

# エネルギー生産性改善の黄金期は再び訪れるか？

－ 20世紀の日本経済からのレッスンと2050年展望

野村浩二  
慶應義塾大学 産業研究所

2019年2月19日（火）

RITE（地球環境産業技術研究機構）平成30年度 ALPS国際シンポジウム  
「経済成長と長期大幅排出削減の両立に向けた挑戦」



# 内容

(1) 日本の長期経済成長とエネルギー、資本、労働投入



(2) 真のエネルギー生産性改善とその低減



(3) 震災後、黄金期の再来か？

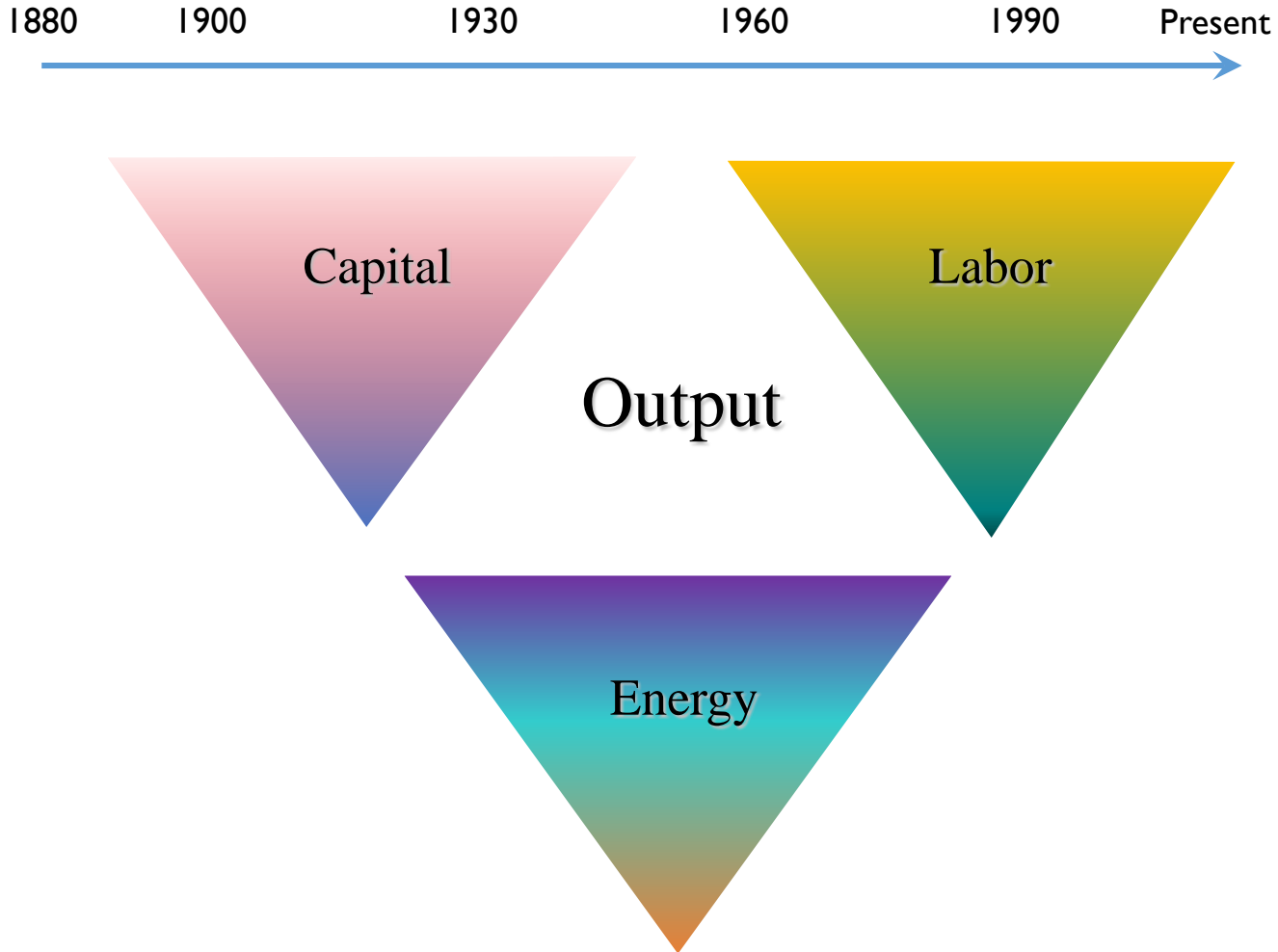


(4) 2050年に向けて黄金期は訪れるか？



(5) 結び

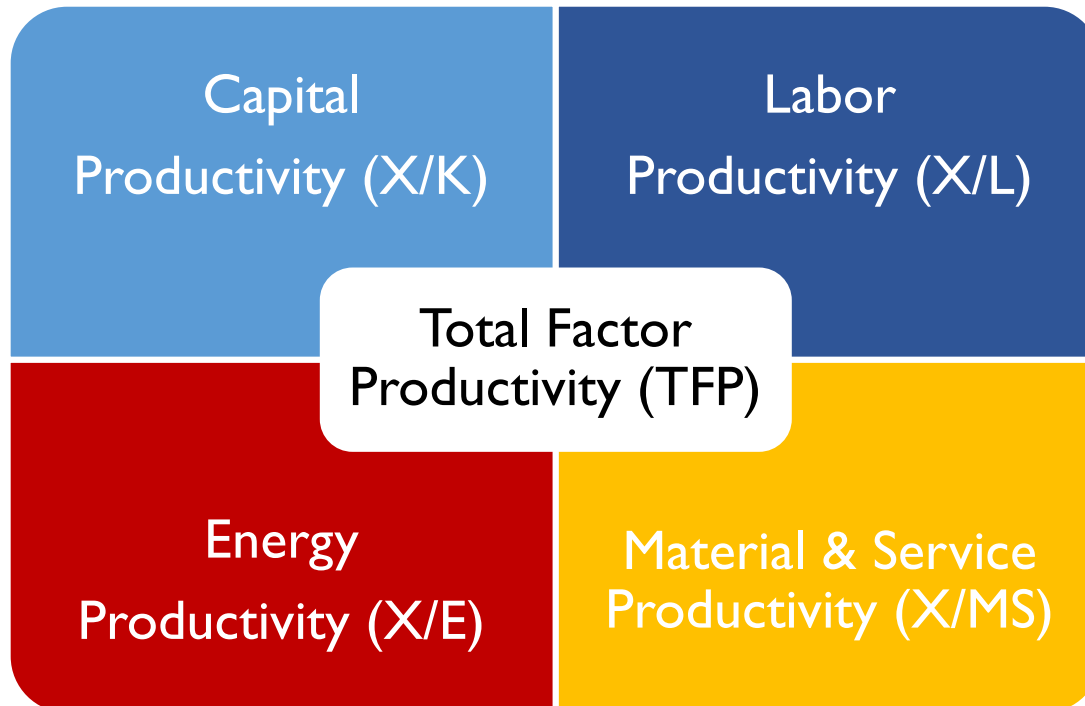
# (1) 日本の長期経済成長におけるエネルギー、 資本、労働投入



# エネルギー生産性の改善

## Energy Productivity Improvement (EPI)

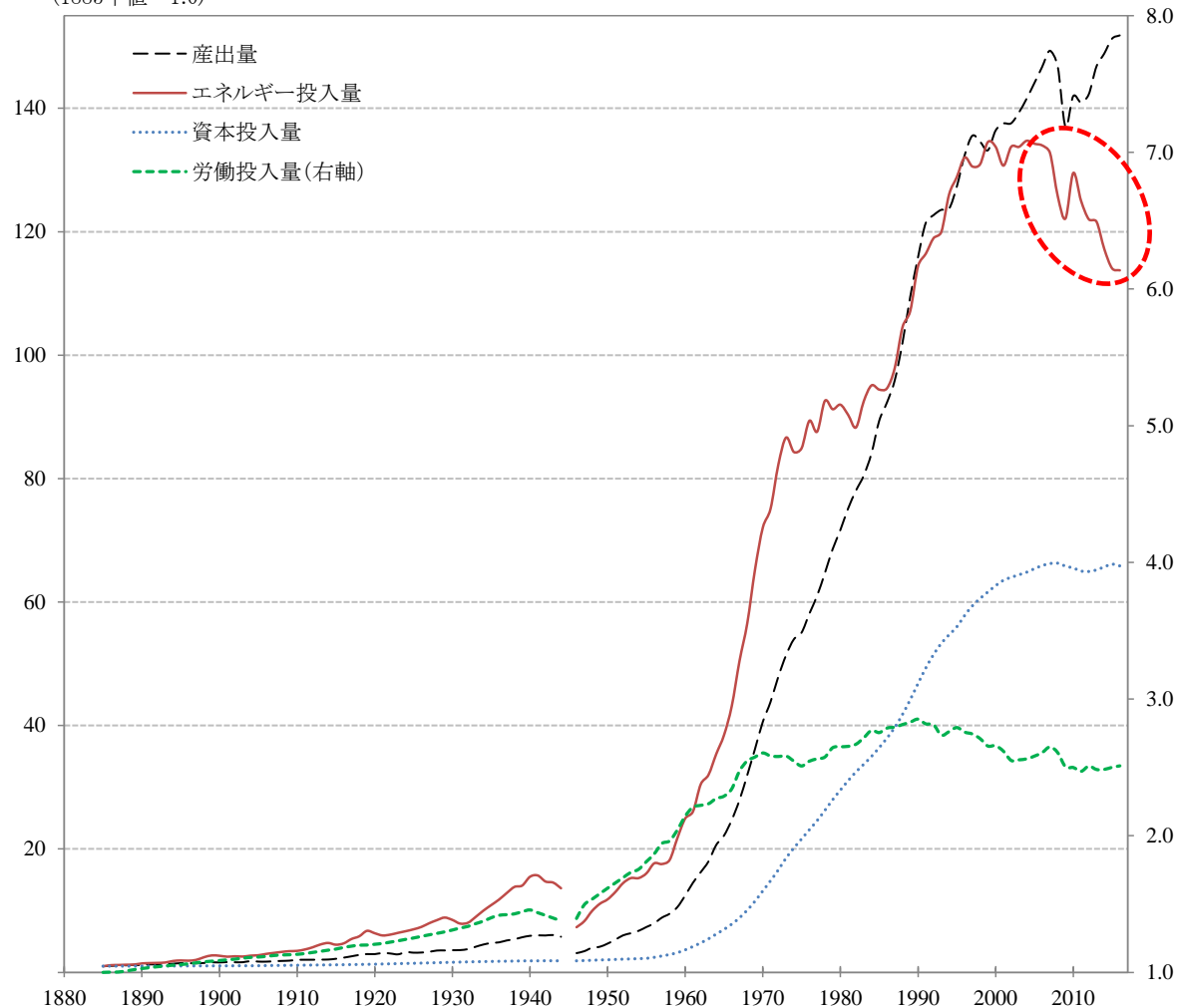
- ① 生産(X)=f(資本(K), 労働(L), エネルギー(E), ...)  
➤エネルギーは生産における投入要素の一つ。
- ② エネルギー生産性 =X/E。(エネルギー集約度(Energy Intensity)の逆数)。  
➤エネルギー生産性は単要素生産性の一つ。他には資本生産性(X/K)、労働生産性(X/L)、...
- ③ 全要素生産性の成長率(TFP)=(X/Eの寄与度)+(X/Kの寄与度)+(X/Lの寄与度)+...  
➤EPI(エネ生産性の改善)=(X/Kの悪化=省エネ投資の拡大)+(TFP改善=技術進歩)+...



# 産出量、エネルギー、資本、労働の投入量

1885-2016年

(1885年値=1.0)



- 20世紀の日本の経済成長には、生産拡張と同じほどの一次エネルギー消費を必要としてきた。
- 労働投入量(時間)は1991年より減少。資本投入量もリーマンショック後停滞。
- リーマンショック(世界金融危機)および東日本大震災の後、エネルギー消費は大きく低下。10年近くも継続的な減少は戦後初めて。

単位:すべての変数の1885年値を1.0とした指数。定義:産出量:実質GDP、エネルギー投入量:最終エネルギー消費(一次エネルギー換算)、資本投入量:実質純資本ストック、労働投入量(右軸):労働時間合計。出典: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)。(『EDMCエネルギー・経済統計要覧』(日本エネルギー経済研究所EDMC),『国民経済計算体系』(内閣府経済社会総合研究所),『長期経済統計』(大川他),『KEOデータベース』(慶應義塾大学産業研究所)などより作成)。

# エネルギー生産性と労働・資本生産性

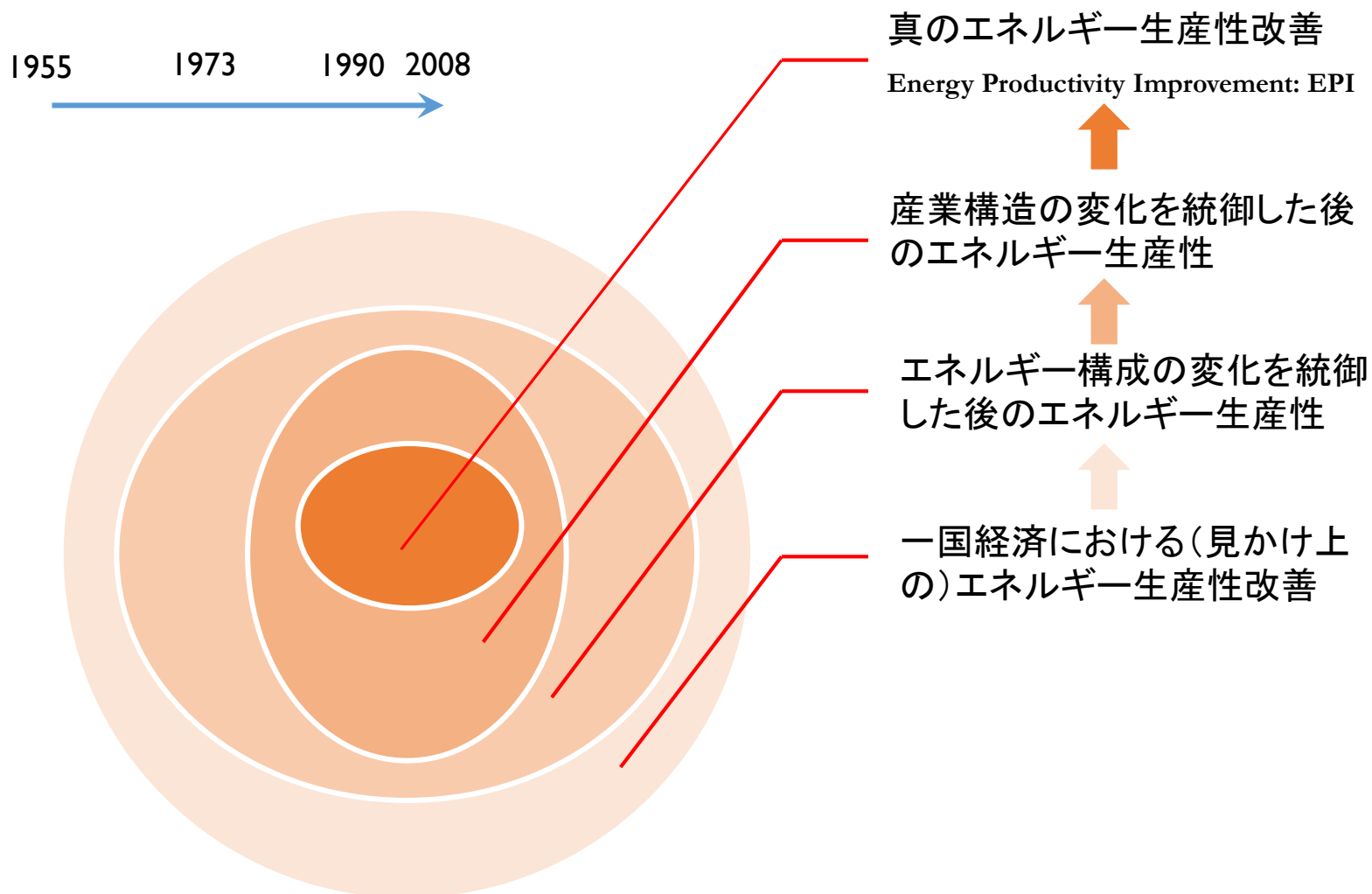
1885-2016年



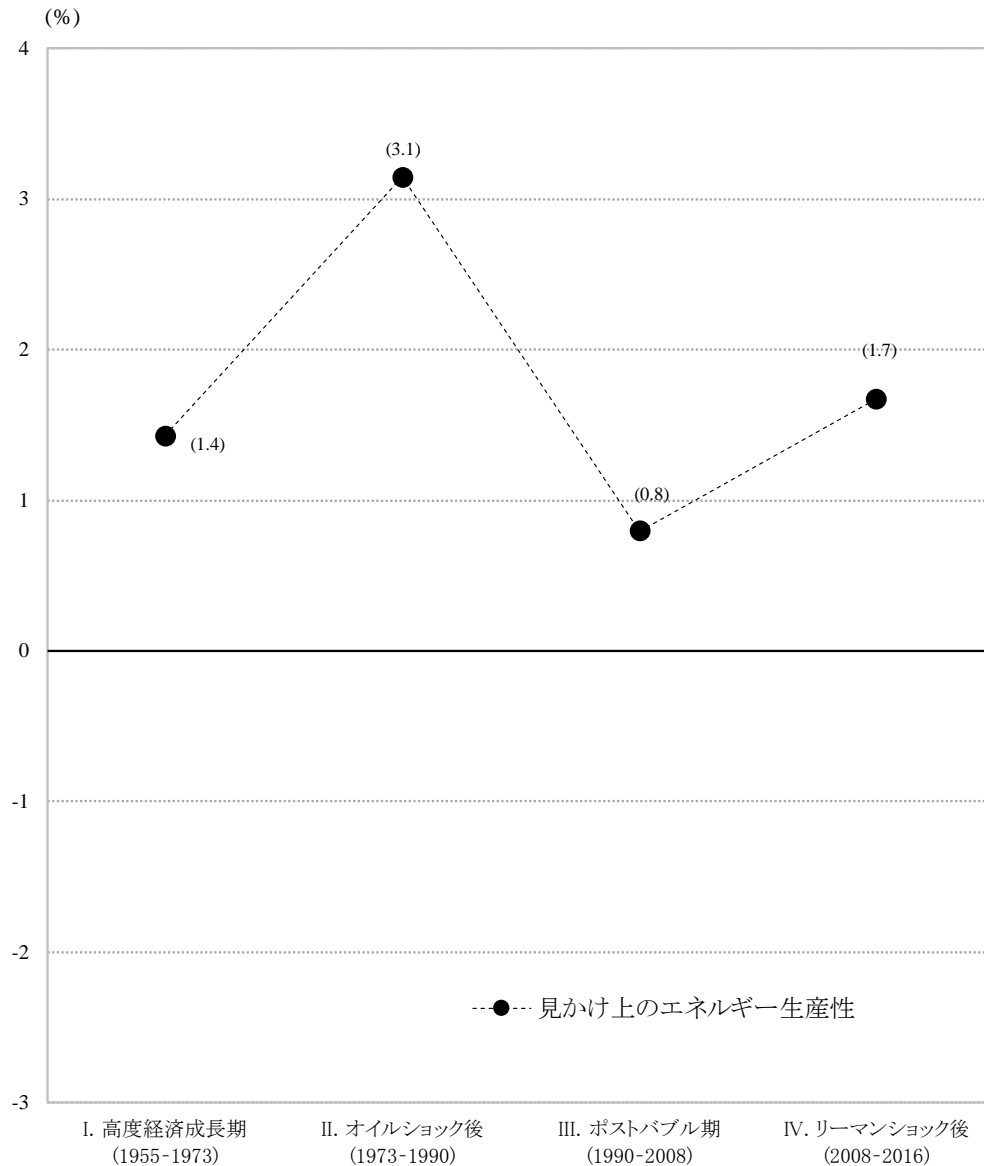
- a. 日本経済の労働生産性は一貫して改善。
- b. エネルギー生産性は第二次世界大戦をはさみ、ほぼU字型。
- c. 対照的に資本生産性は(戦後の復興期を除くと)逆U字型。1990年以降は横ばい。
- d. 第1次オイルショック後(1973–90年)には年率3.1%ものエネルギー生産性改善。= **黄金期**
- e. 震災後に再び加速。2011–16年では年率3.4%改善。 **黄金期の再来か？**
- f. ⇒それはリーマンショック(世界金融危機)による景気のボトムを基準とした **過大評価**。2008–16年では改善は半分(1.7%)に低下。それでも高いのはなぜか？持続可能か？

単位: 各生産性指標の2016年値を1.0とした指数。定義: 産出量は実質GDP、各投入量はエネルギー投入量: 最終エネルギー消費(一次エネルギー換算)、資本投入量: 実質純資本ストック、労働投入量(右軸): 労働時間合計。出典: 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)。『EDMCエネルギー・経済統計要覧』(日本エネルギー経済研究所), 『国民経済計算体系』(内閣府経済社会総合研究所), 『長期経済統計』(大川他), 『KEOデータベース』(慶應義塾大学産業研究所)などより作成。

## (2) 真のエネルギー生産性改善とその低減



# 見かけ上のエネルギー生産性改善(EPI)



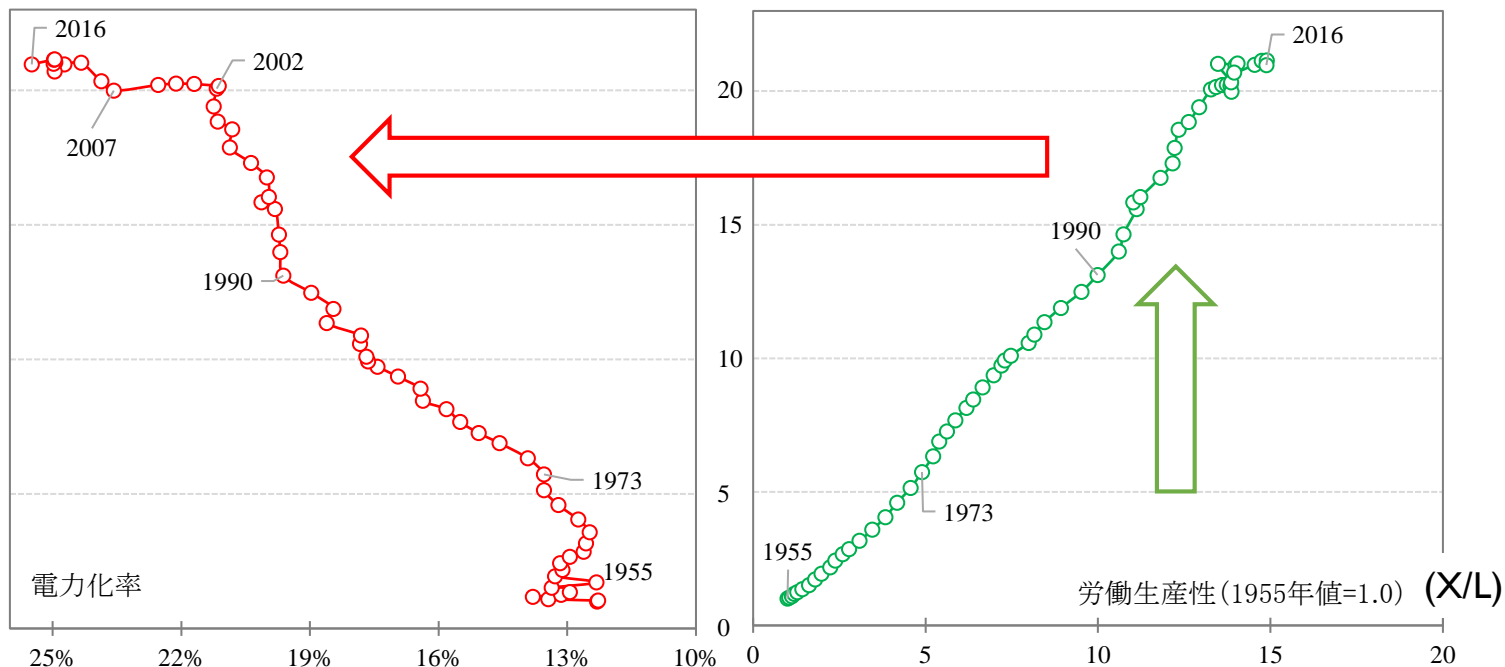
- オイルショック後(II. 1973-1990)は見かけ上の“EPI黄金期”
- 電力化などエネルギー品質の変化や、多様な産業構造変化を統御すると、見かけ上のEPIはどう変化するだろうか？

単位:それぞれの期間の年平均成長率。出典: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)。



# 日本経済の電力化：労働生産性と資本深化

資本深化 (1955年値=1.0) (K/L)



- 労働生産性成長の実現は、資本深化の進行が最大要因(成長会計分析によれば、およそ半分を説明；残り35%割がTFP成長、15%が労働品質(教育など)改善)
- 高度経済成長期には資本深化は進行しても、電力化率の上昇はわずか。
- 1973年以降、資本深化に伴いながら電力化が進行。
- 2000年代の低成長下、資本深化は停滞するものの、電力化のみが進行(ICTの深化?)。

単位:すべての変数の1955年値を1.0とした指数。定義:労働生産性=実質GDP/労働投入時間合計、資本深化=実質純資本ストック/労働投入時間合計、電力化率=電力消費量/最終エネルギー消費量。出典: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)。

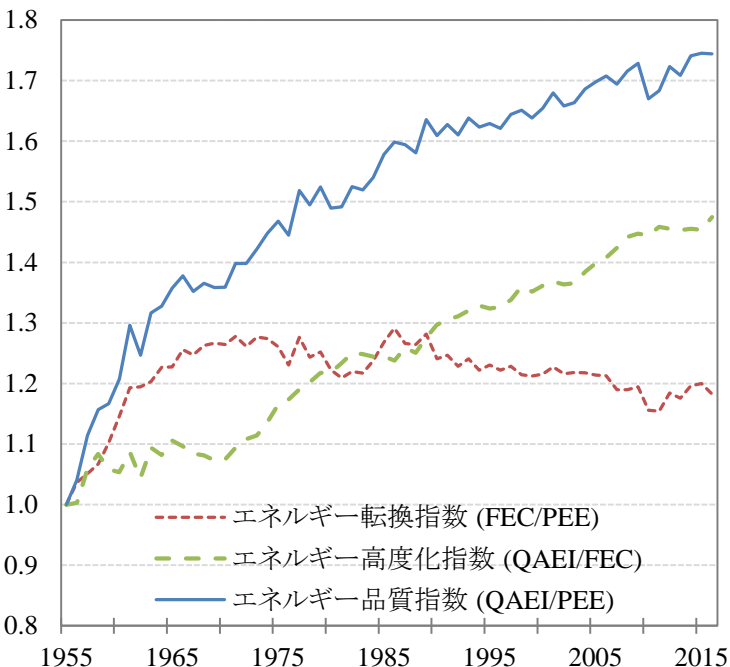
# 品質調整済みエネルギー投入指数 -Quality-adjusted Energy Input (QAEI)

$$E = E_{fp} \left( \frac{E_f}{E_{fp}} \right) \left( \frac{E}{E_f} \right)$$

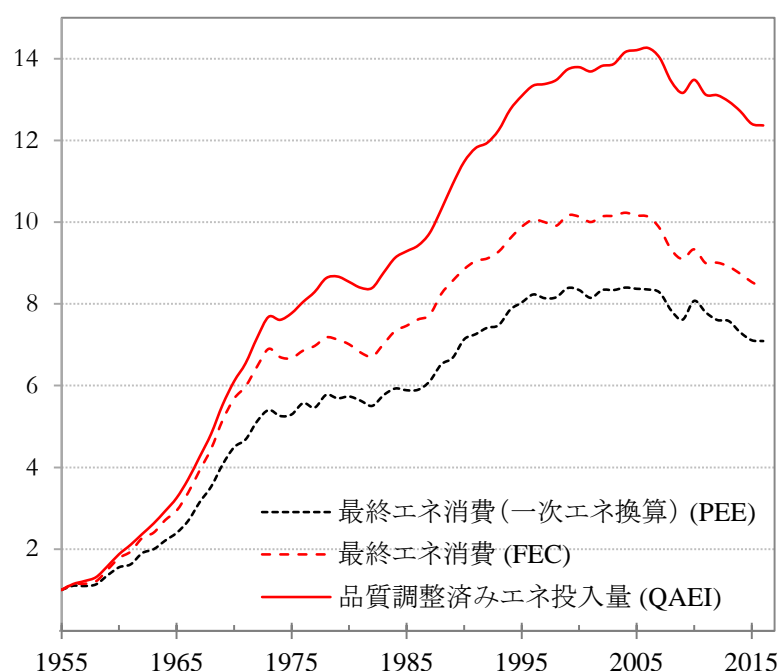
-----> エネルギー高度化指数(品質調整済エネ量(QAEI)/最終エネ量(FEC))  
 -----> エネルギー転換指数(最終エネ量(FEC)/一次エネ量(PEE))

} 両者を合わせて「エネルギー品質指数」

(1955年値=1.0)



(1955年値=1.0)



- a. 転換指数は1950年代に上昇(熱効率の改善は同指標を上昇させる)、1960年代以降緩やかに逡減(電力化の進行は熱効率改善を相殺して同指標を低下)
- b. オイルショック後、高度化指数は上昇。近年は停滞。

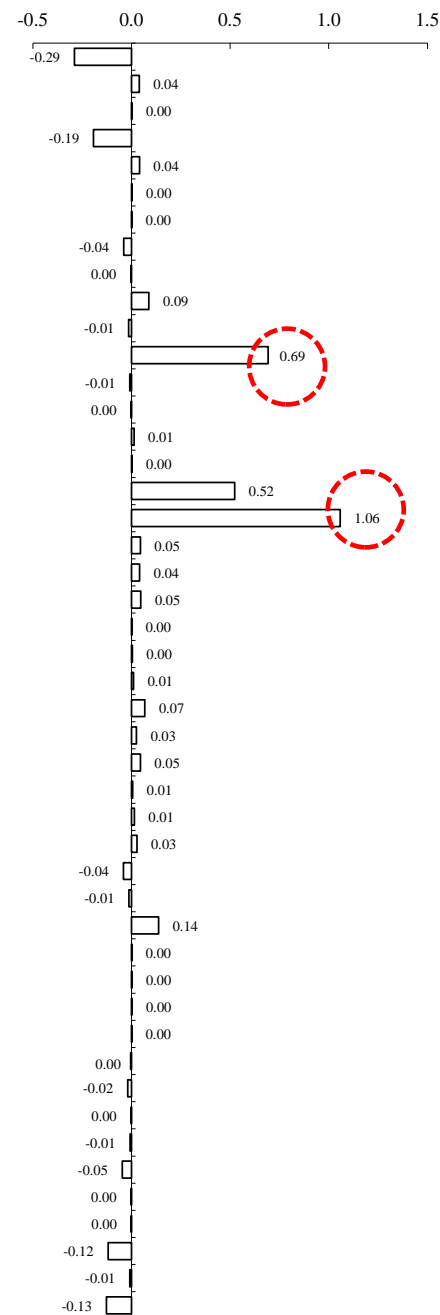
単位: すべての変数の1995年値を1.0とした指数。定義: 品質調整済みエネルギー投入量(QAEI: quality-adjusted energy input)は、各エネルギー品目ごとの相対価格を品質評価としてとらえたトランスログ指数により算定。出典: 野村浩二(2018)「日本の長期エネルギー生産性—エネルギー品質と産業構造要因」RCGW Discussion Paper No.61(日本政策投資銀行設備投資研究所地球温暖化研究センター)。

# 品質調整済みEPI の産業起因 (1955-1973年)

エネルギー消費量変化(11.2%)への  
産業別寄与度



エネルギー生産性変化(2%)への産  
業別寄与度

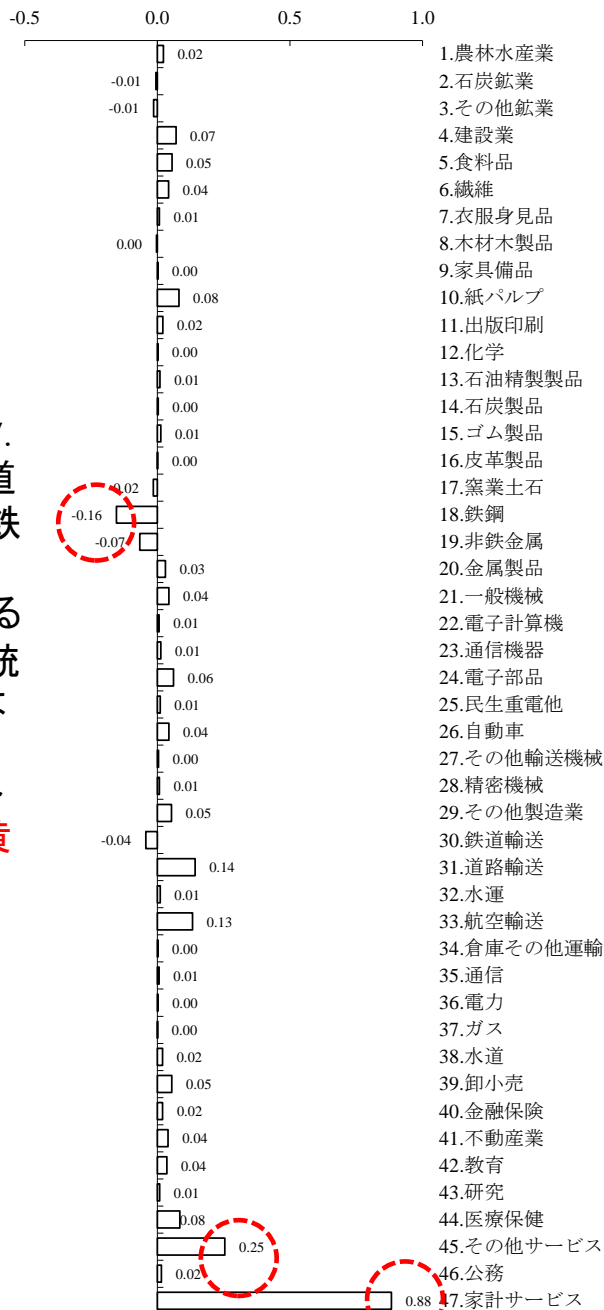


- a. 一国の消費量の拡大(年率11.2%)の半分(49.6%)は、鉄鋼、化学などエネ多消費産業の拡大による。他方、同産業のエネルギー生産性改善も顕著。
- b. 産業構造要因を統御した一国集計レベルでのエネルギー生産性改善(EPI)は年率2.0%。=見かけ上のEPI(1.4%)は過小評価されている。
- c. またエネ多消費産業による寄与度合計は2.4ポイントとなり、一国レベルのEPI(2.0%)を上回る。
- d. ⇒EPIは重厚長大産業への経済構造変化によって、見えづらくなっていた(⇒隠れた黄金期)。

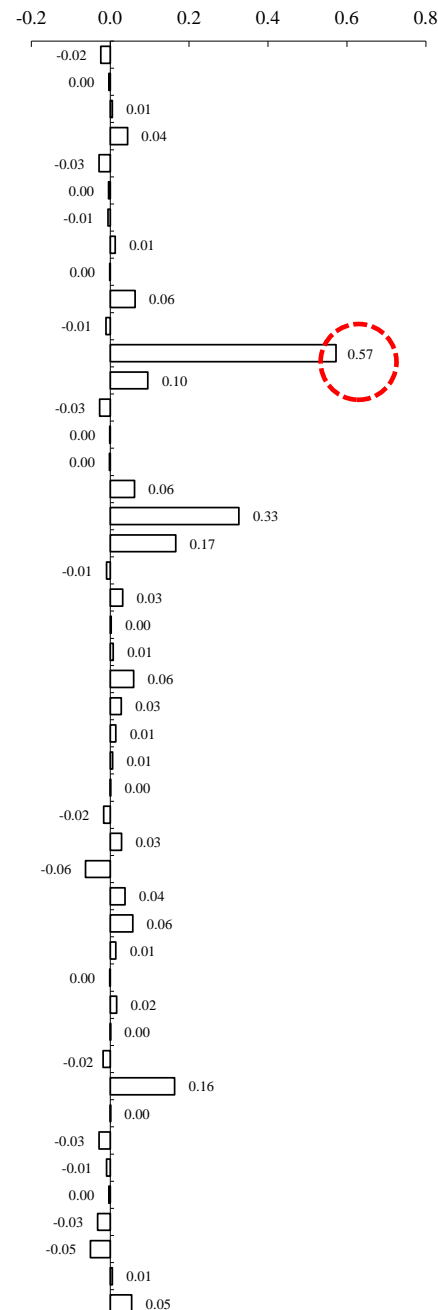
出典:野村浩二(2018)「日本の長期エネルギー生産性ーエネルギー品質と産業構造要因」RCGW Discussion Paper No.61(日本政策投資銀行設備投資研究所地球温暖化研究センター)。

# 品質調整済みEPI の産業起因 (1973-1990年)

エネルギー消費量変化(2%)への  
産業別寄与度



エネルギー生産性変化(1.5%)への  
産業別寄与度

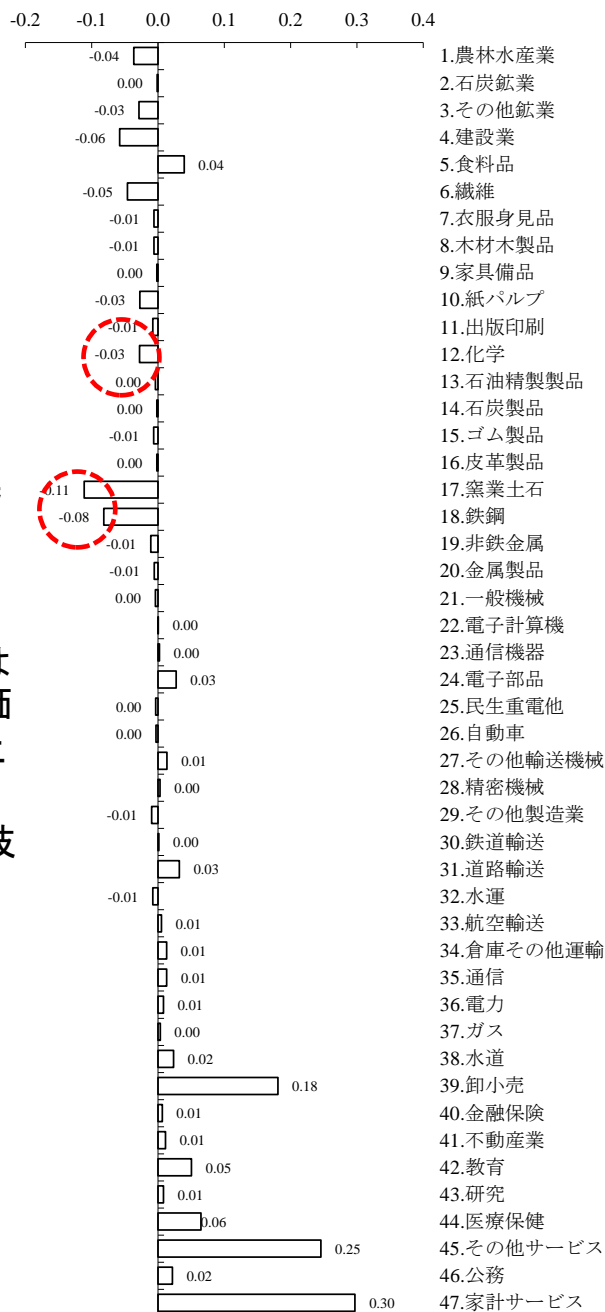


- a. エネルギー消費(QAEI)拡大は、47.家計サービス、45.他サービス、31.道路輸送、33.航空輸送等であり、18.鉄鋼などではむしろ減少。
- b. 見かけ上のEPIが年率3.1%に達する黄金期であるが、産業構造要因を統御した一国集計レベルでのEPIでは1.5%に留まる。
- c. それは高度成長期よりも0.5ポイント低い水準である。(⇒見かけ上の黄金期)

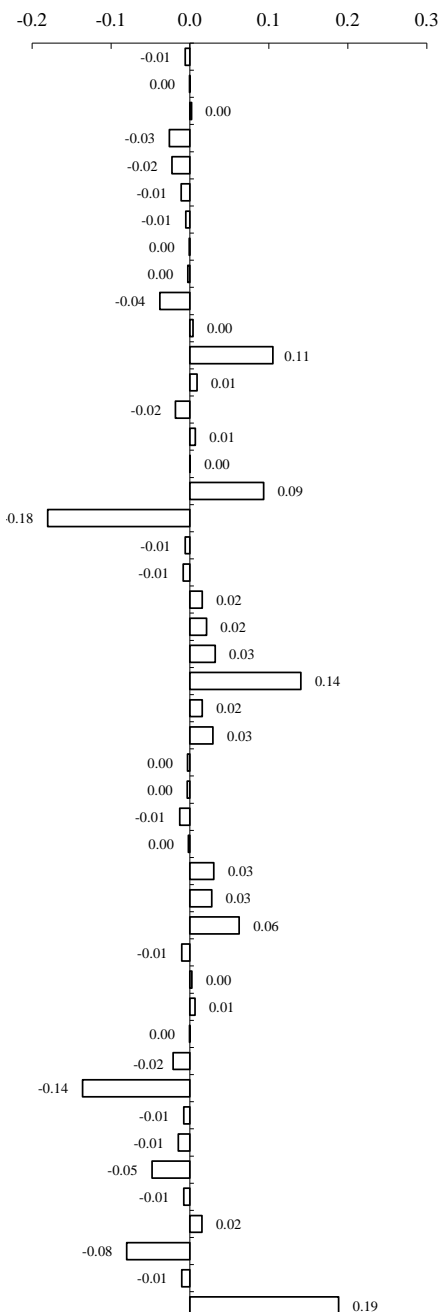
出典:野村浩二(2018)「日本の長期エネルギー生産性ーエネルギー品質と産業構造要因」RCGW Discussion Paper No.61(日本政策投資銀行設備投資研究所地球温暖化研究センター)。

# 品質調整済みEPI の産業起因 (1990-2008年)

エネルギー消費量変化 (0.6%)への  
産業別寄与度



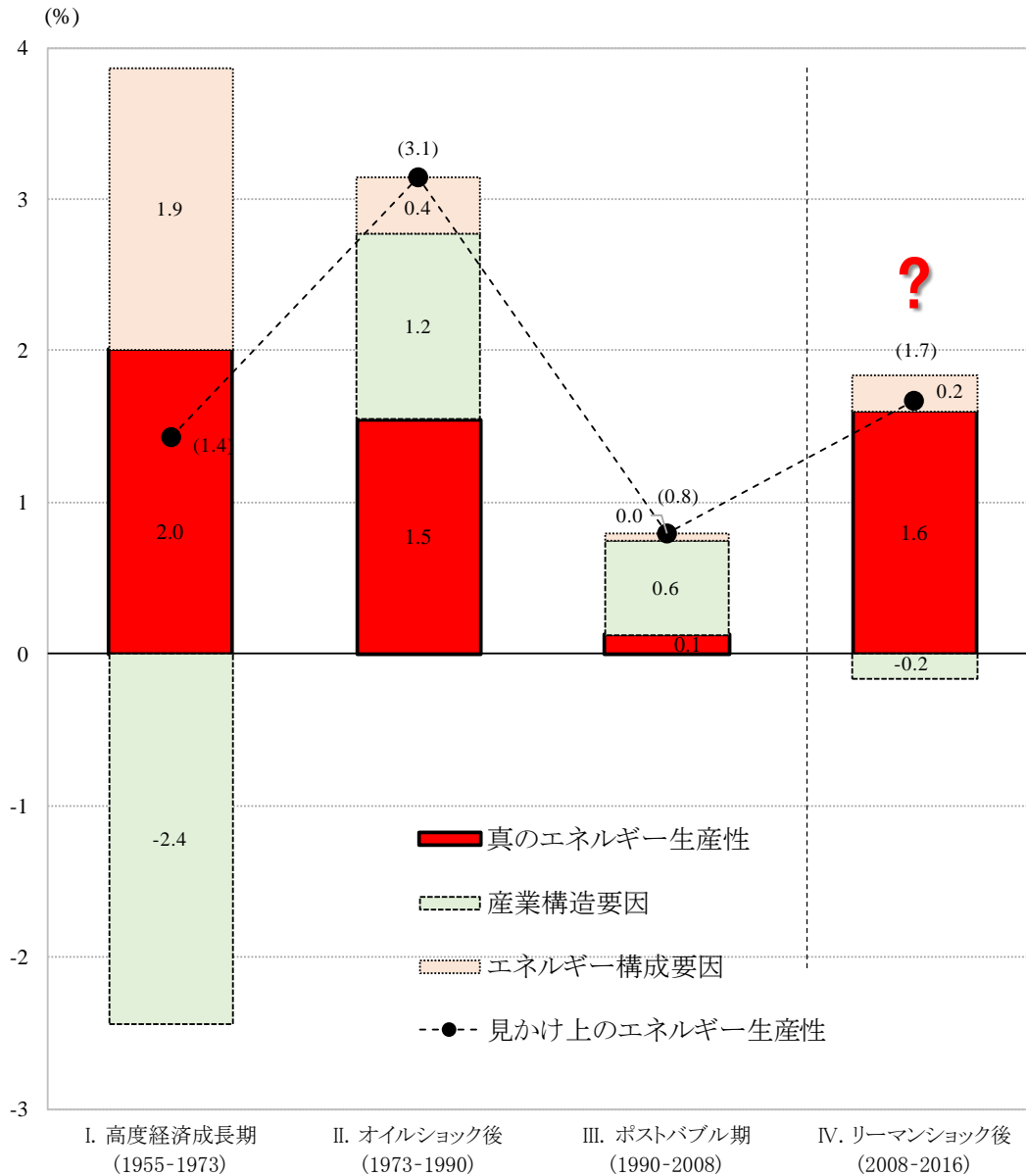
エネルギー生産性変化 (0.1%)への  
産業別寄与度



- a. 見かけ上のEPIは年率0.8%であったが、産業構造要因を統御した一国集計レベルでのEPIはわずかに年平均0.1%へ低下。
- b. この期の後半(2000-08年)ではエネルギー価格の上昇局面(原油価格は6倍まで上昇)。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の減少(省エネの飽和)、EPIのための限界費用が逡増していることを示唆。

出典:野村浩二(2018)「日本の長期エネルギー生産性ー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)。

# 真のエネルギー生産性改善(EPI)

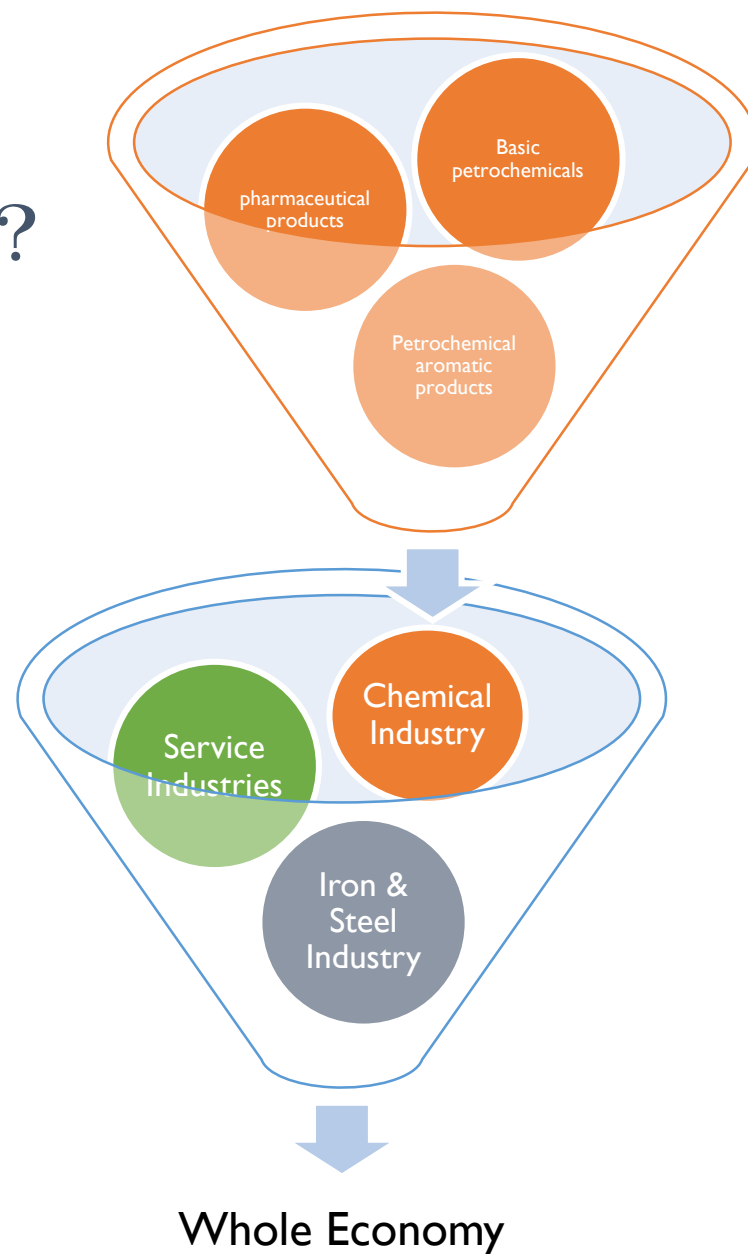


- a. 見かけ上のEPIは、1.4%⇒3.1%⇒0.8%⇒1.7%へと変化。
- b. エネルギー品質変化や産業構造要因を統御したEPIでは、2.0%⇒1.5%⇒0.1%⇒1.6%へと変化。
- c. 1955年から2008年までで見れば、徐々に省エネの可能性が飽和していることを示唆。
- d. しかし、2008年以降では、産業構造要因はむしろマイナスであり、EPIでも1.6%と、**オイルショック後に匹敵**。それはいかなる要因によるものか？持続可能か？

単位：それぞれの期間の年平均成長率。出典：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)。

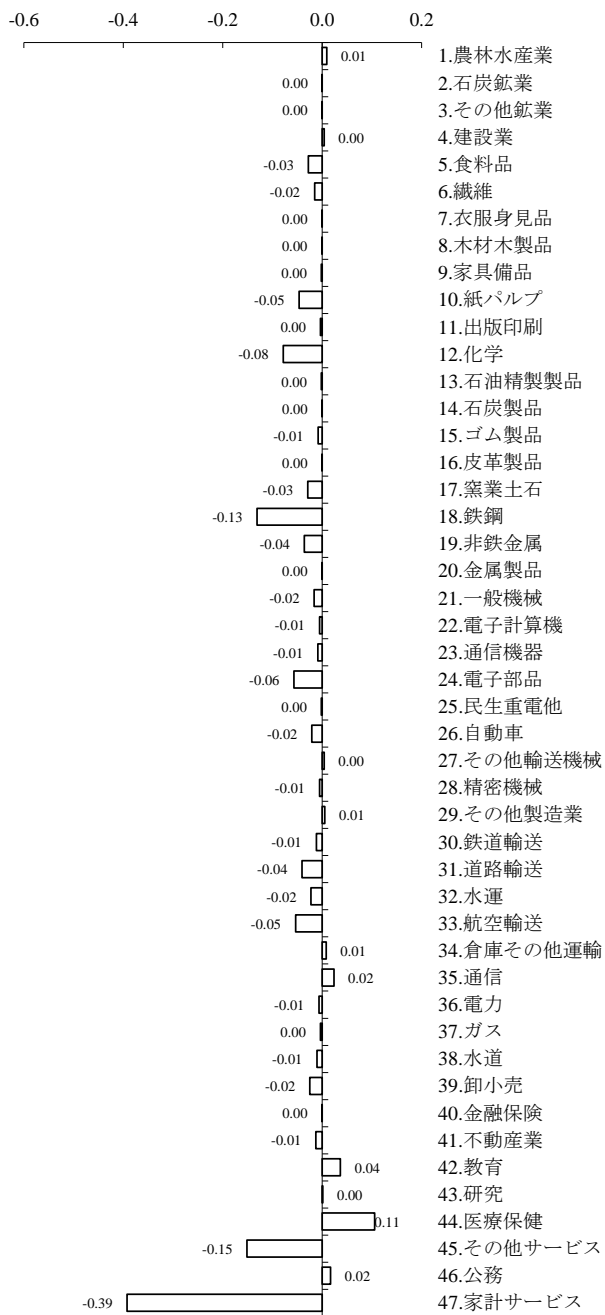
### (3) 震災後、黄金期の再来か？

2008 Present

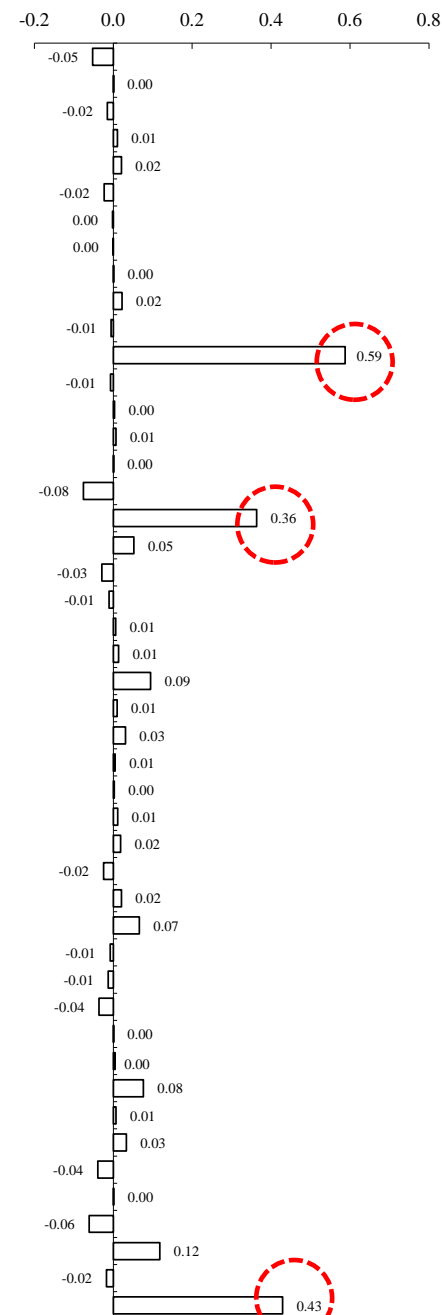


# 品質調整済みEPI の産業起因 (2008-2016年)

エネルギー消費量変化 (-1%)への産業別寄与度



エネルギー生産性変化 (1.6%)への産業別寄与度



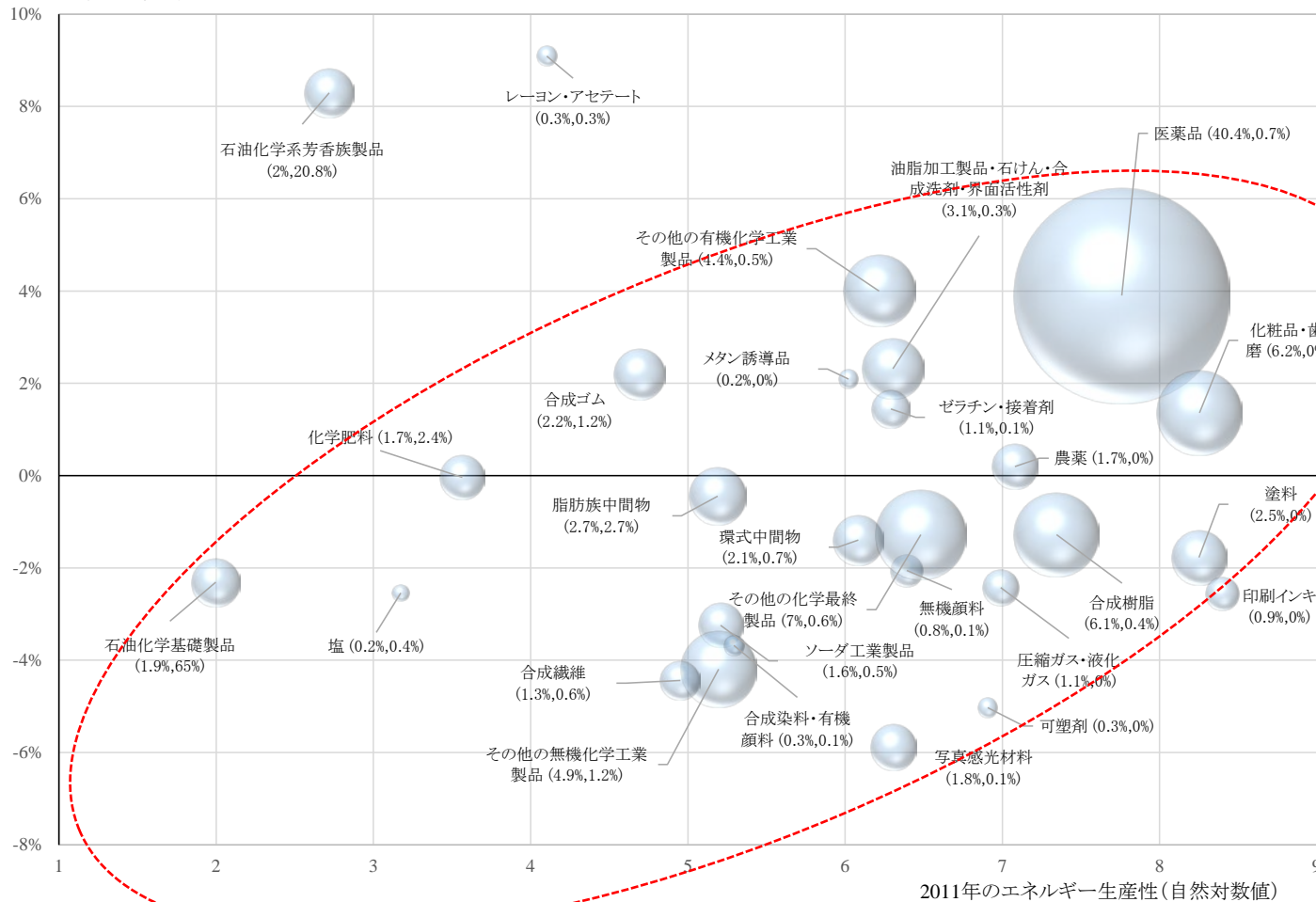
- a. 産業構造要因を統御した一国集計レベルでのEPIは年率1.6%の高い成長を実現。オイルショック後における(見かけ上の)黄金期に匹敵。
- b. EPIは、むしろ12.化学業や18.鉄鋼業などのエネルギー多消費的な産業により、両部門で合わせて一国全体のEPIの6割ほどを説明。  
⇒飽和していないのか？

出典:野村浩二(2018)「日本の長期エネルギー生産性ー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)。



# 化学業の製品構成変化

国内生産変化率(第V期:2008-16年の年平均成長率)

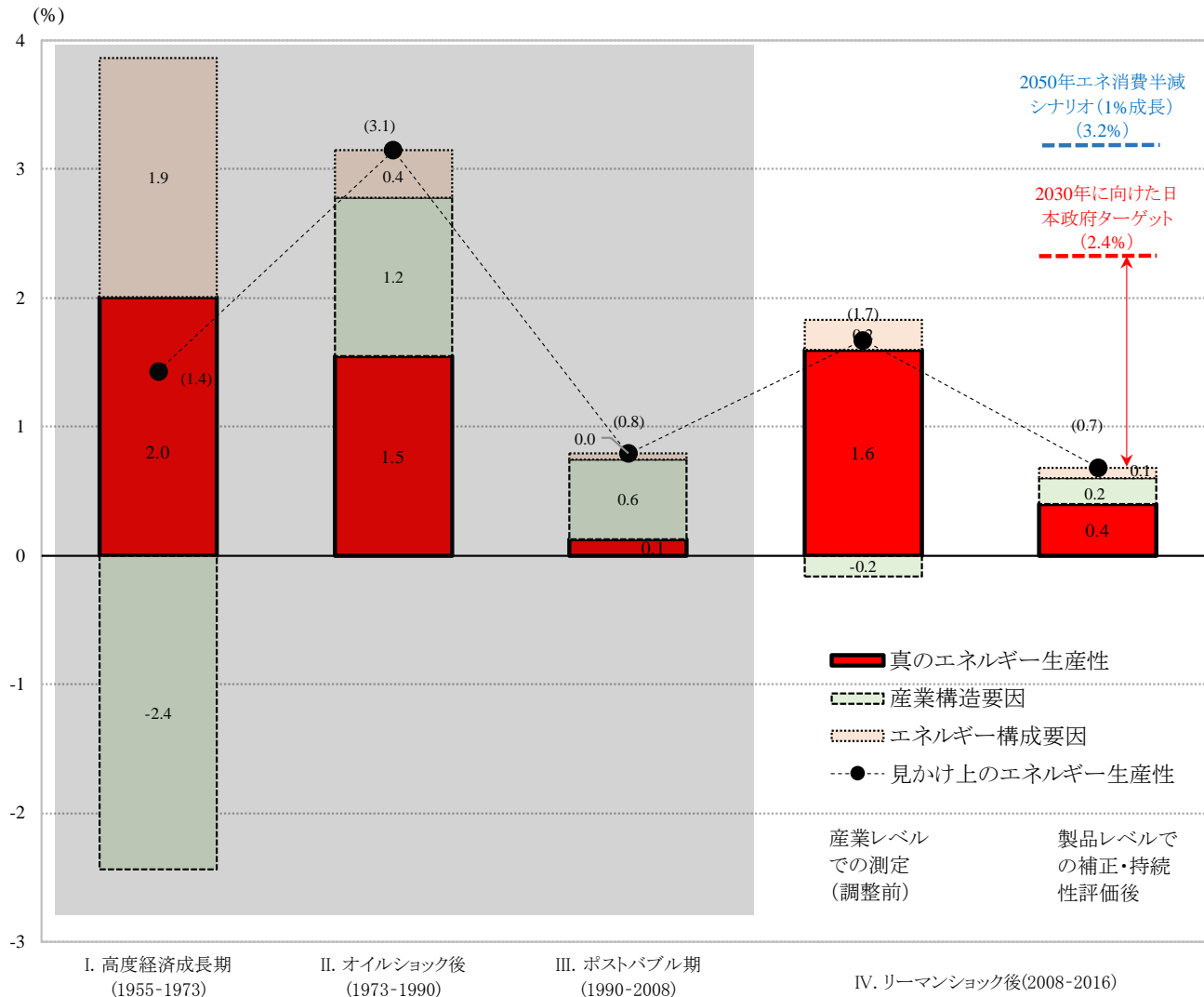


- a. 製品構成へと踏み込めば、エネルギー生産性水準と成長率には正の相関。
- b. 付加価値額(バブル)の大きな医薬品(40.4%)では、エネルギー消費シェアはわずか0.7%。
- c. 石油化学基礎製品や石油化学系芳香族製品がきわめて大きなエネルギー消費シェアを持つが(それぞれ65.0%と20.8%)、付加価値シェアではわずか2%程。
- d. 化学業におけるEPI年率5.0%のうちの3.3%ポイントはこうした化学製品の構成変化にて説明される。

定義: 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を反映しており、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。出典: 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)。(総務省「2011年産業連関表」および「物量表(付帯表)」、内閣府経済社会総合研究所「国民経済計算」、経済産業省「工業統計」、日本銀行「国内企業物価指数」などより作成)。



# EPIのベースライン推計値

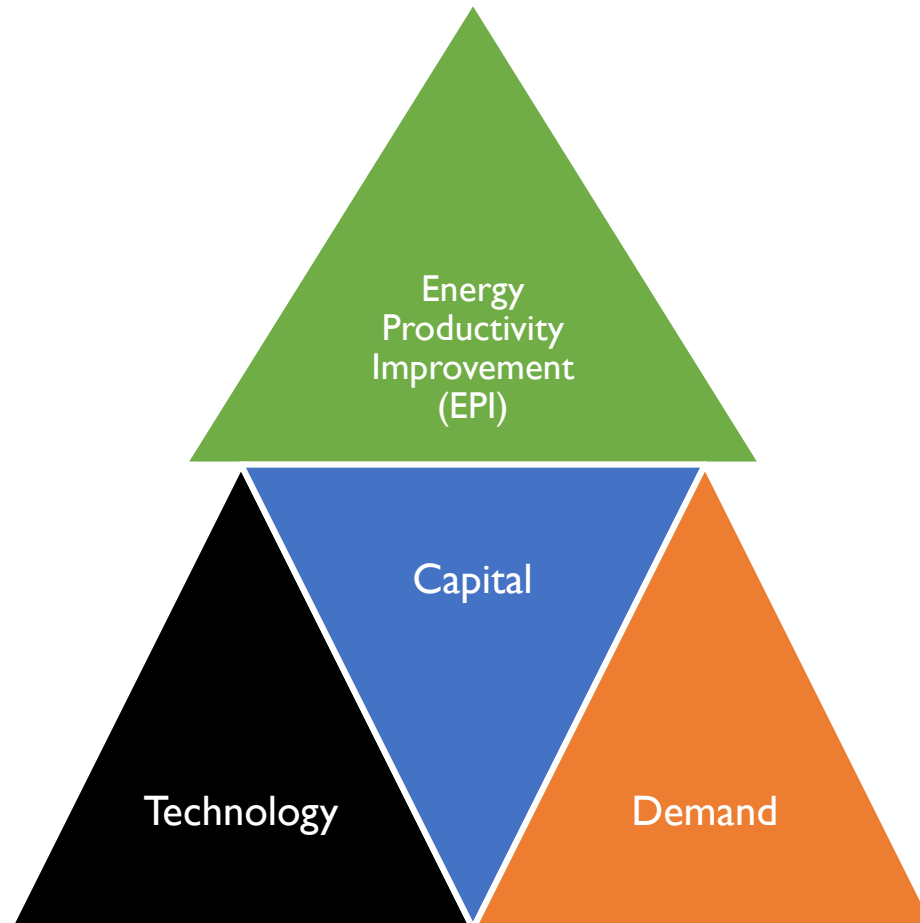


- 2008-16年に観察されたEPIは、
- 化学製品構成変化の統御によっては0.39ポイント縮小。
  - 鉄鋼業の合理化によるものを一時的であるとすれば、0.36ポイント縮小。
  - 震災後の家計部門の省エネが持続できず、1990-2008年ほどとすれば、0.24ポイント低下。
  - 上記3部門を合わせて、EPIは1.6%から0.6%まで低下。
  - 加えて景気変動要因を考慮すれば、**EPIベースライン推計値は0.4%ほど。**
  - エネルギー構成要因、産業構造要因を想定して、**見かけ上のEPIは0.7%。**2030年に向けた政府目標(年率2.4%ほど)に対して、半分にも達しない。

## (4) 2050年に向けて黄金期は訪れるか？

Present

2050



# 技術革新とエネルギー生産性改善

エネルギー生産性改善 (Energy Productivity Improvement: EPI)

$$= f(\underbrace{S_t(T_t), S_{t-1}(T_{t-1}), S_{t-2}(T_{t-2}), \dots}_{\text{①}}, \underbrace{TFP_t, Y_N, \Delta Y, \dots}_{\text{②}})$$

③

①過去に蓄積されてきた生産的資本ストック(過去の技術状態を反映)

②経済成長における需要サイドの変化。

1. 需要拡大の成長率( $\Delta Y$ ):  $\partial EPI / \partial \Delta Y > 0$

2. 新製品(財・サービス)の創造( $Y_N$ ):  $\partial EPI / \partial Y_N < 0$

③技術革新

(a) 資本に体化された技術進歩(=①)

(b) 資本に体化されない技術進歩( $TFP_t$ )

(c) 新製品(財・サービス)の出現( $Y_N$ ) (=②.2)

⇒ 技術革新とEPIに関する経験則

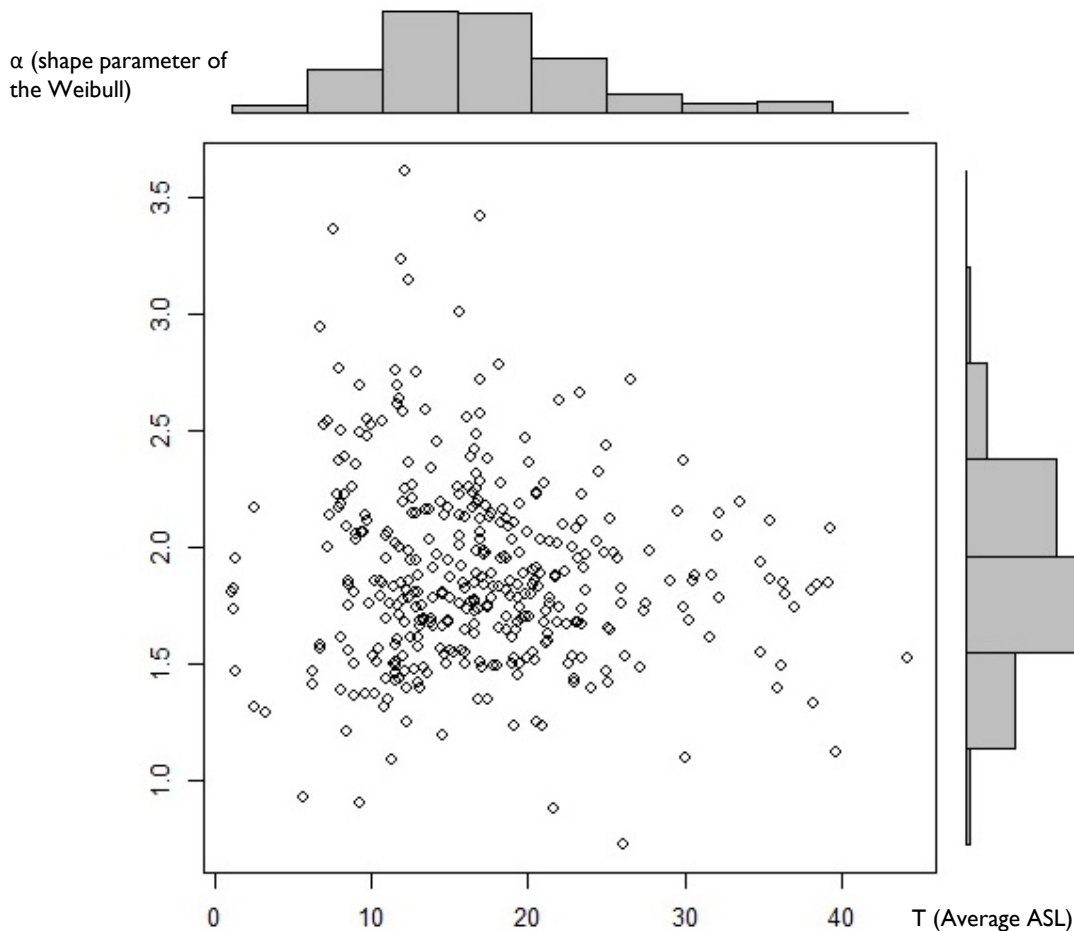
I. 真のEPIは資本に体化された技術進歩(a)に大きく依存。

II. 技術革新((a)および(b))には長いタイムラグがある。

III. 技術革新は必ず新製品を創造。全体としてEPIを保証せず、むしろ(a)+(b)<(c)。

# 資産はどれほどの期間利用されるのか？

## — 実測された経済的耐用年数



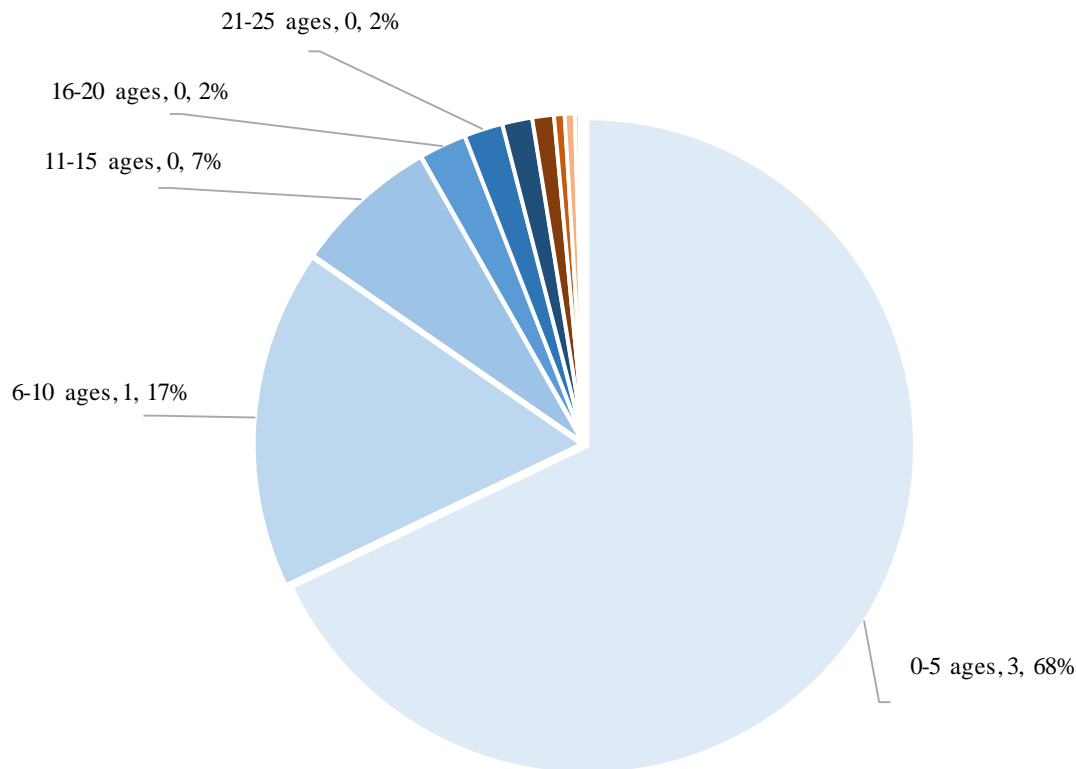
▶ 経済的な耐用年数は、技術的な耐用年数よりも短いとしても、多くの資産で長期化の傾向もみられる。

▶ 日本に存在する資産のうち、369タイプの**61%が10年から20年の平均耐用年数**を持つ。

▶ ワイブル関数の形状係数 ( $\alpha$ )は30%が、2よりも大きく、後年において除却が加速。

Source: Nomura, Koji and Yutaka Suga (2018) "Measurement of Depreciation Rates using Microdata from Disposal Survey of Japan," The 35th IARIW General Conference, Copenhagen, Denmark.  
Unit: years (ASL). Note: Estimates of the Weibull survival profile based on 369 types of assets, based on the observations (937 thousand) of retired assets collected by CED 2006–2014.

# 情報通信機器製造業における資産年齢構成 －2016年末の生産的資本ストック



Note: ages, productive capital stock as of the end of 2016 (trillion JPY), stock share (%)

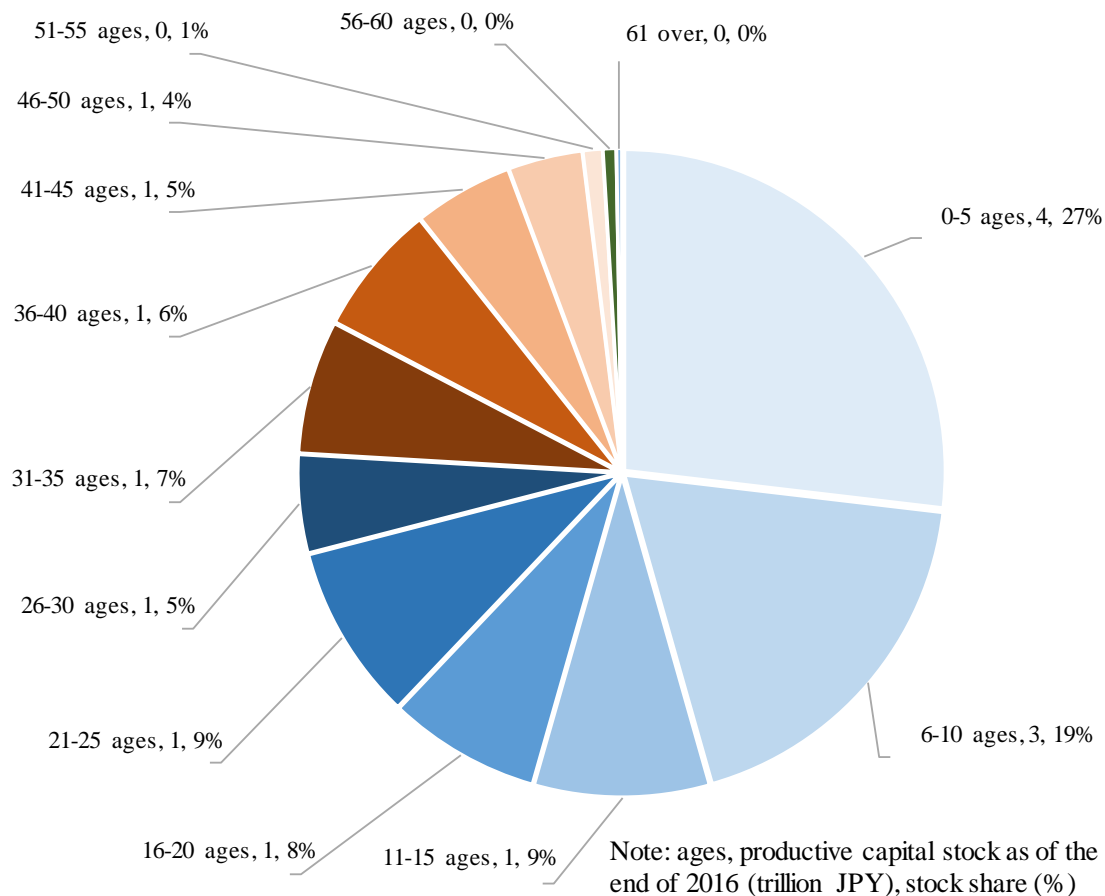
➤情報通信機器製造業では、2016年末に存在する全資本ストックのうち設備年齢10歳以内(2006年以降に投資)の資産が85%を占める。

➤⇒この10年の技術革新を織り込むことができる。

出典：野村による恒久棚卸法に基づく95資産分類による推計値。基礎となるデータはKEOデータベース(日本経済の長期生産性データベース)に基づき推計(資本推計の詳細は、野村(2004)『資本の測定－日本経済の資本深化と生産性－』)。2016年末における資本ストックの①年齢構成、②2016年末資本ストック(兆円)、③2016年末資本ストックシェア(%)。なお、資本ストックには、土地、R&D(研究開発)ストック、兵器システムは含まない。またここでは、東日本大震災および阪神大震災の影響を考慮していない。

# 鉄鋼業における資産年齢構成

## —2016年末の生産的資本ストック



➤鉄鋼業では、全資本ストックのうち設備年齢10歳以内の資産が46%を占める。

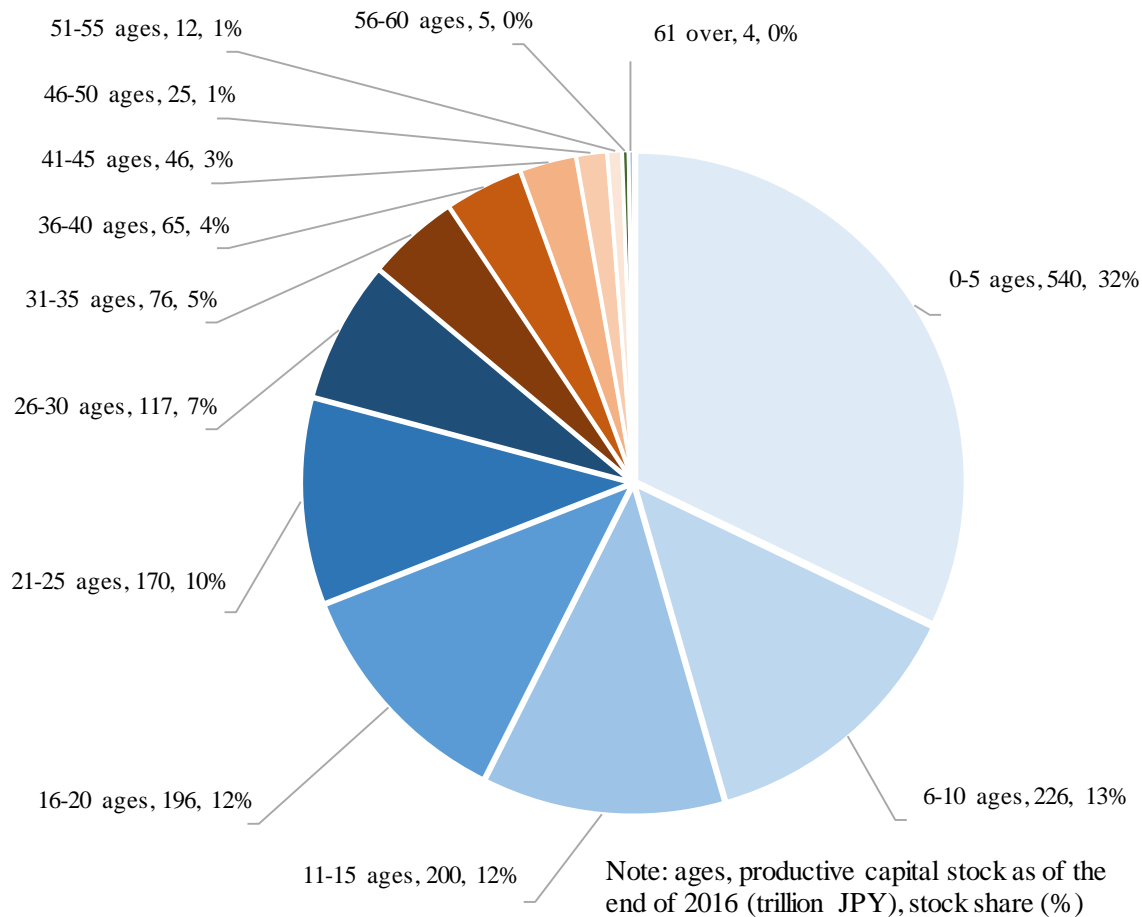
➤資産の年齢構成としては、10-20歳17%、20-30歳14%、30-40歳13%。40-50歳9%。

➤依然としておよそ4割ほどは、2000年までに投資された資産によって、現在の生産活動がおこなわれている。

出典：野村による恒久棚卸法に基づく95資産分類による推計値。基礎となるデータはKEOデータベース（日本経済の長期生産性データベース）に基づき推計（資本推計の詳細は、野村（2004）『資本の測定—日本経済の資本深化と生産性—』）。2016年末における資本ストックの①年齢構成、②2016年末資本ストック（兆円）、③2016年末資本ストックシェア（%）。なお、資本ストックには、土地、R&D（研究開発）ストック、兵器システムは含まない。またここでは、東日本大震災および阪神大震災の影響を考慮していない。

# 一国経済の資産年齢構成

## —2016年末の生産的資本ストック



➤ 一国経済でも、全資本ストックのうち10年以内の投資が47%を占める。

➤ 資産の年齢構成としては、10-20歳24%、20-30歳17%、30-40歳9%。40-50歳4%と、長期的に利用。

➤ およそ4割ほどは、2000年までに投資された資産によって、現在の生産活動がおこなわれている。

➤ インフラなど、新技術の利用を制約的にするかもしれない。

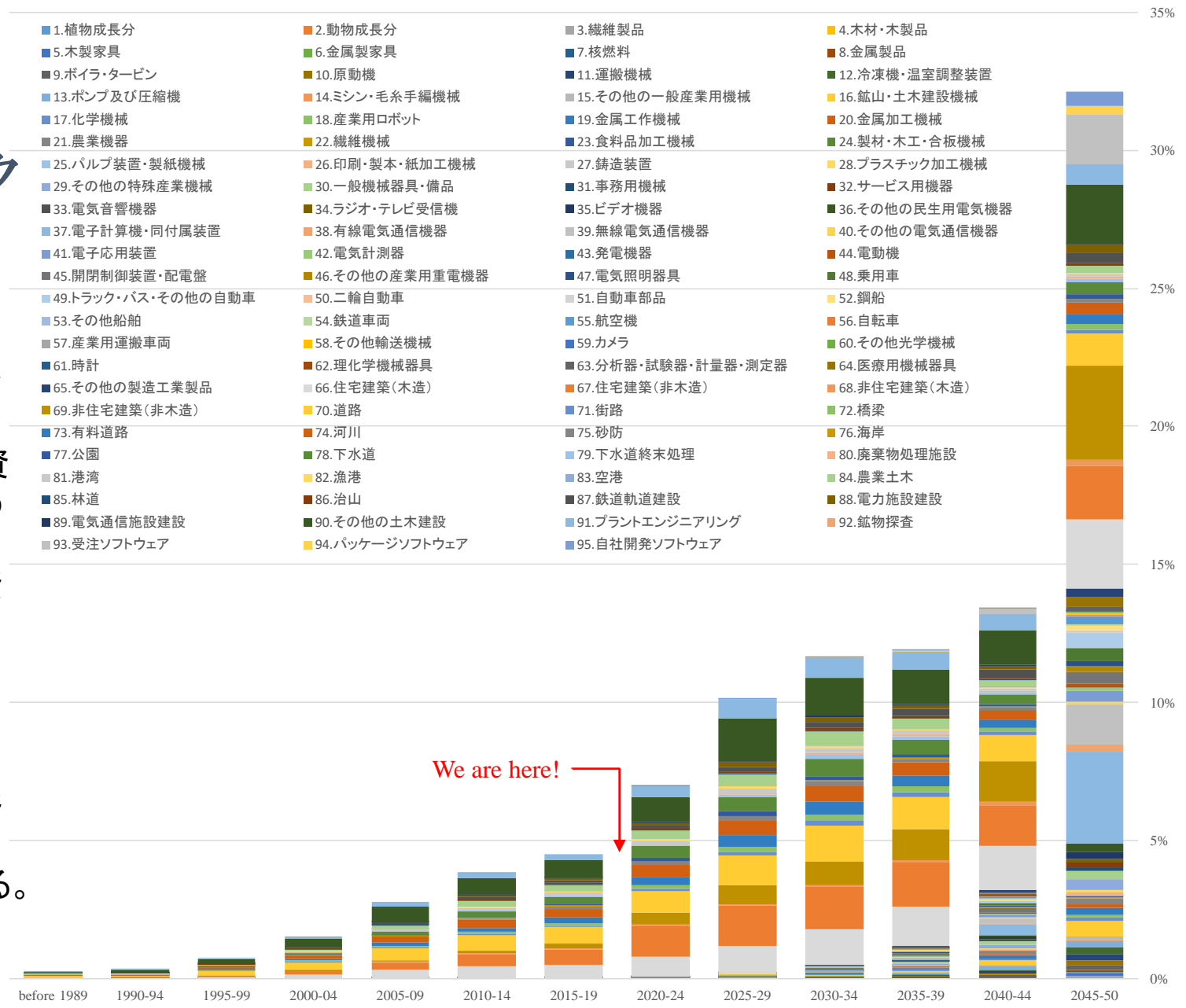
出典：野村による恒久棚卸法に基づく95資産分類による推計値。基礎となるデータはKEOデータベース（日本経済の長期生産性データベース）に基づき推計（資本推計の詳細は、野村（2004）『資本の測定—日本経済の資本深化と生産性—』）。2016年末における資本ストックの①年齢構成、②2016年末資本ストック（兆円）、③2016年末資本ストックシェア（%）。なお、資本ストックには、土地、R&D（研究開発）ストック、兵器システムは含まない。またここでは、東日本大震災および阪神大震災の影響を考慮していない。



# 2050年の 資本ストック の投資時期 の評価

➤2050年の生産でも、2020年代およびそれ以前に投資された資産は30%を占める。2030年代に投資された資産は25%ほど、合計して55%が2030年代までの投資。

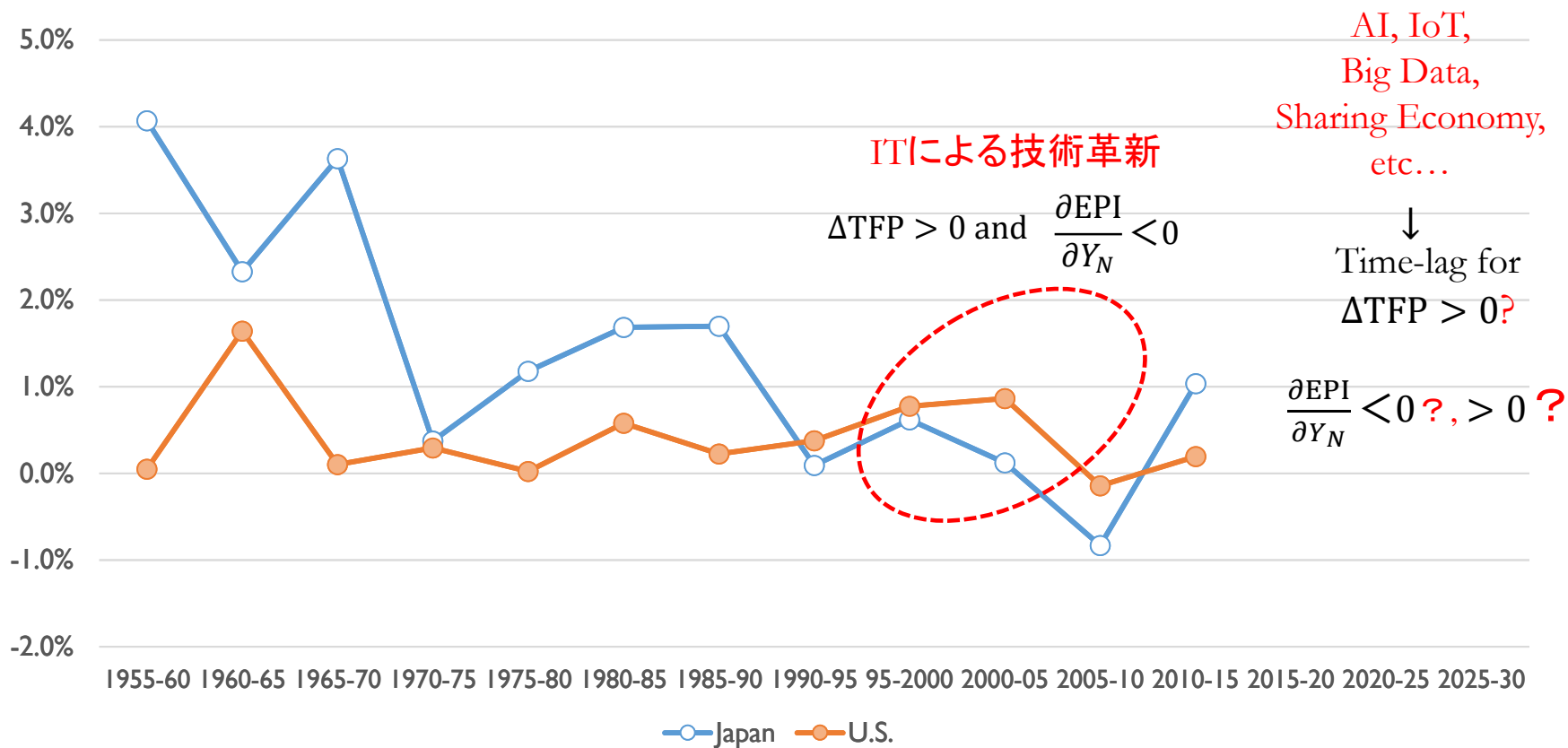
➤新しい技術革新の利用には、経済システムとして長期の時間がかかる。



出典：野村による恒久棚卸法に基づく95資産分類による推計値。基礎となるデータはKEOデータベース(日本経済の長期生産性データベース)に基づき推計(資本推計の詳細は、野村(2004)『資本の測定—日本経済の資本深化と生産性—』)。2016年末における資本ストックの①年齢構成、②2016年末資本ストック(兆円)、③2016年末資本ストックシェア(%)。なお、資本ストックには、土地、R&D(研究開発)ストック、兵器システムは含まない。またここでは、東日本大震災および阪神大震災の影響を考慮していない。

# 日米一国経済のTFP成長率

## —IT技術革新によるマクロ経済へのインパクト



出典: Dale W. Jorgenson, Koji Nomura, and Jon D. Samuels (2018) "Progress on Measuring the Industry Origins of the Japan-U.S. Productivity Gap", Fifth World KLEMS Conference, Harvard University June 2018.

## (5) 結び

### 1. 日本経済の20世紀の後半期にはEPIは減速

・**EPI低減**: マクロでの見かけ上のEPI黄金期はオイルショック後にみられるものの、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。

### 2. リーマンショック後はEPI黄金期の再来を告げるものではない

・**空洞化と一過性**: 産業レベルでの測定としては見えないが、製品レベルに細分化すれば、化学業などでは製品構成変化が強く影響。家計や他産業でも一過性の改善。一定の前提のもとで、見かけ上のEPIのベースライン推計値は年率0.7%ほど。2030年に向けた政府目標(年率2.4%ほど)に対して、半分にも達しない。

### 3. 20世紀の経験は、2050年に向けた楽観視を支持しない

・**技術導入のタイムラグ**: 2050年の生産活動は、2030年代までに資本に体化された技術にその半分以上を依存している。技術革新が社会システムとして、組み込まれるにはタイムラグがある。

・**新製品の需要効果**: むしろ技術革新は、新製品・新しいサービスを創造してきたし、むしろそれを経済的な意味で技術革新を実現しうるエネルギーとしてきた。またそれは経験則として、労働節約的、資本使用的、そしてエネルギー多消費的(データセンター、家庭用ロボット、...)である。EPIはその後に徐々にやってくる。

・**マイクロアプローチのバイアス**: 2050年に向けた新たな技術革新によりEPIが加速される技術事例は枚挙にいとまがないが、経済システム全体としてのEPIが加速していく証拠を見出すことは難しい。

・**政策による歪み**: EPIに向けた企業努力や家庭の無駄を省く努力の継続は重要だが、エネルギー政策の策定において過度にEPIを推進するのであれば、国内生産において空洞化を加速させる危惧(=見かけ上のEPIの達成)がある。