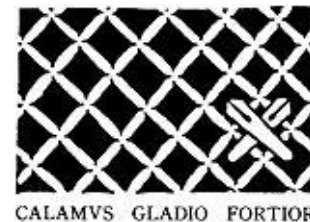


エネルギーコストと日本の経済成長

野村浩二
慶應義塾大学産業研究所

財務省 研究所内講演会（ランチミーティング）
2022年3月23日（水）



「研究者が公の討論にもたらし得る何か有益なものがある」とすれば、それは、他の人々が持っているよりも純粋なモラルでも、より上質なイデオロギーでもない。そうではなくて、物事の渦中にある人びと自身が、情動に突き動かされ、しばしば漠然としていたり完全に無意識であったりする選好に動かされる結果、気づかずにいる諸事実についての客観的な解釈である。」

－ Emmanuel Todd (2015) *QUI EST CHARLIE?*

(堀茂樹訳『シャルリとは誰か?』文春新書、2015年)。

日本経済の震災後の「六重苦」は解消したか？

－『令和3年度 年次経済財政報告』（経済財政白書：2021年9月24日）

鳩山政権当時も（現在と同様に）、経済成長を促進すると主張していたのですが・・・、10年前の楽観が現在としてはどう解釈されるかは最後に紹介します。

第2-1-7図 企業が直面した6重苦の状況

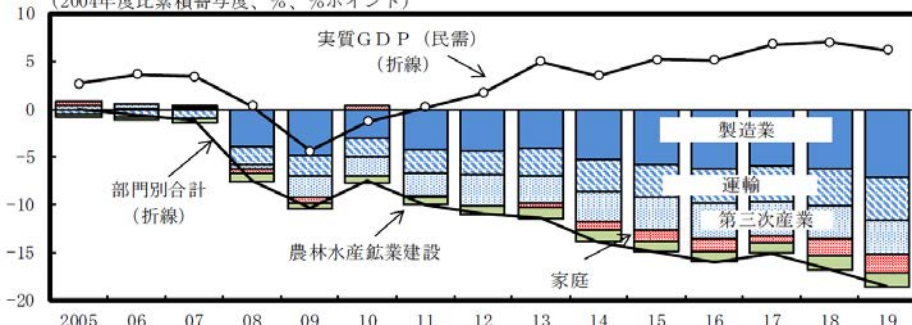
	6重苦下	現状	評価
(1) 円高	名目実効為替レート 110.36 (2011年12月末時点)	円高は解消 85.03 (2021年6月末時点)	— 為替変動に対し 以前よりレジリエントに
(2) EPAの遅れ	ASEAN及びインドほか3か国と 経済連携協定発効 輸出入の2割弱 (2011年12月末時点)	TPP11、日EU・EPA、日米貿易協定、日英・EPAなど 24か国と発効および署名 輸出入の約5割 (2021年1月末時点、発行済のみ)	○
(3) 法人税高	37.00% (法人実効税率：2012年度)	29.74% (同左：2018年度以降)	○
(4) 労働市場の硬直性	正規雇用者数：3,355万人 非正規雇用者数：1,812万人	正規雇用者数：3,529万人 非正規雇用者数：2,165万人	△
(5) 環境規制	2020年までに温室効果ガス32%削減 (2009年時点) 鳩山政権時の 90年比▲25% (2013年度比換算)	2030年度までに温室効果ガス26%削減 (2015年時点) →46%削減 (2021年時点) (2013年度比)	— 新たな成長の源泉に
(6) 電力不足・コスト高	13.7円/kWh (産業向け：2010年度時点)	17.0円/kWh (同左：2019年度時点〈10年度比+24%〉)	△
新たな 課題 デジタル化の遅れ	日本再興戦略（骨太の方針2013）にて 「世界最高水準のIT社会の実現」標榜	感染拡大下で、IT化の遅れがより鮮明に	×

上記(5)では「新たな成長の源泉」へと、政府の「評価」は「意思」へとすり替わり・・・
⇒従来までも、軽微な環境規制は経済成長の気付け薬ともなりうるが、過ぎれば毒とみられていた（ゆえの六重苦）。どのような条件のもとで、「経済と環境の両立」さらには「好循環」は実現しうるか？過去の日本経済の経験から何を学ぶことができるだろうか？

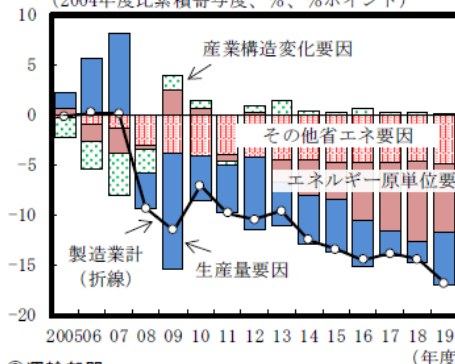
「企業は経済成長と同時に省エネによるエネルギー消費抑制を実現」

－『令和3年度 年次経済財政報告』（経済財政白書：2021年9月24日）

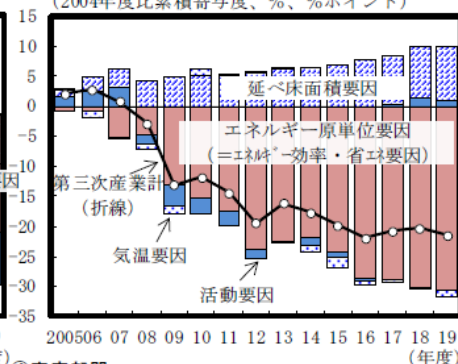
(1) 産業別にみたエネルギー消費量の変化
(2004年度比累積寄与度、%、%ポイント)



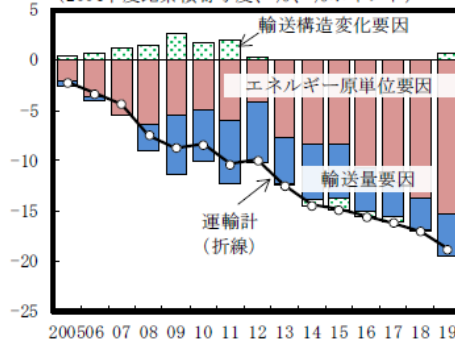
①製造業部門
(2004年度比累積寄与度、%、%ポイント)



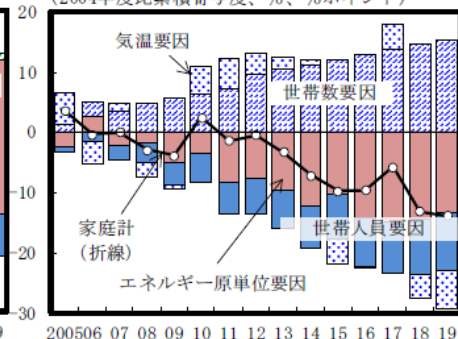
②第三次産業部門
(2004年度比累積寄与度、%、%ポイント)



③運輸部門
(2004年度比累積寄与度、%、%ポイント)



④家庭部門
(2004年度比累積寄与度、%、%ポイント)



「産業別のエネルギー消費量（2004年度を基準とした累積寄与）をみると、2010年度までは、実質GDP（民間）の動きとおおむね連動していたが、東日本大震災（2011年度）以降は、実質GDPが増加基調に復する下でも、エネルギー消費量は減少傾向を辿ってきた。・・・特に「製造業」「運輸」「第三次産業」といった企業部門の寄与が大きい。」

「「製造業」「第三次産業」「運輸」に加えて、「家庭」のエネルギー消費増減について、資源エネルギー庁による要因分解の結果をみると、いずれの部門においてもエネルギーの生産効率を示す「エネルギー原単位」が減少に寄与しており、エネルギー効率向上・省エネへの取組が実を結んでいることが示唆される。特に、第三次産業部門では延べ床面積が、家庭部門では世帯数が、すう勢的に増加する中であっても、エネルギー効率向上・省エネによりエネルギー消費量を着実に減少させている」

「取組が実を結んでいる」??

⇒強固だったカッシューム・ブルックス仮説（エネルギー生産性は高まってもエネルギー消費は拡大）は適合しないものとなったのか？部門別のアウトプット指標は適切か？エネルギー投入と原材料・部品の代替（海外へのリーケージ）は？そして、電力価格上昇と規制強化により、日本経済は何を失ってきたのか？

内容

(序) [5分]

(1) エネルギー分析用の生産性勘定 [5分]

エネルギー分析のためにはどのようなデータを構築すべきか？－本報告での基盤となるデータ

(2) エネルギー生産性改善とその要因 [10分]

近年のエネルギー生産性の改善は、省エネ機器の普及や行動変容によると言えるだろうか？

(3) 経済のエネルギー価格上昇への耐性 [10分]

日本経済はさらなるエネルギー価格上昇への耐性を持つだろうか？

(4) エネルギー生産性と全体効率 [15分]

エネルギー生産性の改善という一面に限った効率性の探求は、全体効率の改善とも両立しているのか？

(5) 結び [2分]

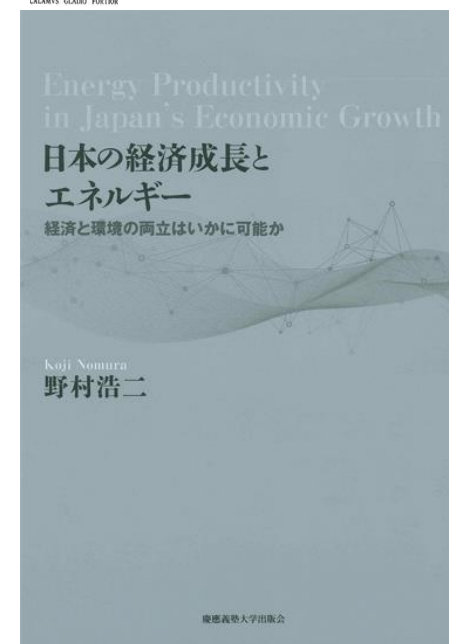
(6) 参考資料

時間的に短いので、詳細は以下の書籍を覗いて下されば幸いです。産研選書として補助金を頂き（ゆえに印税ゼロ）、公益のための議論喚起を目的としています。

※書籍では2016年（日米比較では2015年）までの測定ですが、**今回はJSNA2015年基準改定とともに2019年まで測定値が更新**されています。基準改定では資本のカバレッジなども変わり、1955年から新しい基準ですべて遡及推計されていますので、**過去の系列も改訂**されています。

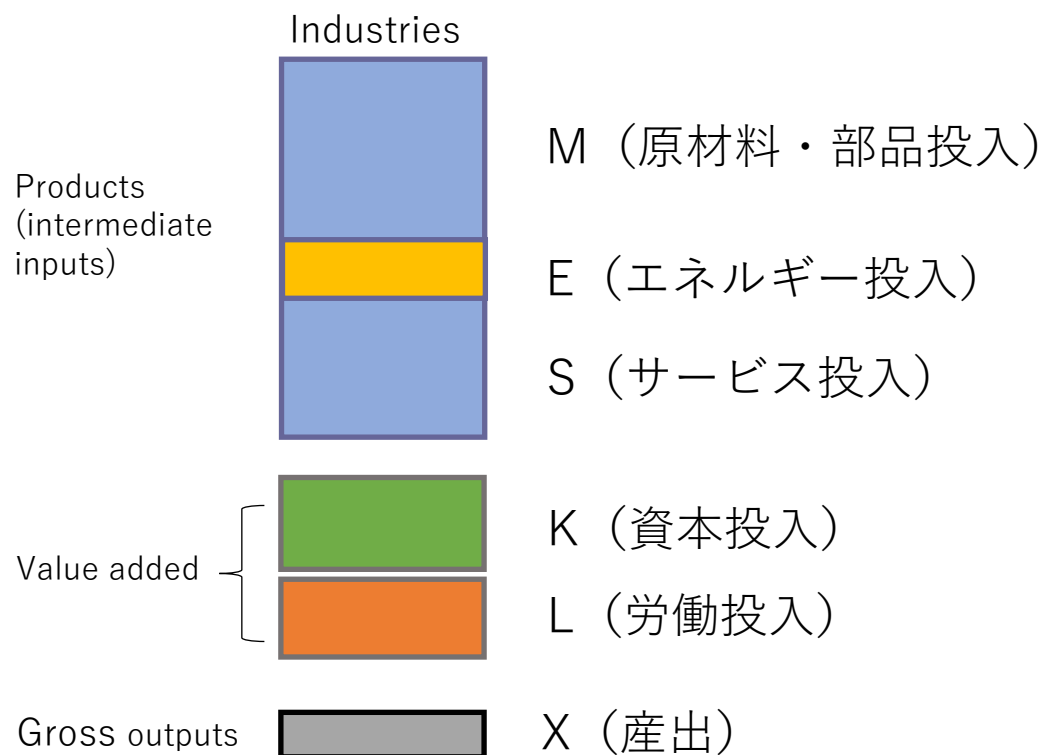


慶應義塾大学
産業研究所選書



※主要図表は参照可能なように慶應出版会の以下のページよりダウンロードできます。
<https://www.keio-up.co.jp/np/isbn/9784766427530/>

(1) エネルギー分析用の生産性勘定



ほとんどのエネルギー分析は、エネルギー消費量 (E) と産出 (X) (あるいは個別の活動指数) のみを考慮しているが、①他の投入量 (KLMS) との関係性として、②相対価格変化のもとで捉えるためには、産業別生産性勘定 (KLEMSデータ) の利用が有益。そのためには既存KLEMSデータをエネルギー分析用に拡張する必要がある。

KEOデータベース構築の歴史

一分析課題に伴うフレームワーク拡張

エネルギーに関する部分のみ解説します。

家計の耐久消費財および自己所有住宅の資本サービスの自家生産（自家消費）を考慮すれば、エネルギー消費はその稼働のための中間消費として考えられ、一国のエネルギー消費は部門別にすべて分解される。（←従来は、産業・家計別に検討）

1980s

- KEOモデル構築のための産業別データ構築: 辻村・黒田(1974), 黒田(1984)

1990s

- 詳細なインフラを含む公的固定資本ストック統計の構築: 野村(1994)

2000

- 資産から生産物へ: 固定資本マトリックスの時系列構築: 野村(1994)
- 3R評価に向け屑・副産物の投入&発生表の時系列推計: 野村(1995)
- JSNAとの整合性確保への大規模改訂: 黒田・新保・野村・小林 (1997)
- エネルギー消費とCO2排出: エネルギー分析用KEOモデル(DBJ-RCGW), Kuroda-Shimpo (1993), Kuroda and Nomura (2001)

mid 2000s

- 資本サービス推計フレームワークおよびデータの抜本改定: 野村(2004)
- 時系列自社開発ソフトウェアの推計: Nomura (2004)
- ICT生産者の生産性評価: Jorgenson and Nomura (2005), Hayashi and Nomura (2005)
- 政府や耐久消費財のサービス生産を含むJorgensonian勘定構築: Jorgenson and Nomura (2005)
- 詳細な日米“水準”比較のためのProduct-PPP体系（1990年ベンチマーク年）の構築: Jorgenson and Nomura (2007)

2010

- 国勢調査などオーダーメイド集計利用による労働データ(KDBL)推計法の改訂: 野村・白根(2014)
- 日米産業別生産性 (R&D資本化・2005年基準Product-PPP体系): Jorgenson, Nomura, and Samuels (2015, 2018)

mid 2010s

- エネルギー生産性評価のためエネバラとの接合とSUT拡張: 野村(2018, 2019a, 2019b)

2021

- 商業マージン価格指数の長期推計と生産性成長率見直し: 野村(2019)
- 教育部門における生産額の長期時系列推計値見直し: 野村 (2020a, 2020b, 2020c)
- 【現状】2015年基準JSNAへの対応・更新（測定期間：1955-2019年）

KEOデータベースの構造

一産出と資本・労働投入 (2022年3月時点)

• 生産物の産出・投入測定: 1955–2019年

ここでのエネルギー投入の詳細は次スライド⇒

- 時系列SUT (屑・副産物の発生・投入表を含む)
- **47産業分類** (46産業分類 + 第47部門に家計サービス生産者)
- **130生産物分類** (47商品 + 4非競争輸入財を含む + 屑・副産物の発生・投入 + 詳細なエネルギー投入); 加えて、**産業別サービス投入構成**の細分化による産業別価格指数。
- **基本価格**による勘定評価。
- **Jorgenson勘定**: 公的資本および家計の耐久消費財のユーザーコストを加えた拡張SUT。
- **Diewert勘定**: 市場生産物のみを描いた**市場SUT**。

• 資本測定: 1955–2019年

- **46産業別158資産分類**: 28建設物, 63機械設備, 兵器システム, 2育成資産, 2所有権移転費用, 54知的財産生産物(鉱物探査, 3ソフトウェア, 4企業内R&D, 2市場R&D, 4娯楽文学芸術作品), 4在庫, 4土地。
- **家計部門19資産分類**: 18耐久消費財, 1住宅用地。
- **資本ユーザーコスト**: 日本経済の詳細な税体系の描写: 各種取得税, 固定資産税, 法人税・事業税, 準備金・引当金, 特別償却制度, 法定償却率と実行償却率の乖離, 負債-資産比率, 利子率, 配当比率, キャピタルゲイン税率, 配当税率などの考慮 (野村 2004) 。

• 労働測定: 1955–2019年

- 就業者数(N), 一人あたり労働時間(h), 賃金率(w); $\sum Lhw$ としてJSNAとの整合性保持
- **クロス分類**: 性(2), 学歴(4), 年齢(11), 就業形態(5), 産業(46) ⇒ 全体で20,240 タイプの就業者。
- 雇用者: 一般労働者, 短時間労働者, 臨時労働者。(就業者数のクロス分類表としては1980年から2015年の国勢調査オーダーメイド集計表によりベンチマーキング) 。

エネルギー分析用のSUT拡張 —金額・物量・熱量

経済統計（SUTや価格統計）とエネルギー統計
（エネルギーバランス表）との接合により構築。

エネルギー種の細分化、金額表と熱量表の分離までは、1990年代より構築される「環境分析用産業連関表」と同じだが・・・

- ① KLEMS統計では毎年の時系列データを構築。
- ② エネルギー転換部門への投入と、最終消費（産業の中間投入＋家計消費）を分離。⇒前者はM投入、後者のみがE投入。
- ③ （原則として）物量（エネルギー・バランス表）と価格指数から、名目金額を算定（←時系列SUTの名目エネルギーコストの測定精度は低い）⇒エネルギー生産性としての時系列測定の改善。
- ④ 熱量あたりのエネルギー種別単価差より、エネルギー品質としての相違（とくに電化）を反映した品質調整済みE投入量を推計。

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 . . .	$P_{ij}E^T_{ij}$	0				$P_{if}E^T_{if}$	$P_iE^T_i$	
	[転換部門] . . .								
	消費 (T)								
	34.自家蒸気(発生)	0			0				
	35.水力								
	36.原子力								
37.その他再エネ									
最終消費 (C)	1.原油 . . .	$P_{ij}E^C_{ij}$					$P_{if}E^C_{if}$	$P_iE^C_i$	
	. . .								
	. . .								
	27.自家蒸気(投入)								

D. 熱量表（一次エネルギー換算） （単位：10 ¹⁰ 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 . . .	$\varepsilon_i c_i E_{ij}^T$	0			$\varepsilon_i c_i E_{iM}^T$	0	$\varepsilon_i c_i E_i^T$
	(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								
	1.原油 . . .	$\varepsilon_i c_i E_{ij}^C$	$\varepsilon_i c_i E_{if}^C$			$\varepsilon_i c_i E_{if}^C$		$\varepsilon_i c_i E_i^C$
	最終消費 (C)							
	. . .							
	27.自家蒸気(投入)							

3つのエネルギー投入量とエネルギー品質指数

①一次エネルギー消費量 (primary energy consumption)

$$E_p = \sum_i E_{p,i}$$

②最終エネルギー消費量 (final energy consumption)

$$E_f = \sum_i E_{f,i}$$

③品質調整済みエネルギー投入量 (quality-adjusted energy input)

$$\Delta \ln E = \sum_i \bar{v}_i \Delta \ln E_{f,i}$$

← $\bar{v}_i$ はエネ種別
名目コストシェア
の二期間平均値

一般に観察されるエネルギー生産性では、 E_p をエネルギー投入としている。それはエネルギー転換や高度化（エネルギー品質変化）による影響を含むグロスの指標。

本報告ではグロスのエネルギー生産性から、①エネルギー品質の変化、および②産業構造変化を統御して、真のエネルギー生産性へと接近しようとする試み。

A.エネルギー転換指数 (energy conversion index)

$$q_c = E_f / E_p$$

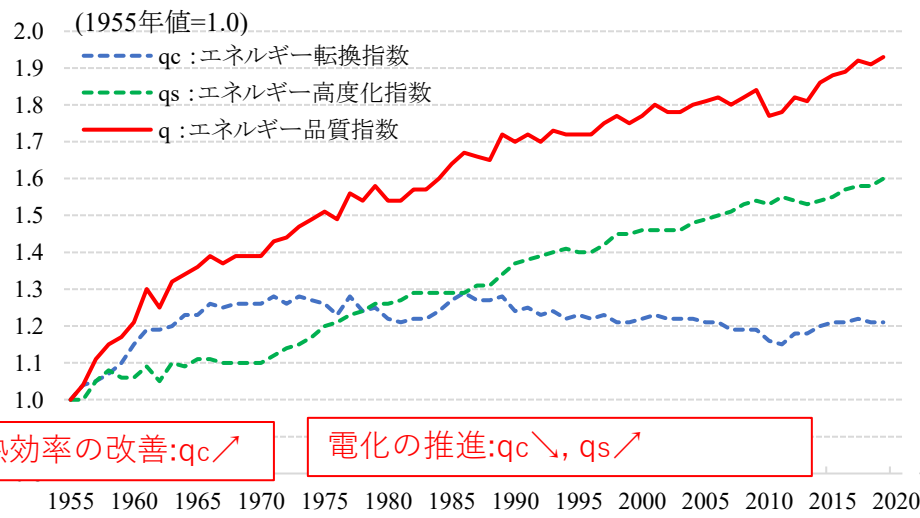
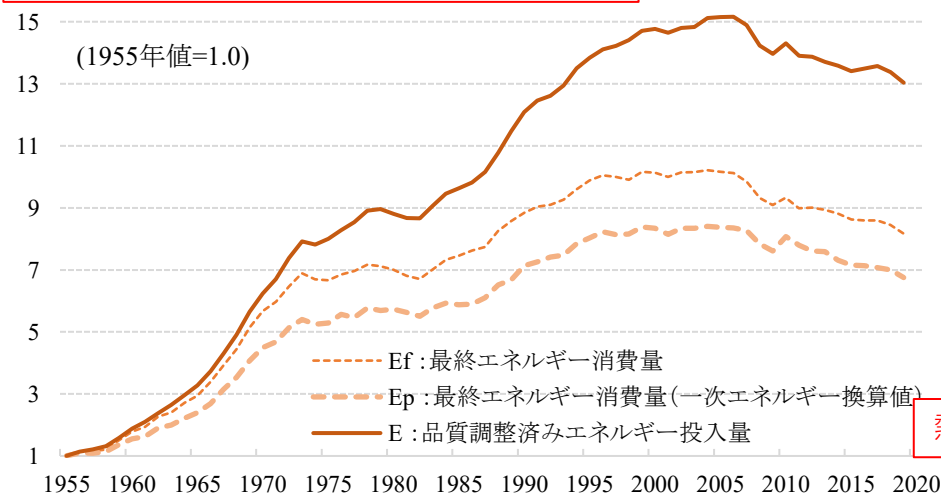
B.エネルギー高度化指数 (energy sophistication index)

$$q_s = E / E_f$$

エネルギー
品質指数
(energy
quality
index)

$$q = q_c q_s = E / E_p$$

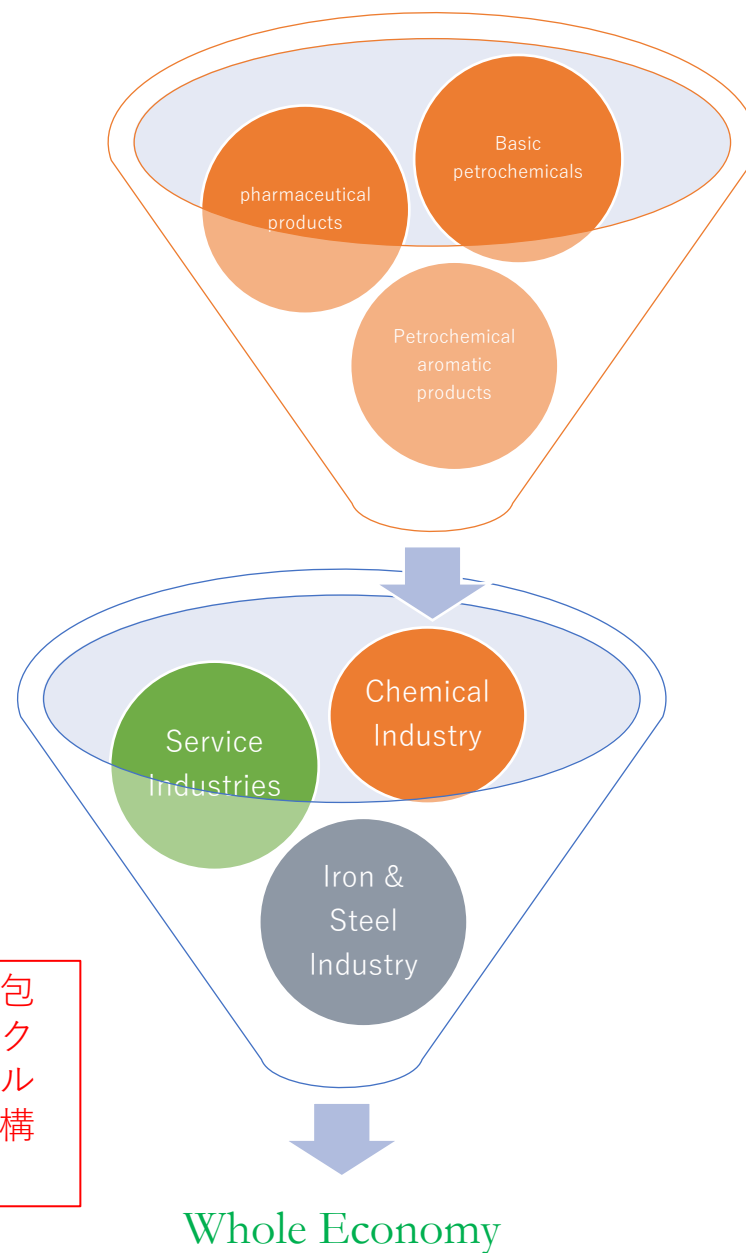
日本経済成長の経験から見ると・・・⇒



熱効率の改善: $q_c \nearrow$

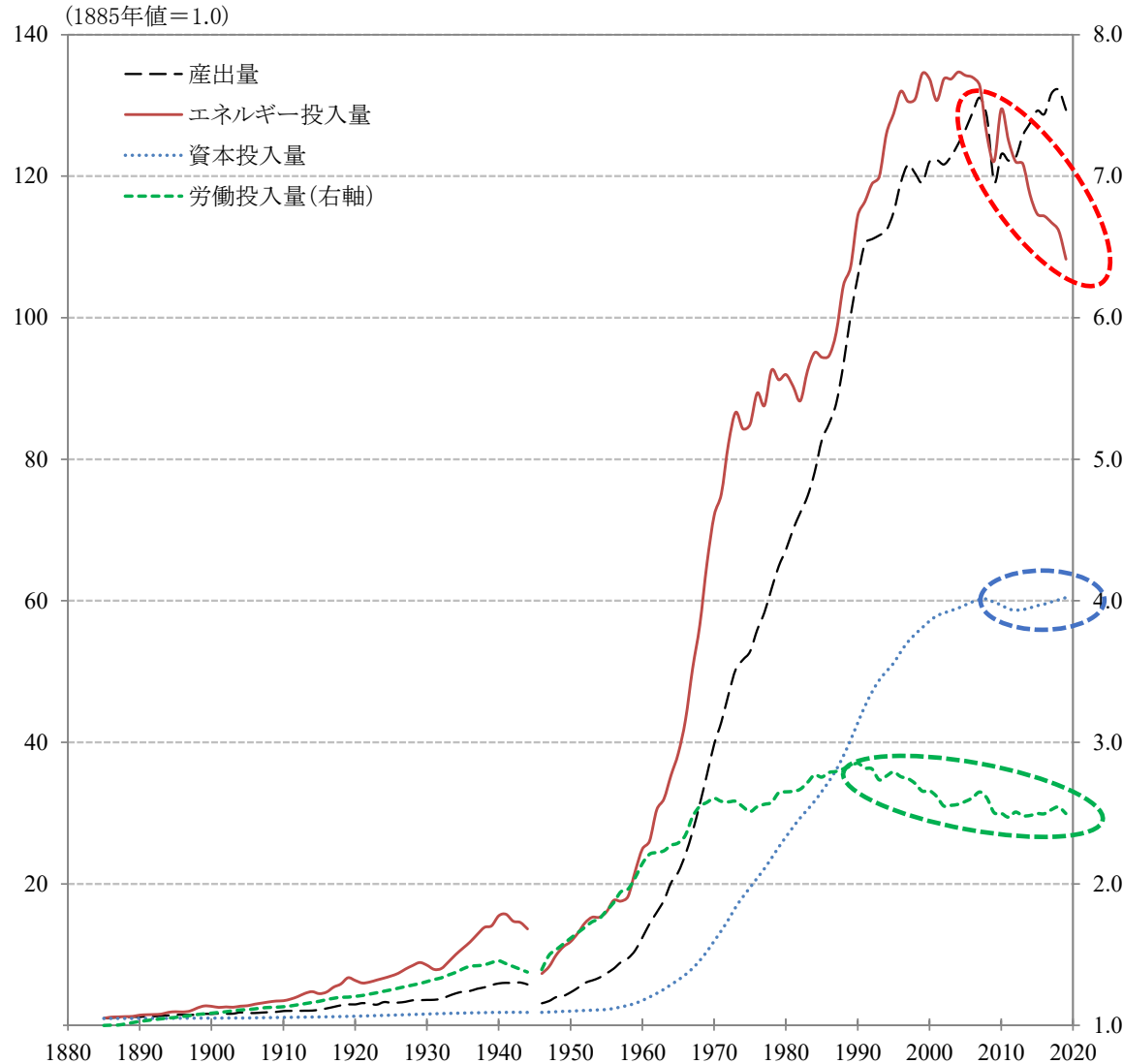
電化の推進: $q_c \searrow, q_s \nearrow$

(2) エネルギー生産性改善とその要因



複雑な現象の解明に向けた包括的な理解のためには、マクロと産業レベル、製品レベルを整合的につなぐデータの構築が要請される。

産出量、エネルギー、資本、労働の投入量 1885-2019年

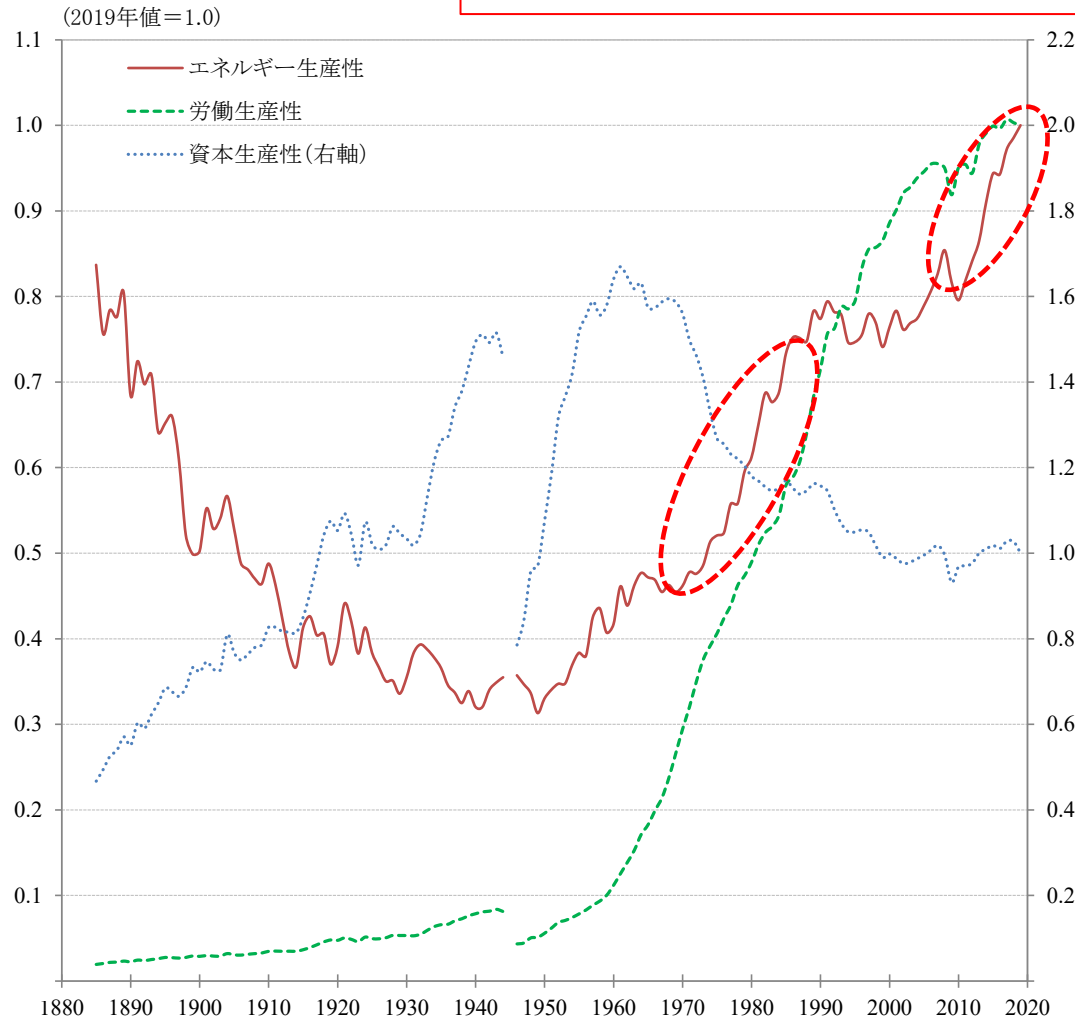


- 20世紀の日本の経済成長には、生産拡張と同じほどの**一次エネルギー消費**を必要としてきた。
- 労働投入量** (hours worked) は1991年より減少。
- 資本投入量** もリーマンショック後停滞。
- リーマンショック（世界金融危機）および東日本大震災の後、エネルギー消費は大きく低下。10年もの継続的なエネルギー消費量の減少は戦後初めて。**⇒これはどう説明されるか？**

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）：総労働時間（hours worked）合計。出典：野村浩二（2021）『日本の経済成長とエネルギー』（慶應義塾大学出版会）の更新値。利用データ：『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。

エネルギー生産性、労働生産性、資本生産性 1885–2019年

同様な変化を、エネルギー生産性（Output/Energy）として見れば・・・



- a. 日本経済における**労働生産性**は一貫して改善。
- b. **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。
- c. 対照的に、**エネルギー生産性**は、第二次世界大戦をはさみ、**U字型**。
- 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. 2008–19年では改善は半分（1.4%）ほど。それでも高い。
⇒それは持続可能か？

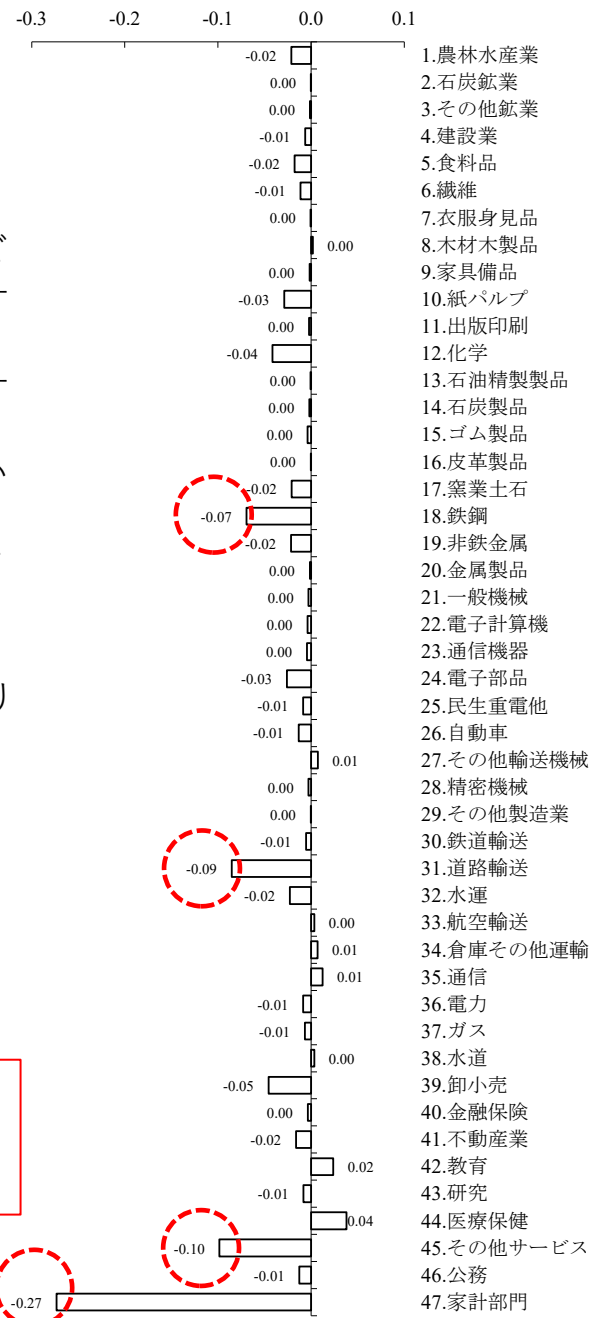
本報告では、エネルギー生産性の改善を**EPI**（energy productivity improvement）と呼びます。

単位：各生産性指標の2019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）：総労働時間（hours worked）合計。出典：野村浩二（2021）『日本の経済成長とエネルギー』（慶應義塾大学出版会）の更新値。利用データ：『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。

品質調整済みEPI の産業起因 (2008-19年)

- a. 左図：エネルギー消費減少は、他サービス業や鉄鋼業、また家計サービス（家計の自家輸送を含む）で顕著。
- b. 右図：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）黄金期に接近。⇒問題はEPIの部門別貢献度（エネ庁の分析では分解されない）。
- c. EPIは、むしろ**12.化学製品製造業のみで一国全体のEPIの5割ほど**を説明。（残りは家計やサービスなど）

エネルギー消費量変化 (-0.8%)への
産業別寄与度



エネルギー生産性変化 (0.5%)への
産業別寄与度



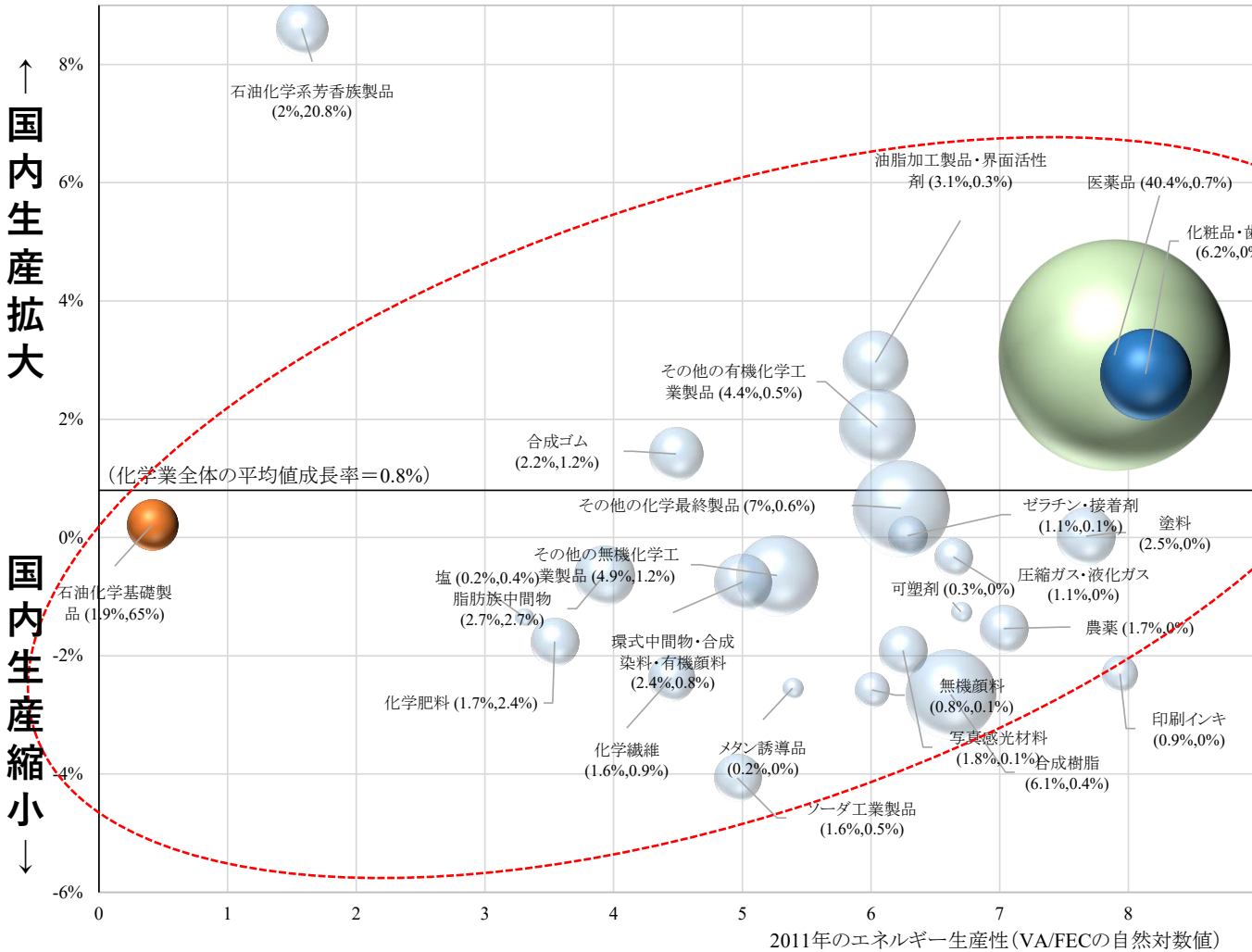
一国全体の
エネルギー
生産性の変
化を、産業
(含家計)
別寄与へと
完全に分解
すると、貢
献は偏って
いる。

化学製品製造業など、まだ省エネ余地があるのか？その要因とは産業レベルの分析ではわからない⇒

化学業の製品構成変化 (2008-19年)

国内生産変化率(第IV期:2008-19年の年平均成長率)

化学業において、製品構成の変化へとブレークダウンすれば、エネ多消費的な製品は国内生産縮小、エネルギー寡消費的な製品（医薬品を含む）は拡大へ。



- 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。
- 付加価値額（バブル）の大きな医薬品（40.4%）では、エネ消費シェアはわずか0.7%。
- 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。
- 化学業におけるEPI年率5.0%のうちの3.3ポイントは化学製品の構成変化によって説明される。

⇐ エネ多消費的

エネ寡消費的 ⇒

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（2021）『日本の経済成長とエネルギー』（慶應義塾大学出版会）の更新値。利用データ：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。

グロスEPIの分解

1955年からの長期的なEPIの経験を総括すると・・・

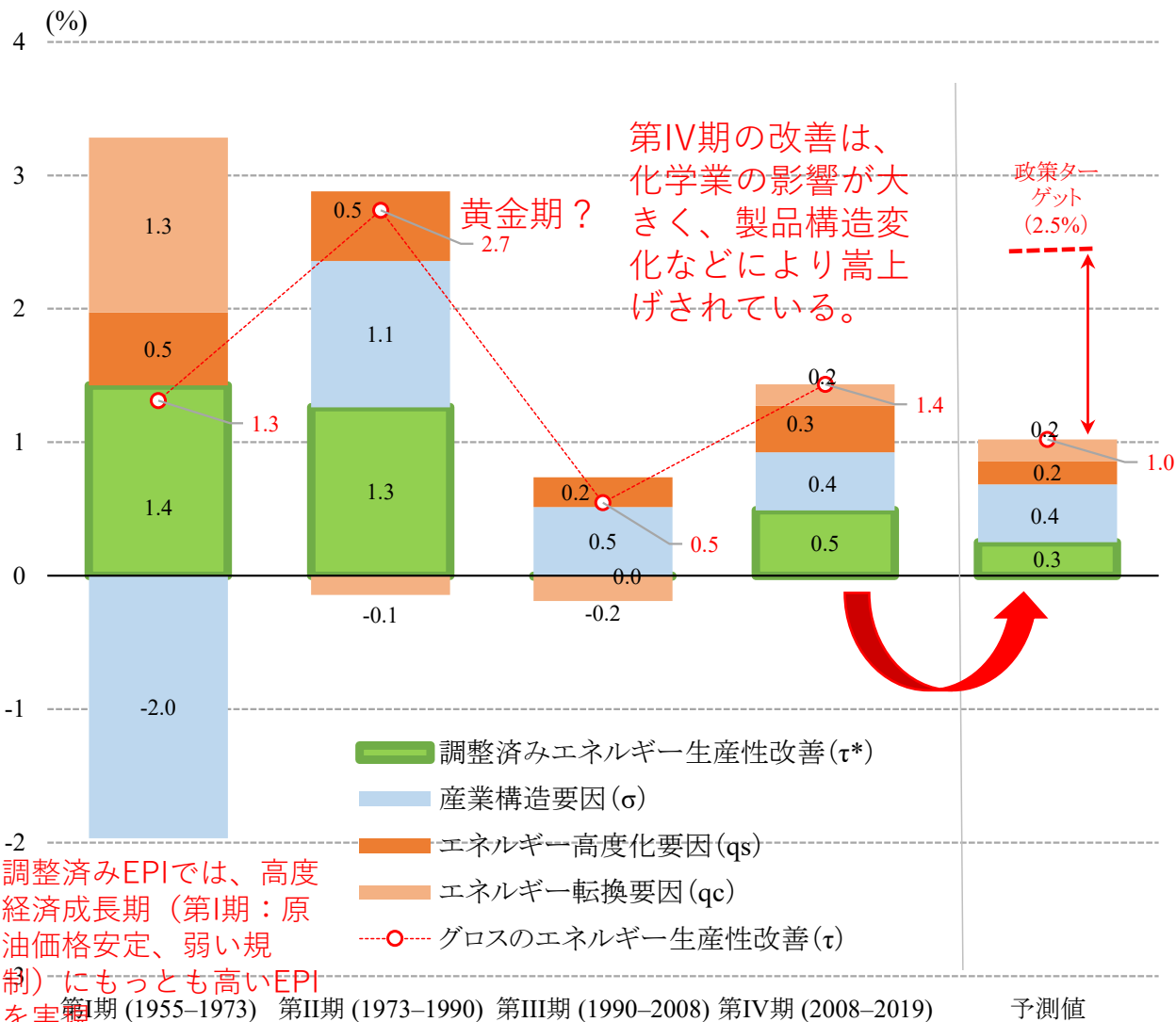
オイルショック後（第II期）に、EPIは産業構造変化分だけ過大評価。高度成長期（第I期）にはその逆。

第IV期（2008–19年）の調整済EPIから、製品構成変化や一次的な影響を除く試算では・・・

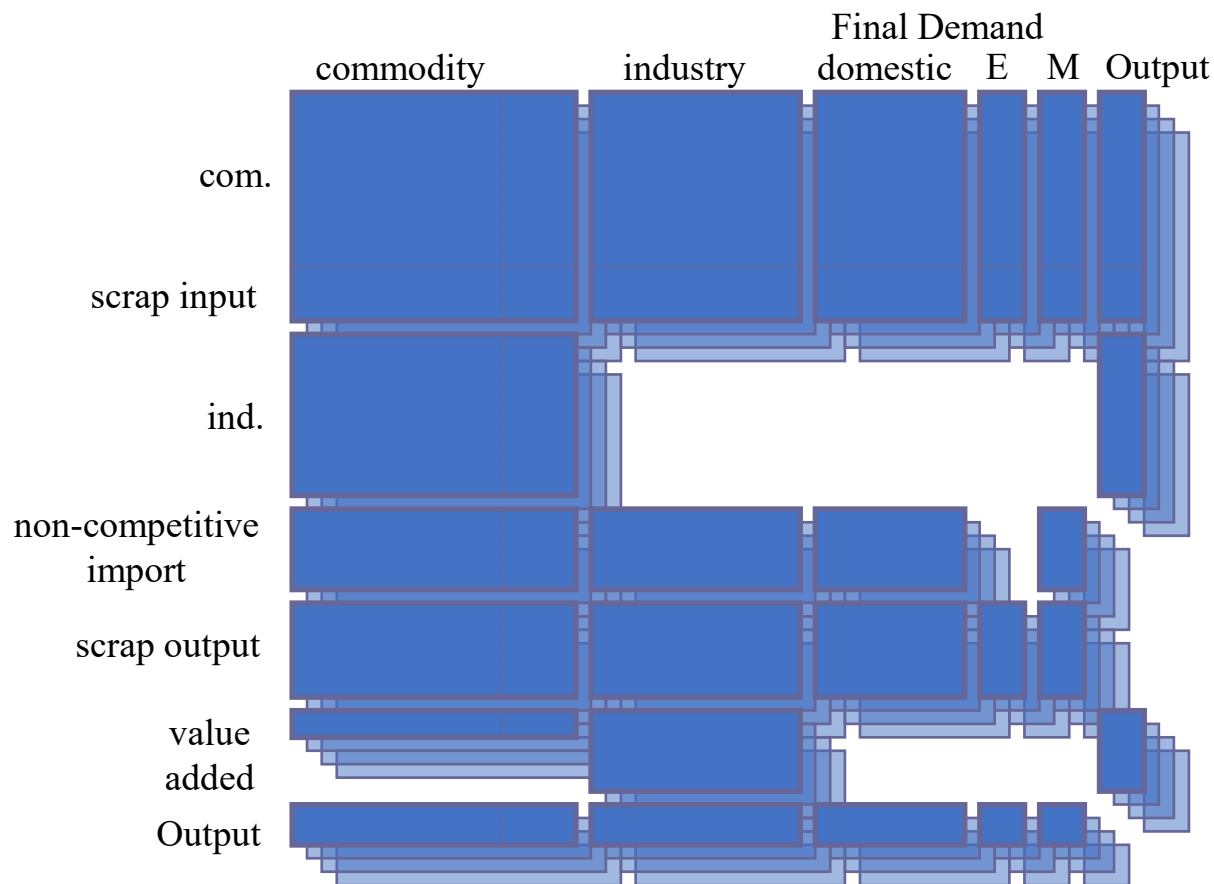
- EPIベースライン推計値は0.3%ほど。
- 今後も進行すると予想されるエネルギー構成変化、産業構造変化の標準的なスピードのもとでは、**グロスEPIベースライン推計値は年率1.0%ほど**。
- 2030年に向けた（2013年比）**▲46%目標（年率2.5%ほど）の半分にも満たない**。

⇒近年でも、製品構成変化を統御し、一過性の要因を除くと、**真のEPIはそれほど大きくはない**。
＝「省エネへの取組が実を結んでいる」とは言えない。

出典：野村浩二（2021）『日本の経済成長とエネルギー』（慶應義塾大学出版会）の更新値。



(3) 経済体系のエネルギー価格上昇への耐性



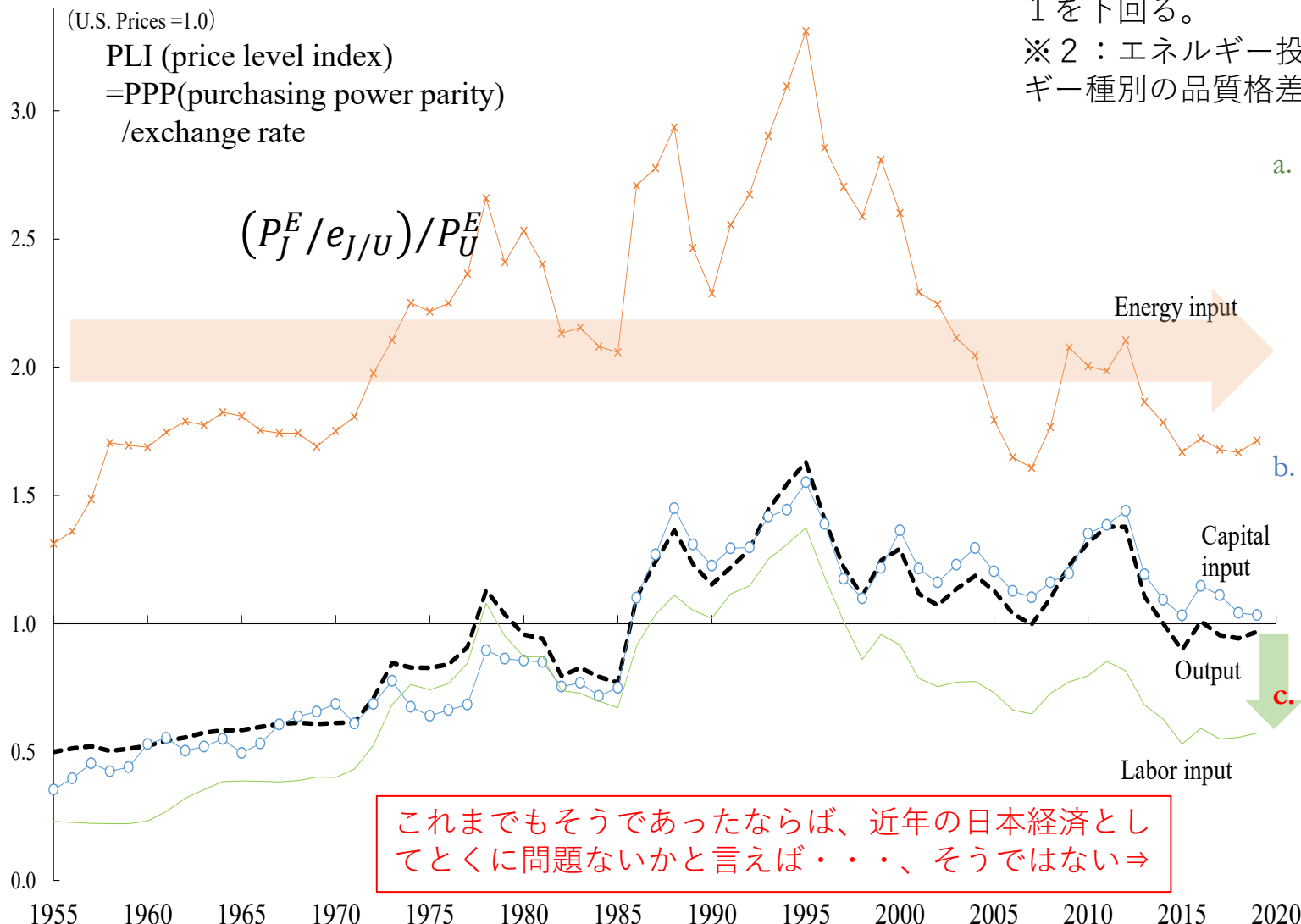
国内外におけるエネルギー投入価格の内外価格差はどのように変遷してきたのか？
日本の経済成長の、エネルギー価格上昇への耐性は、どのように変化してきたのか？

日米両国経済の直面する価格差

ー（１）エネルギー、資本・労働投入価格

※１：日本国内経済で直面する価格（ P_J^E ）が（米国の価格 P_U^E に比して）高価であれば、1を上回り、安価であれば1を下回る。

※２：エネルギー投入価格とは、エネルギー種別の品質格差を考慮した集計価格。



a. 労働価格は1990年代半ばの超円高期を除き、日本は安価のまま。近年は賃金格差拡大⇒（皮肉にも）価格競争力の回復へ。

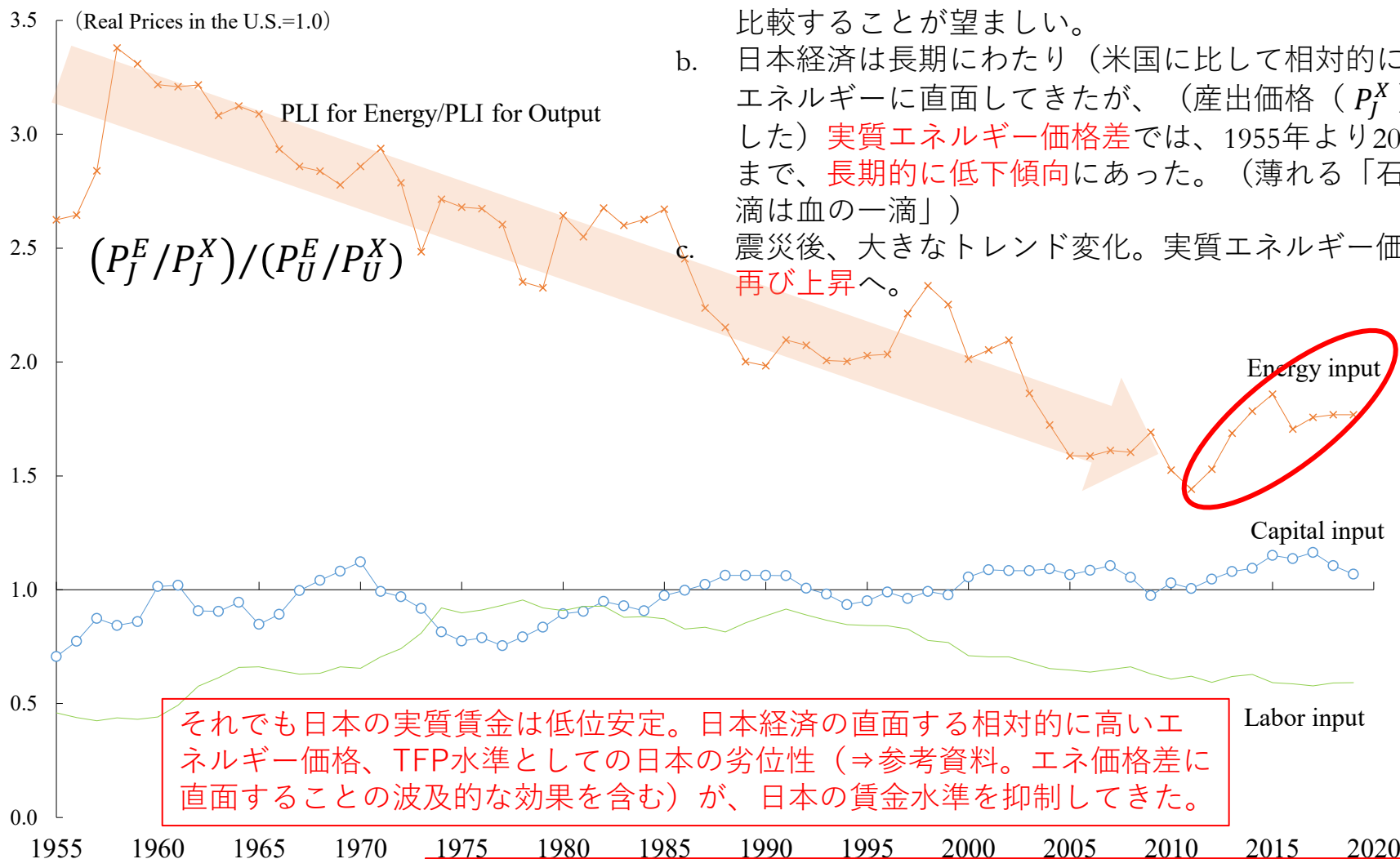
b. 資本投入価格（含む土地のサービス価格）はプラザ合意以降、日本は高い。

c. エネルギー価格は長期にわたり常に米国の1.5-3.0倍ほどの水準に直面。

日米両国経済の直面する価格差

－（２）エネルギー、資本・労働投入の実質価格

- 為替レートと国内生産価格の変化による影響を取り除いた、長期傾向を見るためには、**実質エネルギー価格差**で比較することが望ましい。
- 日本経済は長期にわたり（米国に比して相対的に）高いエネルギーに直面してきたが、（産出価格（ P_j^X ）で評価した）**実質エネルギー価格差**では、1955年より2010年ほどまで、**長期的に低下傾向**にあった。（薄れる「石油の一滴は血の一滴」）
- 震災後、大きなトレンド変化。実質エネルギー価格差は**再び上昇**へ。



それでも90年代ほどの水準に戻ったのみかと言えば・・・、そうではない⇒

実質単位エネルギーコスト

ー経済システム全体としてのエネルギー価格高騰への脆弱性評価

- ①一単位の生産量（実質付加価値： X ）あたりの最終エネルギー消費コストとして、**名目単位エネルギーコスト**（nominal unit energy cost：NUEC）

$$NUEC = V^E / X = P^E E / X$$

- ②名目単位エネルギーコスト（NUEC）を、集計産出価格（ P^X ）によって除した指標は**実質単位エネルギーコスト**（real unit energy cost：RUEC）

$$RUEC = NUEC / P^X$$

書き換えると、

$$RUEC = P^E E / P^X X = (P^E / P^X) / (X / E)$$

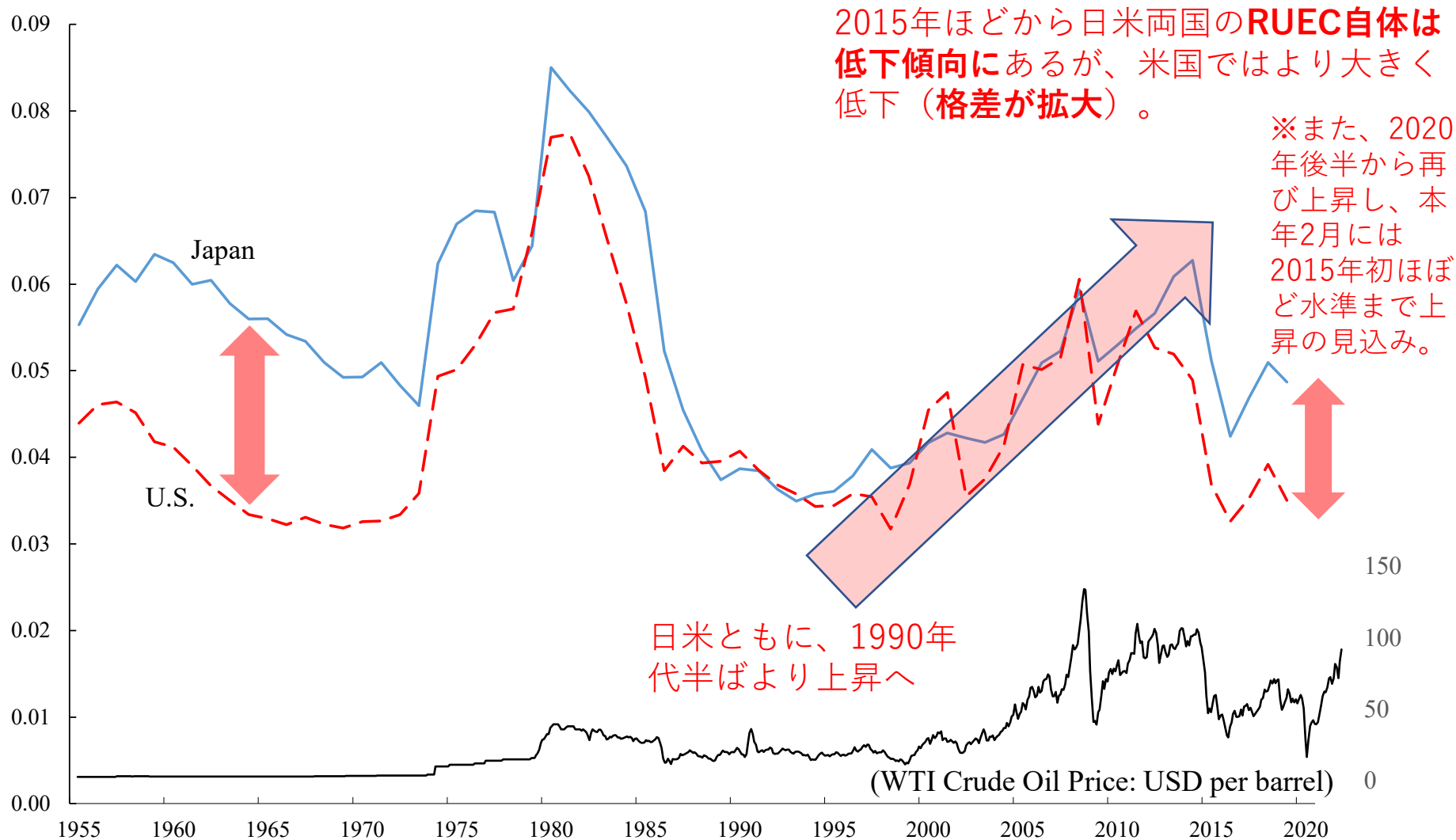
RUECは、実質エネルギー価格（ P^E / P^X ）とエネルギー生産性（ X / E ）に分離。

⇒ P^E / P^X が変化せずとも、 X / E の上昇（=EPI）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。

⇒ もし P^E / P^X が上昇すれば RUEC は増加し、耐性は脆弱化する。その一方、エネルギー価格の上昇によっては EPI が誘発され、その誘発された EPI の分だけ RUEC 増加は緩和される。

⇒ しかし、技術水準が一定のもとでは、こうした緩和効果は縮小していく（=エネルギー価格上昇は、より直接に RUEC を増加させる）。

日米両国ともにRUECは1990年代半ばより上昇へ

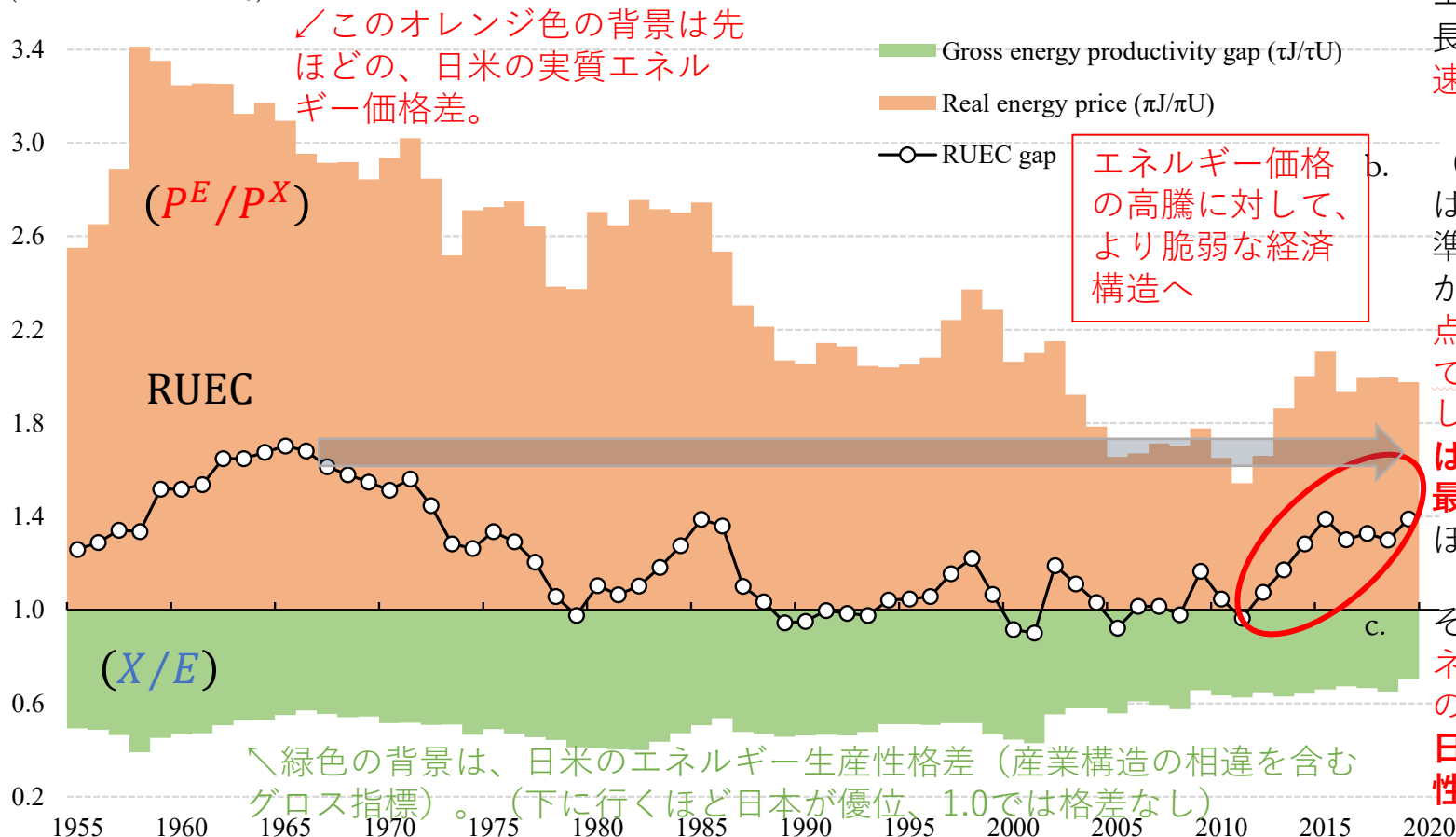


単位：各国の名目付加価値＝1.0。出典：野村浩二（2021）『日本の経済成長とエネルギー』（慶應出版）の更新値。
資料：日本はKEOデータベース（慶大産研野村浩二研究室）、米国はJorgenson研究室。

日米RUEC格差の源泉

$$\text{RUEC} = (P^E / P^X) / (X / E)$$

(RUEC in the U.S.=1.0)



- a. 1995年には60%ほどあったエネルギー生産性における日本の優位性は、2015年にはその半分にまで縮小。（近年、米国のエネルギー生産性成長率は日本の倍速。）

- b. （日本のRUEC水準は1990年代ほどの水準まで退行してきたが）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RUEC格差水準は高度成長期（戦後最大値）に匹敵するほど脆弱化。

- c. その源泉は、実質エネルギー価格としての価格差の拡大と、日米エネルギー生産性格差の縮小。

拡大してきたRUECの日米格差は何をもたらしたか？ ⇒

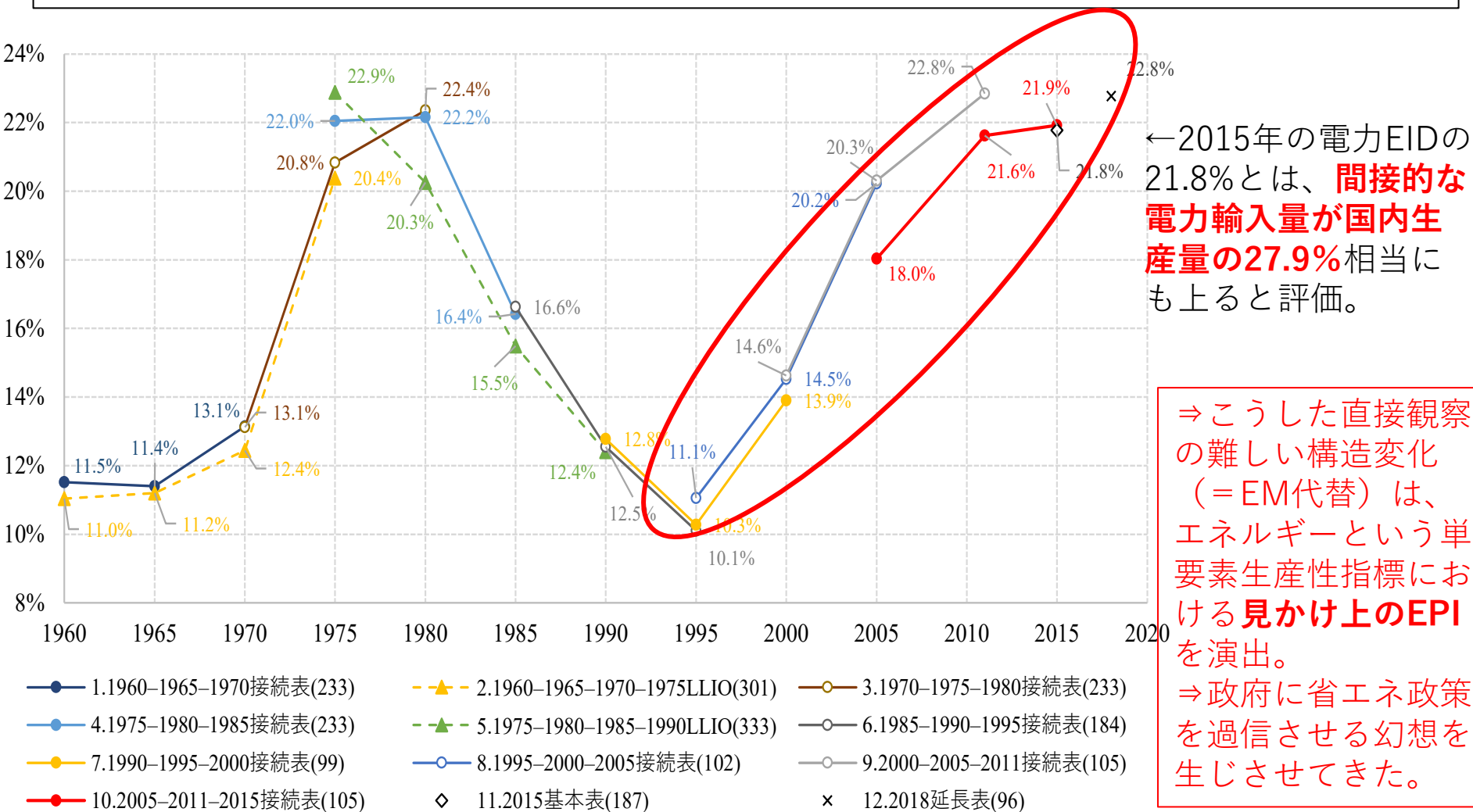
電力実効輸入依存度

製品レベルでの変化に着目すると・・・、拡大するRUECの日米格差は、エネルギー多消費製品の海外生産を拡大させている。

(Effective Import Dependency: EID):1960-2018年

電力サービスは（エネルギー多消費的な）財の輸入により、**間接的に輸入**できる。

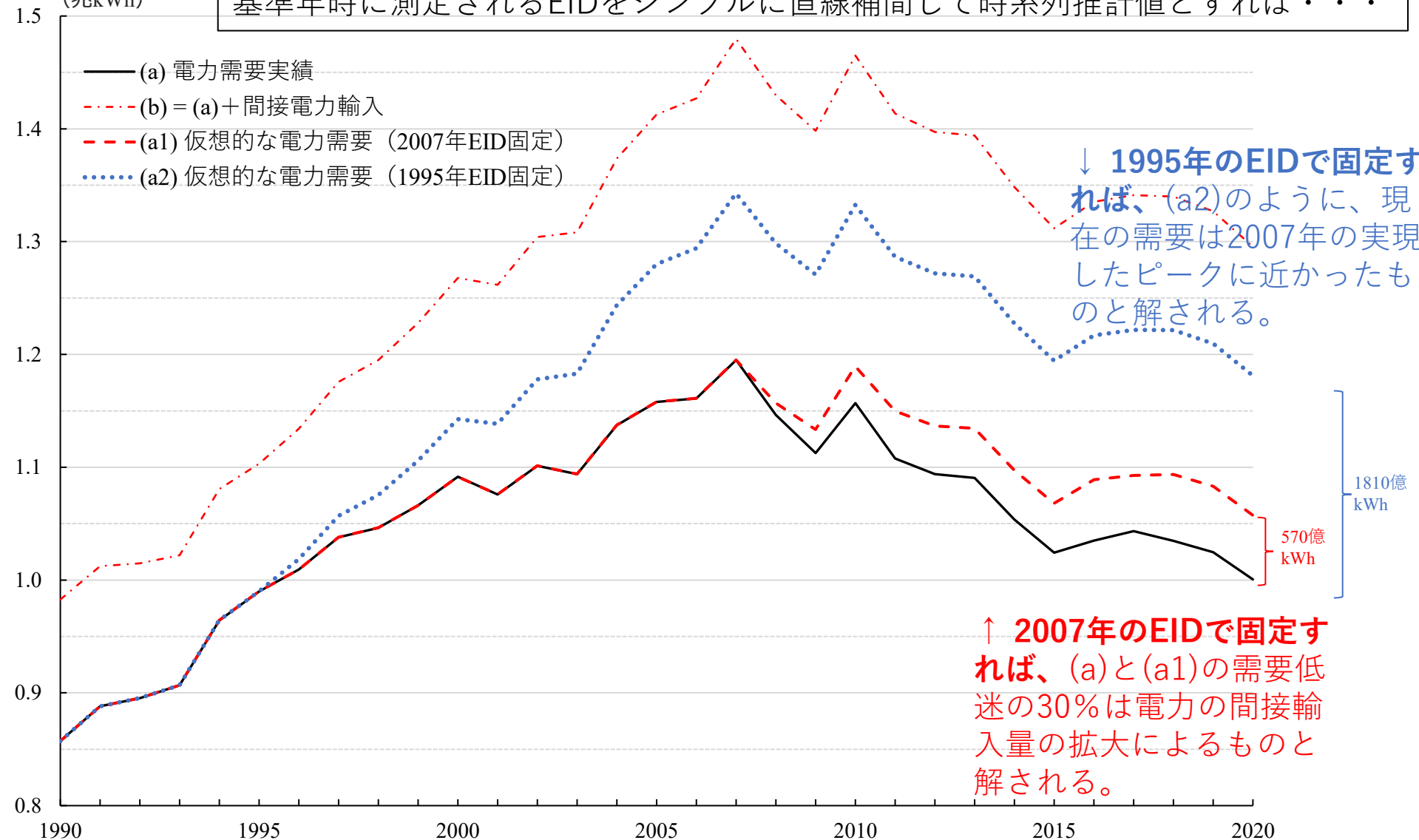
⇒日本経済の（財輸入を経由した）電力の間接輸入シェアは、1990年代後半から大きく増加。



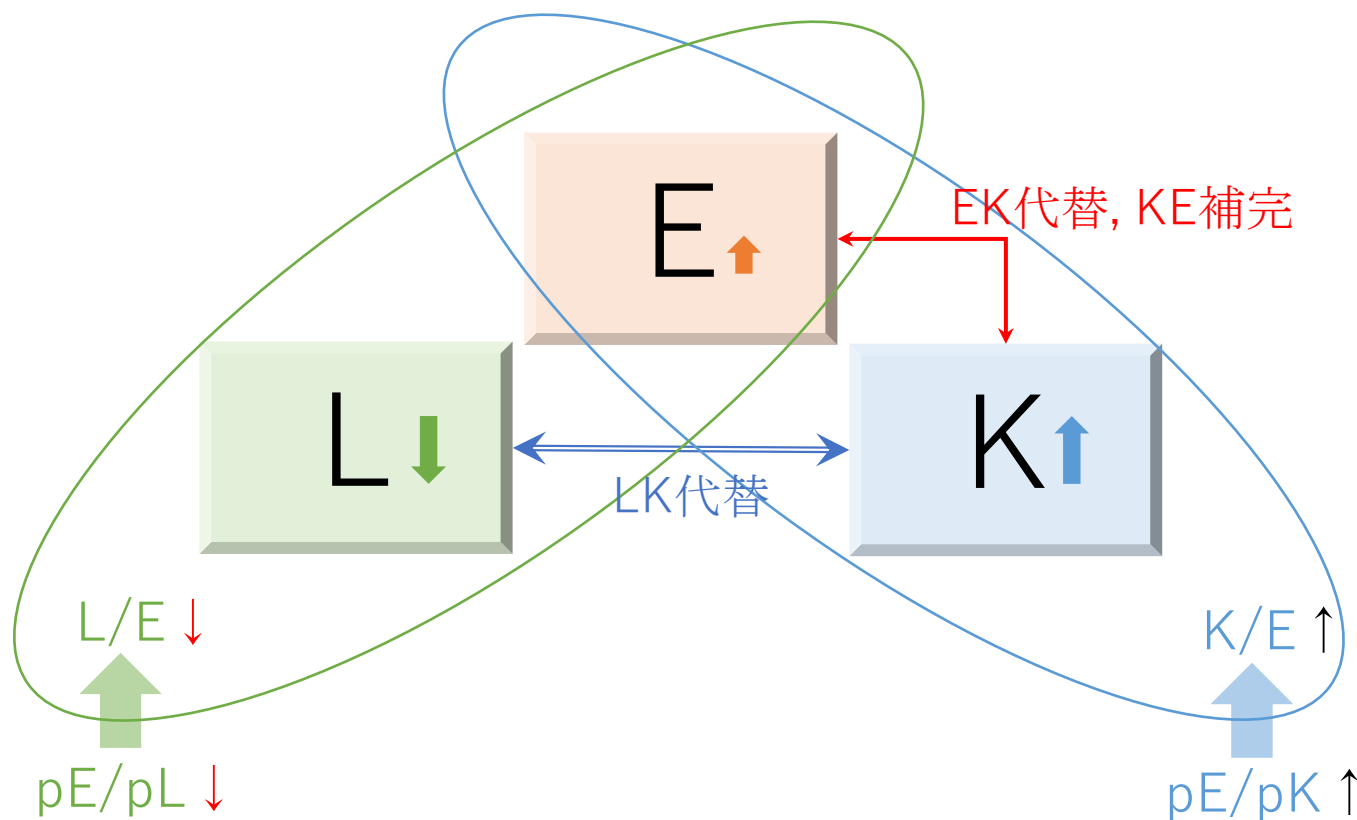
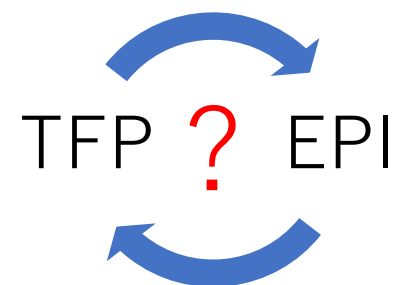
日本経済における電力需要の低迷と間接輸入拡大 ：1990-2020年の電力需要実績と仮想ケース

(兆kWh)

基準年時に測定されるEIDをシンプルに直線補間して時系列推計値とすれば・・・



(4) 経済と環境の好循環は可能か？

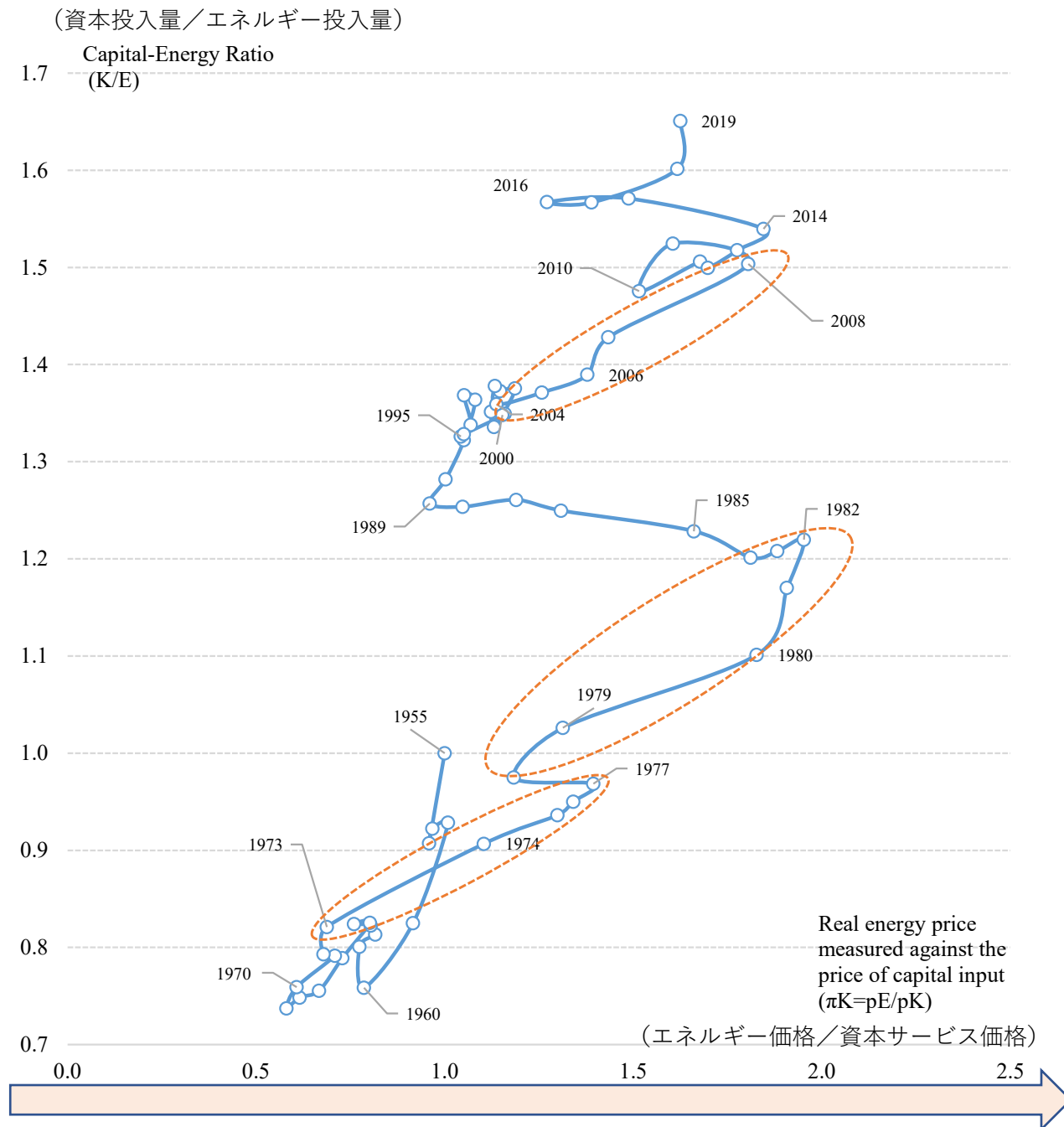


技術的裏付けなしにEPIを政策ターゲットして過度に推進すれば何を失うのか？その理解のためには、EPI (X/E) という一面ではなく、資本と労働という3つの投入要素 (KLE) とアウトプット (X) の関係性を捉える必要性。既存研究では、産業別のトランスログ価格関数の推計 (対称パラ固定) や、エネ多消費産業での $EPI \Leftrightarrow TFP$ のグレンジャー因果の検証など。ここでは時系列変化を直接的に観察し含意を導こうとしています。²⁵

マクロの傾向として・・・

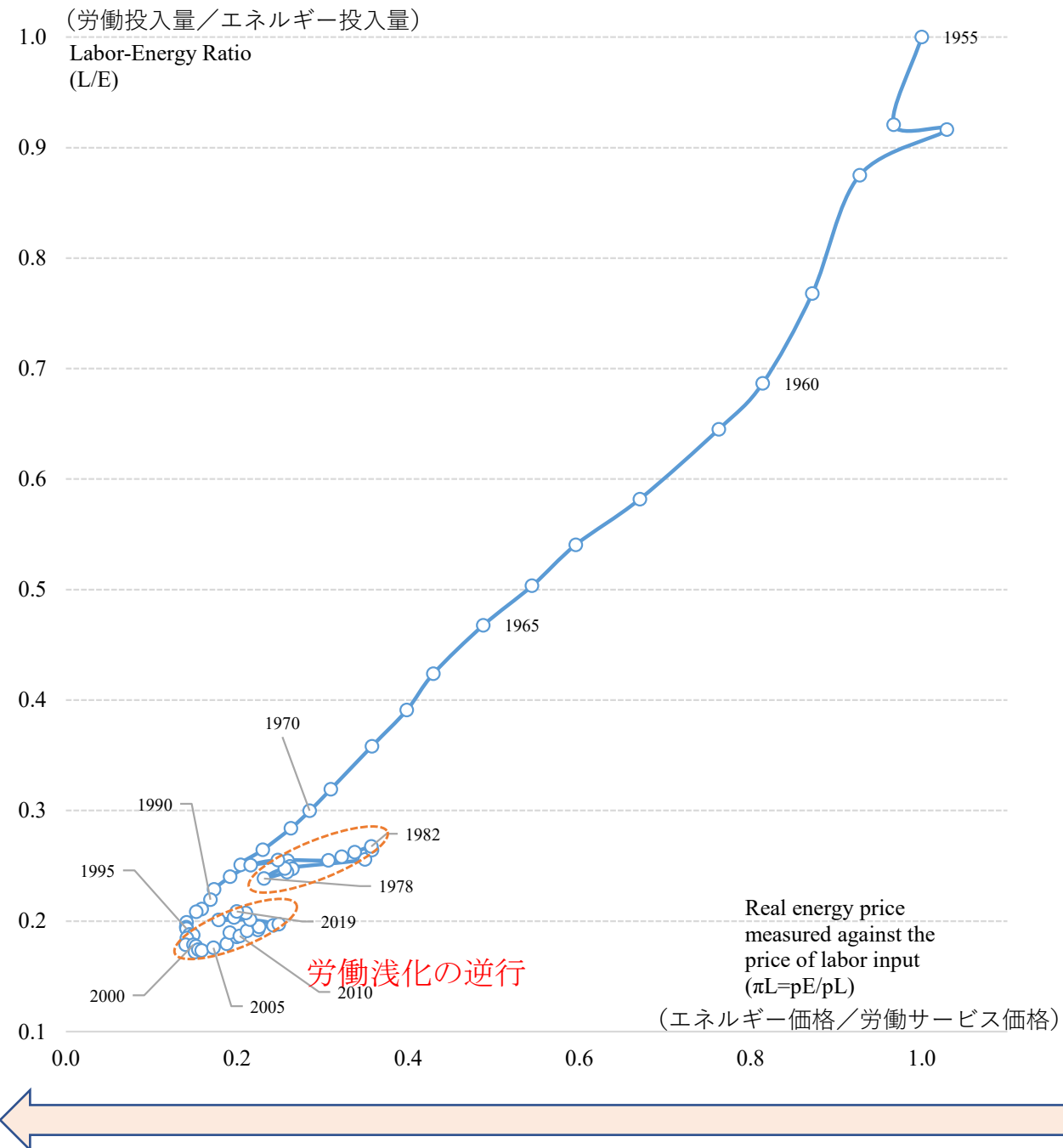
資本エネルギー 比率の上昇 (資本深化) (K_j/E_j の上昇)

- 一貫して、資本エネルギー比率が上昇。
- 一単位の資本がより少ないエネルギー投入を必要とするような技術変化
- pE/pK としての価格上昇として、大きく三つの期間に資本深化が進行。
- pE/pK が低下する時期でも、ストック効果（省エネ技術の普及効果）＞フロー効果（エネルギー使用的に）となり、（逆戻りしない）歯止め効果。
- 持続的な資本深化が、EPIを上昇させる効果。



労働エネルギー 比率の低下 (労働浅化) (L_j/E_j の低下)

- ほぼ一貫して、労働エネルギー比率は低下。
- 一単位の労働がより多くのエネルギー投入を必要とするような技術変化。
- 労働浅化は、労働投入から資本投入への代替（LK代替）、そして資本を稼働させるためのエネルギー投入の拡大（KE補完）という、二つの技術変化の結果。
- 強固な労働浅化がエネルギー生産性を**持続的に悪化**（＝**労働生産性改善を実現**）。
- 2000年代に入り、**この傾向は逆行**＝デフレ経済のもと、労働から資本への代替が停滞→**労働生産性の改善を犠牲としたEPI**



EPIの要因分解

① 省エネ

$$EPI(\tau_j^E) = (\bar{v}_j^K / \bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^K$$

① ε_j^K ($= K_j / E_j$: 資本-エネルギー比率) **上昇** (エネルギーに対する**資本深化**)
による寄与度。
⇒ 資本の稼働に使用するエネルギー量をどれだけ減らすことができるか？

長期傾向： ↗ ⇒ ↑ ⇒ ↗

② 増エネ

$$+ (\bar{v}_j^L / \bar{v}_j^X) \Delta \ln \varepsilon_j^L$$

② ε_j^L ($= L_j / E_j$: 労働-エネルギー比率) **低下** (エネルギーに対する**労働浅化**)
による寄与度。
⇒ 成長(生産拡大)に伴い、労働が使用するエネルギー量はどれだけ増加するか？

↓ ⇒ ↓ ⇒ ↗(?)

③ 全体効率

$$+ (1 / \bar{v}_j^X) \tau_j^T$$

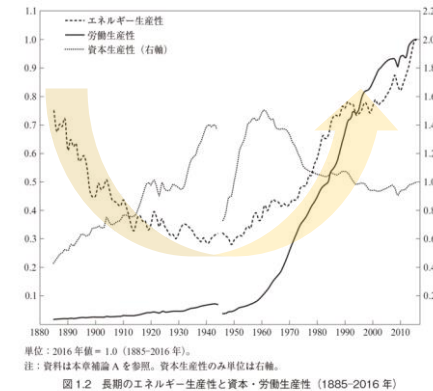
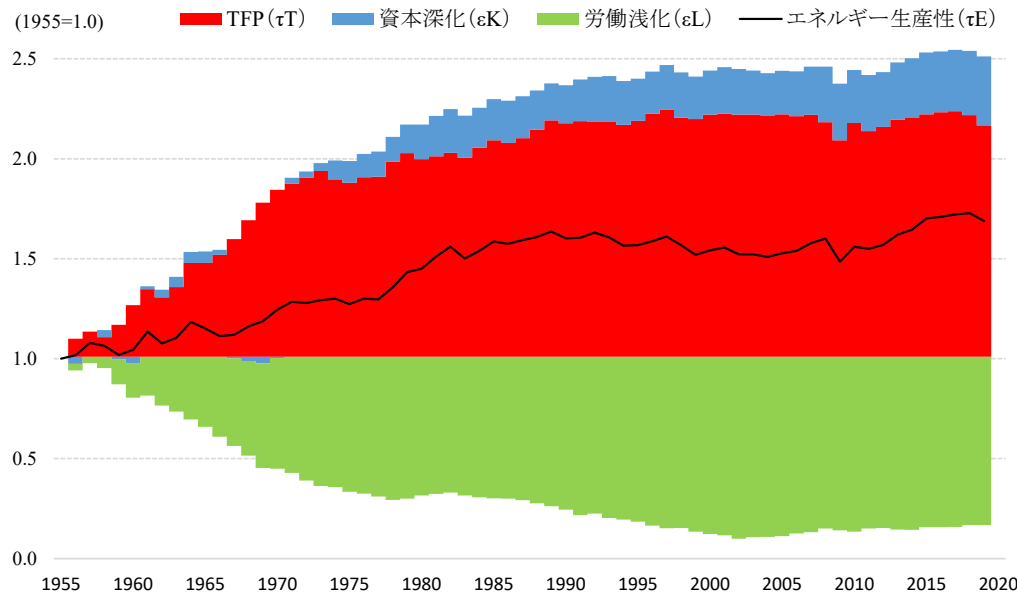
③ TFP改善による寄与度。

⇒ 生産における全体効率がどう変化するか？

↗ ⇒ ↑ ⇒ ↗

こうした変化の合成がU字型のEPIを生じさせる

日本経済のエネルギー生産性変化とその変化要因 (累積寄与度)



1955年からの長期累積寄与度では、(オイルショック後では省エネ要因は継続しているが) 持続的なEPIを実現した主要因はTFP改善。

TFPと単要素生産性（PFP）

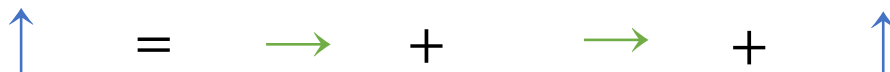


TFP（全要素生産性）とPFP（単要素生産性）との関係として・・・

$$\text{TFP上昇率}(\tau_j^T) = \underbrace{\bar{v}_j^K \tau_j^K}_{\text{①資本生産性の寄与度}} + \underbrace{\bar{v}_j^L \tau_j^L}_{\text{②労働生産性の寄与度}} + \underbrace{\bar{v}_j^E \tau_j^E}_{\text{③EPIの寄与度}}$$

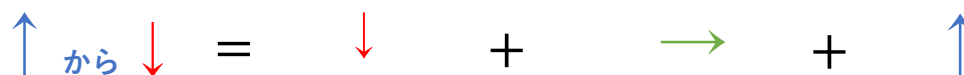
典型的な技術変化

①省エネ技術の自律的導入（資本に体化された技術）



⇒省エネ技術の資本財への体化。生産拡張や更新投資に伴い導入される「意図せざるEPI」。日本経済の経験においてももっとも大きな要因であり、米国の対日EPIキャッチアップでも主要因と考えられる。

②資本によるエネ代替（省エネ投資）



⇒エネ価格の相対的な上昇を受けて行われる、いわゆる「省エネ投資」。EPIは資本生産性を犠牲としながらも、安価な技術が利用可能なときにはTFPの改善に貢献。しかし度を過ぎれば全体効率が悪化。

③資本による労働代替＋資本・エネ補完



⇒pL/pKの上昇を受けて、労働節約的に資本蓄積が進行し、それによりエネ需要の拡大。（生産能力拡大効果が大きいときはEPIも実現しうるが）EPIを犠牲しながらも進行。

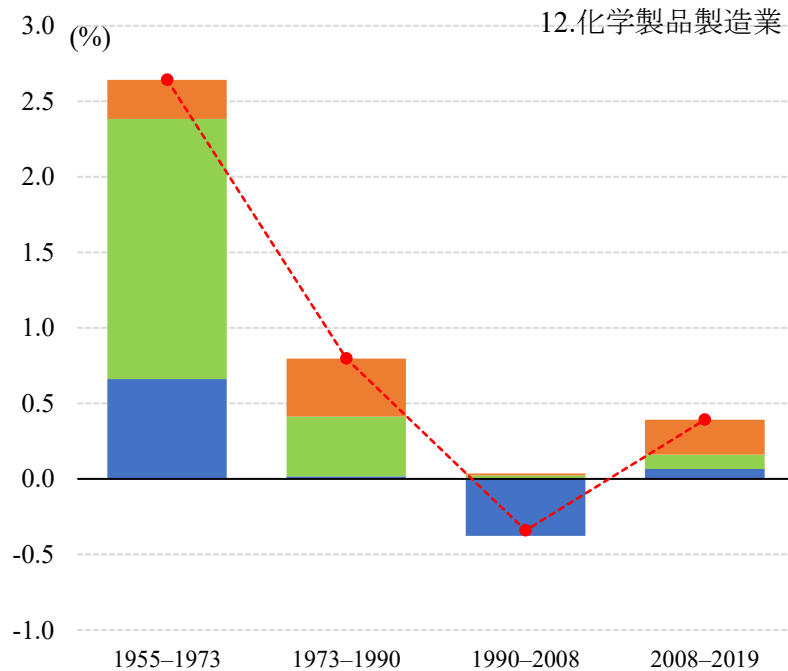
こうした技術変化のミックスした姿のみが観察される。産業別の変化を見ると・・・→

資本生産性低下からエネ間接輸入

－12.化学製品製造業



- ・EPIを持続的に実現してきたが、資本生産性は改善から悪化へ（**省エネ技術の飽和**）。
- ・近年（2008-19年）では、電力・エネ**間接輸入**が拡大し、すべてのPFPが改善（=TFP上昇）＝産業レベルでは「両立」とも



---●--- TFP (τT)

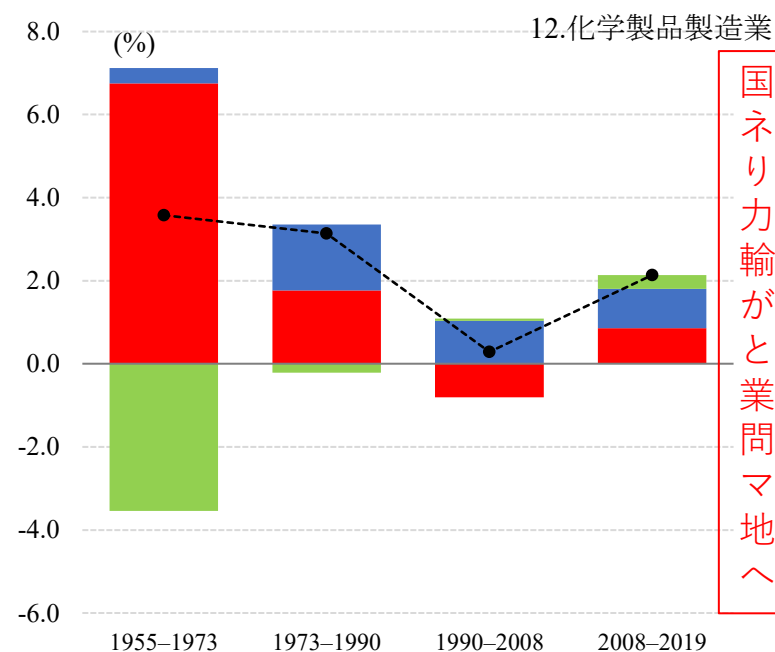
■ 資本生産性 (τK)

■ 労働生産性 (τL)

■ エネルギー生産性 (τE)



- ・EPIの実現は、TFPから**資本深化による寄与 (EK代替)**への依存へ。
- ・近年では、（更新投資など省エネ技術の自律的導入もあるが）TFP上昇が再び拡大し、EPI（国内）の主要因へ。



---●--- エネルギー生産性 (τE)

■ TFP (τT)

■ 資本深化 (εK)

■ 労働浅化 (εL)

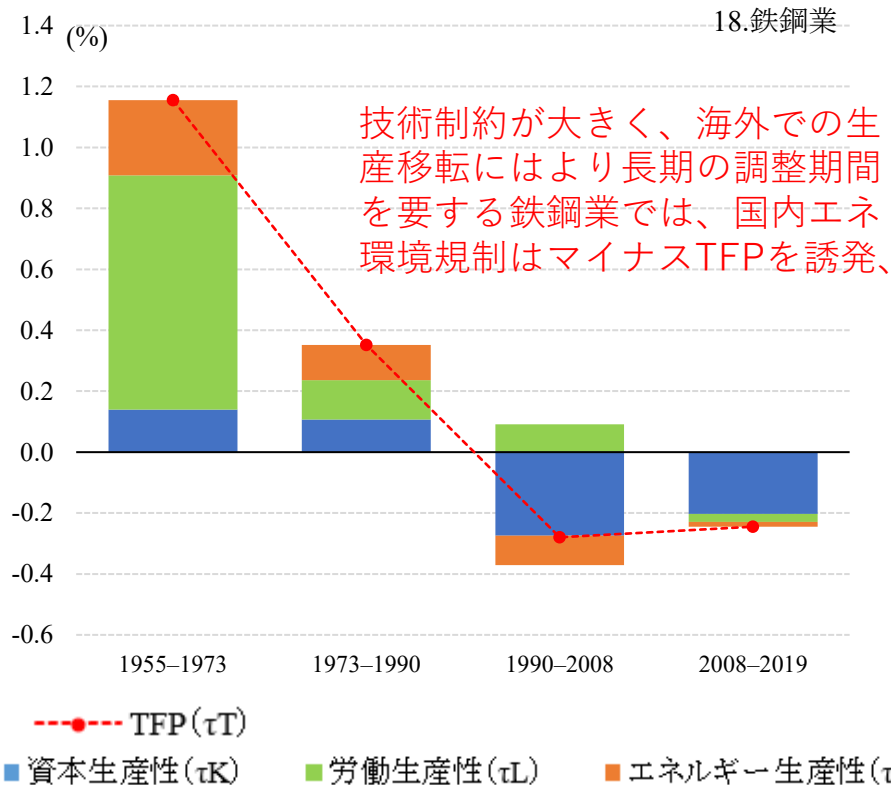
国内再エネ投資よりも、電力の間接輸入の方が合理的となる産業も。⇒問題は、マクロ・地域経済への影響

資本生産性を犠牲としたEPI

－18.鉄鋼業

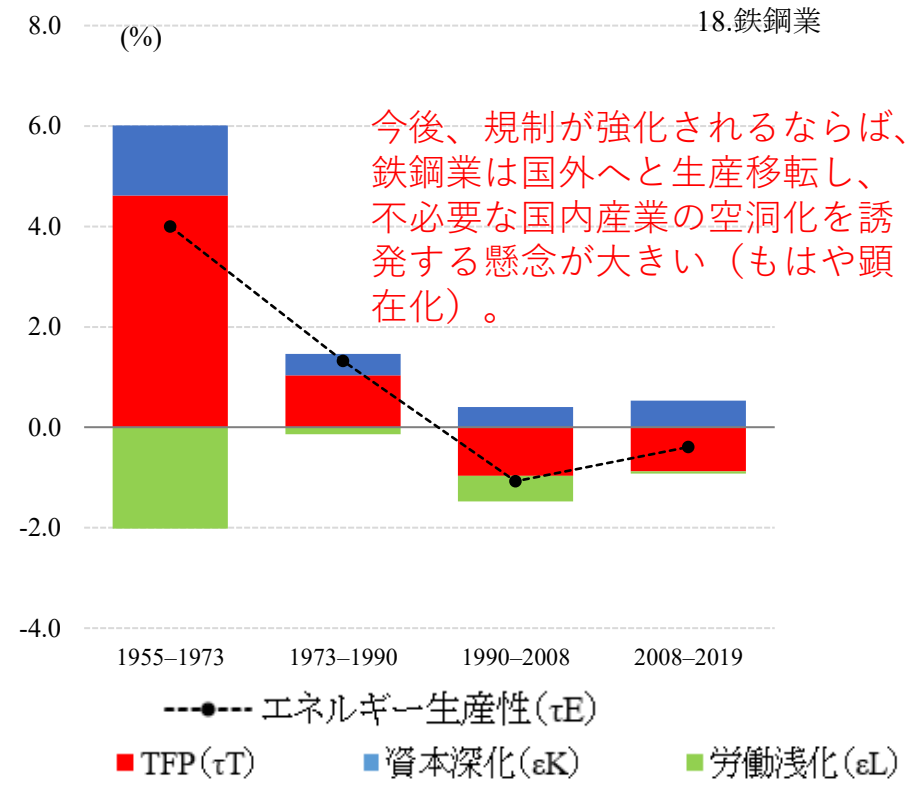
TFP EPI

- ・ EPIを持続的に実現してきたが、90年代より資本生産性は改善から悪化へ（**省エネ技術の飽和**）。
- ・ 近年（2008-19年）でも、すべてのPFPが悪化し、マイナスTFP成長。



TFP EPI

- ・ EPIの実現は、90年代以降、TFPによる影響から**資本深化による省エネ投資**に依存せざるをえない構造へ。
- ・ 近年でも資本深化の努力は続くが、TFP悪化によりエネルギー生産性も低下・横這い。

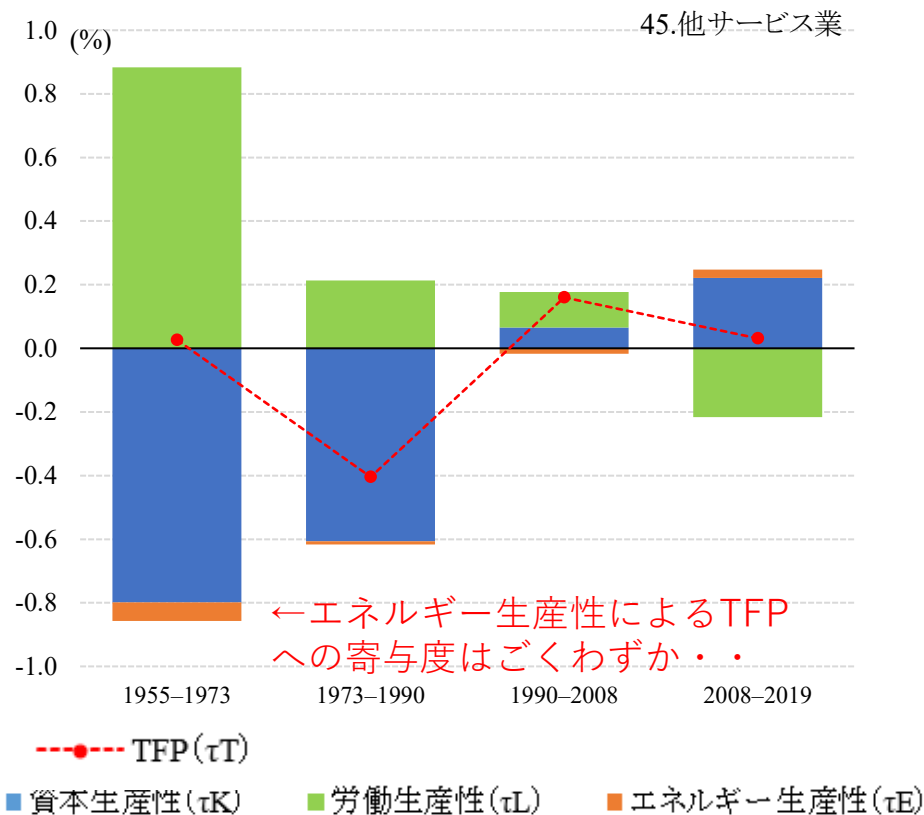


労働生産性を犠牲としたEPI

ー45.他サービス業（対個人/企業サービス）

TFP EPI

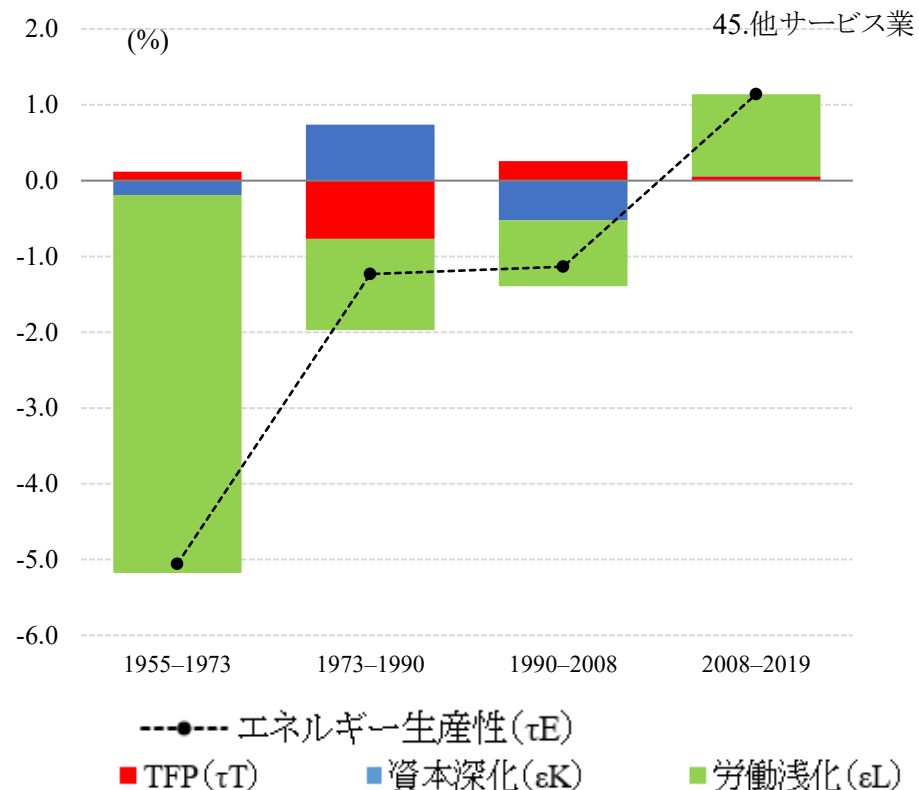
- ・2008年まで、資本生産性・エネ生産性を悪化させながら、労働生産性のみ改善。
- ・2008-19年、エネルギー生産性改善を実現（右）するが、**労働生産性は大きく悪化**。



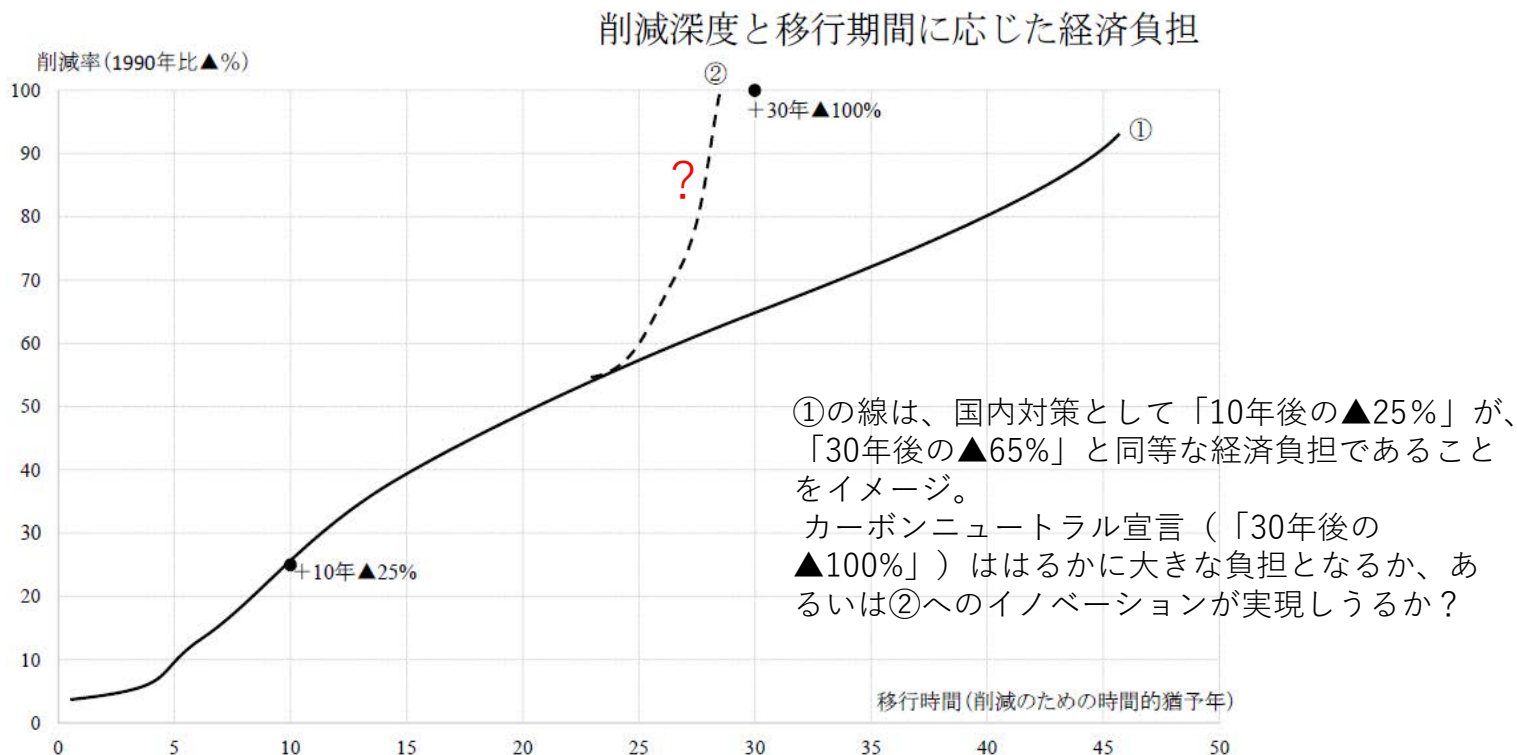
貿易財に体化させて、電力やエネルギーを輸入できない国内産業では・・・

TFP EPI

- ・2008年までエネ生産性の悪化の主要因は、労働がより大きいエネルギーを利用してきたこと（それが労働生産性を改善）。
- ・近年はその逆行。**労働生産性改善を犠牲**としている（=**実質賃金の低迷**）。



(5) 結び



これまでの接近法から見いだされた観察事実と、2050年にむけた日本経済のエネルギー環境政策において留意されるべき一定の帰結をまとめます。

十年前の楽観

－かつての中期目標時の楽観した政府、描かれた未来、そして実現した経済

2009年から2010年にかけて、2020年の中期目標に関する一連の検討プロセスでは、
麻生政権では（欧米との限界削減費用のバランスを考慮して）**1990年比▲8%**として策定。

⇒その数か月後、民主党鳩山政権による温室効果ガス**1990年比▲25%**の経済負担は、実質GDPはベースライン比で**▲6%ほど**の影響とモデル分析評価（国環研▲3.2%、KEO▲5.6%、RITE▲6.7%）。

（※気候変動問題における緩和の方法では、日本経済においても、この30年間取り組んできた歴史がある。どれほどの価格弾性（および間接効果）を持つか、という**実証的な感覚が形成**されている。）

（※当時の状況は、毎日新聞社『エコノミスト臨時増刊「CO2 排出削減ショックGDP 6 %マイナスの衝撃」』2010年3月23日を参照）

現在、2020年の現実はどうなったのか？

⇒（当時のモデル評価における外生的条件の大きなズレとして）東日本大震災（による原発稼働停止）とCOVID-19の影響を除いて評価した、仮想的な実現値としては・・・

「**2020年の日本経済は90年比▲15%が実質GDP▲5%となり実現**」と解される。

複雑な現象の解明は一意には定まらず、排出削減目標自体が日本経済の低成長を導いた原因であるとは必ずしも言えない。だが、排出削減と低成長が実現したこと、そして**低炭素社会の実現がむしろ経済成長を促進させる**
とした10年前に抱いた楽観は誤りであったこと、は確かであろう。

結び

➤近年のEPI加速の主要因は技術的要因ではない

- **経済成長への歪み**：20世紀の間、常に高いエネルギー価格差に直面し、省エネ推進から半世紀経過した日本経済では、安価にEPIを実現する手段は限定的。再エネ電力コスト負担の拡大とともに、省エネ法強化や低炭素社会実行計画などによる**数量的な政策ターゲット**は、すでに日本の**経済成長に歪み**を与えてきた。
- **炭素リーケージ**：貿易財では、すでにエネ多消費的な財の輸入拡大、製品に体化されたエネルギーの輸入を拡大させ**炭素リーケージ**が生じている。また国内でのエネルギー消費減少は、日本の**エネルギー環境政策に過信**を生じさせてきた。
- **労働生産性低迷の一因**：国内サービス業などでは、**労働生産性を犠牲**としたEPIと解される現象も見いだされる。

➤現在では、戦後経済のピークへ接近するまで日米RUEC格差が拡大。

- 第一の原因は、**実質エネルギー価格差の拡大**
 - 米国ではシェール革命の恩恵。国内的な要因は、FITによる再エネ電力価格負担増、原発再稼働の遅れ、デフレによる生産価格の低下傾向（広範な産業でRUEC上昇）。
- 第二の原因は、日本が優位性を持つ**エネルギー生産性格差の縮小**
 - 米国でも実質エネルギー価格は上昇し、安価になった省エネ技術は経済合理性を持って実装。日米TFP格差も2017年以降では再び拡大。

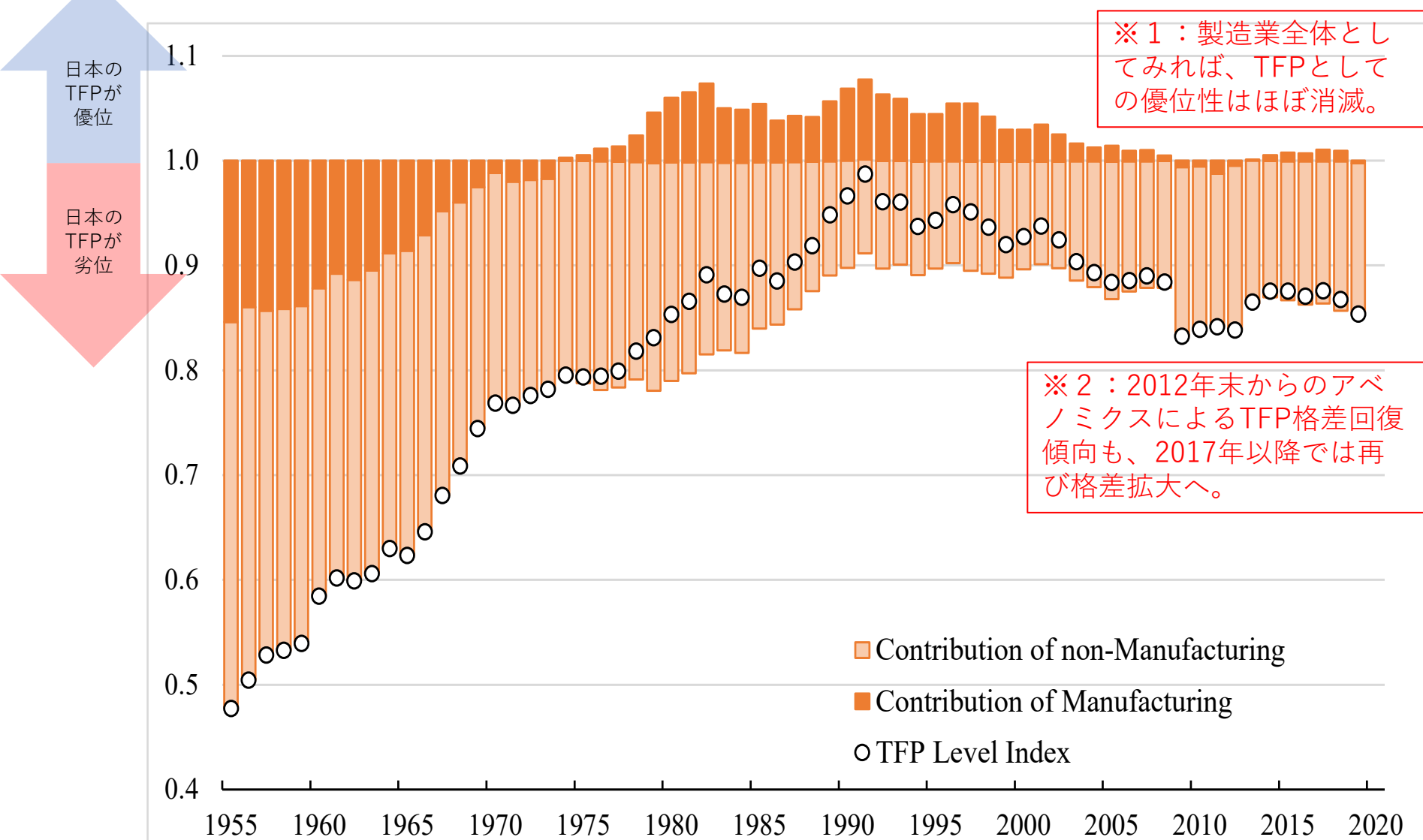
➤エネルギー転換の移行期における経済効率の探求を優先すべき

- **拙速な推進は非効率**：何が日本経済の脱炭素化の鍵となるかは、現在はわからない（海外でのDAC/CCS、カーボンフリー水素の輸入、核融合・・・）。⇔「再生可能エネルギーを最優先に最大限導入する方針」（新たなエネルギー基本計画：10月22日）？
- **進行する空洞化**：国内で約束された電力価格上昇と安定供給懸念拡大により、鉄鋼業や化学業などでは、エネルギー多消費的な財の海外移転は今後もさらに進行。

(参考資料)



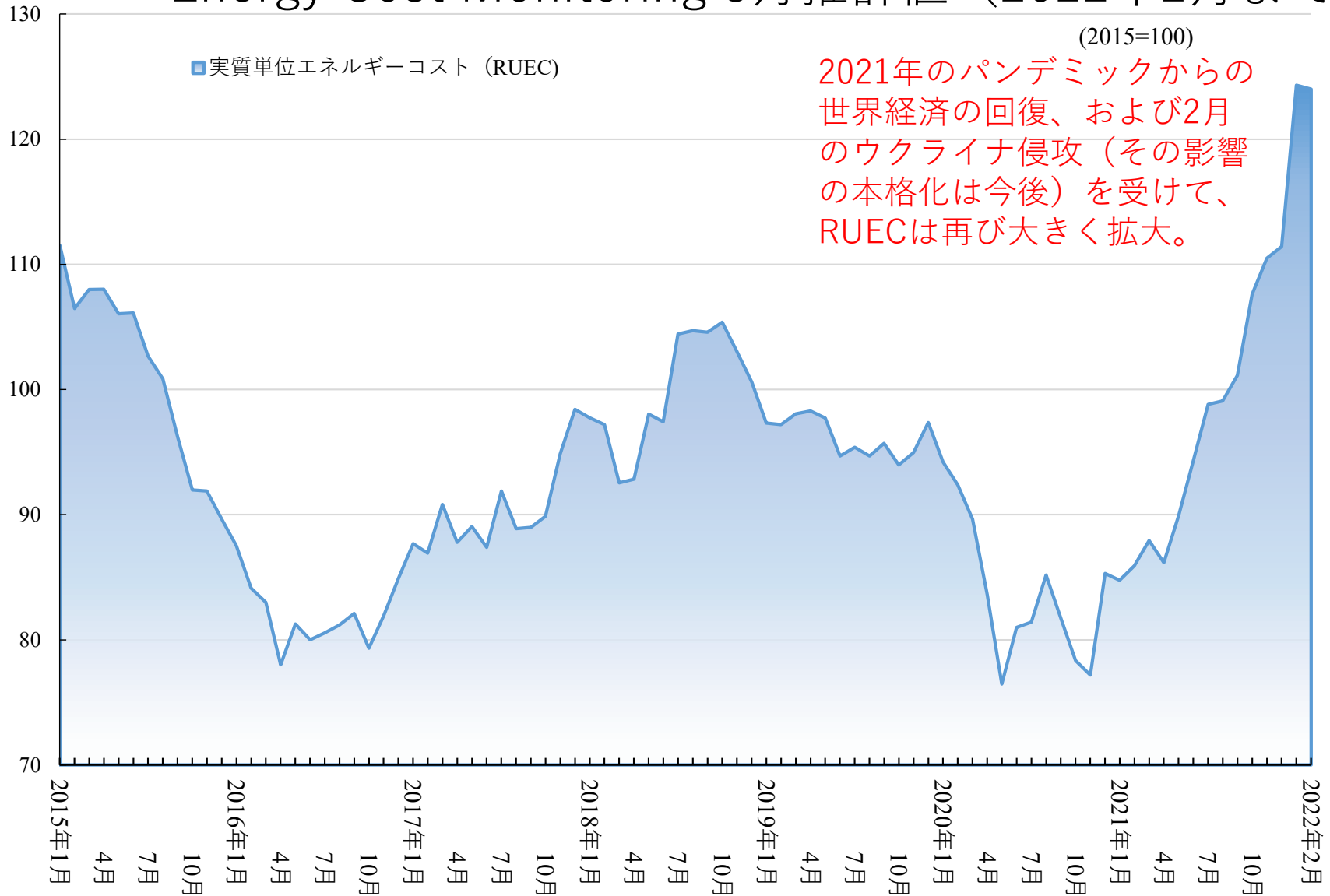
日本の生産性水準はこの30年間に大きく低下 ー日米経済のTFP（全要素生産性）ギャップ（1955–2019年）



Note: Aggregate TFP is Domar-weighted sum of industry TFP gaps, grouped into Manufacturing (Mnf) and Non-Manufacturing (Non-Mnf)

Source: Jorgenson, Nomura, and Samuels (2018)の更新値。

2021年よりRUECは再び急上昇 －Energy Cost Monitoring 3月推計値（2022年2月まで）



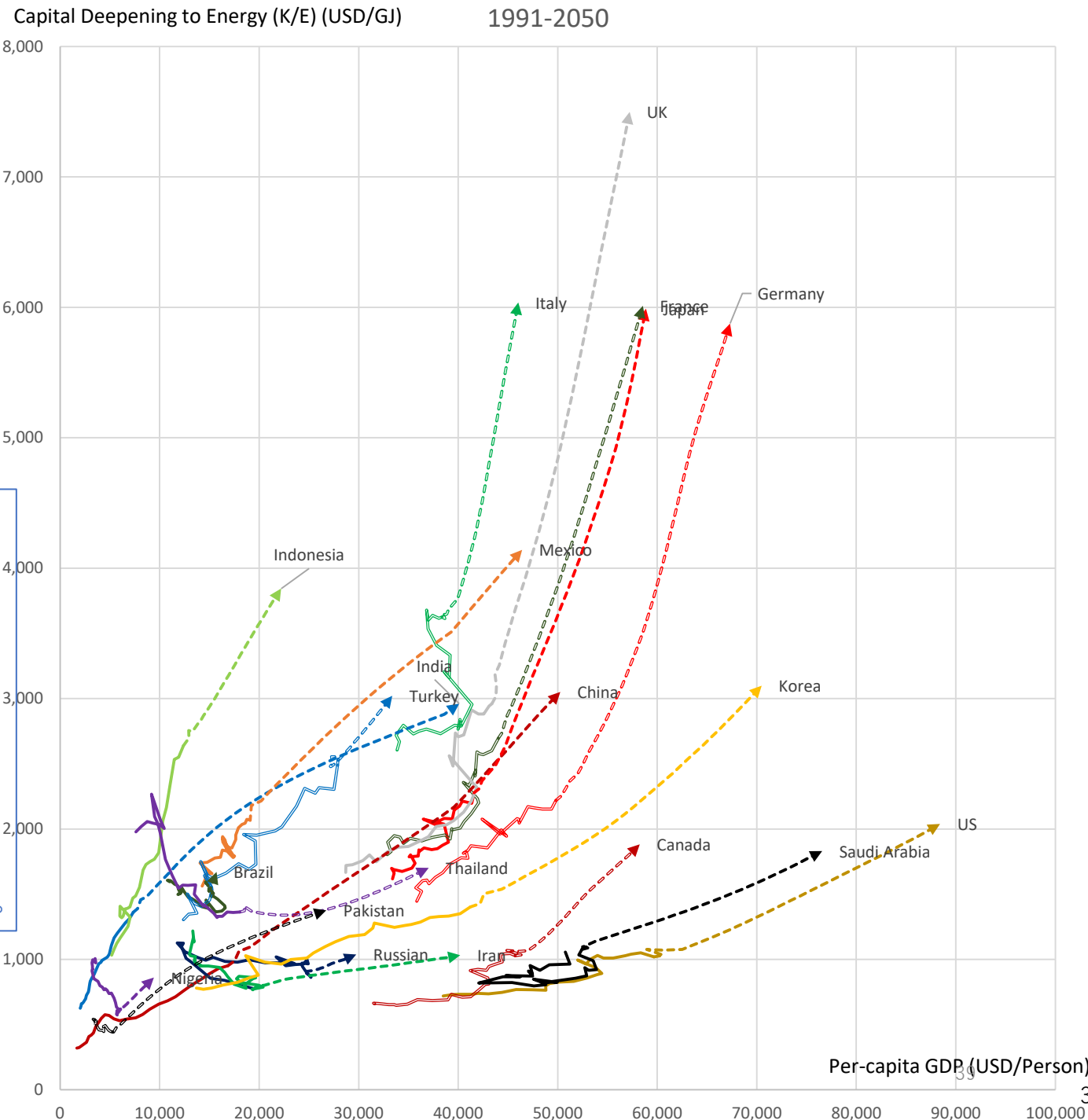
単位：2015年平均値＝100。出典：「エネルギー・コスト・モニタリング（ECM：Energy Cost Monitoring）」の2022年3月推計値（現在開発中のβ版）（慶應義塾大学産業研究所：野村浩二・稲場翔・吉田満咲）。

主要エネ消費国の資本エネ比率—1991-2050年

1991-2018年は実績（実線）
2019年以降は予測値（点線）

実質所得（一人あたり実質GDP）の水準に依存して、資本深化の進行とそのレベルは（産業構造の異なる）国別に異なる。資本に体化された技術進歩は国を超えて利用される。
⇒予測値では、国別にロジスティック関数を設定（その際、現在の資本深化水準に依存して、収束する上限値を異なるように設定）。

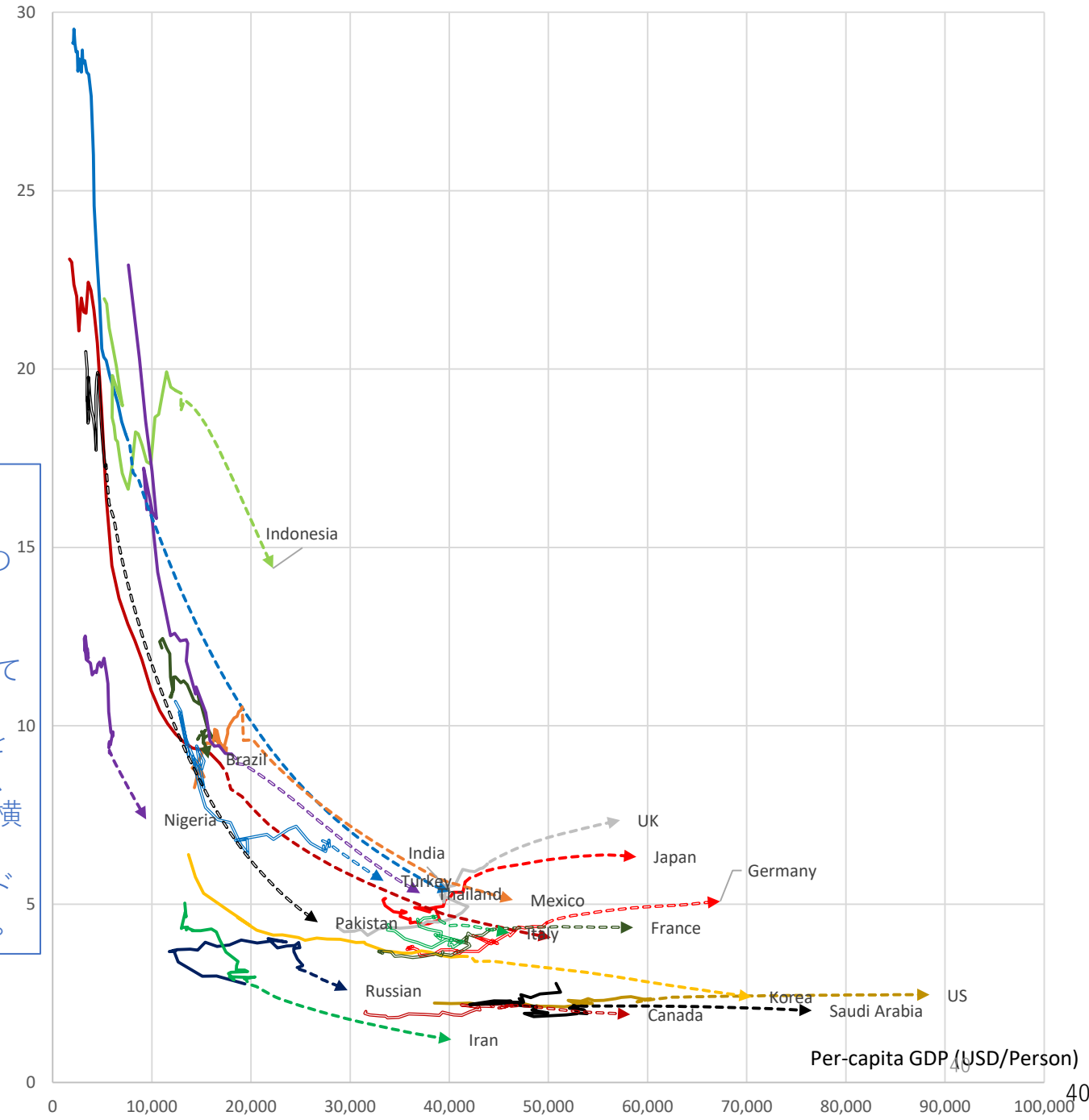
出典：著者作成。資料：IEA World Energy Balances、IEA World Indicators、Penn World Table (PWT 10.0)、APO Productivity Database 2021など



主要エネ 消費国の 労働エネ比率 —1991-2050年

1991-2018年は実績（実線）
2019年以降は予測値（点線）

実質所得（一人あたり実質GDP）の水準に依存して、エネルギーに対する労働浅化（L/Eの低下）の進行は国際的に類似。
⇒予測値では、
①世界的なこの関係性に依存して労働浅化の進行を想定。
②平均的な実質所得が4万ドルを超えるような先進国あたりから、「労働浅化の逆行」も見られ、横這いから微増を想定。
③2050年までに実質所得が4万ドルを超えるところから横這い想定。



出典：著者作成。資料：IEA
World Energy Balances、IEA
World Indicators、Penn World
Table (PWT 10.0)、APO
Productivity Database 2021など

Fair is Foul and Foul is Fair.

気候変動問題という“wicked problem”に対し、日本の経済成長に伴うエネルギー投入構造のさまざまな観察から一定の帰結を導いてきましたが、測定の問題や異なる視点からのご批判・ご見解があるかと思うますので、忌憚なくコメントを頂けましたら幸いです。

野村浩二（慶應義塾大学産業研究所）
nomura@sanken.keio.ac.jp

