

我が国における CO₂ 排出量の要因分解

Report

天達 泰章
amatatsu-yasuaki@gxa.go.jp

November 2025

脱炭素成長型経済構造移行推進機構
GX Acceleration Agency

レポートは、すべて著者個人の責任で執筆されており、GX 推進機構の見解を示すものではありません。
なお、GX Future Lab に対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

我が国における CO₂ 排出量の要因分解[†]

(Report)

2025 年 11 月

GX 推進機構 上級研究員

経済学博士

天達 泰章

1. はじめに

2015 年国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)フランス・パリでは、世界共通の長期目標として「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べ 2°Cより十分低く、さらには 1.5°Cに抑える努力を追求する」とする「パリ協定」が採択された。更に、2021 年 COP26 イギリス・グラスゴーでは、「2100 年の世界平均気温の上昇を産業革命前に比べて 1.5 度以内に抑える努力を追求していく」ことが盛り込まれた「グラスゴー気候合意」が採択された。

これらを受けて、①米国は温室効果ガス(Greenhouse Gas<GHG>)排出量を 2005 年比 50~52%削減する 2030 年目標を設定し、2050 年にカーボン・ニュートラル(ネット・ゼロ)とすることを、②EU は温室効果ガス排出量を 1990 年比 55%以上削減する 2030 年目標を設定し、2050 年にカーボン・ニュートラルとすることを、各々決定している¹。世界各国で同様の動きになっている。

我が国も、2020 年 10 月に 2050 年までにカーボン・ニュートラルを目指すことを宣言し、2021 年 4 月に 2030 年度に温室効果ガス排出量を 2013 年度比 46%削減し、さらに 50% の高みを目指すことを表明した²。2025 年 2 月にも「地球温暖化対策計画」を閣議決定し、2050 年カーボン・ニュートラルの実現に向けた直線的な経路にある野心的な目標として、2035 年度に 60%削減、2040 年度に 73%削減することを目指すとした新たな「日本の NDC

[†] 本稿の作成に当たっては、近江貴治教授（久留米大学）、GX 推進機構の重竹尚基専務理事、高田英樹理事から有益なコメントを頂いた。ただし、本稿で示されている意見およびあり得べき誤りはすべて筆者に属し、GX 推進機構の公式見解を示すものではない。

¹ 温室効果ガスは、二酸化炭素 (CO₂)、メタン、亜酸化窒素、フロンガス等から構成される。我が国の温室効果ガス排出量に占める CO₂ 排出量の割合は 92.3% (2023 年度) と、CO₂ 排出量が大部分を占める。カーボン・ニュートラルは、CO₂ 等の温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させ、排出量を「実質ゼロ」に抑える、という概念。

² 菅内閣総理大臣は 2020 年 10 月 26 日の所信表明演説において、日本が 2050 年までにカーボン・ニュートラルを目指すことを宣言した。加えて、菅内閣総理大臣は 2021 年 4 月の地球温暖化対策推進本部及び米国主催の気候サミットにおいて、「2050 年目標と整合的で、野心的な目標として、2030 年度に、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指す。更に、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」ことを表明した。

(Nationally Determined Contribution、国が決定する貢献)」を「気候変動に関する国際連合枠組条約事務局(UNFCCC)」に提出している。

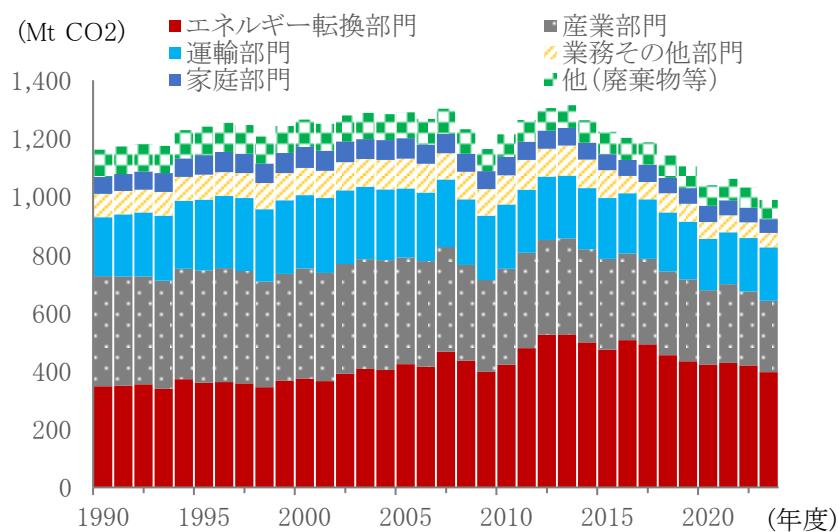
こうした中、近年では、政府による GX(Green Transformation)政策や、国全体での気候変動への意識の高まり等を受けて、化石燃料による発電から再生可能エネルギーによる発電へのシフトが見られるなど、我が国の CO₂(二酸化炭素)排出量は、減少している。本稿は、我が国の CO₂ 排出量の推移を確認するとともに、CO₂ 排出量の増減要因の解明を試みる。

2. CO₂ 排出量の推移

図表 1 は我が国の CO₂ 排出量の推移を、電力会社の発電による CO₂ 排出量をエネルギー転換部門に計上する「直接排出」の集計方法で示している³。

1990 年以降、CO₂ 排出量は緩やかに増加したが、2008 年 9 月のリーマンショックを受けた景気後退から 2009 年度に排出量は減少した。2011 年 3 月の東日本大震災時には、原子力発電所の停止から、石炭・石油等を電力に転換する電力会社などのエネルギー転換部門(赤色棒)において、2011 年度から 2012 年度にかけて、排出量は大きく増加した(図表 1)。その後、2013 年度をピークに、排出量は製造業・建設業・農林水産鉱業から構成される産業部門(灰色棒)を中心に減少に転じている。

図表 1：日本の CO₂ 排出量（直接排出）



(出所) 国立環境研究所

³ CO₂ 排出量の集計方法は「直接排出」と「間接排出」の 2 つである。「直接排出」の集計方法は電力会社の発電による CO₂ 排出量をエネルギー転換部門に計上する一方、「間接排出」の集計方法は電力会社の発電による CO₂ 排出量を電力使用者である各部門に計上する。産業部門は製造業を中心に電力を大量に使用することから、「間接排出」の集計方法では、産業部門の CO₂ 排出量は電力会社由来の CO₂ 排出量が 30%程度占めることになる。

3. CO₂ 排出量の要因分解式

CO₂ 排出量の増減を、経済活動(生産量)の増減や省エネルギーの進展、再生可能エネルギーへの転換などに要因分解して分析する。「茅恒等式」と称される以下の式のように、「CO₂ 排出量」は「経済活動(実質 GDP)」、エネルギー消費量を実質 GDP で除した「経済活動のエネルギー効率」、CO₂ 排出量をエネルギー消費量で除した「エネルギー消費当たりの CO₂ 排出量」の 3 つの積によって表される⁴。

$$CO_2 \text{ 排出量} = \text{実質GDP} \times \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{実質GDP}} \times \frac{CO_2 \text{ 排出量}}{\text{エネルギー消費量}}$$

右辺第 1 項は、経済活動(生産量)の代理変数である実質 GDP である。好況期には、消費需要の増加を受けて工場等での生産量が増えることで、CO₂ 排出量が増加する。一方、リーマンショックやコロナショック等の不況期には、消費需要の減少を受けて工場等での生産量が減少することで、CO₂ 排出量が減少する。

右辺第 2 項は、1 単位当たりの実質 GDP(生産量)を生み出すのに必要なエネルギー消費量を示し、「エネルギー集約度(エネルギー原単位)」と称される。LED 照明や高効率空調への切り替え、断熱性向上、省エネ率の高い産業用・車載用モーターなど省エネルギー技術の開発・活用により、生産量を維持しつつエネルギー消費量を減少させることで、エネルギー集約度は低下して CO₂ 排出量を減少させることができる。

右辺第 3 項は、1 単位当たりのエネルギー消費によって排出される CO₂ 排出量を示し、「炭素集約度(CO₂ 排出原単位)」と称される。CO₂ を排出する石炭火力発電や石油火力発電から、CO₂ を排出しない再生可能エネルギー発電や原子力発電に切り替えることなどで、炭素集約度は低下して CO₂ 排出量を減少させることができる。

この要因分解により、2014 年以降の CO₂ 排出量の減少も、①景気変動によるものか、②省エネの進展によるものか、③再生可能エネルギー等への電源シフト(エネルギー源の低炭素化)によるものを定量的に示すことができる。

4. CO₂ 排出量の要因分解

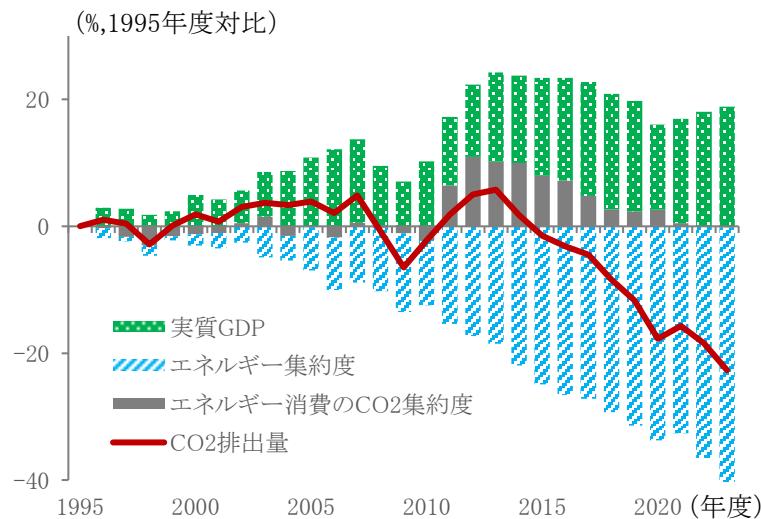
図表 2 の赤線は、1995 年度の CO₂ 排出量を基準にして変化率を見たものである。プラスは 1995 年度対比で排出量が増加していることを、マイナスは 1995 年度対比で排出量が減

⁴ 「茅恒等式 (Kaya Identity)」は、茅陽一元東大教授が、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の温暖化対策を議論する第 3 作業部会に設置されたエネルギー・産業小委員会で本式を報告し、1990 年公表の IPCC 第 1 次報告書にも掲載された（日本経済新聞 2018 年 12 月 22 日付「私の履歴書 茅陽一 (21) 茅恒等式—CO₂ 排出、式を単純化、3 要素に分解、分析の基本に」）。

少していることを示す。CO₂ 排出量の 1995 年度対比の変化率は 2014 年度以降低下してマイナス幅を拡大、直近(2023 年度)で 1995 年度比▲20%まで低下している。

加えて、その変化率を、上記式により実質 GDP(緑色棒)とエネルギー集約度(青色棒)、エネルギー消費の CO₂ 集約度(炭素集約度、灰色棒)に要因分解している。

図表 2：日本の CO₂ 排出量の要因分解



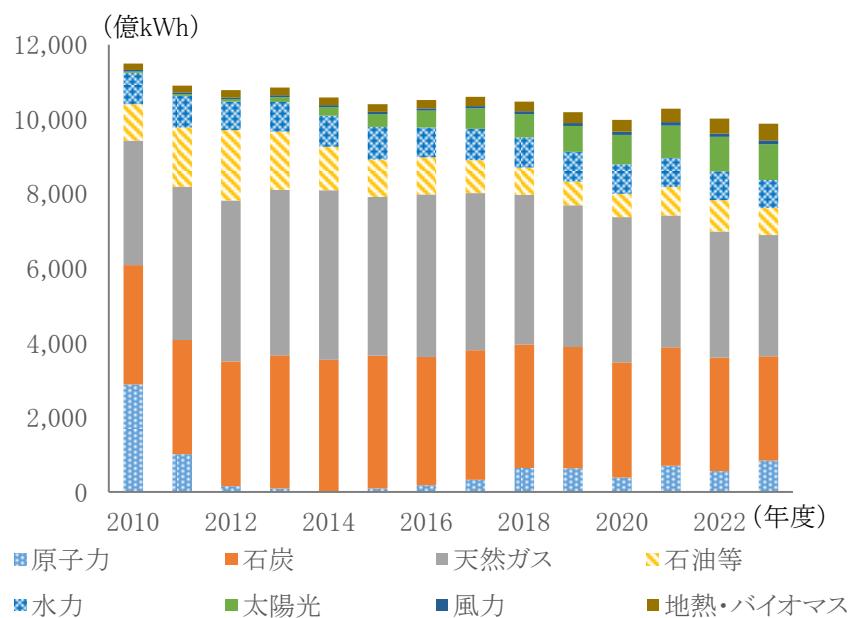
第一に、我が国は経済成長を続けていることから、実質 GDP は排出量の増加に寄与している。ただし、リーマンショック(2008 年度)やコロナショック(2020 年度)での不況期には、実質 GDP のプラス幅は縮小し、排出量の減少に寄与している。

第二に、エネルギー集約度は一貫してマイナス幅を拡大し、排出量の減少に大きく寄与している。LED 照明への切り替えやハイブリッド車の導入等により省エネが進展したこと、産業部門における精力的な省エネの進展(後述)などを受けて、実質 GDP の増加に対してエネルギー消費量は横ばい推移または減少した。1998 年の省エネ法(エネルギーの使用的合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律)改正(1999 年 4 月施行)による①機械器具や自動車等へのトップランナー制度の導入や②工場等における中長期的に年平均 1%以上の省エネの努力目標の導入(後述)なども、省エネの進展に寄与しているとの指摘がある⁵。

⁵ トップランナー制度は、基準値を策定する時点で、最もエネルギー効率に優れた機器の数値を超えることを目標とする（最高基準値方式）もの。具体的には、基準値を策定する年に販売された自動車の中で、燃費が 15km/L という自動車が最も燃費が良い「トップランナー」と仮定すると、翌年の基準値は 15km/L に決定し、翌年以降は燃費が 15km/L の自動車を目標として、各メーカーは省エネの開発を進める。設定した目標年度に基準を達成しなかった場合に、未達成の理由や今後の対応を報告する義務が定められている。

最後に、エネルギー消費のCO₂集約度(炭素集約度)は2011年3月の東日本大震災を受けて、CO₂を排出しない原子力発電からCO₂を排出する石炭火力発電や石油火力発電、ガス火力発電にシフトしたことから、2011年度にプラス幅を拡大し、排出量の増加に寄与している。その後、再生可能エネルギー等へのシフトから、炭素集約度のプラス幅は縮小し、排出量の減少にやや寄与している。図表3は我が国の電源構成別の発電量の推移を示し、直近10年間で、水力発電、太陽光発電、風力発電、地熱・バイオマス発電で構成される再生可能エネルギーによる発電量が増加していることがわかる(全体に占める再生可能エネルギー発電のシェア:2012年度10%→2023年度23%)。原子力発電も再稼働から増加している(全体に占める原子力発電シェア:2012年度1%→2023年度9%)。

図表3：日本の電源構成別発電量



(出所) 資源エネルギー庁

5. 産業部門におけるCO₂排出量の要因分解

部門別でみてエネルギー転換部門に次いでCO₂排出量の多い産業部門(製造業・建設業・農林水産鉱業)によるCO₂排出量の増減を要因分解して、我が国全体と産業部門の動

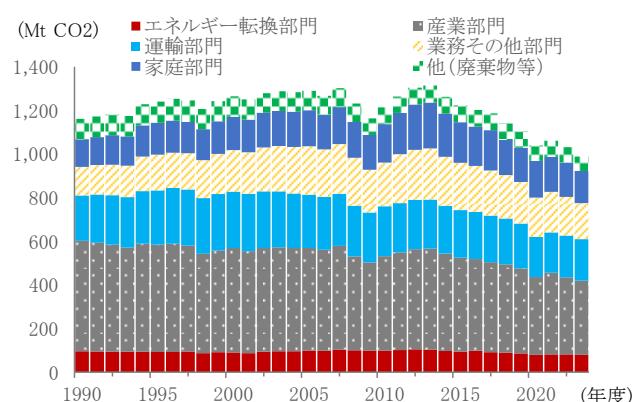


きの違いを分析する。

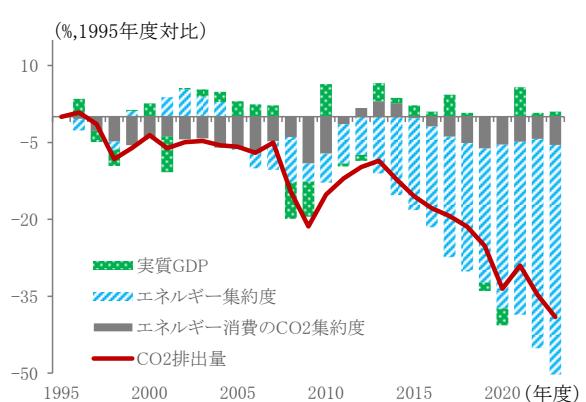
図表4はCO2排出量の推移を、電力会社の発電によるCO2排出量を電力使用者に計上する「間接排出」の集計方法で示している。製造業を中心とした産業部門は電力を使用して経済活動(生産)していることから、電力会社から購入した電力分も含めたCO2排出量を分析することで、エネルギー消費に基づく生産、生産に基づくCO2排出の流れを過不足なく分析することができる。

部門別に見ると、まず、①産業部門や②卸小売業や宿泊・飲食サービス業等が含まれる業務その他部門、③家庭部門は多くの電力を使用して経済活動することから、三部門のCO2排出量の割合は、図表1の「直接排出」の集計方法と比較して大きくなる⁶。次に、2011年度から2012年度にかけての東日本大震災による原子力発電の停止によるCO2排出量の増加は、電力使用者である三部門の排出量の増加として表される。最後に、産業部門は図表1の「直接排出」の集計方法と同様に2013年度をピークに、CO2排出量が減少している。

図表4:日本のCO2排出量(間接排出)



図表5:産業部門におけるCO2排出量の要因分解



(出所) 国立環境研究所

図表5は産業部門における1995年度のCO2排出量を基準にして変化率を見たものである⁷。1995年度対比CO2排出量(赤線)は、図表2の我が国全体の排出量(2023年度▲20%)よりもマイナス幅が大きい(同▲32%)。

CO2排出量増減の要因分解を踏まえて、我が国全体と比較してマイナス幅が大きい背景を整理する。

第一に、実質GDP(緑色棒)は製造業の海外生産移転等による輸出の減少などから、図

⁶ 「間接排出」の集計方法では、各部門における電力会社由来のCO2排出量が、産業部門で30%程度、業務その他部門で70%程度、家庭部門で60%程度を占める。

⁷ 計算では、「工業プロセス及び製品の使用」におけるCO2排出量を産業部門に加えた。これは、例えば、セメント製造工程でのCO2排出量は、エネルギー由来のCO2排出量が4割、石灰石由来のCO2排出量が6割を占める(セメント協会)中で、統計では、石灰石由来のCO2排出量を「産業部門」ではなく、「工業プロセス及び製品の使用」に計上していることによる。

表 2 の我が国全体の実質 GDP よりもプラス幅が小さい。

第二に、エネルギー集約度(青色棒)はマイナス幅が大きく、CO₂ 排出量の減少に大きく寄与している。ただし、エネルギー集約度のマイナス幅が顕著に拡大するタイミングは 2010 年度台前半と、図表 2 の我が国全体のエネルギー集約度よりもやや遅いタイミングでマイナス幅が拡大している。これは、1998 年の省エネ法の改正(1999 年 4 月施行)により「エネルギー消費原単位(=エネルギー消費量/生産量、エネルギー集約度)を、工場又は事業者ごとに中長期的にみて年平均 1%以上低減させることを目指す」ことが求められていたものの、2013 年の省エネ法の改正(2013 年 12 月施行)により「電気需要平準化評価原単位(電気需要が高まる時間帯のエネルギー消費量を 1.3 倍としてエネルギー消費量を計算し、エネルギー集約度とする)の年平均 1%以上低減」が目標に加えられたことが影響していると考えられる。すなわち、2013 年省エネ法の改正により、工場等は一段と省エネを推進しなければならなくなつたと考えられる。こうした中、①鉄鋼業における高炉や石炭等自家火力などにおける排熱から発生する蒸気や温水を、製造業のプロセス利用や空調用の吸収式冷凍機、給湯の熱源として利用するコーチェネレーション・システムの導入や②苛性ソーダ製造における省エネ技術である「ガス拡散電極電解法」の導入などから、化学工業を中心にエネルギー集約度はマイナス幅を拡大している⁸。

最後に、エネルギー消費の CO₂ 集約度(炭素集約度、灰色棒)は、電力会社由来の CO₂ 排出量が全体の 30%程度を占めることもあって、東日本大震災後にプラス転化し、再生可能エネルギーへのシフトを受けてマイナス転化するなど、図表 2 の我が国全体のエネルギー消費の CO₂ 集約度と概ね変わらない動きである。

ただし、近年では、炭素集約度がややマイナス幅を縮小している点が異なる。この点、産業部門における鉄鋼や化学、セメント、製紙などは、製造工程において高温による化学反応を必要とするため、石炭等自家火力を活用して、独自に CO₂ を排出していることも影響している。2050 年までにカーボン・ニュートラルを実現することを見通せば、産業部門においても CO₂ を排出しない新技術(燃料転換)の開発と実装などが求められよう。

このように CO₂ 排出量を部門毎に要因分解することで、きめ細かな政策対応を議論することができると考えられる。

6. 結論

CO₂ 排出量増減の要因分解によって、我が国の CO₂ 排出量は、エネルギー集約度のマイナス寄与が大きく、省エネが大きく進展していることにより、減少していることが示される。加えて、近年では、炭素集約度のプラス幅が縮小しており、再生可能エネルギーへのシフトなどが CO₂ 排出量の減少にやや寄与していることが示される。

我が国の目標である「2030 年度に温室効果ガス排出量を 2013 年度比 46%削減」を実現

⁸ 「ガス拡散電極電解法」は、銀などを触媒としたガス拡散電極を食塩電気分解槽の陰極に用いることにより、当時の従来法である「イオン交換膜電解法」と比べて必要な消費電力の 40%近くを削減できたとされている。

するためには、①更なる省エネの進展に加えて、②太陽光発電と風力発電を中心とした再生可能エネルギーと原子力等の CO₂ を排出しない発電へのシフト(エネルギー源の低炭素化)が必要であろう。

更に、2050 年までにカーボン・ニュートラルを実現することを見通せば、②の CO₂ を排出しない発電における新技術開発の観点で、イ) 太陽光発電におけるフィルム型ペロブスカイトの実装と量産技術の確立やロ) 浮体式洋上風力の開発、ハ) 既存の石炭火力発電やガス火力発電等について、我が国の比較優位のある技術力を基に水素・アンモニアの混焼・専焼による発電を開発・実装していくことなどで、CO₂ 排出量を削減していくことが考えられる。加えて、火力発電等から排出される CO₂ を分離回収し、長期安定的に地中に貯留する CO₂ 回収・貯留技術(CCS)を開発・実装していくことも展望される。

また、部門別でみてエネルギー転換部門に次いで CO₂ 排出量の多い産業部門(製造業・建設業・農林水産鉱業)は、工場等での AI 活用によるエネルギー消費の節約や、鉄鋼業における高炉から電炉へのシフト・水素還元製鉄の実装、石炭等自家火力における水素・アンモニア等への燃料転換、ナフサ由来の原料からの原料転換などによって、産業部門でのカーボン・ニュートラルを強力に推し進めていく必要があろう。

直近で、洋上風力発電の建設プロジェクトや水素・アンモニア・サプライチェーンの構築プロジェクトなどの大規模なプロジェクトが動き出している。これらプロジェクトの資金調達額は大きいことから、金融機関がプロジェクト・ファイナンス等の金融手法を駆使して、GX 投資を促すためのリスクマネーの供給に一段と取り組むことが期待されている。

【参考文献】

近江貴治(2023)『脱炭素物流：地球を守るリアルな政策・技術の選択』、白桃書房

地球と産業の未来を、
ともに拓く。



「GX Future Lab」は、GX 推進機構メンバーが個人として調査研究成果をとりまとめた資料です。学界、研究機関等の関係する方々から幅広くコメントを頂き、今後の研究に役立てることを意図して発表しております。

レポートは、すべて著者個人の責任で執筆されており、GX 推進機構の見解を示すものではありません。