0.9	0.2 ( 0.0 )	-0.3 ( -0.7 )	-0.8 ( -1.6 )
14.石炭製品製造業	-10.0	-9.4 ( -2.8 )	-0.2 ( -0.2 )	-0.4 ( -2.6 )
22.電子計算機製造業	19.8	22.7 ( 8.3 )	-0.5 ( -0.8 )	-2.4 ( -6.7 )
27.他輸送機械製造業	-1.1	0.4 ( 0.1 )	-0.4 ( -1.2 )	-1.1 ( -1.7 )
31.道路輸送業	0.5	0.9 ( 0.7 )	-0.1 ( -0.4 )	-0.2 ( -0.4 )
33.航空輸送業	1.4	3.2 ( 1.4 )	-0.5 ( -1.6 )	-1.3 ( -2.0 )
34.倉庫他運輸業	-3.1	-0.4 ( -0.2 )	-0.1 ( -0.6 )	-2.6 ( -3.5 )
35.通信業	0.5	4.2 ( 2.8 )	-0.7 ( -1.7 )	-3.0 ( -6.2 )
36.電力業	2.1	2.4 ( 1.1 )	0.0 ( -0.1 )	-0.3 ( -1.8 )
37.ガス業	-2.7	3.8 ( 1.4 )	-3.3 ( -5.6 )	-3.2 ( -8.3 )
38.水道業	-3.9	-1.0 ( -0.7 )	-1.1 ( -1.8 )	-1.8 ( -7.8 )
39.卸小売業	-2.9	1.8 ( 1.3 )	-1.5 ( -4.4 )	-3.3 ( -5.1 )
41.不動産業	-1.8	-1.0 ( -0.9 )	-0.7 ( -0.8 )	0.0 ( -0.8 )
42.教育業	-3.9	-0.2 ( -0.1 )	-0.6 ( -2.9 )	-3.1 ( -3.9 )
43.研究業	-2.9	-0.9 ( -0.5 )	-0.1 ( -0.1 )	-1.9 ( -2.5 )
45.他サービス業	-1.2	0.2 ( 0.1 )	-0.5 ( -1.3 )	-0.9 ( -1.5 )

単位：年平均成長率 (%) と寄与度。括弧内は成長率。(10)式に基づく EPI の要因分解による。

表8：産業別 TFP 成長の PFP 分解（第 III 期：1990–2008 年）

	$\tau^T$	$\tau^K$	$\tau^L$	$\tau^E$
Panel-A: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
13.石油精製製品製造業	0.5	0.3 ( 0.8 )	0.1 ( 3.6 )	0.0 ( 4.7 )
15.ゴム製品製造業	0.4	-0.2 ( -1.5 )	0.5 ( 1.9 )	0.1 ( 2.1 )
17.窯業土石製品製造業	0.4	-0.2 ( -1.0 )	0.4 ( 1.5 )	0.2 ( 2.3 )
21.一般機械製造業	0.4	-0.2 ( -1.0 )	0.5 ( 2.1 )	0.0 ( 1.6 )
23.通信機器製造業	2.7	0.8 ( 3.1 )	1.7 ( 13.5 )	0.2 ( 11.7 )
24.電子部品製造業	4.5	0.7 ( 6.3 )	3.5 ( 12.8 )	0.3 ( 10.6 )
25.他電気機械製造業	1.5	0.3 ( 1.2 )	1.2 ( 5.5 )	0.0 ( 2.9 )
26.自動車製造業	0.3	0.0 ( -0.1 )	0.2 ( 1.5 )	0.0 ( 3.1 )
32.水運業	1.0	0.0 ( -0.3 )	0.9 ( 4.0 )	0.1 ( 2.1 )
44.医療保健業	0.2	0.0 ( -0.4 )	0.2 ( 0.5 )	0.0 ( 0.4 )
Panel-B: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
6.繊維製品製造業	0.2	-0.1 ( -3.8 )	0.5 ( 1.6 )	-0.1 ( -0.6 )
20.金属製品製造業	0.1	-0.3 ( -2.1 )	0.4 ( 1.2 )	0.0 ( -0.8 )
28.精密機械製造業	0.2	-0.4 ( -2.4 )	0.6 ( 2.1 )	0.0 ( -1.4 )
46.公務	0.1	-0.6 ( -1.6 )	0.7 ( 1.7 )	0.0 ( -1.6 )
Panel-C: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 低下 ( $\tau^T < 0$ )				
1.農林水産業	-0.3	-0.3 ( -0.9 )	0.0 ( -0.1 )	0.0 ( 0.0 )
2.石炭鉱業	-13.3	-2.6 ( -26.9 )	-9.6 ( -21.3 )	-1.1 ( -17.7 )
3.他鉱業	-1.1	-0.9 ( -4.3 )	-0.4 ( -1.5 )	0.1 ( 1.2 )
4.建設業	-2.0	-0.6 ( -6.0 )	-1.4 ( -3.6 )	0.0 ( -0.4 )
7.衣服製造業	-0.9	-0.5 ( -8.0 )	-0.3 ( -0.9 )	0.0 ( -3.8 )
8.木材木製品製造業	-0.1	-0.2 ( -2.4 )	0.1 ( 0.6 )	0.0 ( -0.6 )
9.家具備品製造業	-0.7	-0.2 ( -5.3 )	-0.5 ( -1.4 )	0.0 ( -2.9 )
10.紙パルプ製品製造業	-0.3	-0.3 ( -2.2 )	0.0 ( 0.2 )	-0.1 ( -0.9 )
11.出版印刷業	-0.1	-0.3 ( -2.6 )	0.1 ( 0.5 )	0.0 ( 1.0 )
12.化学製品製造業	-0.1	-0.3 ( -1.2 )	0.1 ( 0.7 )	0.1 ( 0.8 )
16.皮革製品製造業	0.0	-0.4 ( -5.9 )	0.4 ( 1.3 )	0.0 ( 1.9 )
18.鉄鋼業	-0.3	-0.3 ( -1.9 )	0.1 ( 0.2 )	-0.1 ( -1.2 )
19.非鉄金属製品製造業	-0.5	-0.4 ( -2.7 )	-0.1 ( -0.9 )	0.0 ( -0.8 )
29.他製造業	-1.0	-0.4 ( -5.2 )	-0.5 ( -1.9 )	0.0 ( -1.0 )
30.鉄道輸送業	-0.4	-0.6 ( -1.9 )	0.3 ( 0.9 )	0.0 ( -0.2 )
40.金融保険業	-1.1	-1.3 ( -3.2 )	0.2 ( 0.5 )	0.0 ( -1.9 )
47.家計部門	0.0	-0.1 ( -0.2 )	0.0 ( 0.0 )	0.1 ( 0.7 )
Panel-D: その他				
5.食料品製造業	0.0	-0.1 ( -0.2 )	0.1 ( 0.6 )	0.0 ( -0.9 )
14.石炭製品製造業	-2.8	-2.1 ( -9.8 )	-0.4 ( -7.5 )	-0.3 ( -10.0 )
22.電子計算機製造業	8.3	5.2 ( 20.6 )	2.9 ( 26.4 )	0.1 ( 19.8 )
27.他輸送機械製造業	0.1	0.0 ( 0.1 )	0.1 ( 0.6 )	0.0 ( -1.1 )
31.道路輸送業	0.7	0.2 ( 1.0 )	0.5 ( 0.9 )	0.1 ( 0.5 )
33.航空輸送業	1.4	0.4 ( 3.0 )	0.8 ( 3.4 )	0.2 ( 1.4 )
34.倉庫他運輸業	-0.2	-0.4 ( -2.4 )	0.2 ( 0.4 )	-0.1 ( -3.1 )
35.通信業	2.8	0.8 ( 2.2 )	2.0 ( 6.7 )	0.0 ( 0.5 )
36.電力業	1.1	0.8 ( 2.2 )	0.3 ( 3.9 )	0.0 ( 2.1 )
37.ガス業	1.4	0.6 ( 3.0 )	0.8 ( 5.7 )	0.0 ( -2.7 )
38.水道業	-0.7	-1.1 ( -2.1 )	0.6 ( 3.9 )	-0.2 ( -3.9 )
39.卸小売業	1.3	0.3 ( 1.5 )	1.0 ( 2.1 )	-0.1 ( -2.9 )
41.不動産業	-0.9	-0.7 ( -0.9 )	-0.2 ( -1.0 )	0.0 ( -1.8 )
42.教育業	-0.1	-0.1 ( -0.9 )	0.1 ( 0.1 )	-0.1 ( -3.9 )
43.研究業	-0.5	-0.2 ( -2.8 )	-0.2 ( -0.4 )	-0.1 ( -2.9 )
45.他サービス業	0.1	0.0 ( 0.1 )	0.1 ( 0.3 )	0.0 ( -1.2 )

単位：年平均成長率 (%) と寄与度。括弧内は成長率。(14)式に基づく TFP 成長率の PFP 分解による。

表9：産業別 EPI の要因分解（第IV期：2008-2016年）

	$\tau^E$	$\tau^T$	$\varepsilon^K$	$\varepsilon^L$
Panel-A: 資本深化( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP上昇( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善( $\tau^E > 0$ )				
2.石炭鉱業	12.4	19.8 ( 5.0 )	0.3 ( 4.8 )	-7.7 ( -9.7 )
9.家具備品製造業	2.1	1.1 ( 0.5 )	0.6 ( 8.3 )	0.4 ( 0.5 )
10.紙パルプ製品製造業	0.5	0.4 ( 0.1 )	0.1 ( 0.3 )	0.0 ( 0.1 )
12.化学製品製造業	3.6	2.7 ( 1.2 )	1.0 ( 2.0 )	0.0 ( -0.1 )
15.ゴム製品製造業	2.7	0.0 ( 0.1 )	0.7 ( 1.7 )	2.0 ( 3.5 )
18.鉄鋼業	2.4	2.3 ( 0.8 )	0.1 ( 0.2 )	-0.1 ( 0.1 )
19.非鉄金属製品製造業	4.4	2.7 ( 0.8 )	0.9 ( 2.6 )	0.8 ( 1.7 )
22.電子計算機製造業	10.7	4.9 ( 2.1 )	4.7 ( 6.9 )	1.0 ( 3.7 )
23.通信機器製造業	5.7	4.4 ( 2.2 )	0.6 ( 0.9 )	0.7 ( 2.3 )
24.電子部品製造業	7.7	5.1 ( 2.1 )	1.3 ( 4.2 )	1.3 ( 2.2 )
25.他電気機械製造業	1.9	2.3 ( 0.9 )	0.0 ( 0.1 )	-0.4 ( -0.9 )
26.自動車製造業	3.2	0.4 ( 0.2 )	1.7 ( 4.0 )	1.1 ( 1.8 )
28.精密機械製造業	2.1	1.2 ( 0.6 )	0.6 ( 1.4 )	0.4 ( 0.6 )
30.鉄道輸送業	2.1	0.5 ( 0.4 )	0.4 ( 0.9 )	1.1 ( 2.7 )
32.水運業	1.7	0.0 ( 0.0 )	1.4 ( 2.7 )	0.2 ( 0.5 )
33.航空輸送業	1.5	1.0 ( 0.9 )	0.4 ( 2.9 )	0.0 ( 0.5 )
38.水道業	0.6	0.0 ( 0.0 )	0.6 ( 0.7 )	0.0 ( 0.7 )
39.卸小売業	1.3	0.8 ( 0.6 )	0.2 ( 0.4 )	0.3 ( 0.5 )
41.不動産業	4.1	2.0 ( 1.5 )	1.5 ( 1.9 )	0.6 ( 3.1 )
Panel-B: 資本深化( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP上昇( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化( $\tau^E < 0$ )				
8.木材木製品製造業	-0.1	1.0 ( 0.5 )	0.1 ( 0.8 )	-1.2 ( -1.8 )
Panel-C: 資本深化( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP低下( $\tau^T < 0$ )				
6.繊維製品製造業	-2.1	-1.2 ( -0.7 )	0.0 ( 0.2 )	-0.9 ( -1.4 )
7.衣服製造業	-1.8	-0.4 ( -0.1 )	0.0 ( 1.2 )	-1.4 ( -1.6 )
14.石炭製品製造業	-3.0	-8.1 ( -1.8 )	6.0 ( 7.4 )	-1.0 ( -5.6 )
16.皮革製品製造業	1.0	-1.4 ( -0.5 )	1.4 ( 5.1 )	1.0 ( 1.6 )
20.金属製品製造業	-3.5	-1.8 ( -0.8 )	0.0 ( 0.2 )	-1.7 ( -2.4 )
21.一般機械製造業	-1.0	-1.1 ( -0.4 )	0.7 ( 1.7 )	-0.6 ( -1.1 )
31.道路輸送業	-0.4	-0.1 ( -0.1 )	0.1 ( 0.3 )	-0.4 ( -0.5 )
36.電力業	-7.2	-8.2 ( -2.2 )	0.3 ( 0.0 )	0.8 ( 3.4 )
37.ガス業	0.2	-3.2 ( -0.8 )	2.3 ( 3.5 )	1.1 ( 3.8 )
40.金融保険業	1.7	-0.4 ( -0.2 )	2.5 ( 4.6 )	-0.4 ( -1.0 )
43.研究業	0.5	-1.2 ( -0.6 )	0.1 ( 2.3 )	1.6 ( 1.9 )
45.他サービス業	1.4	-0.5 ( -0.3 )	0.4 ( 1.3 )	1.5 ( 2.2 )
47.家計部門	1.5	0.0 ( 0.0 )	1.5 ( 1.8 )	0.0 ( 0.0 )
Panel-D: その他				
1.農林水産業	-2.7	-0.5 ( -0.3 )	-0.8 ( -2.1 )	-1.4 ( -2.7 )
3.他鉱業	-5.6	-3.3 ( -1.5 )	-0.1 ( -0.5 )	-2.2 ( -3.9 )
4.建設業	0.7	2.9 ( 1.4 )	0.0 ( -0.4 )	-2.1 ( -2.4 )
5.食料品製造業	0.9	0.5 ( 0.2 )	-0.1 ( -0.3 )	0.5 ( 1.0 )
11.出版印刷業	-1.6	-0.8 ( -0.4 )	-0.3 ( -0.8 )	-0.5 ( -0.9 )
13.石油精製製品製造業	-4.8	1.6 ( 0.8 )	-6.5 ( -7.2 )	0.1 ( 2.3 )
17.窯業土石製品製造業	-2.4	-2.0 ( -1.1 )	-0.2 ( -0.8 )	-0.1 ( -0.2 )
27.他輸送機械製造業	0.0	-0.3 ( -0.1 )	0.0 ( -0.4 )	0.4 ( 0.8 )
29.他製造業	0.9	2.5 ( 0.9 )	-0.2 ( -1.1 )	-1.4 ( -1.8 )
34.倉庫他運輸業	-1.7	-1.8 ( -1.2 )	-0.3 ( -1.2 )	0.5 ( 0.6 )
35.通信業	-2.6	3.2 ( 1.7 )	-4.1 ( -5.6 )	-1.7 ( -6.3 )
42.教育業	-2.4	-0.9 ( -0.7 )	-0.4 ( -2.0 )	-1.1 ( -1.5 )
44.医療保健業	-2.1	-0.8 ( -0.5 )	-0.9 ( -3.5 )	-0.3 ( -0.3 )
46.公務	-2.0	0.0 ( 0.0 )	-1.4 ( -2.0 )	-0.5 ( -1.9 )

単位：年平均成長率(%)と寄与度。括弧内は成長率。(10)式に基づくEPIの要因分解による。

表 10：産業別 TFP 成長の PFP 分解（第 IV 期：2008–2016 年）

	$\tau^T$	$\tau^K$	$\tau^L$	$\tau^E$
Panel-A: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性改善 ( $\tau^E > 0$ )				
2.石炭鉱業	5.0	0.4 ( 7.6 )	4.1 ( 22.1 )	0.4 ( 12.4 )
9.家具備品製造業	0.5	-0.2 ( -6.2 )	0.6 ( 1.6 )	0.0 ( 2.1 )
10.紙パルプ製品製造業	0.1	0.0 ( 0.2 )	0.1 ( 0.5 )	0.0 ( 0.5 )
12.化学製品製造業	1.2	0.4 ( 1.6 )	0.4 ( 3.7 )	0.4 ( 3.6 )
15.ゴム製品製造業	0.1	0.2 ( 1.0 )	-0.2 ( -0.8 )	0.1 ( 2.7 )
18.鉄鋼業	0.8	0.4 ( 2.2 )	0.2 ( 2.3 )	0.2 ( 2.4 )
19.非鉄金属製品製造業	0.8	0.3 ( 1.9 )	0.3 ( 2.7 )	0.2 ( 4.4 )
22.電子計算機製造業	2.1	1.0 ( 3.7 )	1.0 ( 7.0 )	0.1 ( 10.7 )
23.通信機器製造業	2.2	1.6 ( 4.8 )	0.5 ( 3.4 )	0.1 ( 5.7 )
24.電子部品製造業	2.1	0.5 ( 3.5 )	1.4 ( 5.4 )	0.2 ( 7.7 )
25.他電気機械製造業	0.9	0.3 ( 1.8 )	0.5 ( 2.8 )	0.0 ( 1.9 )
26.自動車製造業	0.2	-0.1 ( -0.7 )	0.2 ( 1.4 )	0.0 ( 3.2 )
28.精密機械製造業	0.6	0.2 ( 0.7 )	0.4 ( 1.5 )	0.0 ( 2.1 )
30.鉄道輸送業	0.4	0.5 ( 1.2 )	-0.2 ( -0.6 )	0.1 ( 2.1 )
32.水運業	0.0	-0.2 ( -1.0 )	0.1 ( 1.2 )	0.1 ( 1.7 )
33.航空輸送業	0.9	0.2 ( -1.4 )	0.2 ( 1.0 )	0.6 ( 1.5 )
38.水道業	0.0	0.0 ( -0.1 )	0.0 ( 0.0 )	0.1 ( 0.6 )
39.卸小売業	0.6	0.2 ( 0.9 )	0.3 ( 0.8 )	0.0 ( 1.3 )
41.不動産業	1.5	1.3 ( 2.2 )	0.2 ( 1.0 )	0.1 ( 4.1 )
Panel-B: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 上昇 ( $\tau^T > 0$ ), エネルギー生産性悪化 ( $\tau^E < 0$ )				
8.木材木製品製造業	0.5	0.0 ( -0.8 )	0.4 ( 1.8 )	0.0 ( -0.1 )
Panel-C: 資本深化 ( $\varepsilon^K > 0$ ), TFP 低下 ( $\tau^T < 0$ )				
6.繊維製品製造業	-0.7	0.0 ( -2.3 )	-0.2 ( -0.6 )	-0.4 ( -2.1 )
7.衣服製造業	-0.1	0.0 ( -3.0 )	-0.1 ( -0.2 )	0.0 ( -1.8 )
14.石炭製品製造業	-1.8	-1.8 ( -10.5 )	-0.1 ( 2.5 )	0.1 ( -3.0 )
16.皮革製品製造業	-0.5	-0.3 ( -4.1 )	-0.2 ( -0.6 )	0.0 ( 1.0 )
20.金属製品製造業	-0.8	-0.3 ( -3.6 )	-0.4 ( -1.0 )	-0.1 ( -3.5 )
21.一般機械製造業	-0.4	-0.4 ( -2.7 )	0.0 ( 0.0 )	0.0 ( -1.0 )
31.道路輸送業	-0.1	-0.1 ( -0.7 )	0.1 ( 0.1 )	0.0 ( -0.4 )
36.電力業	-2.2	-1.3 ( -7.2 )	-0.8 ( -10.6 )	-0.2 ( -7.2 )
37.ガス業	-0.8	-0.5 ( -3.3 )	-0.3 ( -3.6 )	0.0 ( 0.2 )
40.金融保険業	-0.2	-1.1 ( -3.0 )	0.8 ( 2.7 )	0.0 ( 1.7 )
43.研究業	-0.6	-0.1 ( -1.8 )	-0.6 ( -1.4 )	0.0 ( 0.5 )
45.他サービス業	-0.3	0.0 ( 0.1 )	-0.3 ( -0.8 )	0.0 ( 1.4 )
47.家計部門	0.0	-0.2 ( -0.3 )	0.0 ( 0.0 )	0.2 ( 1.5 )
Panel-D: その他				
1.農林水産業	-0.3	-0.1 ( -0.6 )	0.0 ( 0.0 )	-0.1 ( -2.7 )
3.他鉱業	-1.5	-0.5 ( -5.1 )	-0.4 ( -1.7 )	-0.6 ( -5.6 )
4.建設業	1.4	0.1 ( 1.1 )	1.3 ( 3.1 )	0.0 ( 0.7 )
5.食料品製造業	0.2	0.2 ( 1.1 )	0.0 ( -0.1 )	0.0 ( 0.9 )
11.出版印刷業	-0.4	-0.1 ( -0.8 )	-0.3 ( -0.8 )	0.0 ( -1.6 )
13.石油精製製品製造業	0.8	0.9 ( 2.4 )	-0.1 ( -7.1 )	0.0 ( -4.8 )
17.窯業土石製品製造業	-1.1	-0.3 ( -1.6 )	-0.6 ( -2.2 )	-0.2 ( -2.4 )
27.他輸送機械製造業	-0.1	0.1 ( 0.4 )	-0.2 ( -0.8 )	0.0 ( 0.0 )
29.他製造業	0.9	0.2 ( 2.0 )	0.7 ( 2.7 )	0.0 ( 0.9 )
34.倉庫他運輸業	-1.2	-0.1 ( -0.5 )	-1.0 ( -2.3 )	-0.1 ( -1.7 )
35.通信業	1.7	1.1 ( 3.0 )	0.6 ( 3.7 )	0.0 ( -2.6 )
42.教育業	-0.7	-0.1 ( -0.4 )	-0.6 ( -0.9 )	-0.1 ( -2.4 )
44.医療保健業	-0.5	0.3 ( 1.4 )	-0.7 ( -1.8 )	-0.1 ( -2.1 )
46.公務	0.0	0.0 ( 0.1 )	0.0 ( -0.1 )	0.0 ( -2.0 )

単位：年平均成長率 (%) と寄与度。括弧内は成長率。(14)式に基づく TFP 成長率の PFP 分解による。

## 参考文献

- Gillingham, Kenneth, Richard G. Newell, and Karen Palmer (2009), “Energy Efficiency Economics and Policy”, *Annual Review of Resource Economics*, Vol.1, No.1.
- Herring, Horace (2006) “Energy Efficiency – A Critical View,” *Energy*, Vol.31, Issue 1.
- Hulten, Charles R. (1990) “The Measurement of Capital,” in Berndt, E. R. and Triplett, J. E. eds., *Fifty Years of Economic Measurement: The Jubilee of the Conference on Research in Income and Wealth*, University of Chicago Press, Chapter 4.
- Jorgenson, Dale W. (1966) “The Embodiment Hypothesis”, *Journal of Political economy*, Vol.74, No.1.
- Jorgenson, Dale W. and Koji Nomura (2005) “The Industry Origins of Japanese Economic Growth,” *Journal of the Japanese and International Economies*, Vol.19, No.4.
- Jorgenson, Dale W., Koji Nomura, and Jon D. Samuels (2016) “A Half Century of Trans-Pacific Competition: Price Level Indices and Productivity Gaps for Japanese and U.S. Industries, 1955–2012,” in D. W. Jorgenson, et al. (eds.) *The World Economy – Growth or Stagnation?*, Cambridge: Cambridge University Press, Chap.13.
- Nadiri, Ishaq M. (1970) “Some Approaches to the Theory and Measurement of Total Factor Productivity: A Survey”, *Journal of Economic Literature*, Vol. 8, No. 4.
- Smil, Vaclav (2017) *Energy and Civilization: A History*, The MIT Press (塩原通緒訳『エネルギーの人類史 上・下』青土社, 2019年).
- 経済産業省 (2015) 「長期エネルギー需給見通し」7月.
- 日本政府 (2019) 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」6月.
- 野村浩二 (2018) 「日本の長期エネルギー生産性—エネルギー品質と産業構造要因—」, RCGW Discussion Paper, No.61, 日本政策投資銀行 設備投資研究所 地球温暖化研究センター.
- 野村浩二 (2019) 「エネルギー価格変動に対する日本経済の脆弱性 - 実質単位エネルギーコストの変化要因」, RCGW Discussion Paper, No.63, 日本政策投資銀行 設備投資研究所 地球温暖化研究センター.