

DBJ Research Center on Global Warming  
Discussion Paper Series No. 61 (3/2018)

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—

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。

# 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

野村浩二†

慶應義塾大学 産業研究所

2018年3月（2018年10月改訂\*）

## 概要

本稿は 1885–2016 年における日本経済の長期エネルギー生産性の推移を概観しながら、とくに第 II 期：高度経済成長期（1955–73 年）、第 III 期：オイルショック後（1973–90 年）、第 IV 期：ポストバブル経済期（1990–2008 年）、そして第 V 期：ポスト世界金融危機（2008–16 年）の 4 期間において、電力化の進行などエネルギー品質の変化や、産業構造の変化を明示的に考慮に入れたうえでのエネルギー生産性を測定し、その産業起因を分析することを目的としている。マクロレベルでの見かけ上の生産性改善の黄金期は第 III 期にみられるものの、エネルギー品質や産業構造の変化を統御すれば、生産性改善のピークはむしろ第 II 期であり、エネルギー多消費産業が相対的に拡大しながらもエネルギー生産性の改善を伴うものであったことが示される。第 II 期の年率 2.0% から、第 III 期には年率 1.5%、低成長となる第 IV 期では年率 0.1% へと減速するが、第 V 期においては再び年率 1.6% への回復している。しかしその要因分析によれば、それは必ずしも持続的な要因ではない。一定の仮定に基づけば将来におけるエネルギー生産性改善の予測値は年率 0.2–0.6% と予測される。

† 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）。地球環境産業技術研究機構（RITE）「地球温暖化対策技術の分析・評価に関する国際連携事業」（ALPS III）の経済分析ワーキンググループおよび技術委員会において、秋元圭吾氏（RITE システム研究グループリーダー）、小田潤一郎氏（RITE 主任研究員）、内山洋司氏（筑波大学名誉教授）、杉山大志氏（キャノングローバル戦略研究所上席研究員）、中上英俊氏（住環境計画研究所会長）、吉岡完治氏（慶應義塾大学名誉教授）より貴重なご助言を頂いている。本稿で用いられる産業別データは、慶應義塾産業研究所において構築されてきた日本の産業別生産性統計（KEO データベース）における長期時系列 SUT 表でのエネルギー分析用拡張によるものであり、データ構築・更新においては白根啓史氏（慶應義塾大学産業研究所共同研究員）の協力を得ている。ここに記して感謝したい。本稿に含まれる誤りは、著者の責任に帰する。

\* 2018 年 3 月時の推計値に対し、自家蒸気の発生・投入額の考慮とともに、「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）（2018 年 4 月 24 日改訂）、「2016 年度国民経済計算年次推計」（内閣府経済社会総合研究所）および KEO データベース（慶應義塾大学産業研究所）の改訂値の反映による遡及推計、ならびに 2016 年値を含めた更新をおこなった（2018 年 10 月）。

## 1 はじめに

エネルギー生産性をどう改善させるか。気候変動問題への取り組みが期待される世界経済において、エネルギー生産性の改善は電力の低炭素化とともに重要な政策課題として認識されている。欧州委員会（European Commission）の気候行動・エネルギー担当委員である Cañete（2016）は、温室効果ガスの排出削減、エネルギー安全保障の改善、さらには産業競争力の強化策として、エネルギー効率性の改善はもっとも費用対効果の高い手段のひとつであるとし、“efficiency first”というモットーを掲げた。EU 諸国では再エネの推進や脱原発などにより電力価格が高騰する中、2030年や2050年に向けた温室効果ガス削減における政策ターゲットの実現のため、エネルギー生産性改善に第一の優先順位を与えるものとなってきている。ドイツにおけるエネルギー大転換（Energiewende）でも efficiency firstのもと、2050年のエネルギー消費量（一次エネルギー換算値）として2008年比50%削減を目標とした。そのためのコスト負担はありながらも、エネルギーコストの削減による恩恵を考慮すれば、経済成長に対してもむしろプラスであるという。期待されるエネルギー生産性の改善、経済成長との両立は実現できるのか、再エネ推進などのさまざまなエネルギー政策との整合性も含め残された課題は多い。

日本は化石燃料などの資源に乏しく、20世紀を通じて欧米諸国に比して常に高いエネルギー価格に直面してきた。第一次オイルショックによる原油価格の高騰、気候変動問題への取り組みなど、さまざまな省エネ政策を先進諸国にならい、またときに先んじて取り組んできている。経済産業省では、数年に一度「長期エネルギー需給見通し」（Long-term Energy Supply and Demand Outlook）（以下、METI 見通し）として10年から20年ほど先のエネルギーと電力の需給予測をおこなってきた。それは合理的な予測を超え、政策ターゲットとしての性格も帯びている。1970年代や1980年代、日本経済において事後的に実現されるエネルギー・電力需要はMETI 見通しを下回る傾向にあった。言い換えれば、十分な供給力の確保を目的とするように、METI 見通しは将来需要を過大に推計する傾向があった。

1990年代後半は大きな転機となる。1997年には京都で気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）が開催され、気候変動問題への対応が重要な政策課題となったように、将来の電力供給は温室効果ガス排出抑制という政策ターゲットと不可分な性格を有するものとなる。そのことは野心的な省エネ目標を織り込んで、電力需要量のターゲットを過小に設定する誘因となる。図1は、1990年代後半以降にMETI や日本政府によっておこなわれた電力需要の見通しについて、それぞれの策定年次からの政策ターゲットとしての見通し（点線）と、その後の実績値（実線）を比較している。事後的に評価すれば、1998年から2005年までのMETI 見通しが目指すようには、現実の電力需要は減少しなかった。当時においても政府は省エネ・節電の進展を必ずしも楽観していたわけではなく、京都議定書の求める温室効果ガス排出抑制のもと、原子力や再エネなど低炭素電源の拡大によって補うことのできない排出分は、最終的に需要縮小という目標へと押し付けられてきた。合理的なベースラインと野心的な政策ターゲットとのバッファーとして、エネルギー生産性の改善目標を過大に設定するものとなった。

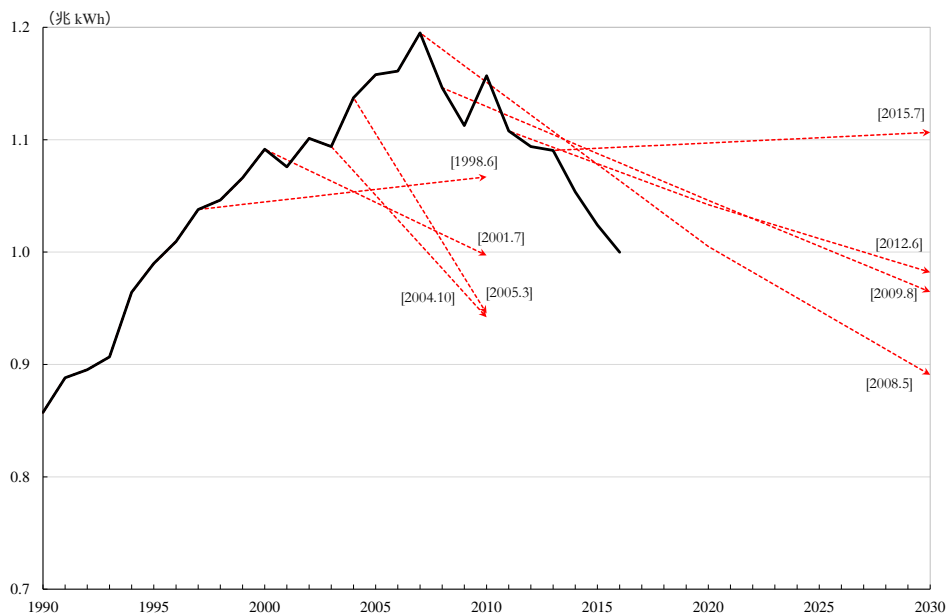


図 1: 政府による電力需要見通しと実績

もうひとつの転機は、2008 年の世界金融危機である。日本経済は戦後最大のマイナス成長を記録し、電力需要は急激に縮小した。2008 年および 2009 年の METI 見通し自体は野心的な政策ターゲットとみなされていたものの、図 1 にみるように実際の電力需要はさらに減少している。2011 年の福島事故後には、原発シェアの縮小という新たな制約が加わり、大幅な再エネの促進とともに、電力需要の縮小へより強い圧力を与えるものとなった。野心的な節電・省エネ目標は、世界金融危機からの回復と復興需要の拡大により実現困難なものとなえられることも多かったものの、そうした悲観論をよそに、現実の電力需要は政策目標を上回るスピードで減少している（図 1）。

現在の政府目標は、2016 年 7 月の METI 見通しによる。そこでは、2012 年から導入された再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) の負担が早くも年間 2 兆円を超えるなど、電力価格上昇の抑制が重要な政策課題として認識された。温室効果ガス排出制約、原発シェア縮小、そこに再エネ負担の抑制のもと、残された手段としてもう一段のエネルギー生産性改善に向けた期待が高まっている。そこでは 2030 年における電力消費見通しはほぼ横ばいとされた。これは安倍首相による経済政策（アベノミクス）によって、2030 年まで年率 1.7%ほどの成長軌道への回復を想定したことによるものである。その高いベースラインからみれば、17%ほどの電力消費縮小が目標として組み込まれている。最終エネルギー消費では、徹底した省エネにより、政策ターゲットとして 2012–30 年に 35%（年率 2.4%）ほどのエネルギー生産性改善を目指している。それは 1990 年から 2008 年（世界金融危機前）までの改善（年率 0.8%）の 3 倍のスピードであり、第 1 次オイルショック後の日本経済の経験（年率 3.1%）に接近する。しかしその野心的な目標に対して、2010 年以降の日本経済はそれと同等なエネルギー生産性の改善（2010–16 年に年率 2.4%）を実現してきている。それは将来においても持続可能なのだろうか。その評価のためには、エネルギー生産性改善における要因を探らなければならない。

以下、はじめに第2節では、日本経済における19世紀後半からの経済成長とエネルギー生産性改善についての長期的な傾向を考察する。そこでは近代経済成長におけるエネルギー生産性は、戦時中をボトムとして、大きくU字型を示していることが見いだされる。一国経済において観察されるエネルギー生産性の改善は、資本財や耐久消費財の利用におけるエネルギー効率の改善に加えて、一次エネルギーから二次エネルギーへの転換効率の改善、電力化の進展、あるいは産業構造の変化など、さまざまな要因に依存している。長期的にエネルギー生産性の改善が観測される1955年以降において、第3節ではエネルギーの品質変化の視点から、第4節ではそれに加えて産業構造要因の視点から、エネルギー生産性改善の変化および産業起因について分析する。第5節は結びである。

## 2 長期エネルギー生産性

日本の長期の経済成長プロセスにおいて、生産の拡大に伴う労働・資本、そしてエネルギーの投入量とそれぞれの生産性とを鳥瞰しよう。図2は、1885年（明治18年）から2016年（平成27年）までの日本経済において、生産、資本・労働およびエネルギーの投入量を比較している<sup>1</sup>。集計生産量および各投入量は、初期値とするそれぞれの1885年値を1とした指数である（単位は労働投入量のみ右軸）。この131年間において、日本経済はその集計レベルでの生産量を152倍へと拡大させた。この期間に総人口も3.3倍へと増加していることから、一人あたり生産量は46倍である。その集計生産量の拡大を実現するため、資本投入量（net capital stock）は66倍、労働投入量（hours worked）は2.5倍へと拡大した。それは、この期間に資本生産性は2.3倍、労働生産性では60倍にまで改善してきたことを意味する。同期間、最終エネルギー消費量（一次エネルギー換算値）は労働と資本の拡大を上回り、114倍にまで増加した。図2にみるように、近代から20世紀終わりまでの日本の経済成長の実現には、生産拡大とほとんど比例的なエネルギー消費の拡大が必要であったことを示している。

しかしこの間のエネルギー生産性は大きく変化している。一般に、生産性とはインプットあたりのアウトプットとして定義され、ここでのアウトプットは集計生産量である実質GDPである。図2と同じデータに基づき、資本、労働そしてエネルギーのそれぞれの生産性としての変化を示したものが図3である。1885–2016年の130年間において、第2次世界大戦（WWII）時の断層はあるものの、日本経済の労働生産性はいくつかの短期的な景気変動を除き改善が持続している。それに対し、エネルギー生産性は大きくU字型を示し、対照的に資本生産性（右軸）は逆U字の形状となっている。

<sup>1</sup> 集計生産量は2008 SNAに基づく実質GDPであり、1994年以降は内閣府経済社会総合研究所による国民経済計算体系（JSNA）、1955–93年ではこのJSNA概念のもとで長期遡及されている慶應義塾大学産業研究所の産業別生産性データ（KEOデータベース）によっている。ここでのGDP概念は、家計の所有する住宅サービスの帰属計算値（帰属家賃）に加えて、家計の所有する自動車や耐久消費財などのサービスの帰属価値および社会資本などのサービス価値を加算したものであり、SNAよりも広い概念によっている。なお1885–1954年は大川他（1974）での経済成長率を用いた簡易的な延長推計をおこなっている。労働投入量は、1955年以降はKEO Databaseにおける総労働時間（hours worked）であり、1954年以前は大川他（1974）での総労働者数による延長推計値である。資本ストックは土地を除く固定資産の期末純資本ストックであり、1955年以降では100資産分類を超えるKEO Databaseにおける資本ストック推計値、それ以前は大川他（1966）による集計レベルでの実質ストックにより延長推計をおこなっている。エネルギー投入量は、最終エネルギー消費量（一次エネルギー換算値）であり、補論における産業別エネルギー消費表（KDB-E）による。なお1885–1952年はEDMCの一次エネルギー供給量に基づき、輸出と在庫変動の簡易調整を含めた推計値による遡及推計値である。

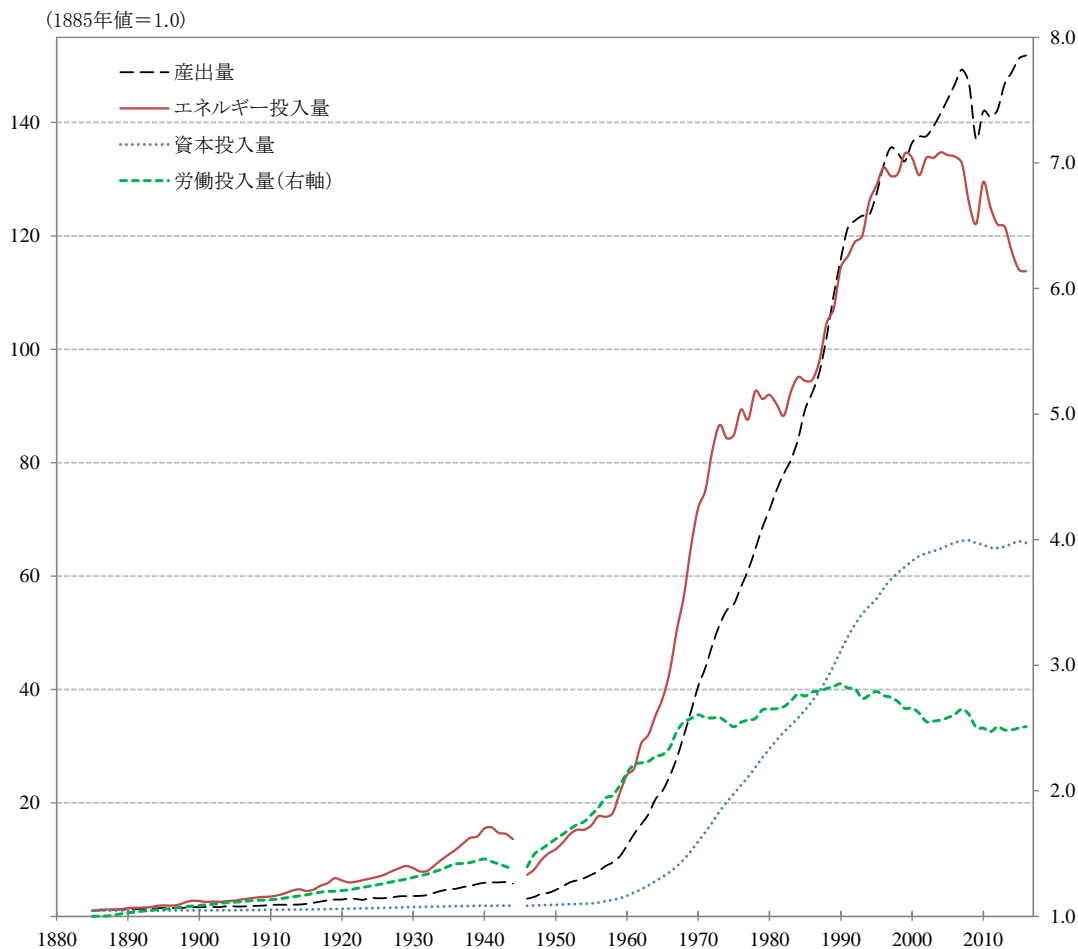


図 2: 長期の経済成長、資本・労働とエネルギー投入 (1885–2016 年)

日本におけるエネルギー生産性の長期トレンドを分析するため、

第 I 期	戦前期	(1885–1944 年)
第 II 期	高度経済成長期	(1955–73 年)
第 III 期	オイルショック後	(1973–90 年)
第 IV 期	ポストバブル経済	(1990–2008 年)
第 V 期	ポスト世界金融危機	(2008–16 年)

の 5 つの期間に分離しよう。

第 I 期として、1885 年から WWII 終戦 (1945 年) までの期間、労働生産性および資本生産性はそれぞれ年率 2.4% および年率 1.9% の改善となっている。WWII 後、多くの国の経済成長において資本生産性の低下は共通に観察される特性であるが、この期間の日本経済では繊維工業など労働集約的な軽工業の生産拡大などにより、経済成長のパターンは資本と労働の両者の生産性上昇を伴っている。しかしそうした成長プロセスにおいても、エネルギー消費量は経済成長を上回るスピードで拡大し、エネルギー生産性は年率 1.5% で悪化した。ここでの観察の開始年となる 1885 年 (明治 18 年) は、日本の就業者

の70%ほどが農業に従事し、一国全体の一次エネルギー利用のおよそ80%を薪炭など木質バイオマスに依存している。木質バイオマスは熱利用を中心として一定の消費が継続したものの、エネルギー・電力需要の拡大に伴いシェアを急速に縮小させ、1910年代にはすでに一次エネルギーの20%を下回るものとなる。代わって、同時期における一次エネルギー利用の中心は石炭となり、全体の8割近くに達する。その一方、電力需要の拡大を賄う主力として水力発電が推進されはじめ、1940年代には20%を超えるまでに拡大している<sup>2</sup>。WWII前のこの半世紀は、本稿での観察期間において、エネルギー生産性における長期的な低下（年率1.5%）が観察される唯一の期間となっている<sup>3</sup>。

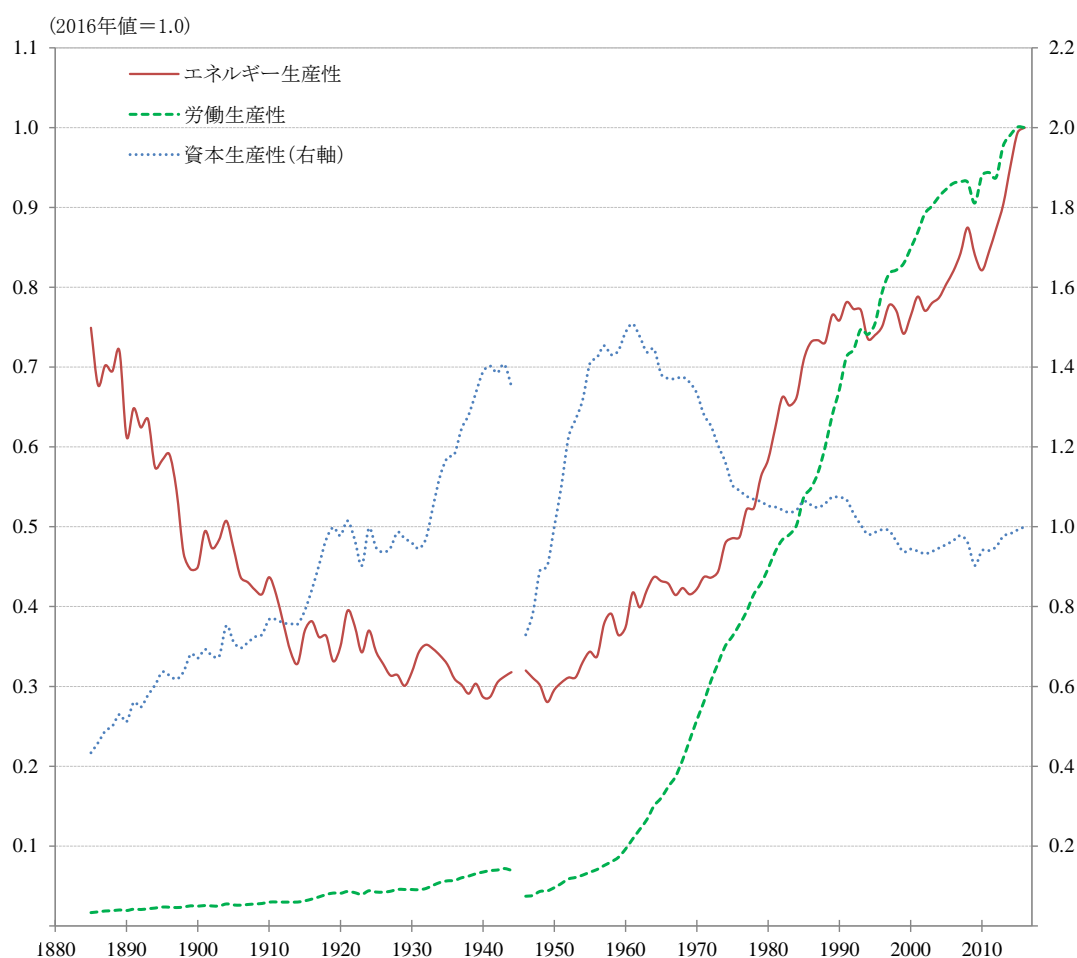


図3: 長期のエネルギー生産性と資本・労働生産性 (1885–2016年)

1950年代後半からは、日本経済は年率10%ほどの経済成長を長期にわたり実現する高成長期へと入っていく。第Ⅱ期（高度経済成長期）には、その前半期（1955–60年）では

<sup>2</sup> 戦前の発電形態について Nakamura (2017)は、1911年以降ではその経済優位性から石炭火力と水力発電のシェアは逆転し“水主火従”の時代に入ったが、両者の建設コストの格差が広がり、火力の熱効率向上を受け、1932年には“水火併用”が本格的に定着してきたことを指摘している。

<sup>3</sup> 米国経済においてもエネルギー生産性が低下していく期間がある。Schurr (1960)は1920–53年には米国のエネルギー生産性は年率1.3%で改善したが、その前期間1880–1920年では年率2.2%のエネルギー生産性の低下を指摘している。

設備投資は実質値で年率 21%、後半期（1960–73 年）でも年率 13%で拡大するなど、経済成長率を上回るスピードで資本蓄積が進行した。加速した資本深化は、1955–73 年では資本生産性を年平均 0.9%のスピードで急速に低下させたものの（図 3）、労働生産性の改善は年平均 7.6%を記録した<sup>4</sup>。資本と生産の拡大にともない、この時期はエネルギー消費量がもっとも急速に拡大した時期である（図 2）。年率 9.4%のエネルギー消費拡大は、第 I 期（年率 4.4%）のスピードから倍増している。図 3 にみるように、エネルギー生産性としてはこの期間の前半期において改善し、後半期は横ばいとなる。

1970 年代に入り、日本経済では賃金率が上昇を始め、それまでの成長モデルからの脱却に向けた模索が始まっている。加えて第 1 次オイルショック（1973 年 12 月）は、それまでの価格安定を背景にして石油への依存度を高めていた日本経済において、大きな構造変化をもたらすものとなった。一次エネルギー供給におけるシェアでは、日本経済の石油への依存度は 1955 年の 18%から 1973 年には 77%にまで高まっており、エネルギーミックスとしてのバランスを大きく欠く状態にあった。第 III 期となる 1973–90 年には、労働サービスとエネルギー価格が上昇する一方、資本サービス価格は横ばいからむしろ低下傾向にある。生産要素の相対価格としての大きな変化は、価格メカニズムを通じたエネルギー生産性の改善を求めるものとなる。この期間、エネルギー生産性の成長率は年率 3.1%を記録しており、日本経済における省エネの黄金期とも捉えられる。

1990 年初めにはバブル経済が崩壊し、日本経済の長期停滞が始まる。第 IV 期（1990–2008 年）の前半期は、図 3 にみるように経済の長期停滞に伴って、エネルギー生産性もほぼ横ばいである。その後半期には、1997 年 12 月に京都会議が開催されたように、気候変動問題への対応が重要な政策課題となった。1998 年 6 月には省エネ法が改正され、自動車やエアコンなど 11 品を対象にしてエネルギー消費効率基準の対策としてトップランナー制度が導入されている<sup>5</sup>。省エネ推進に向けた政策支援によって後半期には改善が見られるが、期間を通じたエネルギー生産性の改善は年平均 0.8%に留まっている。

第 V 期（2008–16 年）には、世界金融危機後の新たな傾向が見出される。2007 年のサブプライム・ローンの不良債権化による米国での資産価格の暴落は、当初日本経済への影響は限定的であると捉えられていた。しかし 2008 年 9 月のリーマン・ブラザーズの経営破綻は世界的な金融危機を招き、外需の激減は日本経済に戦後最大の経済的影響を与える。2008–09 年、名目輸出は 39%（29.4 兆円）もの減少を記録し、実質 GDP ではマイナス 5.6%、鉱工業生産指数（IIP）ではマイナス 21.9%にも達するなど、戦後最大の景気後退となった<sup>6</sup>。その期間、エネルギー生産性もまた大きく悪化している（図 3）。

2011 年 3 月に起こった東日本大震災により生じたサプライチェーンの寸断は、地域的に生産を集積させることの脆弱性を認識させ、代替調達先の確保など、国内あるいはグ

<sup>4</sup> 1955–73 年における日本の経験は、1990 年代以降における中国の労働生産性の改善（1990–2015 年において年率 8.4%）にほぼ相応する（APO 2017）。

<sup>5</sup> 対象機器のすべての製品が越えなければならない最低エネルギー消費効率基準（minimum energy performance standard: MEPS）に対して、トップランナー制度では、市場に存在するもっともエネルギー効率が優れた製品の値をベースとして、今後想定される技術進歩の度合いを加えて基準値とする。製造事業者は出荷台数による加重平均値として基準値を超えることが求められている。

<sup>6</sup> 第一次オイルショックは日本経済に戦後初めてのマイナス成長をもたらしたが、1973 年から翌年の実質 GDP 下落は 1.2%であり、2009 年時の影響はそれをはるかに超えている。IIP の品目では、2009 年における生産の下落幅は土木建設機械 66%、金属工作機械 62%、産業用ロボット 58%などで大きい。



ローバルな生産体制の再構築への機運を高めるものとなった。2010-16年に限れば、エネルギー生産性の改善は年率3.3%にもなり、オイルショック後の一国全体のエネルギー生産性改善(3.1%)をも上回る。その期間、年平均1.1%の経済成長率に対して、エネルギー消費量はマイナス2.2%で減少するなど、図2にみるように経済成長とのデカップリングとも解されるかもしれない。しかしそうした評価は時期尚早である。2010年を開始年次とする測定は、世界金融危機によって大きく後退したエネルギー生産性のボトムからの改善率を評価してしまっている(図3)。そうした影響を排するため、ここでは第Ⅴ期の開始年を2008年としており、2008-16年で見れば、エネルギー生産性改善は年率1.7%へと低下する。それは2030年までの政策ターゲットを下回るものの、第Ⅳ期(0.8%)からは大幅な改善である。

日本の長期経済成長の各ステージにおいて見出されるエネルギー生産性の変化は、どのような要因によるものだろうか。以下では、より詳細な分析が可能となる第Ⅱ期から第Ⅴ期までの61年間において、それぞれの期間におけるエネルギー生産性の変化要因の分析をおこなう。

### 3 エネルギー品質要因

経済成長のために必要なエネルギー投入において、電力の役割はとくに大きい。一般に、一人あたり実質GDPの拡大は労働生産性の改善に大きく依存している。そして労働生産性を改善させる最大の原動力は資本の蓄積であり、コンピュータ制御の工作機械や電気機械などさまざまな資本財のオペレーションにおいて不可欠なエネルギーが電力である。Schurr et. al. (1990) は、20世紀の米国経済成長におけるその役割を評価し、電力を「技術進歩の仲介者(agent of technological progress)」であるとした。技術は資本に体化され、資本の稼働には二次エネルギーとしての電力が必要である。

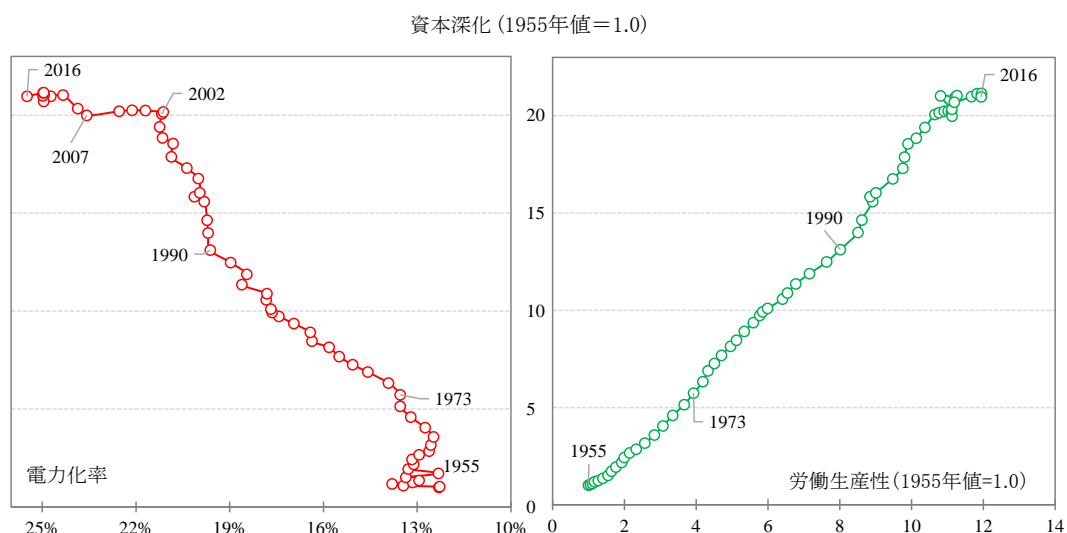


図4: 労働生産性、資本深化と電力化 (1955-2016年)

日本の経済成長においても電力化率の拡大は、旺盛な資本蓄積を支える上で大きな役

割を担ってきた。1955年から2016年において、図4は日本経済における資本深化を縦軸にとり、横軸には右図では労働生産性、左図には（最終エネルギー消費における）電力化の推移を示したものである。ここで資本深化（capital deepening）とは、労働時間あたりの資本サービス投入量によって定義され、また電力化率は最終エネルギー消費量に占める電力シェアである。図4の右図にみるように、戦後の経済成長パターンにおいては、労働生産性の改善はその1.5–2.0倍ほどのスピードの資本深化を必要としている。それに対応して、左図では資本深化のための電力化が進行している。しかしその進行は単調なものではなく、第II期（1955–73年）においてはわずかな上昇にとどまり、オイルショック後の第III期（1973–90年）において、急速な電力化が進行している。それは同期間におけるエネルギー生産性の改善には、エネルギーとしての品質変化による影響が含まれていることを示唆するものである。第IV期（1990–2008年）の後半からは、資本深化が停滞する中で、むしろ電力化のみが進行している。この期間のエネルギー生産性の改善においても、エネルギーの品質変化を考慮する必要がある。

前節でのエネルギー生産性は、最終エネルギー消費の一次エネルギー換算値（primary energy equivalent of final consumption: PEE）によって定義されている。そうしたエネルギー生産性指標は、電力化などエネルギーの構成変化による影響を含むものである。発電における熱効率（thermal efficiency）を30–50%とすれば、最終消費される電力の熱量の2–3倍の一次エネルギーが必要となる。よって電力化の進行は、直接的にはエネルギー生産性を低下させるような影響を持つ。他方、電力は単純な熱量換算による評価よりも、より大きなエネルギー・サービスを提供していると考えられる。エネルギー・サービスとしての高度化は、測定されるエネルギー生産性改善の内数として含まれている。エネルギーの利用者における狭義のエネルギー生産性を評価するためには、こうした品質変化を識別すべきであろう。

エネルギー品質としての相違の認識のもと、あらためてエネルギー生産性を定義しよう。集計生産量（ $Y$ ）と最終エネルギー消費の一次エネルギー換算量（ $E_{fp}$ ）によって定義されたエネルギー生産性を、次のように分解する。

$$(1) \quad Y/E_{fp} = (E_f/E_{fp}) \cdot (E/E_f) \cdot (Y/E),$$

右辺第1項は、国内で最終的に消費されるエネルギー量（ $E_f$ ）を生産するために投入された一次エネルギー消費量（ $E_{fp}$ ）であり<sup>7</sup>、エネルギー転換における効率性を示している。石炭などの一次エネルギー自体の最終消費は、第1項の分母・分子ともに同量が含まれているが、電力化の進行は同指標を低下させる。他方、発電における熱効率の改善は、同指標を上昇させるものとなる。ここではそれをエネルギー転換指数（energy conversion index）と呼ぶ。

最終エネルギー消費量（final energy consumption: FEC）は、異なるエネルギー種ごとの熱量（ $E_{f,i}$ ）の和集計値によって定義されている（ $E_f = \sum_i E_{f,i}$ ）。ここでの和集計は、エネルギー種間で熱量あたりのエネルギー・サービスが等しいことを陰伏的に仮定している。

<sup>7</sup> 経済統計における最終消費とは生産過程に投入される消費（中間消費）を除くが、エネルギー統計における最終消費とは、エネルギー転換部門および在庫品純増を除く国内消費を示している。それは産業（エネルギー転換用の消費分を除く）と家計の消費量の合計である。

しかし最終消費されるエネルギーによって熱、動力、光などのエネルギー・サービス ( $E$ ) を提供するとき、電力はより高度なサービスを提供していると考えることが適切であろう。エネルギー・サービス量の測定としての近似として、ここではエネルギー種間の品質の相違を考慮した集計量として、trans-log 指数により次のように定式化する。

$$(2) \quad \Delta \ln E = \sum_i \bar{s}_i \Delta \ln E_{f,i},$$

ここで  $E_{f,i}$  はエネルギー種 ( $i$ ) ごとの最終エネルギー消費量であり、 $\Delta$  は連続する二期間の差分として、 $\Delta \ln E_{f,i}$  はそれぞれのエネルギー消費量の成長率を示している。その成長率を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 ( $\bar{s}_i$ ) をウェイトとして集計している ( $\sum_i \bar{s}_i = 1$ )。熱量あたりの単価はエネルギー種ごとに異なる。trans-log 指数による(2)式の右辺は、エネルギー種別の相対価格差がエネルギー・サービス量としての相対的な寄与の差異であるとしたもとで、そうした品質の相違を統御しながら集計されたエネルギー・サービス量の成長率を意味している。(2)式によって集計されるエネルギー・サービス ( $E$ ) を、本稿では品質調整済みエネルギー投入量 (quality-adjusted energy input: QAEI) と呼ぶ。

(1)式の右辺第2項 ( $E/E_f$ ) は、FEC から QAEI への変換であり、ここではエネルギー高度化指数 (energy sophistication index) と呼ぶ。電力は都市ガスに比して熱量あたりの価格が高く、最終エネルギー消費において都市ガスから電力へとエネルギー転換が進行するのであれば、それは分子が一定であっても質的に調整されたエネルギー・サービス量自体の拡大として第2項を上昇させる。電力化の進行は、直接的にエネルギー転換指数を減少させようとも、エネルギー高度化指数を上昇させる。(1)式のエネルギー転換指数 (第1項) およびエネルギー高度化指数 (第2項) の積を、ここではエネルギー品質指数 (energy quality index) と呼ぶ。

右辺第3項 ( $Y/E$ ) は、生産過程において投入されるエネルギー・サービス1単位あたりの生産量を示すものであり、狭義のエネルギー生産性である。それはエネルギーとしての品質の相違を統御したもとで定義されており、本稿ではエネルギー品質済みエネルギー生産性 (quality-adjusted energy productivity: QAEP) と呼ぶ。あらためて(1)式を書き換えて、

$$(3) \quad E_{fp} = (E_f/E_{fp})^{-1} \cdot (E/E_f)^{-1} \cdot (Y/E)^{-1} \cdot Y,$$

とすれば、一次エネルギー消費量の削減は、エネルギー転換の効率化、エネルギー高度化、エネルギー生産性の改善、あるいは生産 ( $Y$ ) の縮小という4つの要因へと分解される。一般に、省エネ (energy conservation) やエネルギー効率性 (energy efficiency) という用語は、エネルギー生産性と互換的に用いられることもあるが、それぞれのニュアンスは異なっている。省エネとは、エネルギー・サービスとしての低品質化や、あるいは生産量自体の減少を伴うとしても、一次エネルギー消費量 ( $E_{fp}$ ) の減少そのものを目的としている<sup>8</sup>。またエネルギー効率性とは、一次エネルギーからエネルギー・サービスを生

<sup>8</sup> 米国科学アカデミー (National Academy of Sciences) (1979)は、伝統的な意味における“conservation”とは賢く用心深い (“wise and thoughtful use”) という意味を持つものの、1973-74年に生まれた“energy conservation”という用語は耐乏や、英雄のあるいは犠牲的な否定的な (“belt-tightening”や“heroic or sacrificial denial”) 性格を帯びるものとなったことしている。また Herring (2006)は、省エネとは“より低品質のエネルギー・サービスによるエネルギー消費の削減”

産するための効率性として、(3)式の右辺第1項と第2項の積として捉えることができる。そのような定義によれば、省エネとは、エネルギー効率性の改善、エネルギー生産性の改善、あるいは生産量の縮小という大きく3つに分解される。

図5の右図は、上記で定義された3つのエネルギー投入量（PEE, FEC, QAEI）の指数を示している。すべての指数は1955年を1として基準化しているが、PEEに対してFECの成長は上回り、QAEIではそれをさらに大きく上回る。各投入量から求められるエネルギー転換指数と高度化指数、およびその積としてのエネルギー品質指数が図5の左図である。転換指数は第II期前半において上昇がみられるが、それ以降は横ばいから減少である。これは火力発電所など熱効率の改善（転換指数の増加要因）があろうとも、電力化の進行（転換指数の低下要因）による相殺効果が上回っていることを示している。ただし電力化の進行により、高度化指数は第III期以降ほぼ単調に増加している。総合としてのエネルギー品質指数は、1955年を1.0としたとき2016年では1.7となり、年平均0.9%の改善である。そうしたエネルギー品質の改善効果は、(1)式にみるように、見かけ上のエネルギー生産性の改善の内に含まれている。

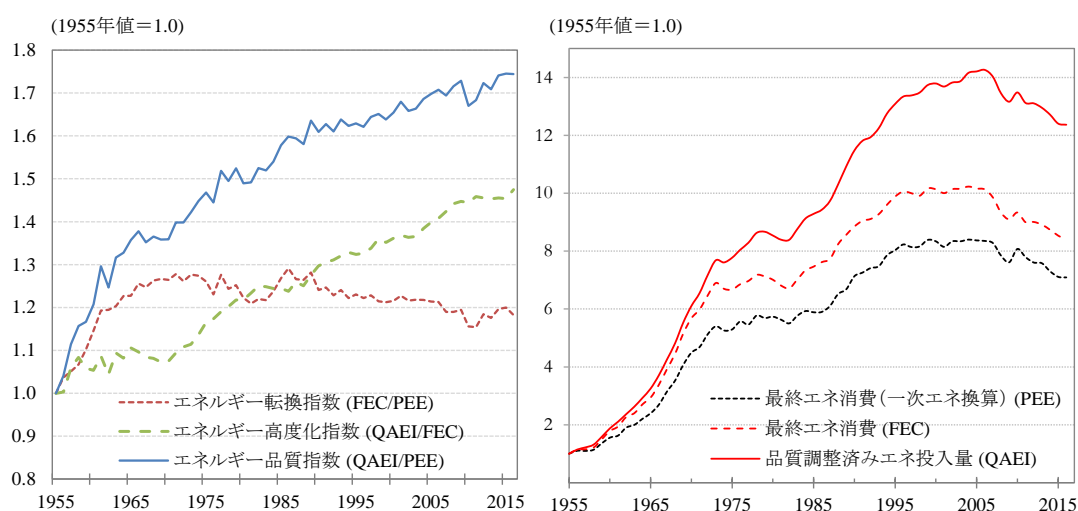


図5: エネルギー転換指数とエネルギー高度化指数（1955–2016年）

1955–2016年の61年間でみれば、長期のエネルギー生産性（年平均1.8%の改善）のおよそ半分がエネルギー品質の改善によって説明される。言い換えれば、エネルギー・サービスあたりの狭義のエネルギー生産性の改善は、この期間において年率0.8%ほどに過ぎないものとなる。両系列の時系列的な推移を示したものが図6である。（産業構造変化を考慮せずに）マクロレベルで測定される、エネルギー品質を統御したエネルギー生産性（QAEP）でみれば、見かけ上のエネルギー生産性の改善を大きく下回り、とくに第II期（1955–73年）にはむしろ生産性は低下している。しかしそれはマクロレベルでの測定の限界である。産業構造の変化による影響を考慮しなければ適切な評価とはならない。

（“reduced energy consumption through lower quality of energy services”）であるとした。

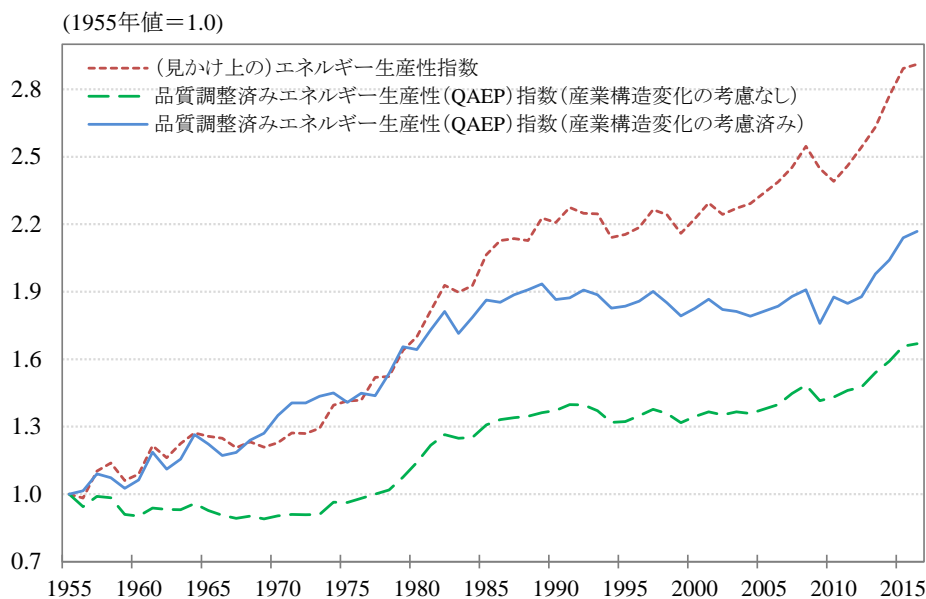


図 6: エネルギー品質を統御したエネルギー生産性 (1955–2016 年)

単位：1955年値=1.0。「品質調整済みエネルギー生産性指数（産業構造変化の考慮なし）」は第3節、産業構造要因の統御後に計測される「品質調整済みエネルギー生産性指数（産業構造変化の考慮済み）」は第4節を参照。後者は4.1節において考察している。

## 4 産業構造要因

### 4.1 マクロレベルの分解

前節までマクロレベルで測定されるエネルギー生産性は、産業構造変化による影響を含んでいる<sup>9</sup>。細分化した産業レベルでの測定から積み上げることによって、産業構造要因を統御したより適切なエネルギー生産性指標へと接近することができる。

ここではエネルギー投入と生産体系の分析用のために構築された 47 産業レベルのデータに基づき、一国全体のエネルギー生産性の成長率において産業構造の変化による影響を測定する。データの概要は第6節の補論にあるが、大きく3点に留意されたい。第1に、エネルギー統計では民生業務部門や運輸部門など実際の経済主体からは切り離して、用途別に集計されている。ここではエネルギー投入と生産関係の分析を目的としているため、用途によらずすべてのエネルギー消費を産業や家計など経済主体に格付けている。第2に、産業部門では、部門別エネルギー生産性のアウトプット指標として、実質付加価値を採用している。一般には、粗生産量のほうが直接的に理解されやすく、また実質付加価値の測定は変動が大きくなる傾向もある。しかし実質付加価値という純生

<sup>9</sup> 例として、2つの産業があり、それぞれの生産量を $Y_1$ および $Y_2$ （ただし $Y_1 = Y_2$ ）、エネルギー消費量を $E_1$ および $E_2$ （ただし $E_2 = 4E_1$ ）としよう。ここでは第2産業がよりエネルギー多消費的である。基準時点から比較時点に対して、いま両産業におけるエネルギー生産性（ $Y_1/E_1$ および $Y_2/E_2$ ）は不変のままであったとしても、第1産業のみの生産量が2倍に拡大したとしよう。そのとき集計産業におけるエネルギー生産性は、 $(2Y_1/5E_1 = 0.4(Y_1/E_1))$ から $(3Y_1/6E_1 = 0.5(Y_1/E_1))$ へ、25%改善したとして測定される。それはエネルギー多消費産業（第2産業）の相対的な低成長によって、集計レベルで測定される見かけ上のエネルギー生産性は過大に評価されることを示している。

産概念はエネルギー生産性における中間財のバイアスを緩和することが期待され、また一国集計値からの産業起因の分析を可能にする<sup>10</sup>。

第3に、一国全体のエネルギー生産性改善と整合的に消費主体別寄与度へと分解する際のひとつの困難は、家計部門の取り扱いである。国内における最終エネルギー消費は、大きく産業における中間消費と家計消費とに分離される。ここでは家計部門においては、そのアウトプット指標として家計の所有する住宅（含む土地）および耐久消費財の帰属計算値を計測する。家計所有住宅は国民経済計算体系（System of National Accounts: SNA）において帰属家賃（imputed rent）として古くからGDPに加算されている概念であり、産業分類としては不動産業などに格付けられている。いま家計住宅サービスの生産として広義に捉えるならば、その生産のためには照明や厨房用などのエネルギー消費が必要となる。ここではその投入産出関係を描写するため、すべての帰属家賃を第47産業としての家計部門（家計サービス）に格付けている。もうひとつは家計所有耐久消費財の資本サービス価値であり、ここではそれをユーザーコスト・アプローチによって推計し、第47産業へと加算している<sup>11</sup>。たとえば家計所有の自家用車やテレビ、エアコン、PCなど、耐久消費財によってもたらされるサービスが、住宅とともに家計サービスの生産として解される。家計部門のエネルギーは、基本的に住宅や耐久消費財の利用に伴って消費されるものであり、本稿ではエネルギー投入量あたりの資本の利用という生産活動として、家計サービス部門におけるエネルギー生産性を定義している。こうした家計部門の産業化によって、一国全体のエネルギー消費量と実質付加価値（GDP）によって定義されるエネルギー生産性の変化は、（家計部門をその内に含んで拡張された）産業部門ごとのエネルギー生産性の変化へと完全に要因分解することが可能となる。

一国経済のエネルギー消費（一次エネルギー換算値）は各 $j$ 産業における消費量（ $E_{fp,j}$ ）の和集計によるから、両者の成長率では、

$$(4) \quad \frac{\dot{E}_{fp}}{E_{fp}} = \sum_j w_j \left( \frac{\dot{E}_{fp,j}}{E_{fp,j}} \right)$$

として表される。ここで $w_j$ は各時点における、一国経済のエネルギー消費量の産業別シェア（ $E_{fp,j}/E_{fp}$ ）である（ $\sum_j w_j = 1.0$ ）。1955–2016年における産業別シェアは表1のとおりである。産業ごとに、生産量（実質GDP）を $Y_j$ 、エネルギー生産性を $\varepsilon_j$ （ $\equiv Y_j/E_{fp,j}$ ）とすれば、産業別エネルギー消費量の変化率は、

$$(5) \quad \frac{\dot{E}_{fp,j}}{E_{fp,j}} = \frac{\dot{Y}_j}{Y_j} - \frac{\dot{\varepsilon}_j}{\varepsilon_j}$$

である。(5)式を(4)式へと代入して、次式が求められる。

$$(6) \quad \frac{\dot{E}_{fp}}{E_{fp}} = \sum_j w_j \left( \frac{\dot{Y}_j}{Y_j} \right) - \sum_j w_j \left( \frac{\dot{\varepsilon}_j}{\varepsilon_j} \right)$$

<sup>10</sup> たとえば、粗生産量は一定のもとで、自部門内で生産していたエネルギー消費的な中間財を、輸入財へと切り替えたとしよう。そのとき粗生産をアウトプットとしたエネルギー生産性の指標では、エネルギー消費の縮小により生産性は改善したものと評価されてしまう。しかしこれは単要素生産性（partial factor productivity）としての一面的な評価として、見かけ上の改善に過ぎない。他方、実質付加価値をアウトプットとしたエネルギー生産性の指標では、エネルギー消費は縮小しながらも、輸入財の中間投入増加によって付加価値も減少することにより、エネルギー生産性への影響は緩和される。

<sup>11</sup> SNA2008など現行のSNA勧告を超えたこうした勘定体系はJorgensonian accountingとも呼ばれる。耐久消費財の帰属計算値などの拡張によって、一国経済のGDPは拡張している。ただし経済成長率への影響は軽微である。

ここでは、一国全体のエネルギー消費の成長率（左辺）が、右辺第 1 項における産業ごとの生産拡大による寄与度の合計と、第 2 項における産業ごとのエネルギー生産性改善の寄与度の合計に分解されることを示している<sup>12</sup>。第 1 項はエネルギー消費量（一次エネルギー換算値）シェアをウェイトとした集計量として、エネルギー消費の視点から生産量変化による効果を統御したものである。残された第 2 項が、産業構造変化を統御したエネルギー生産性を示している。

エネルギー品質の変化を考慮して定義した、前節(1)式におけるエネルギー生産性は、各産業においても成立しているから、産業別エネルギー生産性の成長率は、

$$(7) \quad \frac{\dot{\varepsilon}_j}{\varepsilon_j} = \frac{\dot{q}_{c,j}}{q_{c,j}} + \frac{\dot{q}_{s,j}}{q_{s,j}} + \frac{\dot{\varepsilon}_{*,j}}{\varepsilon_{*,j}}$$

と分解される。ただし、 $q_{c,j}$ はエネルギー転換指数 ( $E_{f,j}/E_{fp,j}$ ) であり、 $q_{s,j}$ はエネルギー高度化指数 ( $E_j/E_{f,j}$ ) である。である。右辺第 3 項 ( $\varepsilon_{*,j}$ ) は、産業別に測定されるエネルギー・サービスあたりのエネルギー生産性 (QAEP) である ( $\varepsilon_{*,j} \equiv Y_j/E_j$ )。 (6)式および(7)式より、マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性 ( $\varepsilon \equiv Y/E_{fp}$ ) の成長率は次のように分解される。

$$(8) \quad \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon} = \left\{ \frac{\dot{Y}}{Y} - \sum_j w_j \left( \frac{\dot{Y}_j}{Y_j} \right) \right\} + \sum_j w_j \left( \frac{\dot{q}_{c,j}}{q_{c,j}} \right) + \sum_j w_j \left( \frac{\dot{q}_{s,j}}{q_{s,j}} \right) + \sum_j w_j \left( \frac{\dot{\varepsilon}_{*,j}}{\varepsilon_{*,j}} \right)$$

マクロレベルにおいて計測される見かけ上のエネルギー生産性の変化は、右辺第 1 項の産業構造要因、第 2 項のエネルギー転換要因、第 3 項のエネルギー高度化要因、そして第 4 項の産業別 QAEP の集計値へと分解される。左辺のマクロの見かけ上のエネルギー生産性に対して、産業構造の変化（第 1 項）およびエネルギー品質（第 2 項および第 3 項）の両者を統御したうえで定義された第 4 項を、一国集計レベルでの品質調整済みエネルギー生産性 (QAEP) と呼ぶ。

1955–2016 年に定義した 4 期間において、(8)式に基づきマクロレベルのエネルギー生産性の変化を分解したものが図 7 である。第 II 期 (1955–73 年) は、前節にみたようにエネルギー品質の改善が顕著であり、その影響を取り除き産業構造要因を考慮せずに計測される QAEP はマイナス成長であった (図 6)。しかしそれは、高度経済成長期において、産業構造としてエネルギー多消費産業が大きく拡大したことの影響を含んだ評価である。図 7 にみるように、産業構造要因は第 II 期において大きな負値となっている。その影響は大きく、産業構造要因を統御した上での一国全体の QAEP では年率 2.0%の改善となり、マクロレベルにおける見かけ上のエネルギー生産性 (1.4%) を上回る水準となる。

マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性改善の黄金期はオイルショック後 (第 III 期) にみられるものの (図 3)、エネルギー品質および産業構造要因の統御によれば、QAEP の改善におけるピークはむしろ高度経済成長期 (第 II 期) にある (図 7)。オイルショック後、第 III (年率 1.5%) 期、そして第 IV 期 (年率 0.1%) へと、期間ごとに QAEP 改善率が減速していることが見出される。後述のように省エネ法の制定は 1979 年であり、その後の大規模な改正が何度かおこなわれ、とくに第 III 期後半 (2000–08 年) はもっとも積極的な推進がおこなわれている。こうした省エネへの支援制度によって部分的な有

<sup>12</sup> 実際の測定では(6)式の成長率は自然対数によって離散近似し、chained-Fisher type の指数により算定している。

効性も見出されるものの、第 II 期から第 IV 期までの QAEP 成長スピードの逡減は、エネルギーと資本／労働との相対価格変化による省エネの促進効果や、省エネ法の施行・改正、また経団連自主行動計画などの規制的手段の影響はあろうとも、経済合理的に利用可能な技術が存在していることが重要な前提であることを示唆するものであろう。

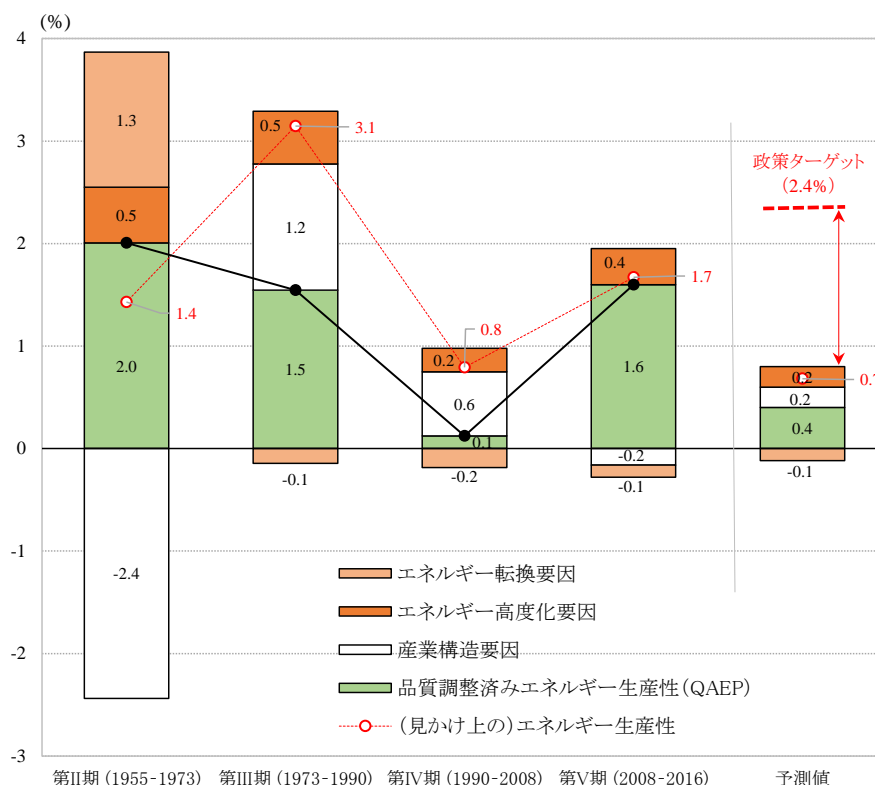


図 7: マクロレベルでのエネルギー生産性改善の分解 (実績値と予測値)

単位：年平均期間成長率 (%)。最右系列の予測値は 4.6 節を参照。

一国経済において、産業構造要因を考慮して測定される QAEP のトレンドと、マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性、そして第 3 節において産業構造要因を考慮せずにマクロレベルで計測された QAEP との比較は図 6 に示されている。産業構造要因の考慮は大きな影響を持っている。高度経済成長期 (第 II 期) における生産性改善はエネルギー品質変化の考慮によって大きく低下していたが、当該期間における産業構造変化を適切に評価すれば、高いエネルギー生産性の改善があったことが見いだされる。その一方、1990 年から 2010 年代初めにおいて、見かけ上のエネルギー生産性は緩やかに改善しているのに対して、産業構造要因を考慮したエネルギー生産性改善では長期的な停滞が浮き彫りとなる。しかし第 V 期の後半、とくに東日本大震災後には、再び一国経済の QAEP は急速な上昇をはじめている。こうしたエネルギー生産性改善が将来も持続可能性であるのか、その評価のためには産業起因の細部へと踏み込む必要がある。



表 1：産業別エネルギー消費シェア

	1955	1973	1990	2008	2016
1.農林水産業	2.9	2.7	2.6	1.7	1.7
2.石炭鉱業	3.0	0.2	0.0	0.0	0.0
3.その他鉱業	1.5	1.1	0.8	0.2	0.2
4.建設業	0.9	2.5	3.0	1.2	1.5
5.食料品	1.3	1.4	1.9	2.3	2.2
6.繊維	3.6	1.7	1.7	0.8	0.7
7.衣服身見品	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
8.木材木製品	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2
9.家具備品	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10.紙パルプ	3.1	3.4	3.7	3.1	2.9
11.出版印刷	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
12.化学	12.0	15.8	11.9	11.3	12.2
13.石油精製製品	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1
14.石炭製品	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
15.ゴム製品	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2
16.皮革製品	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
17.窯業土石	10.4	5.9	5.0	2.6	2.6
18.鉄鋼	15.6	22.5	14.1	11.1	11.7
19.非鉄金属	3.5	3.4	1.5	1.2	1.0
20.金属製品	0.7	0.9	1.1	0.8	0.8
21.一般機械	0.7	1.0	1.4	1.0	0.9
22.電子計算機	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
23.通信機器	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2
24.電子部品	0.0	0.1	1.0	1.3	0.9
25.民生重電他	0.5	0.9	0.8	0.6	0.5
26.自動車	0.2	0.6	1.1	1.0	0.8
27.その他輸送機械	1.2	0.7	0.6	0.7	0.8
28.精密機械	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
29.その他製造業	0.3	0.6	1.3	0.9	1.0
30.鉄道輸送	12.3	2.5	1.0	0.9	0.9
31.道路輸送	1.4	3.4	5.1	5.0	4.9
32.水運	0.7	1.4	1.3	1.1	1.0
33.航空輸送	0.5	1.7	2.2	2.6	2.5
34.倉庫その他運輸	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5
35.通信	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5
36.電力	0.4	0.2	0.4	0.3	0.2
37.ガス	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
38.水道	0.0	0.1	0.3	0.7	0.6
39.卸小売	2.1	3.5	3.3	5.6	5.5
40.金融保険	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4
41.不動産業	0.1	0.2	0.7	0.7	0.7
42.教育	0.6	0.7	0.9	1.4	1.7
43.研究	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3
44.医療保健	0.9	0.6	1.6	2.2	3.1
45.その他サービス	2.8	3.2	5.9	8.5	7.4
46.公務	1.1	0.6	0.5	0.8	0.8
47.家計サービス	12.5	13.9	19.9	24.9	24.7
一国経済	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0
うち製造業 (5-27部門)	55.3	60.8	49.5	40.5	40.7
うち運輸業 (30-34部門)	15.3	9.3	9.9	10.0	9.7
うちサービス業 (39-45部門)	6.9	8.5	12.9	19.2	19.2

単位：％。最終エネルギー消費量（一次エネルギー換算値）のシェア（ $w_j$ ）。自家輸送は各産業および家計部門に含まれている。

#### 4.2 第 II 期 (1955-73 年)

図 8 は第 II 期における、品質調整済みエネルギー消費 (QAEI) およびエネルギー生産性 (QAEP) の一国集計値に対しての産業別寄与度を示している。一国集計レベルでの QAEI の産業分解は(4)式、QAEP は(6)式右辺第 2 項のとおりである。また表 2 では、左段に QAEI における一国集計値への産業別寄与度、産業別 QAEP 成長率の寄与度 (符号はマイナス)、および(6)式右辺第 1 項における生産量変化による産業別寄与度をまとめている。

る。表 2 右段は、それぞれの年平均成長率である。表 2 左段における GDP の産業寄与度はエネルギー消費の視点から生産量変化を評価したものであり、その産業合計値（年率 13.2%）と、一国経済での GDP 成長率（表 2 右段下における年率 10.8%）の差が産業構造要因（年率 2.4%）である。また一国経済での QAEP 成長率（表 2 右段下における-0.4%）は、マクロレベルでエネルギー品質変化のみ統御したエネルギー生産性に相応している。

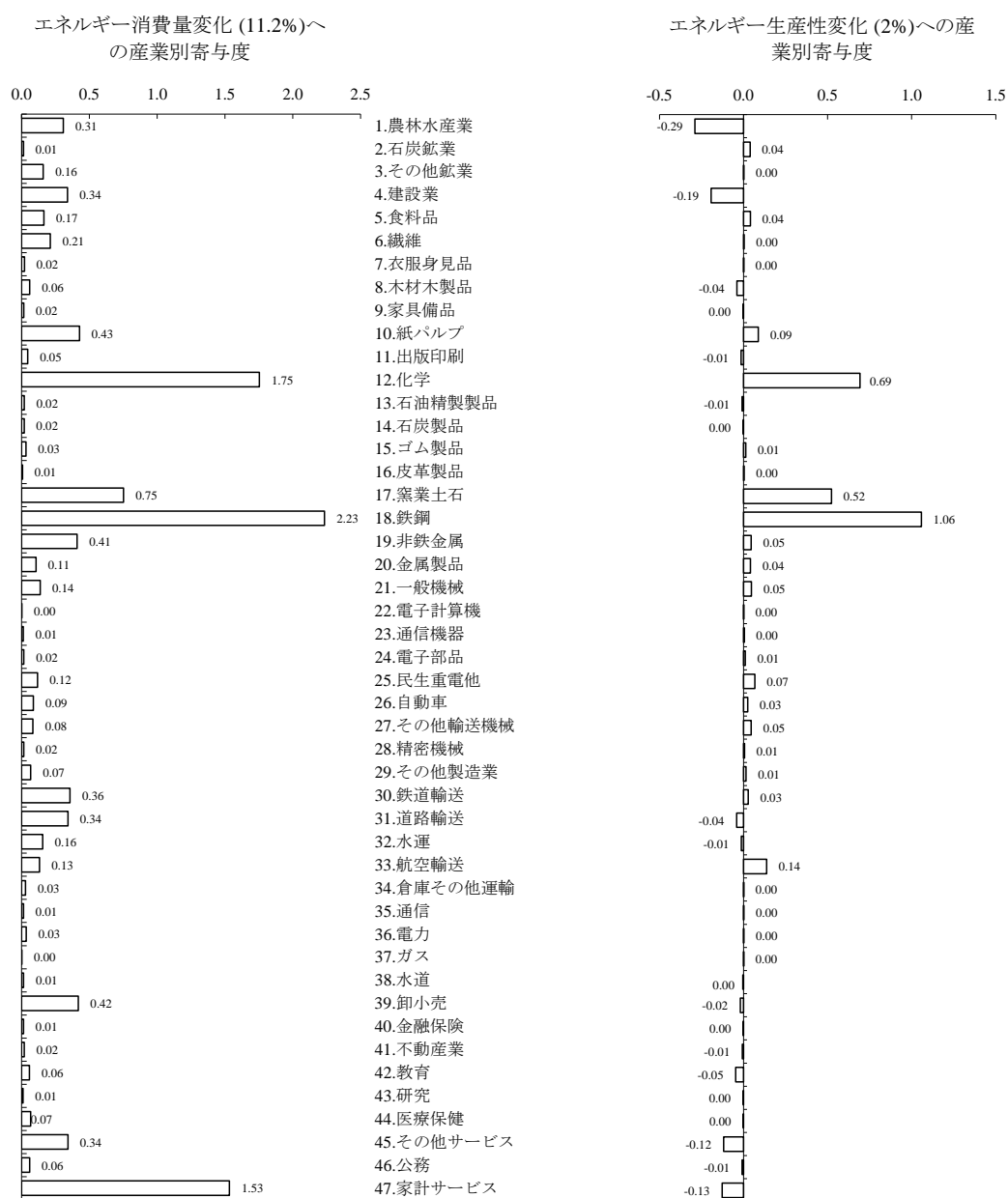


図 8: エネルギー消費および生産性変化の産業起因（第 II 期：1955-73 年）

単位：%ポイント。エネルギー消費は品質調整済みエネルギー投入量（QAEI）、エネルギー生産性は QAEP。

表2：エネルギー生産性変化の要因分解（第Ⅱ期：1955-73年）

	寄与度			成長率		
	QAEI	QAEP	GDP	QAEI	QAEP	GDP
1.農林水産業	0.31	0.29	0.02	11.1	-10.4	0.7
2.石炭鉱業	0.01	-0.04	0.05	0.9	2.5	3.3
3.その他鉱業	0.16	0.00	0.16	12.4	0.2	12.6
4.建設業	0.34	0.19	0.15	19.8	-11.3	8.6
5.食料品	0.17	-0.04	0.21	12.4	3.0	15.4
6.繊維	0.21	0.00	0.22	7.9	0.1	8.0
7.衣服身見品	0.02	0.00	0.02	12.7	0.5	13.2
8.木材木製品	0.06	0.04	0.02	11.1	-7.4	3.7
9.家具備品	0.02	0.00	0.01	14.4	-2.8	11.7
10.紙パルプ	0.43	-0.09	0.52	13.2	2.7	15.9
11.出版印刷	0.05	0.01	0.03	14.4	-4.4	10.0
12.化学	1.75	-0.69	2.45	12.6	5.0	17.6
13.石油精製製品	0.02	0.01	0.01	17.6	-7.7	9.9
14.石炭製品	0.02	0.00	0.02	8.6	-0.8	7.8
15.ゴム製品	0.03	-0.01	0.05	10.7	4.6	15.3
16.皮革製品	0.01	0.00	0.01	9.9	4.6	14.5
17.窯業土石	0.75	-0.52	1.27	9.2	6.4	15.7
18.鉄鋼	2.23	-1.06	3.29	11.7	5.6	17.3
19.非鉄金属	0.41	-0.05	0.45	11.9	1.3	13.2
20.金属製品	0.11	-0.04	0.15	13.5	5.3	18.8
21.一般機械	0.14	-0.05	0.18	15.7	5.4	21.1
22.電子計算機	0.00	0.00	0.00	15.5	2.5	18.0
23.通信機器	0.01	0.00	0.02	17.5	6.5	24.0
24.電子部品	0.02	-0.01	0.03	20.3	13.1	33.3
25.民生重電他	0.12	-0.07	0.18	16.7	9.7	26.4
26.自動車	0.09	-0.03	0.11	20.5	6.0	26.5
27.その他輸送機械	0.08	-0.05	0.13	8.6	4.7	13.2
28.精密機械	0.02	-0.01	0.02	13.9	5.9	19.8
29.その他製造業	0.07	-0.01	0.08	14.3	3.1	17.4
30.鉄道輸送	0.36	-0.03	0.38	4.8	0.4	5.2
31.道路輸送	0.34	0.04	0.30	14.1	-1.7	12.4
32.水運	0.16	0.01	0.14	15.0	-1.2	13.8
33.航空輸送	0.13	-0.14	0.27	12.0	12.6	24.6
34.倉庫その他運輸	0.03	0.00	0.03	7.9	0.2	8.0
35.通信	0.01	0.00	0.02	16.0	2.1	18.1
36.電力	0.03	0.00	0.04	10.7	0.7	11.4
37.ガス	0.00	0.00	0.00	6.1	2.3	8.4
38.水道	0.01	0.00	0.01	16.6	-4.9	11.8
39.卸小売	0.42	0.02	0.40	14.9	-0.7	14.2
40.金融保険	0.01	0.00	0.01	10.0	-0.4	9.6
41.不動産業	0.02	0.01	0.01	11.5	-4.4	7.1
42.教育	0.06	0.05	0.01	8.3	-6.7	1.7
43.研究	0.01	0.00	0.01	8.1	-1.5	6.5
44.医療保健	0.07	0.00	0.07	9.4	0.0	9.4
45.その他サービス	0.34	0.12	0.22	11.3	-3.9	7.4
46.公務	0.06	0.01	0.05	6.9	-1.0	5.9
47.家計サービス	1.53	0.13	1.41	11.6	-1.0	10.6
一国経済	11.2	-2.0	13.2	11.2	-0.4	10.8

単位：右段（成長率）はそれぞれの年平均期間成長率（%）。左段（寄与度）は(6)式によるそれぞれの年平均寄与度（%ポイント）。QAEIは品質調整済みエネルギー投入量、GDPは実質付加価値、QAEPはGDP/QAEIによって定義される品質調整済みエネルギー生産性。

一国全体のエネルギー消費量の拡大（年率11.2%）に対して、18.鉄鋼業の寄与度は2.23%ポイントと最大である。加えて、12.化学業の1.75%、17.窯業土石製品製造業の0.75%、10.紙パルプ製品製造業の0.43%、19.非鉄金属製品製造業の0.41%の5つのエネルギー多消費産業の拡大によって、この期間におけるエネルギー消費量の拡大のおよそ半分（49.6%）が説明される。エネルギー消費拡大の要因でありながらも、エネルギー多消費産業にお

けるエネルギー生産性の改善もまた顕著である。産業構造要因を統御した一国集計レベルでのエネルギー生産性（QAEP）では、年率 2.0%の改善と測定期間内での最高値となるが、そのもっとも大きな貢献は 18.鉄鋼業（寄与度で 1.06%ポイント）によるものであり、12.化学業（0.69%ポイント）、17.窯業土石製品製造業（0.52%ポイント）と続く。5つのエネルギー多消費産業による寄与度合計でも 2.4%ポイントとなり、一国レベルの改善（2.0%）を上回る。

この期間、日本の鉄鋼業におけるエネルギー生産性の改善は年率 5.6%である（表 2 右段）。加治木（2010）は日本鉄鋼連盟の資料に基づき、鉄鋼業の省エネ実現においてとくに効果的であった対策として、1)平炉から転炉への転換（LD 転炉の導入）、2)連続鋳造（continuous casting: CC）、3)転炉ガス回収法（oxygen converter gas recovery system: OG）、4)コークス乾式消化設備（coke dry quenching: CDQ）、5)高炉炉頂圧発電（top pressure recovery turbine: TRT）の導入を上げている。そして LD 転炉や CC などの技術導入は、1952 年に制定された企業合理化促進法による合理化特別償却制度の対象期間（1952-68 年）とほぼ一致するものであったことを指摘している。こうした政策的な支援が有効となった背景には、高度経済成長期の旺盛な内需拡大に対して資本能力増強のための投資が求められたこと、またエネルギー効率の良い技術が利用可能であったことは留意されるべきであろう。加治木（2010）は LD 転炉や CC は全般的な生産性の向上やコスト削減を主目的としたものであり、OG 法は競合する技術に対して資本コスト面で優位性を確立したことで普及したことを指摘している。省エネにおいてもっとも効果的であったこの 3 つの対策は、省エネそのものを主目的としたものではなく、生産能力拡大投資に組み込まれた技術の恩恵である。おもにオイルショック後に導入された CDQ や TRT は、エネルギーの価格上昇によってはじめて省エネとしてのコスト合理性を持つに至った技術である。第 III 期においては、CDQ や TRT によるエネルギー生産性の改善もあるものの、日本の鉄鋼業においてもっとも高い改善は第 II 期におこなわれている。

他方、エネルギー生産性を低下させているものは、1.農林水産業（寄与度で-0.29%ポイント）や 4.建設業（-0.19%ポイント）である。農業では、1953 年に施行された「農業機械化促進法」や、1961 年施行の「農業基本法」により農業の機械化が急速に推進されている。労働集約的な生産プロセスから資本深化を高めていく中で、エネルギー生産性としては低下傾向が見出される<sup>13</sup>。エネルギー消費量の拡大に対して寄与度の大きな部門は家計サービス（1.53%ポイント）である。1950 年代後半に三種の神器などと称された白黒テレビ・洗濯機・冷蔵庫が急速に普及し、そして 1960 年代半ばからは新・三種の神器と呼ばれたカラーテレビ・エアコン・自動車などの普及も始まるなど<sup>14</sup>、ライフスタイルの変化によるエネルギー多消費化が進行している。しかし家計部門では、この期間においてエネルギー生産性の改善は見いだされない。

<sup>13</sup> 日本ではエネルギー生産性や資本生産性のみではなく、全体的な生産性の改善にも失敗している。Jorgenson, Nomura and Samuels (2016)が指摘するように、米国では農業は生産性が長期的に改善している産業であるが、日本では継続して低下し続けた。「農業基本法」は大規模化や効率化により、生産性を改善させることには失敗していると評価される。

<sup>14</sup> 内閣府「消費動向調査」によれば、白黒テレビ、洗濯機、冷蔵庫の普及率が 60%に達した年はそれぞれ 1961 年、1963 年、1966 年であり、カラーテレビ、エアコン、乗用車では 1972 年、1989 年、1982 年である。1973 年では、白黒テレビ、洗濯機、冷蔵庫の普及率は 65.4%（1968 年には 96.4%に達し、すでに縮小）、97.5%、94.7%、カラーテレビ、エアコン、乗用車は 75.8%、12.9%、36.7%である。

### 4.3 第 III 期 (1973-90 年)

第 III 期 (1973-90 年) は、二度のオイルショックの影響を受けて、マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性の改善が年率 3.1%にも達する、省エネ黄金期と捉えられる。しかしこの期間は急速に電力化が進行しており (図 4)、エネルギー品質の改善や産業構造要因も大きい。図 7 にみるように、エネルギー品質の改善は第 II 期に比して縮小するものの、第 III 期にも依然としてマクロレベルでのエネルギー生産性改善の 0.4%ポイントを説明する要因となっている。産業構造要因はさらに大きな影響を持つ。この期間、第 II 期とは対照的に、エネルギー多消費ではない産業における生産が相対的に拡大したことにより、マクロレベルにおける見かけ上のエネルギー生産性改善の 1.2%ポイントが産業構造要因によって説明される。両者を統御した QAEP の改善は年率 1.5%に留まり、見かけ上のエネルギー生産性改善の半分以下にまで縮小している。この期間では二度のオイルショックにより、エネルギー価格は資本サービス価格に比して相対的に大きく上昇したものの、産業構造要因を統御すれば、エネルギー生産性の改善率は第 II 期 (年率 2.0%) から減速したと評価される。

この期間、品質調整済みのエネルギー消費量 (QAEI) の成長率でも、第 II 期の年率 11.2%から年率 2.0%へと大きく減速した。図 10 にみるように、一国経済のエネルギー消費拡大におけるエネルギー多消費産業による寄与は小さなものとなり、最大の増加要因 (寄与度では 0.88%ポイント) は 47.家計サービスである。新・三種の神器のうちエアコンや乗用車の本格的な普及は、第 III 期におこなわれている。家計部門においても第 III 期には年率 0.3%のエネルギー生産性の改善が見出されるが、エネルギー消費拡大を相殺するには微力であり、エネルギー消費は年率 5.2%で増加している (表 3 右段)。

この第 III 期では、47 産業のうち半分以上の部門でエネルギー生産性が改善しているが、最大の寄与は 12.化学製品製造業である。同産業の品質調整済みエネルギー生産性改善 (QAEP) は年率 4.1% (寄与度で 0.57%ポイント) であり、一国集計値 (年率 1.5%改善) に対してその 1/3 ほどを説明する要因である。第 II 期から第 III 期にかけ、QAEP 成長率では、18.鉄鋼業では年平均 5.6%から 1.8%へ、17.窯業土石製品製造業では 6.4%から 1.1%へ、10.紙・パルプ製品製造業では 2.7%から 1.8%へと、高度経済成長期に大規模な省エネ技術の導入をすでに終え、第 III 期にはエネルギー生産性の改善スピードを大きく減速させている。しかし 12.化学製品製造業では、第 II 期の年率 5.0%改善からの減速幅はわずかに留まっている。

化学業の生産する製品は多種多様であり、また結合生産物も多いことから、個別製品のエネルギー原単位評価は困難であるが、代表的な基礎製品においては技術情報に基づいた評価がおこなわれている。図 9 は澤田 (1998) や日本化学工業協会資料に基づき、エチレン、低密度ポリエチレン(LDPE)、ポリプロピレン(PP)、か性ソーダの 4 つの代表的な化学製品において、エネルギー原単位の推移を示したものである (資料の制約から開始年次と終了年次が異なるものの、すべて 1976 年値を 1 として基準化している)。

エチレン生産のエネルギー原単位では、1976 年の 10.4 百万 kcal/t から 1986 年の 6.0 百万 kcal/t までほぼ直線的に改善し、10 年間の年平均改善率では 5.5%にも上る<sup>15</sup>。しかし

<sup>15</sup> 澤田 (1998) では、原単位改善へと寄与した対策技術として、高効率圧縮機の採用、反応器出口の熱回収強化、

その後急速に改善の余地を失い、1980年代半ば以降からは横ばいを続けている。1976-86年においては、LDPEとPPでもそれぞれ年率4.0%および6.4%のエネルギー原単位の改善である。か性ソーダの電力原単位ではわずかに下回るものの、年率2.2%の改善である。LDPEやPPでは1980年代後半でも改善が継続している。代表製品に限られるものの、こうした技術情報によるエネルギー原単位の推移は、図10における第III期のQAEP測定値とほぼ整合していると解される。化学製品製造業と、鉄鋼業・窯業土石製造業の比較において、エネルギー多消費産業としての第III期のエネルギー生産性改善における相違は、エネルギー価格の相対的な上昇に直面しようとも、省エネの進行は経済合理的な技術の利用可能性に大きく制約されていることを意味するものである。技術制約に依存して、エネルギー生産性を高めるための限界的な費用は逡増している。

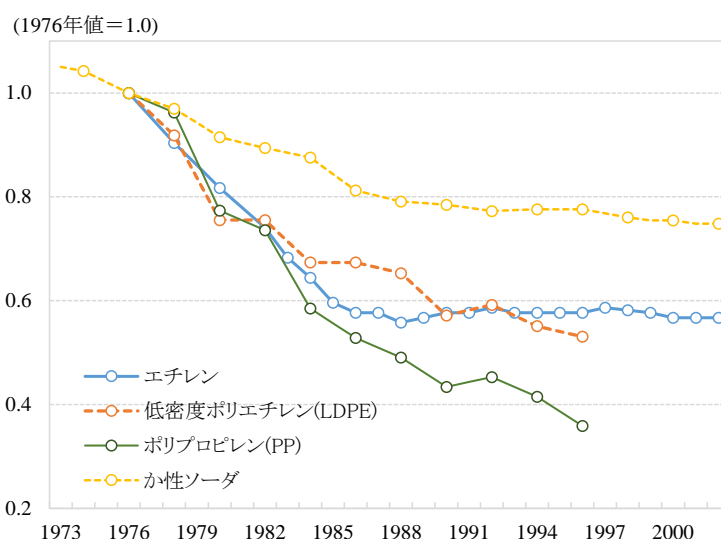


図9: 化学製品製造におけるエネルギー原単位推移 (1973-2002年)

単位：1976年=1.0とした指数。出典：1976-96年は澤田（1998）より、それ以外の年次は、日本化学工業協会「化学業界の「低炭素社会実行計画」への取り組み」（2012年8月22日）より作成。

19.非鉄金属製品製造業は、第II期から第III期にかけ、QAEP成長率が年平均1.3%（寄与度にして0.05%ポイント）から6.8%（0.17%ポイント）へと大きく改善した例外的な産業である。しかしこうした改善は、ここでのエネルギー生産性指標が47産業を最小単位として生産構成変化を捉えていることの問題でもある。日本のアルミニウム製錬業は1977年のピーク時には119万トンの地金を生産したものの、二度のオイルショックを経た電力価格の高騰によって、1980年代に入って縮小をはじめ1983年には1980年水準の1/3へ、そして1980年代後半には完全撤退へと追い込まれている。輸入地金による圧延工程などに切り替わる中で、産業内における製品構成変化は、産業レベルでのQAEP改善として測定値に含まれてしまっている。

分解炉の改造（高オレフィン収率型の採用）、ガスタービンによるコジェネレーション、コンピュータ制御による最適化、蒸留プロセスの効率化（多段蒸留、インテグレート化）を指摘している。

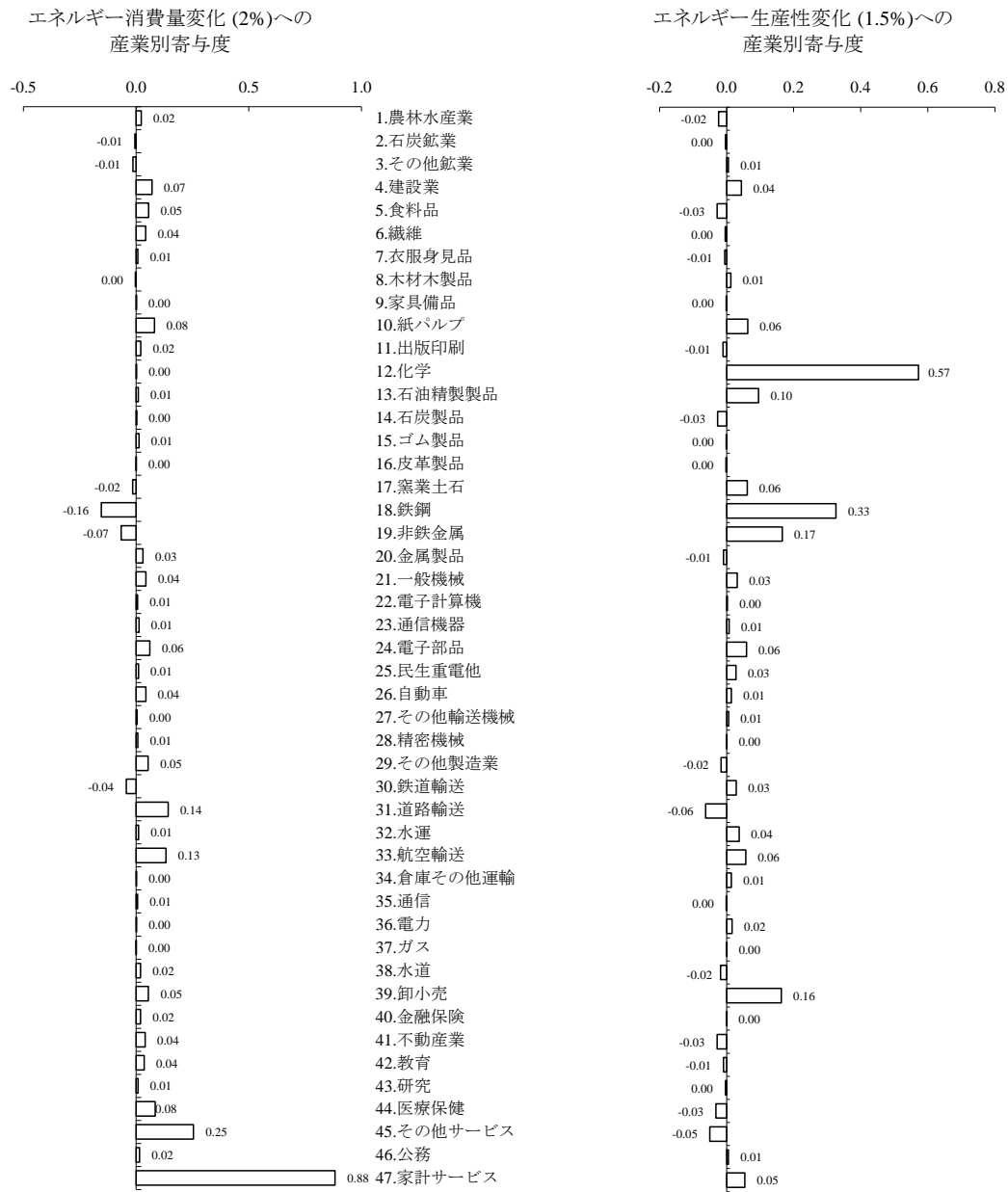


図 10: エネルギー消費および生産性変化の産業起因 (第 III 期 : 1973-90 年)

単位 : %ポイント。エネルギー消費は品質調整済みエネルギー投入量 (QAEI)、エネルギー生産性は QAEP。

表3：エネルギー生産性変化の要因分解（第III期：1973-90年）

	寄与度			成長率		
	QAEI	QAEP	GDP	QAEI	QAEP	GDP
1.農林水産業	0.02	0.02	0.00	0.8	-0.9	0.0
2.石炭鉱業	-0.01	0.00	-0.01	-5.7	-3.5	-9.3
3.その他鉱業	-0.01	-0.01	-0.01	-1.5	0.6	-0.9
4.建設業	0.07	-0.04	0.11	2.6	1.6	4.2
5.食料品	0.05	0.03	0.03	3.4	-1.7	1.6
6.繊維	0.04	0.00	0.04	2.4	-0.2	2.2
7.衣服身見品	0.01	0.01	0.00	4.1	-2.7	1.3
8.木材木製品	0.00	-0.01	0.01	-1.0	3.3	2.3
9.家具備品	0.00	0.00	0.00	1.4	-1.1	0.2
10.紙パルプ	0.08	-0.06	0.14	2.3	1.8	4.1
11.出版印刷	0.02	0.01	0.01	5.2	-2.7	2.5
12.化学	0.00	-0.57	0.57	0.0	4.1	4.2
13.石油精製製品	0.01	-0.10	0.11	5.5	53.2	58.7
14.石炭製品	0.00	0.03	-0.02	1.3	-12.9	-11.5
15.ゴム製品	0.01	0.00	0.01	3.7	-0.2	3.5
16.皮革製品	0.00	0.00	0.00	2.1	-3.4	-1.3
17.窯業土石	-0.02	-0.06	0.05	-0.3	1.1	0.9
18.鉄鋼	-0.16	-0.33	0.17	-0.8	1.8	0.9
19.非鉄金属	-0.07	-0.17	0.10	-2.7	6.8	4.1
20.金属製品	0.03	0.01	0.02	3.1	-0.9	2.2
21.一般機械	0.04	-0.03	0.08	3.7	2.7	6.4
22.電子計算機	0.01	0.00	0.01	12.7	5.3	17.9
23.通信機器	0.01	-0.01	0.02	8.1	4.8	12.9
24.電子部品	0.06	-0.06	0.12	11.1	10.9	22.0
25.民生重電他	0.01	-0.03	0.04	1.2	3.3	4.5
26.自動車	0.04	-0.01	0.06	4.9	1.7	6.6
27.その他輸送機械	0.00	-0.01	0.01	0.7	0.9	1.6
28.精密機械	0.01	0.00	0.01	4.5	0.8	5.3
29.その他製造業	0.05	0.02	0.04	5.5	-1.7	3.8
30.鉄道輸送	-0.04	-0.03	-0.01	-2.5	1.6	-0.8
31.道路輸送	0.14	0.06	0.08	3.3	-1.5	1.9
32.水運	0.01	-0.04	0.05	0.8	2.8	3.5
33.航空輸送	0.13	-0.06	0.19	6.8	2.9	9.7
34.倉庫その他運輸	0.00	-0.01	0.02	0.7	5.3	6.1
35.通信	0.01	0.00	0.01	5.8	-1.0	4.8
36.電力	0.00	-0.02	0.02	0.7	5.3	6.0
37.ガス	0.00	0.00	0.00	3.2	4.3	7.5
38.水道	0.02	0.02	0.00	7.8	-7.5	0.3
39.卸小売	0.05	-0.16	0.22	1.6	4.8	6.4
40.金融保険	0.02	0.00	0.02	7.8	0.1	8.0
41.不動産業	0.04	0.03	0.01	8.8	-6.3	2.5
42.教育	0.04	0.01	0.03	4.3	-1.1	3.2
43.研究	0.01	0.00	0.00	6.0	-2.7	3.3
44.医療保健	0.08	0.03	0.05	7.9	-3.0	4.9
45.その他サービス	0.25	0.05	0.20	5.6	-1.1	4.5
46.公務	0.02	-0.01	0.02	2.6	1.0	3.6
47.家計サービス	0.88	-0.05	0.94	5.2	0.3	5.5
一国経済	2.0	-1.5	3.5	2.0	2.8	4.8

単位：右段（成長率）はそれぞれの年平均期間成長率（%）。左段（寄与度）は(6)式によるそれぞれの年平均寄与度（%ポイント）。QAEIは品質調整済みエネルギー投入量、GDPは実質付加価値、QAEPはGDP/QAEIによって定義される品質調整済みエネルギー生産性。

この第III期においては、1951年に施行された熱管理法が全面的に改正され、1979年10月には省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）が施行されている。対象は工場のみから建設物と機械器具にまで拡張され、ファイナンスや租税優遇措置を含む総合的な法律となっている。7つの努力事項において細かな「判断基準」を設定し、それが業種横断的に省エネを推進するためのガイドラインとして位置づけられている。しか



しこの時期の省エネ法では、判断基準はあくまで努力目標としての指標であり、報告徴収もほとんどおこなわれていない(杉山・木村・野田,2010)。第 III 期後半期(1980 年代)においては、省エネ法によるエネルギー生産性の改善への影響は軽微であると考えられよう。

#### 4.4 第 IV 期 (1990–2008 年)

第 IV 期(1990–2008 年)には、経済成長率は大きく減速した。第 III 期の経済成長率(年平均 4.8%)に対して、この期間では年率 1.3%に留まる。経済成長率の低迷に伴い、マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性改善スピードもまた、年率 3.1%から年率 0.8%へと大きく減速している(図 7)。エネルギー品質改善や産業構造変化による効果も縮小しているものの、エネルギー生産性改善が減速する中で産業構造変化はマクロレベルでのエネルギー生産性改善の 3/4 を説明する要因となっている。第 IV 期には相対的にエネルギー多消費産業が縮小しており、そうした産業構造を統御した上でのエネルギー生産性改善は年率 0.1%にまで低下している。

第 IV 期後半(2000–08 年)はエネルギー価格が相対的に上昇した局面にある。2000 年代に入り原油価格は上昇を開始し、そのピークとなる 2008 年には 1990 年代後半に比して 6 倍ほどにまで上昇した。そうしたエネルギー価格の急速な上昇に直面しようとも、エネルギー生産性の改善がわずかに留まったことは、利用可能な省エネ技術が減少してきており、エネルギー生産性を高めるための限界費用が逡増していることを示唆している。また民間企業が過剰資産を抱え投資を控えるような低成長の環境下のもとでは、資本に体化された技術が更新投資を通じて組み込まれ、エネルギー生産性を改善させることにも時間を要するものとなっている。12.化学製品製造業におけるエネルギー生産性の改善スピードは、第 III 期の年平均 4.1%から第 IV 期には 0.9%へと大きく減速した。技術情報として図 9 にみるように、1990 年代に入り、代表的な化学製品におけるエネルギー原単位の改善も大きく縮小していることと整合した推移である。

第 IV 期においては、省エネ法が改正されている。1993 年改正には遵守すべき「基準部分」と努力目標としての「目標部分」に整理され、1998 年改正では「基準部分」の遵守状況調査を通じた遵守担保措置が取られている。杉山・木村・野田(2010)はインタビュー調査などにより、優れたエネルギー管理をおこなっている企業では、この時期には省エネ法の規制内容を上回る対策がすでに実施済みであり、省エネ法改正の影響はほとんどなかったことを指摘している。その一方、改正省エネ法による指定を契機として、熱分野など新たな対策を開始した企業、あるいは実際に対策を推進できなかった企業もあったとしている。産業レベルでの測定結果(図 11)からみれば、省エネ法改正による製造業への影響をこの時期に見出すことは困難である。

図 11 の左図にみるように、エネルギー多消費産業の多くでは、(マイナスの生産量変化により)この期間ではむしろエネルギー消費の減少要因となった。増加する部門は、47.家計サービス、45.その他サービス業、39.卸小売業、44.医療・保健、42.教育などである。サービス部門におけるエネルギー消費の拡大傾向は顕著となり、それが一国全体のエネルギー消費量を年率 0.6%とわずかながら増加させる要因である。図 11 の右図における

エネルギー生産性の変化では、製造業における最大の寄与度は0.14%ポイント（年平均成長率で12.3%）となる24.電子部品製造業である。この期間における情報通信分野の技術革新は、品質を統御して測定された生産量を急速に拡大させ、エネルギー消費の拡大を十分に吸収しながら、エネルギー生産性を改善させている。

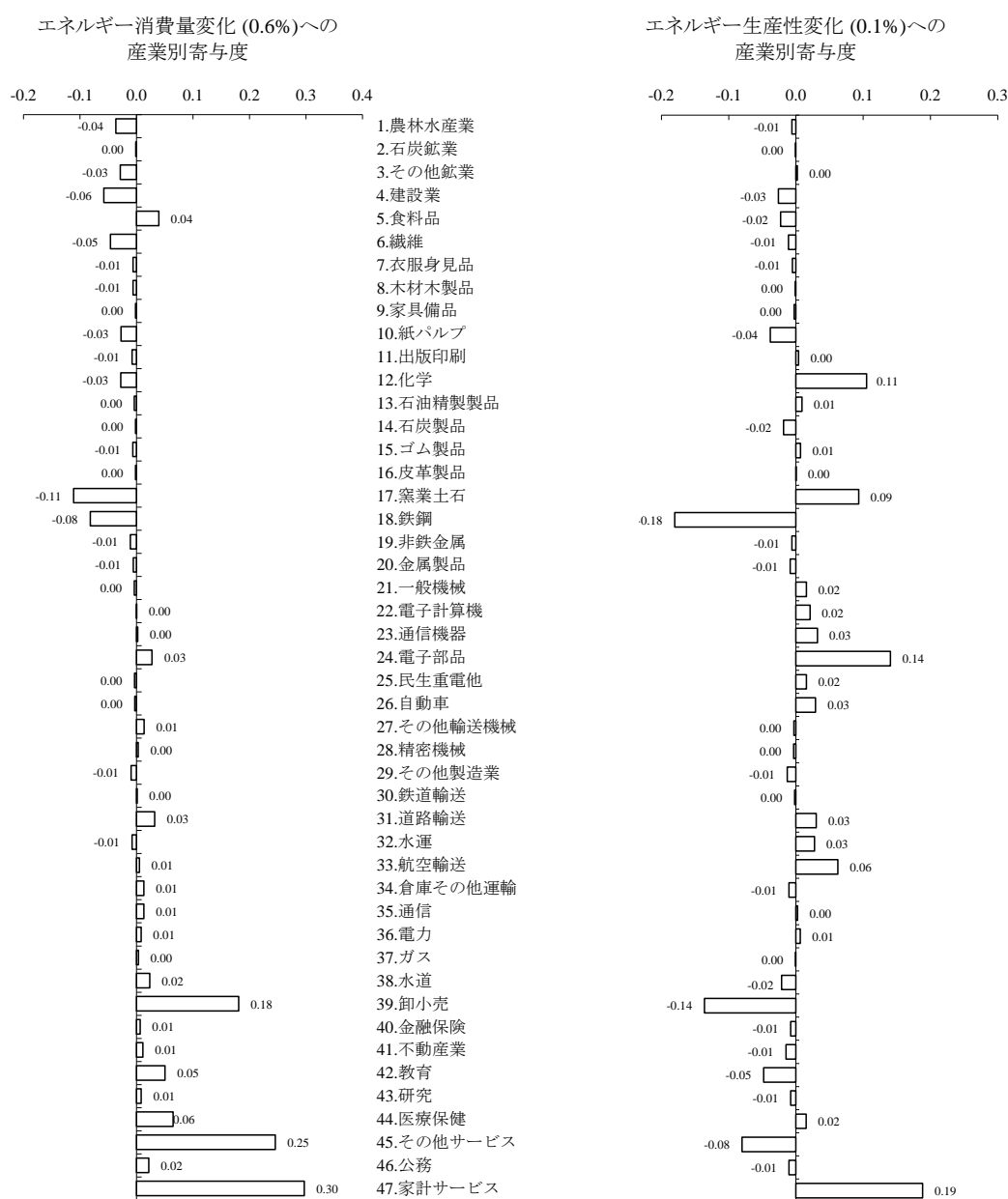


図 11: エネルギー消費および生産性変化の産業起因（第 IV 期：1990–2008 年）

単位：%ポイント。エネルギー消費は品質調整済みエネルギー投入量（QAEI）、エネルギー生産性は QAEP。

表4：エネルギー生産性変化の要因分解（第IV期：1990-2008年）

	寄与度			成長率		
	QAEI	QAEP	GDP	QAEI	QAEP	GDP
1.農林水産業	-0.04	0.01	-0.04	-1.7	-0.3	-2.0
2.石炭鉱業	0.00	0.00	0.00	-9.2	-1.5	-10.6
3.その他鉱業	-0.03	0.00	-0.03	-5.7	0.4	-5.3
4.建設業	-0.06	0.03	-0.08	-2.8	-1.2	-4.0
5.食料品	0.04	0.02	0.02	1.9	-1.1	0.8
6.繊維	-0.05	0.01	-0.06	-3.7	-0.9	-4.5
7.衣服身見品	-0.01	0.01	-0.01	-4.0	-3.4	-7.4
8.木材木製品	-0.01	0.00	-0.01	-2.6	-0.4	-3.0
9.家具備品	0.00	0.00	0.00	-2.0	-3.0	-4.9
10.紙パルプ	-0.03	0.04	-0.07	-0.8	-1.1	-1.9
11.出版印刷	-0.01	0.00	0.00	-1.9	0.9	-1.0
12.化学	-0.03	-0.11	0.08	-0.2	0.9	0.7
13.石油精製製品	0.00	-0.01	0.00	-2.6	6.0	3.4
14.石炭製品	0.00	0.02	-0.02	-1.1	-10.7	-11.8
15.ゴム製品	-0.01	-0.01	0.00	-2.0	2.1	0.1
16.皮革製品	0.00	0.00	0.00	-5.9	1.2	-4.7
17.窯業土石	-0.11	-0.09	-0.02	-2.9	2.5	-0.5
18.鉄鋼	-0.08	0.18	-0.26	-0.7	-1.4	-2.1
19.非鉄金属	-0.01	0.01	-0.02	-0.8	-0.4	-1.3
20.金属製品	-0.01	0.01	-0.01	-0.6	-0.9	-1.5
21.一般機械	0.00	-0.02	0.01	-0.3	1.3	1.0
22.電子計算機	0.00	-0.02	0.02	0.4	22.9	23.4
23.通信機器	0.00	-0.03	0.03	0.9	12.9	13.8
24.電子部品	0.03	-0.14	0.17	2.4	12.3	14.7
25.民生重電他	0.00	-0.02	0.01	-0.5	2.3	1.8
26.自動車	0.00	-0.03	0.03	-0.3	2.8	2.5
27.その他輸送機械	0.01	0.00	0.01	2.1	-0.5	1.6
28.精密機械	0.00	0.00	0.00	1.4	-1.6	-0.2
29.その他製造業	-0.01	0.01	-0.02	-0.9	-1.2	-2.0
30.鉄道輸送	0.00	0.00	0.00	0.1	-0.2	-0.1
31.道路輸送	0.03	-0.03	0.06	0.6	0.6	1.2
32.水運	-0.01	-0.03	0.02	-0.7	2.2	1.6
33.航空輸送	0.01	-0.06	0.07	0.2	2.6	2.8
34.倉庫その他運輸	0.01	0.01	0.00	4.0	-3.2	0.8
35.通信	0.01	0.00	0.02	5.6	1.1	6.7
36.電力	0.01	-0.01	0.01	2.1	1.7	3.8
37.ガス	0.00	0.00	0.00	4.3	-0.6	3.6
38.水道	0.02	0.02	0.00	4.6	-4.2	0.4
39.卸小売	0.18	0.14	0.04	4.0	-3.0	1.0
40.金融保険	0.01	0.01	0.00	1.7	-2.0	-0.4
41.不動産業	0.01	0.01	0.00	1.6	-2.1	-0.5
42.教育	0.05	0.05	0.00	4.4	-4.2	0.2
43.研究	0.01	0.01	0.00	3.1	-2.9	0.2
44.医療保健	0.06	-0.02	0.08	3.4	0.8	4.2
45.その他サービス	0.25	0.08	0.17	3.4	-1.1	2.3
46.公務	0.02	0.01	0.01	3.3	-1.6	1.7
47.家計サービス	0.30	-0.19	0.49	1.3	0.8	2.2
一国経済	0.6	-0.1	0.7	0.6	0.7	1.3

単位：右段（成長率）はそれぞれの年平均期間成長率（%）。左段（寄与度）は(6)式によるそれぞれの年平均寄与度（%ポイント）。QAEIは品質調整済みエネルギー投入量、GDPは実質付加価値、QAEPはGDP/QAEIによって定義される品質調整済みエネルギー生産性。

一国全体のエネルギー生産性の改善への最大の寄与は家計サービス部門（寄与度で0.19%ポイント）である。この期間、家計部門におけるエネルギー生産性の改善スピードは年率0.8%と、第III期の0.3%から大きく加速した。1998年の省エネ法の改正によってトップランナー制度が導入されたことはその一因として評価されるかもしれない。

#### 4.5 第Ⅴ期（2008–16年）

第Ⅴ期（2008–16年）では、品質調整したエネルギー消費量（QAEI）は4.医療・保健や42.教育業などを除くほとんどの部門で減少し（図14の左図）、一国全体では年平均マイナス1.0%とはじめて減少している。それにより、マクロレベルでの見かけ上のエネルギー生産性改善スピードは、年率1.7%にまで回復した（図7）。高いエネルギー生産性の改善は、日本経済の構造変化として、相対的にエネルギー多消費産業を縮小させたことによって実現したものではない。むしろ第Ⅴ期には、第Ⅲ期や第Ⅳ期とは異なり、産業構造要因はわずかながらも負値へと転じている。それは日本経済の低成長が継続する中、12.化学業や18.鉄鋼業などのGDPシェアがむしろ相対的に拡大していることを意味している。

一国集計レベルにおける品質調整済みエネルギー生産性（QAEP）でも、第Ⅴ期の年平均成長率は1.6%となり、オイルショック後の第Ⅲ期に匹敵する改善となった。そこで大きな貢献をした部門もまた12.化学業や18.鉄鋼業などのエネルギー多消費的な産業であり、両部門で合わせて一国全体のエネルギー生産性改善の6割ほどを説明する（図14の右図）。一国の改善に対する大きな寄与を示すもうひとつの部門は、家計サービス部門（寄与率にして27%）である。この期間、世帯所得が低迷し、耐久消費財サービスの拡大も鈍化する中で、東日本大震災による節電・省エネへの努力はエネルギー生産性における改善を促したものと評価される。しかし、エネルギー多消費産業では第Ⅱ期から第Ⅳ期までさまざまな省エネ技術の導入が飽和し、QAEP改善率が逡減してきたことに対して、第Ⅴ期における回復はどのように理解できるだろうか。

化学業におけるQAEPの年平均成長率は、第Ⅱ期5.0%、第Ⅲ期4.1%、そして第Ⅳ期には0.9%と逡減したものの、第Ⅴ期には再び5.0%と大きく改善している。澤田(1998)は、エチレンでは1990年代後半においても「極限に近い段階まで省エネルギー化が進んでいる」と評価しており、技術的なエネルギー原単位の改善も見いだせない（図9）。省エネの進行したひとつの要因は、米国のシェールガス由来の安価な汎用化学品が日本へと流入することを意識して、2014年ほどからはエチレン事業の再編が進んでいることである。それは産業としての稼働率の改善には寄与するものの、この期間に観察される年率5.0%もの高いエネルギー生産性改善を説明する要因ではない。

化学業の内部における製品構成の変化を考察しよう。図12は、産業連関表で定義されている27の化学製品ごとに細分化した分析として、横軸にベンチマーク年とする2011年におけるエネルギー生産性水準（エネルギー消費量あたりの付加価値額）の自然対数値、縦軸には第Ⅴ期の2008年から2016年における各製品の実質粗生産額の年平均成長率をとっている。また各バブルの大きさは2011年における付加価値の大きさを示す（各製品の名称における括弧内には、2011年における各製造における付加価値シェアとエネルギー消費シェアを示している）。2011年において、12.化学製品製造業内の付加価値シェアとしての最大部門は医薬品であり、化学全体の粗付加価値総額の40.4%を占めている。他方、エネルギー消費の視点からみれば、石油化学基礎製品や石油化学系芳香族製品がきわめて大きなシェアを持ち、化学業全体のそれぞれ65.0%と20.8%を占める<sup>16</sup>。対

<sup>16</sup> 石油化学基礎製品とは、ナフサを分解して得られる石油化学の第一次製品であるエチレン、プロピレン、ブタ

照的に、医薬品のエネルギー消費シェアはわずか0.7%であり、石油化学基礎製品および石油化学系芳香族製品の付加価値シェアはそれぞれ1.9%と2.0%に過ぎない。こうした際立った対照は、化学業全体としてのエネルギー生産性の変化率に対して大きな影響を与える源泉となっている。第Ⅴ期（2008–16年）における、粗生産額の年平均実質成長率では、医薬品製造、石油化学基礎製品製造および石油化学系芳香族製品製造ではそれぞれ3.9%、-2.3%および8.3%である。エネルギー消費シェアにしてその2/3を占める石油化学基礎製品製造がマイナス成長となり、付加価値シェア最大の医薬品製造がプラス成長となることで、化学業全体としてのエネルギー生産性指標では見かけ上の改善を生じさせるものとなる。また20%ほどのエネルギー消費シェアを持つ石油化学系芳香族製品製造は相対的に高い成長率となり、そのことは産業全体としてのエネルギー消費量を拡大させる影響を持っている。

国内生産変化率(第Ⅴ期:2008–16年の年平均成長率)

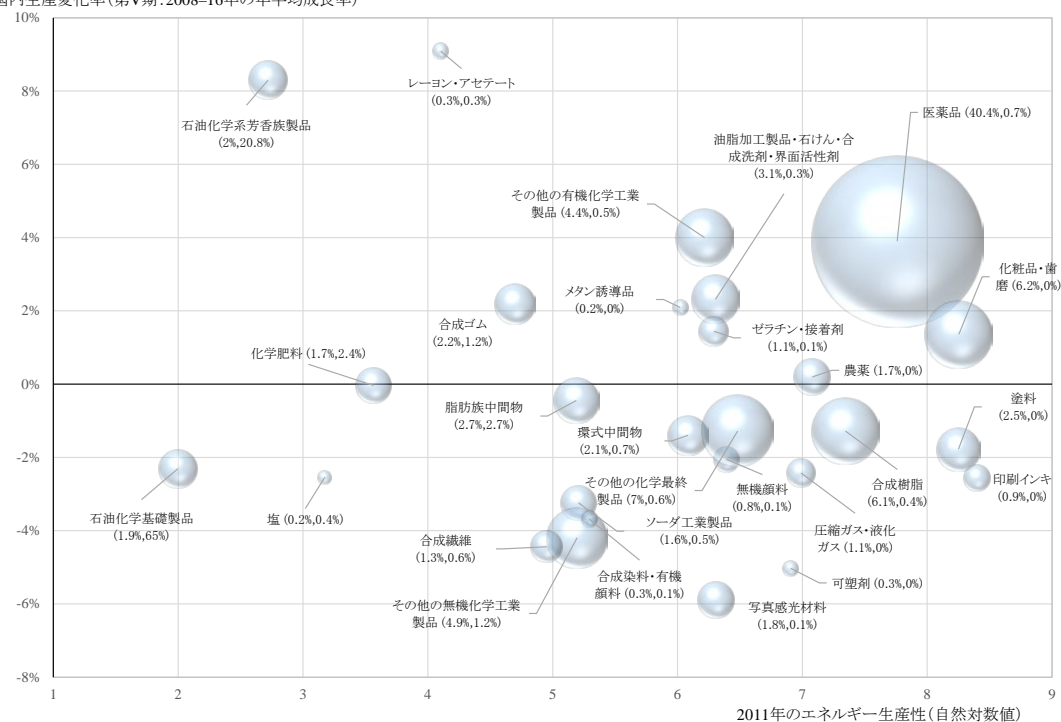


図 12: 化学製品のエネルギー生産性と成長率（第Ⅴ期：2008–16年）

出典：「2011年産業連関表」（総務省）および「物量表（付帯表）」、「国民経済計算」（内閣府経済社会総合研究所）、「工業統計」（経済産業省）、「国内企業物価指数」（日本銀行）などより著者作成。図中におけるバブルの大きさは各製品製造における2011年における付加価値であり、製品名称の括弧内は同年の（付加価値シェア、エネルギー消費シェア）を示している。

化学製品それぞれの生産におけるエネルギー消費量や付加価値変化に対する十分な基礎データは欠如しているものの、図12のような各製品製造におけるエネルギー原単位の想定と粗生産の成長率から簡易的な試算をおこなえば、化学業におけるエネルギー生産

ン、ブチレン、ブタジエン、ノルマルパラフィン、分解ガソリン、トップガスであり、石油化学系芳香族製品とは改質生成油および分解ガソリンからつくられる純ベンゼン、純トルエン、キシレン、芳香族溶剤である。

性の成長率 5.0%のうちの 3.3%ポイントはこの化学製品の構成変化による要因によって説明される。そのことは化学業の見かけ上のエネルギー生産性の改善（年率 5.0%）において、化学業内における製品構成変化の統御によっては生産性改善が年率 1.7%にまで低下する影響を持つことを意味する。そのもとでは化学製品製造業による一国経済の QAEP 改善への寄与度（0.59%ポイント）も 0.20%ポイントへと縮小する。

鉄鋼業における改善は、第 V 期における一国全体のエネルギー生産性改善（1.6%）の 20%ほどを説明する。鉄鋼業のエネルギー生産性の年平均成長率は、第 II 期 5.6%、第 III 期 1.8%、そして第 IV 期にはマイナス 1.4%と減速したが、第 V 期には再び 3.2%へと回復した。化学製品における図 12 と同様に、鉄鋼業における 13 の製品レベルでのエネルギー生産性水準および生産量の成長率を比較したものが図 13 である。

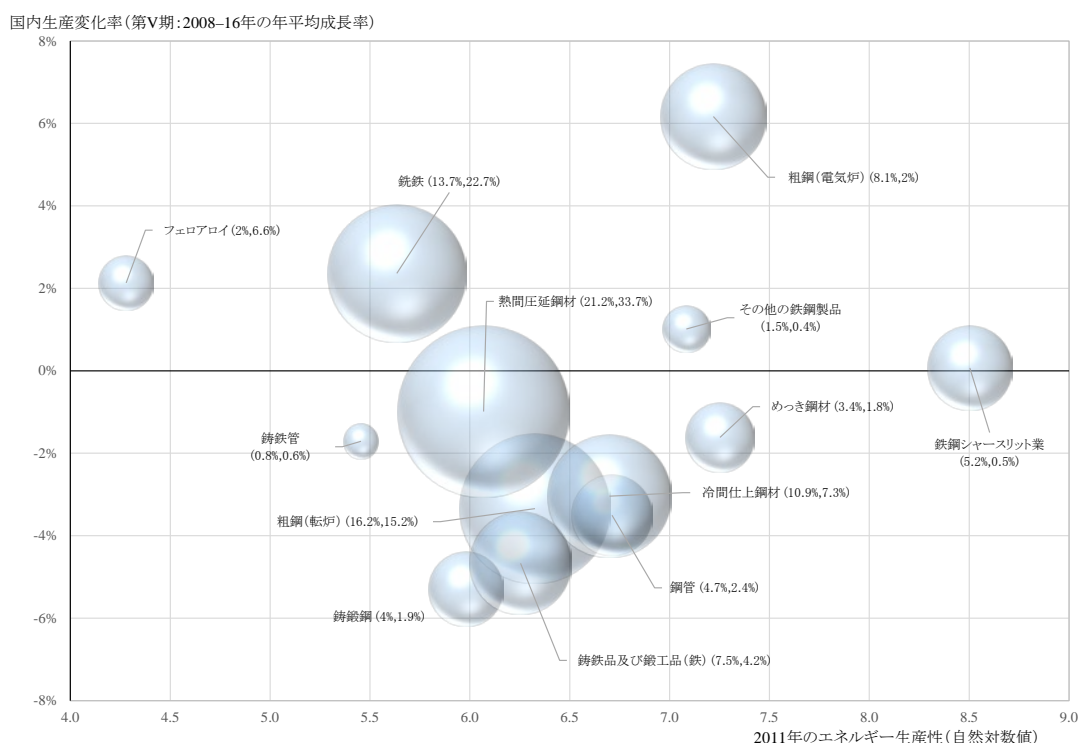


図 13: 鉄鋼製品のエネルギー生産性と成長率（第 V 期：2008-16 年）

出典：図 12 と同様。

日本の産業連関表では投入産出関係を明示的に描写するため、銑鉄など中間財に関しても投入構造が分離計上されており、仮想的ながら付加価値推計もおこなわれている。2011 年において、銑鉄は鉄鋼業の付加価値全体の 13.7%を占め、その工程におけるエネルギー消費シェアは 22.7%である。同年における最大の付加価値シェアは 21.2%を占める熱間圧延鋼材であるが、エネルギー消費シェアでも 33.7%と多消費的である。化学製品とは異なり、鉄鋼製品では付加価値とエネルギー消費において著しい乖離はなく、またエネルギー多消費的な製品が相対的に低成長となるような傾向も見出されない。低炭素社会実行計画の実績報告（日本鉄鋼連盟, 2018）によれば、2005 年度から 2016 年度にかけ

での鉄鋼業内における生産構成の変化を考慮すると、むしろエネルギー多消費的な財の生産が相対的に拡大する方向へと変化している<sup>17</sup>。本稿での定義で言えば、鉄鋼製品の構成変化の考慮によっては、鉄鋼業におけるQAEP成長率は見かけ上のエネルギー生産性の改善を超えるかもしれない。

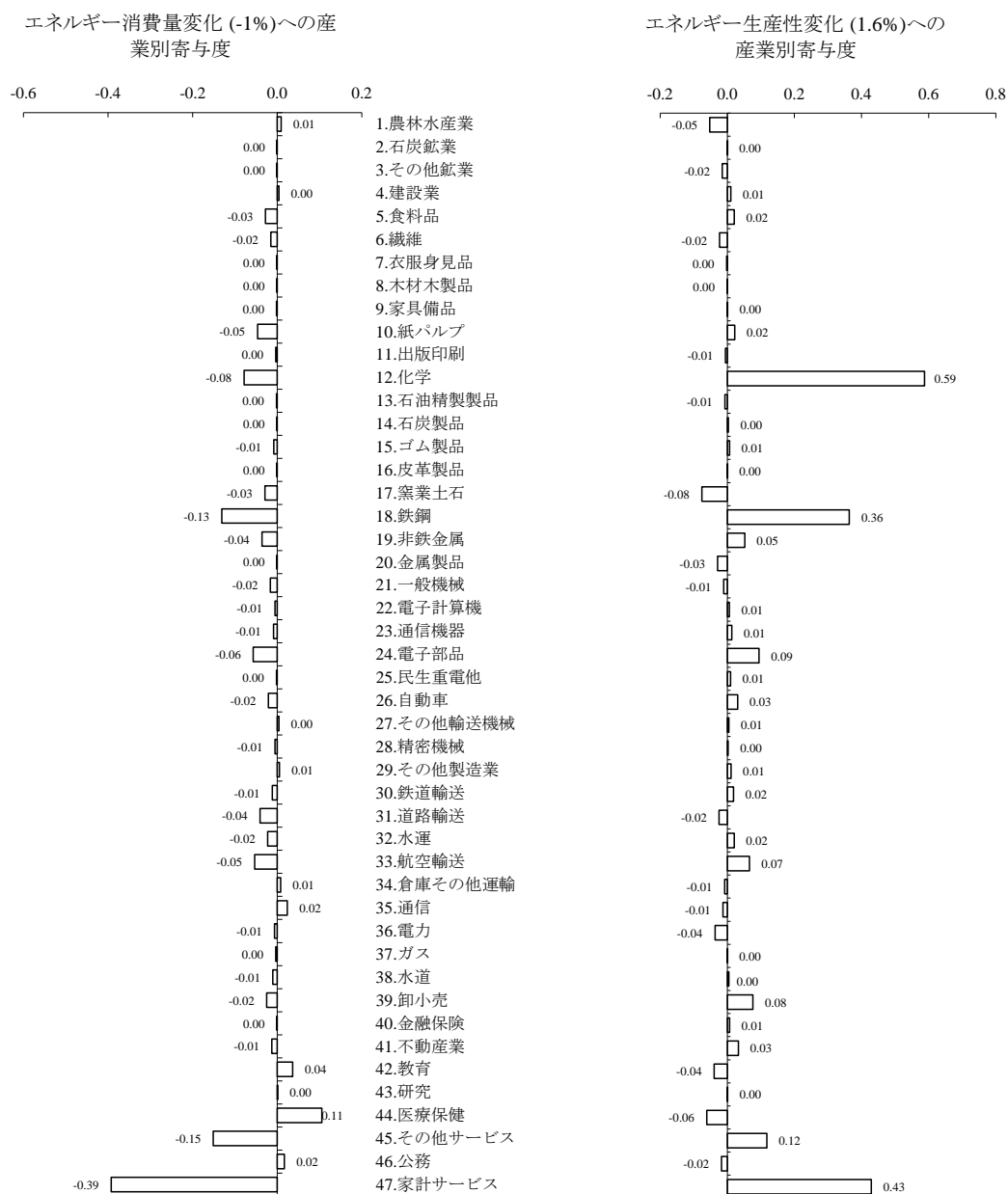


図 14: エネルギー消費および生産性変化の産業起因 (第 V 期: 2008–16 年)

単位: %ポイント。エネルギー消費は品質調整済みエネルギー投入量 (QAEI)、エネルギー生産性は QAEP。

<sup>17</sup> 日本鉄鋼連盟 (2018) では、コークス炉の耐火煉瓦の劣化 (東日本大震災による影響と考えられる) によるエネルギー生産性の悪化が指摘されている。本稿での産業分類によれば、コークス炉は 14.石炭製品製造業に格付けされており、18.鉄鋼業ではその影響を含んでいない。その意味において、低炭素社会実行計画よりも高いエネルギー生産性の改善は許容されよう。

表 5：エネルギー生産性変化の要因分解（第 V 期：2008–16 年）

	寄与度			成長率		
	QAEI	QAEP	GDP	QAEI	QAEP	GDP
1.農林水産業	0.01	0.05	-0.04	0.5	-3.1	-2.5
2.石炭鉱業	0.00	0.00	0.00	-5.4	11.5	6.1
3.その他鉱業	0.00	0.02	-0.02	-0.1	-7.3	-7.4
4.建設業	0.00	-0.01	0.01	0.3	0.8	1.0
5.食料品	-0.03	-0.02	-0.01	-1.2	0.9	-0.3
6.繊維	-0.02	0.02	-0.04	-2.1	-3.1	-5.2
7.衣服身見品	0.00	0.00	0.00	-0.7	-1.8	-2.5
8.木材木製品	0.00	0.00	0.00	-0.5	-0.2	-0.8
9.家具備品	0.00	0.00	0.00	-3.0	2.1	-0.9
10.紙パルプ	-0.05	-0.02	-0.02	-1.6	0.8	-0.8
11.出版印刷	0.00	0.01	-0.01	-1.2	-1.7	-3.0
12.化学	-0.08	-0.59	0.51	-0.7	5.0	4.3
13.石油精製製品	0.00	0.01	-0.01	-1.5	-5.3	-6.8
14.石炭製品	0.00	0.00	0.00	-0.4	2.4	2.0
15.ゴム製品	-0.01	-0.01	0.00	-3.3	2.7	-0.6
16.皮革製品	0.00	0.00	0.00	-5.0	0.1	-4.9
17.窯業土石	-0.03	0.08	-0.11	-1.2	-3.0	-4.1
18.鉄鋼	-0.13	-0.36	0.23	-1.2	3.2	2.0
19.非鉄金属	-0.04	-0.05	0.02	-3.3	4.8	1.5
20.金属製品	0.00	0.03	-0.03	-0.1	-3.6	-3.6
21.一般機械	-0.02	0.01	-0.03	-1.7	-1.1	-2.8
22.電子計算機	-0.01	-0.01	0.00	-9.2	10.7	1.5
23.通信機器	-0.01	-0.01	0.00	-3.9	5.9	1.9
24.電子部品	-0.06	-0.09	0.04	-5.0	8.4	3.4
25.民生重電他	0.00	-0.01	0.01	-0.4	1.7	1.4
26.自動車	-0.02	-0.03	0.01	-2.3	3.4	1.1
27.その他輸送機械	0.00	-0.01	0.01	0.5	0.6	1.1
28.精密機械	-0.01	0.00	0.00	-2.8	1.5	-1.3
29.その他製造業	0.01	-0.01	0.02	0.5	1.1	1.7
30.鉄道輸送	-0.01	-0.02	0.01	-1.4	2.1	0.8
31.道路輸送	-0.04	0.02	-0.07	-0.8	-0.5	-1.3
32.水運	-0.02	-0.02	0.00	-2.1	1.9	-0.2
33.航空輸送	-0.05	-0.07	0.01	-2.1	2.6	0.5
34.倉庫その他運輸	0.01	0.01	0.00	1.8	-1.8	0.0
35.通信	0.02	0.01	0.01	5.8	-3.1	2.7
36.電力	-0.01	0.04	-0.04	-2.4	-13.1	-15.5
37.ガス	0.00	0.00	0.00	-3.1	0.1	-2.9
38.水道	-0.01	0.00	-0.01	-1.7	0.7	-0.9
39.卸小売	-0.02	-0.08	0.05	-0.4	1.4	0.9
40.金融保険	0.00	-0.01	0.01	-0.1	1.8	1.7
41.不動産業	-0.01	-0.03	0.02	-1.8	4.7	2.9
42.教育	0.04	0.04	0.00	2.3	-2.5	-0.2
43.研究	0.00	0.00	0.00	0.3	0.4	0.7
44.医療保健	0.11	0.06	0.04	4.0	-2.3	1.7
45.その他サービス	-0.15	-0.12	-0.03	-1.9	1.5	-0.4
46.公務	0.02	0.02	0.00	2.1	-2.2	-0.1
47.家計サービス	-0.39	-0.43	0.04	-1.6	1.7	0.1
一国経済	-1.0	-1.6	0.6	-1.0	1.4	0.4

単位：右段（成長率）はそれぞれの年平均期間成長率（%）。左段（寄与度）は(6)式によるそれぞれの年平均寄与度（%ポイント）。QAEI は品質調整済みエネルギー投入量、GDP は実質付加価値、QAEP は GDP/QAEI によって定義される品質調整済みエネルギー生産性。

鉄鋼業における高い QAEP 成長率は、実質付加価値を分母とする本稿でのエネルギー生産性の定義にも依存している。第 V 期における鉄鋼業の実質付加価値の成長率（表 5 の年率 2.0%）に対し、実質粗生産の成長率ではマイナス 2.0%である。エネルギー消費（QAEI）はマイナス 1.2%であるから、粗生産ベースで見れば、鉄鋼業のエネルギー生産



性はむしろ年率 0.8%で悪化していると評価される。名目値では、粗生産額で年率-4.9%、付加価値額でも-0.7%と、当該期間においてともに減少している。実質付加価値のプラス成長は、粗生産よりも中間投入量がより大きく減少したことによるものであり、対事業所サービスなどを含めた中間投入全体による生産性の改善を示すものである<sup>18</sup>。2012年10月に経営統合した新日鐵住金（2019年4月より日本製鉄）など、国内重複部門の統廃合によるコスト削減などの効果の反映であると評価されよう。こうした合理化の実現は、実質付加価値の拡大によりエネルギー生産性を改善させるものとなる。しかしそのような一時的な性格を持つとすれば、QAEPにおける高い改善スピードを将来にも持続させることは難しいだろう。

サービス産業においても、45.その他サービス業、33.航空輸送業、39.卸小売業は一国レベルのエネルギー生産性をそれぞれ 0.1%ポイントほど改善させる要因となっている（図14の右図）。訪日外国人旅行者数では2008年の835万人から2011年には622万人へと減少したが、2013年には1036万人、2016年には2404万人にまで大きく拡大している（日本政府観光局）。それは旅行業や飲食宿泊業（ここでは45.その他サービス業に含まれる）や航空輸送業における稼働率の改善となり、エネルギー生産性を改善させている。景気変動に大きく依存しているものの、こうした産業では今後も稼働率の改善などを通じて、エネルギー生産性の改善へと寄与する可能性は高いだろう。

39.卸・小売業では年率 1.4%のエネルギー生産性の改善となり、一国経済のQAEP改善の5%を説明する。2010年4月には省エネ法が改正されている。改正省エネ法では、「業務その他部門（サービス業・店舗・病院など）」における適用対象範囲が拡大され、企業全体での取り組みを促すものとなっている。従来は年 1500kl（原油換算）以上消費する工場・事業場単位を対象とするものであったが、それは事業者単位へと変更され、個々の工場や支店などが対象とならずとも事業者の合計値として、またフランチャイズチェーンを運営している企業では加盟店も含めた合計値として、省エネ法の適用を受けるものとなった。流通部門においてはこの期間における市場の構造変化も大きい。経済産業省（2017）によれば、日本国内の消費者向け電子商取引（BtoC-EC）の市場規模は2010年の7.8兆円（うち物販系分野でのEC化率は2.84%）から2016年には15.1兆円（5.43%）へと拡大している<sup>19</sup>。こうした電子商取引の拡大は、一般にエネルギー生産性を改善させる影響を持つと評価されるかもしれない。この期間、流通部門においては順調に省エネが進行してきたと考えられるが<sup>20</sup>、年率 1.4%の改善は大きなものではない。とくに小売業ではエネルギー消費量は営業時間などに応じて安定的な傾向があり、電子商取引による影響はまだ過渡期にあると捉えるべきだろう。むしろ過渡的には、産業としての重複投資によりエネルギー生産性を悪化させる可能性もある。

<sup>18</sup> 第Ⅴ期において、鉄鋼業では粗生産量のマイナス 2.0%に対し、集計中間投入量ではマイナス 3.2%であり、中間投入全体による生産性では年率 1.1%の改善となっている。資本と労働投入量の変化を考慮した全要素生産性において、年率 0.7%の改善を示している。

<sup>19</sup> 資料の制約により開始年次は異なるが、経済産業省（2017）によれば BtoB-EC での市場規模でも、2012年の狭義に捉えても 178兆円（EC化率は17.5%）から202兆円（19.2%）へと拡大している。

<sup>20</sup> 低炭素社会実行計画では流通部門の多くがエネルギー原単位を目標指標とするが、その進捗報告によれば、2020年・2030年目標は2015年にはすでに達成されている。

#### 4.6 将来見通し

簡易な試算として、第Ⅴ期（2008-16年）に観察された産業別エネルギー生産性の寄与度を基準として、2030年に向けた予測をおこなおう。第Ⅴ期のQAEP成長率における最大の寄与度を示した12.化学業では、上述のように化学製品構成変化の統御によっては一国全体のQAEP改善は0.39%ポイント縮小（図7で見れば、その縮小分だけ産業構造要因が拡大）すると評価される。18.鉄鋼業では、この期間の経営統合などによる合理化の影響が一時的なものとするれば、中間投入の縮小を持続させることは困難であろう。この期間における中間投入量全体の集計値（マイナス3.2%）において、1.0%ポイントでも減少幅が縮小することによっては、実質付加価値のマイナス幅はQAEIの減少率を上回り、鉄鋼業のエネルギー生産性はむしろ負値となってしまう。将来には高機能鋼材のさらなるシェア拡大も見込まれ、鉄鋼業におけるベースライン推計値としてはゼロ成長を想定する。

第Ⅴ期において大きな寄与度を持つもうひとつの部門は、47.家計サービスである。年率1.7%のエネルギー生産性の改善、そして一国集計レベルでのQAEP改善への0.43%の寄与度は、東日本大震災後の節電・省エネ努力を反映したものであり、改善率としての持続可能性には疑問が残るものであろう。簡易に第Ⅳ期の寄与度（0.19%ポイント）をベースラインとすれば、縮小幅は0.24%ポイントとなる。この3部門を合わせて0.99%ポイントの縮小となり、第Ⅴ期における年率1.6%のQAEP成長率から導かれる、将来のベースライン推計値は年率0.6%ほどとなる。

また低炭素社会実行計画・改正省エネ法などが、あまり省エネ対策を意識してこなかった事業者などに対して効果を持っていたとしても、省エネのための費用として今後は逡増していくことが予想される。他方、電子商取引の拡大や将来の技術革新による不確実性も大きい。第Ⅴ期に観測される航空輸送、卸小売、その他サービス、建設業の4部門でのQAEP寄与度の合計は0.27%ポイントであり、それは第Ⅱ期マイナス0.19、第Ⅲ期プラス0.21、第Ⅳ期にはマイナス0.18と、プラスマイナス0.2%ポイントほどの変動幅を持っている。それを需要要因による変動幅として想定しよう。第Ⅴ期は景気拡大局面にあると考えられることから、ベースライン推計値は年率0.4%ほどに縮小する。景気言動に伴い、年率0.2-0.6%ほどの幅を持つと評価される。

再エネの推進コストの拡大に伴う電力価格上昇を考慮すれば、第Ⅴ期のエネルギー高度化指数の改善（年率0.4%）は半減ほどを余儀なくされるかもしれない。エネルギー転換要因はマイナス0.1%が継続し、産業構造要因によっては年率0.2%ポイントほどを想定すれば、QAEPとしてのベースライン推計値（年率0.2-0.6%）に対して、年率0.5-0.9%ほどがマクロレベルにおける見かけ上のエネルギー生産性改善の予測値となる。その予測値は、4.1節の図7に示して過去の実績と比較しているが、2030年に向けた政府目標（年率2.4%ほど）に対して、楽観的な予測でもその半分に達しない。

もし規制的な手段などにより、そのスピードを倍増させようとするのであれば、マクロレベルで見かけ上のエネルギー生産性を高めることは可能であるかもしれない。しかしその実現は、エネルギー多消費産業の国内空洞化、産業内におけるエネルギー多消費製品の相対的な縮小などを通じて、産業構造要因による年率1.5%ポイントほどの嵩上げに

よるものとなろう。それは国内生産・雇用の縮小とカーボン・リーケージとをもたらすのみである。見かけ上のエネルギー生産性の改善が何によるものであるか、データの蓄積と改善とを継続しながら、将来に向けても慎重な検討が必要である。

## 5 結び

2030年に向け、オイルショック後と同等な水準のエネルギー生産性の改善は実現可能だろうか。その問いへと接近するために、本稿では日本経済のエネルギー生産性に関する長期的な分析をおこなってきた。以下のようなことが導かれよう。第1に、品質調整済みのエネルギー生産性で見れば、大きな傾向としてマクロおよび産業部門別の改善スピードは逡減してきている。マクロレベルでの見かけ上の生産性改善の黄金期はオイルショック後（第III期）にみられるものの、エネルギー品質や産業構造の変化を統御すれば、高度経済成長期（年率2.0%）から、オイルショック後（年率1.5%）、そして1990年代以降の低成長期（年率0.1%）へと、各期間に大きく減速している。このことは、エネルギーと資本／労働との相対価格における変化や、省エネ法の施行・改正、また経団連自主行動計画などによる影響はあるとしても、省エネの実現には、大きな前提として経済合理的に利用可能な技術の存在が重要な前提であることを示唆するものであろう。

第2に、戦後の日本経済において、マクロレベルでは長期にわたり比較的安定したエネルギー生産性の改善が観察されるものの、一国全体への寄与度としての産業起因は期間ごとに大きく異なっている。エネルギー生産性改善の実現が利用可能な技術の存在に大きく依存していることは、生産プロセスの異なる産業では生産性改善が実現される時期を異にするものとなる。個別産業を10年などの期間で見れば、エネルギー生産性の改善が盛り上がりつつも、次の10年には大きくブレーキがかかるなど、省エネ技術の存在量をポテンシャルとしてそれを織り込んでいくプロセスとして理解される。このことは、省エネ政策支援の効果として現在みなされている成果の一部は、いずれ時間をかけて経済に織り込まれる技術の「前倒し」に過ぎない可能性を示唆する。省エネポテンシャルにおける技術のコスト効率性が将来に改善していくことを前提とすれば、前倒しの効果はときにマイナスにもなりうる懸念がある。

第3に、第V期では、品質調整済みエネルギー生産性改善のスピードも年率1.6%にまで回復した。しかしそれは産業レベルでの測定としては見えづらいものの、製品レベルにまで細分化した考察によっては、化学製品製造業などにおける製品構成変化が強く影響していることが見出される。利用可能な省エネ技術のポテンシャルが枯渇していく中で、見かけ上の達成を求めて規制的手段を厳しくしていくものであれば、穏やかに国内生産・雇用の縮小とカーボン・リーケージとをもたらすという懸念は、近年においてより大きなものとなっている。

第4に、多くの製造業において省エネ技術の導入がすでに飽和することで、近年における一国経済のエネルギー生産性の改善スピードは、エネルギー需要の生産弾性が小さいサービス業の変化により依存するものとなってきている。好景気においてはエネルギー生産性が改善し、景気低迷に伴い同程度に一気に悪化するというように、需要要因により大きく影響され、マクロレベルでもエネルギー生産性の変動幅は大きくなることが

予想される。

本稿での簡易な将来見通しによれば、2030年に向けてのマクロレベルにおける見かけ上のエネルギー生産性の改善は年率 0.5-0.9%ほどに留まるのではないかと予測される。ICT やデジタル化などの技術導入の拡大があろうとも、2020年代など既存ビジネスモデルと並立している過渡期においては、エネルギー生産性の改善を過度に期待することは難しいかもしれない。ICT 資本の経済体系への体化、インターネットの利用は1990年代後半から拡大しすでに20年近くの蓄積を持つが、マクロ・産業レベルにおいてエネルギー生産性に対する有意な影響はまだ見出せない。省エネ支援政策は前倒しではなく、より中長期的な視点に立脚し、利用可能な技術のポテンシャルの拡大、技術のコスト効率性の改善を促すことが求められるだろう。

## 6 補論：データ

本稿での産業別エネルギー消費量は、1955年を開始年次とする長期産業別生産性統計であるKEOデータベース（慶應義塾大学産業研究所）において構築されてきた長期時系列産業連関表（供給使用表：SUT）と整合して、拡張されてきたエネルギー消費表（KDB-E）に基づいている。そこでは「総合エネルギー統計」（経済産業省）、『EDMC エネルギー・経済統計要覧』（日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット,2018）、また「産業連関表」（総務省）付帯表である「物量表」などと、物量・熱量としての整合性を可能なかぎり維持しながら、「産業連関表」（総務省）および「国民経済計算体系」（内閣府経済社会総合研究所）における時系列使用表（JSNA-Use表）などの経済統計との調和を図るよう構築されている。

KDB-Eは以下の4表（A,B,C,D表）により構成される。エネルギー統計および経済統計との接合のため、いくつかの調和がおこなわれている。たとえば、経済統計では日本の経済主体が消費した国際航空輸送や外洋輸送なども国内生産として含まれており、そのために海外で消費（特殊貿易（輸入））したエネルギー消費も計上されている。「総合エネルギー統計」ではそれを含まないため、最終エネルギー消費量はKDB-Eが上回るものとなる。また自家蒸気の投入に関しては、産業連関表あるいはJSNA-Use表においては明示的な金額評価がおこなわれていないが（エネルギー転換における燃料投入を直接に計上）、KDB-Eでは「総合エネルギー統計」に計上される産出と投入における主体の差異を考慮し、最終エネルギー消費としての自家蒸気の投入についても金額評価をおこなっている。そうした概念変更によっては、現行の産業連関表あるいはJSNA-Use表に対してみれば、自家蒸気の産出主体における粗生産額が増加し、自家消費（中間投入）されることによって一般に付加価値率は低下していく。経済勘定としての長期時系列SUT表（KDB-SUT）ではそうした調整をおこなうことで、整合性が保持されている（この改訂は2018年10月改訂版において反映された）。

A. 金額表  
(単位：100万円)

		産業(j)の中間需要			最終需要(f)				52.国内生産	
		1.農業 . . . .	36.電力 . . . .	46.公務	47.家計消費 (H)	48.在庫純増 (Z)	49.輸出 (E)	50.(控除)輸入 (M)		51.輸入品商品税 (TM)
エネルギー種 (i)	1.原油 ・ [転換部門] ・ 中間消費 (T) 34.自家蒸気(発生) 35.水力 36.原子力 37.その他再エネ	$P_{ij}E_{ij}^T$			0				$P_{if}E_{if}^T$	$P_iE_i^T$
	1.原油 ・ 最終消費 (C) ・ 27.自家蒸気(投入)									

B. 物量表  
(単位：エネルギー種別固有単位)

		産業(j)の中間需要			最終需要(f)				52.国内生産	
		1.農業 . . . .	36.電力 . . . .	46.公務	47.家計消費 (H)	48.在庫純増 (Z)	49.輸出 (E)	50.(控除)輸入 (M)		51.輸入品商品税 (TM)
エネルギー種 (i)	1.原油 ・ (転換部門) ・ 中間消費 (T) 34.自家蒸気(発生) 35.水力 36.原子力 37.その他再エネ	$E_{ij}^T$			0				$E_{if}^T$	$E_i^T$
	1.原油 ・ 最終消費 (C) ・ 27.自家蒸気(投入)									

C. 熱量表  
(単位：10<sup>10</sup>kcal)

		産業(j)の中間需要			最終需要(f)				52.国内生産	
		1.農業 . . . .	36.電力 . . . .	46.公務	47.家計消費 (H)	48.在庫純増 (Z)	49.輸出 (E)	50.(控除)輸入 (M)		51.輸入品商品税 (TM)
エネルギー種 (i)	1.原油 ・ (転換部門) ・ 中間消費 (T) 34.自家蒸気(発生) 35.水力 36.原子力 37.その他再エネ	$c_iE_{ij}^T$			0				$c_iE_{if}^T$	$c_iE_i^T$
	1.原油 ・ 最終消費 (C) ・ 27.自家蒸気(投入)									

D. 熱量表 (一次エネルギー換算)  
(単位：10<sup>10</sup>kcal)

		産業(j)の中間需要			最終需要(f)				52.国内生産	
		1.農業 . . . .	36.電力 . . . .	46.公務	47.家計消費 (H)	48.在庫純増 (Z)	49.輸出 (E)	50.(控除)輸入 (M)		51.輸入品商品税 (TM)
エネルギー種 (i)	1.原油 ・ (転換部門) ・ 中間消費 (T) 34.自家蒸気(発生) 35.水力 36.原子力 37.その他再エネ	$\varepsilon_i c_i E_{ij}^T$			0				$\varepsilon_i c_i E_{if}^T$	$\varepsilon_i c_i E_i^T$
	1.原油 ・ 最終消費 (C) ・ 27.自家蒸気(投入)									

## 参考文献

- Cañete, Miguel Arias (2016) Towards an Effective Energy Union, speech at European Commission, February 17, 2016.
- 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.
- National Academy of Sciences. (1979). *Alternative Energy Demand Futures to 2010*, The Report of the Demand and Conservation Panel to the Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems, Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Schurr, S. H., Sonenblum, S., & Wood, D. O. (Eds.). (1983). *Energy, Productivity, and Economic Growth*, A Workshop Sponsored by the Electric Power Research Institute, Cambridge, Massachusetts: Oelgeschlager, Gunn & Hain, Publishers, Inc.
- Schurr, S. H., Burwell, C. C., Devine JR., W. D. & Sonenblum, S. (Eds.). (1990). *Electricity in the American Economy – Agent of Technological Progress*, Contributions in Economics and Economic History, No. 117, New York: Greenwood Press.
- 大川一司・石渡茂・山田三郎・石弘光 (1966) 『長期経済統計 (3) 資本ストック』, 東洋経済新報社.
- 大川一司・高松信清・山本有造 (1974) 『長期経済統計 (1) 国民所得』, 東洋経済新報社.
- 加治木紳哉 (2010) 『戦後日本の省エネルギー史』 エネルギーフォーラム.
- 経済産業省 (2017) 「平成 28 年度我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備 (電子商取引に関する市場調査)」, 経済産業省商務情報政策局情報経済課.
- 澤田豊 (1998) 「化学工業における省エネルギー対策への取り組み」, 『紙パ技協誌』, 第 52 巻 11 号.
- 杉山大志・野田冬彦・木村幸 (2010) 『省エネルギー政策論—工場・事業所での省エネ法の実効性』 エネルギーフォーラム.
- 中村秀臣 (2017) 「戦前における日本の電源選択の変遷—経済性評価手法と評価結果を踏まえて」, 『経済科学論究』第 14 号, 埼玉大学経済学会.
- 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット (2018) 『EDMC エネルギー・経済統計要覧』 省エネルギーセンター.
- 日本鉄鋼連盟 (2018) 「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組—低炭素社会実行計画実績報告」, 産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会 鉄鋼ワーキンググループ, 2018 年 2 月 7 日.