

# Characteristics and Issues of Decarbonization of the Japanese Economy from The Viewpoint of International Comparative Analysis on the Decoupling Concept

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-02-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 劉, 博, LIU, Bo メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://saigaku.repo.nii.ac.jp/records/1378">https://saigaku.repo.nii.ac.jp/records/1378</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# デカップリング概念にもとづく国際比較分析 からみた日本経済の脱炭素化の特徴と課題

劉 博

## 1 はじめに

近年、地球温暖化による豪雨や猛暑のリスクが高まり、気候変動問題が地球規模の喫緊の課題となり、各国においては二酸化炭素の排出削減が急務となっている。二酸化炭素は化石燃料の利用にもとづく経済活動等に伴い発生するため、その削減と経済成長との両立は、実に難しい課題である。未来世代への責任を果たし持続可能な地球社会を築くためには、各国は自らの特徴と課題を把握し、協力しながら脱炭素経済を目指さなければならない。本研究の目的は、一国の経済力をあらわす「実質 GDP」と地球温暖化への影響度合いをもたらす「二酸化炭素排出」についてデカップリングの視点から、それぞれの世界順位から抽出した主要7カ国の「炭素集約度」の長期推移の実態を調査分析し、その国際比較から日本経済の脱炭素化の特徴と課題を析出することにある。

## 2 先行研究

### 2.1 経済成長と炭素負荷のデカップリング

2001年の経済協力開発機構（OECD）環境大臣会合で採択された主な目標の一つが「経済成長と環境負荷のデカップリング」である。高井 [2010] が示した「デカップリング」の定義とは、「時間の経過とともに環境負荷が減少しつつ、経済水準が向上もしくは維持されるような状態」である。つまり「デカップリング」とは、環境負荷の増加率が経済成長の増加率より低い状況を指すと理解できる。なお、百嶋 [2008] では、「経済が成長する一方で二酸化炭素排出量が減少する状況、すなわち「絶対的デカップリング」が最も望ましいが、デカップリングの実現は持続可能な地球社会を構築するためにクリアしなければならない最低限のハードルと言えらる」と指摘している。

## 2.2 炭素生産性と炭素集約度の概念

一般的に、デカップリング状態の分析では、主な指標の1つとして「炭素生産性」が用いられる。「炭素生産性」とは、二酸化炭素排出量当たりの国内総生産（GDP）と定義できる。環境省 [2021] では、パリ協定による二酸化炭素排出量が制限されるなか、一定の経済成長を維持するには炭素生産性を大幅に改善する必要があると、その重要性が強調されている。

しかし、1990年代バブル崩壊後の日本の経済成長率が低迷していたことから、経済活動を維持しながら二酸化炭素排出量をいかに効果的に削減できるかという視点の重要性が高まっている。つまり「炭素生産性」の逆数として、国内総生産（GDP）あたりの二酸化炭素排出量を表す指標「炭素集約度」を用いた分析が経済の脱炭素の状態を可視化するための重要な切り口の1つとなると考える。

## 3 分析方法

### 3.1 分析対象国（主要国の定義）

本稿では、日本との比較分析を行う対象国として、2018年の物価変動による影響を考慮した国内総生産（実質 GDP）が多い上位5カ国および、同年の二酸化炭素排出量が多い上位5カ国を取り上げることとする。実質 GDP が多い上位5カ国はそれぞれ、アメリカ（1位）、中国（2位）、日本（3位）、ドイツ（4位）、フランス（5位）である。また、二酸化炭素排出量が多い上位5カ国はそれぞれ、中国（1位）、アメリカ（2位）、インド（3位）、ロシア（4位）、日本（5位）である。2つの順位で重複する3カ国（日本、中国、アメリカ）が存在するため、分析対象国は合計7カ国となる。本稿では、この7カ国（アメリカ、中国、日本、ドイツ、フランス、インド、ロシア）を「主要国」と呼ぶこととする。

### 3.2 分析指標

本稿では、二酸化炭素排出量を実質 GDP で除することにより算出される国単位の「炭素集約度」を分析のコア指標とする。

$$\text{炭素集約度} = \text{二酸化炭素排出量} \div \text{実質 GDP}$$

なお、分析では、日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット（EDMC）「エネルギー・経済統計要覧（2021年版）」に掲載されているデータを用いている。EDMC [2021] では、世界の二

酸化炭素排出量について、IEAのCO<sub>2</sub> emissions from fuel combustionとWorld Energy Balancesから算出した各国の最新年のエネルギー源別排出係数(Mt-CO<sub>2</sub>/Mtoe)に毎年のエネルギー消費量を乗じて計算を行なっている。また、実質GDPについては、World Bank「World Development Indicators」等よりEDMC推計したものである(米ドル換算に用いる為替レートは2010年平均を採用)。本稿は、上記データが抽出可能である1980年～2018年の38年間を対象期間とし、1980年値を基準値に比較分析を行う。

## 4 分析結果と示唆

### 4.1 実質GDPの長期推移

まず、主要国の経済成長についての基本データを確認しよう。各国の実質GDPの長期推移を見たものが図表1である。

2018年時点で、全世界の実質GDPは約82,530十億米ドルである。主要7カ国の合計が世界全体の約56.1%を占める。多い順にアメリカ(1位)、中国(2位)、日本(3位)、ドイツ(4位)、フランス(5位)、インド(6位)、ロシア(7位)となっている。

各国の2018年値対1980年値で比較すると、米国が約2.75倍、中国が約31.9倍、日本が約2.04倍、ドイツが約1.92倍、フランスが約1.98倍、インドが約9.53倍、ロシアが約1.50倍に経済規模が拡大し成長したことが分かる。各国は長期的にプラス成長の軌道に乗って推移してきたと観測できるが、世界全体の経済成長の平均値2.94倍と比べると特に成長スピードが速いのは、実質GDP1位の米国と2位の中国、そして6位のインドである。日本の実質GDPの成長は、世界平均値より低くなっているものの、ドイツ、フランス、ロシアと比べて高い伸び率を実現しているのである。

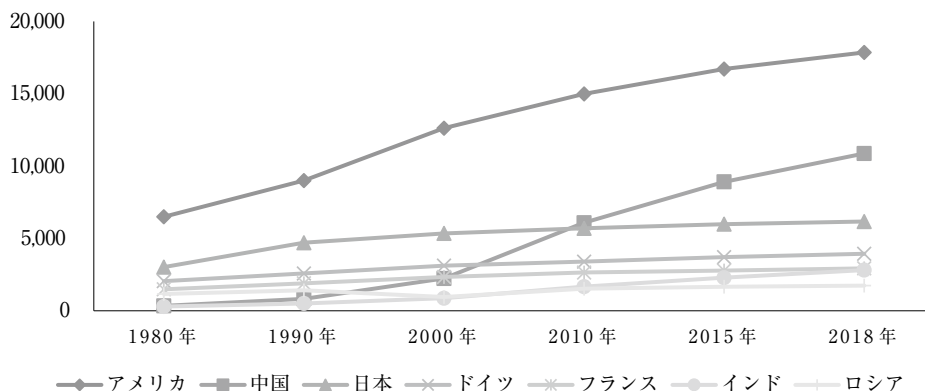
### 4.2 二酸化炭素排出量の長期推移

つぎに、主要国の二酸化炭素排出についての基本データを確認しよう。各国の排出量の長期推移を見たものが図表2である。

2018年時点で、全世界の二酸化炭素排出は約33,513百万トンである。主要7カ国の合計が世界全体の約60.9%を占める。多い順に中国(1位)、アメリカ(2位)、インド(3位)、ロシア(4位)、日本(5位)、ドイツ(6位)、フランス(7位)となっている。

各国の2018年値対1980年値で比較すると、米国が約1.08倍、中国が約6.68倍、日本が約1.20倍、インドが約9.02倍に二酸化炭素の排出が増加した一方、ドイツが約△34.3%、フランスが約△34.5%の排出削減が実現(絶対デカップリング)していたことが分かる。世界全体の平均値1.88

図表1 主要国の実質 GDP の長期推移（単位：十億米ドル）



国／年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	6,496	9,001	12,620	14,992	16,710	17,856
中国	341	828	2,232	6,087	8,913	10,873
日本	3,019	4,704	5,349	5,700	5,989	6,170
ドイツ	2,048	2,578	3,121	3,400	3,706	3,941
フランス	1,484	1,896	2,336	2,645	2,784	2,931
インド	295	506	870	1,670	2,287	2,812
ロシア	1,158	1,416	952	1,525	1,662	1,739
世界	28,060	37,911	49,922	66,151	75,791	82,530

出所：World Bank「World Development Indicators」等より EDMC 推計  
（米ドル換算に用いる為替レートは2010年平均を採用）

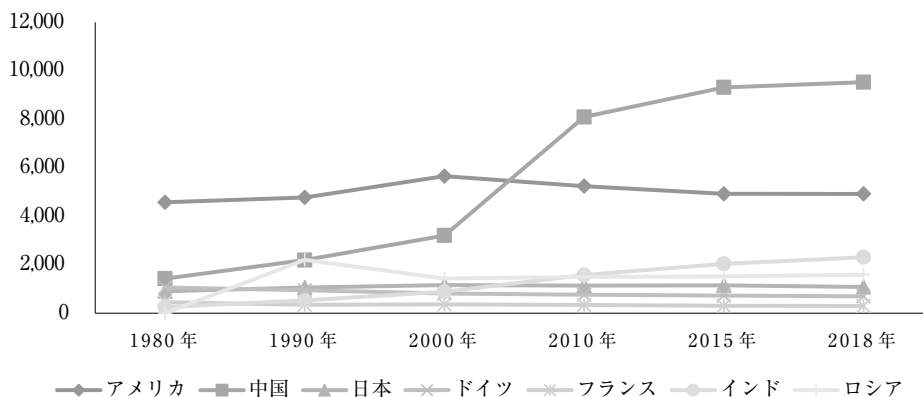
倍と比べると特に排出量が著しく増加したのがインドと中国の2カ国である。日本における二酸化炭素排出量の増加率は、世界平均値より低くなっているものの、主要国のうちの諸先進国（アメリカ、ドイツ、フランス）と比較した場合は最も高くなっていることが特徴の1つとして捉えられる。なお、ロシアの場合は、1980年の実績値が不詳（N.A.）であるため、比較分析ができなかった。

#### 4.3 炭素集約度の長期推移と特徴分析

それでは、各国の実質 GDP 当たりの二酸化炭素排出量で計算した「炭素集約度」の長期推移とその特徴を図表3で確認しよう。

炭素集約度は1単位の実質 GDP を創出するために排出された二酸化炭素の量を表す指標であるため、その値が低ければ評価が高くなる。各国の「炭素集約度」の2018年の実績において評価

図表 2 主要国の二酸化炭素排出の長期推移（単位：二酸化炭素百万トン）



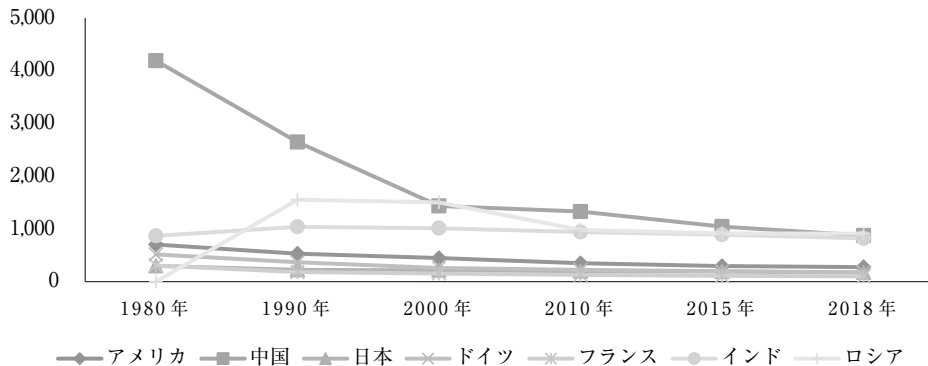
国／年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	4,575	4,776	5,653	5,241	4,922	4,921
中国	1,426	2,191	3,203	8,094	9,314	9,528
日本	903	1,057	1,160	1,137	1,149	1,081
ドイツ	1,060	945	812	760	730	696
フランス	455	345	361	341	305	298
インド	256	526	883	1,574	2,038	2,308
ロシア	N.A.	2,199	1,430	1,498	1,522	1,587
世界	17,808	20,569	23,206	30,701	32,563	33,513

出所：日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧 2021」「世界のCO<sub>2</sub>排出」より

の高い順に、フランス（1位）、日本（2位）、ドイツ（3位）、アメリカ（4位）、インド（5位）、中国（6位）、ロシア（7位）となっている。

各国の2018年値対1980年値で比較すると、米国が約△60.8%、中国が約△79.1%、日本が約△41.8%、ドイツが約△65.8%、フランスが約△66.8%、インドが約△5.5%の改善が実現したことが分かる。世界全体の炭素集約度の改善率の平均値△36.1%と比べると、インドを除くすべての国において経済成長と二酸化炭素排出のデカップリングが著しく改善したと言える。日本における炭素集約度の改善率は、世界の平均値を大きくリードしているものの、主要国のうちの諸先進国（アメリカ、ドイツ、フランス）と比較して最も低かったことが特徴の1つとして捉えられる。なお、ロシアの場合は、1980年の二酸化炭素排出量の実績値が不詳（N.A.）であるため、比較計算ができなかった。

図表3 主要国の炭素集約度の長期推移（単位：二酸化炭素トン／百万米ドル）



国/年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	704	531	448	350	295	276
中国	4,188	2,647	1,435	1,330	1,045	876
日本	299	225	217	199	192	175
ドイツ	517	367	260	224	197	177
フランス	307	182	155	129	110	102
インド	869	1,040	1,014	942	891	821
ロシア	N.A.	1,553	1,503	982	915	913
世界	635	543	465	464	430	406

出所：日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧2021」  
「世界の実質GDPあたりCO<sub>2</sub>排出量」より

#### 4.4 炭素集約度の要因分析

ここから、各国の炭素集約度の改善に影響をもたらす諸要因について分析する。具体的に、一次エネルギー消費の視点を取り入れ、「炭素集約度」を「実質GDP当たりの一次エネルギー消費」と「一次エネルギー消費当たりの炭素排出」の2つに分解してそれぞれの長期推移を分析する。

まず、主要国の一次エネルギー消費の長期推移を図表4で確認しよう。

2018年時点で、全世界の一次エネルギー消費は約14,282百万トン（石油換算）である。主要7カ国の合計が世界全体の約56.6%を占める。多い順に中国（1位）、アメリカ（2位）、インド（3位）、ロシア（4位）、日本（5位）、ドイツ（6位）、フランス（7位）となっている。これは前述の主要国の二酸化炭素排出の順位と重なる。

各国の2018年値対1980年値で比較すると、米国が約1.24倍、中国が約5.34倍、日本が約1.23倍、フランスが約1.28倍、インドが約4.60倍にエネルギー消費が増加した一方、ドイツが約△

図表4 主要国の一次エネルギー消費の長期推移（単位：石油換算百万トン）

国／年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	1,805	1,915	2,274	2,217	2,186	2,231
中国	598	874	1,130	2,536	2,991	3,196
日本	345	439	518	501	432	426
ドイツ	357	351	337	330	309	302
フランス	192	224	252	263	253	246
インド	200	306	441	701	835	919
ロシア	N.A.	879	619	689	693	759
世界	7,203	8,767	10,034	12,845	13,583	14,282

出所：日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧 2021」「世界の一次エネルギー消費」より

15.4%を減少したことが分かった。世界全体の一次エネルギー消費が平均1.98倍に増加したとと比較し、中国とインドの増加率が非常に大きいことがみて分かる。日本は、アメリカとフランスの一次エネルギーの増加率と比べて、やや優位性が現れているが、ドイツのように経済成長と一次エネルギー消費の絶対デカップリングがまだ実現していない。なお、ロシアの場合は、1980年の一次エネルギー消費の実績値が不詳（N.A.）であるため、比較計算ができなかった。

つぎに、主要国の実質GDPあたりの一次エネルギー消費の変化を図表5で確認しよう。各国の2018年値対1980年値で比較すると、米国の約△55.0%、中国が約△83.3%、日本が約△39.5%、ドイツが約△56.0%、フランスが約△34.8%、インドが約△51.8%低減し改善したことが分かった。世界全体の実質GDPあたりの一次エネルギー消費の改善率の平均値△32.7%と比較し、主要国すべてがそれを上回っていることが確認できた。日本の改善率は、フランスのそれと比べてやや優位性が現れているが、アメリカとドイツと比較して改善の幅が小さい。これは、日本の製造業偏重の産業構造による影響であると考えられる。この点については、図表8の部分で詳しく考察したい。なお、ロシアの場合は、1980年の一次エネルギー消費の実績値が不詳（N.A.）であるため、比較計算ができなかった。

つづいて、主要国の一次エネルギー消費あたりの二酸化炭素排出の変化を図表6で確認しよう。各国の2018年値対1980年値で比較すると、中国が約125.0%、インドが約196.1%に二酸化炭素の排出が増加した一方、米国の約△12.6%、日本が約△3.1%、ドイツが約△22.6%、フランスが約△48.9%減少し改善したことが分かった。世界全体の改善率の平均値△4.86%と比較し、中国、インドと日本の3カ国がそれを下回っていることがみてわかる。日本における一次エネルギー消費あたり二酸化炭素排出の改善率が、フランス、ドイツとアメリカのそれと比べて、いずれも



図表5 主要国の実質GDP当たりの一次エネルギー消費（石油換算トン／百万米ドル）

国／年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	278	213	180	148	131	125
中国	1,756	1,055	506	417	336	294
日本	114.0	93.3	96.9	88.0	72.2	69.0
ドイツ	174.0	136.0	108.0	96.9	83.3	76.6
フランス	129.0	118.0	108.0	99.4	90.7	84.1
インド	679	605	507	420	365	327
ロシア	N.A.	621	651	452	417	437
世界	257	231	201	194	179	173

出所：日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧2021」  
「世界の実質GDP当たりの一次エネルギー消費」より

図表6 主要国の一次エネルギー消費当たりの炭素排出（単位：二酸化炭素トン／石油換算トン）

国／年	1980年	1990年	2000年	2010年	2015年	2018年
アメリカ	2.53	2.49	2.49	2.36	2.25	2.21
中国	2.39	2.51	2.83	3.19	3.11	2.98
日本	2.62	2.41	2.24	2.27	2.66	2.54
ドイツ	2.97	2.69	2.41	2.31	2.36	2.30
フランス	2.37	1.54	1.44	1.30	1.21	1.21
インド	1.28	1.72	2.00	2.25	2.44	2.51
ロシア	N.A.	2.50	2.31	2.17	2.20	2.09
世界	2.47	2.35	2.31	2.39	2.40	2.35

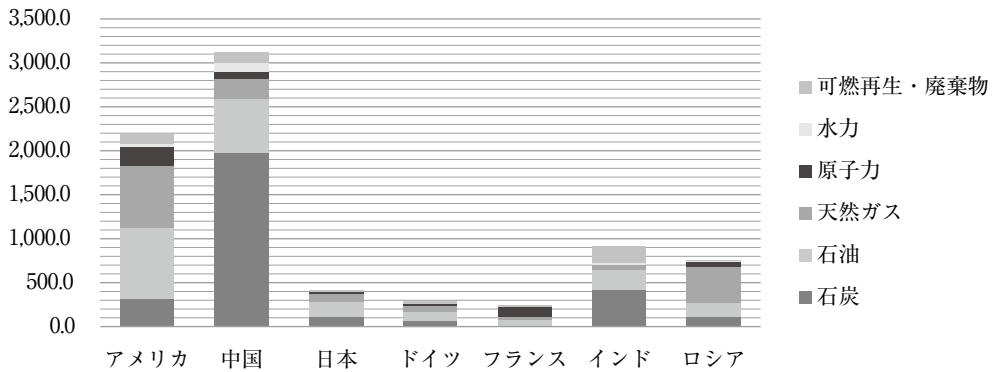
出所：日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧2021」  
「世界の一次エネルギー消費当たりのCO<sub>2</sub>排出量」より

10%以上の差が開いていることが特徴の1つとして捉えられる。なお、ロシアの場合は、1980年の一次エネルギー消費の実績値が不詳（N.A.）であるため、比較計算ができなかった。

一次エネルギー消費あたりの二酸化炭素排出の要因については、主要国の一次エネルギー消費構造の違いから検討してみたい。

2018年の主要国の一次エネルギー消費を種類別に示したのは図表7である。EDMC [2021]において同年の化石燃料系エネルギー源別炭素排出係数（単位：Gg-CO<sub>2</sub>/10<sup>10</sup>kcal）はそれぞれ、石炭が約3.71～3.97、原油が約2.79～3.06、天然ガスが約2.12～2.13であると確認できた。つまり石炭は他の化石燃料と比較すると、より多くの二酸化炭素を排出するため、利用率が高い国では

図表7 主要国の一次エネルギー消費（種類別，2018年値，単位：石油換算百万トン）



国／種類	石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	可燃再生・廃棄物
アメリカ	321.0	802.0	709.0	219.0	25.4	107.0
中国	1,980.0	610.0	230.0	76.9	103.0	117.0
日本	114.0	166.0	97.0	16.9	7.0	15.9
ドイツ	68.8	98.0	73.6	19.8	1.6	30.1
フランス	9.0	71.0	36.7	108.0	5.6	17.7
インド	414.0	235.0	52.4	9.9	13.0	185.0
ロシア	120.0	148.0	414.0	53.6	16.4	8.6
世界	3,838.0	4,497.0	3,262.0	707.0	362.0	1,327.0

出所：日本エネルギー経済研究所『EDMC エネルギー・経済統計要覧 2021』より筆者集計

全体の二酸化炭素排出を増加させていると考えられる。図表7から、主要国のうち一次エネルギー消費あたり炭素排出が最も高い2カ国の中国とインドにおいて、石炭の大量利用が大きく影響を及ぼしていることが明白である。

また、アメリカとフランスにおける原子力の利用が両国の二酸化炭素排出の削減に大きく寄与していることが図表7からみてわかる。一方、日本の一次エネルギー消費構造は、ドイツのそれと近い形であるため、「炭素集約度」のパフォーマンスが僅差となっているが、一次エネルギー消費あたりに二酸化炭素排出の改善率に約9%の差が開いている実態が興味深い。この点については、図表8で検討を進めたい。

図表8で示した電源構成の原燃料を大きく「化石燃料（石炭・石油・天然ガス）」と「非化石燃料（原子力・水力・地熱・風力他・バイオマス・廃棄物）」に分けて対比すると、アメリカが58.1%（化石燃料）/41.9%（非化石燃料）、中国が70.1%/29.9%、日本が73.2%/26.8%、ドイツが51.5%/48.5%、フランスが8.2%/91.8%、インドが78.6%/21.4%、ロシアが64.1%/35.9%となってい

図表 8 主要国の電源構成 (2018 年値, 単位: Twh)

国/種類	石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	地熱・風力他	バイオマス・廃棄物	化石/非化石燃料比
アメリカ	1272	42.9	1582	942	681	422	88.5	58.1% /41.9%
中国	4773	10.8	224	295	1199	543	104	70.1% /29.9%
日本	339	51.8	378	64.9	81	91.7	44.2	73.2% /26.8%
ドイツ	239	5.19	83.4	76	18	157	57.9	51.5% /48.5%
フランス	10.6	6	30.6	413	65.3	40.4	10.7	8.2% /91.8%
インド	1163	7.85	73.6	37.8	151	104	45.4	78.6% /21.4%
ロシア	178	8.01	528	205	191	1.38	2.61	64.1% /35.9%
世界	10160	784	6150	2710	4214	1964	637	64.2% /35.8%

出所: 日本エネルギー経済研究所「EDMC エネルギー・経済統計要覧 2021」より筆者集計

る。世界全体の平均値が 64.2%/35.8% と比較して、特に中国、日本、インドの 3 カ国の化石燃料の利用率の高さが浮き彫りになった。その背景には、やはり製造業など炭素集約度の高い産業の比率が大きく、特に日本の炭素排出量に占める業種別割合でみると鉄鋼業（2018 年度は製造業全体 3 億 7 千万トンの 4 割超を占める）による影響と非常に大きい。これは、中国とインドにも共通する特徴の一つともいえよう。

## 5 おわりに

ここまで本研究は、主要国の炭素集約度の長期推移について比較分析し、その背景については一次エネルギー消費とその構造の視点で考察してきた。その結果、日本は一次エネルギー消費における化石燃料の比率が中国・インド並みに高いにもかかわらず、経済の脱炭素化を表す「炭素集約度」の国際比較では、世界 2 位という高い評価を得ていることが特徴である。つまり、日本は二度の石油危機後、化石燃料（特に石炭）のエネルギー効率の改善を積み重ねてきたことなどから、「炭素集約度」において高い優位性をもっていると言えよう。地球規模の脱炭素対策を進めるに当たっては、先進国の取り組みだけで不十分であり、中国とインドなど新興国におけるエネルギー構成の見直しと二酸化炭素排出の大幅な改善には日本の経験と技術が欠かせない。

一方、炭素集約度は産業構成、電源構成や資源賦存状況等、多様な要因に影響を受けるものであるが、本研究の分析では日本の炭素集約度の改善率がやや停滞していることが明らかになり、今後は既存の省エネルギー技術から新たな脱炭素イノベーションが求められると考える。これを改善するためには、経済における石炭消費の比率を大きく減らし、産業の炭素集約度を下げ、特に電力業における石炭火力発電の再生可能エネルギーへの代替、鉄鋼業における石炭を原燃料と

する高炉法から電炉活用・水素製鉄への移行の実現が重要である。これは、今後の日本経済における脱炭素のポテンシャルが非常に大きく、経済成長と二酸化炭素排出の絶対デカップリングの実現可能性が高いとも理解できる。

なお、本研究はマクロ視点での国際比較に焦点をあてて分析考察を進めてきたが、今後の課題として、日本経済の脱炭素化に重要な役割を果たす電力業と鉄鋼業などの産業分析および個別企業の事例研究をすすめる、持続可能な地球社会の実現のためにヒントを模索していきたい。

#### 参考文献

- 高井亨 [2010] 「デカップリング概念と要因分解の統合による持続可能性評価」『環境情報科学論文集』第24巻, 261-266 ページ.
- 環境省「長期低炭素ビジョン（素案）参考資料集」URL: [https://www.env.go.jp/press/y0618-12/mat04\\_Part1.pdf](https://www.env.go.jp/press/y0618-12/mat04_Part1.pdf) (2021年9月24日取得)
- 百嶋徹 [2008] 「地球温暖化防止に向けた我が国製造業のあり方——CO<sub>2</sub>排出量の環境効率に関わる国際比較分析を中心に——」『ニッセイ基礎研所報』Vol. 50, Summer 2008, 43 ページ.
- 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット (EDMC) [2021] 『エネルギー・経済統計要覧 (2021年版)』理工図書株式会社.
- 山田久 [2021] 「2050年カーボン・ニュートラル実現のシナリオ～経済社会モデル転換に向けたトランジションで求めたれるもの～」日本総研レポート, No. 2021-004.
- 有馬純 [2017] 「カーボンプライシングに関する諸論点 (ダイジェスト版)」21世紀政策研究所
- 内閣官房 [2021] 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (案)」
- 諸富徹 [2012] 「日本のこれまでの気候変動政策とグリーン成長戦略」財務総研ランチミーティングオンライン資料
- 金融庁 [2021] 「サステナブルファイナンス有識者会議報告書 持続可能な社会を支える金融システムの構築」
- 環境省 [2008] 「平成20年版環境・循環型社会白書」

(提出日 2021年9月24日)