



## 脱炭素社会への移行過程におけるわが国経済の課題：論点整理

日本銀行調査統計局

倉知 善行  
森島 元  
河田 皓史  
柴田 亮  
文谷 和磨  
茂木 仁

本稿の内容について、商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行調査統計局までご相談ください。  
転載・複製を行う場合は、出所を明記してください。

2022年4月

日本銀行調査統計局

倉知 善行\* 森島 元† 河田 皓史‡  
柴田 亮§ 文谷 和磨§ 茂木 仁§

## 脱炭素社会への移行過程におけるわが国経済の課題：論点整理\*\*

### ■要 旨■

気候変動問題への取り組みがグローバルに進むなか、わが国も2050年のカーボンニュートラル目標の下、2030年度に向けて、安定的な経済成長と両立する形でCO<sub>2</sub>排出量の大幅削減を目指すことを表明している。本稿では、脱炭素社会への移行過程においてわが国経済が直面する課題について、省エネルギー化や脱炭素化に関する事実整理、エネルギー価格に関する仮想シナリオ分析、産業界の取り組みを紹介しつつ、主要な論点を提示する。

GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量でみたわが国の脱炭素化の進展度合いは、1990年代初頭までは世界トップクラスであったが、その後は低成長下での省エネの停滞や東日本大震災後のエネルギー源の脱炭素化の遅れから、欧州先進国に追い越されている。こうした現状からも、脱炭素社会への秩序だった移行が容易な課題ではないことが改めて分かる。

とりわけわが国では、①再生可能エネルギーの普及過程での導入コストや既存の化石燃料の調達コストの動向次第で、移行期の経済成長に大きな影響が及び得る。その一方で、②脱炭素に向けた取り組みや新規投資は、技術革新や企業の支出性向の上昇、新たなグローバル市場の開拓等を通じ、わが国経済の生産性や成長率の改善につながる潜在的な可能性がある。②のプラス面の実現には、異なる部門間の円滑な資本・労働移動など、社会全体として構造変化への対応力を高めていくことも重要である。また、これらの取り組みにはかなり長い時間を要する可能性が高いことから、公的部門には、企業等による前向きな動きを息長くサポートしていくことが求められる。

\* 日本銀行調査統計局 <E-mail: yoshiyuki.kurachi@boj.or.jp >

† 日本銀行調査統計局 <E-mail: hajime.morishima@boj.or.jp >

‡ 日本銀行調査統計局 <E-mail: hiroschi.kawata@boj.or.jp >

§ 日本銀行調査統計局（柴田亮は現・名古屋支店）

\*\* 本稿の執筆に当たっては、青木浩介氏、亀田制作氏、窪田智之氏、須藤直氏、永沼早央梨氏、長野哲平氏、中村康治氏、福永一郎氏、武藤一郎氏、八木智之氏の各氏および日本銀行のスタッフから有益な助言やコメントを頂いた。記して感謝の意を表したい。ただし、残された誤りは全て筆者に帰する。なお、本稿の内容と意見は筆者に属するものであり、日本銀行の公式見解を示すものではない。

## [目 次]

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1. はじめに                              | 3  |
| 2. わが国の脱炭素の動向と2030年度に向けた移行計画の特徴      | 5  |
| (1) わが国の脱炭素動向                        | 5  |
| (2) 2030年度に向けた移行目標                   | 9  |
| 3. 脱炭素社会への秩序だった移行に向けて：論点整理           | 10 |
| (1) 脱炭素社会への移行とエネルギー価格                | 11 |
| (2) 脱炭素社会への移行と生産性                    | 18 |
| (3) 企業の取り組み                          | 21 |
| 4. おわりに                              | 27 |
| 補論 1. わが国における気候変動の物理的リスク             | 29 |
| 補論 2. 感染症下におけるCO <sub>2</sub> 排出量の動向 | 32 |

## 1. はじめに

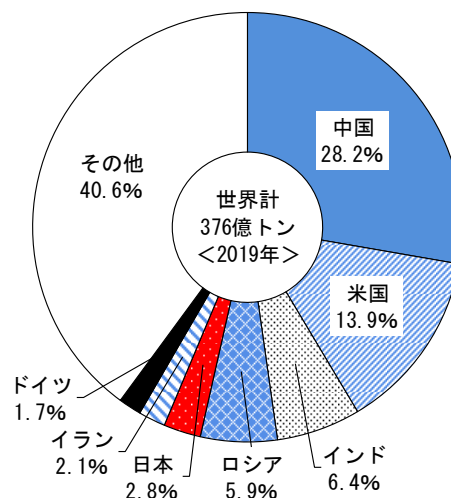
気候変動問題は、国内・海外を問わず、将来にわたって社会・経済に広範な影響を及ぼしうる課題である。また、同問題は経済学における「負の外部性」をもたらすことから、それへの対応として、温室効果ガス——とりわけその大部分を占めるCO<sub>2</sub>——の排出量を削減していくための取り組みが、パリ協定等の国際的な枠組みのもとで、グローバルに進展している（図表1）。こうした動きは、足もとロシア・ウクライナ情勢等を受けてグローバルにエネルギー価格が上昇する中でも、継続している<sup>1</sup>。わが国も、国際的な枠組みの中で、「2050年カーボンニュートラル実現」という長期的な温室効果ガス排出量の削減目標を表明している。また、それと整合的で野心的な目標として、「2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく」ことを掲げ、その達成に向けた各種の取り組みが官民で進められている。

（図表1）グローバルな温室効果ガス排出量削減の動向

（1）各国の温室効果ガス削減目標

|     | 2030年目標              |             |                           | カーボンニュートラル目標 |
|-----|----------------------|-------------|---------------------------|--------------|
|     | 温室効果ガス排出量            |             | GDP当たりCO <sub>2</sub> 排出量 |              |
|     | 2020年時点              | 2020年時点     |                           |              |
| 日本  | -46%<br>(2013年度比)    | -18%<br>(同) | —                         | 2050年        |
| 米国  | -50~-52%<br>(2005年比) | -22%<br>(同) | —                         | 2050年        |
| 英国  | -68%<br>(1990年比)     | -50%<br>(同) | —                         | 2050年        |
| EU  | -55%<br>(1990年比)     | -34%<br>(同) | —                         | 2050年        |
| 中国  | 減少に転化                | —           | -65%超<br>(2005年比)         | 2060年        |
| インド | —                    | —           | -33~-35%<br>(2005年比)      | 2070年        |

（2）世界の温室効果ガス排出量



（注）（1）の日本の目標は年度ベース。（2）は、エネルギー起源の温室効果ガス排出量。2019年の値。（出所）UNFCCC、IEA[2021a]等

こうした気候変動問題とその対応に向けた各種の取り組みは、様々な経路を通じて内外の経済・社会に影響を及ぼし得る。環境省[2020]は、気候変動問題が影響を及ぼす分野は、経済活動に限られず、自然環境や人々の健康等、多岐に亘ると指摘している。このうち、経済活動へ

<sup>1</sup> たとえば、欧州では、ロシアによるウクライナ侵攻以降も、脱炭素に向けた取り組みである省エネルギー化や再生可能エネルギーの拡大の重要性が指摘されている（European Commission[2022]）。

の影響に限ってみると、NGFS[2020b]や IMF[2020]など多くの先行研究は、気候変動の影響を大きく2つの波及経路に分けて整理している<sup>2</sup>。

第1の波及経路は、異常気象の増加などが経済活動に直接的な影響を及ぼす経路であり、いわゆる「物理的リスク (physical risk)」に対応する<sup>3</sup>。これはさらに、異常気象やそれに伴う災害増加が短期的に経済に影響を及ぼす「急性物理的リスク (acute physical risk)」と、気温の趨勢的な上昇が農業生産や労働生産性等に影響を及ぼす「慢性物理的リスク (chronic physical risk)」に大別される (Batten[2018]、Batten et al.[2020]、NGFS[2021]等)。第2の波及経路は、気候変動問題への対応過程における経済主体の行動変化などが経済に影響を及ぼす経路であり、いわゆる「移行リスク (transition risk)」に対応する。例えば、化石燃料の開発投資抑制に伴いエネルギー需給がひっ迫したり、内外の環境規制強化や環境意識の高まりへの対応などを背景に再生可能エネルギー関連のコストが十分に下がらないまま、その利用が拡大したりすれば、エネルギー価格の上昇により経済活動が下押されるかもしれない。また、カーボンプライシングの導入等によって、CO<sub>2</sub>排出量が多い産業が大きな影響を受ける可能性もある。一方、脱炭素に向けた技術革新や設備投資の増加が、マクロ経済全体でみた生産性向上につながるなど、脱炭素社会への移行が経済にプラスに働く経路も考えられる。

本稿では、これら気候変動が経済に及ぼし得る影響のうち、主に後者の経路、すなわち、脱炭素社会への移行過程において、わが国経済が直面すると考えられる課題やリスクに着目して、主要な論点を提示、考察する。これは、これまでわが国の脱炭素に向けた動きが欧州主要国対比で遅れてきたことも踏まえると、今後、2030年度に向けて、脱炭素社会への移行が急速に進む局面で、企業活動やマクロ経済に大きな影響を及ぼす可能性があり、その点が、中長期的な成長率や生産性の動向を議論する上で、重要な要素となると考えているためである。なお、前者の経路、物理的リスクについては、わが国でも海外同様、

---

<sup>2</sup> 経済学の分野でも気候変動問題に関する研究は進んでいる。詳しくは、日本銀行金融研究所の金研ニューズレター特別号「気候変動の経済学」シリーズ(日本銀行金融研究所[2021a,b,c,d,e]) およびそれらを取り纏めた有賀ほか[2022]を参照。

<sup>3</sup> 気候関連財務情報開示タスクフォース (TCFD: Task Force on Climate-related Financial Disclosures) においても、気候関連リスクは、「物理的リスク」と「移行リスク」に大別されている (TCFD[2017])。

異常気象の増加が経済の短期的な変動を増幅している可能性や、中長期的な気温上昇が労働生産性の上昇に対して抑制的に働いている可能性が示唆される（補論1参照）。

本稿の構成は、以下のとおりである。まず、2章では、わが国の脱炭素の歴史的推移と現状を1970年以降のマクロデータを用いて米欧主要国と比較したうえで、先行きの脱炭素社会への移行、とくに2030年度に向けた計画の特徴を整理する。次に3章では、脱炭素社会への移行が経済に及ぼし得る影響を、①エネルギー価格の変動を介した経路と、②生産性の変動を介した経路に分けたうえで、考察する。4章はまとめである。なお、補論では、上述した気候変動の物理的リスクに関連する簡単な分析のほか、新型コロナウイルス感染症下のCO<sub>2</sub>排出量について扱っている。

## 2. わが国の脱炭素の動向と2030年度に向けた移行計画の特徴

### (1) わが国の脱炭素動向

脱炭素社会への移行が経済に及ぼす影響について議論するにあたり、まず、わが国の脱炭素化の進展度合いについて、長い目でみた変化を振り返り、現在の立ち位置を確認する。この際、過去や海外との比較を容易にするため、各国・各時期の経済水準の違いを調整した「GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量」を用いる<sup>4</sup>。

「GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量」を評価するうえでは、これを「エネルギー消費原単位」と「CO<sub>2</sub>排出原単位」に分解することが有益である（図表2）<sup>5</sup>。ここでエネルギー消費原単位とは、1単位の実質GDPを生み出すのに用いるエネルギー量であり、「省エネルギー（以下、省エネ）」の指標と位置付けられる。例えば、工場でエネルギー効率の高い生産設備を導入すれば、エネルギー消費原単位は低下する。他方、CO<sub>2</sub>排出原単位は、1単位のエネルギーを生み出すのに排出するCO<sub>2</sub>を示しており、「エネルギー源の脱炭素度合い（炭素集約度）」の指標である。例えば、火力発電から再生可能エネルギーに電源が移

<sup>4</sup> わが国の温室効果ガス排出量の約9割をCO<sub>2</sub>が占めるため、本稿ではCO<sub>2</sub>排出量の削減について議論する。

<sup>5</sup> このように、CO<sub>2</sub>排出量の変化を省エネ要因とエネルギー源の脱炭素要因に分解して評価するアプローチ（Kaya [1990]）は、国際的にも用いられている（例えば、IPCC[2000, 2007]やIEA[2021a]）。

行すれば、CO<sub>2</sub>排出原単位は低下する。また、素材など生産に化石燃料由来の熱エネルギーを大量に用いている産業で、エネルギー源の電化・水素化が進むこともCO<sub>2</sub>排出原単位の低下につながる。

(図表2) GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量の分解



わが国の1970年以降のGDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量をみると、1990年頃にかけては、米欧の多くの国との対比でも、削減が順調に進んでいた。もっとも、1990年代に入ると削減ペースは停滞。2000年代以降は欧州各国に抜かれ、足もとではもともと同比率が高かった米国にも迫られていることが確認できる(図表3(1))<sup>6,7</sup>。

これを「エネルギー消費原単位」と「CO<sub>2</sub>排出原単位」に分けてみてみよう。まず、「エネルギー消費原単位」は、①1973年と1979年の2度のオイルショックを受けた官民での省エネ推進を背景に<sup>8</sup>、1990年頃まで改善傾向を辿ったが、②その後は、そうした取り組みの一服やバブル崩壊に伴う設備投資の抑制もあって、2000年代半ばにかけて改善が一服し、欧州各国の追従を許すこととなっている<sup>9</sup>。ただし、2000年代半ば以降は、エネルギー消費原単位は再度改善基調に転じており、足もと欧州各国と大きな差が生じているわけではない(図表3(2))。

他方、「CO<sub>2</sub>排出原単位」に目を向けると、1990年頃にかけて改善した後、2000年代半ばにかけて停滞した点はエネルギー消費原単位

<sup>6</sup> 新型コロナウイルス感染症流行後のわが国のCO<sub>2</sub>排出量の動向については補論2を参照。

<sup>7</sup> フランスが1980年代にかけてCO<sub>2</sub>排出量の対GDP比率、とりわけCO<sub>2</sub>排出原単位を大きく削減した背景には、原子力発電比率の上昇がある。

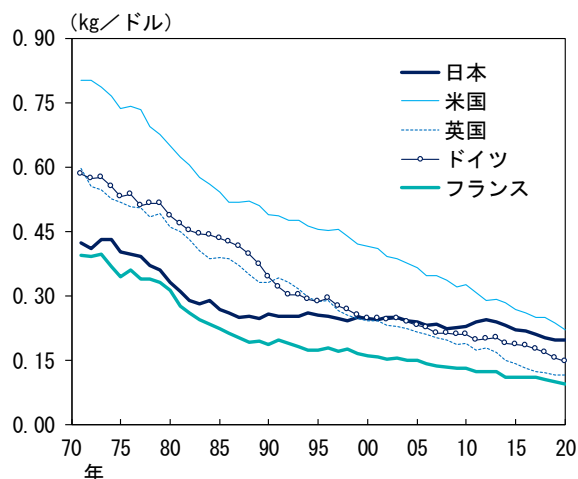
<sup>8</sup> たとえば、1979年には「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」(所謂「省エネ法」)が制定された。こうした経緯については、資源エネルギー庁[2018]を参照。

<sup>9</sup> この点、野村[2021]は、1990年頃にかけての省エネの進展の背景として、安価に利用可能な省エネ技術が、生産設備等に体化されることで、設備投資を通じて、間接的に導入されたと指摘している。

と同様である。さらに、2011年の東日本大震災以降は、原子力発電所の稼働停止とそれに伴う火力発電の増加を主因に水準を大幅に切り上げており、米欧各国対比で高止まりが目立つ（図表3（3））。

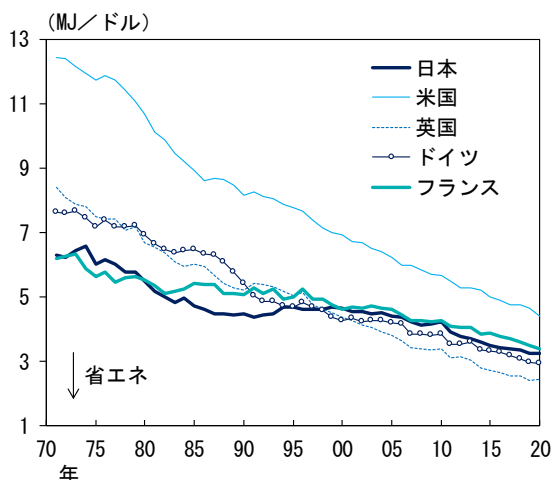
（図表3）長期的にみた脱炭素の動向

（1）CO<sub>2</sub>排出量（実質GDP対比）

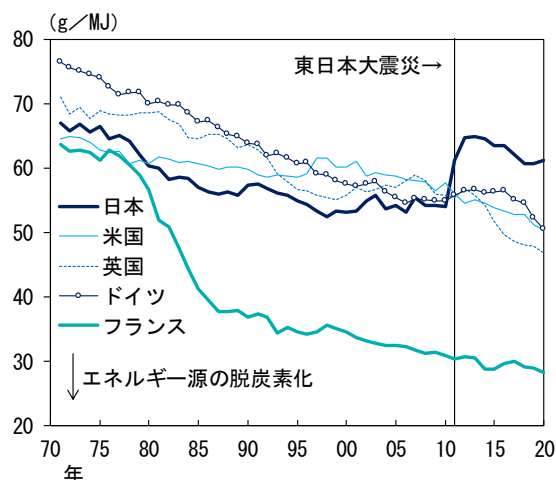


|      | (kg/ドル) |        |        |        |        |       |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
|      | 1970年代  | 1980年代 | 1990年代 | 2000年代 | 2010年代 | 2020年 |
| 日本   | 0.40    | 0.28   | 0.25   | 0.24   | 0.22   | 0.20  |
| 米国   | 0.75    | 0.56   | 0.46   | 0.37   | 0.28   | 0.22  |
| 英国   | 0.53    | 0.40   | 0.30   | 0.22   | 0.15   | 0.12  |
| ドイツ  | 0.55    | 0.43   | 0.29   | 0.23   | 0.19   | 0.15  |
| フランス | 0.36    | 0.24   | 0.18   | 0.15   | 0.12   | 0.10  |

（2）エネルギー消費原単位



（3）CO<sub>2</sub>排出原単位



（注）実質GDPは購買力平価（PPP）ベース。MJは、エネルギーの単位であるメガ・ジュールを示す。（出所）IEA[2021a]

エネルギー消費原単位の推移を部門別にみると（図表4）<sup>10</sup>、1970年代から1990年代にかけての改善は、主に産業部門、とりわけ製造業部門の動きで説明できる。これは、前述したように官民を挙げた省エネへの取り組みが進むもとの、個別企業の活動に伴うエネルギーの節約だけでなく、素材産業から加工産業への転換など、経済構造の変革が急速に進んだことが背景にあると考えられる（図表5（1））。一方、

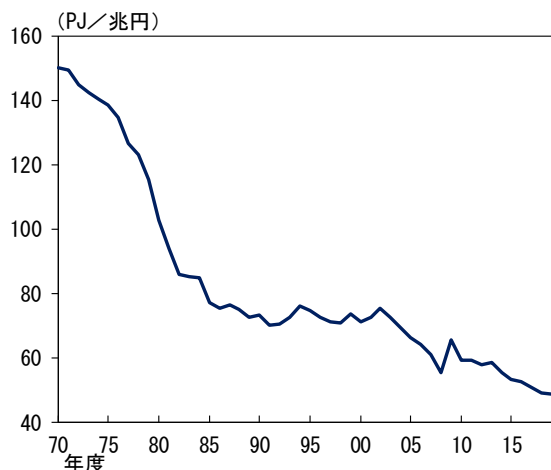
<sup>10</sup> 図表4、5に関する分析は、青木ほか[2022]に依る。



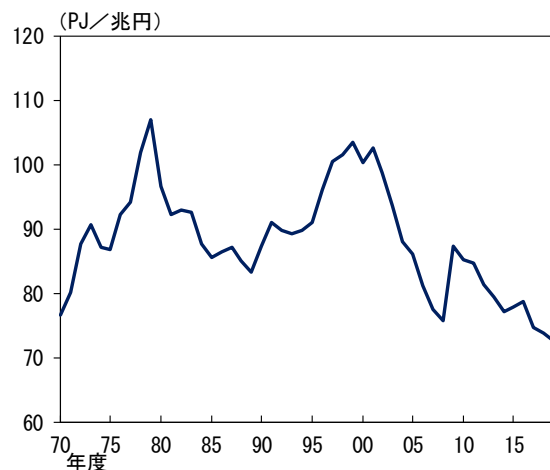
2000年代半ば以降のエネルギー消費原単位については、家計部門（ここでは自家用車の使用によるエネルギー消費を含む）の改善トレンドが目立っており（図表4）、いわゆるエコカーやエコ家電など、省エネ性能に優れる耐久消費財の登場と普及が大きな役割を果たしている（図表5（2））。

（図表4）部門別にみたエネルギー消費原単位

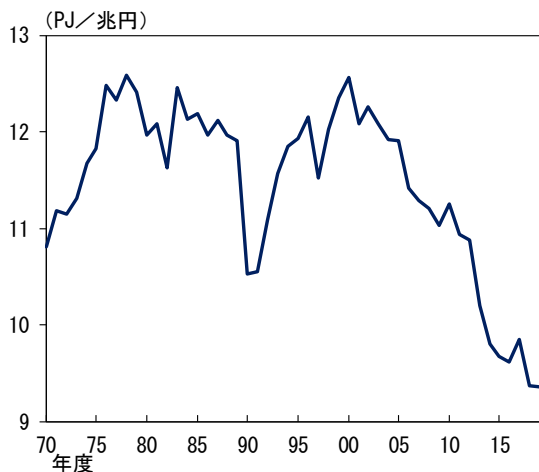
（1）製造業



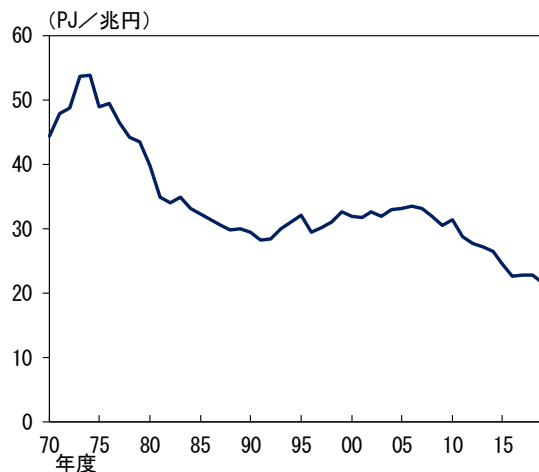
（2）運輸



（3）家計



（4）その他

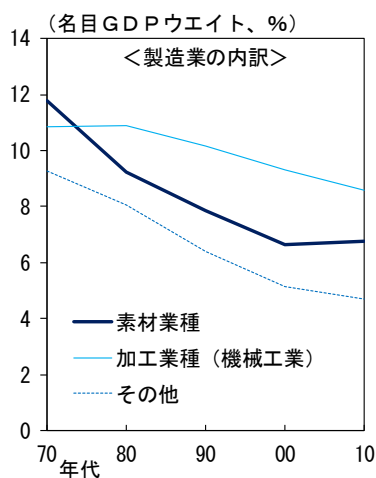
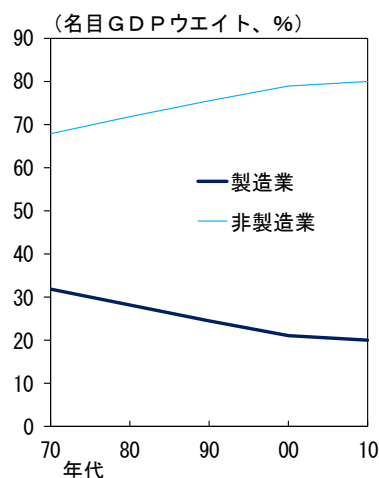


（注）運輸＝「運輸」－「自家用乗用車・家庭分」、家計＝「家庭」＋「自家用乗用車・家庭分」。カッコ内は「総合エネルギー統計」の分類。その他には、エネルギー転換等に伴うエネルギー消費を含まない。PJは、エネルギーの単位であるペタ・ジュールを示す。

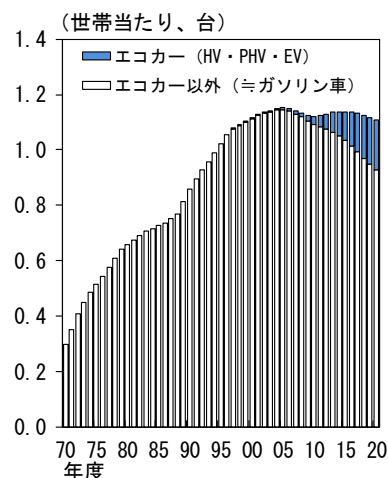
（出所）青木ほか[2022]

(図表5) エネルギー消費原単位改善の背景

(1) 産業構造の変化



(2) エコカーの普及



(出所) 青木ほか[2022]

(2) 2030年度に向けた移行目標

次に、こうした現状を踏まえ、わが国の2030年度に向けたCO<sub>2</sub>排出量の削減目標（2013年度対比で-45%削減）の特徴を整理する。

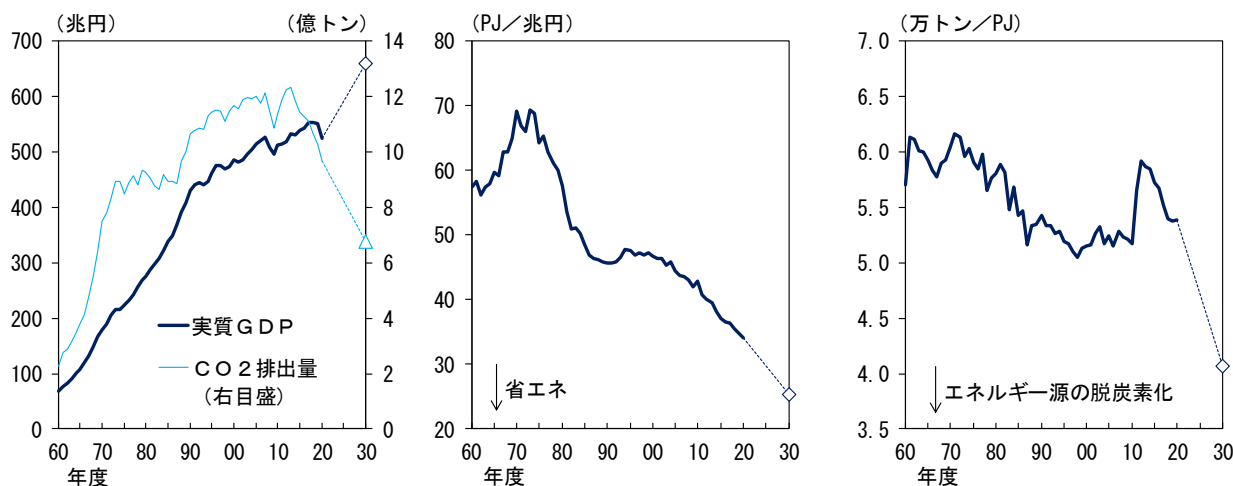
2030年度目標の達成に向けて策定された「第6次エネルギー基本計画（以下、基本計画）」<sup>11</sup>では、内閣府の「中長期の経済財政に関する試算」<sup>12</sup>における成長実現ケースを前提としており、2030年度の「GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量」は、2013年度対比で-56%削減することが目指されている（図表6（1））。この目標は、①徹底した省エネによる「エネルギー消費原単位」の改善継続に加え（図表6（2））、②原子力発電所の再稼働や再生可能エネルギーの拡大などによる「CO<sub>2</sub>排出原単位」の急ピッチな改善で実現される形である（図表6（3））。過去の実績推移との単純な比較だけで見ると、前者の省エネの継続は、容易な課題ではないが、2000年代半ば以降の改善トレンドから大きく外れている計画ではない。一方、後者のエネルギー源の脱炭素化のペースは、東日本大震災後の局面はもちろん、それ以前と比較しても類例をみない速度となっており、とりわけこの部分において、過去にない新たな取り組みが必要となっていることが分かる。

<sup>11</sup> 資源エネルギー庁[2021b,c]。

<sup>12</sup> 内閣府[2021]。

(図表6) 2030年度に向けたCO<sub>2</sub>排出量削減目標

(1) 実質GDPとCO<sub>2</sub>排出量 (2) エネルギー消費原単位 (3) CO<sub>2</sub>排出原単位



(注) CO<sub>2</sub>排出量はエネルギー起源のもの。PJは、エネルギーの単位であるペタ・ジュールを示す。2030年度は以下の値。

CO<sub>2</sub>排出量 : 環境省[2021b]の目標値

実質GDP : 内閣府[2021]の成長実現ケース

エネルギー消費量 : 資源エネルギー庁[2021b]の一次エネルギー供給量の計画値

(出所) 内閣府、国立環境研究所、資源エネルギー庁等

### 3. 脱炭素社会への秩序だった移行に向けて：論点整理

2章でみたように、安定した経済成長と両立した脱炭素社会への移行（その前段階である2030年度に向けた計画）の実現は、容易な課題ではない。CO<sub>2</sub>排出量の削減は——もちろん、物理的リスクの顕在化を防ぐために必要なものではあるが——それだけを取り出してみれば、経済成長への制約条件の強まりであり、脱炭素を進めねばならないという制約がない場合と比べれば、経済活動にかかるコストの増加などを通じて、経済成長を下押しする要因として働く。脱炭素社会への移行を秩序だって進めるためには、経済・社会全体の適切な取り組みにより、こうした制約を打ち返していかねばならない。本章では、脱炭素社会への移行がわが国経済にどのような制約を及ぼしうるか、またどのような経路を介してその制約を打ち返しうるか、2つの経路に着目して整理する。

1点目は、エネルギー価格の変動を介した経路である。前述のように、2030年度にかけての脱炭素の進展は、エネルギー源の脱炭素化、中でも再生可能エネルギーの拡大や化石燃料の中では炭素排出が少ない天然ガスの活用等によるところが大きい。これらのコスト次第では、

家計や企業が直面するエネルギー価格が大きく変動し、経済活動に強い影響を及ぼす可能性が考えられる。とくに、エネルギー価格が継続的に上昇する場合には、いわゆる資源国ではないわが国の経済成長にとって、大きなリスクとなる。

2点目は、脱炭素社会への移行が、中長期の生産性に及ぼす経路である。脱炭素化を進める過程で、CO<sub>2</sub>の排出削減効果と引き換えに経済効率の低い投資が増加すれば、一国全体でみた生産性の低下につながりうる。また、CO<sub>2</sub>排出量が多い産業の活動が急激に抑制されるなかで、産業間の資本・労働資源移動が円滑に進まない場合には、マクロ全体の経済活動を下押しすることもありうる。一方、わが国ではこれまで、旺盛なキャッシュフロー対比では企業の慎重な投資スタンスが継続してきただけに、脱炭素の取り組みをきっかけに省エネ等に向けた投資が活発化すれば、生産性を押し上げる可能性も期待できる。

## **(1) 脱炭素社会への移行とエネルギー価格**

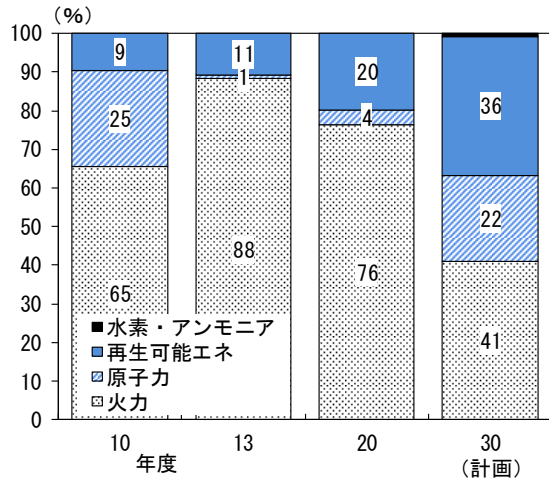
### **(基本計画のもとでの最終エネルギー価格の見通し)**

まず、エネルギー価格の変動を介した影響を考えるに当たって、基本計画における電源構成の確認から始める。

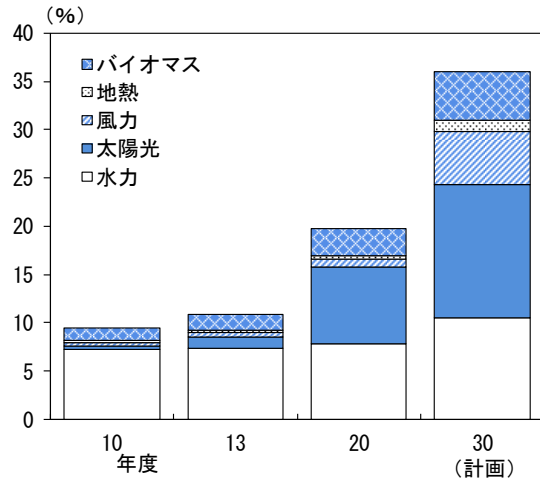
基本計画では、2030年度に向けた電源の脱炭素化は、原子力発電所が再稼働するもとで、再生可能エネルギーの拡大と火力発電の低炭素化(LNG<液化天然ガス>比率上昇)によって、実現する形となっている(図表7(1))。また、再生可能エネルギーの内訳をみると、太陽光・風力・バイオマスが拡大する形となっているが、当面の主軸としては太陽光発電が想定されている(図表7(2))。そのため、こうした電源構成の変化がエネルギー価格に及ぼす影響は、再生可能エネルギーの導入コストやLNGを中心とした化石燃料の価格見通しに依存する。この点、基本計画では、①太陽光発電などの発電コストが緩やかに低下していくほか(図表8)、②LNGなどの化石燃料価格が、国際機関による予測(IEA[2020])に沿って、安定して推移していくことを前提としている(図表9)。

(図表 7) エネルギー基本計画における電源構成

(1) 電源構成



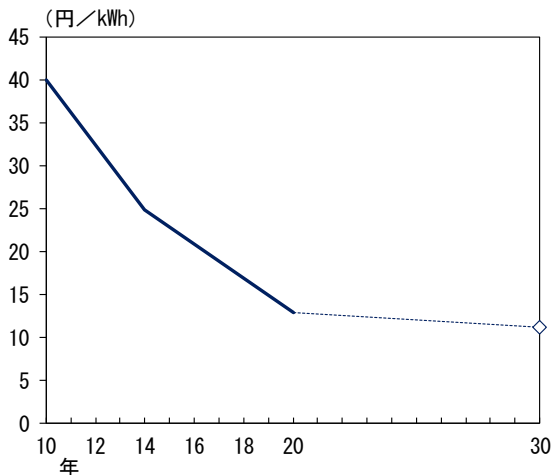
(2) 再生可能エネルギーの内訳



(注) 総発電量に占める割合。2030年度は資源エネルギー庁[2021b]における計画値。

(出所) 資源エネルギー庁

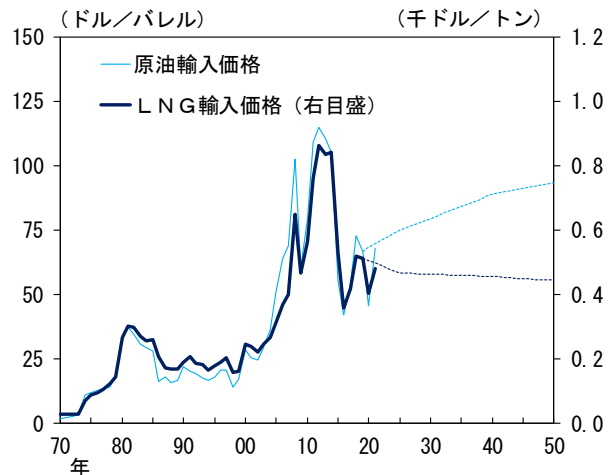
(図表 8) 太陽光発電の発電コスト



(注) 2030年の値は基本計画の前提。

(出所) 資源エネルギー庁

(図表 9) 原油・LNGの輸入価格



(注) 通関輸入単価ベース。点線は、IEA[2020]の公表済政策シナリオ (Stated Policies Scenario) に基づく基本計画の前提。

(出所) 資源エネルギー庁、財務省

これら基本計画に沿った諸前提（各種エネルギーの消費量、再生可能エネルギーの導入コスト、一次エネルギー価格等）から、企業や家計がエネルギーを消費する段階で直面する「最終エネルギー価格」の先行きを試算したのが図表 10 である。具体的には、石油・石炭製品や天然ガス、都市ガス、電力など約 20 種類のエネルギーの企業向けおよび家計向けの価格を、企業物価指数や消費者物価指数などから収集し、最終消費段階での使用量（前年度値）をウェイトとして加重平均する

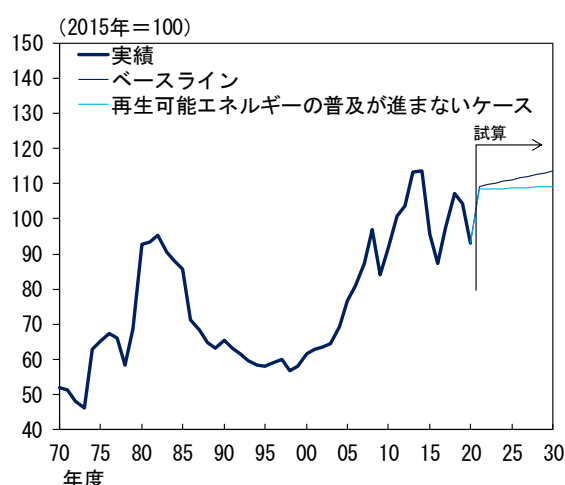
ことにより、最終需要段階におけるエネルギー価格を試算している。一定の前提のもとで算出した試算値であり幅を持つてみる必要があるが<sup>13</sup>、ベースラインの試算値は、2030年度にかけて上昇していくものの、その上昇ペースは年+0.4%程度と、再生可能エネルギーの普及が進まないケース（年+0.1%の上昇）と比べても、大して加速しない結果となっている。すなわち、基本計画の諸前提が成立する限り、再生可能エネルギーの導入を急速に進めたとしても、そのコストがエネルギー価格上昇を介して経済を下押しする程度は小さいと見込まれる。

(図表 10) 最終エネルギー価格 (実質)

(1) 試算の前提

| ベースライン               |   |
|----------------------|---|
| 化石燃料価格               | ・基本計画の前提どおり推移   |
| 再生可能エネルギー            | ・2030年度にかけて発電量の36% (3,360億kWh) まで拡大   |
| 再生可能エネルギーの普及が進まないケース |   |
| 化石燃料価格               | ・基本計画の前提どおり推移   |
| 再生可能エネルギー            | ・2030年度まで2020年度実績 (1,983億kWh) から不変<br>・発電量の不足分 (-1,377億kWh) は LNG火力発電で埋め合わせると仮定 |

(2) 試算値



(注) 最終エネルギー価格の試算方法は脚注 13 を参照。GDPデフレーターを用いて実質化。  
(出所) 資源エネルギー庁、総務省、内閣府、日本銀行等

**(エネルギー価格の不確実性：再生可能エネルギーの導入コストと化石燃料価格)**

もっとも、基本計画の諸前提が実際に成立するか否かについては不確実性が大きく、先行きのエネルギー価格は、上下両方向に大きく変動するリスクがある。この点については、既に有識者の間で多くの議論がなされているが、本稿では代表的な論点として下記の2つを取り

<sup>13</sup> 最終エネルギー価格の先行きについては、電力以外の品目の価格は、基本計画の燃料価格の前提から試算している。電力価格については、資源エネルギー庁[2021b]と同様に、1 kWh 当たりの発電コストや燃料費を用いて、火力発電等の燃料費と再生可能エネルギー発電の買取額の先行き変動額を推計し、それらを電気代の実績値に上乗せすることで試算を行った。なお、再生可能エネルギー発電については、現在、固定価格で買い取るFIT (Feed-in Tariff) から売電価格にプレミアムを上乗せするFIP (Feed-in Premium) への段階的移行が進められているが、今回の試算では資源エネルギー庁[2021b]と同様に全てFITによる買い取りを仮定している。

上げる<sup>14</sup>。

第1は、再生可能エネルギーの導入コストを巡る不確実性である。導入コストの上振れ要因として、太陽光発電については、諸外国対比で、すでに相当程度の土地活用が進んでいる中、適地の減少に伴い、建設コストが上昇する可能性がある（資源エネルギー庁[2021d]）（図表11）。また、天候等による発電量の変動や発電地の偏在が避けられない再生可能エネルギーの拡大に伴い、電力の安定供給のためのコストが急速に高まりうることも指摘されている（OECD/NEA[2018, 2019]）。具体的には、資源エネルギー庁[2021d]は、①火力発電の稼働率低下や停止・起動回数の増加に伴う費用や、②揚水式水力による蓄電費用、③安定供給用の発電設備を確保する費用、④基幹送電網の整備や接続に係る費用、⑤蓄電設備の導入費用などを挙げている。資源エネルギー庁[2021d]による①～③の費用試算や萩本・松尾[2021]による①および②を考慮した発電コストの試算値からは、再生可能エネルギーの導入・普及に伴い、電源システム全体で相応のコストが生じることが示唆される（図表12）。また、④の点についても、電力広域的運営推進機関[2021]は、2040年にかけての洋上風力発電の普及に伴い、数兆円規模の送電網の増強投資が必要となると試算している。これらの投資の拡大により、先行き、銅やニッケル、リチウムなどの資源需要は大幅に高まるとみられており（IEA[2021e]）、これらの価格が高騰すれば、再生可能エネルギーのコストをさらに上押しするリスクもある（図表13）<sup>15</sup>。一方、技術開発の進展などにより、導入コストが想定以上に低下する可能性もある。

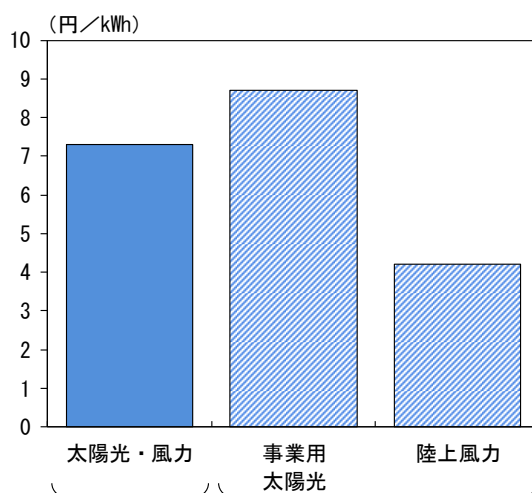
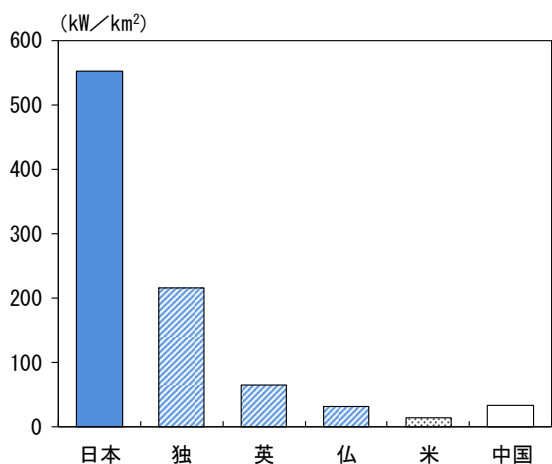
---

<sup>14</sup> このほか、原子力発電の利用可能性についても、論じられることが多い。

<sup>15</sup> 実際、既に最近の商品市況高騰によって、再生可能エネルギーの発電設備の価格に上昇圧力がかかっているとの指摘もある（IEA[2021f]）。



(図表 11) 平地当たり太陽光発電能力 (図表 12) 電源システムへの追加費用

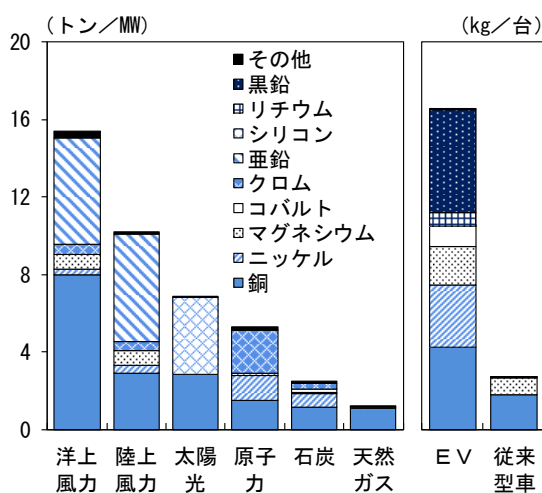


(注) 太陽光発電設備容量÷(国土面積－森林面積)。  
(出所) 経済産業省、IEA[2021c]

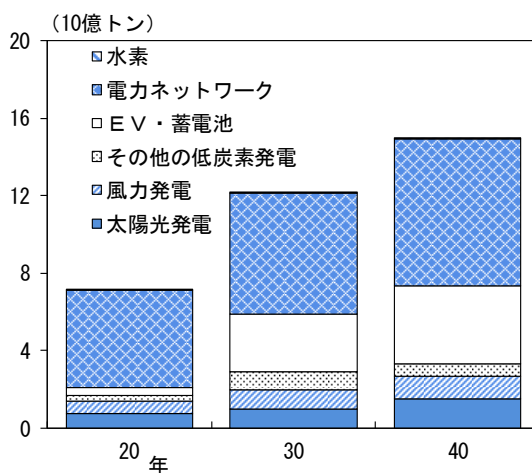
(注) 資源エネルギー庁[2021d]の試算値は、自然変動電源(太陽光発電および風力発電)の発電量が全体の20%の場合に生じる追加費用を、それらの発電量で割った値。萩本・松尾[2021]の試算値は、事業用太陽光発電や陸上風力発電が2030年の電源構成から限界的に増加した場合に生じる追加費用を発電量の増加幅で割った値。  
(出所) 資源エネルギー庁[2021d]、萩本・松尾[2021]

(図表 13) 再生可能エネルギー等の普及に伴う資源需要

(1) 金属資源の使用量



(2) 先行きの需要量



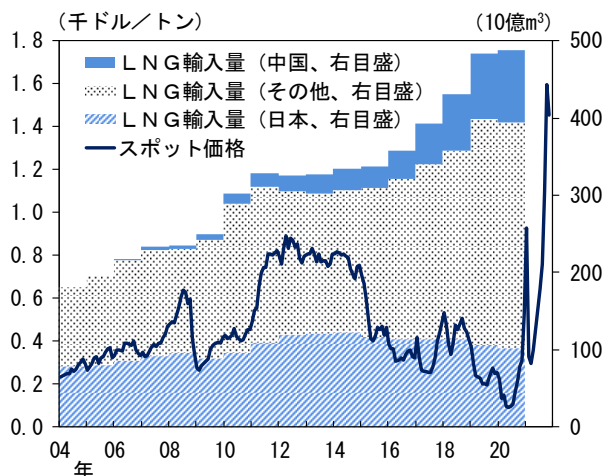
(注) (2) の2030年および2040年は、公表済政策シナリオ。  
(出所) IEA[2021e]

第2は、化石燃料価格の不確実性である。2030年度にかけて基本計画に沿って脱炭素化が進むとしても、エネルギー源として化石燃料を相応に用いる状況は続く。とくに、化石燃料の中でも相対的にCO<sub>2</sub>



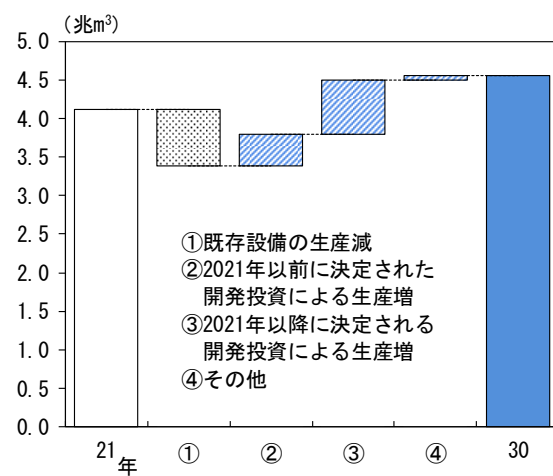
排出量を抑えられる天然ガスについては、グローバルに需要が増加するもとの、最近では地政学的リスクの高まりもあって、価格が高騰している（図表 14）。こうした化石燃料を巡るグローバルな需給の引き締まりの背景について、IMFのコモディティ室長である Pescatori らは、①感染症流行後の急速な景気回復、②天候要因といった需要面の動きに加え<sup>16</sup>、③供給拡大の遅れも作用していると整理している（Pescatori et al.[2021]）。このうち、供給量の伸び悩みの背景としては、感染症拡大に伴う人手不足等に加え、気候変動問題対応に起因する先行きの化石燃料需要の不確実性等が資源開発投資の抑制に作用していることが指摘されている（IEA[2022]）。他方、IEA[2021f]は、予想される天然ガス需要を満たすには、相当規模の新規の開発投資が必要であることを示している（図表 15）。これらを踏まえると、先行き、資源開発投資不足等から化石燃料の需給が逼迫し、その価格に引き続き相応に大きな上昇圧力がかかるリスクは否定できない。一方、グローバルに脱炭素化が予想以上に早く進めば、化石燃料価格が大幅に低下することもありうる。

（図表 14） LNG のスポット価格



（出所）IMF、BP[2021]

（図表 15）天然ガスの供給量



（出所）IEA[2021f]

## （エネルギー価格の変化と経済活動）

このように再生可能エネルギーの導入コストや化石燃料価格次第では、先行き最終エネルギー価格も大きく変動しうる。この点について定量感を掴むために、上下両方向で幅を持った仮想的なシナリオを構

<sup>16</sup> 2021 年は、グローバルに厳冬や酷暑に伴う冷暖房需要が増加したほか、年後半には欧州などにおける再生可能エネルギーの発電量の低下（風力発電量の想定外の減少）に伴う代替電源需要が増加したと指摘されている（IEA[2021d]）。

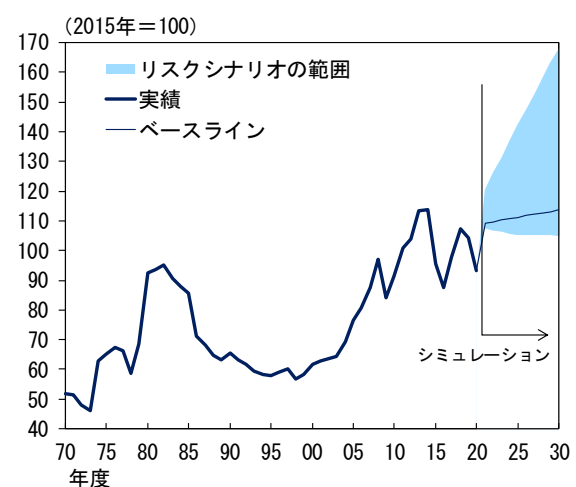
築したうえで、先行きの最終エネルギー価格に関する簡易的なリスク・シミュレーションを行った。具体的には、①上昇リスクシナリオとして、化石燃料価格が2000年代と同程度のペースで上昇し続けるほか、再生可能エネルギーの普及に追加的なコスト負担が生じるケースを、②下落リスクシナリオとして、グローバル経済の円滑なグリーン化などを映じて化石燃料、再生可能エネルギー価格ともに低下するケースを想定した（図表16（1））。

（図表16）最終エネルギー価格（実質）のシミュレーション

（1）シナリオ

| 上昇リスクシナリオ |  |
|-----------|--|
| 化石燃料価格    | ・2000～2008年と同じペースで上昇   |
| 再生可能エネルギー | ・電源システムに追加費用（資源エネルギー庁[2021d]の自然変動電源20%ケース）が生じ、電気代に転嫁               |
| 下落リスクシナリオ |  |
| 化石燃料価格    | ・IEA[2020]の持続可能な開発シナリオ（Sustainable Development Scenario）に沿って緩やかに低下 |
| 再生可能エネルギー | ・設備費や建設費が国際価格に収斂<br>・国際価格も持続可能な開発シナリオなどと整合的な形で下落                   |

（2）シミュレーション結果



（注）1. 最終エネルギー価格の試算方法は脚注13を参照。GDPデフレーターを用いて実質化。  
2. 発電コストの試算には、資源エネルギー庁[2021d]の「発電コストレビューシート」を用いた。  
（出所）資源エネルギー庁、資源エネルギー庁[2021d]、総務省、内閣府、日本銀行等

シミュレーション結果をみると、①の再生可能エネルギーのコストが大きめに上昇し、化石燃料価格も上昇を続けるシナリオでは、最終エネルギー価格は年+4%程度と、前述したベースラインのケースを大きく超えるペースで上昇する（図表16（2））。このエネルギー価格上昇の規模感を国全体でのエネルギーへの支払いの年間増加額に換算してみると、約20兆円と、2019年度の名目GDPの4%弱（法人企業統計でみた経常利益の3割）に達する<sup>17</sup>。また、こうしたエネルギー価格の継続的な上昇が経済に与える影響について、日本銀行調査統計局のハイブリッド型日本経済モデル（Q-JEM: Quarterly-Japanese Economic Model）を用いて試算すると<sup>18</sup>、上昇リスクシナリオにおいて、実質G

<sup>17</sup> エネルギーへの支払いの年間増加額の試算は、「2019年度最終エネルギー消費量」に「最終エネルギー価格の年間上昇幅」を乗じて求めたもの。基本計画では、2030年度にかけて省エネの進展に伴う最終エネルギー消費量の減少が見込まれており、先行きはエネルギーへの支払いの増加額は減少する形となる。

<sup>18</sup> Q-JEMの詳細については、Hirakata et al.[2019]を参照。

D P の水準は 2030 年度にあたる 10 年目において -1 % 台半ば程度押し下げられる結果となる。Q-JEM は、経済・物価の短中期予測をメインの目的として構成されており、エネルギー価格の継続的な上昇が経済構造に及ぼす影響を捉え切るには十分でない面がある。そのため、ここでの試算結果は相当の幅を持ってみる必要があるが、エネルギー価格が継続的に上昇すれば、実体経済に相応に大きな影響を及ぼす可能性は高いと考えられる。

## (2) 脱炭素社会への移行と生産性

### (脱炭素に向けた取り組みと生産性：過去の経験)

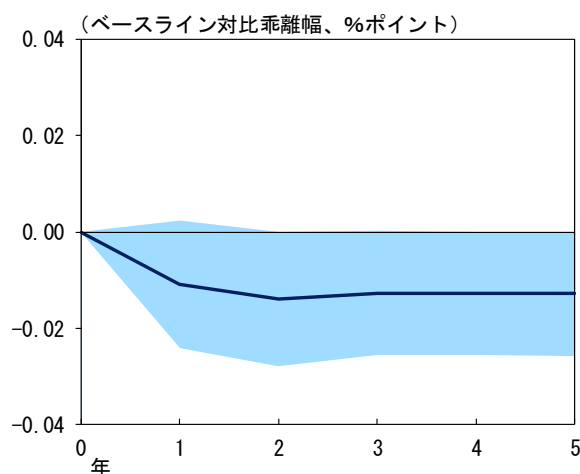
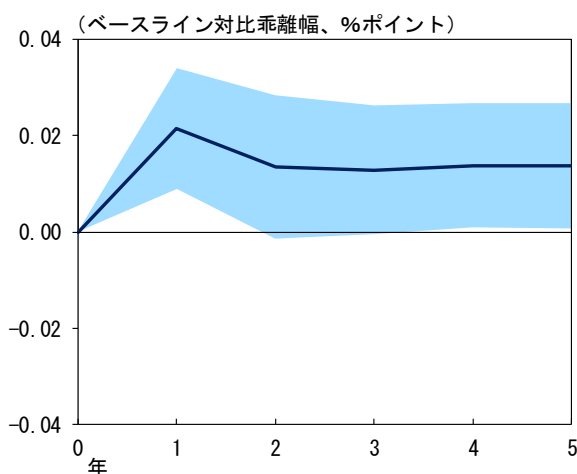
ここまでは、脱炭素社会への移行過程におけるわが国経済への影響のうち、エネルギー価格の変動を介した直接的な影響に焦点を当て、考察してきた。もっとも、外生条件の変化によるエネルギー源やその価格の大きな変動は、やや長い目で見れば、企業のエネルギー節約的な投資行動やエネルギーの投入コストを映じた産業構造のシフトといった、経済の内生的な変化を促すことで、間接的にも経済成長率や生産性上昇率に影響を及ぼしうる。

この点で一つ参考となるのが、2 章でもみた、オイルショック以降の「エネルギー消費原単位」の改善（省エネの徹底）と「CO<sub>2</sub> 排出原単位」の削減（原油から LNG 等へのエネルギー源の多様化）に取り組んできた経験である。もちろん、脱炭素社会への移行は、幅広い化石燃料からの脱却を促すなど、オイルショック時と異なる色彩も強い。こうした点に留意は必要であるが、過去、エネルギー消費原単位や CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善がわが国の中長期的な成長率や生産性に及ぼしてきた影響を確認することは有用と考えられる。こうした問題意識から、原単位削減がやや長い目でみた経済成長率に与える影響を捉えるための VAR モデルを 1955 年以降の長期時系列データを用いて推計した。結果をみると、経済成長率（潜在成長率）に対して、①エネルギー消費原単位の改善は有意にプラスに働く一方、②CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善は有意にマイナスに働くとの結果を得た（図表 17）。

(図表 17) 原単位改善の経済成長率への影響

(1) エネルギー消費原単位の改善

(2) CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善



**VARモデルの概要**

(変数) ①世界の実質GDP (前年比、%)、②日本の最終エネルギー価格 (実質、前年比、%)、③日本の潜在成長率 (%)、  
④日本のCO<sub>2</sub> 排出原単位 (前年比、%)、⑤日本のエネルギー消費原単位 (前年比、%)、  
⑥日本の需給ギャップ (前年差、%ポイント)、

(推計期間) 1955~2019年度、(ラグ次数) 1年

(注) 1. (1) は、日本のエネルギー消費原単位の-1%低下ショック、(2) は、日本のCO<sub>2</sub> 排出原単位の-1%低下ショックに対するインパルス応答。  
2. ショックの識別はモデルの概要に記載の順のCholesky分解による。シャドローはブートストラップ法による70%信頼区間(試行回数は1,000回)。

(出所) IMF、世界銀行、内閣府、環境省、資源エネルギー庁、総務省、日本銀行等

上記の推計結果は、過去数十年間にわたる省エネ、脱炭素化に向けた動きが日本経済の趨勢的な成長率に与えた影響を、シンプルな形で集約していると解釈することができる。もっとも、VARモデルは、長期間のうちに生じる経済構造の変化を精緻に反映することには不向きであるため、定量的な結果の評価や因果関係の特定には慎重でなければならない<sup>19</sup>。

上記の留意点を踏まえつつ、推計結果をもとに考察を行うと、第1に、エネルギー消費原単位の改善が経済成長率の改善につながる点については、過去に行われた省エネ目的の投資のなかに、経済効率性の改善にもつながるものが多かったことを反映している可能性がある。この点は、「適切に設計された環境規制は技術革新を促進し、生産性を高め得る」という「ポーター仮説」と整合的である (Porter[1991])

<sup>19</sup> また、本稿ではエネルギー消費原単位やCO<sub>2</sub> 排出原単位のショックの識別にCholesky分解を用いたが、データ制約等からシンプルな変数構成のモデルであるため、ショックの識別の精度についても留意が必要である。

20。また、国際機関による文献をみても、気候変動対応に向けた投資拡大が経済にプラスに働くことを強調するものが多い（IMF[2020]、IEA[2021b]、European Commission[2020]）。

もっとも、過去の局面を仔細に振り返ると、エネルギー価格の上昇局面において、常に省エネ投資がはっきりと増加したわけではなく、また、省エネ投資の増加が常にマクロの生産性や成長率の改善につながったわけではない点には注意を要する。Fukunaga and Osada[2009]は、①オイルショック後のわが国は、「エネルギー節約的」な技術革新を遂げ、それが生産性（TFP成長率）の押し上げにもつながったとする一方、②2000年代のエネルギー価格上昇局面では、推計期間の2008年までの間にエネルギー節約的な技術革新は生じていないことも指摘している（図表18）。また、①のケースにおいても、原単位改善につながるエネルギー節約的な技術革新の影響が明確に高まったのは1980年代、とくにその後半であり、原油価格が高騰した1970年代から5～10年程度の時間を要している。この点、野村[2021]は、オイルショック後、化学・鉄鋼などのエネルギー多消費型産業で省エネと生産性上昇が進んだ背景の一つとして、当時はコスト合理的な省エネ技術が存在していたことを指摘したうえで、こうしたケースはむしろ例外的な事象であり、戦後わが国経済の持続的なエネルギー生産性の改善は、特定産業の省エネ投資ではなく経済全体の効率性向上（TFP成長率の上昇）の結果であると強調している<sup>21</sup>。

第2に、CO<sub>2</sub>排出原単位の削減が、少なくとも過去は、生産性にマイナスの影響を及ぼしてきた点については、過去のCO<sub>2</sub>排出削減投資は、規制対応やエネルギー源の多様化のために支払われたコストとしての性格が強く、そうした経済効率性が十分ではない投資の拡大が長い目で見た生産性、成長率にマイナスの影響を及ぼした可能性がある。この点、現状では、電源の脱炭素化に伴う投資は、生産性が低

---

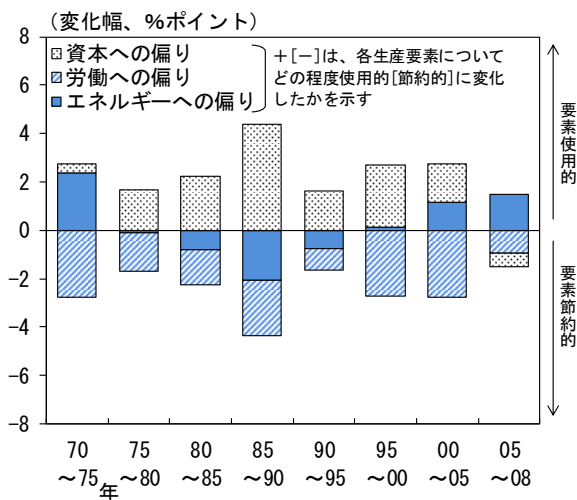
<sup>20</sup> ただし、環境規制と生産性との関係については、現時点でコンセンサスは得られておらず、一段の研究が必要である。ポーター仮説に関する実証分析のサーベイは、Amber et al.[2013]に詳しい。この中では、環境規制が関連分野の研究開発などのイノベーション投資を増加させるといった「『弱い』ポーター仮説」は概ね支持されるものの、生産性に及ぼす影響については正負双方の結果が存在することが示されている。

<sup>21</sup> 野村は、2010年代前半のイタリアにおいて、再生可能エネルギーの拡大に、天然ガス価格高騰も加わって、電気代が急上昇するもとの、資源配分が非効率化してTFP成長率が押し下げられたとも指摘している（野村[2015]）。

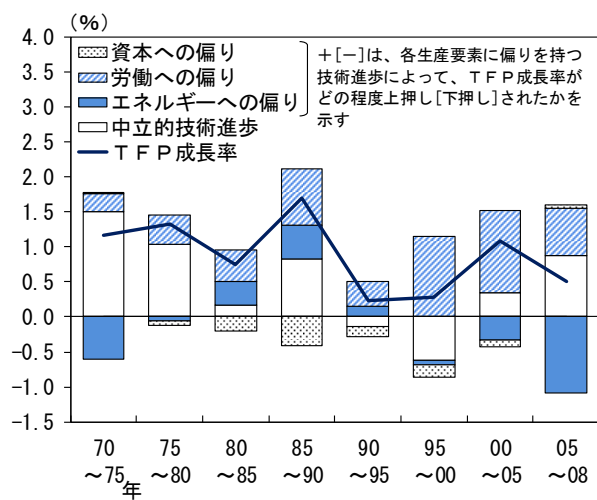
いものも多いとの指摘もされている（野村[2021]）。先行きも同様に、脱炭素化に向けた取り組みが生産性にマイナスの影響を及ぼすことを避けるためには、再生可能エネルギーの導入コストを着実に引き下げていくほか、後述する素材産業等におけるエネルギー源の変更に際しても、技術開発等を通じてコストを抑えつつ進めていくことが重要となる。また、そうした脱炭素関連の技術進歩が、取り組みが相対的に遅れている新興国を含む世界市場の新規開拓につながる場合や、環境への意識を高めている消費者からの高い評価につながる場合には、製品・サービスの高付加価値化等を通じて、生産性にプラスに働き得る。

（図表 18）エネルギー節約的な技術革新

（1）進展した技術進歩の特性



（2）TFP成長率



（出所）Fukunaga and Osada[2009]

（3）企業の取り組み

以上の考察を踏まえ、脱炭素社会への移行に向けたわが国の主要企業の取り組みについても、ポイントを整理したい。

まず、現時点でCO<sub>2</sub>排出量（電気・熱配分前ベース）が相対的に多い業種を確認すると<sup>22</sup>、業種・製品特性等を反映して①電力、②素材（鉄鋼、窯業・土石、化学・石油石炭）、③運輸（自動車、鋼船などの輸送機械を使用する旅客・貨物輸送など<sup>23</sup>）の3部門のウエイトが高く、全体の約80%を占めている（図表19（1））。さらに、企業別にCO<sub>2</sub>排出量の累積分布をみると、集計企業数約600社のうち、上位数十社

<sup>22</sup> 発電や熱の生産に伴う排出量をその電力や熱の生産者からの排出として計算したベース。

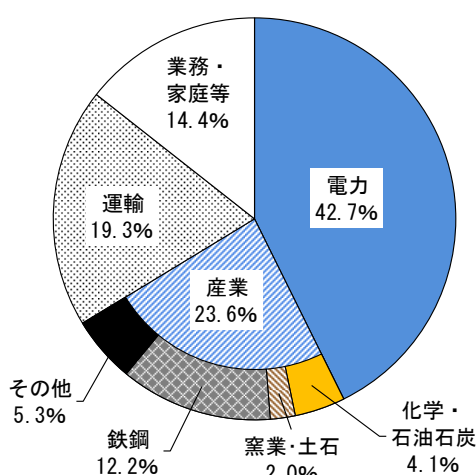
<sup>23</sup> 旅客輸送には家計による自家用車の利用を含む。



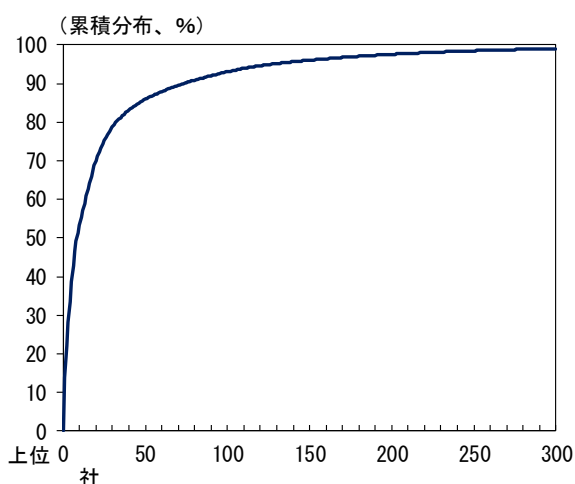
で排出量全体の8割超を占める（図表19（2））。言うまでもなく脱炭素化は、様々な企業や消費者を含む社会全体で実現していくべき課題であるが、グローバルにCO<sub>2</sub>排出量の削減が進む環境下では、これら特定の業種やその主要企業により影響が及びやすい。その意味では、脱炭素社会への移行は、（前述したエネルギー価格の変動のような「マクロショック」だけでなく）「部門ショック」としての色彩も有している。

（図表19）業種別・企業別にみたCO<sub>2</sub>排出量

（1）業種別排出量の構成比



（2）企業別排出量の累積分布



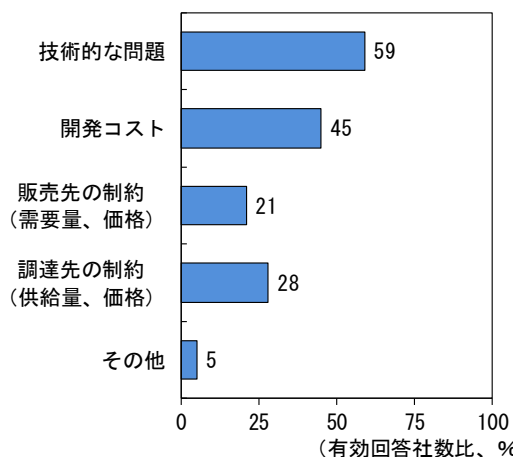
（注）1. 発電や熱の生産に伴う排出量をその電力や熱の生産者からの排出として計算した電気・熱配分前ベース。2019年度の値。

2. （2）は、「CSR企業総覧（ESG編）」に基づく。集計企業数は約600社（電力会社を含む）。（出所）国立環境研究所、資源エネルギー庁、東洋経済新報社「CSR企業総覧（ESG編）」

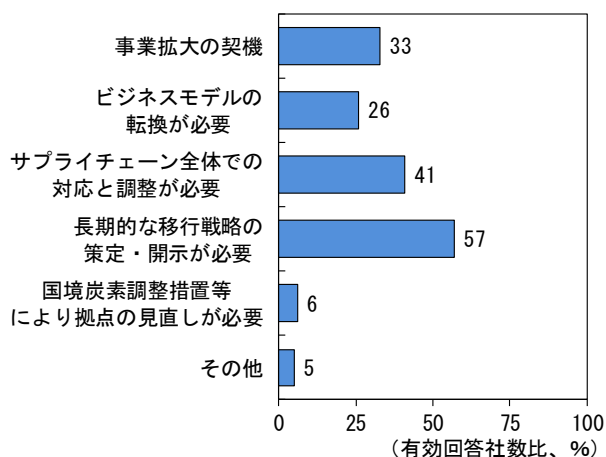
これら脱炭素社会への移行でより大きな影響を被る可能性がある企業は、既に脱炭素戦略を導入・加速させている。既にみたように「電力」では脱炭素に向けた官民の動きが進んでいる。また、「素材」でも、エネルギー源の石油・石炭等から電力や水素等への転化や、CCUS（CO<sub>2</sub>の回収・有効利用・貯留）技術の採用が展望されている。「運輸」部門でも、輸送手段の電動化などの動きが進展している。もっとも、各種のアンケート調査をみると、これら技術の開発・採用は課題も抱えており、長期的な移行戦略の策定の必要性が強く意識されている（図表20）。各社の脱炭素に向けた経営計画をみても、業種間ではつきはあるが、脱炭素に向けた投資が本格化し、原単位が大きく改善する時期をかなり先に設定する向きも少なくない（図表21）。

(図表 20) 内外での脱炭素化のもとでの課題と影響

(1) 課題



(2) 事業への影響



(注) (1) は2つまで、(2) は3つまでの複数回答。調査対象は大企業。

(出所) 日本政策投資銀行[2021a]

(図表 21) 脱炭素化に向けた投資イメージ

|      |            | 目先2~3年                    | ~2030年              | ~2050年        |
|------|------------|---------------------------|---------------------|---------------|
| 素材部門 | 鉄鋼         | 水素還元製鉄など脱炭素化技術の研究開発       |                     | 水素還元実装化       |
|      | 化学<br>窯業土石 | CCUS等の革新技術の研究開発           |                     | CCUS等の実装化     |
|      | 石油石炭       | 再エネ事業の強化等を通じた業態転換に向けたM&A等 |                     | 次世代エネルギー供給網整備 |
| 運輸部門 | 自動車        | 車載向け電池投資(含む研究開発)          |                     |               |
|      | 海運         | LNG船の導入                   | 水素・アンモニア燃料実用化等の研究開発 | 水素船等の導入       |

(注) シャドローは設備投資、それ以外は研究開発投資等。CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage、CO<sub>2</sub>回収・有効利用・貯留)とは、排出されたCO<sub>2</sub>を分離・回収して、地中に貯留・圧入、あるいは燃料や化学製品の生産等に再利用すること。

(出所) 各社公表資料等

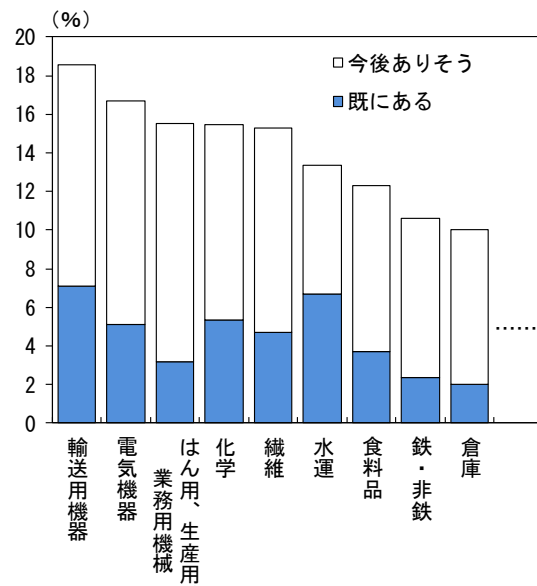
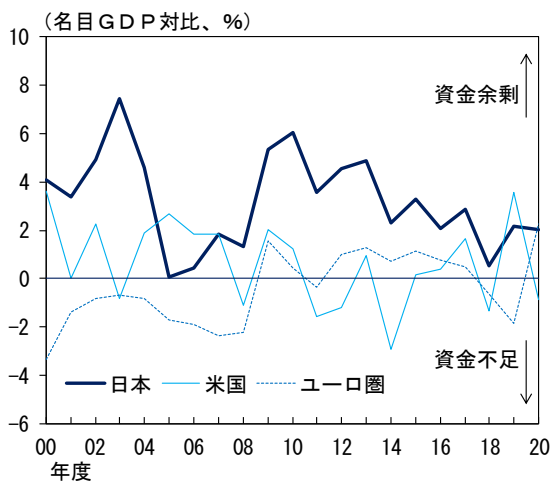
もちろん、企業の脱炭素に向けた取り組みは緒に就いたばかりであり、現時点で確定的なことを言うことは難しい。そのうえで、これら最近の動向も踏まえると、今後、企業の取り組みが経済全体に及ぼす影響をみていくうえでは、以下の3点がポイントとなると考えられる。

第1のポイントは、企業の脱炭素に向けた取り組みが、設備投資や研究開発投資、人的資本投資など支出活動全般の活発化を促していくかという点である。わが国の企業部門は、長期にわたり旺盛なキャッ



シュフロー対比では慎重な支出スタンスを続けてきたことから、欧米企業にはみられない恒常的な貯蓄超過主体となっているが(図表 22)、気候変動問題への取り組みが、こうしたスタンスを変化させるきっかけになる可能性がある。実際、前述のアンケートでも、気候変動への取り組みを事業拡大の契機と捉える先も多い(前掲図表 20(2))。また、上述の脱炭素の取り組みを進める主要企業の動きが、より幅広い先に波及していくかも注目される。この点、コーポレートガバナンスコードの改訂もあって、国内外の大企業を起点にサプライチェーン全体で脱炭素を進める動きも強まっており<sup>24</sup>、既に中小企業でも脱炭素対応の要請を受ける先が増加してきている(図表 23)。

(図表 22) 企業部門の貯蓄投資差額 (図表 23) サプライチェーンを通じた脱炭素要請



(注) 資金循環統計の資金過不足。日本・米国は民間非金融法人企業、ユーロ圏は非金融法人企業。  
(出所) ECB、FRB、日本銀行等

(注) 設問は「販売先からの脱炭素対応の要請の有無」。複数回答可。調査対象は中小企業。  
(出所) 商工中金[2021]

第2のポイントは、企業の取り組みがCO<sub>2</sub>排出量の削減や生産性の上昇に結実するタイミングである。現時点での企業の見方を窺う限

<sup>24</sup> 例えば、東京証券取引所は、2021年6月にコーポレートガバナンスコードを改訂し、プライム市場上場会社に、気候変動にかかるリスク等の開示の充実を求めている。こうしたもとで、①燃料の燃焼や工業プロセスを通じた事業者自らによる温室効果ガスの直接排出 (Scope1)、②他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出 (Scope2)、③事業者の活動に関連する他社の排出 (Scope3) を合計したサプライチェーン全体での温室効果ガス排出量を把握する動きが広がっている。また、海外のIT関連企業の中には早期のサプライチェーン全体での脱炭素化の実現を目標として掲げている先もみられ、その影響は、わが国の電子部品関連メーカー等にも及んできている。

り、企業の取り組みがそうした点で実を結ぶには、相応の時間を要するとみられる。この点、今次局面の脱炭素対応という分野では、現時点では存在しない極めて革新的な技術が求められるため、オイルショック時等と比較しても、より長期にわたる粘り強い取り組みが求められるとの声も少なくない（日本鉄鋼連盟[2021]、石油連盟[2021]、電気事業連合会[2021]）。技術的な解決等が展望できる前の段階で大幅なCO<sub>2</sub>排出量の削減を迫られた場合、CO<sub>2</sub>排出量の多い産業が急激な縮小を迫られるリスクもある<sup>25</sup>。

もっとも、技術開発面においては、わが国の脱炭素社会への取り組みが世界的に遅れているわけではない。例えば、脱炭素関連で、高い技術を有しているわが国の企業は決して少なくない（図表 24）<sup>26</sup>。また、抜本的な脱炭素対応を求められている素材業種の中には、従来からエネルギー効率面などで優れた先も多く（図表 25）、これらの先が諸外国に先んじて脱炭素対応を進めることができれば、先行き世界的なプレゼンスを高め、新興国を含めたグローバル市場で新たなシェアを獲得していくことも可能と考えられる。これらを踏まえると、やや長い目で見て、脱炭素社会への移行が生産性や経済成長率の上昇につながっていく可能性は十分にあると考えられる。

第3のポイントは、前述のとおり産業構造が大きく変化する局面において、脱炭素の動きから相対的に大きな影響を被る産業で生じる調整圧力を経済全体で円滑に吸収していくための資本や労働の再配分が、どれだけ迅速かつ効率的に進むかという点である。この点、わが国では、労働市場の流動性の低さや企業部門の新陳代謝の遅れに伴う資源配分の非効率性が繰り返し指摘されてきた（大谷・白塚・中久木[2004]、深尾・金[2009]）。例えば、わが国の労働市場（正規雇用分野）については、長期雇用を前提とした慣行が依然根強く、とりわけ中高年層において流動性が乏しい（尾崎・玄田[2020]、八木ほか[2022]）<sup>27</sup>。また、

---

<sup>25</sup> この点、日本政策投資銀行[2022]でも、脱炭素関連技術の実装時期やコスト、移行過程における産業構造の変化について、わが国の代表的な企業の声として同様の点を紹介している。

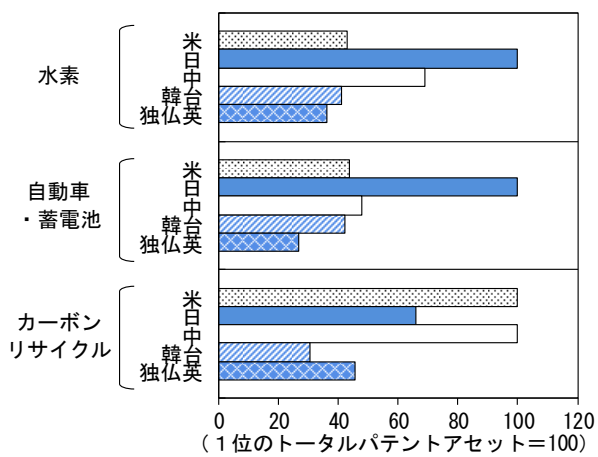
<sup>26</sup> 詳細は、資源エネルギー庁[2021a]を参照。

<sup>27</sup> ただし、労働市場の流動性と経済成長の関係は単純な正の関係ではない（山本・黒田[2016]）。近年のわが国の生産性動向について議論した八木ほか[2022]では、労働市場の流動化について、適切な資源再配分と人的資本の蓄積を伴うことの重要性を指摘しており、それに向けてリカレント教育の果たす役割を説いている。

わが国では企業の退出行動が米国対比不活発であり、低生産性企業が市場に滞留し、資本や労働が固定化されやすいことも長年にわたって指摘されている（Caballero et al.[2008]、Nakamura et al.[2019]）（図表 26）<sup>28</sup>。

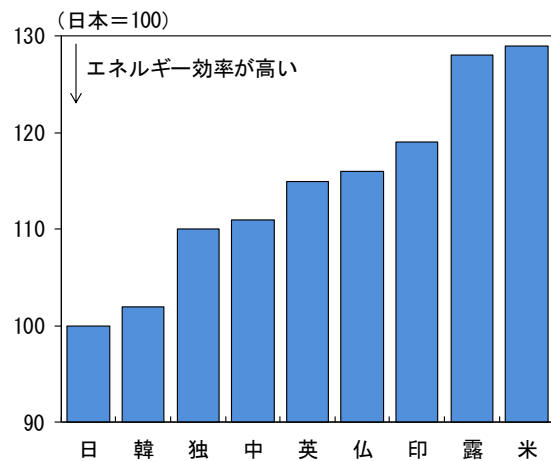
こうした側面からみると、脱炭素社会への移行を社会全体として円滑に進めていくためには、「構造変化への対応の鈍さ」というわが国経済が抱える古くて新しい課題に改めて向き合うことも極めて重要であると考えられる<sup>29</sup>。

（図表 24）脱炭素関連技術の知的財産競争力



（注）2010～2019年に日本、米国、中国、韓国、台湾、英国、ドイツ、フランスで出願された特許の引用数、閲覧数、排他力、残存年数等から算出された知的財産の競争力を表す指標。  
（出所）資源エネルギー庁[2021a]

（図表 25）鉄鋼のエネルギー消費原単位



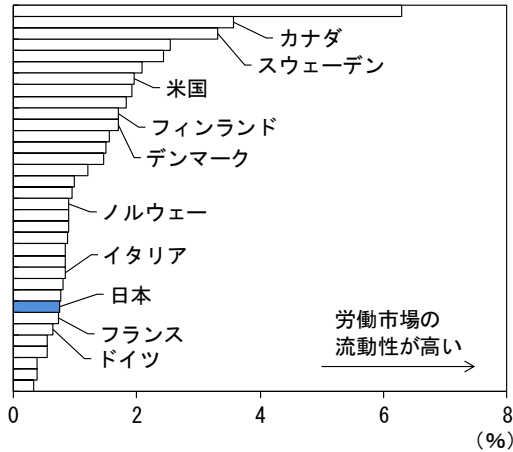
（注）転炉鋼の1単位生産当たりの一次エネルギー消費量。2019年時点。  
（出所）地球環境産業技術研究機構

<sup>28</sup> わが国企業の新陳代謝の近年の動向とわが国経済の生産性への含意については、八木ほか[2022]による整理が詳しい。

<sup>29</sup> 2021年11月に東京大学金融教育研究センターと日本銀行調査統計局が共催したコンファランス「ウィズコロナ・ポストコロナの日本経済」においても、ポストコロナに向けて成長力を高めていくためには、デジタル化の急速な進展や気候変動問題への対応の必要性の高まりという変化に社会全体として対応していく必要性が指摘されている（日本銀行調査統計局[2022]）。

(図表 26) 労働市場と企業の新陳代謝

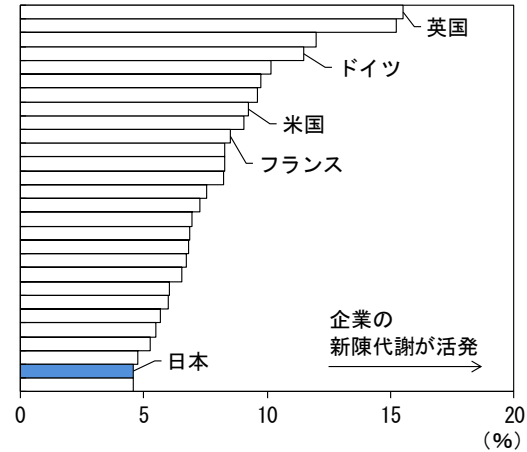
(1) 労働市場の流動性



(注) 短期失業（失業期間1か月未満）への流入者数と流出者数の合計を生産年齢人口で除して算出。OECD加盟国の2019年の値。

(出所) OECD

(2) 企業の開業率



(注) 新規登録企業数を総登録企業数で除して算出。OECD加盟国の2019年の値。なお、日本は法務省「登記統計」および国税庁「会社標本調査」、米国はU.S. Census Bureau「The Business Dynamics Statistics」、それ以外の国は、World Bank「Entrepreneurship Database」から算出。

(出所) World Bank、U.S. Census Bureau、国税庁、法務省

4. おわりに

本稿では、脱炭素社会への移行過程においてわが国経済が直面する課題について、経済の省エネルギー化やエネルギー源の脱炭素化に関する事実整理、エネルギー価格に関する仮想シナリオ分析、産業界の取り組みを紹介しつつ、主要な論点を提示した。

わが国の2030年度に向けた温室効果ガス削減目標は、省エネの着実な持続に加え、電源を中心としたエネルギー源の脱炭素化を急ピッチで進めることを前提としており、その達成は容易ではない。とりわけ、再生可能エネルギー普及時のコストや既存の化石燃料の調達コストの動向次第で、移行期の経済成長に大きな影響が及び得る点に留意が必要である。また、こうした移行を、安定的な経済成長と両立して秩序だてて進めていくためには、企業の前向きな取り組みや投資を、新規市場の開拓や円滑な部門間資源移動を通じて、経済全体の生産性や経済成長率の向上につなげていくことが必要と考えられる。こうした脱炭素を進めるための取り組みはかなりの時間を要する可能性が高く、公的部門においては、企業等による前向きの動きを息長くサポートしていくことが求められる。

最後に、本稿では取り上げなかった、気候変動問題が物価変動に及ぼす影響についても若干触れておきたい。NGFS[2020a]などが指摘するように、気候変動問題は、物理的リスク・移行リスクの双方の面から、様々な波及経路を介して、物価に影響を及ぼしうる。物理的リスクの面では、異常気象の増加等に起因する食料品価格の上昇・変動幅拡大などを指摘できる。移行リスクの面では、たとえば、供給サイドの投資抑制や脱炭素関連の需要増加トレンド予想から、化石燃料や一部の鉱物価格が高騰し（いわゆる「Greenflation」）、一般物価へのコストプッシュ圧力が強まる経路が考えられる。また、カーボンプライシングの導入も<sup>30</sup>、制度設計やそこから得られる税収の用途次第ではあるが、物価を上押しする方向に作用しうる。一方、気候変動対応やそれに伴うコスト増大の結果、経済活動が大きく下押しされれば、マクロ的な需給ギャップの悪化等を通じて、一般物価に下押し圧力がかかる可能性も考えられる。さらに、以上のような様々な経路を介した物価変動が、人々のインフレ予想に及ぼす影響についても不確実性が大きい。これらを総合した物価への影響という点については、現時点で海外でも十分に研究は進んでおらず、今後の課題としたい。

以 上

---

<sup>30</sup> カーボンプライシングには、炭素税・排出量取引・クレジット取引などの様々な形態があり、わが国でも地球温暖化対策税やクレジット制度などの形では既に導入されている。カーボンプライシングの活用に関する議論については環境省[2021a]、その国際的な動向については環境省[2021d]や OECD[2021a,b]が詳しい。

## 補論 1. わが国における気候変動の物理的リスク

気候変動が進行するもとの、海外同様、わが国でも気温の上昇や極端な気候現象の増加が観察されている。たとえば、気温の面では、1日の最高気温が35℃を超える「猛暑日」の日数が増加傾向にあるほか、降水量の面では、西日本豪雨（2018年）や台風19号（2019年）といった記録的な豪雨・台風の発生、1時間雨量が50mm以上の「短時間強雨」の頻度の増加がみられている。

このような気候変動の変化のダイレクトな経済への影響、物理的リスクは、異常気象等が短期的に経済に影響を及ぼす「急性物理的リスク」と、気温の趨勢的な上昇に伴う「慢性物理的リスク」に大別される。

まず、急性物理的リスクについてみると、わが国では——そもそも自然災害に占める水害の比率が高いことから——降水量の増加に伴う水害リスクの拡大が着目されることが多い。水害が経済に及ぼす影響としては、企業設備の毀損を通じて生産活動や収益を下押しするほか、橋梁や道路などの社会資本の毀損などを通じて経済全体の生産性を押し下げることが指摘されている（山本・仲[2021]、芦沢ほか[2022a]、橋本・須藤[2022]）<sup>31</sup>。このほか、猛暑日の増加などの異常気象の増加は、個人消費や生産といったマクロ変数の変動を拡大することも考えられる。この気候現象が経済活動の短期的な変動に与える影響に関して、VARモデルを用いたシンプルな分析を試みた（図表A1-1）。具体的には、日本全体の気候現象を包括的に表す「マクロ・ウェザー・インデックス（MWI）」<sup>32</sup>と各種経済指標から成るVARモデルを構築し、個人消費や財生産、サービス生産の予期できない変動のうちどの程度が、気温や降水量といった気候現象に起因するかを推計した。推計結果をみると、個人消費やそれと関係の強いサービス生産を中心に、気候変動の影響が近年強まっており、極端な気候現象の増加が、景気循環よりも短い数か月単位での経済活動の変動を拡大させていることが示唆される。

<sup>31</sup> このほか、水害リスクの拡大は地価といった資産価格にも影響を及ぼす（小出ほか[2022]）。こうした水害が経済や地価、金融機関財務に及ぼす影響についての全体観は、芦沢ほか[2022b]を参照。

<sup>32</sup> MWIは、都道府県ごとの気温や降水量のトレンド対比乖離幅を人口で加重平均して算出した指標。作成方法の詳細やMWIを用いた分析例については、阿久津・小池[2019]を参照。

## (図表 A 1 - 1) 気候現象と経済指標の変動

### (1) VARモデルの概要

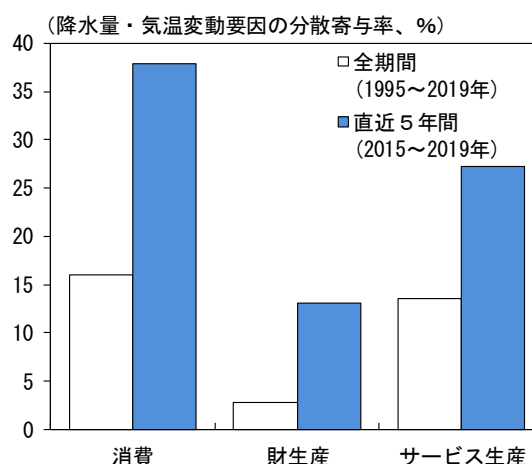
|        | 変数  | ラグ次数 |
|--------|---|------|
| 消費     | MW I、生鮮食品価格（前月比）、TOPIX（前月比）、実質雇用者所得（前月比）、消費総合指数（前月比）  | 1    |
| 財生産    | MW I、世界貿易量（前月比）、実質実効為替レート（前月比）、実質内需（前月比）、鉱工業生産指数（前月比） | 3    |
| サービス生産 | MW I、実質内需（前月比）、第3次産業活動指数（前月比）                         | 2    |

MW I：降水量、夏場（5～8月）の気温、冬場（11～1月）の気温  
推計期間：1995/1月～2019/12月

(注) (2) は、VARモデルによる分散分解（3か月先）で、降水量・気温変動要因（降水量、夏場の気温、冬場の気温）が占める割合。ショックの識別はCholesky分解による。

(出所) 気象庁、内閣府、経済産業省、総務省、厚生労働省、オランダ経済政策分析局、日本経済研究センター、Bloomberg

### (2) 気候現象の分散寄与率



次に、慢性物理的リスクについては、グローバルに、気温の趨勢的な上昇が農業生産高の減少や労働生産性の低下をもたらしているのか、活発に分析が行われている（Schleussner et al.[2018]、Ortiz-Bobea et al.[2021]、Dasgupta et al.[2021]<sup>33</sup>など）。この点についてはまだコンセンサスは得られていないが、以下では、IMFのエコノミストである Kahn et al.[2019]の米国を対象とした研究で用いられている分析手法を、都道府県別データを用いてわが国に適用し、気候変動が労働生産性に及ぼす長期的な影響の推計を試みた（図表 A 1 - 2）。わが国の長期の都道府県パネルデータを用いて、実質労働生産性上昇率を被説明変数としたARDLモデルを推計したところ、気温上昇に関して統計的に有意に負の推計結果が得られる。つまり、この分析からは、わが国でも、米国と同様に、気温上昇が長期的にみて労働生産性の上昇率を押し下げ得ることが示唆される。

<sup>33</sup> これらの先行研究は、NGFS[2021]においても参照されている。



(図表 A 1 - 2) 気温上昇と労働生産性

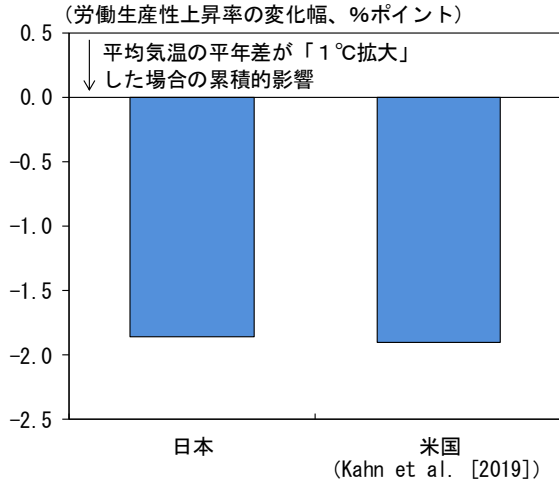
(1) 推計式の概要

推計式 (ARDLモデル)

$$\begin{aligned} \Delta \text{実質労働生産性}_{i,t} &= \text{定数項} + \sum_{k=1}^5 \varphi_k \cdot \Delta \text{実質労働生産性}_{i,t-k} \\ &+ \sum_{k=0}^5 \beta_{1k} \cdot \Delta(\text{気温}_{i,t-k} - \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &\quad \cdot I(\text{気温}_{i,t-k} \geq \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &- \sum_{k=0}^5 \beta_{2k} \cdot \Delta(\text{気温}_{i,t-k} - \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &\quad \cdot I(\text{気温}_{i,t-k} < \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &+ \sum_{k=0}^5 \beta_{3k} \cdot \Delta(\text{降水量}_{i,t-k} - \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &\quad \cdot I(\text{降水量}_{i,t-k} \geq \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &- \sum_{k=0}^5 \beta_{4k} \cdot \Delta(\text{降水量}_{i,t-k} - \text{平年値}_{i,t-k-1}) \\ &\quad \cdot I(\text{降水量}_{i,t-k} < \text{平年値}_{i,t-k-1}) \end{aligned}$$

i: 都道府県、t: 暦年、k: ラグ数  
推計期間: 1976~2012年

(2) 労働生産性上昇率への影響



- (注) 1. 気温・降水量の平年値は過去30年間の平均。  
2. (2)は、各ラグ項の回帰係数から  $\sum_{k=0}^5 \beta_{ik} / (1 - \sum_{k=1}^5 \varphi_k)$  として算出。Kahn et al. [2019]による米国の推計期間は1976~2016年。日本・米国ともに1%有意。  
(出所) 経済産業研究所、気象庁、Kahn et al. [2019]

以上のように、わが国においても、諸外国と同様に、気候変動の進行が、経済活動に影響を及ぼしつつある可能性はある。もっとも、現時点では、十分に研究は蓄積されておらず、ここでの分析も粗いデータに基づく暫定的なものにとどまっている。気候変動の物理的リスクについては——移行リスクと同様——、今後、より詳細なデータ等に基づく分析を蓄積していく必要がある。



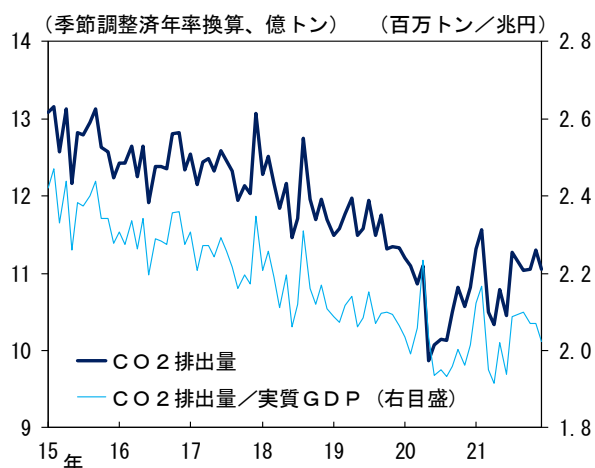
## 補論 2. 感染症下におけるCO<sub>2</sub>排出量の動向

2020年春の感染症拡大後、わが国のCO<sub>2</sub>排出量は水準を大きく切り下げており、2020年度のCO<sub>2</sub>排出量（速報値）は前年比－6％の減少となった（前掲図表6）。もっとも、減少の主因は経済活動水準の低下（実質GDPの2020年度前年比－4.5％）であり、「GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量」の低下ペースは鈍化している。

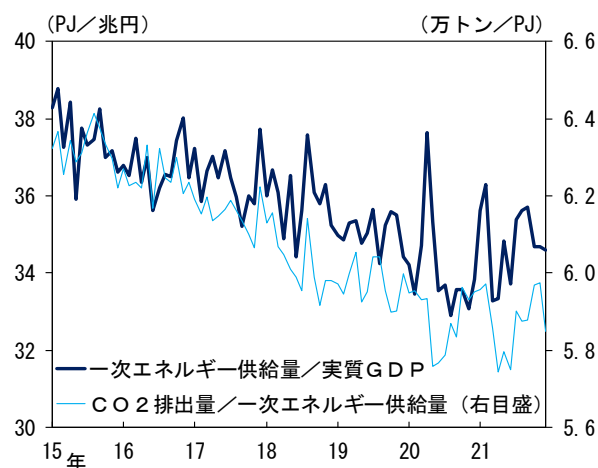
CO<sub>2</sub>排出量の月次指標を試作し、2021年末にかけての動向を窺っても、こうした傾向に大きな変化はみられない（図表A2-1）<sup>34</sup>。内訳の原単位をみると、CO<sub>2</sub>排出原単位は緩やかな改善傾向を続けている一方、エネルギー消費原単位は足もとでは一進一退の動きとなっている。

（図表A2-1）CO<sub>2</sub>排出量の月次推移（試算値）

### （1）CO<sub>2</sub>排出量



### （2）原単位



（注）直近は2021/12月。作成方法は脚注34を参照。PJは、エネルギーの単位であるペタ・ジュールを示す。

（出所）資源エネルギー庁、経済産業省、財務省、内閣府、国立環境研究所、日本経済研究センター

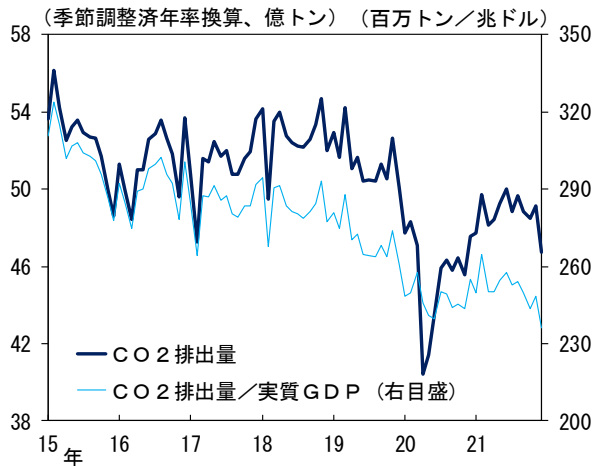
この背景には、感染症下で対面型サービス業を中心に活動水準が抑制されている一方、海外経済の回復やデジタル関連需要にけん引されて製造業の生産が増加基調を辿ったことが影響している可能性がある。

<sup>34</sup> CO<sub>2</sub>排出量の月次指標は、供給側アプローチに基づく試算値。具体的には、化石燃料等の各エネルギーの国内総供給量を月次統計から算出し、それに前年度のエネルギー転換係数および炭素排出係数を乗じることで試算を行った。ただし、基礎統計の制約から一部の値を前年度から不変としていることに加え、実際に公表される年度ベースのCO<sub>2</sub>排出量は消費側アプローチに基づいて作成されることから、試算結果は幅を持つてみる必要がある。なお、各国における月次や四半期でのCO<sub>2</sub>排出量の作成状況については、Andrew [2021]を参照。

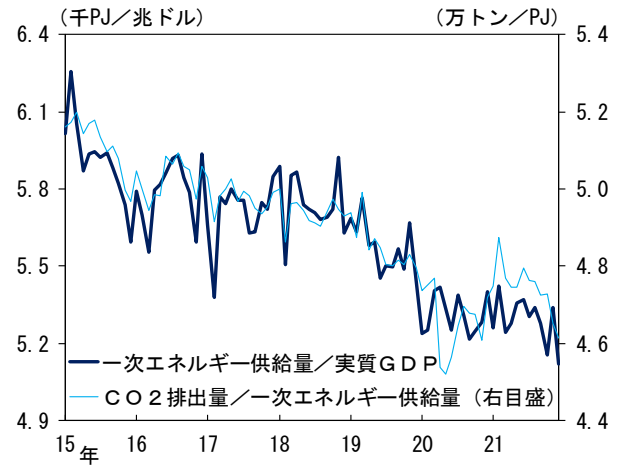
すなわち、相対的にエネルギー消費が多い製造業のウエイトが高まったことによる構成比要因がエネルギー消費原単位の押し上げに作用していると考えられる。こうしたエネルギー消費原単位の改善一服は、米国においても観察されている（図表 A 2 - 2）。

（図表 A 2 - 2）CO<sub>2</sub> 排出量の月次推移（米国）

（1）CO<sub>2</sub> 排出量



（2）原単位



（注）直近は 2021/12 月。PJ は、エネルギーの単位であるペタ・ジュールを示す。  
（出所）EIA、Haver

## 参考文献

- Ambec, Stefan, Mark A. Cohen, Stewart Elgie, and Paul Lanoie [2013], "The Porter Hypothesis at 20," *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 7, No. 1, pp. 2-22.
- Andrew, Robbie M. [2021], "Towards near real-time, monthly fossil CO<sub>2</sub> emissions estimates for the European Union with current-year projections," *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 12, Issue 12, 101229.
- Batten, Sandra [2018], "Climate Change and the Macro-Economy: A Critical Review," Bank of England Staff Working Paper, No. 706, Bank of England.
- Batten, Sandra, Rhiannon Sowerbutts, and Misa Tanaka [2020], "Climate Change: Macroeconomic Impact and Implications for Monetary Policy," in *Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector*, pp. 13-38.
- Bernanke, Ben S. [1983], "Irreversibility, Uncertainty, and Cyclical Investment," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 98, No.1, pp. 85-106.
- BP [2021], *Statistical Review of World Energy 2021*, July 2021.
- Bruno, Michael and Jeffrey D. Sachs [1985], *Economics of Worldwide Stagflation*, Harvard University Press.
- Caballero, Ricardo J., Takeo Hoshi, and Anil K. Kashyap [2008], "Zombie Lending and Depressed Restructuring in Japan," *American Economic Review*, Vol. 98, No.5, pp. 1943-77.
- Colacito, Riccardo, Bridget Hoffmann, and Toan Phan [2019], "Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States," *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 51, Issue 2-3, pp.313-368.
- Dasgupta, Shouro, Nicole van Maanen, Simon N Gosling, Franziska Piontek, Christian Otto, and Carl-Friedrich Schleussner [2021], "Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study," *Lancet Planetary Health*, Vol. 5, Issue

7, pp. e455-e465.

European Commission [2020], "2030 Climate Target Plan Impact Assessment," SWD(2020) 176 final, European Commission.

European Commission [2022], "REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy," IP/22/1511, 8 March 2022.

Foster, Lucia, John C. Haltiwanger, and C. J. Krizan [2001], "Aggregate Productivity Growth: Lessons from Microeconomic Evidence," in *New Developments in Productivity Analysis*, pp. 303-372.

Fukunaga, Ichiro and Mitsuhiro Osada [2009], "Measuring Energy-Saving Technical Change in Japan," Bank of Japan Working Paper Series, No.09-E-5, Bank of Japan.

Hirakata, Naohisa, Kazutoshi Kan, Akihiro Kanafuji, Yosuke Kido, Yui Kishaba, Tomonori Murakoshi, and Takeshi Shinohara [2019], "The Quarterly Japanese Economic Model (Q-JEM): 2019 version," Bank of Japan Working Paper Series, No.19-E-7, Bank of Japan.

International Energy Agency [2019], *Offshore Wind Outlook*, November 2019.

International Energy Agency [2020], *World Energy Outlook 2020*, October 2020.

International Energy Agency [2021a], *Greenhouse Gas Emissions from Energy Highlights*, December 2021.

International Energy Agency [2021b], *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*, May 2021.

International Energy Agency [2021c], *Renewables 2021*, December 2021.

International Energy Agency [2021d], Statement on recent developments in natural gas and electricity markets, 21 September 2021.

International Energy Agency [2021e], *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, May 2021.

International Energy Agency [2021f], *World Energy Outlook 2021*, October

2021.

International Energy Agency [2022], *Gas Market Report, Q1 2022*, January 2022.

International Monetary Fund [2020], *World Economic Outlook*, October 2020.

Intergovernmental Panel on Climate Change [2000], *Special report on emissions scenarios*, Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change [2007], *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.

Kahn, Matthew E., Kamiar Mohaddes, Ryan N. C. Ng, M. Hashem Pesaran, Mehdi Raissi, and Jui-Chung Yang [2019], "Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis," IMF Working Paper Series, No.19/215, International Monetary Fund.

Kaya, Yoichi [1990], "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios," Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.

Kilian, Lutz [2008], "The Economic Effects of Energy Price Shocks," *Journal of Economic Literature*, Vol. 46, No.4, pp. 871-909.

Kim, Hee S., Christian Matthes, and Toan Phan [2021], "Extreme Weather and the Macroeconomy," Federal Reserve Bank of Richmond Working Paper Series, No.21-14, Federal Reserve Bank of Richmond.

Nakamura, Koji, Sohei Kaihatsu, and Tomoyuki Yagi [2019], "Productivity Improvement and Economic Growth: Lessons from Japan," *Economic Analysis and Policy*, Vol. 62, pp. 57-79.

Network for Greening the Financial System [2020a], *Climate change and monetary policy: initial takeaways*, June 2020.

Network for Greening the Financial System [2020b], *Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors*, June 2020.

- Network for Greening the Financial System [2021], *NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors*, June 2021.
- Organisation for Economic Co-operation and Development [2021a], *Carbon Pricing in Times of COVID-19: What Has Changed in G20 Economies?*, October 2021.
- Organisation for Economic Co-operation and Development [2021b], *Carbon Pricing in Times of COVID-19: What Has Changed in G20 Economies?: Background Notes*, October 2021.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency [2018], *The Full Costs of Electricity Provision*, April 2018.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency [2019], *The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*, January 2019.
- Ortiz-Bobea, Ariel, Toby R. Ault, Carlos M. Carrillo, Robert G. Chambers, and David B. Lobell [2021], "Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth," *Nature Climate Change*, Vol. 11, pp. 306-312.
- Parker, Miles [2016], "The Impact of Disasters on Inflation," ECB Working Paper Series, No.1982, European Central Bank.
- Pescatori, Andrea, Martin Stuermer, and Nico Valckx [2021], "Surging Energy Prices May Not Ease Until Next Year," IMFBlog, 21 October 2021, International Monetary Fund.
- Porter, Michael E. [1991], "Towards a Dynamic Theory of Strategy," *Strategic Management Journal*, Vol. 12, Issue 52, pp. 95-117.
- Schleussner, Carl-Friedrich, Delphine Deryng, Christoph Müller, Joshua Elliott, Fahad Saeed, Christian Folberth, Wenfeng Liu, Xuhui Wang, Thomas A M Pugh, Wim Thiery, Sonia I Seneviratne, and Joeri Rogelj [2018], "Crop productivity changes in 1.5°C and 2°C worlds under climate sensitivity uncertainty," *Environmental Research Letters*, Vol. 13, No. 6, 064007.
- Task Force on Climate-related Financial Disclosures [2017],

*Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*, June 2017.

Zhang, Peng, Olivier Deschenes, Kyle Meng, and Junjie Zhang [2018], "Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation: Evidence from a Half Million Chinese Manufacturing Plants," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 88, pp. 1-17.

青木 浩介・高橋 優豊・中島 上智・八木 智之・山田 琴音 [2022], 「わが国のエネルギー効率」, 未定稿.

阿久津 邦熙・小池 泰貴 [2019], 「天候データを用いた個人消費の分析」, 日銀レビュー・シリーズ, No.19-J-1, 日本銀行.

有賀 涼・池田 大輔・篠原 武史・笛木 琢治・武藤 一郎・米山 俊一 [2022], 「「気候変動の経済学」: 欧米における主要研究の紹介」, 日本銀行金融研究所ディスカッション・ペーパー・シリーズ, No. 2022-J-3, 日本銀行.

芦沢 拓郎・須藤 直・山本 弘樹 [2022a], 「水害が実体経済に与える影響に関する定量分析」, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, 日本銀行, 近刊.

芦沢 拓郎・橋本 龍一郎・小出 桂靖・仲 智美・西崎 健司・須藤 直・鈴木 源一郎 [2022b], 「気候変動に伴い日本の金融機関が直面する物理的リスクー水害が実体経済・地価・金融機関財務に及ぼす影響を中心にー」, 日銀レビュー・シリーズ, No.22-J-4, 日本銀行.

大谷 聡・白塚 重典・中久木 雅之 [2004], 「生産要素市場の歪みと国内経済調整」, 『金融研究』, 第 23 巻, 第 1 号, pp. 95-126.

尾崎 達哉・玄田 有史 [2020], 「賃金上昇が抑制されるメカニズム」, 『金融研究』, 第 39 巻, 第 4 号, pp. 55-106.

環境省 [2017], 「サプライチェーン排出量算定の考え方」, 2017 年 11 月.

環境省 [2020], 「気候変動影響評価報告書」, 2020 年 12 月.

環境省 [2021a], 「カーボンプライシングの活用に関する小委員会 中間整理」, 2021 年 8 月.

環境省 [2021b], 「国連に提出する日本のNDC (国が決定する貢献)」, 2021年10月.

環境省 [2021c], 「地球温暖化対策計画」, 2021年10月.

環境省 [2021d], 「気候変動対策を巡る最近の国内外の動きとポリシーミックスの中でのカーボンプライシングのあり方」, 2021年11月.

小出 桂靖・西崎 健司・須藤 直 [2022], 「水害リスクが地価に及ぼす影響」, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, 日本銀行, 近刊.

資源エネルギー庁 [2015], 「長期エネルギー需給見通し」, 2015年7月.

資源エネルギー庁 [2018], 「平成29年度エネルギーに関する年次報告」, 2018年6月

資源エネルギー庁 [2021a], 「令和2年度エネルギーに関する年次報告」, 2021年6月

資源エネルギー庁 [2021b], 「2030年度におけるエネルギー需給の見通し (関連資料)」, 2021年10月.

資源エネルギー庁 [2021c], 「エネルギー基本計画」, 2021年10月.

資源エネルギー庁 [2021d], 「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」, 2021年9月.

商工中金 [2021], 「中小企業のカーボンニュートラルに関する意識調査 (2021年7月調査)」, 2021年10月.

石油連盟 [2021], 「石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン (目指す姿)」, 2021年3月.

電気事業連合会, [2021], 「2050年カーボンニュートラルの実現に向けて」, 2021年5月.

電力広域的運営推進機関 [2021], 「マスタープラン検討に係る中間整理」, 2021年5月.

東洋経済新報社 [2021], 『CSR企業総覧 (ESG編)』, 東洋経済新報社.



内閣官房・経済産業省・内閣府・金融庁・総務省・外務省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・環境省 [2021], 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」, 2021年6月.

内閣府 [2021], 「中長期の経済財政に関する試算」, 2021年7月.

日本銀行金融研究所 [2021a], 「特別号・気候変動の経済学(1) 気候変動とマクロ経済の関係を捉える: DICEモデル」, 金研ニュースレター, 日本銀行金融研究所.

日本銀行金融研究所 [2021b], 「特別号・気候変動の経済学(2) 気候変動と最適課税」, 金研ニュースレター, 日本銀行金融研究所.

日本銀行金融研究所 [2021c], 「特別号・気候変動の経済学(3) 気候変動と技術進歩」, 金研ニュースレター, 日本銀行金融研究所.

日本銀行金融研究所 [2021d], 「特別号・気候変動の経済学(4) 気候変動と非伝統的金融政策」, 金研ニュースレター, 日本銀行金融研究所.

日本銀行金融研究所 [2021e], 「特別号・気候変動の経済学(5) 気候変動の経済学: 実証分析編」, 金研ニュースレター, 日本銀行金融研究所.

日本銀行調査統計局 [2022], 「東京大学金融教育研究センター・日本銀行調査統計局第9回共催コンファレンス: 「ウィズコロナ・ポストコロナの日本経済」の様相」, 日本銀行調査論文, 日本銀行.

日本政策投資銀行 [2021a], 「企業行動に関する意識調査結果(大企業)」, 2021年6月.

日本政策投資銀行 [2021b], 「企業行動に関する意識調査結果(中堅企業)」, 2021年6月.

日本政策投資銀行 [2022], 「企業との対話にみるカーボンニュートラルに向けた課題」, DBJ Monthly Overview, 2022年3月号, 日本政策投資銀行.

日本鉄鋼連盟 [2021], 「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」, 2021年2月.

野村 浩二 [2015], 「イタリアの電力価格高騰と産業構造変化」, DBJ

Research Center on Global Warming Discussion Paper Series, No. 54,  
日本政策投資銀行.

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.

荻本 和彦・松尾 雄司 [2021], 「システム統合を反映した電源別限界コストの試算」, 総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ第8回会合における報告資料, 2021年8月.

橋本 龍一郎・須藤 直 [2022], 「水害被害の実体経済・金融仲介部門への波及: DSGE モデルを用いたシミュレーション分析」, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, No. 22-J-6, 日本銀行.

深尾 京司・金 榮愨 [2009], 「生産性・資源配分と日本の成長」, 深尾京司編『マクロ経済と産業構造』, pp. 324-358, 慶應義塾大学出版会.

八木 智之・古川 角歩・中島 上智 [2022], 「わが国の生産性動向——近年の事実整理とポストコロナに向けた展望——」, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, No. 22-J-3, 日本銀行.

山本 勲・黒田 祥子 [2016], 「雇用の流動性は企業業績を高めるのか: 企業パネルデータを用いた検証」, RIETI Discussion Paper Series, 16-J-062, 経済産業研究所.

山本 弘樹・仲 智美 [2021], 「水害が企業財務に与える影響に関する定量分析」, 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, No. 21-J-3, 日本銀行.