

部門別にみたエネルギー支出の国際比較

An International Comparison of Sectoral Energy Expenditure

星野 優子 *・小川 順子 **
Yuko Hoshino Junko Ogawa

This paper presents our estimated results of sectoral energy expenditure and its share of GDP for five developed countries, Japan, the United States, the UK, France and Germany. We found that those estimated values can be used as the indices of “Economic efficiency” in S+3E (Safety, Economic efficiency, Environmental conservation and Energy security) which is the object of Japan’s energy policy. The differences among the countries arise from the diversity of cost and energy demand and supply structures. The forecasted values of each country show that Japan’s energy expenditure share of GDP in industry and household sectors are relatively high compared to the other developed countries as we move toward the year 2040.

Keywords : Energy price, Energy Expenditure, Economic Sustainability

1. はじめに

2018 年に策定された第 5 次エネルギー基本計画では、エネルギー需給の将来像を議論するにあたって、S+3E を基本とすることが謳われている。3 つの E のうち、「環境」に関しては、エネルギー起源の大気汚染物質、温室効果ガスの排出量、「エネルギー安全保障」に関しては、エネルギー自給率、エネルギー供給安定性などの量的指標が使われている。これに対して「経済性」に関する指標としては、化石燃料の輸入金額や電気料金などが使われてきた。しかし、エネルギー需給構造や産業構造は大きく変化しており、エネルギー種別ごとの価格水準だけでは、「経済の持続可能性」への影響を評価することは難しい。また、国際交渉の場面では、各国のエネルギー需給構造、産業構造の違いを踏まえた議論が重要であり、それらを可能にする国際比較指標の検討の意義がある。

そこで本稿では、日本、米国、英国、ドイツ、フランスの主要先進 5 か国を対象に(1)部門別にエネルギー支出額合計の推計を試みる。また、(2)その値を各国の経済規模で基準化した「エネルギー支出の対 GDP 比」を推計する。さらに、(3)各国のエネルギー需給の将来シナリオについて、「経済の持続可能性」の観点から国際比較を行う。将来シナリオには、IEA の 2018 年版の World Energy Outlook (WEO2018)¹⁾ の New Policies Scenario(NPS)を参照する。

2. 分析の枠組み

2.1 国際比較のための指標：エネルギー支出の対 GDP

*JXTG エネルギー株式会社中央技術研究所技術戦略室
〒100-8162 東京都千代田区大手町 1-1-2
E-mail : hoshino.yuko@jxtg.com
**一般財団法人日本エネルギー経済研究所地球環境ユニット
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1 イヌイビル・カチドキ

本論文は、エネルギー・資源学会研究発表会（2019 年 8 月）における講演論文をエネルギー・資源学会より転載許可を得て、掲載いたしました。

図 1 は、1965 年以降の長期にわたる家計消費支出に占める光熱費の割合の推移を見たものである。家計のエネルギー関連の負担は、家電の普及などにより上昇する趨勢にある。この値は、いわば、エネルギー版のエンゲル係数であり、家計のエネルギー支出に関する負担感の変化をみることができる。そこで本稿では、マクロの指標から、部門別にエネルギー支出額と、その GDP に対する比率を推計し、疑似的に、各部門におけるエネルギー支出の負担感を国際比較する。

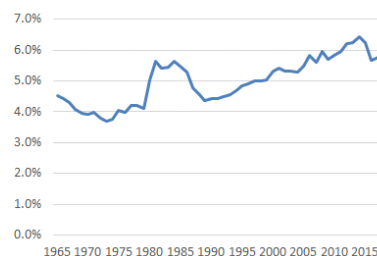


図 1 家計消費支出に占める光熱費の割合

出所：総務省家計調査年報²⁾の二人以上世帯。EDMC³⁾より作成

2.2 将来シナリオ分析のためのモデル

上記の「エネルギー支出の対 GDP 比」に関する将来シナリオを分析するにあたって、エネルギー価格の将来シナリオを作成するためのフローを図 2 に示す。IEA の WEO2018 の NPS をもとに、分析を行うことから、部門・エネルギー

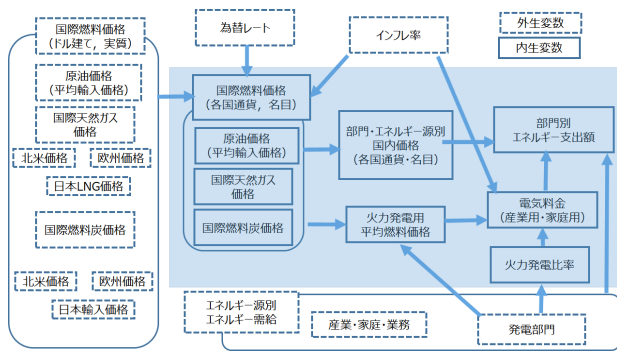


図2 エネルギー価格の将来シナリオの作成フロー

分類は、同書の公表ベースのものにあわせている。以下の(1), (2)は、部門別エネルギー源別の国内価格, 国内電力価格の予測に用いるモデルである。1978~2016年の実績データを用いてパラメータの推定を行った。

(1) 国内エネルギー価格

P_{ij} は第*i*部門の第*j*エネルギーの国内価格を、 PW_j は第*j*エネルギーの国際価格を示す。ただし、*i*は産業部門、家庭部門、発電部門である。産業部門の*j*は、High sulphur fuel oil, Low sulphur fuel oil, Light fuel oil, LPG, 天然ガス, 燃料炭, 原料炭である。家庭部門の*j*はLight fuel oil, LPG, 天然ガス, 燃料炭である。発電部門の*j*はHigh sulphur fuel oil, 天然ガス, 燃料炭である。 ϵ_i は誤差項である。

$$P_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}PW_j + \epsilon_i \quad (1)$$

(2) 国内電力価格

PE_i は第*i*部門の電気料金を、 PET は火力発電平均燃料価格を、 RTT は火力発電比率を、 $PGDP$ はGDPデフレータを示す。ただし、*i*は産業部門、家庭部門である。 φ_i は誤差項である。

$$PE_i = \gamma_i + \delta_i PET \cdot RTT + \theta_i PGDP + \varphi_i \quad (2)$$

上記モデルは、火力発電の燃料費と、その他の運転・メンテナンスコストを、それぞれ火力発電平均燃料コスト、GDPデフレータで説明する簡易的なモデルである。火力発電平均燃料コストには、長期的な非化石電源比率の拡大を反映させるために、火力発電比率を乗じている。

2.3 分析に用いたデータ

分析にあたっては、IEAのEnergy Balance table⁴⁾から各国の部門別・エネルギー源別エネルギー需給データを、同じ

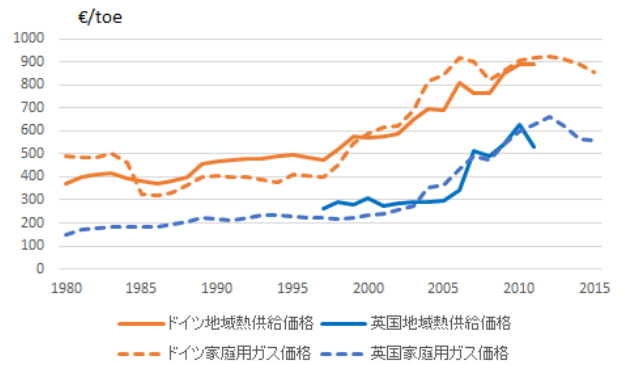


図3 地域熱供給の価格と家庭用天然ガス価格

出所: Energifosk⁶⁾, European District Heating Price Series, 2016, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾より作図

くIEAのEnergy Prices and Taxes⁵⁾から、各国の部門別・エネルギー源別のエネルギー価格データ(エンドユーザー価格)、為替レートを、World Bank⁷⁾のInternational development Indicatorsから、各国のGDPおよびGDPデフレータを用いた。(1)の分析モデルの推定にあたっては、時系列データが必要になることから、欠損値については、可能な範囲で補完推計を行った。特にEnergy Prices and Taxesデータについては、欠損値が多いことから、関連性の高いエネルギー一種の価格のほか、国内統計を用いて補完推計を行った。

IEAのEnergy Prices and Taxesに掲載があるのは、石油製品、石炭、天然ガス、電力価格に限られていることから、燃料用の固形バイオマス・廃棄物の価格については、熱量等価のLight fuel oilまたは天然ガス価格を用いた。また、欧州の地域熱供給の価格については、図3に示すように家庭用ガス価格の動きで説明できると推測されることから、熱量等価の同価格を用いた。

3. 部門別エネルギー支出指標の国際比較

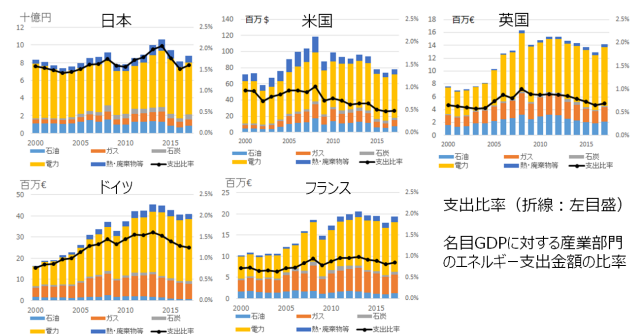


図4 産業部門におけるエネルギー源別の支出額

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾を元に著者推計

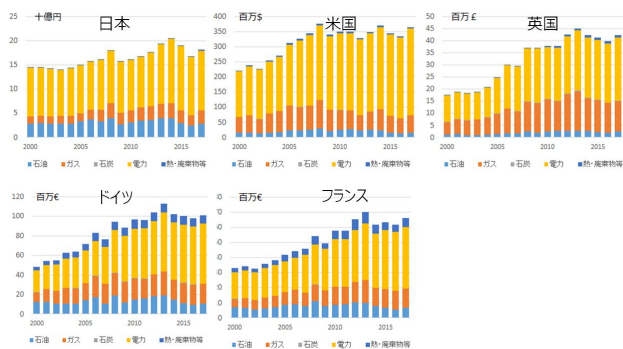


図5 民生部門におけるエネルギー源別の支出額

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾ を元に著者推計

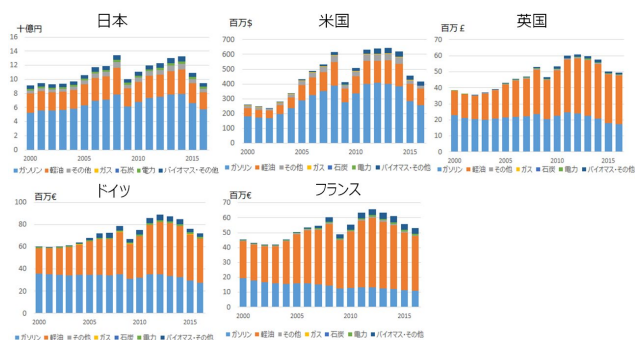


図6 運輸部門におけるエネルギー源別の支出額

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾ を元に著者推計

3.1 部門別のエネルギー支出額の推計

(1) エネルギー源別支出額の推計

図4~6は、2000年~2017年間の各最終エネルギー消費部門におけるエネルギー源別の需要量に各エネルギー種別の国内価格を乗じて合計したエネルギー支出額の推計値である。

図4, 5の産業, 民生部門では、いずれの国でも、支出額の5~7割を占めるのは電力への支出である。欧州3か国では、2000年以降、エネルギー支出額が右肩上がりに増加しているが、最大のシェアを占める電力の価格がこの期間に持続的に上昇していることが影響している。また、欧州では、日本と比較してガスの支出額シェアが大きいことも特徴である。

一方、図6の運輸部門では、いずれの国においても、自動車用燃料であるガソリン、軽油が需要のほとんどを占める。ただし、ドイツ、フランスでは、ディーゼル車の普及に伴い、ガソリンへの支出額の増加と軽油への支出額の減少が見られる。

(2) GDPに対するエネルギー支出額の比率

図4~6で推計した支出額をもとに、国際比較可能な指標として、GDPに対するエネルギー支出額の比率を推計した。これは、最終エネルギー消費部門ごとの、エネルギー支出額の負担感を、各国の経済規模に応じて国際比較することを意図したものである。例えば、民生部門の最終消費支出はGDPの最大構成要素であり、その最終消費支出に占めるエネルギー支出の割合は、いわばエンゲル係数のエネルギー支出版に相当する。

産業部門においては、対GDP比は各国の産業構造に大きく依存する。図7に示すように、GDPに占める製造業の付加価値比率の高い日本、ドイツではエネルギー支出額の対GDP比も高く、製造業の海外移転の進む英国、フランスでは

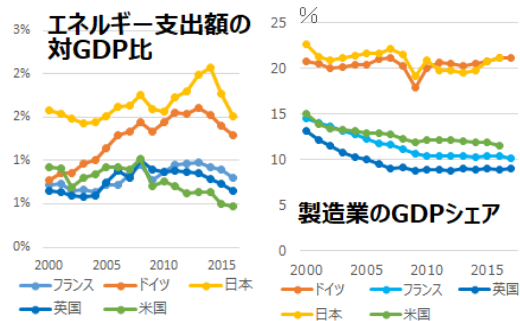


図7 産業部門のエネルギー支出額の対GDP比

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾ を元に著者推計

同値は低くなっている。加えて、電力価格の高騰するドイツ、シェール革命以降、エネルギー価格の安定する米国では価格の影響も受けている。エネルギー集約的な製造業が高いシェアを持つ日本においては、エネルギー価格の上昇が国民経済に与える影響も相対的に大きくなるといえる。

民生部門においては、各国のエネルギー価格水準に加え

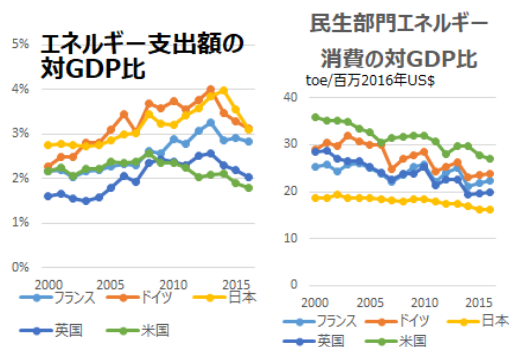


図8 民生部門のエネルギー支出額の対GDP比

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾ を元に著者推計

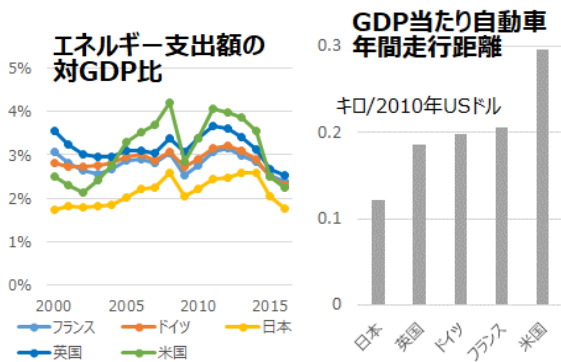


図9 運輸部門のエネルギー支出額の対GDP比

出所) IEA Energy Balance⁴⁾, IEA Energy Prices & Taxes⁵⁾, World Bank World Development Indicators⁷⁾, OECD Transportation Data⁸⁾ を元に著者推計

て、需給構造も支出額に影響する。相対的に高価な電力のシェアが高い日本、ドイツ、フランスでは、エネルギー支出額の対GDP比は高く、ガスのシェアが高い英国やエネルギー価格が安価な米国とは1%水準前後の差がある。また、図8の右側に示す民生部門の最終エネルギー消費量の対GDP比は、日本が最も低く、省エネが進んでいることがわかる。日本の民生部門においては、主要先進国と比較しても高い省エネ水準を達成している一方で、エネルギー支出の負担は既に十分に高いことが確認できる。

運輸部門については、図9左でみるように、日本の対GDP比は、産業、民生分野とは異なり、主要先進5か国のなかで最も低い。この背景には、図7右でGDP当たりの自動車走行距離が同じく主要5か国の中で最も少ないことに示されるように、日本では特に旅客輸送において、鉄道やバスといった公共交通機関の利用が多いことがある。例えば、2015年の全国消費実態調査から、日本の二人以上世帯の交通費の内訳をみると、39%が鉄道運賃、32%がバス、タクシー代であり自家用ガソリン代のシェアは26%に過ぎない。仮に、モビリティ用エネルギーに対する支出額ではなく、より広義にモビリティ・サービスに対する支出額を考えれば、日本のGDPに対する運輸部門の支出額が少ないとは言えないことがわかる。

3.2 部門別のエネルギー支出額の予測

以上の分析結果から、「エネルギー支出額の対GDP比」は、エネルギー需給構造やエネルギー価格の違いを反映しつつ、部門別のエネルギー支出の負担感を国際比較する指標の一つとして活用できる可能性を確認した。そこで以下では、表1に示すIEAのWE02018のNPSシナリオにおける需給構造の予測結果をもとに、2040年までの「エネルギー支出額の対GDP比」を推計する。

ところで、ここまで実績期間については名目価格を用い

て分析してきたが、以下の予測にあたっては、図2の分析モデルのフローに外生変数として示した「インフレ率」に、各国ともゼロを想定することで実質ベースの予測とする。これは、名目価格の予測には各国別のインフレ率の想定が必要になること、予測の前提条件として用いるIEAのWE02018の国際燃料価格は、2017年実質価格のみ公表されているためである。

(1) 電力価格の予測

エネルギー価格の将来値は、表1のWE02018のNPSの予測結果をもとに、モデル(1)、(2)式をもとに推計した。

表1 主な前提条件 (上段: 2017年値, 下段: 2040年値)

	日本	米国	英国	ドイツ	仏国
GDP成長率(2017-40,%)	0.7	2.0	1.6		
原油輸入価格(2017\$/bbl)	52				
天然ガス輸入価格(2017\$/MBtu)	112				
燃料炭輸入価格(2017US\$/t)	8.1	3.0		5.8	
	10.1	4.9		9.0	
	95	60		85	
	90	64		85	
発電に占める火力比率(2040,%)	49.1	52.6	13.6	39.5	10.4
火力に占めるガス火力比率(2040,%)	53.3	63.1	80.2	79.6	79.1
産業部門エネルギー消費成長率(%)	-0.8	0.5	-0.4	-0.3	-0.4
産業部門の電化率(2040,%)	39.0	28.0	40.2	37.0	37.7
民生部門エネルギー消費成長率(%)	-0.1	0.2	-0.6	-0.3	-0.5
民生部門の電化率(2040,%)	56.0	55.0	39.3	29.6	49.8

(2) 出所) IEAのWE02018のNPSより。ただしEU各国については、直近の実績値、IEAのEUについての予測値より著者推計

予測にあたって重要になるのが、エネルギー支出額の最大のシェアを占める電力の価格見通しである。本稿では、モデル(2)式を、各国・各部門の実績データで推定したパラメータ γ_i , δ_i , θ_i を用いて、それぞれの電力価格を推計した。予測の前提条件として用いるIEAのWE02018の国際燃料価格は、2017年実質価格のみ公表されていることから図10に2017年価格を1とした2040年の実質電力価格の予測結果を示す。IEAの想定によると、石油、天然ガス価格は実質でも緩やかに上昇を続ける。また、NPSでは、火力発電の比率は各国とも低下を続けるものの、米国、ドイツ、フランスでは、火力発電が石炭からより単価の高いガスに燃料転

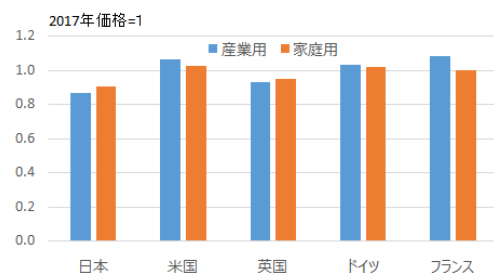


図10 2040年の電力価格の予測 (2017年=1, 実質)

出所: IEAの燃料価格想定をもとに、著者推計

換していくと見通している。このため火力発電用の平均燃料価格は上昇する。米国、ドイツ、フランスでは、これら要因が相殺するため 2040 年の電力価格は現状の水準になる。すでにガスへの燃料転換が進んだ英国では、相対的に価格上昇は抑えられる。日本については、原子力の再稼働により火力発電比率が低下することに加え、WE02018 で燃料価格の低下が見込まれている石炭火力が、発電シェアを維持することから、2040 年の電力価格は英国より低下する。

ところで、IEA の WE02018 では、日本、米国、EU、中国について家庭部門の実質電力価格の 2025 年、2040 年の水準のみが図示されている (IEA, 2018 の Figure 10. 32)。それによると、日本については原子力の再稼働の影響で、2040 年には 2017 年比で約 1 割程度の実質価格の低下が見込まれている。一方、米国、欧州では、2040 年の実質価格はほぼ 2017 年並みになるとされている。ここから、少なくとも WE02018 における家庭部門の電力価格の見立ては、図 10 に示した本稿での予測結果と大きく変わらないことがわかる。

電力価格の将来予測にあたっては、再生可能エネルギー発電のコスト低下、利用拡大の影響に加え、太陽光、風力といった変動再エネ電源の拡大による系統対策コストの負担をどのように考えるかが難問である。IEA による電気料金の想定が、火力発電の燃料コストをもとにした本稿の予測結果と概ね一致するという事は、少なくとも IEA の WE02018 では、再エネ拡大の影響は、電力価格の水準には中立的であると想定していることがわかる。

ところで今回の WE02018 では、電源別の発電コストに関して、従来の LCOE (Levelized Cost of Electricity) に加えて、VALCOE (Value Adjusted LCOE) が提示されている。火力発電の調整力 (ΔkW 価値)、容量 (kW 価値) の持つ付加価値をマイナスのコストとして評価することで、本来は、発電単体のコスト評価である LCOE を、再エネ拡大の系統影響を考慮して再評価しようと試みたものである。その結果によれば、VALCOE で評価した場合には、LCOE で評価した場合に比べて、再エネ価格は 1~2 割高くなる。これに、再エネ拡大に伴って系統全体で必要になるコストも含めると、再エネコストはさらに高くなることが予想される。同様の推計は、EIA/DOE でも試みられている⁹⁾。これらから、LCOE をベースとする IEA の NPS および本稿のモデル(2)式による電力価格の将来予測の結果については、過小評価の可能性があると注意が必要である。

(2) GDP に対するエネルギー支出額の比率の予測

図 11 は、以上の想定のもとで推計した 2040 年までの産業、民生各部門の「エネルギー支出額の GDP 比」である。運輸部門については、鉄道も含めた本来のモビリティ・サービ

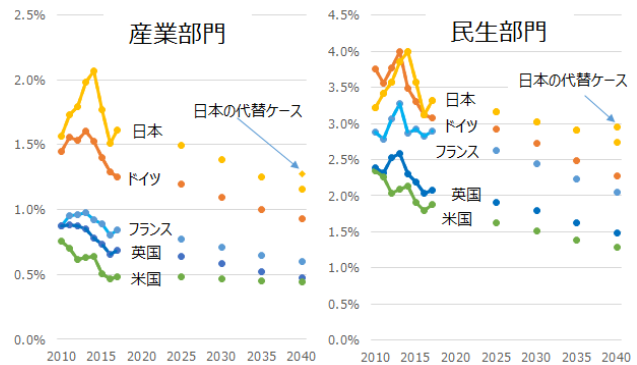


図 11 エネルギー支出額の対 GDP 比への影響

出所：IEA の各種想定のもとに著者推計

スに対する支出額の推計が困難であることなどから予測対象からは除外した。予測は、IEA の予測年である、2025 年から 2040 年までの 5 年刻みの 4 ポイントの値を示している。予測期間については、図 2 のフロー図にあるインフレ率をゼロと想定するので、分母の名目 GDP は実質 GDP に等しく、分子の支出額を算出するための国内エネルギー価格は実質国内価格に等しくなる。

図 11 から、産業部門、民生部門のいずれにおいても、予測期間においては、エネルギー支出額の GDP 比は低下傾向にあることが確認できる。これは、表 1 でみたように、IEA の WE02018 では、日本、EU の 2040 年までの産業、民生両部門の最終エネルギー消費は、省エネの継続によりいずれも減少し、米国についてもその伸びは低水準にとどまると予測されていることによる。加えて両部門の支出額の太宗を占める電気料金の価格が現状並みあるいは、現状より低下傾向にあることも GDP に対する支出額の比率が低下する要因となる。

また、産業部門、民生部門のいずれにおいても、GDP に対するエネルギー支出額の比は、予測期間を通して日本が最も高くなる。これを逆に捉えると、他の国では、国民経済に与えるエネルギー価格の影響に関わる政策の優先度が相対的に低下する可能性を示唆しているともいえる。今後の国際交渉においては、S+3E との整合性を掲げる日本のエネルギー・環境政策については、経済性の視点での日本の状況について、より丁寧な説明が必要になるともいえる。

(3) 日本の電力料金に関する代替ケース

図 11 には、「日本の代替ケース」として、仮に日本の電力価格水準が、米国、ドイツ、フランスと同様に実質ベースで 2017 年並みの水準を維持する場合の感度分析の結果も記載している。この場合には、産業、民生の両部門のエネルギー支出額の GDP に対する比率は、ともに 5 年前の水準ま

で上昇し、他の先進国との比率の格差はさらに拡大することがわかる。

日本の電源構成について、IEA の WE02018 の NPS では、2040 年時点の発電量ベースで原子力発電のシェア 21%を維持するとしている。仮に原子力発電所の新設・リプレイスが進まない場合には、この実現は困難になることが想定される。また、火力発電に占める石炭シェアは、2040 年時点で 45%と想定されているが、世界的には石炭火力の利用抑制の圧力が高まっている。仮に、原子力発電や石炭火力の利用が進まない場合には、図 10 で示したように日本の電力価格が現状よりも低下するシナリオが実現しない可能性があり、この場合には、代替ケースで示すようなエネルギー支出の負担が増加する。

3. おわりに

本稿では、エネルギー需給の将来像の議論で重要な S+3E のうち、「経済性」に関する指標として、部門別のエネルギー支出額合計と、これを各国の経済規模で基準化した「GDP に対するエネルギー支出額の比」の推計を試みた。日本の GDP 規模当たりのエネルギー支出負担を主要先進国と比較すると、将来にわたっても高いまま推移する可能性があることを確認した。

地球温暖化の国際交渉の場においては、S+3E の「経済性」の持続可能性についても、国際比較可能な平易な指標で議論していくことが重要となる。ここで試算した「GDP に対するエネルギー支出額の比」は、各国のエネルギー需給構造、産業構造の違いを反映した国際比較の指標としてだけでなく、それぞれの国における長期のエネルギー需給シナリオを「経済の持続可能性」の観点から評価する指標としても活用できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) IEA, World Energy Outlook 2018, IEA
- 2) 総務省, 『家計消費年報』, 各年版
- 3) EDMC, 『エネルギー・経済統計要覧』, 各年版
- 4) IEA, Energy Balance, 各年版
- 5) IEA, Energy Prices and Taxes, 各年版
- 6) Energiforsk, European District Heating Price Series, 2016
- 7) World Bank, World development Indicators
- 8) OECD, Transportation Data
- 9) EIA/DOE, Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019