



日本銀行ワーキングペーパーシリーズ

エネルギー価格変動の生産性への影響： 論点整理と計測

小川佳也*

yoshiya.ogawa@boj.or.jp

長田充弘*

mitsuhiro.osada@boj.or.jp

菅山靖史*

yasushi.sugayama@boj.or.jp

福永一郎*

ichirou.fukunaga@boj.or.jp

No.09-J-10
2009年11月

日本銀行
〒103-8660 郵便事業（株）日本橋支店私書箱第30号

* 調査統計局

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

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

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

エネルギー価格変動の生産性への影響：論点整理と計測

小川佳也^{*}・長田充弘^{**}・菅山靖史⁺・福永一郎⁺⁺

日本銀行 調査統計局

2009年11月

【要 旨】

本稿では、エネルギー資源価格の変動が、やや長い目でみた世界経済の成長経路とどのように関係し、日本のような資源輸入国の生産性にどのような影響を与えるかについて、基本的な考え方を整理する。そのうえで、2008年末までの日本経済におけるエネルギー節約的な技術進歩について計測した Fukunaga and Osada [2009] の推計結果を紹介する。エネルギー価格変動の長期的な生産性への影響は、技術進歩の傾向や度合いによって決まってくると考えられるが、上記の推計では、2000年代のエネルギー価格の上昇を受けて、日本企業がエネルギー節約的な技術進歩に転換したとの結果は得られていない。また、エネルギー使用的な技術進歩が続くもとでのエネルギー価格の上昇が、TFPの伸びの鈍化に寄与していたことがわかった。

* 調査統計局経済分析担当 (E-mail: yoshiya.ogawa@boj.or.jp)

** 調査統計局経済分析担当 (E-mail: mitsuhiro.osada@boj.or.jp)

+ 調査統計局景気動向担当 (E-mail: yasushi.sugayama@boj.or.jp)

++ 調査統計局マクロモデル担当兼経済分析担当
(E-mail: ichirou.fukunaga@boj.or.jp)

本稿の作成に当たっては、一上響、亀田制作、塩路悦朗、白塚重典、関根敏隆、前田栄治、門間一夫をはじめとする日本銀行の関係諸氏から有益なコメントや議論の機会を頂いた。ここに記して感謝したい。ただし、本稿に示されている意見は、筆者たち個人に属し、日本銀行の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者たち個人に属する。

1. はじめに

原油をはじめとするエネルギー資源の価格は、2000年代に大幅に上昇した。原油価格は、2008年7月にピークをつけた後、年末に向けて大きく下落したが、2009年入り後は再び上昇を続けている（図表1(1)）。こうした原油価格の上昇の背景には、1970年代の石油危機の際とは異なり、新興国の高成長やグローバル・サプライチェーンの拡大（図表1(2)）による実需の高まりや、国際金融市場の発展に伴う投機的需要なども影響している可能性がある。

日本経済は、1970年代の石油危機の際には、著しい成長率の鈍化を経験した。2000年代の原油価格上昇局面においては、上述のような背景の違いもあって、しばらく息の長い景気回復を続けたが、原油価格の上昇自体は、企業収益の圧迫などを通じて生産活動にマイナスの影響を及ぼした。そして、2008年秋から2009年初めにかけては、国際金融市場の混乱の影響を受けて、生産活動の急速な収縮を経験した。1970年代の石油危機の後、日本企業はエネルギー費用を節約するような技術への転換を他の先進国と比べてもより積極的に進め、それが1980年代の景気回復を支える一因となったが、現在の局面においても、エネルギー節約的な技術への転換をさらに進めることができるかどうかは、今後の日本経済の景気回復の度合いや中長期的な生産性動向を占ううえで、一つの鍵になると思われる。

本稿では、以上のような問題意識を踏まえ、エネルギー資源価格の変動が、やや長い目でみた世界経済の成長経路とどのように関係し、日本のような資源輸入国の生産活動ないし生産性にどのような影響を与えるかについて、先行研究を参考にしながら、基本的な考え方を整理する。そのうえで、日本経済におけるエネルギー節約的な技術進歩について計測した Fukunaga and Osada [2009] の推計結果を紹介し、1970年代以降のエネルギー資源価格の変動が技術進歩の傾向や生産性に与えてきた影響について論じる。

エネルギー資源と経済活動の効率性や生産性との関係をめぐっては、産業別やエネルギーの種類・用途別などに様々な論点があるが、本稿では、世界経済ないし一国経済で集計された生産関数を念頭に置きながら、経済全体の成長経路や生産性との関係について考察する。また、エネルギー資源価格の変動の影響としては、企業の生産活動、すなわち財・サービスの供給面に与える影響を中心に考察する。家計の実質所得やエネルギー消費行動の変化など、需要面を通じた影響も重要であるが¹、中長期的には、それらも均衡の成長経路に収束し

¹ 原油価格変動の供給面と需要面を通じた影響の識別に関しては、Fukunaga, Hirakata, and Sudo [2009] などで分析されている。また、国内物価への影響（パススルー）に関しては、Shioji and Uchino [2009] などで分析されている。

ていくと考える²。

議論を始めるにあたって、本稿の考察の対象となる概念に関して、2つの留意点を挙げておく。第1に、本稿では、一国経済の生産活動水準として、労働と資本による付加価値（実質GDP）だけでなく、輸入されたエネルギー資源投入の寄与も含めた産出量を考える³。日本では、原油をはじめ大部分のエネルギー資源を輸入に依存している（図表2(1)(2)）こともあり、資源価格変動の影響を捉えるうえでは、GDPベースよりも広い概念の産出量やそれに基づく生産性を考えることが有益と思われるからである。第2に、本稿で論じる「エネルギー節約的技術進歩」とは、「エネルギー原単位（図表2(3)）の低下（エネルギー生産性の上昇）」とは異なった概念である。前者は生産関数自体を変化させる「技術進歩」であるのに対し、後者は生産関数を一定とした生産要素間の代替（例えばエネルギーの相対価格が資本コストに比べて上昇した際に、エネルギー投入を減らして資本投入を増やすこと）も含む概念である。実際、本稿で紹介する Fukunaga and Osada [2009] の推計によると、1970年代と比べ、エネルギー原単位の改善（低下）は進んだが、エネルギー節約的技術進歩は進んでいないとの結果が得られている。

本稿の構成は、以下の通りである。2節では、世界経済全体でみた生産活動水準と資源価格の関係について、3節では、日本のようにエネルギー資源を輸入に依存する非資源国における資源価格の持続的な上昇の影響について、基本的な考え方を整理する。4節では、Fukunaga and Osada [2009] の推計結果の概要を紹介する。5節では、本稿の議論をまとめたうえで、今後の分析課題の方向性について若干議論を加える。

2．世界経済と資源価格

まず本節では、世界経済全体でみた生産活動水準と資源価格の関係について、基本的な考え方を整理する。最初に、枯渇性資源の相対価格の理論上の均衡経路と、それに対応する世界経済の長期的な成長経路について考える。そのうえで、実際の資源価格が均衡経路から短期的に乖離する様々な要因と、その調整過程について考える。最後に、資源国と非資源国との間での、資源価格変動の影響の違いについて論じる。

² ここで述べた均衡経路の成長率は、一種の「潜在成長率」の概念に対応すると考えられる。なお、潜在成長率の推計方法には様々なものがあるが（一上他 [2009]）、その中の一つに、一国経済で集計された生産関数を念頭に置いた「生産関数アプローチ」がある。

³ 国内で産出された財・サービスの中間投入の寄与については、二重計算を防ぐため、一国経済の産出量には含めない。

(枯渇性資源と長期的な経済成長経路)

原油をはじめとする枯渇性資源の実質価格は、資産市場の均衡においては、実質金利と同率で上昇し続けるとの考え方がある⁴。これは、枯渇性資源の採掘権の所有者にとって、採掘費用が無視できるほど小さいと仮定すると、現時点で権利を売却せずに保有し続けることから得られる利回りは、当該資源の実質価格の期待上昇率、つまりキャピタルゲインに相当し、均衡では、それが他の資産の利回り（実質金利）と等しくなっているはずだからである。

このようなストックとしての資源価格の動きは、各時点でのフローの需給関係とも整合的になるはずである。価格が上昇するにつれて当該資源への需要は減退し、それに合わせて採掘（供給）量も減少する。当該資源が世界全体の生産関数に一つの生産要素として含まれているとすると、採掘量の減少は世界経済の生産活動を鈍らせ、長期的な成長経路を押し下げる要因となる。究極的には、需要が全くなくなる水準まで資源価格の上昇が続き、それまでに当該資源は採掘され尽くして枯渇する。このとき、仮に当該資源を他の生産要素で代替できないとすると、世界経済の生産活動は停止してしまうことになる。

しかし実際には、他の生産要素（再生可能な資源など）で枯渇性資源をある程度は代替することができ、さらに、資源節約的な技術進歩も生じると考えられることから、そのような破滅的結末は回避され、持続的な経済成長が可能になると考えられる。このときの長期的な成長経路は、技術進歩によって規定されることになる⁵。

(資源価格の短期的変動と調整過程)

実際の資源価格の動きは、上記のような均衡経路からしばしば乖離していると考えられる。地政学的要因による供給不安や、寡占的供給者による価格支配のほか、技術進歩の不確実性、資源の希少性や代替資源の開発に関する不確実性、および純粋な投機的要因なども、資源価格の乱高下を発生させ得る。また、近年では、新興国の高成長やグローバル・サプライチェーンがもたらす輸送需要の拡大などにより、供給が追いつかないほどのペースで資源への需要が増加していたことが、資源価格を均衡経路以上に押し上げていた可能性も考えられる。

⁴ この命題は「ホテリング・ルール」と呼ばれ（Hotelling [1931]）、資源経済学における最も基本的な命題の一つとされている。

⁵ 1970年代の石油危機の前後には、資源の枯渇による破滅的結末を予見する「成長の限界」論が広まり、その経済理論上の背景や政策含意などがさかんに検討された（Solow [1974]、室田 [1984] など）。その後、1990年代に入ってから、技術進歩や人的資本の蓄積などによって持続的な成長が可能となるような経済を描写する内生的成長理論が発展したこともあり、成長の限界を回避する様々な理論的可能性が示されている。

こうした資源価格の均衡経路からの乖離をもたらす要因が剥落すれば、それとともに資源価格は元の均衡経路に戻っていくと考えられる。また、需要超過によって持続的に資源価格が高騰している場合も、資源高そのものが需要を冷やし、それがやがて資源高の巻き戻しにつながるという形で、自動的な調整機能が働くと考えられる。

資源価格の短期的変動と世界経済の景気変動との関係は、資源価格の均衡経路からの乖離がどのような要因によって生じているか、乖離の調整過程の中のどの局面にあるかなどによって、異なってくる。例えば、1970年代の石油危機の際には、産油国における地政学的要因等から原油価格が急騰し、それが直ちに世界景気にマイナスの影響をもたらした。これに対し、2000年代の原油価格の上昇は、それ自体が新興国の高成長などを中心とする世界景気の拡大によってもたらされた部分も大きく、その間は資源価格の上昇と世界景気の拡大が同時に続いていた⁶。

(資源国と非資源国)

資源価格の短期的変動をもたらす調整過程は、資源国と非資源国の間でも大きく異なる。例えば、資源の需要超過によって資源価格が均衡経路を離れて高騰すると、まず、資源国にとっては、輸出価格の上昇によって交易条件が改善する一方、非資源国にとっては、輸入価格の上昇によって交易条件が悪化し、後者から前者への実質所得の移転が生じる。次に、経済の供給・生産面において、資源国では、輸出向けに資源の採掘量を増やそうとして労働や資本の投入量が増える一方、非資源国では、割高になった資源の輸入量を減らすとともに労働や資本の投入量も減少する。このように短期的な調整過程に関しては、資源高の影響は、資源国の景気にはプラス、非資源国の景気にはマイナスになると考えられる。

しかし、より長期的にみると、むしろ非資源国の方が資源国よりも高成長を続けていることが多い⁷。資源国で低成長に陥りやすいことの背景としては、例えば、目先の交易利得を得るための資源開発の方が優先されて、より長期的な価値創造につながる技術革新が軽視されがちになる可能性や、資源輸出の拡大によって為替レートが増価して工業製品の輸出が圧迫される可能性などが指摘

⁶ 1970年代以降の原油価格の変動要因の変化については、Kilian [2009]、川本・笛木 [2009]などで分析されている。

⁷ Sachs and Warner [1995] は、クロス・カントリーデータを用いて、経済成長に関係する様々な変数をコントロールしたうえで、経済成長と資源輸出（GDPに占めるシェア）との間になお負の関係が存在することを示している。

されている⁸。その一方で、日本をはじめとするいくつかの非資源国は、加工型製造業が輸出向けの生産を拡大し技術進歩を牽引することによって、高成長を続けてきた。このように、各国経済の長期的な成長経路は、産業・貿易構造や技術進歩の状況などに依存し、資源の賦存量とは必ずしも連動しないと考えられる。

3．資源輸入国への資源高の影響

本節では、日本のようにエネルギー資源を輸入に依存する非資源国において、資源価格の持続的な上昇が企業の生産活動に及ぼす影響について、短期から中・長期までを分けて、より詳細に考え方を整理する。ここでは、資源価格の上昇は当該国にとっては外生的であって、小国である当該国における需要（輸入量）の変化は、国際市場で決まる資源価格には影響を与えないことを前提とする。また、前節で論じたような、資源価格自体の変動要因の違いについても、考慮しないことにする⁹。

資源高が資源輸入国の生産活動に及ぼす影響としては、企業のコスト抑制を通じた供給力の低下のほか、資源国への所得流出に伴う総需要の減退を通じた影響も重要である。また、資源高の国内物価への波及やそれに伴う相対価格変動のシグナル機能低下を防ぐために、金融政策がどう対応するかという点も、生産活動への影響を左右すると考えられる。ただし、中長期的には、1節でも述べたように、それらの影響は均衡の成長経路に収束していくと考えられる。

以下では、こうした影響のうち、短期的な供給力の低下、他の生産要素（労働・資本）の投入量や要素価格の変化を通じた中期的な調整過程、技術進歩や産業構造の変化を通じた長期的な成長経路および生産性への影響について、順に論じていく。なお、以下の議論の理論的背景については、補論1で、等量曲線を用いて詳しく説明する。

短期的影響：供給力の低下

エネルギー資源価格の上昇に直面した企業は、コストを抑制するためには、エネルギーの投入量を減らさなければならず、このとき、産出量も減少する。これは、通常の生産技術では、少なくとも短期的には、エネルギーと他の生産

⁸ 後者の典型的な例として、1970年代のオランダにおいて、天然ガスの開発で膨大な外貨収入を得た後に、通貨ギルダーの急騰と経済の長期停滞（オランダ病）を招いたことが挙げられる。

⁹ Fukunaga, Hirakata, and Sudo [2009] は、原油価格の変動要因の違いによって、日本と米国における各産業の生産や価格への影響が変わってくることを示している。

要素（労働や資本）との代替は難しく、エネルギーの投入量を減らすと、同時に労働や資本の投入量も減らさざるを得ないと考えられるからである¹⁰。このとき、エネルギー価格の上昇は、労働や資本の付加価値供給力（実質GDP）の低下にもつながることになる。

中期的調整：他の生産要素への代替

中期的には、エネルギーから他の生産要素への代替が可能になり、例えば労働の配置転換や代替設備の導入などによって、エネルギー投入量が減少したままでも、労働や資本の投入量を増やすことができるようになっていくと考えられる¹¹。また、その過程では、賃金や資本のレンタルコストが低下することによって、エネルギー価格の上昇によるコストの増加分が吸収されていくと考えられる。こうした生産要素間の代替や要素価格の調整を通じて、労働や資本の投入量がエネルギー価格上昇前の水準に戻っていく過程を、ここでは中期的な調整過程と考えることにする。この過程が完了し、労働や資本の投入量がエネルギー価格上昇前の水準まで戻れば、GDPへの下押し圧力は概ね剥落したと考えることができる¹²。ただし、エネルギー投入の寄与を含めた産出量は、エネルギー価格自体の水準が変わらず、エネルギー投入量が減少したままであれば、（さらに、以下の で論じるような技術進歩が同時に進んでいなければ、）エネルギー価格上昇前の水準までは回復しない。

中期的な調整過程がどれだけ長引き、GDPへの下押し圧力が続くかは、生産要素間の補完的關係がどの程度持続するかに加え、賃金や資本のレンタルコストが実質的に（産出価格との対比で）どれだけ伸縮的に調整される（低下する）かにも依存する¹³。実質賃金の引き下げは、ただでさえ交易条件の悪化によって実質所得が目減りしている労働者からの抵抗を受けて、容易には進められないかもしれない。その場合、失業がなかなか解消されず、労働投入量の回復

¹⁰ 特に、資本稼働率と、電力などのエネルギー使用量との間には、補完的關係が強いことが知られている。例えば、Jorgenson and Griliches [1967] は、電力使用量と資本稼働率との補完的關係を前提に、資本稼働率の推計を行なっている。また、Finn [2000] は、エネルギー投入量と資本稼働率との補完的關係を考慮した動学的一般均衡モデルを構築し、エネルギー価格上昇の影響を分析している。

¹¹ Griffin and Gregory [1976] は、時系列データを用いた計測では資本とエネルギーは補完的と推計される一方、クロスセクションデータを用いた計測では代替的と推計されることから、両者の関係は短期的には補完的だが、長期的には代替的になると主張している。

¹² 固定基準年方式で計算される実質GDPは、労働や資本の投入量が資源価格上昇前の水準まで戻ったとしても、元の水準に戻りきらない可能性がある。この点については、例えば、Bruno and Sachs [1985] の12章を参照。

¹³ この点については、Bruno and Sachs [1985]（2・3章）などで詳しく説明されている。

は遅れることになる。また、資本の実質レンタルコストの引き下げについても、国際資本市場を通じて活動する投資家の圧力を受けることなどから、容易には実現されないと考えられる。資源高による企業収益の圧迫と、資本稼働率の低下が長引くと、設備投資も抑制され、資本投入量の回復は遅れることになる。実質レンタルコストが国際資本市場で決められ、国内の需給要因だけでは調整されないとすると、実質賃金（あるいは労働投入量）のさらなる調整が必要になってくる可能性も考えられる。

長期的影響：技術進歩と全要素生産性の上昇

資源高への長期的な企業の対応としては、技術進歩による生産性の改善努力が考えられる。こうした対応は、で考察した中期的調整と同時並行的に進められると考えられるが、その中期的な調整過程が完了、あるいは不完全なまま停止した後も、引き続き進められるものである。従って、資源高が長期的な成長経路および生産性に及ぼす影響は、こうした技術進歩がどれだけ進むかによって決まることになる。

で考察した中期的調整を通じて、エネルギーから労働や資本への代替が生じただけでも、エネルギー生産性は上昇（原単位は低下）する。しかし、GDPや産出量がエネルギー価格上昇前の水準まで回復しなければ、労働や資本の生産性は逆に低下することになる。これに対し、ここで考える技術進歩とは、単なる生産要素間の代替とは異なり、全要素生産性（TFP）を上昇させるものである。TFPの上昇が続けば、エネルギー価格やエネルギー投入量が元の水準まで戻らなくとも、産出量は元の水準を超えて増加し得ることになる¹⁴。

技術進歩は経済的要因とは関係なく外生的に生じる部分もあるが、より長期的には、資源高のような生産要素間の相対価格の変化に伴って、企業が技術進歩の傾向をある程度選択できる部分もあると考えられる。例えば、エネルギーへの投入コストを他の生産要素に比べて相対的に増やしていく（エネルギーへの分配率を上昇させる）傾向をもった技術進歩（「エネルギー使用的」な技術進歩）が続いていたとする。この場合、エネルギーの価格が他の要素価格に比べて高まり、投入量が相対的に少なくなるほど、そうした技術進歩によってTFPが上昇する効果は小さくなる。このため、エネルギー価格が将来も高水準を続けることを予想する企業は、逆にエネルギーへの分配率を低下させる傾向をもった技術進歩（「エネルギー節約的」な技術進歩）へと、技術進歩の内容を切

¹⁴ 具体的には、生産設備などの物理的な「技術進歩」に限らず、組織や物流の効率化、製品・サービス構成の変更といったあらゆる努力が、TFPを上昇させるという意味での「技術進歩」に含まれる。これらの中には、「省エネ投資」のように、エネルギーから資本への代替とTFPの上昇を同時に実現させ、中期的な調整と長期的な対応（技術進歩）を兼ねるような場合も考えられる。

り替えていくと考えられる。このように、技術進歩が、ある生産要素に関して「使用的」となり、他の生産要素に関して「節約的」となることは、「技術進歩の偏り」と呼ばれる¹⁵。

なお、経済全体でみると、低生産性セクターから高生産性セクターへの生産要素の移転といった産業構造の変化も、TFPの上昇につながる重要なファクターである。さらに、産業構造の変化は、技術進歩の偏りにも影響をもたらすファクターとなり得る。例えば日本では、1970年代の石油危機を境に、それまでの高度成長に大きく寄与した「重厚長大」型の産業（素材産業）から、エネルギーをあまり使わない「軽薄短小」型の産業（加工産業）への転換が進んだが、これも経済全体でみると、「エネルギー節約的」技術進歩につながったと考えることができる¹⁶。

4．エネルギー節約的技術進歩の計測

本節では、日本経済における技術進歩の偏りを計測したFukunaga and Osada [2009] の推計結果の概要を紹介する¹⁷。技術進歩の偏りとは、前節で説明したように、ある生産要素の分配率を変化させるような技術進歩の傾向である。従って、概念上明らかなように、ある生産要素に対して使用的な技術進歩は、他の生産要素に対しては節約的となり、すべての生産要素に対する技術進歩の偏りの合計は常にゼロとなる。

技術進歩の偏りは、生産関数ないしそれに対応する価格関数を推計することによって計測される。多くの研究で仮定されるコブ・ダグラス型の生産関数では、分配率は常に一定であり、技術進歩の影響を受けない（技術進歩の偏りは存在しない）ことが前提とされている¹⁸。これに対し、技術進歩の偏りを計測す

¹⁵ 「技術進歩の偏り」の概念は、Hicks [1932] の中で言及されている。そこでは、生産要素の相対価格が変化すると、高価になった生産要素を節約するような技術の発明が促進されるという形で、技術進歩の偏りが内生的に生じる可能性が指摘されている。近年になってAcemoglu [2002] は、技術進歩の偏りを生じさせる誘因が、生産要素の相対的な賦存量や代替の弾力性などに依存することを、理論的に示している。最近の研究動向に関しては、Acemoglu [2009] の15章も参照。

¹⁶ ただし、産業構造がどのような方向に変化するかは、産業間の生産性格差や生産要素間の相対価格の変化だけでなく、消費者の需要構造や海外との貿易構造（生産財の相対価格）など、経済全体の様々な要因に依存する。

¹⁷ 日本のデータを用いて技術進歩の偏りを計測した先行研究としては、黒田 [1989] およびKuroda, Yoshioka, and Jorgenson [1984] などがある。

¹⁸ 日本経済の生産関数がコブ・ダグラス型で十分に近似できるかどうかについては、実証的に必ずしもコンセンサスはない。例えば、中島 [1983] による、労働・資本・エネルギーを投入要素としたマクロ生産関数の関数型の検定では、労働あるいは資本のみがコブ・ダ

る際には、より一般的な関数形の生産関数ないし価格関数が推計される。さらに、Fukunaga and Osada [2009] では、技術進歩の偏りが計測期間を通じて常に変動する可能性を許容したモデルを推計している（モデルと推計方法の詳細は、補論 2 を参照）。ただし、そこで推計される技術進歩の偏りの変動は、必ずしも前節 で論じたような企業の自発的な選択によるものとは限らず、企業にとっては外生的な要因による分配率の変動を反映した部分も含まれている可能性がある。これは、企業の選択による内生的な技術進歩を明示的にモデル化しないまま、生産要素間の代替関係で説明できない分配率の変動を、すべて技術進歩の偏りの影響とみなしているためである。

Fukunaga and Osada [2009] は、実質 GDP に、輸入されたエネルギー資源（熱量単位）を加えたものを、日本経済全体の産出量と定義し、その価値が資本・労働と輸入元に分配されると仮定して、マクロの価格関数および分配率関数を推計している。推計に用いたデータは、1970 年から 2008 年までの年次データで、国民経済計算、貿易統計、総合エネルギー統計、資本・労働の各種統計などを用いている¹⁹。

推計された技術進歩の偏りの推移は、図表 3 に示されている²⁰。(1)のグラフは、各生産要素の分配率が技術進歩の偏りによって累積的に受けてきた影響を、1970 年を基準としたレベルで示したものであり、上昇している間はその生産要素に対して使用的な技術進歩、低下している間は節約的な技術進歩が生じていたことを表す。(2)のグラフは、各生産要素への技術進歩の偏りを、5 年ごとに区切って示したものであり、(1)で示したレベルの各期間における変化幅となっている。これらによると、1970 年以降の計測期間を通じて、技術進歩の偏りは、資本に対して使用、労働に対しては節約的であったことがわかる。資本使用の技術進歩は 1980 年代後半に、労働節約的技術進歩は 90 年代後半から 2000 年代前半にかけて、それぞれ加速している。一方、エネルギーに対する技術進歩の偏りは、1970 年代前半には使用、80 年代には節約的、2000 年以降は再び使用となっていたことがわかる。

図表 4 では、図表 3 (1)で示した各生産要素の分配率への技術進歩の偏りの影響と、対応する分配率および実質要素価格の推移が、並べて示されている。前

グラス型変数（技術進歩の偏りおよび他の要素価格のシェア弾性値が 0）という仮説は棄却できないが、3 要素の生産関数全体がコブ・ダグラス型という仮説は棄却される。

¹⁹ このほか、操作変数として、各種税率、公共投資、1 人あたり金融資産などのデータを推計に用いている。

²⁰ 図表 3 (3)では、生産要素間の代替関係の強さを表すシェア弾性値と代替の弾力性の推計結果が示されている。後者の指標によると、コブ・ダグラス型生産関数を仮定した場合（代替の弾力性は常に 1 となる）に比べて、資本と労働は補完的、資本とエネルギーは補完的、労働とエネルギーは代替的となっている。年次の時系列データから計測された資本とエネルギーの間の短期的な補完的關係は、前節 の議論と対応している。

節 で論じたように、価格が相対的に高まっている生産要素に対しては節約的、価格が低下している生産要素に対しては使用的な技術進歩となることが、生産性を高めるうえで望ましい。労働と資本への技術進歩の偏りは、まさにそのような形となっており、企業の選択によって内生的に生じた偏りの部分が大きかったと考えられる²¹。これに対し、エネルギーへの技術進歩の偏りは、エネルギー価格が上昇しているときに使用的、低下しているときに節約的となっており、分配率の推移ともほぼ平行な動きになっている。このことは、推計されたエネルギーへの技術進歩の偏りの変動には、企業にとって外生的な要因による分配率の変動を反映した部分が大きかった可能性を示唆している。もっとも、企業の選択によって内生的に技術進歩の偏りが転換されるには、ある程度時間的なラグを伴うと考えられ²²、1980年代のエネルギー節約的技術進歩に関しては、70年代の石油危機後にエネルギー価格が高まったことを受けて、企業が自発的に進めた部分も含まれていた可能性がある²³。しかしながら、2000年代のエネルギー価格の上昇を受けて、企業が再びエネルギー節約的技術進歩への転換を図ったような動きは、2008年末までの推計結果にはみられていない。

図表5では、こうした偏りをもった技術進歩のTFPへの影響が示されている²⁴。(1)のグラフをみると、中立的な(偏りのない)技術進歩とともに、偏りをもった技術進歩が、TFPの伸びにかなりの寄与をしてきたことがわかる。このうち特に、実質賃金が増加する中で労働節約的技術進歩が進んだことが、(2)のグラフに示されているように、安定的にTFPの伸びに寄与してきた。一方、70年代前半と2000年代以降の、エネルギー価格が増加する中でエネルギー使用的技術進歩は、TFPの伸びの鈍化につながった。

最後に図表6では、エネルギーと労働の平均生産性の伸びの寄与度分解が示されている。平均生産性の伸びは、TFPの伸びと、他の生産要素への代替に

²¹ 労働と資本の要素価格(賃金と資本コスト)は、エネルギー価格とは異なり、安定したトレンドをもって推移しており、そのことが企業の選択による内生的な技術進歩の偏りにつながった可能性が考えられる。労働の資本に対する相対価格の上昇トレンドを受けて、労働から資本への代替(資本深化)と労働節約的(資本使用的)技術進歩が続いたことにより、結果的に両者の分配率は安定した推移を続けてきた。

²² 例えば、鉄鋼・化学などの素材産業では、1970年代は設備の変更を伴わない省エネ対応が中心であったのに対し、1980年代以降には大規模な省エネ設備(鉄鋼における連続鋳造設備など)の導入が進んだ。このように、エネルギー価格の上昇を受けた企業の本格的な対応には、時間的なラグを伴う可能性が考えられる。

²³ さらに、エネルギー節約的な産業構造への調整が、時間をかけて進んだことによる部分が含まれていた可能性も考えられる。

²⁴ ここで計測しているTFPは、輸入されたエネルギー資源投入の寄与が含まれている点や、一定の仮定の下で生産関数の代わりに推計した価格関数に基づいている点などから、通常計測されるマクロのTFPとは異なっている可能性がある。

よって説明される。(1)のグラフで示されたエネルギー生産性をみると、70年代後半から80年代前半にかけての生産性上昇(原単位の低下)は、TFPの伸びよりも、他の生産要素への代替によって主にもたらされていたことがわかる。前節の議論に当てはめると、石油危機後のこの時期に進んでいたのは、で論じたような中期的調整であったと考えられる。これに対し、80年代後半には、エネルギー節約的技術進歩が進んだこともあって、主にTFPの伸びによってエネルギー生産性の上昇が続いた形となっており、前節で論じた長期的影響に切り替わったと解釈することが可能である。一方、(2)のグラフで示された労働生産性をみると、計測期間全体を通じて、TFPの伸びよりも他の生産要素への代替の寄与が大きかったことがわかる²⁵。

なお、Fukunaga and Osada [2009] では、産業別のデータを用いた推計結果も示されている。それによると、エネルギーへの技術進歩の偏りは、1980年以降は総じて小さく、マクロの推計結果でみられたような、80年代のエネルギー節約的技術進歩や、2000年以降のエネルギー使用的技術進歩は、ほとんどみられない。データの違いがあるため単純に比較はできないが、この結果は、前節の最後で言及したように、産業構造の変化によって、マクロレベルでのエネルギーへの技術進歩の偏りが生じた可能性を示唆している。

5. おわりに

本稿では、エネルギー資源価格の変動が、やや長い目でみた世界経済の成長経路とどのように関係し(2節)、日本のような資源輸入国の生産性にどのような影響を与えるか(3節)について、基本的な考え方を整理した。それぞれの主要な結論をまとめると、以下の通りである。

- 理論上、枯渇性資源の実質価格は、枯渇するまでの間上昇を続け、仮にこの間に他の生産要素への代替や資源節約的な技術進歩が生じなければ、世界経済の成長経路は押し下げられることになる。資源価格の短期的変動と世界経済の景気変動との関係は、資源価格がこうした理論上の均衡経路からどのような要因によって乖離しているか、乖離の調整過程の中のどの局面にあるかなどによって、異なってくる。各国経済の長期的な成長経路は、産業・貿易構造や技術進歩の状況などに依存し、資源の賦存量とは必ずしも連動しない。

²⁵ 他の生産要素への代替による労働生産性の伸びの中にも、労働節約的技術進歩の影響が含まれている。(2)のグラフでは、労働節約的技術進歩によって代替が進んだ部分と、相対価格の変化によって代替が進んだ部分の寄与が分けられており、特に90年代後半以降では前者の寄与がかなりの部分を占めていたことがわかる。TFPの伸びについても、労働節約的技術進歩の寄与が大きかったことと合わせると、90年代後半以降の労働生産性の伸びのほとんどの部分は、労働節約的技術進歩に起因していたことになる。

- 資源輸入国においては、エネルギー資源価格が上昇すると、短期的には、生産要素間の代替が難しいことから、エネルギーとともに労働や資本の投入量も減少し、付加価値供給力（実質GDP）が低下する。中期的には、実質賃金・実質資本レンタルコストの調整を経て、エネルギーから資本への生産要素の代替が進むことによって、供給力への下押し圧力は減衰していく。この間、同時進行的に、資源節約的な技術進歩等による全要素生産性の向上も図られる。長期的な成長経路および生産性への影響は、こうした技術進歩の度合いや産業・貿易構造の転換がどれだけ進むかによって決まってくる。

このように、エネルギー価格変動の長期的な生産性への影響は、技術進歩の傾向や度合いによって決まってくると考えられるが、Fukunaga and Osada [2009]による日本のデータを用いた推計では、2000年代のエネルギー価格の上昇を受けて、日本企業がエネルギー節約的技術進歩へ転換したとの結果は得られていない。また、エネルギー使用的技術進歩が続くもとのエネルギー価格の上昇が、TFPの伸びの鈍化に寄与していたことがわかった。

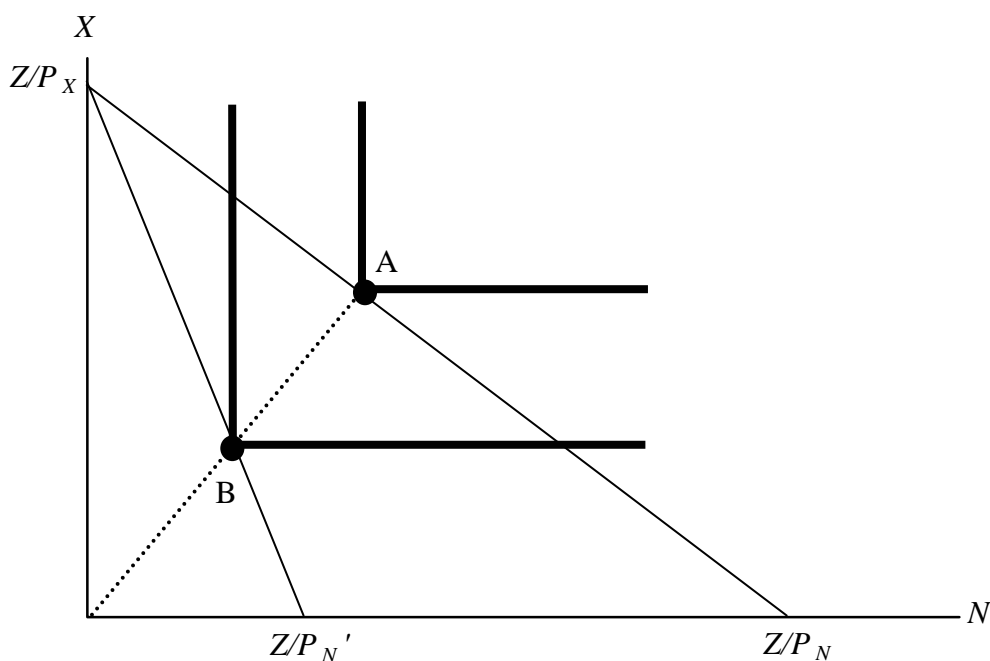
最後に、本稿では十分に論じられなかった重要な論点について簡単に触れることで、今後の分析課題の方向性を示すことにしたい。第1に、本稿では技術進歩の傾向や度合いの重要性は指摘したが、それが具体的にどのようなメカニズムで生じるかについては、立ち入った議論を展開することはできなかった。標準的な経済理論では、技術進歩は単に外生的に生じるものと仮定することが多いが、本稿で論じたものも含め、様々なメカニズムを通じた内生的な技術進歩の可能性を明示的に考慮することにより、例えば本稿で紹介した技術進歩の偏りの計測結果も、よりの確に解釈することが可能になると考えられる。第2に、本稿ではエネルギー価格変動の企業の生産活動への影響を中心に考察したが、経済全体への影響やマクロ的な政策対応等についてさらに踏み込んだ議論をするためには、家計の需要を通じた影響を含めたより包括的な考察が必要となる。そのためには、一般均衡的な枠組みでの分析が有用となるが、現在の標準的な動学的一般均衡モデルでは、本稿で考察したような一般的な生産関数や、生産要素間の代替可能性が時間を通じて変わるメカニズムなどは、明示的に考慮されることは少ない。省エネ技術や資源・環境問題が今後ますます重要になる可能性が高い中、標準的な経済理論の前提を超えた分析がより求められるようになってくると思われる。

【補論1】資源輸入国への資源高の影響（理論的背景）

以下では、本文3節で論じた、資源価格の持続的な上昇が資源輸入国の生産活動に及ぼす影響について、その理論的背景を「等量曲線」を用いて説明する²⁶。

まず、エネルギー資源 N とそれ以外の生産要素 X （労働・資本）から産出量 Q が決まるような生産関数 $Q = Q(X, N)$ を考える。等量曲線とは、 (X, N) の平面上で、一定の産出量を産み出すための要素投入量の組み合わせを表した、いわば生産関数の等高線である。本文3節で述べたように、短期的には生産要素間の代替が難しいと考えられることから、最初に極端なケースとして、代替が全く不可能な生産関数を考える。この場合、等量曲線は補論図1にある太線ののようなL字型となる。

いま、補論図1のA点で生産が行なわれていたとする。L字型の等量曲線のもとでは、各生産要素の投入係数 X/Q 、 N/Q および投入比率 X/N は固定されており、どちらかの生産要素だけの投入量を増やしても産出量は変わらない。両方の生産要素を同じ比率だけ増やしたり減らしたりすると、産出量が同率で変動し、等量曲線も右上または左下にシフトすることになる。



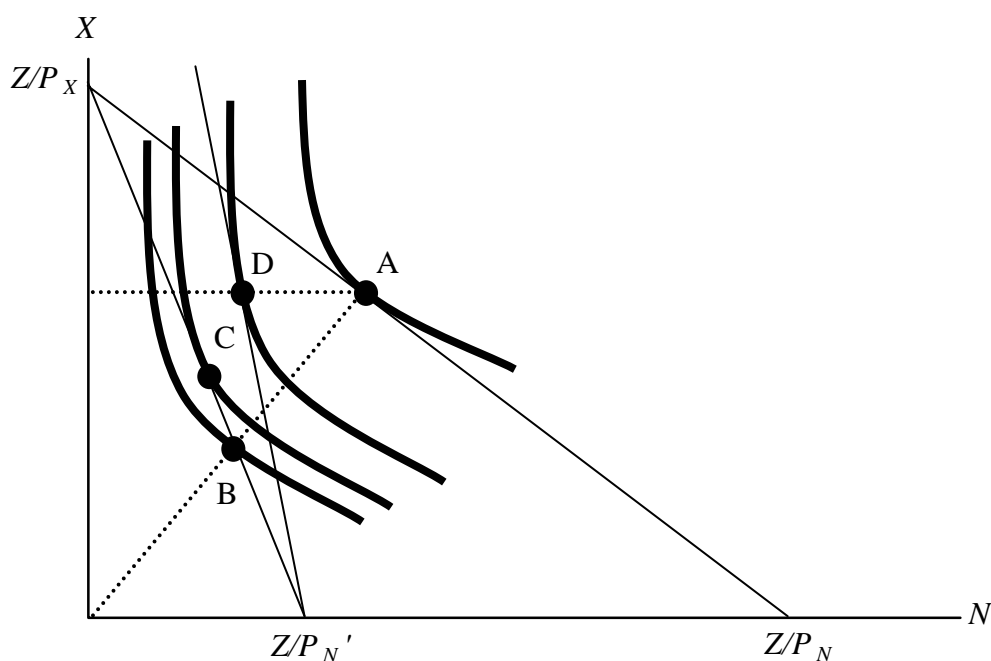
【補論図1】短期的な等量曲線

²⁶ 「等量曲線」については、例えば奥野・鈴木 [1985]などを参照。また、等量曲線と双対の関係にある「要素価格フロンティア」を用いた、資源価格上昇の影響についての分析は、Bruno and Sachs [1985]で示されている。

一方、A点で等量曲線と接している「等費用線」は、生産要素の投入価格(P_X, P_N)を所与として、投入費用 $Z = P_X X + P_N N$ が一定となるような要素投入量の組み合わせを表したものである。一定の産出量のもとで投入費用を最小化する要素投入量の組み合わせは、A点のように等量曲線が等費用線と接する点で表される。

ここで、エネルギー価格が P_N から P'_N に上昇したとしよう。投入費用を Z のまま維持するような要素投入量の組み合わせを表す等費用線は、元の等費用線から左下にシフトしたものとなる。仮に企業が投入費用を維持するように要素投入量を決めるとすると²⁷、要素投入量の組み合わせは新しい等費用線上のB点となり、エネルギー価格上昇前のA点と比べて、産出量と両方の生産要素の投入量は、いずれも減少することになる(3節の結論に対応)。

次に、3節で述べたように、中期的にはエネルギーから労働や資本への代替が可能になっていくと考えられることから、生産要素間の代替可能性を許容した生産関数を考える。この場合の等量曲線は、補論図2にあるような滑らかな



【補論図2】中期的な等量曲線

²⁷ 利潤最大化の観点からは、企業は限界収入(産出価格)と限界費用が等しくなるように、産出量および投入費用を決めると考えられるが、ここで考えている生産関数では、限界費用が常に一定となるため、最適な産出量の水準が一意に決まらない。なお、資源価格の上昇を産出価格にある程度転嫁できるような場合には、企業は投入費用の増加を許容し、産出量をあまり減らさない可能性も考えられる。

な曲線となる²⁸。

先と同様に、企業はエネルギー価格が P'_N に上昇した後も、投入費用を Z のまま維持するように要素投入量を決めると仮定すると、要素投入量の組み合わせは、等費用線が等量曲線と接する C 点となる。短期的な影響を受けた後の B 点（補論図 1 の B 点に対応）と比べると、 C 点で接する等量曲線は B 点を通る等量曲線より右上に位置しており、産出量がある程度回復している。このとき、エネルギー投入量 N がさらに減少する一方で、労働や資本の投入量 X は増加している。

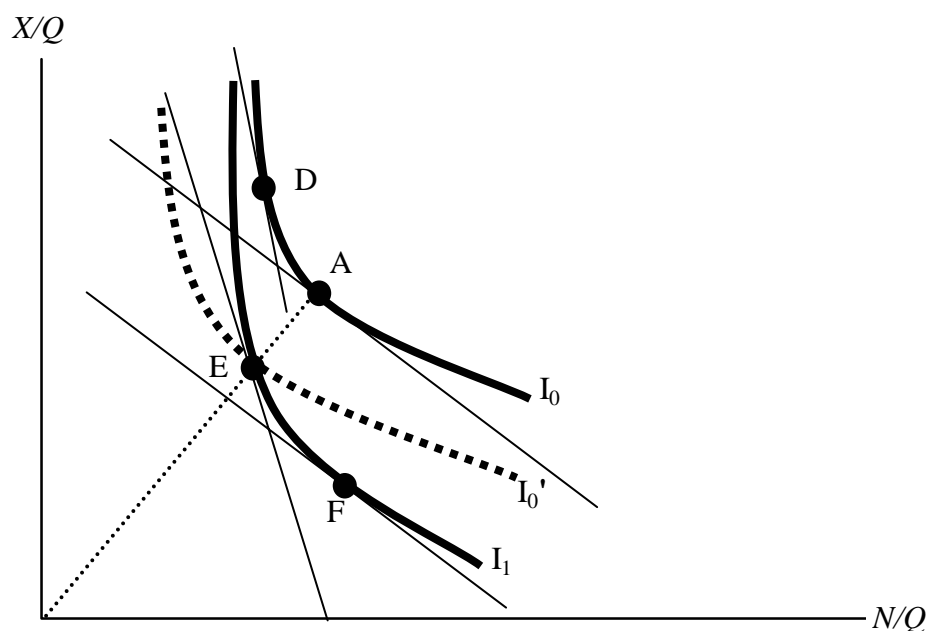
もっとも、エネルギー価格上昇前の A 点と比べると、 C 点では、産出量も労働や資本の投入量も回復していない。仮に、 A 点において労働や資本が経済全体でフル稼働していたとすると、 C 点では、 A 点における投入量との差の分だけ、失業や遊休資本が生じていることになる。このとき、生産要素間の代替が可能になっていく中期的なタイムスパンでは、同時に賃金や資本レンタルコストの調整（低下）が生じると考えられる。エネルギー価格が引き続き P'_N の水準に高止まっていたとしても、労働や資本の投入価格 P_X が低下すると、等費用線は再び右上にシフトする。失業や遊休資本が解消するまで賃金や資本レンタルコストの調整が進んだ場合、要素投入量の組み合わせは、 D 点に移動することになる。この D 点では、要素価格の調整などに伴う生産要素間の代替（中期的調整）の過程が完了し、労働と資本の投入量は、エネルギー価格上昇前の水準まで回復しており、付加価値（実質 GDP）も回復している。

ただし、 D 点ではエネルギー投入量が減少したままである分、産出量はエネルギー価格上昇前の A 点よりも依然低い水準にある。しかし、3 節 で述べたように、上記の中期的な調整過程の間に、技術進歩の促進による全要素生産性（TFP）の上昇といった長期的な対応も始まると考えられる。TFP の上昇は、生産関数自体の上方シフトを意味するので、それぞれの等量曲線に対応する産出量の増加を意味する。従って、例えば D 点の要素投入量の組み合わせにおいても、TFP が上昇すれば、産出量はエネルギー価格上昇前の水準を超えて増加していく可能性がある。

TFP 上昇の影響をより分かりやすく図示するため、補論図 3（次頁）のように、 (X, N) のそれぞれを産出量で除した $(X/Q, N/Q)$ の平面上に、産出量 1 単位当たりに必要な X と N の投入量の組み合わせを表した「単位等量曲線」を描いてみる。生産関数が規模に関して収穫一定であれば、TFP の変化による生産関数のシフトが生じない限り、すべての等量曲線は 1 本の単位等量曲線に集

²⁸ 補論図 2 では、生産要素間の代替が可能になってからは生産関数の形は変わらないことを前提に等量曲線を描いているが、実際には、中期的な調整過程の間に、要素間代替が可能になっていくにつれて、生産関数の形も徐々に滑らかになっていくものと考えられる。

約される。従って、例えばエネルギー価格が上昇する前後の中期的均衡を表した補論図2のA点とD点は、補論図3では同じ単位等量曲線 I_0 の上に描かれることになる。それぞれの点における単位等量曲線との接線の傾きは、2つの生産要素間の相対価格 $-P_N/P_X$ に対応しており、単位等量曲線上でのA点からD点への移動は、エネルギー価格上昇による相対価格の変化に対応して生産要素の投入比率 N/X が変化したということを示している。



【補論図3】単位等量曲線

補論図3において、TFPの上昇は、産出量1単位当たりに必要な要素投入量が少なくて済むようになることを意味するので、単位等量曲線の左下方へのシフトとして表される。原点に向かって相似縮小的な単位等量曲線のシフト($I_0 \rightarrow I_0'$)は、生産要素間の相対価格が変化しない限り、投入比率や分配率も変化しないことになり、「中立的な技術進歩」を意味する²⁹。これに対し、単位等量曲線を時計回りに回転させるような偏りを持ったシフト($I_0 \rightarrow I_1$)は、相対価格が変化しなければエネルギーの投入比率を増加させ(A点→F点)、投入比率が変化しないためにはエネルギーの相対価格が上昇する(A点→E点)ことが前提となるので、いずれにしてもエネルギーへの分配率を上昇させる傾向をもち、「エネルギー使用的な技術進歩」を意味する。このような技術進歩が続くもとは、エネルギーの相対価格が下がって投入比率が上がるほど、つまり単位等量曲線 I_1

²⁹ 厳密には、「ヒックスの意味で中立的な技術進歩」と呼ばれる。3節の脚注15で紹介した Hicks [1932] を参照。

上で右下の方の点で投入量が決まるほど、技術進歩によってTFPが上昇する効果は拡大する。逆に、エネルギーの相対価格が上がって投入比率が下がると、技術進歩の効果は縮小する³⁰。一方、エネルギーへの分配率を低下させるような傾向をもつ「エネルギー節約的な技術進歩」(補論図3には描かれていないが、単位等量曲線を反時計回りに偏らせるようなシフト)のもとでは、エネルギーの相対価格が上がって投入比率が下がると、技術進歩の効果は拡大する(逆のときは逆)。このため、長期的には企業が技術進歩の傾向をある程度選択できるとすると、資源高が続くことが予想される場合には、それに伴って技術進歩の効果が拡大するような、エネルギー節約的な技術進歩に切り替えていくと考えられる。

³⁰ 補論図3において、単位等量曲線が I_0 から I_1 にシフトしてA点からF点に移動した場合のTFPの変化のうち、A点からE点への移動は、中立的な技術進歩によるTFPの上昇分に相当し、E点からF点への移動は、エネルギー使用的な技術進歩のもとでのエネルギー投入比率の上昇に伴うTFPの上昇分に相当する。後者の部分は、技術進歩の偏りの方向(使用的なか節約的なか)と、生産要素間の相対価格ないし投入比率の変化の方向によっては、TFPを上昇させることにも低下させることにもなり得る。

【補論 2】技術進歩の偏りの計測

以下では、本文 4 節で紹介したFukunaga and Osada [2009] における技術進歩の偏りの計測方法について、具体的な推計モデルや推計方法を解説する³¹。

(トランスログ型価格関数)

Fukunaga and Osada [2009] では、技術進歩の偏りを計測するため、多くの先行研究と同様に、トランスログ型価格関数を推計している。価格関数は、完全競争・規模に関して収穫一定などの仮定の下で生産関数と「双対」な関係にあるため、生産関数を推計することと同じ意味をもつ³²。また、トランスログ型関数とは 2 階微分可能な任意の一般的関数の近似式であり、トランスログ型価格関数は以下の式で表される。

$$\ln P_{Yt} = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_{it} + \alpha_t \cdot t + \frac{1}{2} \sum_{i,k} \beta_{ik} \ln P_{it} \ln P_{kt} + \sum_i \beta_{it} \ln P_{it} \cdot t + \frac{1}{2} \beta_{tt} \cdot t^2 \dots (1)$$

ここで、 P_Y は生産物価格、 P_i は要素価格、 i, k は任意の生産要素、 t は時間および技術水準を表す。上式において、 $\beta_{ik} = 0$, $\beta_{it} = 0$, $\beta_{tt} = 0$ とすれば、コブ・ダグラス型生産関数に対応した価格関数となる。

完全競争・規模に関して収穫一定の仮定の下では、投入要素 i の分配率は、以下のように、式 (1) の価格関数を $\ln P_{it}$ で偏微分したものに等しくなる³³。

$$v_t^i \equiv \frac{P_t^i X_t^i}{P_{Yt} Y_t} = \alpha_i + \sum_k \beta_{ik} \ln P_{kt} + \beta_{it} \cdot t \dots (2)$$

また、式 (2) をさらに $\ln P_{kt}$ で偏微分 (価格関数 (1) を 2 階偏微分) して得られる β_{ik} は、シェア弾性値 (生産要素 k の価格が 1 % 変化した場合に生産要素 i の分配率が何 % 変化するか³⁴) を表す。なお、コブ・ダグラス型生産関数では、分配率は α_i で一定 (式 (2) の右辺第 2 項・第 3 項がゼロ)、シェア弾性値は常

³¹ より詳細な解説は、Fukunaga and Osada [2009] を参照されたい。

³² 生産関数においては、データの取り扱い (生産要素の投入量がゼロの場合など) に技術的困難があることなどから、価格関数の方が推計するには便利であるとされている。

³³ シェパードの補題 (価格関数を要素価格で偏微分したものは要素需要と一致) から導かれる。

³⁴ シェア弾性値は、投入要素間における代替の弾力性とも密接に関係している。

にゼロとなる。

(推計方法)

技術進歩の偏りは、上述の「トランスログ型価格関数：式(1)」と「分配率関数：式(2)」をシステム推計することによって計測される。多くの先行研究では、単純に t を固定的なタイム・トレンドとみなし、 β_{ik} 、 β_{it} 、 β_{tt} などの固定パラメータを推計しているが、Fukunaga and Osada [2009] では、Jin and Jorgenson (2008) に倣い、以下で定義する可変パラメータ f_{it} と f_t を潜在変数とした状態空間モデルを構築し、カルマンフィルターによって推計している。

$$f_{it} \equiv \beta_{it} \cdot t \quad , \quad f_t \equiv \alpha_t \cdot t + \frac{1}{2} \beta_{tt} \cdot t^2$$

ここで、 f_{it} は生産要素 i への技術水準の偏り(分配率 v_t^i への影響)を表し³⁵、 $\Delta f_{it} > 0$ のとき使用的技術進歩、 $\Delta f_{it} < 0$ のとき節約的技術進歩となる。これらを用いて、価格関数と分配率関数は以下のように書き換えられる。

$$\ln P_{Yt} = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_{it} + \frac{1}{2} \sum_{i,k} \beta_{ik} \ln P_{it} \ln P_{kt} + \sum_i \ln P_{it} \cdot f_{it} + f_t$$

$$v_t^i = \alpha_i + \sum_k \beta_{ik} \ln P_{kt} + f_{it}$$

なお、推計の際には、モデルの1次同次性、単調性、対称性、擬凹性などの制約($\sum_i \alpha_i = 1$ 、 $\sum_i \beta_{ik} = 0$ 、 $\sum_i f_{it} = 0$ など)をかけて、推計するパラメータの数をある程度削減する。また、説明変数の内生性の可能性を考慮し、操作変数を用いて推計する。

(技術進歩の偏りのTFPへの影響)

可変パラメータを持つトランスログ型価格関数において、TFPの変化率は以下のように表される³⁶。

$$\Delta \ln TFP_t = - \sum_i \ln P_{it} \cdot \Delta f_{it} - \Delta f_t$$

右辺第1項は、技術進歩の偏りがTFP変化率に影響を及ぼす部分である。技術進歩の偏りが生産要素 i に関して使用的($\Delta f_{it} > 0$)で、他の生産要素 k に

³⁵ 図表3(1)で示されているのは、各生産要素の技術水準の偏り f_{it} の推移である。

³⁶ 下式のTFP変化率は、価格関数(1)を t で偏微分してマイナスをかけることによって得られる。

関して節約的 ($\Delta f_{kt} < 0$) な場合、生産要素 i の投入価格 P_{it} が他の生産要素 k の投入価格 P_{kt} と比べて相対的に上昇 (下落) すると、TFP 上昇率に対してマイナス (プラス) の影響を及ぼす。一方、右辺第 2 項 ($-\Delta f_t$) は、中立的な技術進歩を表す。

(技術進歩の偏りの平均生産性への影響)

生産要素 i の平均生産性 (労働生産性やエネルギー生産性) の変化率は、以下のように分解することができる。

$$\begin{aligned}\Delta \ln Y_t - \Delta \ln X_{it} &= \Delta \ln TFP_t + \sum_k v_t^k (\Delta \ln X_{kt} - \Delta \ln X_{it}) \\ &= \Delta \ln TFP_t + \sum_k v_t^k \left(1 + \frac{\beta_{ik}}{v_t^i v_t^k} \right) (\Delta \ln P_{it} - \Delta \ln P_{kt}) - \frac{\Delta f_{it}}{v_t^i}\end{aligned}$$

1 行目の式は、生産要素 i の平均生産性の変化が、TFP 変化率 (右辺第 1 項) と、生産要素 i に対する他の生産要素 k の投入比率の変化、すなわち他の生産要素への代替 (右辺第 2 項) に分解できることを表している。2 行目の式は、をさらに、生産要素 i の他の生産要素 k に対する相対価格の上昇による効果 (右辺第 2 項) と、生産要素 i への節約的な技術進歩の効果 (右辺第 3 項) に分解できることを表している³⁷。

³⁷ 右辺第 2 項の $(1 + \beta_{ik}/v_t^i v_t^k)$ は、生産要素 i と生産要素 k の間の「(アレクサンダー = 宇沢の意味での) 代替の弾力性」を表している。

参考文献

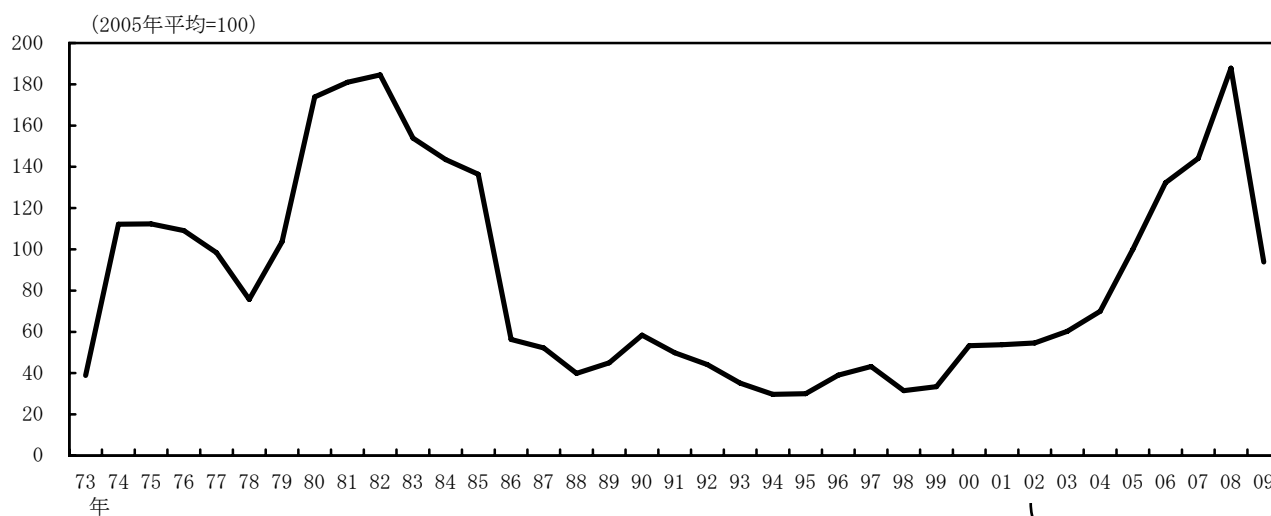
- 一上響・代田豊一郎・関根敏隆・笛木琢治・福永一郎、「潜在成長率の各種推計法と留意点」、日銀レビュー、09-J-13、2009年
- 奥野正寛・鈴木興太郎、『ミクロ経済学』、岩波書店、1985年
- 川本卓司・笛木琢治、「近年の原油価格の変動要因について 構造 VAR による試算」、日銀レビュー、09-J-3、2009年
- 黒田昌裕、『一般均衡の数量分析』、岩波書店、1989年
- 中島清三、「トランスログ関数によるマクロ経済の実証分析」、佐和隆光・中島清三・大山達雄・森俊介・和合肇・片岡正憲・Dale J. Poirier、『エネルギー需給の計量分析』、第2章、研究シリーズ第40号、経済企画庁経済研究所（現・内閣府経済社会総合研究所）1983年
- 室田泰弘、『エネルギーの経済学』、日本経済新聞社、1984年
- Acemoglu, Daron, “Directed Technical Change,” *Review of Economic Studies*, 69(4), 2002, pp. 781-809.
- Acemoglu, Daron, *Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton: Princeton University Press, 2009.
- Bruno, Michael, and Jeffrey D. Sachs, *Economics of Worldwide Stagflation*, Cambridge: Harvard University Press, 1985.
- Finn, Mary G., “Perfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity,” *Journal of Money, Credit, and Banking*, 32(3), 2000, pp. 400-416.
- Fukunaga, Ichiro, Naohisa Hirakata, and Nao Sudo, “The Effects of Oil Price Changes on the Industry-Level Production and Prices in the U.S. and Japan,” IMES Discussion Paper 2009-E-24, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan; also in NBER Working Paper (forthcoming).
- Fukunaga, Ichiro, and Mitsuhiro Osada, “Measuring Energy-Saving Technical Change in Japan,” Bank of Japan Working Paper 2009-E-5.
- Griffin, James M., and Paul R. Gregory, “An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Response,” *American Economic Review*, 66(5), 1976, pp. 845-857.
- Hicks, John R., *The Theory of Wages*, London: Macmillan, 1932.
- Hotelling, Harold, “The Economics of Exhaustible Resources,” *Journal of Political Economy*, 39(2), 1931, pp. 137-175.

- Jin, Hui, and Dale W. Jorgenson, "Econometric Modeling of Technical Change," Harvard University, 2008.
- Jorgenson, Dale W. and Zvi Griliches, "The Explanation of Productivity Change," *Review of Economic Studies*, 34(3), 1967, pp. 249-283.
- Kilian, Lutz, "Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market," *American Economic Review*, 99(3), 2009, pp. 1053-1069.
- Kuroda, Masahiro, Kanji Yoshioka, and Dale W. Jorgenson, "Relative Price Changes and Biases of Technical Change in Japan," *Economic Studies Quarterly*, 35(2), 1984, pp. 116-138.
- Sachs, Jeffrey D. and Andrew M. Warner, "Natural Resource Abundance and Economic Growth," NBER Working Paper, No. 5398, 1995.
- Shioji, Eturo, and Taisuke Uchino, "Pass-Through of Oil Prices to Japanese Domestic Prices," NBER Working Paper (forthcoming).
- Solow, Robert M., "The Economics of Resources or the Resources of Economics," *American Economic Review*, 64(2), 1974, pp. 1-14.

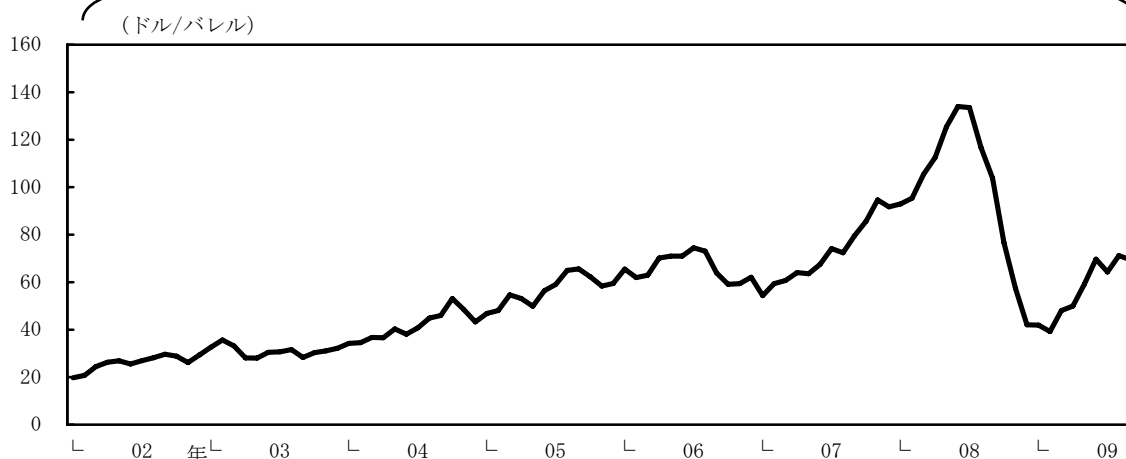
原油価格とその背景

(1) 原油価格

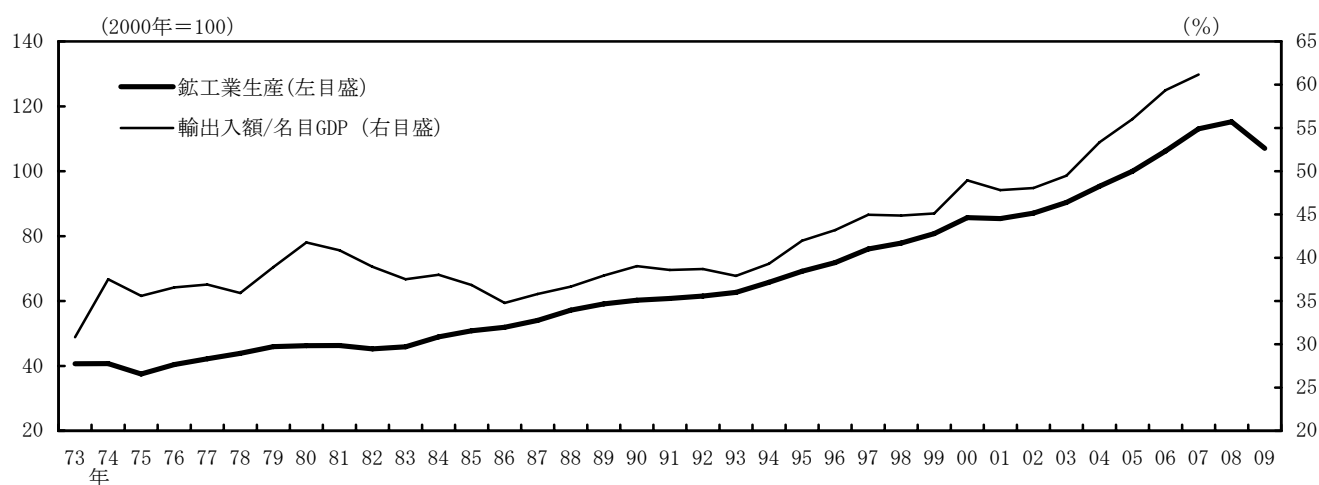
①実質原油価格 (73年～09/9月まで)



②足もとの原油価格 (WTI原油価格 : 02/1月～09/9月まで)



(2) 世界の鉱工業生産と輸出入額対名目GDP比率



(注1) (1) ①の実質原油価格は、通関原油価格をCPI総合(05年基準)で除したもの。09年は9月までの平均。

(注2) (1) ②は、WTI原油価格の月中平均。

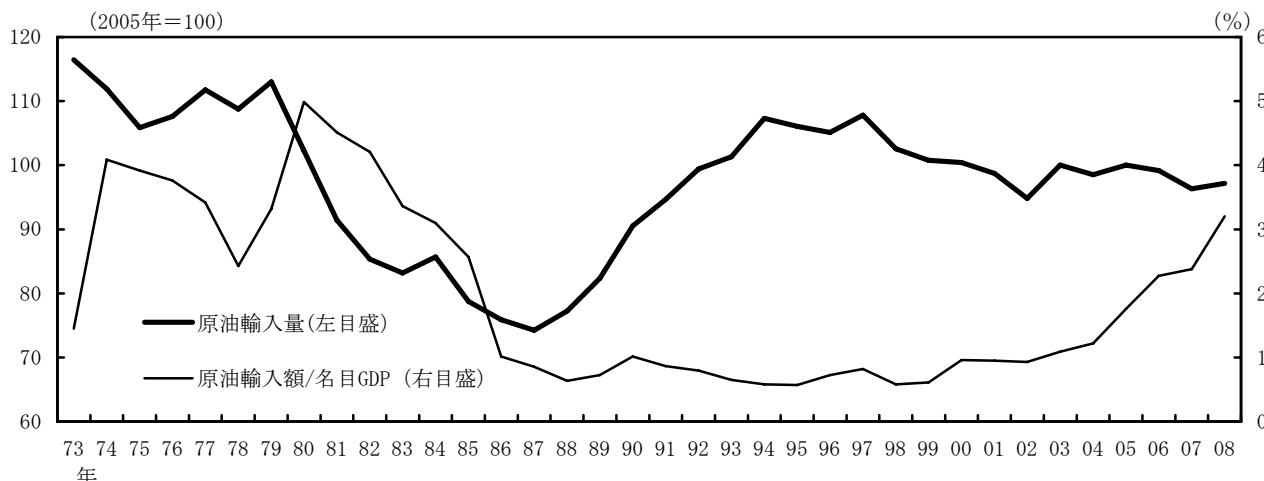
(注3) (2) の輸出入額対名目GDP比率は、70年からデータが入手可能な181カ国ベース。

鉱工業生産はOECD加盟国に主要新興国(ブラジル・中国・インド・インドネシア・ロシア・南アフリカ)を加えたベースで、09年は7月までの平均。

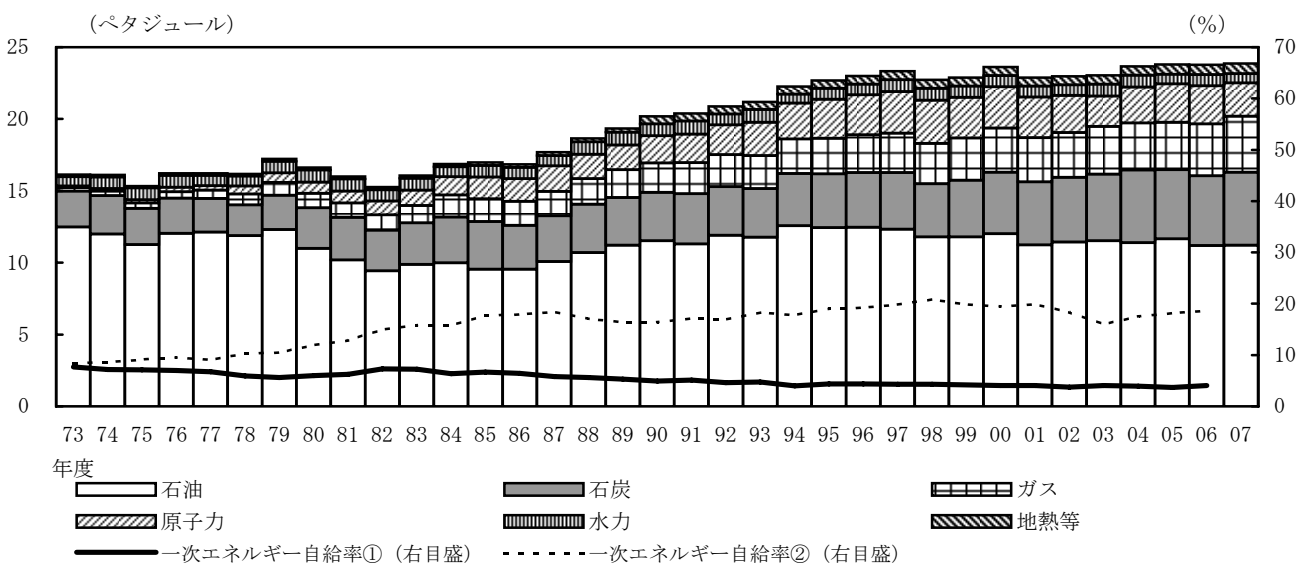
(資料) 財務省「貿易統計」、総務省「消費者物価指数」、国連統計、OECD等

日本の原油輸入量と一次エネルギー総供給

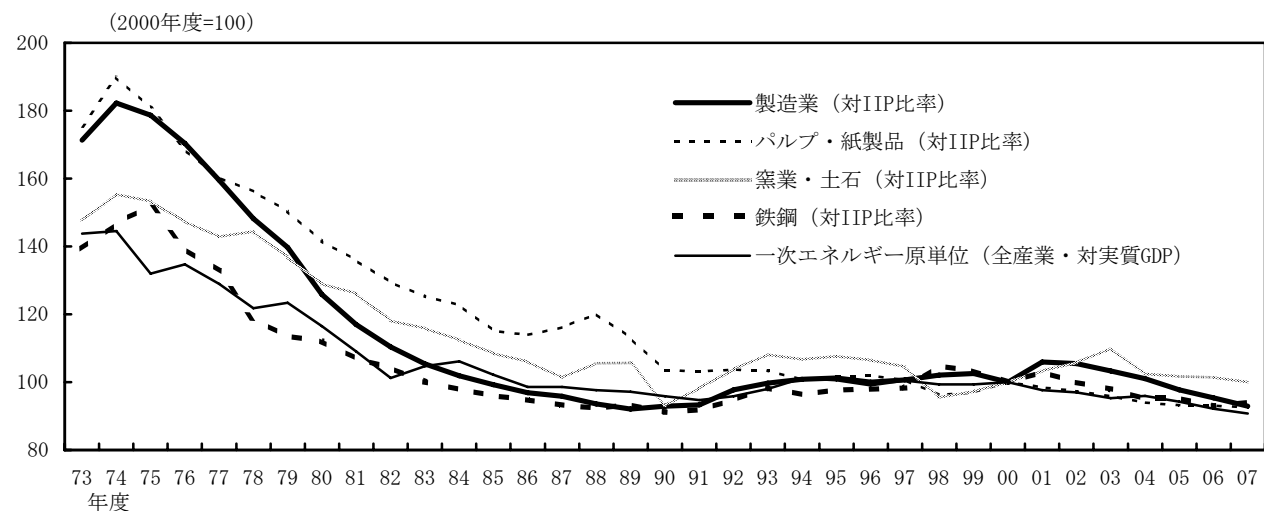
(1) 日本の原油輸入量と原油輸入額対名目GDP比率



(2) 一次エネルギー総供給 (熱量単位)



(3) エネルギー原単位



(注1) 一次エネルギー総供給＝一次エネルギー国内産出＋輸入、一次エネルギー原単位＝一次エネルギー総供給/実質GDP

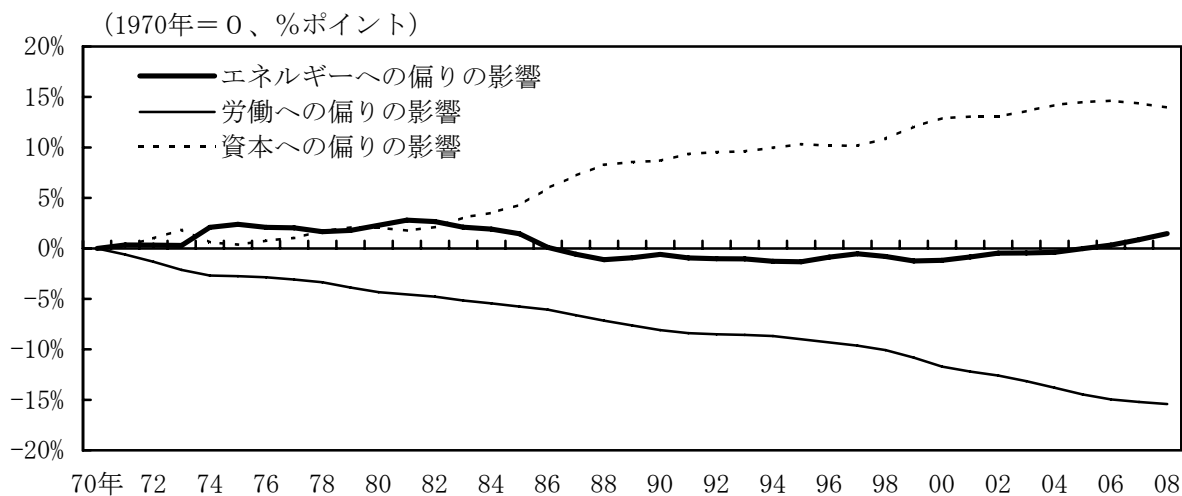
(注2) 一次エネルギー自給率は、一次エネルギー総供給に対する国内産出一次エネルギーの比率。①は、水力・地熱・石炭・天然ガスエネルギーの一次エネルギー総供給に対する比率。なお、②は国内産出一次エネルギーに準国産エネルギーとして位置付けられている原子力エネルギーを加えたベース。

(注3) 総合エネルギー統計は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されているため断層が生じている。

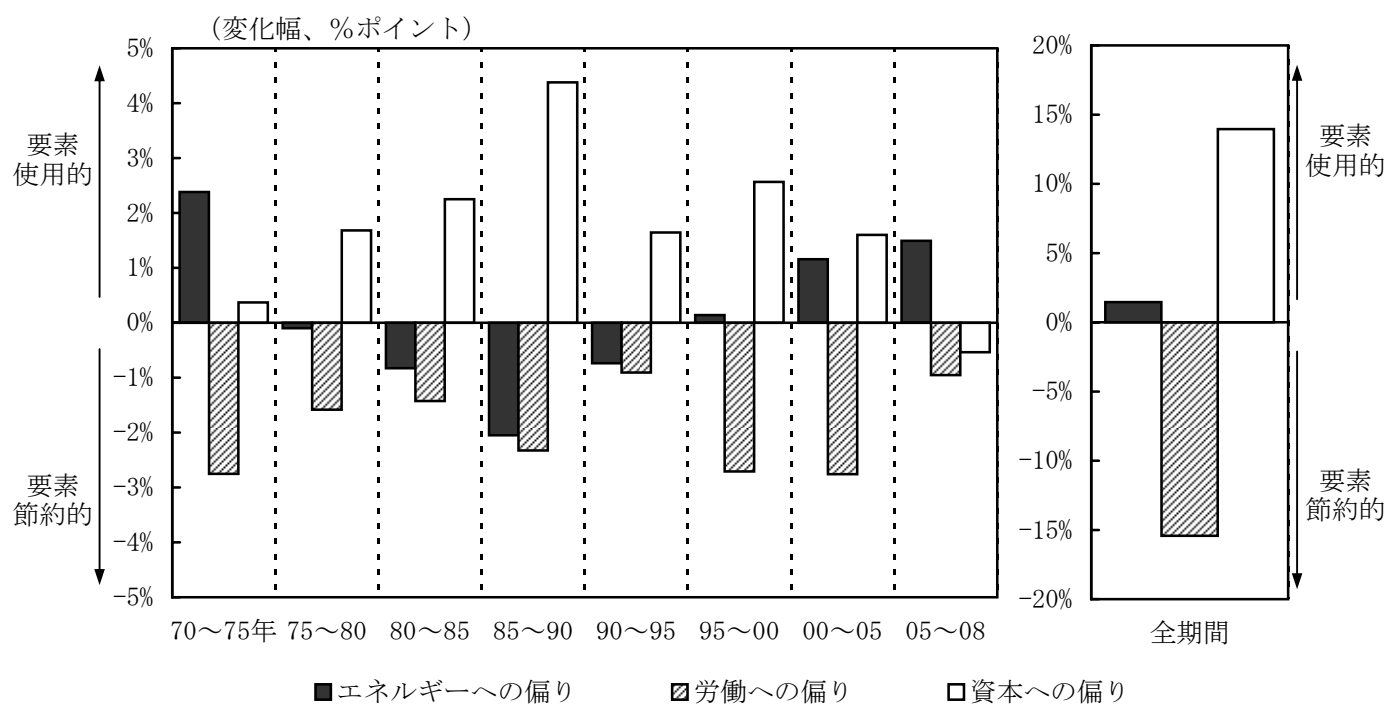
(資料) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、経済産業省「鉱工業生産指数」、内閣府「国民経済計算」財務省「貿易統計」、IEA「Energy Balance of OECD Countries」

各生産要素への技術進歩の偏り

(1) 各生産要素の分配率への技術進歩の偏りの影響



(2) 技術進歩の偏り (5年ごとの変化幅)



(3) 推計された弾性値

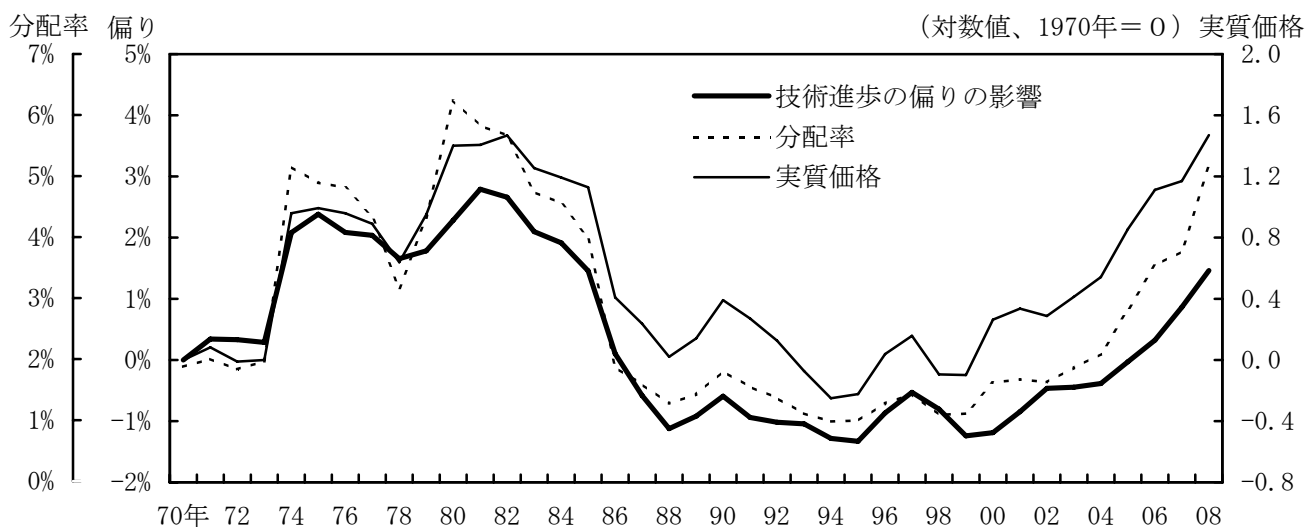
推計されたシェア弾性値		代替の弾力性			
β_{KK}	0.1221 [0.0165]**	β_{KL}	-0.1148 [0.0158]**	σ_{KL}	0.5110
β_{LL}	0.1128 [0.0192]**	β_{KN}	-0.0073	σ_{KN}	0.2207
β_{NN}	0.0053	β_{LN}	0.0019	σ_{LN}	1.1855

(注) **は1%有意水準を表す。

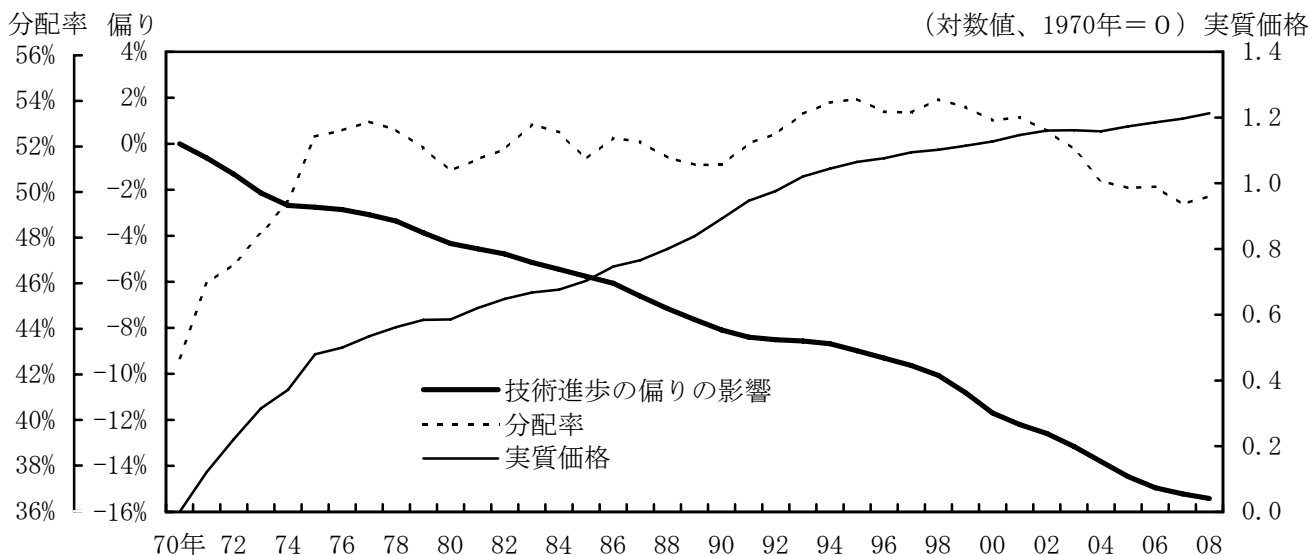
β はシェア弾性値、 σ は代替の弾力性を示す(詳しくは補論2を参照)。
 なお、添え字のKは資本、Lは労働、Nは輸入エネルギー資源を表す。

各生産要素への技術進歩の偏りと分配率、要素価格

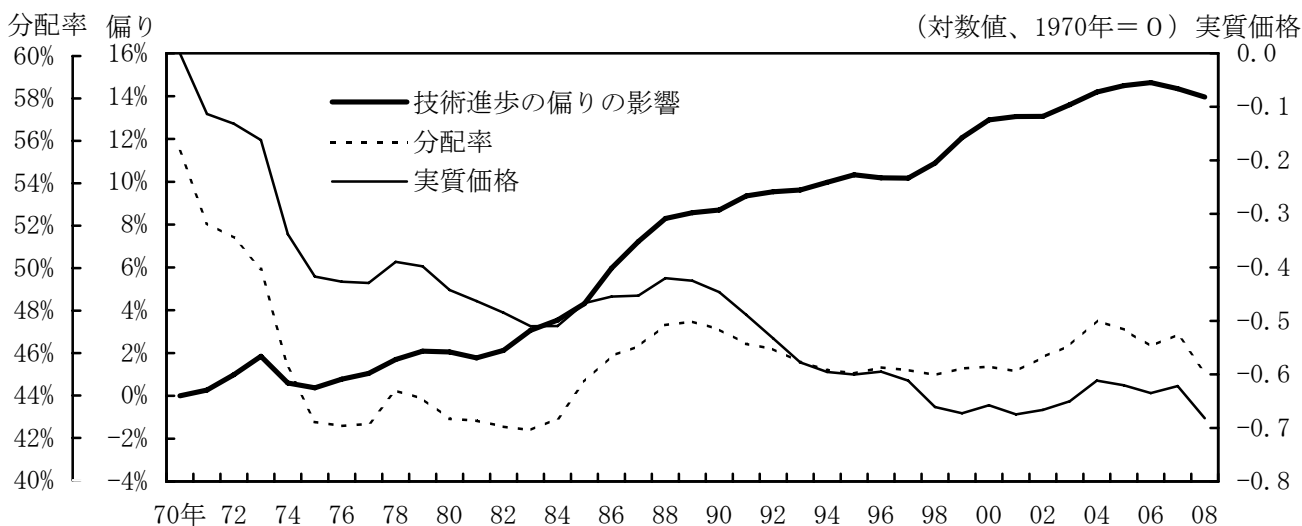
(1) エネルギー



(2) 労働

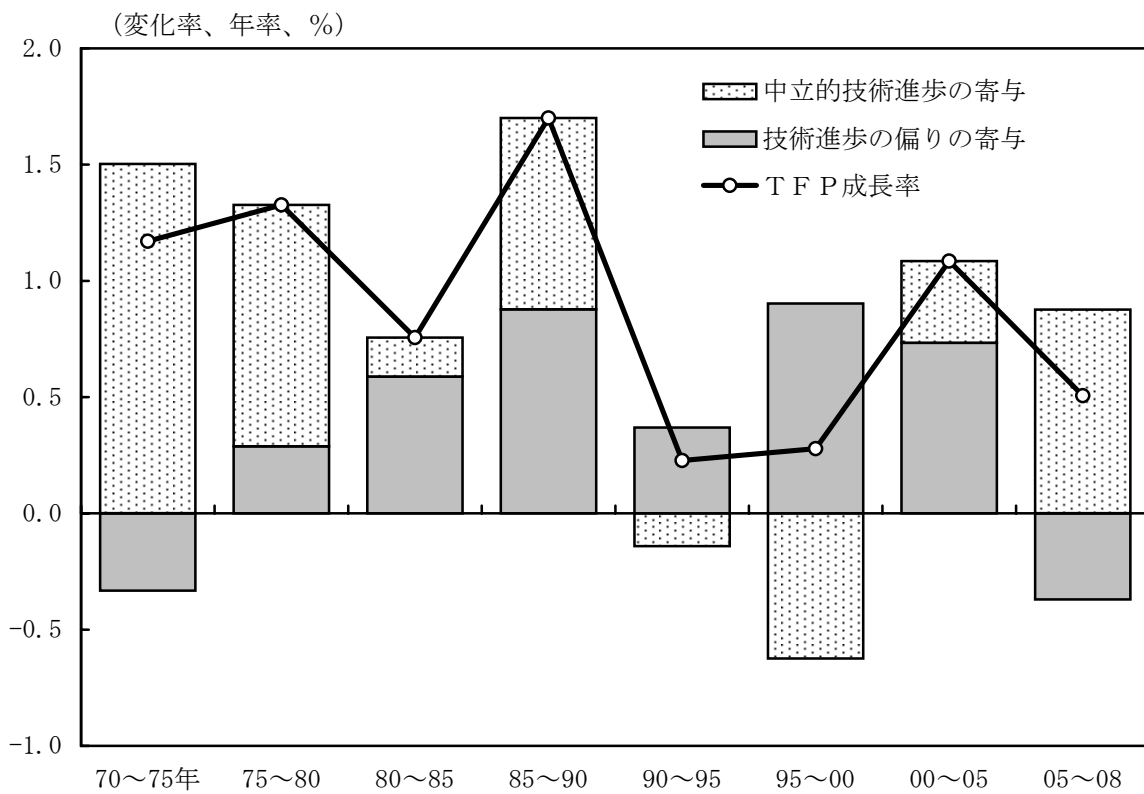


(3) 資本

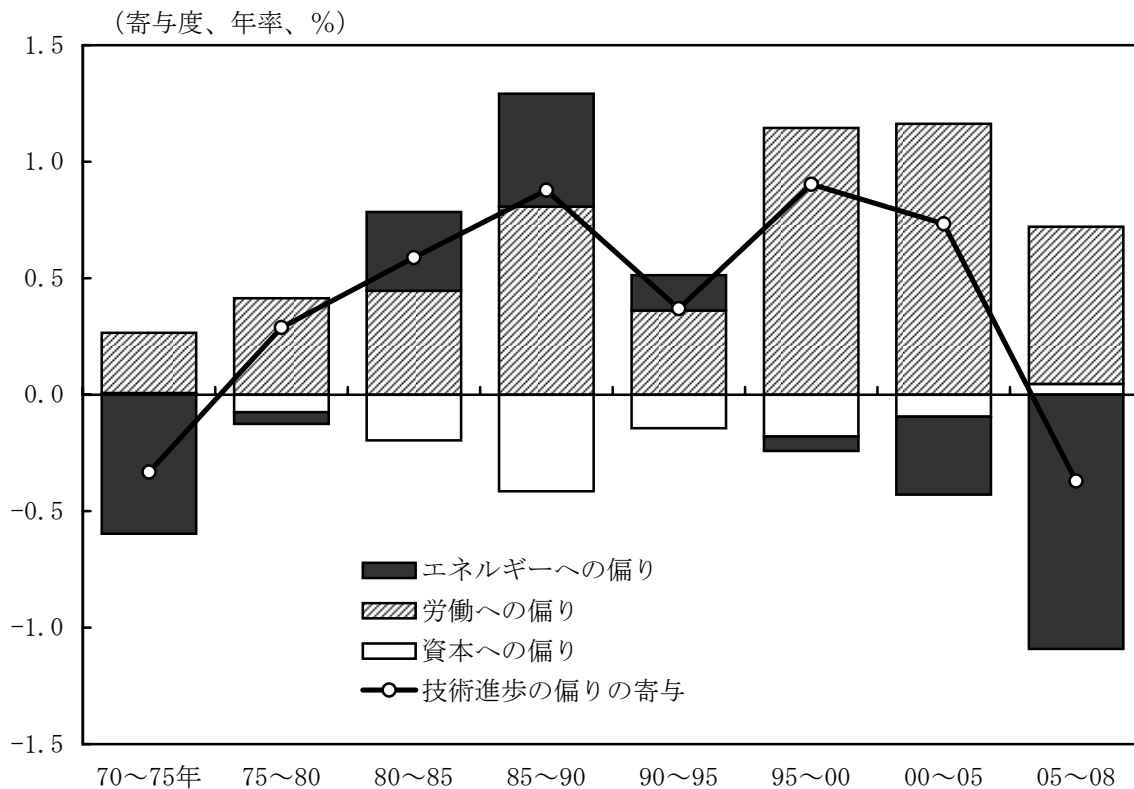


技術進歩の偏りのTFPへの影響

(1) TFPの要因分解



(2) 技術進歩の偏りのTFPへの寄与の要因分解

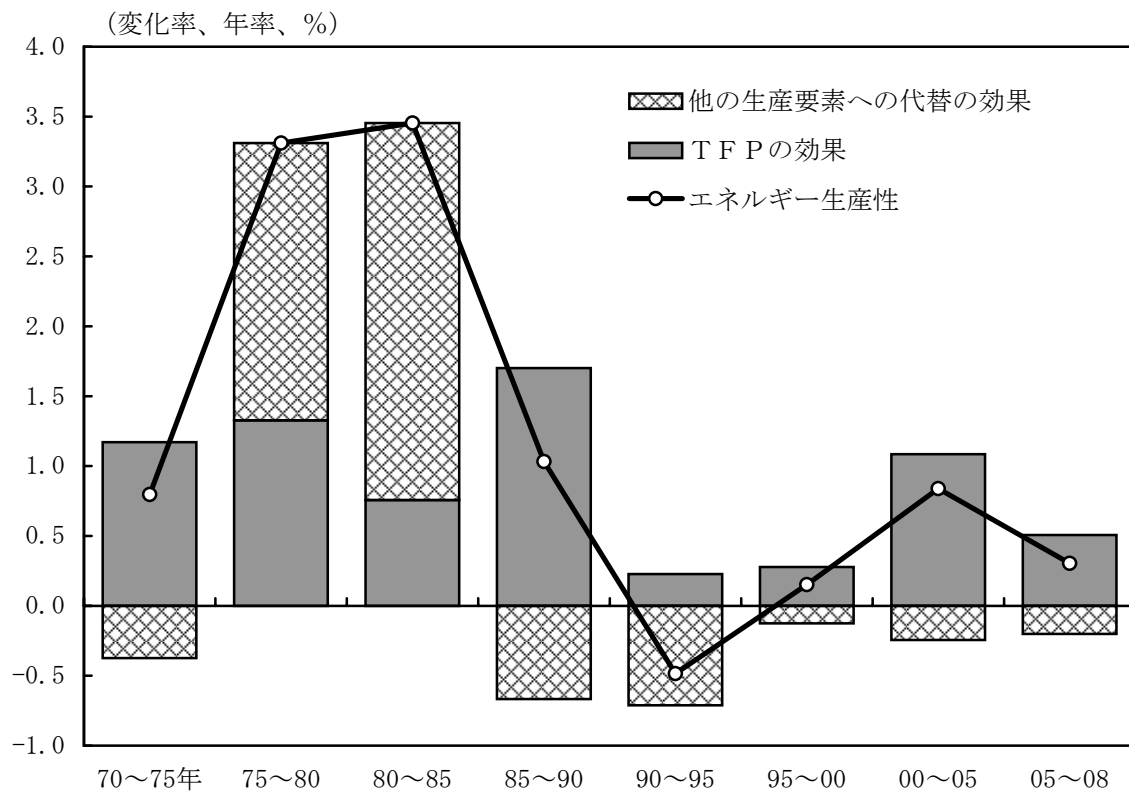


(注) 要因分解の方法は、補論2を参照。

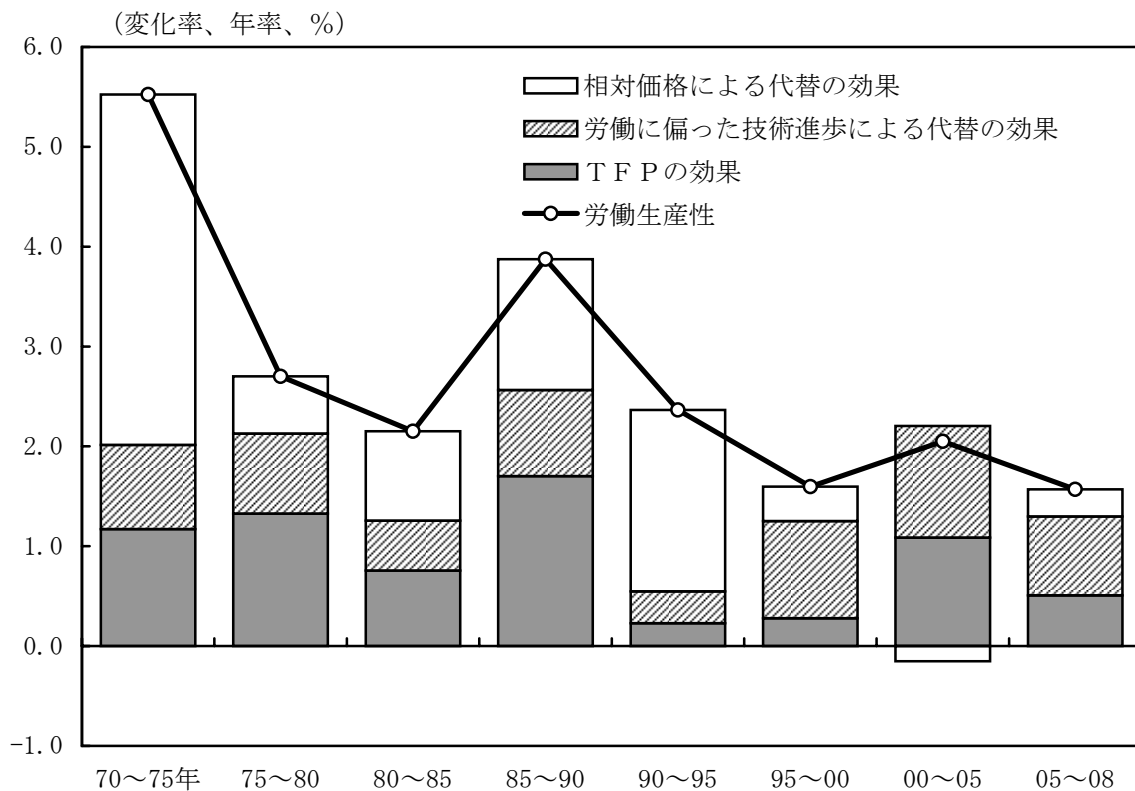
なお、(1)で示された中立的技術進歩の寄与には、推計誤差の影響等も含まれる。

技術進歩の偏りの平均生産性への影響

(1) エネルギー生産性の要因分解



(2) 労働生産性の要因分解



(注) 要因分解の方法は、補論2を参照。