

DBJ Research Center on Global Warming
Discussion Paper Series No. 63 (8/2019)

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—

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

野村浩二†

慶應義塾大学 産業研究所

2019年8月

概要

エネルギー価格高騰による経済的な耐性評価のため、本稿は1955年からの実質単位エネルギーコスト(RUEC)における日米格差とともに、日本経済のRUECの変化要因を論じることを目的としている。日米比較によれば、日米RUEC格差は米国のシェール革命以降に急速に拡大しており、近年では日本は米国に比して60%ほど大きな実質コスト格差に直面している。それは戦後経済のピークに匹敵する日米格差である。その要因はエネルギー生産性格差の縮小と実質エネルギー価格差の拡大の両面による。近年、米国のエネルギー生産性の改善率は高く、日本の優位性はこの20年間で半分ほどへ低下している。

日本経済におけるRUEC変化の要因分析では、RUECが上昇へと転じた転換点は1995年である。オイルショック後に強化されてきたエネルギー価格高騰に対する耐性は、この20年間に再び脆弱化している。それは、大きく二つのトレンド変化を反映する。第一に、実質エネルギー価格上昇率における逡増である。それはエネルギーの名目価格変化であるよりも、賃金率低下によって誘導されたデフレ型の実質エネルギー価格の上昇である。デフレ型のRUEC上昇は、エネルギー多消費産業への直接的な影響よりも、より広範な産業においてエネルギー価格高騰への耐性を弱体化させている。第二に、エネルギー生産性改善における低迷である。実質エネルギー価格上昇が逡増しているにもかかわらず、エネルギー生産性の改善率は逡減している。エネルギー価格高騰への耐性強化のため、RUECを低下させるようなエネルギー政策が求められる。

† 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）。本稿に含まれる誤りは、著者の責任に帰する。

1 はじめに

エネルギー安全保障を分析する上での課題は、化石燃料の供給障害などによる価格高騰リスクの評価と、それによる経済的な影響評価の二つの側面へと分離できる。近年、第一の課題においては、中東情勢の緊迫化によるリスク増大を指摘する声が高まっている。豊田（2019）は、日量 1000 万バレル（世界の石油需要の 1 割ほど）もの原油供給が途絶する事象が生じうる危機感を持つべきと警鐘を鳴らしている¹。その背景には、米国でのシェール革命（shale revolution）がある。OPEC やロシアは、米国シェール企業を撤退へと追い込むため、2014 年から原油価格を非常に安価な水準へと誘導するよう協調的な増産をおこなってきた。しかし、肉を切らせて骨を断つ戦略は、米国の石油生産をわずかに縮小させるだけに終わっている²。もはや米国は天然ガスの輸出国となり、米国エネルギー情報局によれば 2029 年には石油でも純輸出国へと転換するという。Royal（2018）は、米国でのシェール革命による経済的自由の獲得を歓迎しながらも、同時に中東地域の秩序維持への関心の低下により生じる地政学的な反作用に注視すべきとしている。

エネルギー安全保障における第二の課題は、エネルギー価格高騰に対する経済としての耐性の評価である。第一次オイルショック後には、日本経済は原油価格高騰に対する耐性を大きく改善してきた。それによって、2000 年代半ばに直面した原油高によっても、日本経済への影響はオイルショック時に比して比較的軽微に留まるものとなっている。当時の「エネルギー白書 2007」（資源エネルギー庁、2008）は、長期時系列産業連関表による価格波及モデル分析に基づいて、日本経済では石油代替エネルギーへの転換や省エネの進行によって、原油高に対する耐性が強化したと評価している³。しかし近年、こうした耐性に対する懸念は再び拡大している。

欧州委員会による報告書（European Commission, 2014）では、1995–2009 年を測定期間として、その期間には世界的に実質単位エネルギーコスト（real unit energy cost: RUEC）における緩やかな上昇傾向が見いだされることを指摘している。本稿で整理されるように、RUEC の上昇は、実質エネルギー価格の上昇がエネルギー生産性の改善（energy productivity improvement: EPI）を上回り、エネルギー価格高騰に対する経済としての耐性が弱まっていることを意味する。同報告書によれば、欧州（EU27）の製造業では、この期間において年率 4.5%ものスピードで RUEC が上昇した。欧州製造業における EPI は同期間において年率 1.5%で改善しているものの、それは実質エネルギー価格の上昇率（年率 6.1%）を相殺するにはまったく不十分であった。欧州委員会は、エネルギー価格変動に対する脆弱性が増大していると警笛を鳴らしている。

同様な傾向は日米両国にもみられる。同報告書によれば、米国製造業では 2009 年ほど

¹ 日本エネルギー経済研究所による試算では、日量 1000 万バレルもの途絶がおこれば、東日本大震災後に中東依存度を高めている日本での GDP ロスは 7–8%にもなるという。

² Lack（2018）は、こうした試みはむしろ米国シェール企業におけるさまざまなイノベーションを誘発し、価格競争力の改善をもたらすものとなったことを指摘している。OPEC は 2016 年 9 月には当初の狙いを断念し、原油価格は再び上昇に向かっている。

³ 「エネルギー白書 2007」における産業連関分析は著者らによるものであり、資料は当時の KEO データベースにおける時系列産業連関表（1996–2004 年）に基づいている。ただしそれは原油（一次エネルギー）のみの評価である。最終エネルギー全体を含んで捉えれば、産業連関モデルによるマクロ的な影響は、本稿での実質単位エネルギーコストの時系列比較（図 5）と同様であり、またその推計値におけるトレンドもおおむね整合している。

からはシェール革命による価格低下の恩恵が出始めるものの、同期間（1995–2009年）の実質エネルギー価格としての上昇率では年率7.4%となるなど、むしろ欧州をも上回っている。しかしながら米国では相対的に高いEPI（年率2.5%）により、RUECの上昇率は4.7%と、欧州と同レベルまで抑制されている。また日本の製造業は、同期間に年率7.9%というより高い実質エネルギー価格の上昇に直面するものの、EPIは欧米を下回る低水準（年率1.1%）に留まり、高いRUECの上昇（年率6.8%）を余儀なくされている（European Commission, 2014）。それは欧米に比して年率2ポイントほど上回る水準であり、エネルギー価格高騰に対する経済の脆弱性の増大は日本においてより顕著である。

エネルギー安全保障上の二つの課題、その両者において日本での危機感が高まっている。本稿では、その第二の課題として、エネルギー価格変動に対する経済の耐性についての分析をおこなう。脆弱性の評価指標としてはRUECが用いられる。RUECはその指標自体の水準を問題とするよりも、国際比較としての格差率や時系列比較による変化率など、相対的な評価が重要である。以下、第2節では、一国集計レベルでの価格関数の設定とともに、RUECや実質エネルギー価格に関する本稿での測定フレームワークを整理する。続く第3節では、日米両国における価格や数量の水準比較を可能とするように構築されているJorgenson, Nomura, and Samuels（2016）での測定値に基づき、1955年から2015年までの長期にわたる生産要素の投入価格差とRUEC格差を分析し、エネルギー投入を軸とした日本経済の構造的な課題を論じる。2010年代の測定値を含むことによっては、米国でのシェール革命によるRUEC低下の進行がより明確に観察され、近年の日米RUEC格差は戦後60年間のピークに達するほど拡大していることが示される。

第4節では日本経済におけるRUEC上昇要因の分解をおこなう。第2節に示されるように、RUECの変化は、エネルギー生産性の変化と実質エネルギー価格の変化という、大きく二つの要因へと分解される。野村（2018）では日本経済におけるエネルギー生産性の改善における詳細についてさまざまな構造変化要因を考慮しながら分析してきたが、本稿でのフォーカスは実質エネルギー価格の変化にある。エネルギー価格の変化による影響を分析するためには、その名目価格によるよりも、実質価格による評価が望ましい。4.2節では、実質エネルギー価格として、集計産出価格（アウトプット価格）に対する相対価格とともに、とくに資本や労働といった他の生産要素との代替関係を想定して、エネルギーと資本・労働との相対価格としての変化へと分解する。

第5節では、一国経済におけるRUECの変化要因を特定していくため、その産業起因について分析をおこなう。一般的な産業別生産性勘定では、一次エネルギー消費と最終エネルギー消費の区分、また高炉ガスや転炉ガス、自家蒸気など副産物の発生と投入もあり、十分に説得的な分解をおこなうことは難しい。第4節および第5節での測定は、エネルギー投入構造の分析のため、長期時系列産業連関表と統合的にこうしたエネルギー投入・産出関係の詳細を描くように開発されたKEOデータベース（慶應義塾大学産業研究所）に基づいている⁴。また、とくに一国経済と産業部門との完全な分解のため、家

⁴ 日本での産業別生産性統計（KEOデータベース）のフレームワークや測定の詳細は、黒田・新保・野村・小林（1997）、野村（2004）、Jorgenson and Nomura（2005）、エネルギー消費表の形式は野村（2018）の補論を参照されたい。長期時系列データの構築はさまざまな一次統計や、日本の産業連関表基本表（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）また総合エネルギー統計（経済産業省）などの加工統計に基づく、第二次加工統計である。本稿では測定に関する問題を議論しないが、データ構築と分析による問題発見を通じた相互の改善を図ることを目

計もひとつの産業部門として内生的に扱われている⁵。第6節は結びとする。

2 フレームワーク

エネルギーコスト分析のため、一国経済における価格関数を以下のように想定する⁶。

$$(1) \quad P^X = f(P^K, P^L, P^E, T).$$

ここで左辺の P^X は、産業別産出量のトランスログ指数によって定義される集計産出量から、インプリシットに定義される集計産出価格である⁷。右辺の P^K 、 P^L 、 P^E はそれぞれ資本(K)、労働(L)、エネルギー(E)の品質調整済み集計投入価格であり⁸、 T は技術状態を表す指標である。マクロでは次の名目バランスが成立している。

$$(2) \quad V^X (= P^X X) = \sum_{\theta} V^{\theta} (= P^{\theta} \theta), \quad (\theta = KLE)$$

V^{θ} は θ を資本、労働、エネルギーとしたとき(ここではKLE投入要素と呼ぶ)それぞれの名目コストをまとめた表記である。KLE名目コストは、それぞれ品質の異なる詳細な投入量からのトランスログ集計値によって定義されている。ここではエネルギーコスト(V^E)における、エネルギー投入の価格(P^E)と消費量(E)への分解について明確化しよう。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、相対的に高価とな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(野村, 2018)。

$$(3) \quad \Delta \ln E = \sum_{i,j} \bar{v}_{ij} \Delta \ln E_{f,ij},$$

ここで E_{ij} はエネルギー種(i)ごとの産業部門(j)別の最終エネルギー消費量であり、 Δ は連続する二期間の差分として、 $\Delta \ln E_{f,ij}$ 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部門別コストシェアの二期間平均値(\bar{v}_{ij})をウェイトとして集計している($\sum_{i,j} \bar{v}_{ij} = 1$)。熱量あたりの単価はエネルギー種ごとに異なる。トランスログ指数による(3)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。(3)式によって集計されるエネルギー・サービス(E)を、品質調整済みエネルギー投入量 (quality-adjusted energy input)、インプリシットに定義される価格指数(P^E)を品質調整済みエネルギー投入価格 (quality-adjusted energy price)と呼ぶ。本稿ではそれを簡潔に、エネルギー消費量(E)およびエネルギー価格(P^E)としている⁹。

的としている。

⁵ 産出およびエネルギー消費における家計部門の内生化については野村(2018)の3.2節を参照されたい。

⁶ エネルギーコストの分析のため、ここで産業別産出量は付加価値量とエネルギー投入量から定義されている。。

⁷ 生産可能性フロンティアによる産業別付加価値集計についてはJorgenson and Nomura (2005)を参照されたい。

⁸ 長期時系列の分析における投入要素の品質の統御のため、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として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の労働属性からの労働サービス価格の集計値による。

⁹ 本節での日米比較はJorgenson, Nomura, and Samuels (2016)での測定に基づくものであり、エネルギー種別として

名目単位エネルギーコスト (nominal unit energy cost: NUEC) は、一単位の生産量あたりの最終エネルギー消費コストとして次のように定義されている。

$$(4) \quad NUEC = V^E / X.$$

(4)式での名目単位エネルギーコスト (NUEC) を、集計産出価格 (P^X) によってデフレートした指標は実質単位エネルギーコスト (real unit energy cost: RUEC) と呼ばれる。RUEC は、エネルギー投入コストの重要性や、経済システムとしてのエネルギー価格高騰への脆弱性を評価するために有効な指標である。

$$(5) \quad RUEC = NUEC / P^X = V^E / V^X.$$

(5)式のように、RUEC は名目産出額に占めるエネルギーコストの名目シェアとしても解される。ここで一国経済のエネルギー生産性の成長率 (τ) を、最終エネルギー消費量 (一次エネルギー換算値) あたりの産出量として、

$$(6) \quad \tau = \Delta \ln X - \Delta \ln E_p,$$

のように定義する。また実質エネルギー価格 (real energy price) の成長率 (π) を

$$(7) \quad \pi = \Delta \ln P^E - \Delta \ln P^X,$$

として定義しよう。このもとで(5)式をあらためて、次のように表記する。

$$(8) \quad \Delta \ln RUEC = \pi - \tau + \Delta \ln q.$$

RUEC の変化率は、実質エネルギー価格変化 (π)、エネルギー生産性改善 (τ)、そしてエネルギー品質変化 ($\Delta \ln q$) に分離される。ここで q は

$$(9) \quad q = E / E_p,$$

として定義されており、品質調整済みエネルギー投入量を最終エネルギー消費量 (一次エネルギー換算値) で除した、エネルギーの品質変化を評価する指標である¹⁰。いま π が一定のもとでは、EPI (τ の改善) は RUEC を低下させ、エネルギー価格高騰に対する耐性は強化される。他方、EPI は π の上昇によっても誘発され、その比率 τ/π はエネルギー生産性の価格弾性値である。 π 上昇が RUEC を拡大させる直接的な効果は、誘発した τ の改善分だけ緩和される。利用可能な技術が一定のもとでは、その弾性値は逡減していくと考えられる。

一国経済で定義されるエネルギー生産性である(6)式の τ には、各産業部門における省エネ投資などによる EPI に加えて、エネルギー多消費産業における生産の相対的な拡大や縮小など、産業構造変化の影響も含まれてしまっている。もしすべての産業でエネルギー生産性が一定であっても、エネルギー多消費産業の生産が相対的に拡大するような産業構造の変化を伴うものであれば、一国集計レベルで定義される同指標はマイナス成長になりうる。(6)式による τ 定義を、あらためてグロスのエネルギー生産性 (gross energy productivity) と呼ぼう。野村 (2018) では、その成長率 (τ) を産業構造要因 (structural change

の細分化の程度は両国において必ずしも統一されていない。またエネルギー転換や最終消費に関する定義が日米の生産性統計では異なることから、日米比較評価では(家計部門を除く)産業集計レベルとしている。なお日本の時系列評価(第4節)では、生産主体である産業部門には家計部門が含まれており、産出量およびエネルギー消費量ともに家計部門を内生化した拡大された生産性勘定によって定義されている。

¹⁰ エネルギー品質に関する詳細は野村 (2018) の 3.1 節を参照されたい。

effect: σ) エネルギー品質要因 (energy quality effect: q_*) そして調整済みエネルギー生産性 (adjusted energy productivity) の変化率 (τ_*) へと分解している。

$$(10) \quad \tau = \Delta \ln \sigma + \Delta \ln q_* + \tau_*$$

τ_* は産業別にエネルギー品質 (最終消費するエネルギー構成) の相違を考慮し、また産業構造変化 (σ) による要因を考慮した上で測定されるエネルギー生産性指標である。このように産業レベルからの集計によって定義されたエネルギー品質指標 q_* は、(9)において一国集計レベルで定義された品質指標 q とはウェイトの相違を反映して乖離している。(8)式に(10)式を代入して、

$$(11) \quad \Delta \ln RUEC = \pi - \Delta \ln \sigma - \tau_* + \mu,$$

のように、RUEC の変化は実質エネルギー価格変化 (右辺第一項) 産業構造要因の変化 (第二項) それを調整した上でのエネルギー生産性改善 (第三項) へと分解される。第四項は、上記のウェイトの相違を反映したエネルギー品質の集計バイアス (μ) であり、

$$(12) \quad \mu = \Delta \ln q - \Delta \ln q_*,$$

として定義されている。4.1 節での日本経済の分析においては、(11)式に基づき、RUEC の変化要因を分析する。

また(11)式の実質エネルギー価格における集計産出価格 (P^X) は、KLE 投入要素の価格変化に依存している。(1)式の集計価格関数において、規模に関する収穫一定と完全競争を仮定して、一国経済における TFP 成長率をトランスログ指数によって定義する。

$$(13) \quad \tau^T = \sum_{\theta} \bar{v}_{\theta} \Delta \ln P^{\theta} - \Delta \ln P^X, \quad (\theta = KLE)$$

ここで \bar{v}_{θ} は KLE 投入要素それぞれの名目コストシェア (V^{θ}/V^X) の二期間平均値である ($\bar{v}_K + \bar{v}_L + \bar{v}_E = 1.0$)。 (13)式を(7)式へと代入して、(11)式における実質エネルギー価格の成長率 (π) は次のように分解される。

$$(14) \quad \pi = \bar{v}_K \pi^K + \bar{v}_L \pi^L + \tau^T.$$

ここで π^K および π^L とは、それぞれ資本と労働サービスの投入価格を基準として実質化されたエネルギー価格の変化率であり、

$$(15) \quad \pi^K = \Delta \ln P^E - \Delta \ln P^K$$

および

$$(16) \quad \pi^L = \Delta \ln P^E - \Delta \ln P^L$$

として定義される。(14)式は左辺における実質エネルギー価格の変化率を、資本投入価格変化による寄与度 (右辺第一項) 労働投入価格変化による寄与度 (第二項) そして TFP による寄与度 (第三項) へと分解している。4.2 節では、(14)式に基づく実質エネルギー価格の変化について考察する。

3 日米のエネルギー価格差と RUEC 格差

3.1 生産要素の内外価格差

本節では日米格差の視点から、エネルギー消費の価格差における戦後の両国経済にお

ける長期傾向を観察しよう¹¹。もしエネルギー消費における内外価格差が存在せず、国際市況としてのエネルギー価格の影響を両国が等しく受けるものであれば、エネルギー価格高騰による国際競争力への影響は基本的には中立である。しかし現実には日米両国においてエネルギー消費における内外価格差が存在しており、それは（本節での考察のように）長期的に安定している。エネルギー価格高騰への耐性を評価するためには、エネルギー価格や RUEC における内外格差の分析が必要である。

またエネルギー消費における内外価格差が資本や労働といった他の生産要素における価格差と等しいならば、両国は KLE 投入要素に対して同じ相対価格体系に直面していることになる。もしエネルギー消費における内外価格差が大きく、その価格差は資本サービス投入価格における格差を上回るものであれば、その経済は省エネ投資を増加させ、よりエネルギー節約的な技術を採用するものとなろう。それはエネルギー消費の価格差をすべて相殺はしないとしても、部分的に RUEC 格差を緩和させる効果を持つ。しかし限界費用が逡増するもとではこうした緩和効果も徐々に限定的なものとなろう。また省エネ技術が安価になり自ずと経済体系へと導入されることでは、限界費用カーブが下方へとシフトし、RUEC 格差は再び拡大するかもしれない。他方、あらたな技術革新によって限界費用カーブの形状が改訂されることでは、RUEC 格差は縮小する可能性もある。

価格比較における測定の問題として捉えれば、国際価格差の推計値は世界銀行など国際機関や各国統計局の参加のもと国際比較研究プロジェクト（international comparison program: ICP）における購買力平価（purchasing power parity: PPP）として構築されてきた（Eurostat-OECD, 2012; World Bank, 2014）。ICP では、最終需要項目の商品別購入者価格差のデータを収集し、それに基づき一国集計レベルでの GDP の PPP が構築されている。しかしそれは最終需要に限られていることから、中間財はその対象ではなく、また付加価値項目における資本投入や労働投入における価格差も推計の対象ではない。こうした問題を補うため、日米比較の文脈においては Nomura, Miyagawa, and Samuels (2018) では、日米国際産業連関表のフレームワークに基づきながら、産業の中間消費における詳細な商品レベルでの日米価格差体系を測定している。また Jorgenson, Nomura, and Samuels (2016) では、資本サービスと労働サービスの日米共通分類を構築した上で、資本・労働投入における日米価格差を産業別に推計している。本節では、構築されてきたこうした推計値に基づき、日米両国におけるエネルギー実質価格差と RUEC 格差を考察する。

一国集計指標としての KLE 投入要素の価格水準指数（price level index: PLI）として、1955–2015 年における長期推移を示したものが図 1 である。PLI は PPP を各年の年平均為替レートで除した指数であり、それぞれの年次において米国の価格を基準とした内外価格差を意味している。図 1 において PLI が 1.0 を下回るのであれば、米国に比して日本の価格が安価であることを示している¹²。

¹¹ 第 3 節での日米比較は Jorgenson, Nomura, and Samuels (2016) での測定に基づくものであり、エネルギー種別としての細分化の程度は両国において必ずしも統一されていない。またエネルギー転換や最終消費に関する定義が日米の生産性統計では異なることから、日米比較評価では（家計部門を除く）産業集計レベルでの測定としている。またここでの産出は付加価値（GDP）ベースによっており、エネルギーコストを加えている第 4 節での日本経済の分析とは異なっていることに留意されたい。

¹² ここでは両国における産業別産出、エネルギー、資本・労働などのインプットにおいて、日米間の品質の相違を可能な限り考慮して測定されている。その詳細は Jorgenson, Nomura, and Samuels (2016) を参照されたい。

相対的に安価な日本の労働は、とくに高度経済成長期には日本の価格競争力の主要な源泉となっており、過度の円高が進行した 1990 年代半ばを除く、ここでのすべての観察期間において米国水準を下回っている。日本の資本サービス価格は高度経済成長期には相対的に安価であったものの、プラザ合意（1985 年）を転機として米国よりも 10–50% ほど高い水準へと変化している¹³。それに対してエネルギー価格では、観察期間のすべてにおいて、日本は米国に比して 1.5–3.0 倍の価格差に直面している。

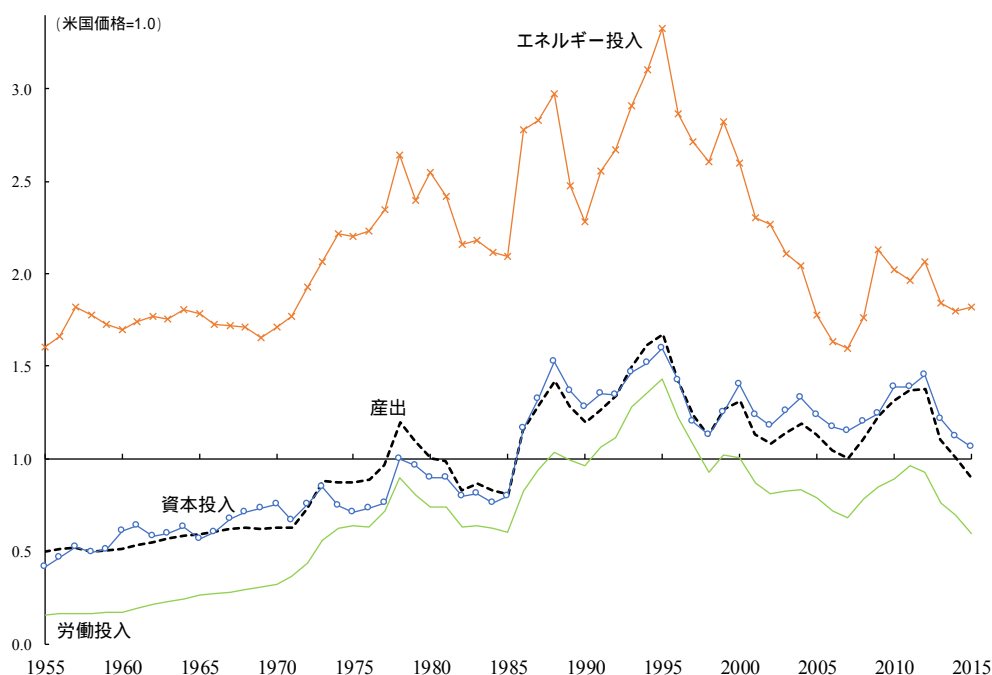


図 1: エネルギー、資本・労働投入の日米価格水準指数

単位：各年におけるそれぞれの米国価格を 1.0 と基準化（1955–2015 年）。注：Jorgenson, Nomura, and Samuels（2016）での産出、エネルギー・資本・労働投入それぞれの購買力平価を、各年の年平均為替レートで除した価格水準指数。

エネルギー消費の日米価格差がもっとも拡大したピークは 1995 年である。集計産出価格（実質 GDP の PLI）を基準とすれば、1995 年の年平均為替レートは 67% も過大であると評価されるほどに円高となった（図 1）。それは円建てによる一次エネルギーの輸入価格を低下させるものの、電力や石油製品など二次エネルギーの国内生産価格は一次エネルギー価格ほどには低下せず、エネルギー消費価格における日米価格差はむしろ拡大する。ピークとなる 1995 年には、日本経済は米国に比して 3.3 倍もの価格差となっている。その後緩やかにエネルギーの PLI は低下するものの、民主党政権の末期となる 2011–12 年には為替レートは 37% ほど過大に評価されている。その為替水準では、日本の労働サービス投入における価格競争力上の優位性もが消失してしまう（図 1）。この時期、エネルギー消費における日米価格差も再び 2.0 倍の水準に拡大している。

¹³ 1980 年代前半は産出価格の PLI が 1 を下回っており、その為替水準のもとでは日本経済の価格競争力が高く評価されているが、プラザ合意後にはそうした円安修正を大きく超えた円高の進行により、日本経済の停滞をもたらす要因となっている。

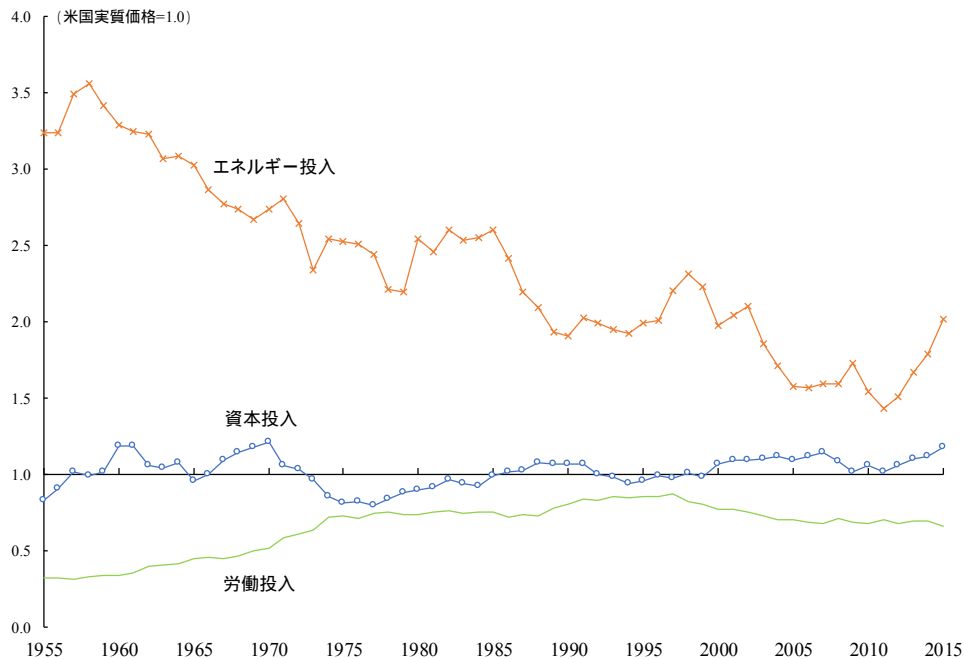


図 2: エネルギー、資本・労働投入実質価格の日米価格差

単位：各年におけるそれぞれの米国実質価格を 1.0 と基準化（1955–2015 年）。注：図 1 より算定。

KLE 投入要素の PLI をアウトプットの PLI によって除した指標は、それぞれの実質価格としての日米価格差となる（図 2）。図 1 での PLI による内外価格差は為替レートの変動による影響を含むが、図 2 ではそれを含まずより安定的となる¹⁴。実質エネルギー価格によって評価すれば、名目エネルギー価格差（図 1）とは大きく推移が異なり、内外価格差のピーク（3.5 倍ほど）はここでの観測期間の始まりとなる 1950 年代後半期である。二度のオイルショックを挟みながらも、実質エネルギー価格における日米格差は半世紀もの間緩やかに縮小してきた。名目エネルギー価格での価格差の上昇期もあるものの、長期的には集計産出価格の上昇トレンドによって、実質エネルギー価格は相対的には安価なものへと推移してきている。より長期の観察を必要とするものの、近年においてその転換点ともみえるのは 2011 年であり、その後には再び実質エネルギー価格における日米格差は拡大に転じている。米国ではシェール革命による恩恵を受けるものとなったが、日本では東日本大震災後の原発稼働の停止や、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）などにより電力価格が上昇している。

3.2 日米 RUEC 格差

エネルギー価格高騰への耐性を評価するためには、その評価指標として実質単位エネルギーコスト（RUEC）が有効である。エネルギー価格高騰があろうとも、もしそれを国内産出価格へと完全に転嫁できれば、経済への影響は相殺されてしまう。またエネルギ

¹⁴ ここでの資本サービスには土地（農業用地、工業用地、商業用地、住宅用地）を含んでおり、総資産に占める土地のシェアは日本より大きいものの、資本サービス全体としての実質価格における日米格差はこの長期の観察期間においてわずかな幅に収まっている（図 2）。

一価格とは独立に、たとえば世界における日本の生産物への需要が高まるなどにより、一国経済の国内産出価格が上昇する（いわば稼ぐ力が強くなる）のであれば、エネルギー価格高騰に対する耐性は強化されると言える。逆に、日本の生産物が陳腐化し、その産出価格が低下することを余儀なくされるような状況においては、名目エネルギー価格が一定であろうとも、実質エネルギー価格は高まる。長期的な技術力の喪失は RUEC を高め、エネルギー安全保障としてのリスクを増大させるものとなる。

図 3 は日米両国における RUEC の推移を比較している。二度のオイルショックは、日米両国ともに RUEC をおおむね倍増させる影響を持つが、それにより露呈した脆弱性は、1980 年代から 1990 年代初めまでの十年間に日米両国ともに大幅に緩和させることに成功している。1970 年代初めから 1990 年代初めまでの 20 年間、RUEC の水準においても日米両国間の乖離はわずかである。図 4 では両国の RUEC の格差指数とともに、要因分解を示している¹⁵。この 20 年間に日米 RUEC 格差がわずかなものとなっていることは、日本は米国の 2 倍を超える実質エネルギー価格に直面していながらも（図 2）、米国の 2 倍以上高いエネルギー生産性水準が十分に緩和してきたことを示している¹⁶。

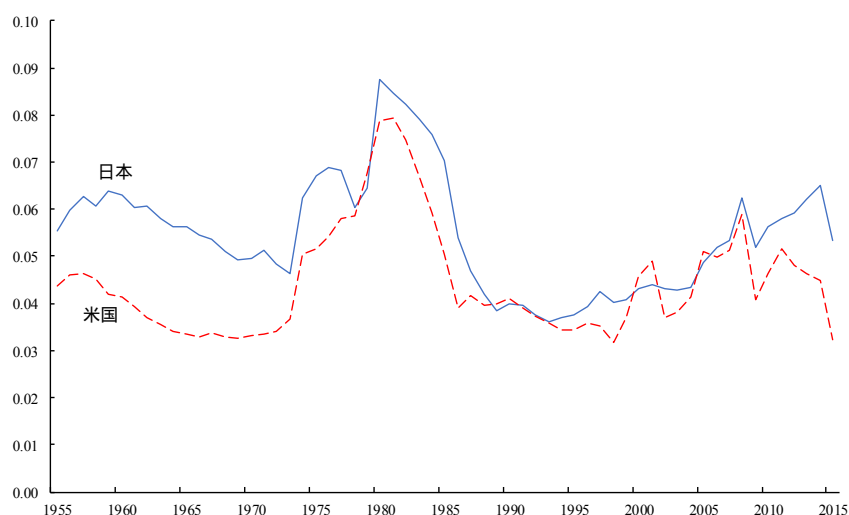


図 3: 日米両国の RUEC

単位：日米両国で各年名目付加価値額=1.0（1955-2015 年）。注：Jorgenson, Nomura, and Samuels（2016）より算定。

1995 年から 2000 年代後半までの RUEC は、欧州委員会（European Commission, 2014）の測定値と同様に日米両国で上昇傾向にある（図 3）。2000 年代に入ってからの上昇は原油高の影響が大きいですが、RUEC 水準は二度のオイルショック期のピークに比しては、およそその半分ほどの水準に過ぎない。「エネルギー白書 2007」(資源エネルギー庁, 2008)での産業関連モデルによる価格波及分析によれば、原油高による国内物価への影響度は 1970 年代初めに比して、おおむね半分程度にまで縮小したことが指摘される。本稿での

¹⁵ ここでの分解は(8)式に相応するが、エネルギー生産性はエネルギー品質 (q) の影響を含んでいる。

¹⁶ エネルギー消費に関する両国生産性統計の概念差もあり、ここでは日米両国における産業構造の相違を考慮していない。第 4 節では日本における産業構造要因を統御しているが、もし日米両国において構造要因における格差を推計できれば、両国のエネルギー生産性格差は縮小すると考えられる。日本が高い実質エネルギー価格に直面していることにより断念せざるをえなかったエネルギー多消費的な生産による影響は、グロスの生産性格差に含まれてしまっている。

RUEC はエネルギー消費における価格全体を包括しているため、その対象は原油に限らないが、おおむねその耐性強化の傾向は整合している。しかし電力価格、天然ガス・石炭を含めたエネルギーコスト全体では、1990年代半ばより RUEC における上昇傾向が始まっている¹⁷。

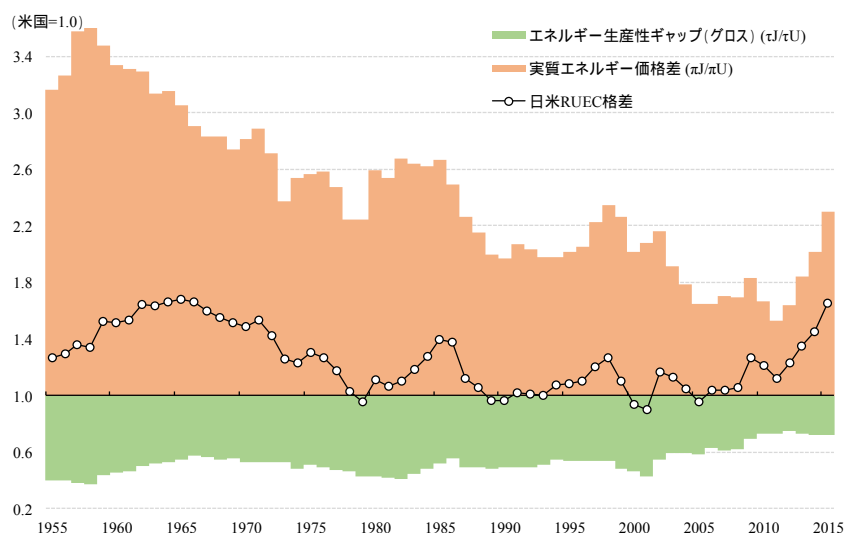


図 4: 日米 RUEC 格差の要因分解

2000年代後半期までの RUEC 上昇傾向は日米で共通しているが、2009年ほどからは、2009–10年および2014–15年における二度の原油価格の低下による変動はあるものの、米国ではシェール革命の恩恵が表れている(図3)。図4における日米 RUEC 格差で見れば、日米格差は2015年には60%ほどまで拡大した。日本での RUEC 水準はオイルショック時のピークほどには高まっていないものの(図3)、国際競争力の観点から日米格差として評価すれば、拡大した格差水準は高度経済成長期に匹敵する。2010年代における格差拡大の要因は、実質エネルギー価格における価格差の拡大とともに、日米エネルギー生産性格差の縮小である(図4)。日本のエネルギー生産性改善への努力は継続しているものの、米国の半分以下のスピードとなっている。安価になっていく省エネ技術は資本財へと自ずと体化され、必ずしも意図的に省エネ投資を目的とせずとも、更新投資のタイミングなどにより経済体系へと組み込まれていく。1995年には60%ほどあった日本のエネルギー生産性における優位性は、2015年にはその半分にまで縮小している。

4 日本の RUEC と実質エネルギー価格

4.1 エネルギー生産性

日本経済における RUEC の変化要因を分析しよう。図5は、RUEC 変化要因を示す⁽¹¹⁾式における各変数の長期時系列指数(1955年値=1.0)を示している(計数は表1に与え

¹⁷ 欧州委員会(European Commission, 2014)やエネルギー白書2007(資源エネルギー庁, 2008)での時系列産業連関表に基づく分析では、前者(2009年までの測定)では各国表の最新年次は2005年表か2002年表であり、後者(2004年までの測定)では1995年であるなど、おおむね5年以上のタイムラグの存在により測定期間の後半期における構造変化を十分に捉えきれていない可能性がある。

られている)。高度経済成長期には、実質エネルギー価格 (π) が低下しているにもかかわらず、生産拡張投資に伴い、意図せずとも“借りた技術” (borrowed technology) としての省エネ効果が織り込まれてきた¹⁸。そのことはエネルギー生産性のグロス指標 (τ) には表れていないが、 τ_* による調整済みのエネルギー生産性における改善傾向として見いだされる (図 5)。

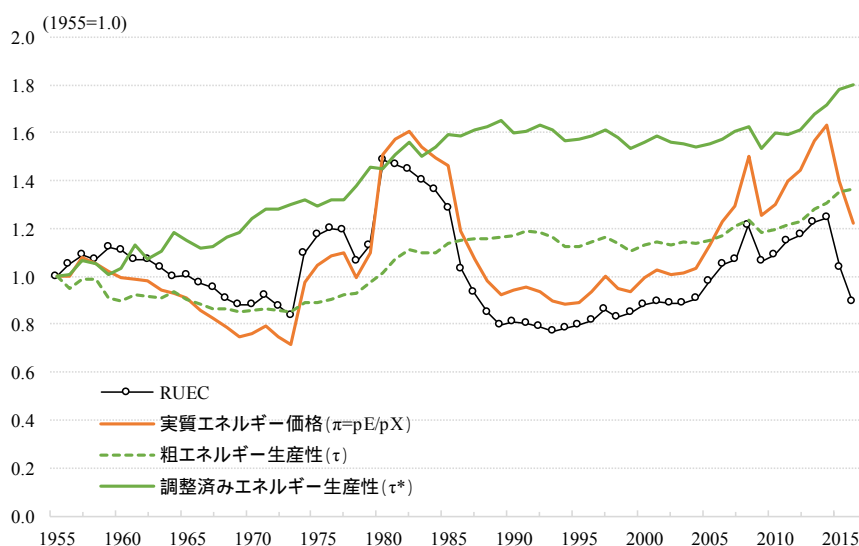


図 5: 日本経済の RUEC、実質エネルギー価格とエネルギー生産性

第一次オイルショック後には、急速な π の上昇に伴うように、EPI が実現している。しかし、1980 年代半ば以降に π が大きく下落したフェーズにおいては、とくにエネルギー生産性が低下する傾向は見出されず、 τ_* および τ の両指標ともにほぼ横ばいである。こうした非対称性はエネルギー生産性の特性を示すものである。一般に、エネルギー生産性の変化は、省エネ投資などを含む資本財や耐久消費財における効率性 (ストック効果) によるものと、その稼働状況や時間によるもの (フロー効果) の大きく二つに分けられる。 π の低下時においては、そのフロー効果 (たとえばエアコンの利用頻度を高めるなど) によって τ_* は悪化していく。その一方、 π の高騰期にトップランナー企業や家計に普及した資本財や耐久消費財は価格低下を通じて、更新投資や買い替えに伴い自ずと普及していくプロセスによって産業全体としての τ_* は改善していく。1980 年代の横ばいは、その両者の相殺した姿として捉えられる¹⁹。

また 1990 年代半ばからの現在までの価格変動によっては、しばらく EPI は見出されないものの、東日本大震災後になって再び上昇がみられる (図 5)。それは 2015 年以降における π の低下期にも継続している。その改善は震災後に求められた家計などにおける一

¹⁸ 産業別にみても、Konishi and Nomura (2015) では資本や労働など他の生産要素を明示的に扱取り扱いながら、フレキシブルな価格関数の推計により、高度経済成長期では生産拡張投資などに伴って多くの産業でエネルギー節約的 (energy-saving) な技術が自律的に組み込まれていたことが見出されている。

¹⁹ 星野 (2012) は、エネルギー多消費型産業において、価格上昇期には下降期よりも大きな価格弾力性となるような非対称性を測定している。それは資本など他の生産要素における価格変動を考慮したエネルギー価格効果の測定ではないものの、エネルギーのみで見ればその価格上昇期と下降期の価格弾力性は長期的に安定的であり、価格弾性における時系列変化はこうした非対称的な価格変動の混在した影響によるものである可能性を指摘している。

過的な省エネ・節電による効果を含むものであるが、野村(2018)は化学製品製造業では産業内における製品構成変化の影響が大きいことを指摘している。こうした産業内における影響は産業レベルでの測定値には含まれており、図5の τ_* もグロスのな性格が残っている。

資本の硬直性や産業内における普及プロセス、エネルギー価格変動による影響の非対称性を考慮し、ここでは一国経済としての特性を抽出するため、観測期間を実質エネルギー価格(π)の上昇期と下降期の両者を含むものとして、

- I. 高度経済成長期(1955-1973年)
- II. ポスト・オイルショック期(1973-1995年)
- III. RUEC 上昇期(1995-2016年)

の大きく三期間へと分離しよう。図6はこの期間平均値としてRUECの変化要因を分解している。RUECの年平均成長率では、第I期のマイナス1.0%と第II期マイナス0.2%から、第III期にはプラス0.6%へと上昇へと転じている。欧州委員会による報告書(European Commission, 2014)は製造業に限る分析であるが、世界的にRUECの上昇傾向がみられる1990年代半ばは、戦後日本経済の長期トレンドからみてもRUECが上昇へと転じた転換期として評価される。

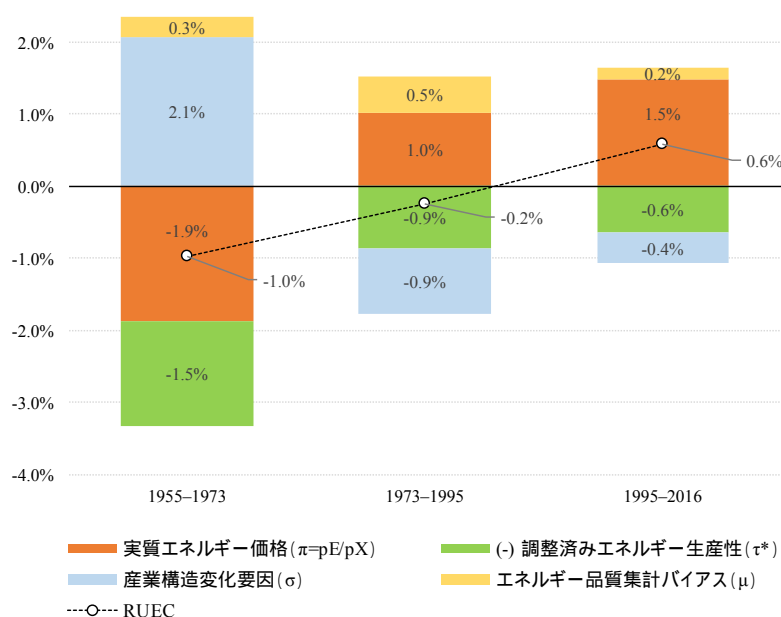


図6: 日本経済のRUEC変化要因

RUEC変化における1990年代半ばの転換期は、大きく二つのトレンド変化を反映している。第一に、実質エネルギー価格(π)の上昇である。それは第I期のマイナス1.9%(アウトプット価格の上昇によってエネルギー価格は相対的には低下)から、第II期にはプラス1.0%へと転じ、そして第III期にはさらに1.5%へと拡大している。こうした変化要因の詳細は4.2節において考察するが、二度のオイルショックを含む第II期よりも、第III期のほうが π の上昇率が高いことは、日本の長期経済成長とエネルギー消費との変

遷を考える上で重要な観察事実である。

第二に、 π の上昇率が逡増しているにも関わらず、産業構造変化要因を統御した指標 (τ_*) でみれば、その EPI は第 I 期の 1.5%改善から第 II 期 0.9%へ、そして第 III 期には 0.6%へと、その改善率は逡減している。 π による τ_* の弾性値として評価すれば、第 II 期の -0.84 から第 III 期には -0.44 へと半減している。安価に利用できる省エネ技術が枯渇していく中で、実質エネルギー価格が上昇しようとも、エネルギー生産性の改善によって相殺していく効果は逡減していると解される。実質エネルギー価格変化率の逡増とエネルギー生産性改善率の逡減との合成により、RUEC 変化率は逡増し、そして第 III 期には上昇へと転じている。

4.2 実質エネルギー価格

実質エネルギー価格変化率 (π) の逡増要因を分析しよう。長期日本経済の経験において、集計産出価格および KLE 投入要素価格指数、また TFP 指数は図 7 のように推計されている(その計数は表 1 を参照されたい)。第 2 節で論じてたように、各価格指数はそれぞれの内部構成や品質の相違を統御したもとの集計価格として定義され、品質調整済みの価格指数として測定されている。なお労働投入価格のみ、観察期間における上昇幅が大きく異なるため、図 7 での単位は右軸によっている。

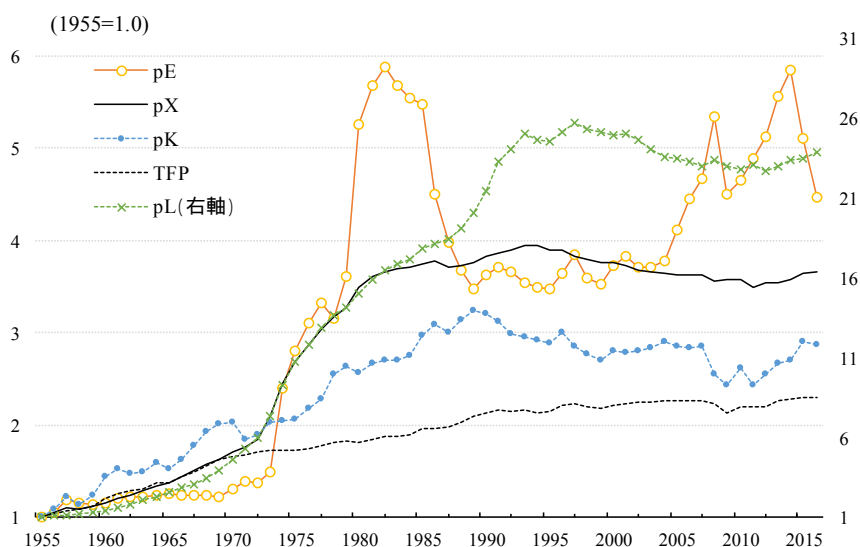


図 7: 産出・投入価格と全要素生産性

図 7 にみるように、KLE 投入要素のうちエネルギー価格はもっとも変動が大きい。図 8 では三期間ごとのエネルギー種別寄与度を示している。ここでは最終エネルギー消費ベースで捉えているため、発電に用いた化石燃料は二次エネルギーとしての電力による寄与度として含まれている²⁰。集計エネルギー価格の上昇に対する石炭やガス価格によ

²⁰ データは、KEO データベース 2018 における時系列 SUT (1955-2016 年) と整合して整備された、エネルギー消費表に基づいている。それは、高炉ガスや転炉ガス、自家蒸気など副産物の発生と投入を含む、エネルギー転換部門に

る影響は、いずれの期間でも限定的である。ここでの観察期間のようにおおむね 20 年ほどの期間で見れば、天然ガスや石炭による集計エネルギー価格 (P^E) の変動に対する寄与も大きなものではない。

電力価格による名目エネルギー価格上昇率への寄与度は、第 I 期の 0.6% から第 II 期の 1.5% (その寄与率は 40% ほど) へと拡大するが、第 III 期には震災後の価格上昇はあるものの油価の下落により期間平均としての影響は軽微となっている。中長期的にみて、エネルギーの価格変動をもたらす大きな要因は依然として石油であり、第 I 期と第 II 期ではその半分ほどの寄与度となり、第 III 期においてはほとんどすべての価格上昇要因である。しかしその寄与度では 1.2–1.5% と長期トレンドとして安定的である。第 II 期に比して、第 III 期の名目エネルギー価格としての上昇率は 1/3 にまで低下している。

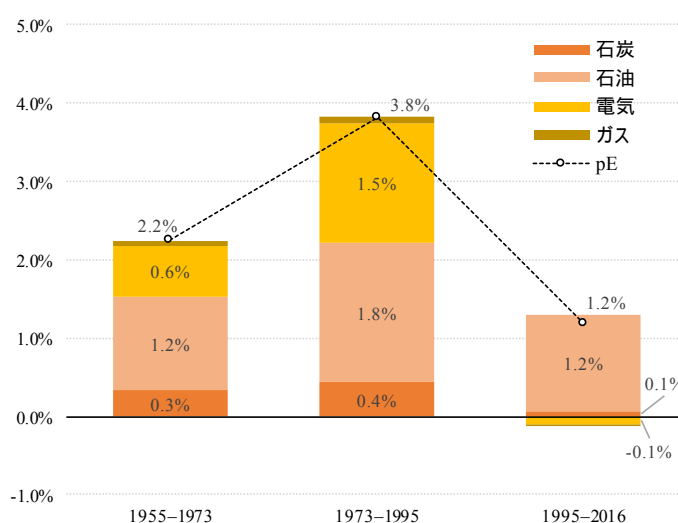


図 8: エネルギー消費価格におけるエネルギー種別寄与

図 7 での価格指数より、(14)式および(15)式において定義した資本と労働投入価格を基準とした実質エネルギー価格である π^K と π^L の両指数の推移を描いたものが図 9 である (その計数は表 1 を参照)。戦後日本経済におけるエネルギー価格としてのピークは、1982 年と 2014 年の二時点である。二つのピーク時では、その名目価格は 1955 年比で最大 6 倍ほどに (図 7)、実質価格 (π) では 1.7 倍ほどに上昇している (図 9)。労働投入価格や TFP による影響を取り除き、資本投入価格を基準とした実質エネルギー価格 (π^K) として評価すれば、そのピークは 1955 年比の 2.2 倍ほどに上昇している。このようなエネルギー価格高騰期における π^K の上昇は、省エネ投資のためのインセンティブを十分に高めるだろう。しかし歴史を振り返れば、価格高騰が持続する期間は二つのピーク時ともにおおむね 10 年ほどであり (図 9)、それは主要な資本財の耐用年数よりもだいぶ短い。そうした期待は、短期的なエネルギー価格高騰を受けても、民間企業が省エネ投資を実施することを躊躇させるものとなるだろう。エネルギー生産性を高める投資の判断は、

おける中間消費 (37 のエネルギー種別) とすべての部門における最終消費 (27 のエネルギー種別) の名目金額表、物量表および熱量表から構成されている。図 8 はエネルギー最終消費を 4 種別へと集計したトランスログ指数による。

現在におけるより高い資本コストと、将来における不確実でありながらもより安価と考えられるエネルギーコストの現在価値とに依存している (Gillingham, Newell, and Palmer, 2009)。拙速な導入は、長期的には資本コストの負担のみとなり、競争力を棄損させてしまう。

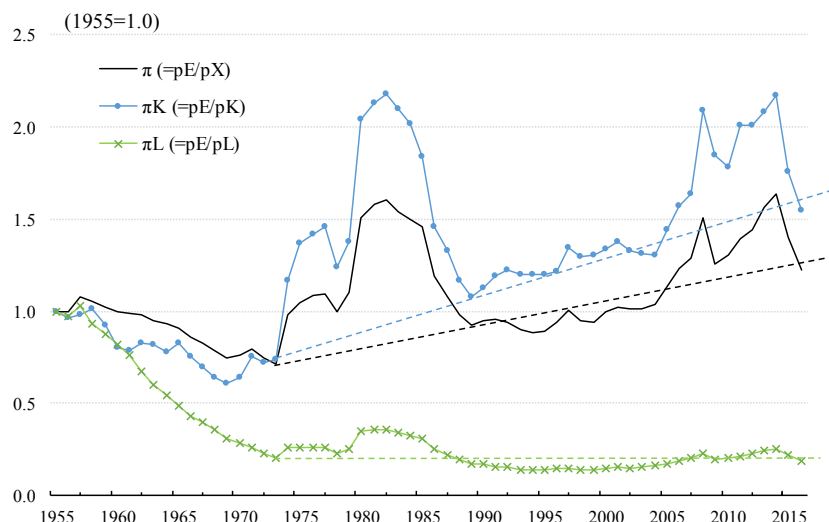


図 9: 実質エネルギー価格の推移

価格高騰期を含む実質エネルギー価格の長期トレンドをみよう。図 9 では 1973 年を開始点とする長期トレンドを点線によって評価している。 π^K による評価では、1973–2016 年に 2.1 倍ほどの上昇であり、年率にして 1.7% の上昇として捉えられる。 π による評価では年率 1.3% の上昇であり、労働投入価格を基準としたエネルギー実質価格 (π^L) ではほぼ横ばいである。Smil (2017) は、エネルギーに関する超長期の考察から、ひとつの特徴として、長期的な傾向としてのエネルギー価格の低下を掲げている。しかしそれは少なくとも半世紀近く前からは成立していないことに留意すべきである。将来の技術革新によってはこの半世紀が例外的な期間であったと評価されるかもしれないが、現在としては、第一次オイルショックは過去数百年のトレンドを変える転換期となったと見るべきだろう。

エネルギーの名目価格 (P^E) では、第 I 期には年率 2.2% の上昇から、二度のオイルショックを含む期間である第 II 期には年率 3.8% にまで拡大し、そして第 III 期には 1.2% まで大きく低下している (図 8)。しかし π でみれば、第 I 期における -1.9% から、第 II 期における 1.0% 上昇、そして第 III 期における 1.5% 上昇へと遞増している。図 10 は (14) 式に基づく要因分解を示している。第 I 期において実質エネルギー価格がむしろ年率 1.9% の低下となった最大の要因は、エネルギー価格上昇を上回る労働投入価格 (P^L) の上昇である。それは年率 4.1% ほど π を低下させる寄与度を持ち、この期間の TFP 改善による π へのプラスの寄与度 (3.0%) を相殺するに十分なものとなっている²¹。

²¹ 完全競争市場のもとでは、(14)式にみるように TFP (全要素生産性) の改善はアウトプット価格 (P^Y) を低下させ、実質エネルギー価格 (π) を上昇させる。

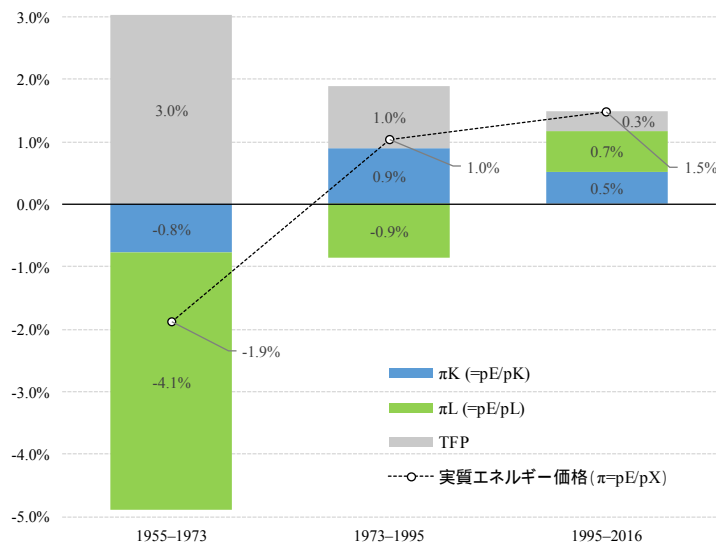


図 10: 実質エネルギー価格の変化要因

π がプラスへと転じた第 II 期には、 π^K による寄与がプラスへ（エネルギー価格の上昇が資本投入価格の上昇を上回るように）転じている。第 II 期以降の π^K 上昇は、エネルギーを節約するような資本投入の拡大（省エネ投資）を促すだろう。エネルギーと資本の価格代替の視点から、日本経済の経験を描いたものが図 11 である。ここでは横軸にエネルギーと資本投入の相対価格（ $\pi^K = P^E / P^K$ ）縦軸にエネルギーに対する資本投入量の比率（ K/E ）の推移を描いている（ともに 1955 年値を 1.0 と基準化している）。ここでは K/E の上昇をエネルギーに対する資本深化（capital deepening）その低下を資本浅化（capital shallowing）と呼ぼう。資本の稼働にはエネルギーが必要であり、コンピュータ制御機械やデータセンターなどより多くの電力使用に依存した資本蓄積によっては、直接的には資本浅化をもたらすだろう。しかし安価な省エネ技術が体化された資本財が更新投資に伴い導入されていく「意図しない省エネ」と、 π^K の上昇による「意図した省エネ」の両者により、図 11 に示されるように、第一次オイルショック以降における日本の経済成長ではわずかな例外期を除き、エネルギーに対する資本深化が進行している。

日本経済の経験では、 π^K が上昇しながら資本深化が進行している時期として、大きく三つの期間が見いだされる（図 11 での楕円）。それぞれの期間における代替の弾力性は、1973-77 年には 0.230、1978-82 年には 0.389、2004-08 年には 0.230 と評価される。興味深いことは、こうした相対価格変化によって代替が進行した後における π^K の低下期には、逆にエネルギー深化が進行するものではなく、むしろ省エネ技術の普及プロセス（意図しない省エネ）を経てわずかながらも資本深化が進行している。エネルギーと資本代替においては、こうしたラチェット効果（ratchet effect）が見いだされる。

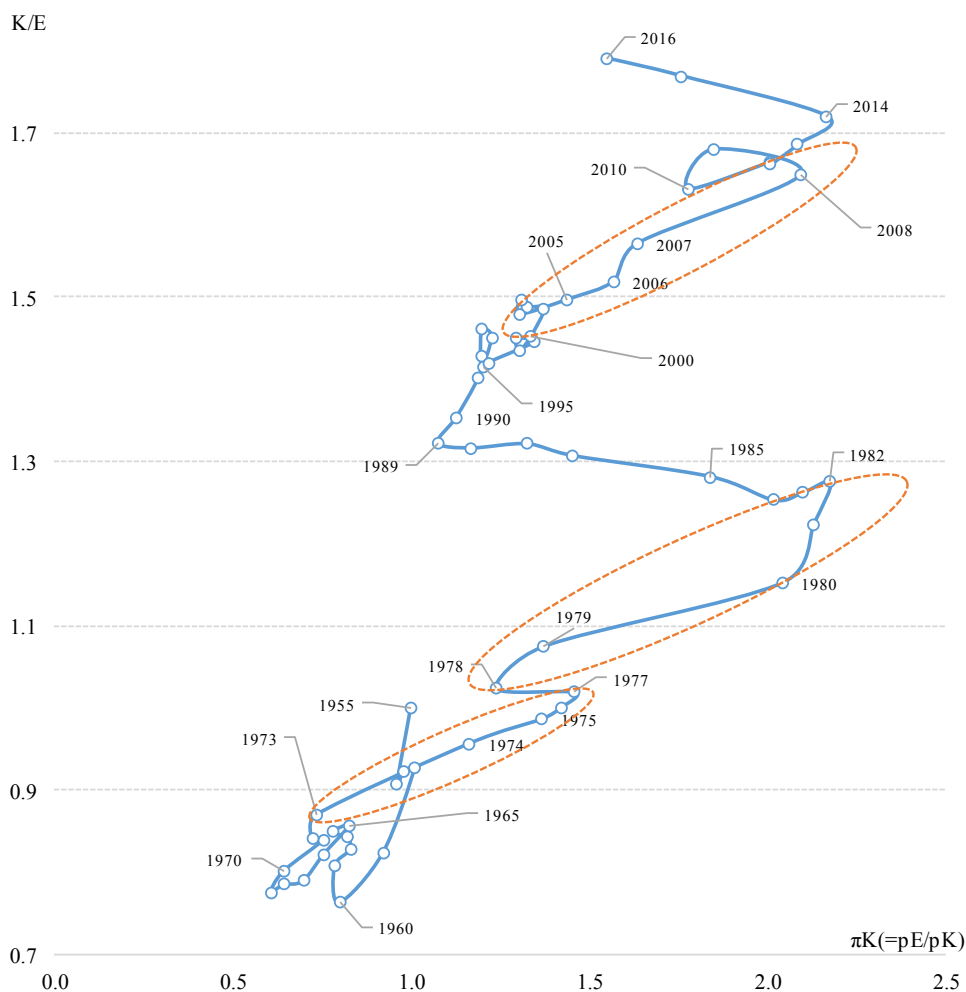


図 11: エネルギーに対する資本深化

RUEC が上昇を始める第 III 期には、第 II 期に比して P^E の上昇率は大きく抑制されたものの (図 8) 1990 年代半ば以降からの P^L の低下により (図 7) π^L もまた上昇へと転じている。第 III 期以降での π^L 上昇は、第 I 期および第 II 期にみられるような長期的な傾向 (労働サービスをエネルギー投入によって代替していく) から転じ、むしろ逆にエネルギー投入から労働投入を増加させるような、奇妙ともとれる技術代替を促す。

エネルギーと労働投入の価格代替を描いた図 12 では、戦後日本経済成長における基調として、 π^L の低下とともにエネルギーに対する労働浅化の進行 (L/E の低下) が見いだされる。例外となる期間の第一は 1973-87 年であり、 π^L がむしろ上昇する中で労働浅化は停滞している。その後わずかな π^L の低下傾向でも労働浅化が再び進行するが、もうひとつの転換点は 2002/03 年にあり、賃金率の低下により π^L がむしろ相対的に上昇し、それを受けて労働深化が進行している。(π^L が上昇しても L/E が上昇しないような) ラチェット効果は、この期間に見いだされない。エネルギー消費を節約して労働投入を拡大するような現象は、現代では企業における省エネ担当者の設置・増員や省エネ診断士の増加などに対応する。近年のエネルギー生産性の改善 (図 5) は、労働生産性を犠牲とした

効果が含まれている²²。

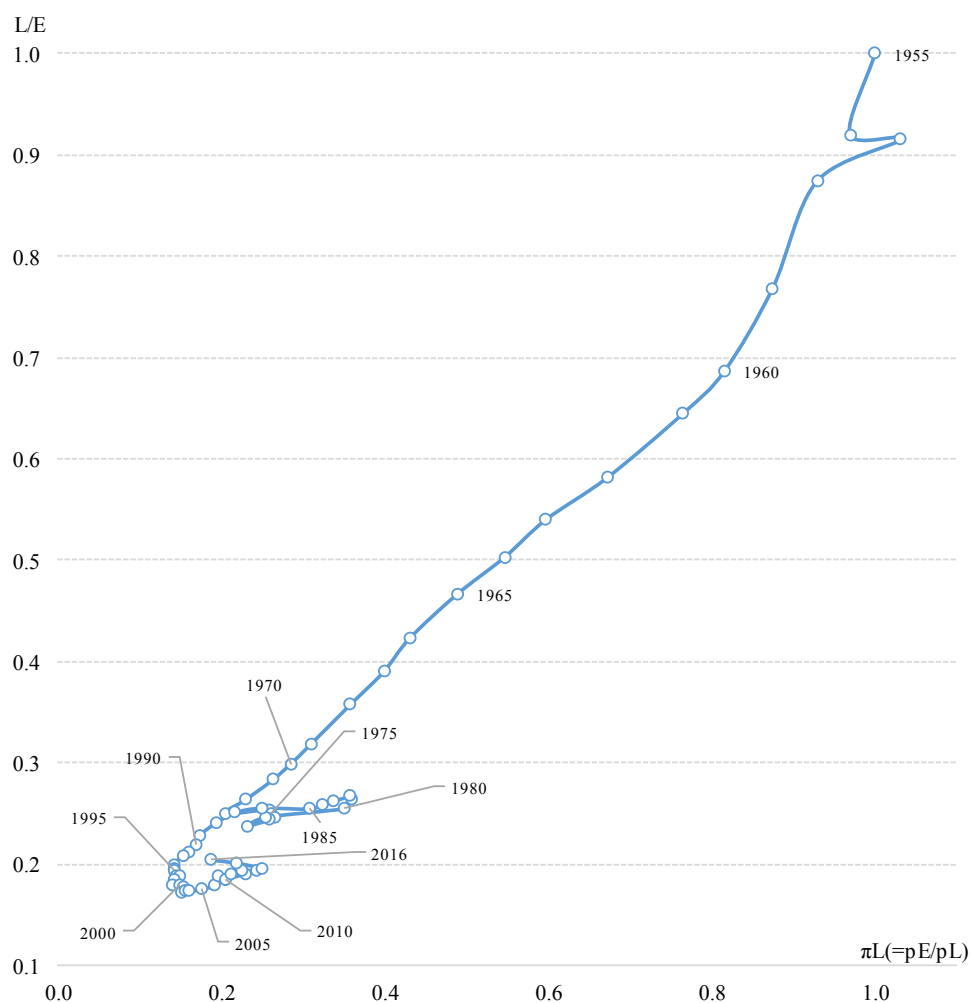


図 12: エネルギーに対する労働浅化

²² 労働生産性を犠牲としたエネルギー生産性の改善をどう評価すべきか、経済体系としての全体的な効率性の評価については別稿として論じる。

表 1：日本経済の RUEC とその要因分解

	RUEC	価格指数とTFP					実質エネルギー価格			エネルギー生産性		
		pE	pX	pK	pL	TFP	π	π^K	π^L	τ	τ^*	
1955	0.063 (1.00)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
1956	0.066 (1.05)	1.053	1.054	1.095	1.087	1.032	0.999	0.962	0.969	0.984	0.943	1.006
1957	0.069 (1.09)	1.191	1.104	1.217	1.155	1.074	1.080	0.979	1.032	1.029	0.932	1.068
1958	0.067 (1.07)	1.148	1.087	1.135	1.235	1.089	1.056	1.011	0.929	1.024	0.952	1.054
1959	0.071 (1.12)	1.135	1.113	1.231	1.298	1.129	1.020	0.922	0.875	0.945	0.910	1.012
1960	0.070 (1.11)	1.148	1.154	1.435	1.408	1.215	0.995	0.800	0.816	0.932	0.873	1.040
1961	0.067 (1.07)	1.199	1.207	1.525	1.568	1.258	0.994	0.786	0.765	0.964	0.832	1.134
1962	0.068 (1.07)	1.221	1.241	1.472	1.817	1.287	0.984	0.830	0.672	0.953	0.867	1.079
1963	0.065 (1.04)	1.222	1.288	1.486	2.045	1.315	0.949	0.823	0.598	0.949	0.842	1.113
1964	0.063 (1.00)	1.244	1.330	1.596	2.277	1.386	0.936	0.780	0.546	0.972	0.802	1.193
1965	0.063 (1.01)	1.256	1.374	1.520	2.567	1.386	0.914	0.827	0.489	0.943	0.805	1.161
1966	0.061 (0.97)	1.235	1.438	1.632	2.865	1.440	0.859	0.756	0.431	0.918	0.810	1.123
1967	0.060 (0.95)	1.239	1.499	1.774	3.105	1.492	0.826	0.698	0.399	0.899	0.786	1.130
1968	0.057 (0.91)	1.241	1.566	1.929	3.465	1.564	0.792	0.643	0.358	0.903	0.762	1.170
1969	0.055 (0.88)	1.222	1.629	2.011	3.949	1.626	0.751	0.608	0.310	0.886	0.733	1.191
1970	0.056 (0.88)	1.303	1.711	2.026	4.578	1.667	0.762	0.643	0.285	0.897	0.711	1.249
1971	0.058 (0.92)	1.394	1.748	1.847	5.306	1.681	0.798	0.755	0.263	0.902	0.702	1.290
1972	0.055 (0.87)	1.375	1.831	1.899	5.988	1.722	0.751	0.724	0.230	0.893	0.700	1.287
1973	0.053 (0.84)	1.499	2.089	2.038	7.343	1.732	0.717	0.736	0.204	0.888	0.687	1.309
1974	0.069 (1.10)	2.393	2.422	2.055	9.263	1.740	0.988	1.165	0.258	0.937	0.704	1.343
1975	0.074 (1.17)	2.812	2.648	2.056	10.74	1.744	1.062	1.368	0.262	0.939	0.721	1.325
1976	0.075 (1.20)	3.112	2.826	2.190	11.77	1.773	1.101	1.421	0.264	0.955	0.718	1.355
1977	0.075 (1.19)	3.330	2.987	2.282	12.91	1.801	1.115	1.459	0.258	0.970	0.737	1.352
1978	0.067 (1.07)	3.155	3.127	2.547	13.66	1.844	1.009	1.238	0.231	0.982	0.721	1.410
1979	0.071 (1.13)	3.611	3.224	2.629	14.16	1.863	1.120	1.374	0.255	1.032	0.712	1.497
1980	0.094 (1.49)	5.255	3.410	2.574	15.00	1.858	1.541	2.041	0.350	1.076	0.740	1.509
1981	0.093 (1.47)	5.682	3.521	2.670	15.85	1.893	1.614	2.128	0.358	1.141	0.761	1.576
1982	0.091 (1.45)	5.890	3.577	2.707	16.48	1.919	1.647	2.176	0.357	1.182	0.769	1.630
1983	0.088 (1.40)	5.678	3.603	2.708	16.81	1.919	1.576	2.097	0.338	1.166	0.793	1.569
1984	0.086 (1.36)	5.548	3.619	2.751	17.18	1.940	1.533	2.017	0.323	1.166	0.772	1.608
1985	0.081 (1.28)	5.477	3.661	2.979	17.80	2.014	1.496	1.839	0.308	1.212	0.783	1.660
1986	0.065 (1.03)	4.496	3.697	3.092	18.08	2.012	1.216	1.454	0.249	1.223	0.802	1.648
1987	0.059 (0.93)	3.985	3.632	3.001	18.37	2.024	1.097	1.328	0.217	1.224	0.797	1.666
1988	0.054 (0.85)	3.673	3.665	3.141	19.04	2.074	1.002	1.169	0.193	1.225	0.797	1.677
1989	0.050 (0.79)	3.482	3.697	3.234	20.04	2.132	0.942	1.077	0.174	1.230	0.794	1.695
1990	0.051 (0.81)	3.620	3.763	3.212	21.39	2.164	0.962	1.127	0.169	1.234	0.820	1.646
1991	0.051 (0.81)	3.709	3.803	3.120	23.26	2.212	0.975	1.189	0.159	1.255	0.836	1.651
1992	0.050 (0.79)	3.661	3.831	2.985	23.98	2.189	0.956	1.227	0.153	1.253	0.833	1.676
1993	0.049 (0.77)	3.541	3.875	2.952	24.98	2.197	0.914	1.199	0.142	1.230	0.835	1.658
1994	0.050 (0.79)	3.486	3.888	2.915	24.63	2.161	0.897	1.196	0.142	1.185	0.835	1.609
1995	0.050 (0.79)	3.480	3.827	2.894	24.53	2.184	0.909	1.203	0.142	1.188	0.832	1.612
1996	0.052 (0.82)	3.652	3.827	3.003	25.14	2.252	0.954	1.216	0.145	1.209	0.837	1.632
1997	0.054 (0.86)	3.843	3.769	2.860	25.69	2.273	1.020	1.344	0.150	1.228	0.837	1.663
1998	0.052 (0.83)	3.593	3.728	2.776	25.29	2.243	0.964	1.294	0.142	1.204	0.856	1.622
1999	0.053 (0.85)	3.529	3.696	2.703	25.09	2.226	0.955	1.306	0.141	1.169	0.853	1.577
2000	0.056 (0.88)	3.738	3.694	2.798	24.93	2.259	1.012	1.336	0.150	1.193	0.859	1.604
2001	0.056 (0.89)	3.823	3.664	2.784	25.04	2.280	1.043	1.373	0.153	1.211	0.861	1.635
2002	0.056 (0.89)	3.721	3.622	2.805	24.61	2.291	1.027	1.326	0.151	1.198	0.868	1.604
2003	0.056 (0.89)	3.720	3.596	2.838	23.99	2.291	1.035	1.311	0.155	1.208	0.871	1.602
2004	0.057 (0.91)	3.776	3.587	2.899	23.56	2.300	1.053	1.303	0.160	1.202	0.880	1.588
2005	0.062 (0.98)	4.114	3.565	2.859	23.46	2.307	1.154	1.439	0.175	1.221	0.884	1.606
2006	0.066 (1.05)	4.455	3.552	2.839	23.22	2.308	1.254	1.569	0.192	1.240	0.882	1.631
2007	0.067 (1.07)	4.680	3.546	2.862	22.92	2.313	1.320	1.635	0.204	1.281	0.891	1.666
2008	0.077 (1.21)	5.350	3.477	2.558	23.31	2.286	1.539	2.091	0.230	1.316	0.901	1.696
2009	0.067 (1.06)	4.497	3.509	2.434	22.95	2.173	1.282	1.848	0.196	1.253	0.925	1.587
2010	0.069 (1.09)	4.658	3.504	2.620	22.79	2.245	1.329	1.778	0.204	1.267	0.892	1.657
2011	0.072 (1.15)	4.886	3.424	2.434	23.04	2.244	1.427	2.008	0.212	1.291	0.917	1.649
2012	0.074 (1.17)	5.127	3.470	2.553	22.71	2.252	1.477	2.008	0.226	1.306	0.911	1.674
2013	0.077 (1.22)	5.555	3.464	2.666	22.94	2.324	1.604	2.084	0.242	1.361	0.908	1.747
2014	0.079 (1.25)	5.856	3.490	2.702	23.34	2.350	1.678	2.167	0.251	1.395	0.908	1.794
2015	0.065 (1.03)	5.102	3.565	2.902	23.44	2.357	1.431	1.758	0.218	1.436	0.904	1.855
2016	0.057 (0.90)	4.465	3.580	2.880	23.87	2.341	1.247	1.550	0.187	1.444	0.903	1.864

単位：RUEC は名目付加価値=1.0。それ以外および括弧内は 1955 年値=1.0。 σ は産業構造要因、 τ_e は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。

5 産業起因

一国経済における RUEC 変化の産業起因を分析しよう²³。本稿での測定において一国経済を形成する 47 産業部門のうち、ここではエネルギー転換部門（13.石油製品製造業、14.石炭製品製造業、36.電力業、37.ガス業）を除く 43 部門において、第 III 期（1995–2016 年）における RUEC 平均値を基準として、43 産業を 4 つのパネルへと分割する。表 2 は 4 つのパネルごとの産業を示している。なお各パネル内における産業分類は、2016 年値を基準として並んでいる。その時系列推移はパネルごとに図 13 から図 16 に描かれている。

高い RUEC を持つ Panel-A は、エネルギー価格変動に対してもっとも影響を受けやすい投入構造を持つ産業群である。エネルギー多消費産業である 10.紙パルプ製品製造業、18.鉄鋼製品製造業、12.化学製品製造業、17.窯業製品製造業、19.非鉄金属製品製造業に加え、33.航空輸送業と 31.道路輸送業がここに含まれている。そのトップは 33.航空輸送業であり、現在では航空燃料を中心にそのエネルギー消費額は産出額の 1/3 以上（付加価値の半分以上）を占めている。こうした産業では、燃料の価格変動に対して極めて大きな影響を受けるため、2000 年代には運賃とは別建てとして燃料価格の変動を反映する燃油サーチャージが適用されている。

エネルギー多消費産業に加えて、3.その他鉱業、2.石炭鉱業（すでにそれを専業とする事業者は国内に存在しない）、6.繊維製品製造業など、産業内で生産される付加価値が長期にわたり停滞している産業群もこの Panel-A に含まれている。とくに 6.繊維製品製造業は上位から二番目に位置し、1955 年の RUEC ではわずかに 7%であったものが、この 60 年間に遡増し 2000 年代半ばからは 30%ほどへに到達するなど、高い RUEC は低付加価値を主要因としている。現在の RUEC は 33.航空輸送業と同水準であるが、エネルギー価格変動に対する脆弱性の評価としては大きく異なるであろう。33.航空輸送業では燃油サーチャージによって経営への影響が一定程度切り離され、また燃料価格高騰によっては海外の競合企業も同様な影響を受ける。他方、6.繊維製品製造業では電力消費への依存度がより高く、日本国内における電力価格の高騰によっては、国際市場において非対称的な競争力の毀損を余儀なくされる。

エネルギー多消費型の産業においても、高付加価値を実現できる産業とそうでない産業での乖離がみられる。10.紙パルプ製品製造業と 19.非鉄金属製品製造業の推移は対象的である（図 13）。ここでの観測期間の初期においては、後者の RUEC は前者を上回るが、すぐにそれは逆転しオイルショック後からは大きく差が開いている。2016 年ではその乖離は 3 倍ほどに拡大している。10.紙パルプ製品製造業が低付加価値から抜け出すことが困難な状況の中で、非鉄金属ではコスト競争力を失った製品の国内生産からの撤退、中間財となるエネルギー多消費的な精練プロセスの海外移転、また高付加価値型にシフトしてきていることで RUEC は低下している²⁴。

²³ 一国全体の RUEC の変化率の産業要因への分解は $\Delta \ln RUEC = \sum_j (\bar{w}_j^F \Delta \ln V_j^F - \bar{w}_j^X \Delta \ln V_j^X)$ に基づいている。ここで \bar{w}_j^F および \bar{w}_j^X は、それぞれエネルギー消費コストおよび産出額における産業別シェアの二期間平均値である（ $\sum_j \bar{w}_j^F = \sum_j \bar{w}_j^X = 1.0$ ）。右辺の括弧内は、各産業部門（ j ）別の一国集計レベルでの RUEC 変化率への寄与度を示している。

²⁴ 中間財の輸入代替による効果は、ここでの RUEC の低下に含まれている。Kaltenegger et al. (2017) は中間財生産における間接的なエネルギーコストが重要であることを指摘している。

表2：産業別 RUEC

	1955	1960	1970	1973	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2016
Panel-A												
33.航空輸送	0.462	0.376	0.235	0.208	0.342	0.262	0.164	0.155	0.161	0.243	0.434	0.353
6.繊維	0.073	0.085	0.070	0.061	0.187	0.208	0.195	0.232	0.275	0.321	0.344	0.308
10.パルプ	0.148	0.166	0.173	0.159	0.270	0.263	0.173	0.169	0.185	0.223	0.244	0.240
3.他鉱業	0.124	0.142	0.138	0.129	0.231	0.254	0.158	0.159	0.195	0.217	0.246	0.230
18.鉄鋼	0.339	0.243	0.216	0.212	0.347	0.328	0.229	0.223	0.246	0.241	0.241	0.216
12.化学	0.176	0.190	0.192	0.198	0.361	0.287	0.176	0.147	0.178	0.234	0.254	0.189
17.窯業	0.306	0.289	0.168	0.138	0.312	0.272	0.163	0.136	0.140	0.150	0.177	0.166
2.石炭鉱業	0.103	0.107	0.083	0.115	0.167	0.150	0.106	0.109	0.194	0.096	0.064	0.143
47.家計部門	0.204	0.190	0.134	0.133	0.202	0.205	0.161	0.170	0.166	0.171	0.170	0.132
31.道路輸送	0.083	0.125	0.100	0.103	0.162	0.119	0.083	0.087	0.120	0.130	0.152	0.127
19.非鉄	0.159	0.154	0.143	0.130	0.205	0.182	0.112	0.109	0.121	0.144	0.121	0.093
Panel-B												
43.研究	0.082	0.080	0.044	0.043	0.078	0.087	0.060	0.067	0.088	0.099	0.123	0.099
38.水道	0.013	0.013	0.021	0.023	0.070	0.094	0.058	0.103	0.073	0.068	0.096	0.091
32.水運	0.031	0.043	0.043	0.058	0.143	0.124	0.078	0.053	0.085	0.108	0.122	0.091
27.他輸送機械	0.087	0.062	0.050	0.038	0.080	0.080	0.063	0.086	0.102	0.100	0.097	0.084
1.農林水	0.014	0.022	0.036	0.030	0.076	0.066	0.043	0.043	0.052	0.088	0.100	0.078
34.倉庫	0.071	0.061	0.049	0.071	0.083	0.072	0.036	0.077	0.070	0.058	0.077	0.077
8.木材	0.042	0.055	0.043	0.038	0.103	0.103	0.062	0.061	0.061	0.076	0.087	0.062
30.鉄道輸送	0.212	0.172	0.136	0.129	0.205	0.121	0.067	0.071	0.069	0.067	0.069	0.060
24.電子部品	0.010	0.011	0.011	0.013	0.053	0.072	0.051	0.054	0.054	0.061	0.071	0.059
29.他製造	0.035	0.039	0.026	0.025	0.061	0.069	0.048	0.048	0.059	0.058	0.059	0.056
15.ゴム	0.069	0.067	0.042	0.041	0.089	0.087	0.061	0.053	0.063	0.063	0.061	0.041
Panel-C												
5.食料品	0.027	0.045	0.036	0.039	0.071	0.063	0.047	0.044	0.044	0.054	0.066	0.056
7.衣服	0.018	0.017	0.016	0.014	0.024	0.032	0.023	0.026	0.027	0.041	0.060	0.052
20.金属	0.049	0.042	0.025	0.020	0.047	0.053	0.034	0.034	0.044	0.046	0.057	0.050
39.商業	0.017	0.024	0.024	0.025	0.041	0.040	0.018	0.016	0.023	0.033	0.044	0.036
4.建設	0.026	0.038	0.035	0.035	0.048	0.055	0.027	0.030	0.036	0.038	0.043	0.035
44.医療	0.036	0.033	0.017	0.019	0.040	0.043	0.031	0.028	0.036	0.031	0.029	0.035
11.出版印刷	0.019	0.021	0.017	0.018	0.038	0.038	0.028	0.024	0.029	0.025	0.031	0.034
45.他サービス	0.024	0.027	0.019	0.021	0.050	0.040	0.025	0.028	0.034	0.035	0.038	0.032
23.通信機器	0.027	0.023	0.024	0.019	0.070	0.070	0.043	0.047	0.045	0.038	0.035	0.031
9.家具	0.020	0.031	0.020	0.017	0.035	0.035	0.024	0.027	0.032	0.037	0.039	0.030
28.精密機械	0.016	0.018	0.014	0.011	0.022	0.025	0.021	0.024	0.031	0.028	0.036	0.026
Panel-D												
42.教育	0.010	0.008	0.009	0.011	0.027	0.025	0.014	0.018	0.024	0.025	0.029	0.033
21.一般機械	0.045	0.034	0.022	0.019	0.040	0.032	0.023	0.026	0.026	0.024	0.027	0.024
25.民生・重電他	0.035	0.029	0.017	0.015	0.026	0.025	0.015	0.015	0.016	0.017	0.021	0.021
41.不動産	0.008	0.004	0.006	0.005	0.014	0.020	0.018	0.022	0.029	0.034	0.027	0.018
35.通信	0.004	0.006	0.004	0.003	0.009	0.008	0.006	0.008	0.010	0.009	0.013	0.017
16.皮革	0.044	0.046	0.021	0.016	0.038	0.036	0.026	0.024	0.029	0.030	0.025	0.016
26.自動車	0.017	0.016	0.015	0.013	0.029	0.034	0.023	0.021	0.023	0.019	0.022	0.016
22.電子計算機	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	0.010	0.008	0.012	0.014	0.016	0.014	0.012
40.金融	0.003	0.004	0.002	0.003	0.008	0.009	0.006	0.006	0.007	0.006	0.009	0.009
46.公務	0.015	0.018	0.006	0.006	0.013	0.009	0.006	0.005	0.007	0.008	0.010	0.009

単位：産業別産出額（名目付加価値+エネルギーコスト）=1.0。

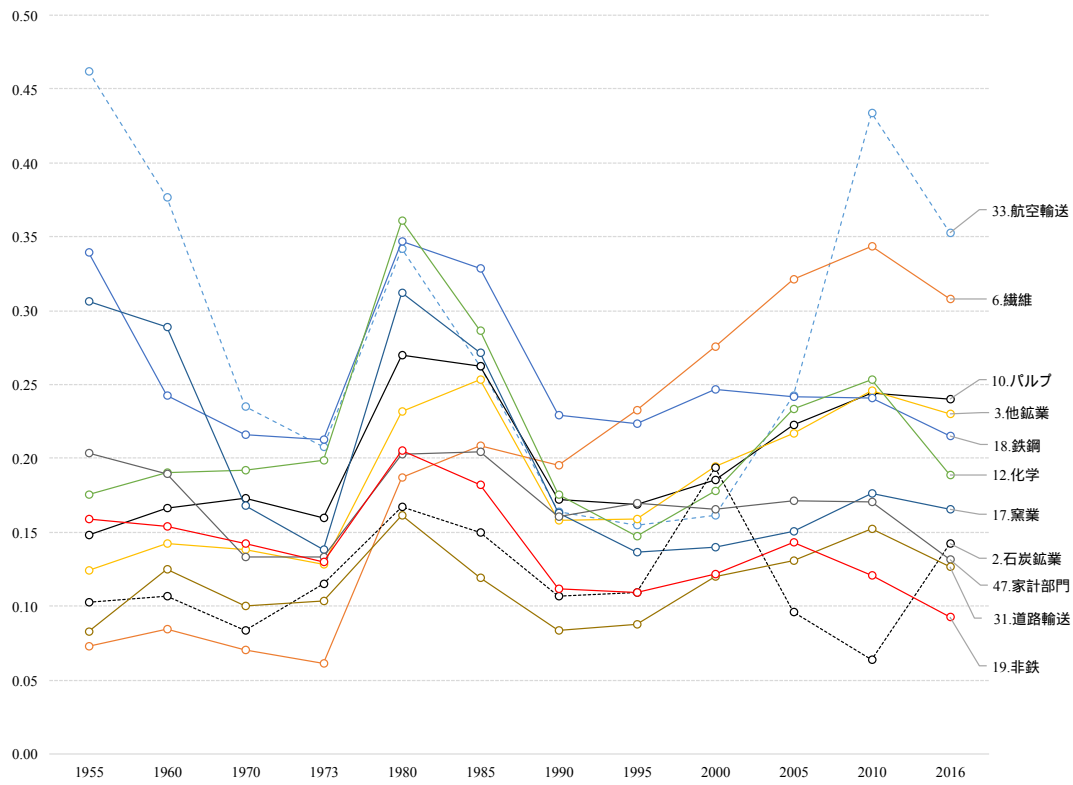


図 13: 産業別 RUEC (Panel-A)

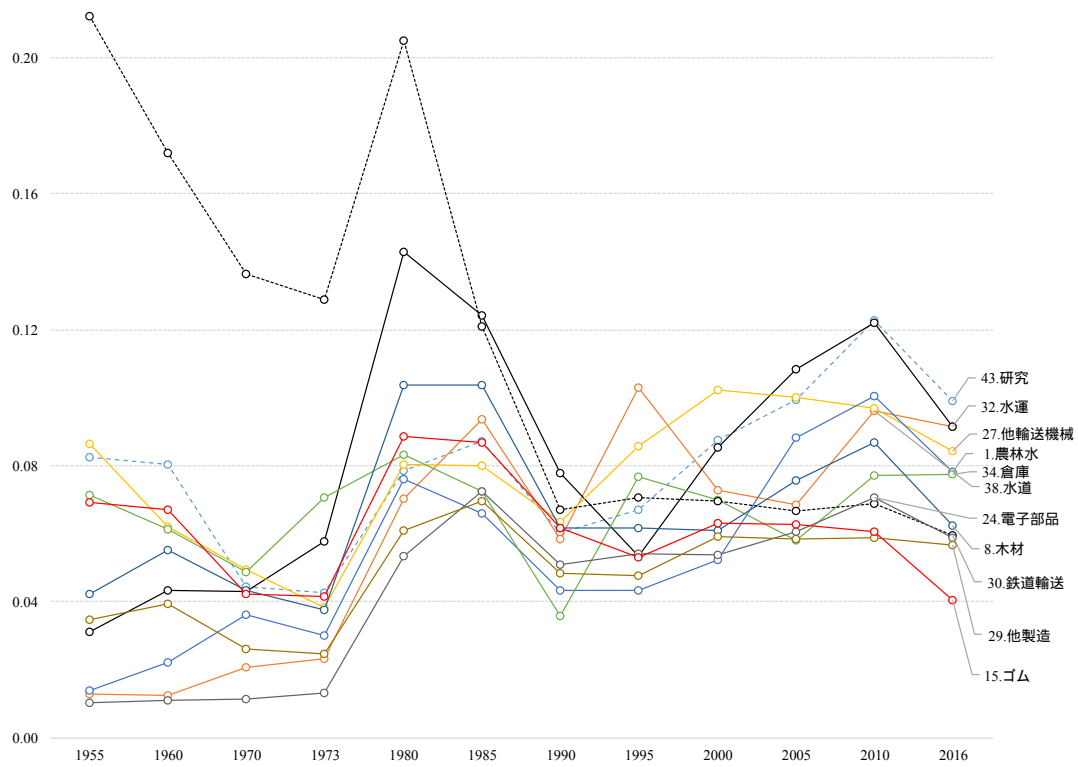


図 14: 産業別 RUEC (Panel-B)

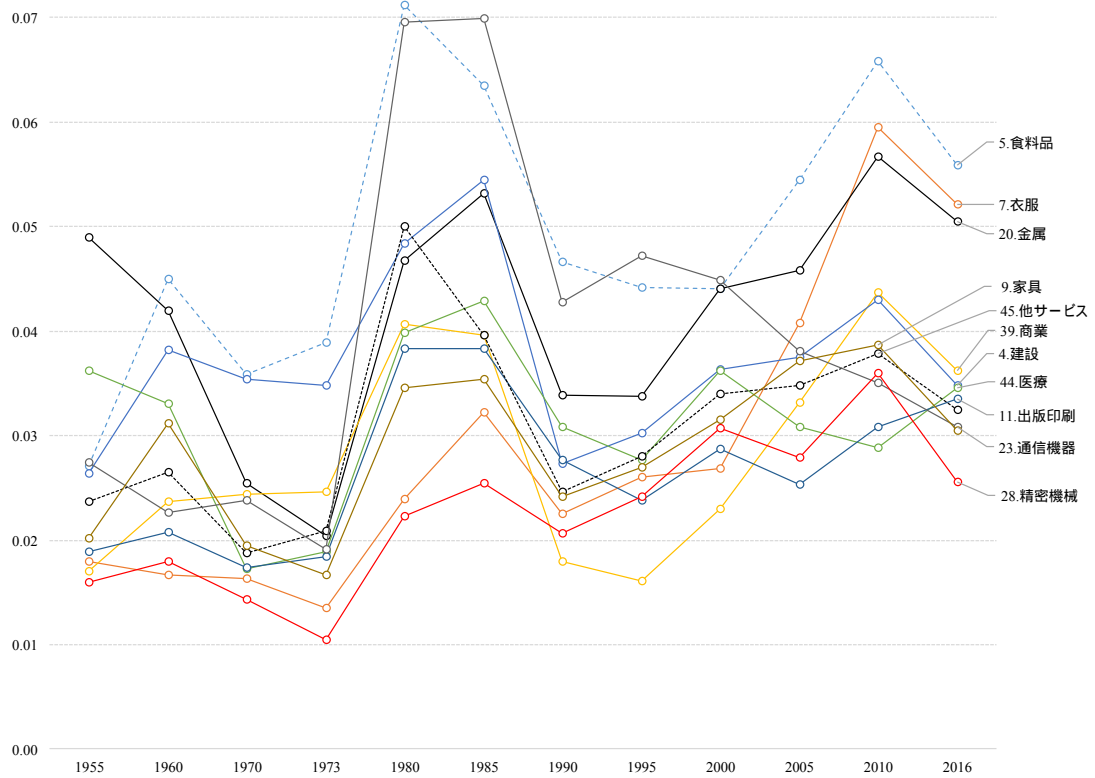


图 15: 産業別 RUEEC (Panel-C)

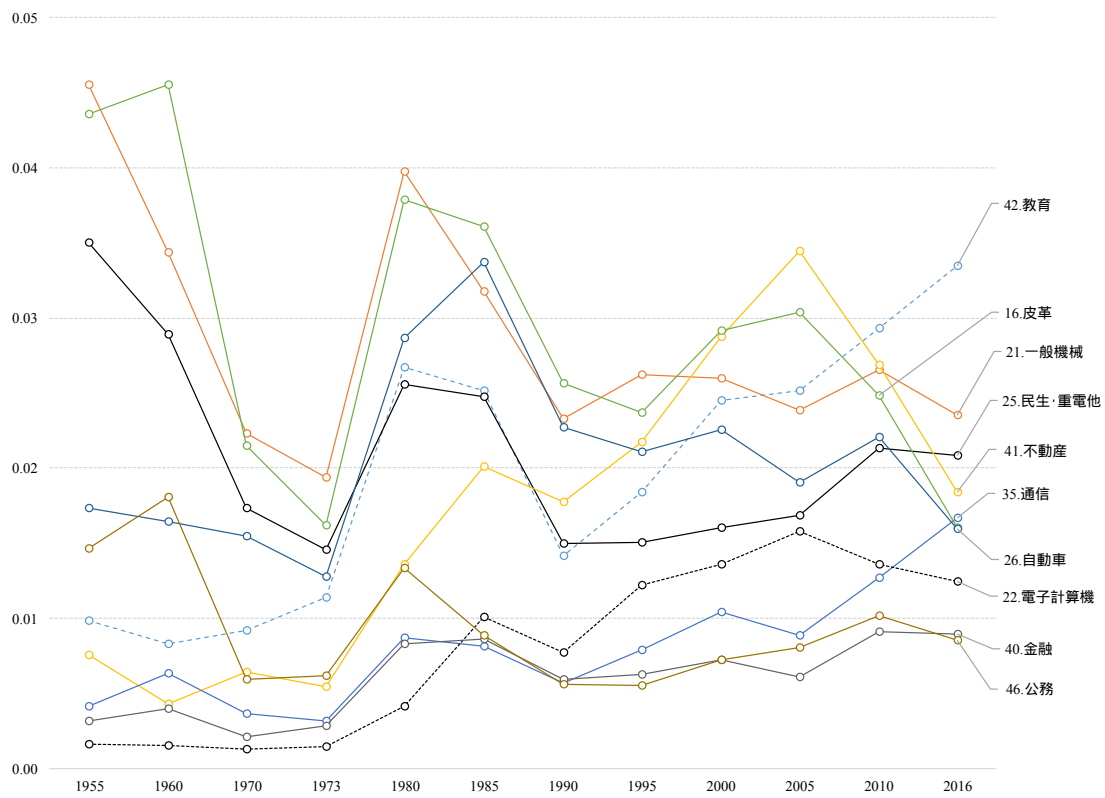


图 16: 産業別 RUEEC (Panel-D)

一国全体の RUEC の変化率（図 6）の産業要因について分解したものが図 17 である。第 I 期と第 II 期をみれば、エネルギー多消費産業（Panel-A）における RUEC の拡大が一国経済の RUEC を高め、エネルギー寡消費産業（Panel-C と Panel-D）における RUEC の低下がそれを押し下げるものとなっている。しかし両者の乖離は縮小する傾向にあり、全体としての RUEC は拡大している。第 III 期には、もはや Panel-C 群も一国経済の RUEC を押し上げる要因へと転じている。近年における RUEC の拡大は（4.2 節の図 10 のように）賃金率の低下などを反映したデフレ型であり、その影響を産業別にみれば、エネルギー多消費型産業におけるコスト増加であるよりも、より裾野の広い産業に影響が及んでいる。エネルギー価格高騰に対する脆弱性の増大は、緩やかながらも広範な産業に見いだされる。

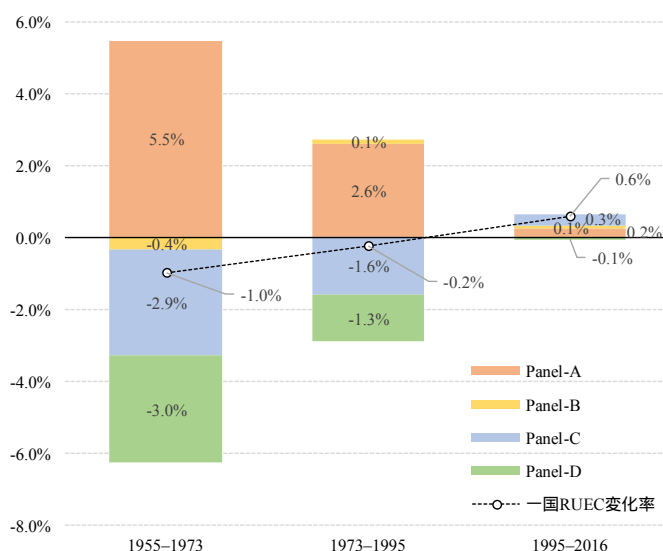


図 17: 日本経済の RUEC 変化における産業起因

6 結び

エネルギー安全保障を分析する上での課題は、化石燃料の供給障害などによる価格高騰リスクの評価と、それによる経済的な影響評価の二つの側面へと分離される。近年、その両者において日米両国の直面するリスクは大きく乖離してきている。第一の側面では、2000 年代後半からのシェール革命は米国に経済的自由を与えたものの、その地政学的な反作用によって、中東への依存度を高める日本における価格高騰リスクを増大させるものとなった。エネルギー安全保障の第二の側面においても、本稿での分析によれば、エネルギー価格高騰に対する経済体系の耐性としての日米格差は拡大している。

日米両国の実質単位エネルギーコスト（RUEC）による格差は、シェール革命以降に急速に拡大しており、近年では日本は相対的に 60%ほど大きな RUEC に直面する。それは戦後経済のピークに匹敵する格差である。その要因はエネルギー生産性格差の縮小と実質エネルギー価格差の拡大の両面による。近年米国のエネルギー生産性の改善率は高く、

日本の優位性はこの 20 年で半分にまで低下している。

日本のエネルギー価格高騰に対する脆弱性はオイルショック後に改善してきたが、この 20 年間に再び増大している。日本の RUEC が上昇へと転じた転換点は 1995 年である。それは、大きく二つのトレンド変化を反映している。第一に、実質エネルギー価格の変化としては第一次オイルショック後から上昇へと転じ、さらに第 II 期(1973–1995 年)から第 III 期(1995–2016 年)へと上昇率を拡大させている。その特性は、エネルギーの名目価格の変化よりも、賃金率低下によって誘導されたアウトプット価格(付加価値価格)の低下を起因とするデフレ型にある。デフレ型の RUEC 上昇は、エネルギー多消費産業への直接的な影響よりも、広範な産業においてエネルギー価格高騰への耐性を弱体化させる影響を持つ。

第二に、エネルギー生産性改善の低迷である。実質エネルギー価格の上昇が逡増しているにも関わらず、エネルギー生産性の改善率は逡減している。安価に利用できる未導入の省エネ技術が枯渇していく中で、実質エネルギー価格が上昇しようともエネルギー生産性の改善による RUEC 上昇の抑制は困難なものとなっている。また近年のエネルギー生産性改善は、あらためてその質が問われなければならないだろう。本稿の分析によれば、日本経済成長の基調として、エネルギーに対する資本深化と労働浅化が進行している中で、賃金率低下によるエネルギー実質価格の上昇により、2000 年代前半からはむしろ相対的に労働投入を増加させてエネルギー消費を節約する傾向(エネルギーに対する労働深化)が見いだされる。実現しているエネルギー生産性の改善は、労働生産性の悪化をその代償としている。

2017 年 1 月からは、日本でも米国からのシェールガス由来の LNG の輸入が始まった。日米貿易不均衡を緩和させる効果や輸入調達先の多様化としての効果は期待されるものの、その輸入価格は同月に到着した東南アジアや豪州産の LNG の平均値よりも 6–7 割高であったという(日経産業新聞, 2017)。価格低下に向けた今後の努力が期待されるが、日米 RUEC 格差拡大の源泉は、名目エネルギー価格上昇であるよりも、むしろ産出価格としての日本経済の国内要因による。長期化するデフレ経済は、エネルギー価格高騰に対する脆弱性を増大させてきたのである。労働生産性の改善を通じて賃金率を高め、エネルギーに対する労働深化の流れを修正しなければならないだろう。日本経済の抱えるエネルギー安全保障上の課題認識のもと、適切なエネルギー政策が模索されなければならない。

参考文献

- European Commission (2014) *Energy Economic Developments in Europe*, European Economy 1, Brussels: European Commission.
- Eurostat-OECD (2012) *Eurostat-OECD Methodological Manual on Purchasing Power Parities, 2012 edition*, Eurostat Methodologies and Working Papers, European Union/OECD.
- Gillingham, Kenneth, Richard G. Newell, and Karen Palmer (2009), “Energy Efficiency Economics and Policy”, *Annual Review of Resource Economics*, Vol.1, 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.
- Kaltenegger, Oliver, Andreas Löschel, Martin Bikowski, and Jörg Lingens (2017) “Energy Costs in Germany and Europe: An Assessment Based on a (Total Real Unit) Energy Cost Accounting Framework,” *Energy Policy*, Volume 104.
- Konishi, Yoko and Koji Nomura (2015) “Energy Efficiency Improvement and Technical Changes in Japanese Industries, 1955-2012,” RIETI Discussion Paper Series 15-E-058.
- Lack, Simon (2018) “America's Path to Energy Independence: The Shale Revolution,” *Forbes*, June 4.
- Nomura, Koji, Kozo Miyagawa, and Jon D. Samuels (2018) “Benchmark 2011 Integrated Estimates of the Japan-U.S. Price Level Index for Industry Outputs,” BEA Working Paper, Bureau of Economic Analysis, the U.S. Department of Commerce.
- Royal, Todd (2018) “Shale 2.0 – Is There a Geopolitical Dark Side?,” *The National Interest*, February 8.
- 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).
- World Bank (2014) *Purchasing Power Parities and Real Expenditures of World Economies: Summary of Results and Findings of the 2011 International Comparison Program*, Washington, D.C.: World Bank.
- 黒田昌裕・新保一成・野村浩二・小林信行 (1997) 『KEO データベース - 産出および資本・労働投入の測定 - 』慶應義塾大学産業研究所.
- 資源エネルギー庁 (2008) 『平成 18 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2007)』経済産業省 資源エネルギー庁.
- 豊田正和 (2019) 「危機に備え自給率を高める必要がある」, *SankeiBiz*, 7 月 25 日.
- 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.
- 日経産業新聞 (2017) 「米シェール輸入開始 - LNG 価格抑える取引力急務」, 2017 年 3 月 9 日.
- 野村浩二 (2004) 『資本の測定 - 日本経済の資本深化と生産性』慶應義塾大学出版会.
- 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.
- 星野優子 (2012) 「日本の製造業業種別エネルギー需要の価格弾力性の推計 - 国際比較のための分析枠組みの検討 - 」, 『エネルギー・資源』, Vol.34, No.1.