

運輸部門の脱炭素政策

大屋 郁人

はじめに

工業化以降、人為起源の温室効果ガスの排出量は増加を続け、それに伴って平均気温も上昇を続けている。このような平均気温の上昇は大雨や高温などの極端現象の増加、雪氷面積の減少、海面水位の上昇、干ばつの発生等の減少に寄与し、生態系においても不可逆的な損失を引き起こしている。

このような気候変動の進展を受け、パリ協定では各国に排出量削減目標の策定が義務付けられた。日本でも排出量削減目標が策定され、2030年度に向けた各分野の排出量削減目標が定められた。日本の温室効果ガス排出量の内、約9割が二酸化炭素（CO₂）による排出であり、運輸部門は二酸化炭素排出量の約2割を占めている。加えて、2022年時点での2013年度比の二酸化炭素排出量の削減率では、運輸部門が最も低くなっており、運輸部門における二酸化炭素排出量の削減対策は必須である。

本論では運輸部門における気候変動対策、温室効果ガス排出量削減対策について、気候変動の現状と日本政府の方針を確認した後、二酸化炭素排出量の削減に関して、輸送モードごとの取り組み、物流部門での取り組み、まちづくりの中での取り組みの観点から分析していく。

第1節 気候変動の現状と日本政府の方針

1.1 気候変動の現状と将来リスク

気候変動に関する人間活動が与える影響について気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の評価報告書の記述は、この30年あまりで大きく変化している。第一次評価報告書（1990）では「観測された（世界平均）気温の上昇は気候モデルの予測と整合しているが自然変動の大きさと同程度であり、自然変動の可能性もある」とされていたものが、第4次評価報告書（2007）には「20世紀半ば以降の観測された全球平均気温の増大のほとんどが観測された人為的なGHG濃度の増大によるものである可能性が高い」とほぼ断定された。第6次評価報告書（2022）では「人間活動が主にGHGの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことは疑う余地がない」とし、「人間による影響が20世紀半ば以降に観測された悪影響の支配的な原因であった」というふうに、人為的な気候変動が実際に悪影響をもたらしていると明言された¹。このような人為的気候変動の確信度の変化は全球平均気温の顕著な上昇が1990年代に生じた影響も大きいことが

¹ 沖（2024）pp. 25-26.

指摘されている²。

産業革命以降の大気の組成の変化を見ると、1750年ごろ以来世界の温室効果ガスの排出量は急速に増加しており、1750年以降二酸化炭素（CO₂）は51%、メタン（CH₄）は165%、一酸化二窒素（N₂O）は25%の濃度の上昇がみられる³。それに伴って世界平均気温の上昇が続いている。2011年～2020年の世界平均気温は1850年～1900年よりも1.09℃上昇しており⁴、特に1970年以降では少なくとも過去2000年間にわたって、他のどの50年間にも経験したことのない速度で上昇している⁵。この急激な世界平均気温の上昇は既に熱波、大雨、干ばつ等の極端現象の発生に影響を与えている。世界平均気温の上昇は続くと予測されており、IPCC第6次報告書では5種類の共有社会経済経路（SSP1～5）と2100年時点のおおよその放射強制力を組み合わせたシナリオを用いて世界平均気温の上昇を予測している。

SSP5-8.5は化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入せず、2050年までに二酸化炭素排出量が2015年の2倍に達する高位参照シナリオであり⁶、2081年～2100年の間で3.3℃-5.7℃の昇温に達する可能性が非常に高い⁷とされている⁸。気候政策を導入した場合のシナリオも検討されており、SSP2-4.5は中道的な発展の下で気候政策を導入し、2030年までの各国のNDC（国が決定する貢献）⁹を集計した排出量のほぼ上限に位置するシナリオであり¹⁰、2081年～2100年の気温上昇は2.1℃-3.5℃になると予測されている¹¹。さらに昇温が低位のシナリオでは、SSP1-2.6とSSP1-1.9がある。SSP1-2.6は持続可能な発展の下で、工業化以前を基準として昇温を2℃未満に抑える気候政策を導入、2050年以降に二酸化炭素排出量を正味ゼロにするシナリオである¹²。SSP1-1.9は持続可能な発展の下で、工業化以前を基準とする21世紀末までの昇温を概ね（わずかに超えることはあるものの）約1.5℃以下に抑える気候政策を導入し、21世紀半ばに二酸化炭素排出量の正味ゼロを見込むシナリオである¹³。このシナリオの場合、2081年～2100年の間で1.0℃-1.8℃の昇温に抑えることができる可能性が非常に高いと示されている¹⁴。

² 沖（2024）pp. 25-26.

³ World Meteorological Organization (2024) p. 2.

⁴ IPCC (2021) p. 5.

⁵ IPCC (2021) p. 5.

⁶ 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省（2021）p. 3.

⁷ 原文では「Very likely」であり、90%～100%の確立を表す。

⁸ IPCC (2021) p. 14.

⁹ 各国の温室効果ガス削減・抑制目標のこと。

¹⁰ 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省（2021）p. 3.

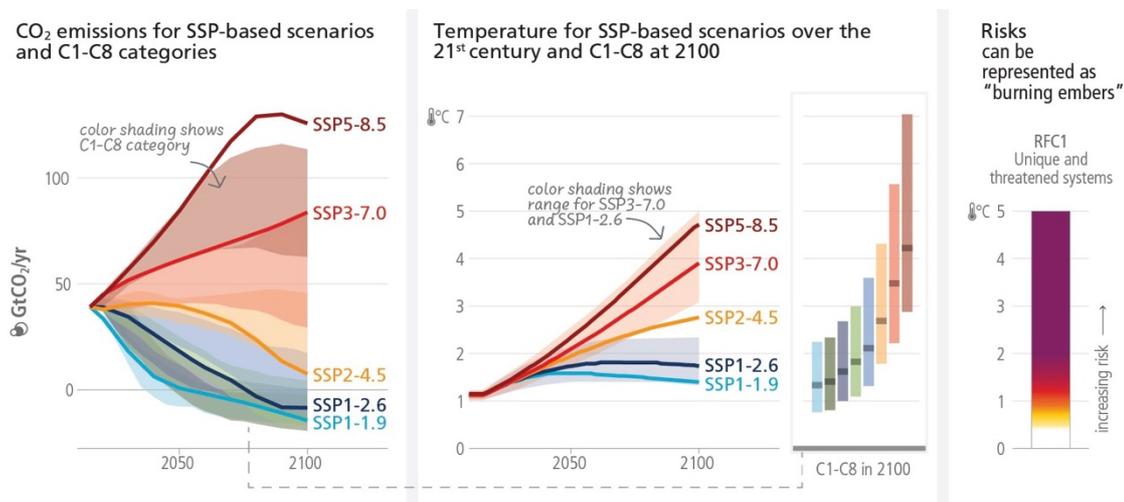
¹¹ IPCC (2021) p. 14.

¹² 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省（2021）p. 3.

¹³ 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省（2021）p. 3.

¹⁴ IPCC (2021) p. 14.

図表 1 5つの SSP シナリオにおける二酸化炭素の排出量と気温上昇予測



(出所) IPCC (2023) p. 65. より転載。

このような人為的な気候変動は既に極端現象の頻度と強度の増加を伴い、自然と人間に対して、広範囲にわたる悪影響と、それに関連した損失と損害を、自然の気候変動の範囲を超えて引き起こしていることが指摘されている¹⁵。加えて、極端な気象と気候の増加により、自然と人間のシステムはそれらの適応能力を超える圧力を受け、それに伴いいくつかの不可逆的な影響をもたらしていることも確信度が高い¹⁶。

このような気候変動を防ぐため、2015年に開催された第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定では、世界の平均気温を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保ち、1.5°Cに抑える努力をするという目標が掲げられた。いわゆる2°C目標と1.5°C目標である。

パリ協定ではこの目標達成のために途上国を含む全ての参加国・地域に対して2020年以降の「温室効果ガス削減・抑制目標」を定めることを求めており、加えて、長期的な「低排出発展戦略」を作成して提出するよう努力することが規定された¹⁷。しかし、各国のNDCを集計した排出量では、21世紀中に工業化以前と比較した気温の上昇が1.5°Cを超える可能性が高い見込みであることが指摘されている¹⁸。現状の排出量削減目標は2°C目標や1.5°C目標の達成には不十分であることから、一層の温室効果ガス排出量の削減が求められている。

気候変化を引き起こすさまざまな人為起源及び自然起源の因子の強度を、定量的に比較するための概念として、放射強制力がある¹⁹。工業化以前から2023年までの世界全体の放射強制力

¹⁵ IPCC (2022a) p. 8.

¹⁶ IPCC (2022a) p. 8.

¹⁷ 資源エネルギー庁 (2017) .

¹⁸ IPCC (2022b).

¹⁹ IPCC (2007).

の増加量に対する主要な長寿命温室効果ガスの寄与の内、二酸化炭素は66%を占めており²⁰、二酸化炭素排出量の削減が重要となってくる。

世界平均気温の上昇をオーバーシュートしない、または限られたオーバーシュートを伴って1.5°Cに抑えるように計算されているモデルの排出経路では、世界全体の人為起源の二酸化炭素の正味排出量が、2030年までに2010年水準から約45%減少し、2050年前後に正味0に達する必要がある²¹。

地球温暖化を1.5°C以内に抑えるため、IPCC1.5°C特別報告書では、エネルギー、土地、都市、インフラ（運輸と建物を含む。）、並びに産業システムにおける、急速かつ広範囲に及ぶ移行が必要である、と指摘されている²²。

1.2 日本の気候変動に対する目標

気候変動の影響は日本においては既に真夏日、猛暑日、熱帯夜等の日数が有意に増加し、冬日の日数が有意減少している点や²³、大雨及び短時間強雨の発生頻度が有意に増加している点で現れている²⁴。例えば、日降水量100mm以上及び200mm以上の大雨の日数に関して1901年～1930年と1990年～2019年を比較すると、100mm以上の降水は約1.4倍、200mm以上の降水は約1.7倍に増えている²⁵。

気候変動の影響により、21世紀末には気温の上昇や短時間強雨の発生、海面水位・海面水温の上昇のリスクが高まることが予測されている。

図表2 日本のNDCにおけるエネルギー起源二酸化炭素の部門別目標

(単位:百万t-CO2)

	2030年度の目標・目安	2013年度
エネルギー起源二酸化炭素	677	1,235
産業部門	289	463
業務その他部門	116	238
家庭部門	70	208
運輸部門	146	224
エネルギー転換部門	56	106

(出所) 地球温暖化対策推進本部 (2021b) を基に筆者作成。

²⁰ World Meteorological Organization (2024) p. 2.

²¹ IPCC (2018) p. 18.

²² IPCC (2018) p. 24.

²³ 文部科学省・気象庁 (2020b) pp. 27-28.

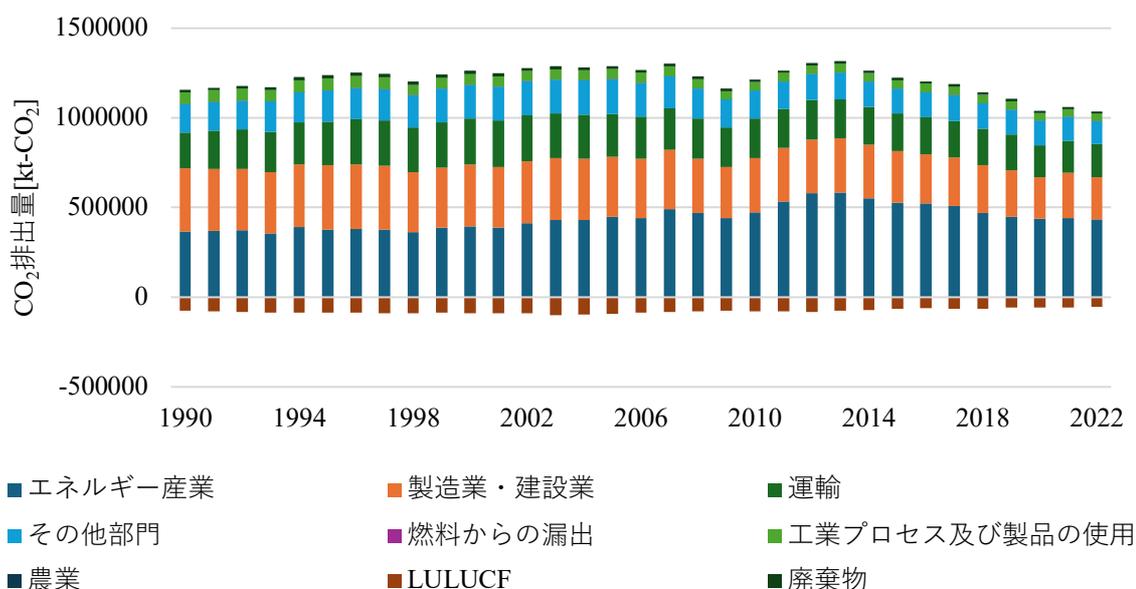
²⁴ 文部科学省・気象庁 (2020b) p. 57.

²⁵ 文部科学省・気象庁 (2020a) p. 13.

このような科学的知見と、パリ協定での2℃目標・1.5℃目標を基に、日本では2020年10月に菅内閣総理大臣が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。2021年にはパリ協定に基づき、日本のNDCが定められた。日本のNDCでは、2030年度の排出量を2013年度比で46%削減することが目標として示された。それに伴って部門別の排出量削減目標も示された²⁶。エネルギー起源の二酸化炭素の排出量の削減率を部門別で確認すると、産業部門が38%の削減、業務その他部門が51%の削減、家庭部門が66%の削減、運輸部門が35%の削減、エネルギー転換部門が47%の削減を目標としている。日本のNDCの決定同時に地球温暖化対策計画が閣議決定された。地球温暖化対策計画の詳細に関しては後述とする。

1990年以降の日本の二酸化炭素の排出量を確認すると、2013年までは緩やかに増加傾向であったが、2013年以降は減少傾向に転じ、2022年度は1990年以降で過去最低の排出量を記録している。

図表3 日本の部門別二酸化炭素排出量



(出所) 国立環境研究所 (2024b) を基に筆者作成。

日本のNDCにおいて、排出量削減の基準とされている2013年を100として、2022年までの排出量を部門別に表すと、以下のようなになる。

図表4・図表5によると、2022年度のエネルギー産業部門の排出量は2013年度比の約75%、製造業・建設業は約77%となっており、他の分野よりも低い値を示している。一方で、運輸部門に関しては2022年度の排出量が2013年度比で約86%であり、他の分野よりも高い値を示している。

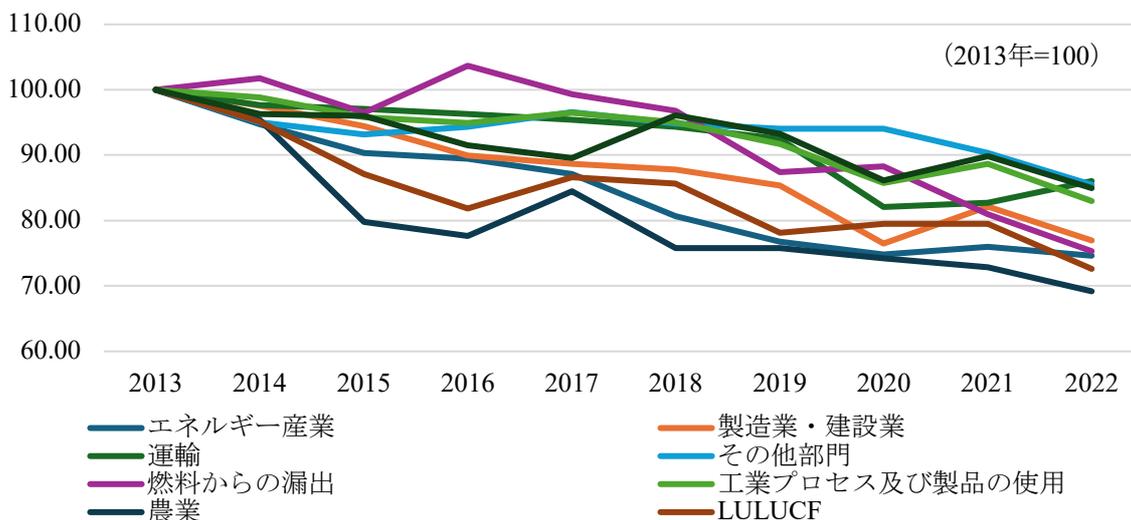
²⁶ 地球温暖化対策推進本部 (2021b) p. 1.

図表4 2013年を100とした場合の各部門の二酸化炭素排出量の推移

区分	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
エネルギー産業	100.00	94.75	90.36	89.47	87.10	80.68	76.81	74.82	75.94	74.63
製造業・建設業	100.00	97.52	94.48	89.96	88.67	87.79	85.38	76.49	82.15	76.96
運輸	100.00	97.69	97.10	96.26	95.42	94.38	92.52	82.08	82.70	86.02
その他部門	100.00	95.07	93.20	94.37	96.63	94.82	94.07	94.07	90.31	85.49
燃料からの漏出	100.00	101.73	96.54	103.68	99.35	96.75	87.45	88.31	80.95	75.32
工業プロセス及び製品の使用	100.00	98.80	95.80	94.97	96.48	95.04	91.72	85.77	88.72	82.99
農業	100.00	95.45	79.80	77.61	84.51	75.76	75.76	74.24	72.90	69.19
LULUCF	100.00	95.08	87.10	81.87	86.64	85.68	78.14	79.55	79.52	72.62
廃棄物	100.00	96.34	95.99	91.48	89.53	96.07	93.27	86.12	89.87	84.97
合計(LULUCF含む)	100.00	96.14	93.35	92.05	90.50	86.93	84.40	79.08	80.80	79.04
合計(LULUCF含まない)	100.00	96.08	93.00	91.47	90.28	86.86	84.05	79.10	80.73	78.68

(出所) 国立環境研究所 (2024b) を基に筆者作成。

図表5 2013年を100とした場合の各部門の二酸化炭素排出量の推移



(出所) 国立環境研究所 (2024b) 基に筆者作成。

図表6により、2022年度の日本の二酸化炭素排出量の部門別の内訳を確認すると、産業部門が3億5200万トンで総排出量の34.0%を占めており、最大である。次点で運輸部門が1億9180万トンで総排出量の18.5%を占めており、運輸部門は二酸化炭素の部門別排出量において大きな割合を占めていることが分かる。

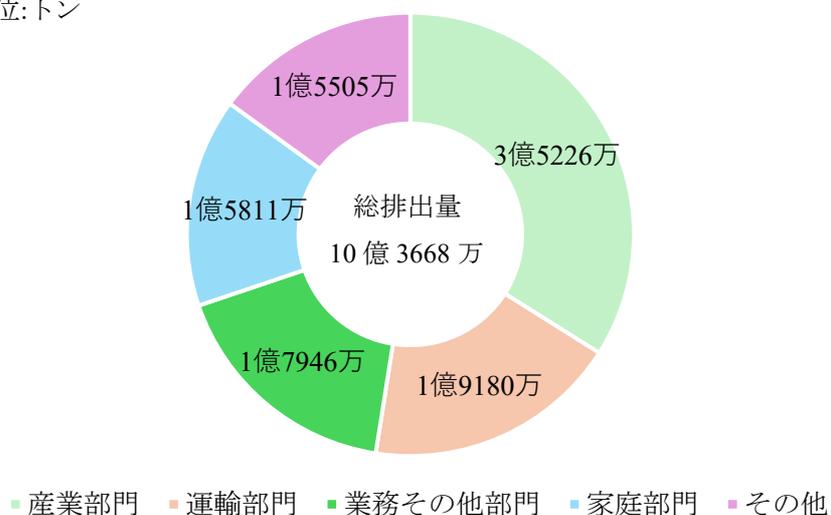
以上のことから、運輸部門における二酸化炭素排出量の排出削減対策は必須であるといえる。

続いて、図表7により、日本の運輸部門内の二酸化炭素排出量の内訳を確認する。二酸化炭素排出量は自動車が多く、自動車全体で1億6452万トンであり、運輸部門の85.8%を占める。自動車以外だと航空が970万トンで5.1%、内航海運が1021万トンで5.3%、鉄道が738万トンで3.8%となっている²⁷。

²⁷ 国土交通省 (2024a) .

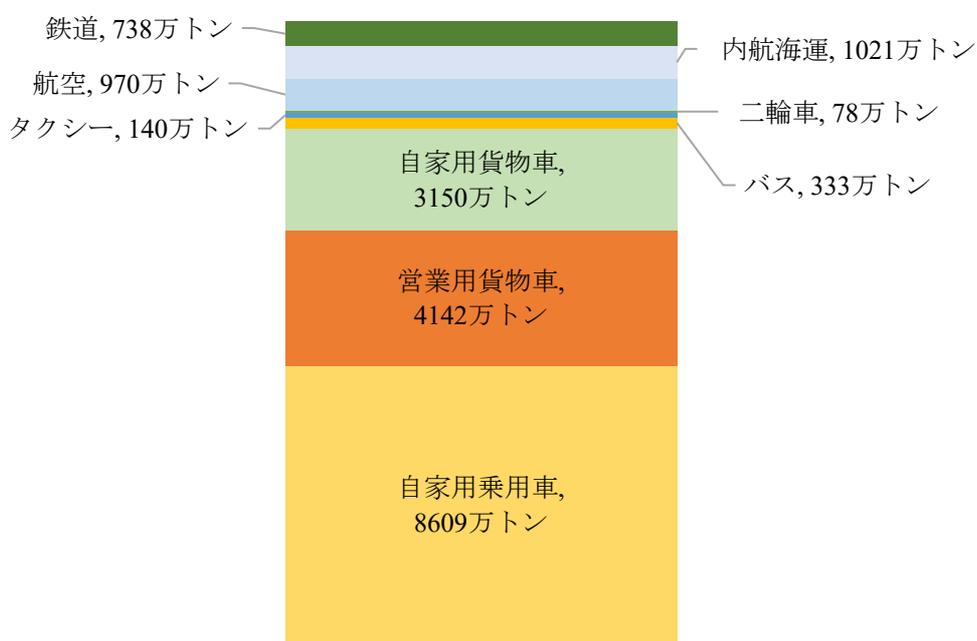
図表6 部門別の二酸化炭素排出量の内訳（2022年度）（電気・熱配分後）

単位:トン



(出所) 国立環境研究所 (2024b) と環境省 (2024a) を基に筆者作成。

図表7 運輸部門の二酸化炭素排出量の内訳（2022年度）



(出所) 国土交通省 (2024a) を基に筆者作成。

運輸部門の二酸化炭素排出量においては、自動車（自家用乗用車・営業用貨物車、自家用貨物車・バス・タクシー・二輪車）が85.8%と大きな割合を占めている。自動車の内訳を確認すると、自家用乗用車：8609万トン、営業用貨物車：4142万トン、自家用貨物車：3150万トン、バス：

333万トン、タクシー：140万トン、二輪車：78万トンとなっている²⁸。そのため、運輸部門における二酸化炭素排出量の削減を行うには、自動車全体の排出量の削減や、旅客・貨物の輸送を自動車から鉄道や船舶にシフトさせるモーダルシフト、都市構造の変化等の対策が必要となっている。

1.3 日本政府の方針

一般的に、社会における財やサービスは、市場を通じた生産者と消費者の間での調整が双方の利益を最大化する。しかし、気候変動問題に関しては、温室効果ガスの排出主体と被害者との間で「好ましい気候」を直接売買することが出来ない、つまり「市場の不在」の問題があるため、市場取引を通じた解決は難しい²⁹。一方で、政策立案や政策の実施に関しても、政府の失敗が存在することに留意が必要である³⁰。このような条件の中で最適な政策を実施していく必要がある。日本の二酸化炭素の総排出量に関しては、2022年時点では運輸部門が2割近くを占めていることや、運輸部門の2013年度比の排出量削減率が他部門に対して低位に留まっていることは前述の通りである。気候変動への対策としては温室効果ガスの排出を抑制し、吸収量を増加させる「緩和策」と、気候変動の影響による被害の回避・軽減のための「適応策」があり、IPCC第6次報告書では適応と緩和を統合することで全ての人々にとって持続可能な開発を進展させることで気候にレジリエントな開発が可能となることが指摘されている³¹。日本国における気候変動対策の方針としては、2021年に閣議決定された「地球温暖化対策計画」と「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」がある。以下にその概要を示す。

地球温暖化対策計画

地球温暖化対策計画は2021年に閣議決定され、運輸部門の気候変動対策の方針も定められた。地球温暖化対策計画は、運輸部門における2019年度の二酸化炭素排出量は、2億600万t-CO₂であり、2013年度比で8.2%減少していることを指摘しており、主な減少要因を自動車の燃費改善や貨物輸送における輸送量の減少等である、としている³²。この排出量の減少傾向を一層着実なものとするため、自動車・道路交通対策、公共交通機関の利用促進、物流の効率化など、総合的な対策を推進することが示されている³³。

具体的な取り組みとしては、大きく分けて以下のものが挙げられている。その詳細については以下に示す。

²⁸ 国土交通省（2024a）。

²⁹ 成田（2024）p. 186。

³⁰ 成田（2024）p. 188。

³¹ IPCC（2022a）p. 33。

³² 地球温暖化対策推進本部（2021a）p. 45。

³³ 地球温暖化対策推進本部（2021a）p. 45。

1. 産業界における自主的取組の推進
2. 自動車単体対策
3. 道路交通流対策
4. 脱炭素型ライフスタイルへの転換
5. 環境に配慮した自動車使用等の促進による自動車運送事業等のグリーン化
6. 公共交通機関及び自転車の利用促進
7. 鉄道、船舶、航空機の対策
8. 脱炭素物流の推進
9. 電気、熱、移動のセクターカップリングの促進
10. その他の対策の推進

1. 産業界における自主的取組の推進

産業界では1997年に経団連環境自主行動計画が策定されて以降、自主的に温室効果ガス排出量の削減の取り組みを行ってきた。2013年には日本経済団体連合（経団連）によって低炭素社会実行計画が策定され、着実な温室効果ガス排出量の削減が行われている³⁴。低炭素社会実行計画は2020年2月末時点で115の業界団体で策定されている。低炭素社会実行計画は温室効果ガス排出削減の観点から、経済的に利用可能な最善の技術の最大限の導入、積極的な省エネルギー努力等を基に二酸化炭素削減目標を策定することに留意する必要がある。加えて、産業界は、素材等の軽量化・高機能化、エネルギー効率の高い脱炭素製品・サービスの開発・提供、モーダルシフト等を通じた物流の効率化、次世代自動車や公共交通機関の利用促進等を通じて民生・運輸部門の省CO₂化に貢献することも示されている³⁵。

2. 自動車単体対策

自動車単体対策では、エネルギー効率に優れる次世代自動車（EV、FCV、PHEV、HV等）の普及拡大や燃費改善等の対策が示されている。次世代自動車は現時点では導入コストの高さや運用するためのインフラが整っていない、等の課題が存在する。この課題に対して補助制度や税制上の優遇などの支援措置の実施、EV充電施設の整備促進や水素ステーションの整備・改良などのインフラの導入拡大、サプライチェーン・バリューチェーンの強化等の包括的な措置を講ずることが示されている。燃費改善に関しては、トップランナー制度に基づく燃費基準による燃費改善や、自動車の製造事業者等に対する燃費向上の促進等の方針が示されている³⁶。

3. 道路交通流対策

道路交通流対策では、渋滞対策と省エネルギー対策が掲げられている。渋滞対策は、二酸化炭素排出削減に資する環状道路等幹線道路ネットワークの強化やビッグデータ等の科学的な分析

³⁴ 経済産業省（2020）。

³⁵ 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp.29-32.

³⁶ 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp.46-47.

に基づく渋滞ボトルネック箇所へのピンポイント対策等である。省エネルギー対策は、道路照明の省エネルギー化や高度化、LED 道路照明の整備、道路管理に必要な電力に対して再生可能エネルギーを導入する等の対策である³⁷。

4. 脱炭素型ライフスタイルへの転換

脱炭素型ライフスタイルへの転換では、国民一人一人の理解と行動変容の促進と、環境教育及び持続可能な開発のための教育（ESD）の推進の2つの対策が掲げられている。このうち、運輸部門に関しては環境教育及び持続可能な開発のための教育の推進のための取り組みとして、次世代自動車を活用する「ゼロカーボン・ドライブ」の普及や地域の実態に応じた徒歩・自転車・公共交通機関の利用促進、エコドライブの実践、カーシェアリングの利用、テレワークや各種オンラインサービスの活用、再配達抑制など移動・輸送の脱炭素化等の取り組みが促進されている³⁸。

5. 環境に配慮した自動車使用等の促進による自動車運送事業等のグリーン化

環境に配慮した自動車使用等の促進による自動車運送事業等のグリーン化では、トラック・バス・タクシー等の事業用自動車のエコドライブ推進のため、エコドライブ管理システムの普及・促進を図ることが掲げられている。加えて、優れた環境取り組みを実施している運輸事業者に対して「グリーン経営認証制度」を認定する仕組みの普及促進も掲げられている³⁹。

6. 公共交通機関及び自転車の利用促進

公共交通機関及び自転車の利用促進では、公共交通分野における脱炭素化や公共交通サービスの更なる利便性向上による利用促進、自転車の利用環境創出等の対策が掲げられている。公共交通機関の利用促進としては、LRT・BRT・EV等の導入促進、地方公共団体の地域交通計画の作成支援、MaaSの実装、コンパクト・プラス・ネットワークの推進、地域交通ネットワークの再編、バリアフリー化の促進、モーダルコネクトの強化等が指摘されている。自転車の利用環境創出としては、自転車通行空間の整備、駐輪場の整備、シェアサイクルの普及促進等が指摘されている。このような対策を通してマイカーだけに頼ることなく移動しやすい環境整備を図り、環境的に持続可能な交通を目指すことが掲げられている⁴⁰。

7. 鉄道、船舶、航空機の対策

鉄道分野では、エネルギー効率の良い車両や省エネルギー機器等の導入促進、鉄道・軌道施設を活用した太陽光発電の導入の促進等の対策が掲げられている。

船舶分野では、省エネルギー・省CO₂排出船舶の普及促進や、LNG燃料船・水素燃料電池船・

³⁷ 地球温暖化対策推進本部（2021a）p.47.

³⁸ 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp. 96-100.

³⁹ 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp. 47-48.

⁴⁰ 地球温暖化対策推進本部（2021a）p. 48.

EV 船等の内航近代化・運行効率化に資する船舶の技術開発・実証・導入促進等の対策掲げられている。加えて、国土交通省は 2028 年までに温室効果ガスを排出しない「ゼロエミッション船」の商業運行を目標としている。

航空機分野では、機材・装備等への新技術導入、運航方式の改善、持続可能な航空燃料（SAF）の導入促進、空港施設・空港車両の二酸化炭素排出削減等の対策が掲げられている⁴¹。

8. 脱炭素物流の推進

脱炭素物流の推進では、トラック輸送の効率化、共同輸配送の推進、海上輸送や鉄道輸送へのモーダルシフト、物流施設の脱炭素化の推進、港湾の最適な選択による貨物の陸上輸送距離の削減、港湾における総合的な脱炭素化等の対策が掲げられている⁴²。

9. 電気・熱・移動のセクターカップリングの推奨

セクターカップリングとは、太陽光発電の発電量に合わせて需要側で EV や燃料電池等の技術や ICT を用いて需給調整を行うことである。地域の再生可能エネルギーの活用や EV カーシェアリング・バッテリー交換式 EV・バッテリーステーションの導入等の促進によって、地域レベルでの需給調整機能の向上や地域交通の脱炭素化に貢献することが目標とされている⁴³。

10. その他の対策・施策

その他の対策・施策では、各省連携施策の計画的な推進が掲げられている⁴⁴。

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略は、2050 年カーボンニュートラル実現に向けた「あるべき姿」としての長期的なビジョンを分野別に示したものである。その目的には、全てのステークホルダーがその実現に向けた可能性を追求するための方向性を共有し、政策の方向性も併せて示すことで、投資の予見可能性を高め、日本での投資を拡大していく大きな基盤とすることがある⁴⁵。加えて、どこにイノベーションが必要かを示し、企業の研究開発・投資を促すことや、このビジョンを掲げることにより、気候変動分野における枠組み・スタンダード作りを含めた国際的議論をリードしていくことを目的としている⁴⁶。

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略の中で、運輸部門の対策・施策の方向性としては、自動車単体対策のみならず、アボイド（渋滞対策等の不必要な交通の削減）、シフト（公共交通の利用促進やモーダルシフト等の二酸化炭素排出原単位（CO₂ 排出原単位）の小さい輸送手段へ

⁴¹ 地球温暖化対策推進（2021a）p. 49.

⁴² 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp. 49-52.

⁴³ 地球温暖化対策推進本部（2021a）pp. 39-40.

⁴⁴ 地球温暖化対策推進本部（2021a）p. 53.

⁴⁵ 地球温暖化対策推進本部（2021c）p. 4.

⁴⁶ 地球温暖化対策推進本部（2021c）p. 4.

の転換)、インプルーブ(AI・IOT、ビックデータ等のデジタル技術等の技術革新、新技術を活用した新たなサービスの創出)の複合的な対策の強化が必要であることが示されている⁴⁷。

具体的には、LRT(Light Rail Transit)・BRT(Bus Rail Transit)やEV・FCVをはじめとする二酸化炭素排出量の少ない輸送システムの導入の推進、MaaS(Mobility as a Service)の社会実装やビックデータの活用、コンパクト・プラス・ネットワークの推進、交通結節機能の向上を通じたシームレスな移動サービスの提供等によって公共交通の利便性を向上し、公共交通を選択する行動変容を促す環境整備の推進が必要とされている⁴⁸。

このような状況において目指すべきビジョンとして、グリーン成長戦略では乗用車の新車販売を2035年までに電動車100%とすることや、商用車の新車販売を2040年までに電動車・脱炭素燃料車100%とする目標が定められた。加えて、2050年のモビリティ社会の変革を見据え、電動車と地域の様々な社会システムが有機的に連携・融合していくことの重要性が指摘されている⁴⁹。物流分野に関しては、担い手不足や効率化・生産性向上と脱炭素化の両立を目指し、関係事業者の連携によるAI・IoT等を活用した物流DXの推進を通じたサプライチェーン全体の輸送効率化・省エネルギー化の実現、自動運転技術等を活用した効率的な物流ネットワークの強化や、物流MaaSの観点からのデジタル技術の活用等を通じた関係事業者間の連携による物流システムの高度化を含めたトラック輸送の効率化、海運や鉄道へのモーダルシフトの更なる推進等のグリーン物流の取り組みを通じた新しいモビリティサービスの構築を図ることが示されている⁵⁰。船舶分野では、2030年にはゼロエミッション船の普及を図り、2050年には船舶分野の水素・燃料アンモニア等の代替燃料への転換等が目指されている⁵¹。

このようなビジョンの達成のために、電動車等を活用した交通・物流サービスの推進、自動車の電動化に対応した都市・道路インフラの社会実装の推進、電動車を活用した災害時等の電力供給機能の強化、ソフト・ハード両面からの道路交通流対策、公共交通・自転車の利用促進、グリーン物流の推進、鉄道の脱炭素化、船舶の脱炭素化、航空の脱炭素化、気候変動リスクに対応した交通・物流システムの強靱化、カーボンニュートラルポート(CNP)の形成の推進等の施策の方向性が示されている。

1.4 地方公共団体の脱炭素方針

日本では2050年までにカーボンニュートラルを実現することが国によって定められた。このような国の動きや気象災害の激甚化に対する危機感の高まりから、地方自治体においてもカーボンニュートラルに対する取り組みが広まっている⁵²。2050年に二酸化炭素排出量を実質ゼロに

⁴⁷ 地球温暖化対策推進本部(2021c) p. 42.

⁴⁸ 地球温暖化対策推進本部(2021c) p. 43.

⁴⁹ 地球温暖化対策推進本部(2021c) p. 45.

⁵⁰ 地球温暖化対策推進本部(2021c) p. 45.

⁵¹ 地球温暖化対策推進本部(2021c) p. 45.

⁵² 澁谷(2021) p. 210.

することを旨とする「2050年ゼロカーボンシティ」を表明した自治体数は、2024年9月には1127団体となっている⁵³。

温暖化対策推進法第21条では、都道府県及び市町村は、国の地球温暖化対策計画に即して、地球温暖化対策推進のための計画（地方公共団体実行計画）の策定を行うことが求められている⁵⁴。地方公共団体実行計画は、策定する内容の違いから、「事務事業編」及び「区域施策編」の2つに分けることが出来る⁵⁵。

「事務事業編」は、地方公共団体自らの施設や事業からの温室効果ガスの排出削減等に関する計画であり、一例としては外皮性能の向上や省エネ設備導入等による省エネ化、再エネ設備の導入、グリーン購入・グリーン契約の推進等が挙げられる⁵⁶。

「区域施策編」は、地方公共団体の区域全体における排出削減対策等に関する計画である⁵⁷。具体的な施策内容としては、区域の自然的条件に適した再生可能エネルギーの利用促進、住民、事業者などの省エネルギー活動の促進、都市機能の集約などの地域環境の整備、廃棄物等の発生の抑制の促進などに関する事項を盛り込むこととされており、非常に幅広い分野における施策の立案が求められる⁵⁸。

先進的に取り組みを進めている地方公共団体の多くは、再エネなどの地域の資源を活用しながら、気候変動対策を地域経済の活性化、災害に強いまちづくり、住民の健康増進など、他の地域課題の解決にもつなげるように取り組んでおり、このことは、気候変動対策を推進する上で、庁内の関係部局や、住民や事業者等の地域の関係者との円滑な合意形成を図っていくにあたって非常に重要な点であると指摘されている⁵⁹。

以下に長野県の脱炭素実現に向けた「長野県ゼロカーボン戦略」を示す。

長野県ゼロカーボン戦略

長野県への気候変動に関する影響として、気象庁の観測データによると、年平均気温は長期的に上昇傾向、年降水量には長期的な変化傾向は見られないが、日降水量50mm以上の大雨の日が見られる等の影響が徐々に顕れてきている⁶⁰。将来予測としても、長野県内の年平均気温の上昇や雨の降り方の極端化が予測されているが、温室効果ガスの削減努力により、21世紀末の気温上昇を最大で3.9℃抑えることができると予測されている⁶¹。

長野県は、2003年度に、第一次の長野県地球温暖化防止県民計画を策定した。これは、県内の温室効果ガス総排出量を2010年度までに1990年度に比べて6%削減することを目標としたも

⁵³ 環境省（2024b）。

⁵⁴ 澁谷（2021）p. 211.

⁵⁵ 澁谷（2021）p. 211.

⁵⁶ 澁谷（2021）p. 211.

⁵⁷ 澁谷（2021）p. 212.

⁵⁸ 澁谷（2021）p. 212.

⁵⁹ 澁谷（2021）p. 212.

⁶⁰ 長野県（2022）pp. 11-12.

⁶¹ 長野県（2022）pp. 13-14.

のである⁶²。2012年度に策定した第三次県民計画では、県内の温室効果排出量を2020年度までに1990年度に比べ10%削減することを目標とし、環境と経済の両立、地域主導型自然エネルギーの重視などの方針を取り入れた⁶³。

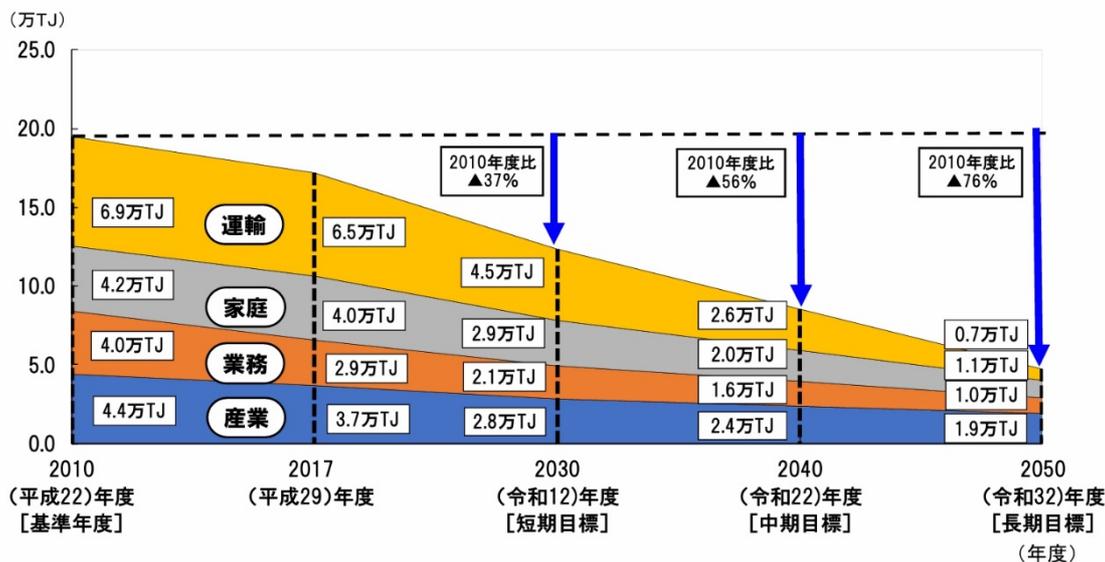
2019年には、都道府県としては初めて「気候非常事態宣言」を宣言し、「2050年二酸化炭素排出量実質ゼロ」を決意した。2020年の「長野県気候危機突破方針」、「長野県脱炭素社会づくり条例」の可決・成立等もあり、2050ゼロカーボンにおける中期目標となる2030年度までを計画期間として推進するため、第四次の県民計画及び長野県脱炭素社会づくり条例に基づく第一次の行動計画となる「長野県ゼロカーボン戦略」が策定された⁶⁴。

長野県ゼロカーボン戦略では、基本目標として「社会変革、経済発展とともに実現する持続可能な脱炭素社会づくり」を掲げている。その施策の柱として、「徹底的な省エネルギーの推進」、「再生可能エネルギーの普及拡大」、「総合的な地球温暖化対策」がある。

運輸部門に関しては、主として「徹底的な省エネルギーの推進」の中で、施策の方針として「運輸部門のエネルギー効率を高める」として定められている。

長野県ゼロカーボン戦略では、2050年までの目標の1つとして、最終エネルギー消費量を2010年度比で7割削減することを定めており、運輸部門は最終エネルギー消費量を2050年度には0.7万TJまで削減する方針が示されている⁶⁵。

図表8 最終エネルギー消費量の削減目標（部門別）



(出所) 長野県 (2022) p. 25. より最終エネルギー消費量の削減目標（部門別）を転載。

⁶² 長野県 (2022) p. 1.

⁶³ 長野県 (2022) p. 1.

⁶⁴ 長野県 (2022) p. 1.

⁶⁵ 長野県 (2022) p. 25.

運輸部門のエネルギー効率を高めるため、自動車使用に伴う環境負荷の低減、環境負荷の低い交通手段への転換、環境負荷の低いまちづくりの3つの政策が定められている⁶⁶。

自動車使用に伴う環境負荷の低減として、以下の政策が定められている⁶⁷。

- 充電インフラの充実等によるEV・FCVの普及促進。
- 販売者に購入者への自動車の環境性能の説明を義務付ける制度の実施。
- 次世代自動車への転換、再配達削減、貨客混載、低炭素の新技术輸送、鉄道貨物の利用等に意欲的に取り組む事業者を評価・表彰し、優良事例を普及する。
- 県と関係団体、事業者間で次世代自動車の普及促進方策を検討・推進する。
- アイドリング・ストップ呼びかけ掲示を義務付ける等の政策の実施。

環境負荷の低い交通手段への転換として、以下の政策が定められている⁶⁸。

- 自転車の積極的な利活用、次世代自動車の普及促進、パークアンドライドの設置場所の周知や「バス・電車ふれあいデー」の実施による公共交通の利用拡大。
- MaaSやCASE等の次世代交通システムの基盤づくりを進める。
- 地域の実情に応じた効果的な方策の検討を支援し、住民の生活にかかせない地域公共交通の確保維持を促進する。
- 地域公共交通事業者による安全・安定輸送の確保のための設備投資や省エネ型車両の導入に係る経費を支援する。
- 自転車の専用道路や車道混在による通行空間の整備を図るなど、ソフト・ハードの両面から安全で快適な利用環境づくりを進める。
- 職場への通勤や商業施設等への来客への交通について、公共交通や自転車利用、次世代自動車への転換を促進するため、意欲的に取り組む事業者を評価・表彰し、優良事例を広く普及する。

環境負荷の低いまちづくりとして、以下の政策が定められている⁶⁹。

- 都市計画に低炭素都市づくりの観点を加え、環境に配慮した都市づくりを促進する。
- 市町村に対して広域的な交通ネットワークとの整合性を図る観点や、専門的な知識・事例等を提供することにより、「コンパクト・プラス・ネットワーク」を促進する。
- まちづくりに街路樹や建物緑化などのグリーンインフラを浸透させ、環境負荷の低減や防災機能の強化を図る。加えて、「信州版ウォークアブル」の創出に向け、関連制度を周知するなど、魅力あるまちづくりを促進する。
- 「信州地域デザインセンター」において、専門的・多角的な視点からの助言や企画提案等を行う。
- 「地球温暖化対策・自然エネルギー研究会」において、環境負荷の低いまちづくりに向けた機運を醸成するとともに、これを担う人材を育成する。

⁶⁶ 長野県（2022） pp. 37-41.

⁶⁷ 長野県（2022） p. 39.

⁶⁸ 長野県（2022） p. 40.

⁶⁹ 長野県（2022） p. 41.

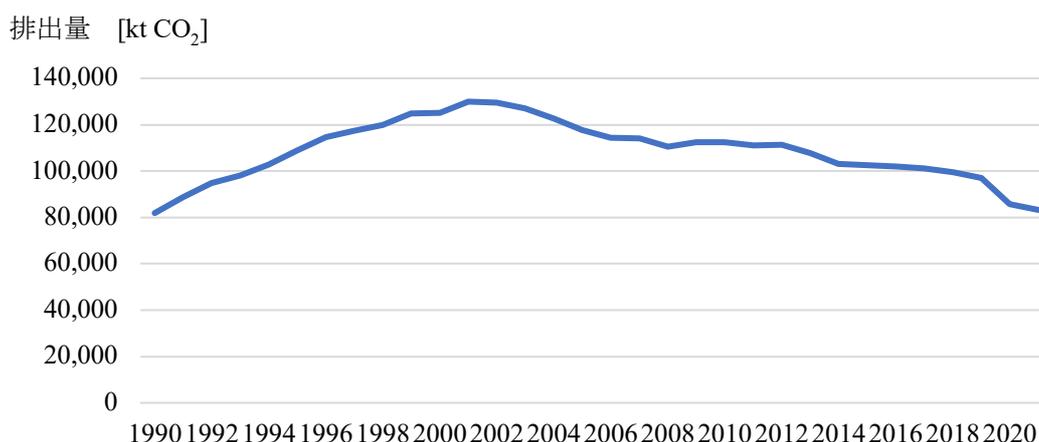
第 2 節 各分野の排出量削減対策と排出量削減を可能にする技術

2.1 自動車部門における対策

運輸部門における二酸化炭素排出量の内、自動車からの排出量は約 86%を占めており、運輸部門の二酸化炭素排出量削減には自動車部門の排出量削減が必要不可欠である。

旅客自動車部門の排出量の約 93%を占める乗用車の二酸化炭素排出量の推移は、図表 9 によると、2001 年までは上昇していたが、その後は減少に転じ 2008 年までの期間で減少幅が大きくなっている。この要因として室町・三科 (2021) は、2001 年～2008 年の排出量の減少に関して、1 台当たりの走行距離の減少と平均保有車両重量当たりの実走行燃費の改善が要因として挙げられている⁷⁰。背景としては、ガソリン価格の上昇やグリーン税制による低環境負担車両と軽乗用車への転換の影響等が指摘されている⁷¹。

図表 9 乗用車の二酸化炭素排出量の推移



(出所) 国立環境研究所 (2024c) を基に筆者作成。

自動車産業では「CASE」とよばれるイノベーションが進みつつある⁷²。CASE とは Connected (つながる)、Autonomous/automated (自動化)、Shared (利活用)、Electric (電動化) の頭文字を取ったものである⁷³。この中でも、自動車の電動化はカーボンニュートラルの実現のカギを握る重要な動きである⁷⁴。

電動車には様々な種類が存在するが、代表的なものとして動力源の 100%を電気で賄う電気自動車 (EV)、エンジンとモーターを組み合わせたハイブリッド自動車 (HV・HEV)、HV にコン

⁷⁰ 室町・三科 (2021) p. 45.

⁷¹ 室町・三科 (2021) p. 45.

⁷² 辻本 (2023) p. 82.

⁷³ 資源エネルギー庁 (2022) .

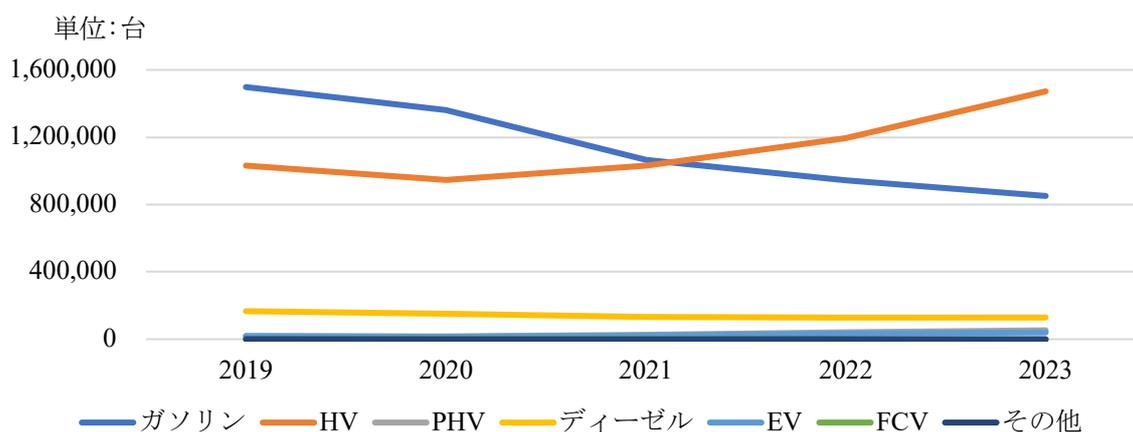
⁷⁴ 資源エネルギー庁 (2022) .

セントを組み込んでバッテリーで走る時間を長くしたプラグイン・ハイブリッド自動車(PHV)、水素を消費した発電を行う燃料電池車(FCV)がある。HVとエンジンモード時のPHVは従来のガソリン車ほどではないが、二酸化炭素を排出する。一方で、EVとFCVは走行時に二酸化炭素が排出されないという特徴がある。

自動車の二酸化炭素排出量削減の方針に関して、日本政府はグリーン成長戦略において2035年までに乗用車新車販売で電動車⁷⁵100%の目標を掲げた⁷⁶。

日本では従来から、燃料基準の引き上げ、燃料基準達成度合いに応じた車体関連税制の優遇や車体購入費用の補助によって、排出削減に寄与する高効率の自動車の普及が進められおり、その結果日本ではHVの普及が進んでいる⁷⁷。2019年から2023年の新車の燃料別登録台数統計では、2022年にはHVの販売台数がガソリン車の販売台数を逆転したことが確認できる。一方で、PHV、EV、FCVの新車販売台数は低位に留まっている。

図表 10 乗用車の販売台数の推移



(出所) 日本自動車販売協会連合会(2024)より筆者作成。

諸外国の新車販売の電動化目標を確認すると、EUは2035年にはEV・FCV比率が100%の目標を定めた⁷⁸。イギリスでは2035年にはEV・FCV比率を100%、フランスでは2040年には内燃機関車の販売の禁止を目標としている⁷⁹。米国でも2030年にはEV・PHV・FCV比率を100%、中国でも2035年にはHEVとEV・PHV・FCVでそれぞれ50%の比率とする目標が定められてい

⁷⁵ 電気自動車(EV)、燃料電池車(FCV)、プラグイン・ハイブリッド自動車(PHV)、ハイブリッド自動車(HV)。

⁷⁶ 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)P.60。

⁷⁷ 清水(2022)p.1。

⁷⁸ 資源エネルギー庁(2022)。

⁷⁹ 資源エネルギー庁(2022)。

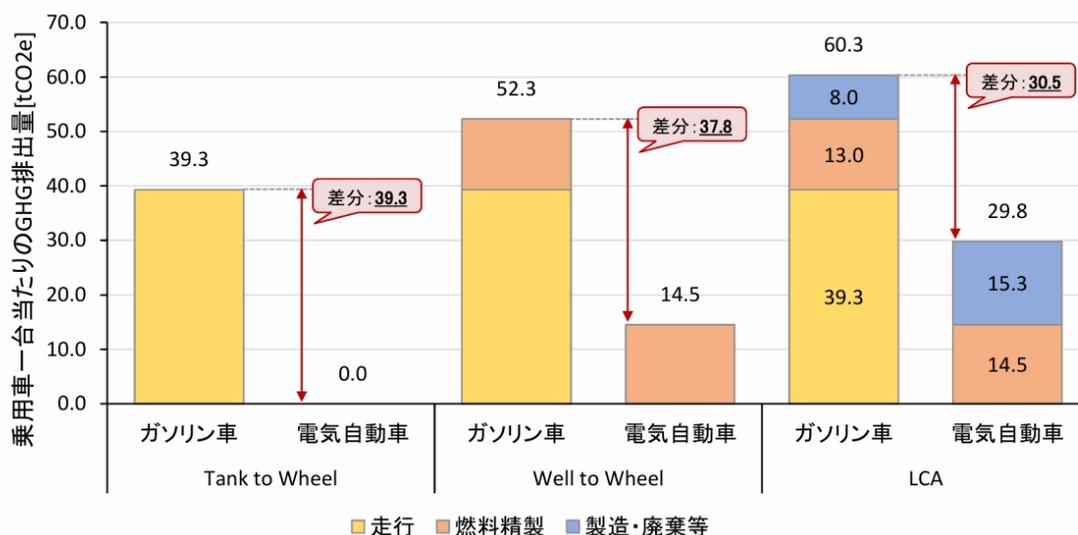
る⁸⁰。各国の電動化目標において、イギリスやフランスのように HEV を対象外とする国もあり⁸¹、自動車の脱炭素化の流れは EV や FCV が主流となっていくと考えられる。

2.2 EV の利点と推進における課題

EV は走行時に直接温室効果ガスを排出しないという特徴がある。しかし、EV は製造時や廃棄時に多量の電力を消費することや、走行時に使用する電力が温室効果ガスの排出を伴って発電されたものであれば実質的に走行時に温室効果ガスを排出していることになる、等の問題点が存在する。

ガソリン車と電気自動車の温室効果ガス排出量に関して、Ricardo (2020) によると、乗用車一台当たりの温室効果ガス排出量は図表 11 のように示されている。

図表 11 TtW⁸²,WtW⁸³,LCA⁸⁴でのガソリン車・電気自動車の GHG 排出量



(原資料) Ricardo Energy & Environment (2020) “Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA”

(出所) 環境省 (2020) p. 10.より転載。

走行時の燃費のみを対象とする「Tank to Wheel」では、当然ながら電気自動車からは温室効果ガスは排出されない。この時、ガソリン車との温室効果ガス排出量の差分は、39.3 である。ガソリンや電力のエネルギー源の採掘から供給までのエネルギー効率（二酸化炭素排出量）も含む

⁸⁰ 資源エネルギー庁 (2022) .

⁸¹ 資源エネルギー庁 (2022) .

⁸² Tank to Wheel

⁸³ Well to Wheel

⁸⁴ ライフサイクルアセスメント

「Well to Wheel」では、燃料精製の際にガソリン車よりも電気自動車の方が温室効果ガスの排出量が多く、排出量合計の差分は 37.8 に縮まる。「Well to Wheel」に加え、自動車の製造段階から廃棄段階までの二酸化炭素排出量を含む「ライフサイクルアセスメント」でも、ガソリン車よりも電気自動車の方が温室効果ガスの排出量が多く、排出量合計の差分は 30.5 までに縮まる。このように、バウンダリを広げるほど、ガソリン車に対する電気自動車の温室効果ガス排出量の差は縮小することが指摘されている⁸⁵。加えて、ICCT (国際クリーン交通委員会) による試算でも、バウンダリと温室効果ガス排出量の関係について、同様の指摘がなされている⁸⁶。

温室効果ガスの排出量を考える上では、燃費のきわめてすぐれた HEV や PHEV、非化石燃料を用いた ICEV との比較や、電気製造時の二酸化炭素排出量が多い電源構成の地域においては、ICEV と EV の温室効果ガス排出量の差が小さくなり、場合によっては逆転することも考えられることに注意が必要である⁸⁷。

EV の推進のためには、EV がそのライフサイクルにおいて使用する電力の温室効果ガス排出原単位を引き下げることが重要となる。2015 年 7 月に策定された「長期エネルギー需給見通し」では、2030 年度の CO₂ 排出原単位が 370g/kWh となっており、この目標が達成できれば EV は HV と比べて安定的に二酸化炭素排出量を削減できると考えられる⁸⁸。室町・三科 (2021) は EV が安定的に二酸化炭素排出量を削減するには、電源構成においてある程度の原子力発電所の維持と緩やかな二酸化炭素排出量削減目標の設定による石炭火力への過度な依存の回避の 2 つの条件をクリアすることが必要であることを示している⁸⁹。

2.3 鉄道部門における対策

2022 年時点で、鉄道部門の二酸化炭素排出量は運輸部門全体の約 3.8%を占めるに過ぎない。しかし、旅客の輸送分担率においては 30%を占め⁹⁰、低排出な大量輸送機関としての特性を発揮している。

図表 12 により、旅客における輸送量当たりの二酸化炭素排出量を比較すると、CO₂ 排出原単位 (1 人を 1km 輸送する際に排出する二酸化炭素) は、自家用乗用車が 128g-CO₂/人 km、航空が 101g-CO₂/人 km、バスが 71g-CO₂/人 km、鉄道が 20g-CO₂/人 km であり⁹¹、鉄道輸送に優位性があることが分かる。

⁸⁵ 環境省 (2020) pp. 9-10.

⁸⁶ 環境省 (2020) p.11.

⁸⁷ PwC Japan グループ Life Cycle Assessment Consulting Initiative (2023) p. 20.

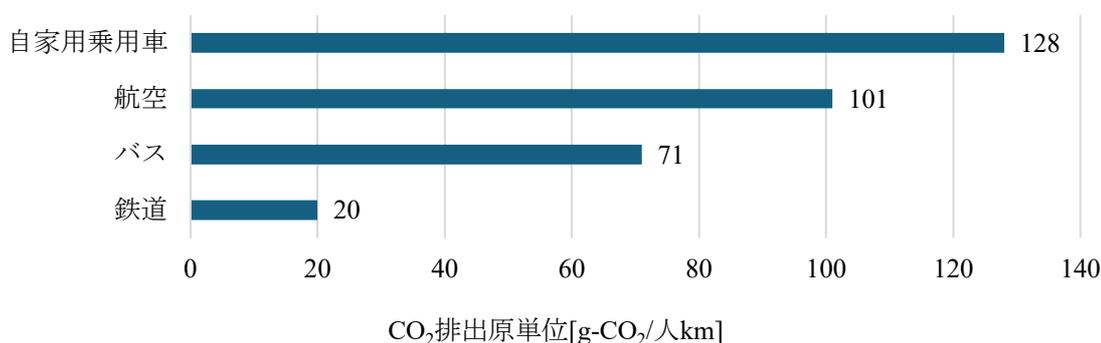
⁸⁸ 永田 (2021) p. 66.

⁸⁹ 永田 (2021) p. 66.

⁹⁰ 鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会 (2023) p. 3.

⁹¹ 国土交通省 (2024a) .

図表 12 旅客部門の二酸化炭素排出原単位



（出所）国土交通省（2024a）をもとに筆者作成。

国土交通省は鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿として、列車運行や駅施設由来のCO₂排出量を削減する「鉄道の」脱炭素と、地域の拠点たる鉄道駅や長大な路線などの豊富なアセットを活用した再生可能エネルギー発電等を通じて地域の脱炭素に資する「鉄道による」脱炭素を両輪とする総合的な「鉄道脱炭素」の取り組みを進める必要性を示した⁹²。

鉄道の脱炭素とは、鉄道部門全体排出量の内の約3/4を占めている車両走行中の排出対策として、エネルギー効率に優れた最新型車両への置き換えや回生電力の有効活用、蓄電池車輛・ディーゼルハイブリッド車両による非電化区間の実質的な電化等の対策を指している。

鉄道による脱炭素とは、駅舎や車両基地の空きスペースを活用した再エネ発電設備の導入や蓄電池の導入による再エネや回生電力の有効活用、鉄道架線を用いた送電等の対策を指している。

東日本旅客鉄道（JR 東日本）の事例

東日本旅客鉄道では、環境長期目標「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」として、2050年度の鉄道事業における二酸化炭素排出量「実質ゼロ」を目指している⁹³。その中でエネルギーに関する取り組みとして、つくる（創エネ）、送る、ためる、使う（省エネ）、エネルギーの多様化などの取り組みが行われている。

「つくる（創エネ）」として、自社保有の火力発電の高効率化や水力発電の着実な維持運用、再生可能エネルギーの導入推進を行っている。東日本エリアを中心として再生可能エネルギーの開発を行い、2050年までに鉄道事業で使用するエネルギーの内の30～40%を賄う計画である⁹⁴。

加えて、発電した電力を送る際に自営電力網の送電効率化を行う「送る」取り組みや、電力貯蔵装置の設置、回生電力を運動エネルギーとして蓄えて必要に応じて再び電力に戻す超電導フ

⁹² 鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会（2023）p. 1.

⁹³ JR 東日本（2020）.

⁹⁴ JR 東日本「地球温暖化防止へ向けて」.

ライホイール蓄電システムの開発⁹⁵、等の「ためる（蓄エネ）」も行っている。

電力を「使う（省エネ）」工夫として、省エネ車両の導入やエコステの設置等の取り組みも行っている。省エネ車両では、減速時の運動エネルギーを電気エネルギーに換える「回生ブレーキ」の搭載や⁹⁶、効率的なモーター制御を行う「VVF インバータ」の搭載を行っている⁹⁷。「エコステ」とは、省エネルギー、再生可能エネルギーなど、様々な環境保全技術を駅に導入する取り組みのことである⁹⁸。「省エネ」・「創エネ」・「エコ実感」・「環境調和」を4つの柱として掲げ、各駅にエコメニューが導入されている。「エコステ」の取り組みとして、平泉駅（岩手県平泉町）では、太陽光発電と蓄電池を組み合わせることにより、晴天日においては、駅電力使用量をすべて賄い二酸化炭素排出量をゼロにする「ゼロエミッションステーション」に取り組んでいる⁹⁹。浦和駅（埼玉県さいたま市）では、「駅の営業時間」、「列車ダイヤ」、「天候等」に合わせて、自動かつ最適に制御する「エネルギーマネジメントシステム」を、鉄道の駅として初めて導入した¹⁰⁰。

エネルギーの多様化としては、水素エネルギーの利活用として水素ハイブリッド電車の開発や燃料電池バスの運行等を行っている。

その他にも、環境にやさしい公共交通へのシフトや環境に配慮した不動産等の取り組みを行っている。環境にやさしい公共交通へのシフトとして、MaaS事業の推進がある。東北6県8エリアで「TOHOKU MaaS」を展開し、MaaSの利用による二酸化炭素排出量の削減が期待されている¹⁰¹。

環境に配慮した不動産等の取り組みとしては品川開発プロジェクトがある。品川開発プロジェクトでは、多様な再生可能エネルギーを活用するほか、将来の水素社会の実現に向けた燃料電池や、食品廃棄物を活用したバイオガスシステムの導入に取り組み、需給一体のエネルギーマネジメントの実現を目指している¹⁰²。

このような取り組みの結果、2021年度において輸送量当たりの二酸化炭素排出量（旅客）では鉄道全体が25g-CO₂/人キロであるなか、東日本旅客鉄道の値は15g-CO₂/人キロであり¹⁰³、鉄道セクターの中でもより輸送量当たりの二酸化炭素排出量を抑えることが出来ている。

2.4 航空部門・船舶部門における対策

航空部門

国際航空において、二酸化炭素排出量は航空部門の国別排出量の約1.8%を占め、対策を講じ

⁹⁵ JR 東日本（2018）。

⁹⁶ JR 東日本「地球温暖化防止へ向けて」。

⁹⁷ JR 東日本「地球温暖化防止へ向けて」。

⁹⁸ JR 東日本「エコステ」。

⁹⁹ JR 東日本「エコステ」。

¹⁰⁰ JR 東日本「エコステ」。

¹⁰¹ JR 東日本「地球温暖化防止へ向けて」。

¹⁰² JR 東日本「品川開発プロジェクトにおける環境・エネルギー技術の導入」。

¹⁰³ JR 東日本（2024）p. 80.

なければ更なる増加が見込まれている¹⁰⁴。

国内航空による二酸化炭素排出量は、図表7によると2022年時点で約970万トンであり、運輸部門全体に対して約5.1%を占めている¹⁰⁵。CO₂排出原単位で見ると、101g-CO₂/人kmであり、自動車の約79%、鉄道の約505%である。国際航空の排出量増加の更なる増加が見込まれている点や、国内航空のCO₂排出原単位で見ると鉄道には大きく劣っている点から、国内航空・国際航空ともに脱炭素化は必要不可欠である。

2022年に航空法等の一部を改正する法律が施行され、これに伴って「航空脱炭素化推進基本方針」が定められた。航空脱炭素化推進基本方針では、航空部門の脱炭素化目標が定められ、航空機運行分野では以下の目標が定められた¹⁰⁶。

- 国際航空では、2020年以降二酸化炭素総排出量増加制限。
- 国内航空では、2030年度までに単位輸送量当たりのCO₂排出量を対2013年度比で16%削減。

- 国際・国内航空ともに、2050年カーボンニュートラル。

空港分野では以下の目標が定められた¹⁰⁷。

- 2030年度までに、各空港の温室効果ガス排出量を2013年度比で46%以上削減し、さらに、再エネ等導入ポテンシャルの最大限活用により、空港全体でカーボンニュートラルの高みを目指す。
- 2050年度に向けて、空港の脱炭素化に資する新たな技術の活用促進及び更なる炭素クレジットの創出・利用拡大。

航空機運行分野でのカーボンニュートラルに向けて、特に重要視されている取り組みとして、SAFがある。SAFとは、「Sustainable Aviation Fuel（持続可能な航空燃料）」の略称であり、バイオマスや廃食油、排ガスなど原材料を原材料として製造される航空燃料である。原材料の生産・収集から、製造、燃焼までのライフサイクルで二酸化炭素排出量を従来燃料より約80%削減し、既存のインフラをそのまま活用できる、という特徴がある。SAFを用いることで、2050年に向けて、温室効果ガスの削減率のさらなる向上が見込まれている¹⁰⁸。SAFに関する規制と支援や、導入促進に向けた官民協議会が行われており、2030年時点での日本の航空会社の燃料使用量の10%をSAFに置き換えるという目標が設定された。しかし、2021年時点で、SAF生産量は需要の0.03%に留まっており、SAFの普及のためには、航空輸送に関わる産業が横断的に協力してSAFの技術開発、生産及び利用を加速させることが必要であることが指摘されている¹⁰⁹。

このようなSAFの方針も含め、航空脱炭素化推進基本方針では具体的な方針として、SAFの

¹⁰⁴ 国土交通省「SAFの導入促進に向けた取組（航空局カーボンニュートラル推進室の取組紹介）」p.3.

¹⁰⁵ 国際航空を除く。国際線は多数の国の企業が国境を越えて運行しており、温室効果ガス排出量を国ごとに帰属させるのが難しいため。

¹⁰⁶ 国土交通省（2022）p.2.

¹⁰⁷ 国土交通省（2022）p.2.

¹⁰⁸ 全日本空輸・日本航空（2021）p.2.

¹⁰⁹ 全日本空輸・日本航空（2021）p.2.

導入、管制の高度化による運航の改善、航空機環境新技術の導入、空港施設・空港車両の省エネ化等の促進、空港の再エネ拠点化等の促進、航空機・空港の利用者への航空脱炭素化の取組の理解促進等の施策が定められている¹¹⁰。

このような国の方針に合わせて各エアラインは航空運送事業脱炭素化推進計画を、各空港管理者は空港脱炭素化推進計画を定め、国に申請し、国は認定を行っている。航空運送事業脱炭素化推進計画は2024年1月にANAグループとJALグループのものが、制度創設後初めて認定されている¹¹¹。

船舶部門

船舶部門の温室効果ガス排出量は国際海運と国内海運に分けて計上される。国際海運は国際航空と同様、排出量は国ごとではなく国際海運という分野に計上される¹¹²。国内海運の二酸化炭素排出量は、2024年時点で1021万トンであり、運輸部門の二酸化炭素排出量の約5.3%を占める。

国際海運の温室効果ガス排出量削減目標は、国際海事機関によって定められている。国際海事機関は、2018年に「GHG削減戦略」を採択し、2030年までに輸送量当たりの排出量を40%以上削減すること、2050年までに国際海運からの温室効果ガス排出量を50%以上削減すること、2100年までに温室効果ガス排出量をゼロにすることを掲げた¹¹³。このような背景をもとに、2021年に日本政府及び海運業界は、国際海運2050年カーボンニュートラルを目指すことを発表した¹¹⁴。

国内海運の温室効果ガス排出量削減目標は、地球温暖化対策計画によって2030年度までに2013年度比で二酸化炭素排出量を157万トン削減することが目標として掲げられている。

このような目標を踏まえ、エネルギー基本計画では、ゼロエミッション船の商業運行を従来の目標である2028年よりも前倒して実現することを目指し、技術開発・実証に取り組むことや、LNG燃料船、水素燃料電池船、EV船を含め、革新的省エネルギー技術やデジタル技術等を活用した内航近代化・運航効率化にも資する船舶の技術開発・実証・導入促進を推進することが示された¹¹⁵。

日本の2050年カーボンニュートラル目標の実現に向けて、内航海運の脱炭素化も重要となっている。内航海運における省エネ・省CO₂化の手法は、船舶等のハードウェア対策、運航的手法、燃料転換手法の3つに大別することが出来る¹¹⁶。

船舶等のハードウェア対策に関して、新造船においては省エネ船型、風圧抵抗低減形状、省エネ付加物、空気潤滑装置、低摩擦塗料などの船舶の抵抗を低減する技術や高効率エンジン、排熱

¹¹⁰ 国土交通省（2022） pp. 3-5.

¹¹¹ 国土交通省（2024b）.

¹¹² 国土交通省（2021）.

¹¹³ 国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト（2022） p. 1.

¹¹⁴ 国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト（2022） p. 1.

¹¹⁵ 資源エネルギー庁（2021） p. 32.

¹¹⁶ 内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会（2022） p. 9.

回収、二重反転プロペラなどの高効率機器の導入などが該当する。これらの手法の組み合わせによって、最大で30%程度の二酸化炭素排出量の削減が可能である。一方、既存船に適用可能な手段は限られており、省エネ付加物、エンジン換装、低摩擦塗料の導入などの組み合わせによって、最大で15%程度の二酸化炭素排出量の削減が可能である¹¹⁷。

運行的手法としては、ウェザールーティング等を用いた最適航路の選定があり、数%の二酸化炭素排出量の削減が可能である。その他にも、陸電などを用いることにより荷役・停泊中の二酸化炭素排出量を削減する手法も含まれる¹¹⁸。

燃料転換手法としては、水素（エンジン、燃料電池）、アンモニア、LNG、再生メタン、バイオ燃料、電化などにより、20～100%の二酸化炭素排出量の削減が可能である¹¹⁹。ただし、燃料転換手法に関して、実現に向けての燃料・電力供給体制が整っていないことや、技術的制約が存在すること等が考慮され、船舶の脱炭素化は、船舶等のハードウェア対策と運行的手法を用いて行われることとなっている。

第3節 貨物輸送における脱炭素化

3.1 物流部門の脱炭素化の方針

日本の国民生活と生産活動は、膨大な量の物資が、必要な場所に必要とされるタイミングで輸送されることで維持されている。物流は、日本における豊かな国民生活や産業競争力、地方創生を支える重要な社会インフラであり、経済の持続的な成長と安定的な国民生活を維持するため、決して途切れさせてはならず、その機能を十分に発揮させていく必要がある¹²⁰。

物流に関する方針を定めるものとして、総合物流施策大綱がある。物流施策大綱では、少子高齢化問題や物流業界の労働環境改善、激甚災害の増加等の問題を考慮し、取り組むべき施策を以下の3つに大別している¹²¹。

1. 物流 DX や物流標準化の推進によるサプライチェーン全体の徹底した最適化（簡素で滑らかな物流の実現）
2. 時間外労働の上限規則の適用を見据えた労働力不足対策の加速と物流構造改革の推進（担い手にやさしい物流の実現）
3. 強靱性と持続可能性を確保した物流ネットワークの構築（強くてしなやかな物流の実現）

物流業界は労働力の不足、トラック積載効率の低迷等の問題を抱え、加えて、EC市場の成長による輸送量増加、災害の激甚化・頻発化等の物流を取り巻く環境も厳しさを増している¹²²。新

¹¹⁷ 内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会（2022）pp. 9-10.

¹¹⁸ 内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会（2022）p. 10.

¹¹⁹ 内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会（2022）p. 10.

¹²⁰ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 1.

¹²¹ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 13.

¹²² 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 12.

型コロナウイルス流行により、ヒトに比べてモノの動きが相対的に活発化したことや、トラックドライバーをはじめとした労働力の不足に拍車がかかることなどから、物流を取り巻く状況はさらに厳しくなる可能性がある¹²³。日本の物流は大きな岐路にたっており、カーボンニュートラルのみならず、労働力不足や物流の効率化等の課題も踏まえながら、物流の構造改革や生産性向上を行っていく必要がある。

その中で物流部門のカーボンニュートラルに関しては、強靱性と持続可能性を確保した物流ネットワークの構築（強くてしなやかな物流の実現）において、地球環境の持続可能性を確保するための物流ネットワークの構築の方針が示されている。

地球環境の持続可能性を確保するための物流ネットワークの構築に関する主な方針は、サプライチェーン全体での環境負荷低減に向けた取組、モーダルシフトの更なる推進、新技術等を活用した物流の低炭素化・脱炭素化である¹²⁴。サプライチェーン全体での環境負荷低減に向けた取組としては、発荷主、物流事業者、着荷主等が連携して自動化機器やシステムなど新技術を導入し輸配送を効率化する取組を通じて、サプライチェーン全体での省エネ化を支援する、という方針である¹²⁵。モーダルシフトの更なる推進としては、輸送量当たりの二酸化炭素排出量が低い鉄道や船舶を活用する、という方針である¹²⁶。新技術等を活用した物流の低炭素化・脱炭素化としては、各輸送モードの省エネ化や倉庫等の物流拠点の低炭素化・脱炭素化に向けた取組、CNG・LNG・水素等のエネルギーの転換を促進する、という方針である¹²⁷。

3.2 サプライチェーン全体での環境負荷低減に向けた取組

サプライチェーン全体での環境負荷低減に向けた取組に関しては、前述の通り、発荷主、物流事業者、着荷主等が連携して自動化機器やシステムなど新技術を導入し輸配送を効率化する取組が重要となる。このような取組を通じてサプライチェーン全体での省エネ化を支援する、とされている¹²⁸。加えて、「グリーン物流パートナーシップ会議」を活用した優良事業の表彰や、循環資源の広域流動の拠点となる港湾をリサイクルポートに指定し、海上輸送による静脈物流ネットワークを構築する等の取組が行われている。

前述の通り、物流の課題に取り組む際には、カーボンニュートラルのみならず、労働力不足や物流の効率化等の課題も踏まえながら、施策を行うことが重要である。持続可能な物流の実現に向けた検討会の最終取りまとめでは、物流の諸課題への対策を推進していくため、物流標準化・効率化（省力化・省エネ化・脱炭素化）の促進に向けた環境整備を推進することが示された¹²⁹。

¹²³ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 12.

¹²⁴ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）pp. 33-34.

¹²⁵ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 33.

¹²⁶ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 33.

¹²⁷ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）pp. 33-34.

¹²⁸ 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）p. 33.

¹²⁹ 持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）p. 13.

具体的な取組として、以下の内容が示されている¹³⁰。

- デジタル技術を活用した共同輸配送・帰り荷確保等の検討
- 官民連携による物流標準化の推進の検討
- 物流拠点ネットワークの形成等に対する支援の検討
- モーダルシフトの推進のための環境整備の検討
- 車両・施設等の省エネ化・脱炭素化の推進に向けた環境整備の検討
- その他生産性向上を図るための措置の検討

デジタル技術を活用した共同輸配送・帰り荷確保等の検討の中では、幅広く荷主企業や物流事業者の生産性向上に資するシステムやアプリケーションの導入、自動化・機械化を推進することが目指されている¹³¹。

持続可能な物流の実現に向けた検討会では、デジタル技術を活用した物流の可視化が、輸送効率化に加えて、労働時間の削減等の取組にも活用されていることや、このような物流の可視化が、直接取引を促し、業界の垣根を越えた物流DXにつながるのではないかと指摘もあった¹³²。

3.3 モーダルシフトの更なる推進

図表7で確認した通り、貨物自動車（営業用貨物車+自家用貨物車）の二酸化炭素排出量は、2022年度時点で、約7300万トンである。この数値は、2013年度の排出量である約8000万トンから9.2%削減された数値である¹³³。

一般に、運輸部門において輸送量が増加すれば二酸化炭素の排出量も増加する。そのため、二酸化炭素排出量の削減を安定的に行うには効率の良い輸送を促進することが必要となる。

図表13により、貨物輸送において貨物1トンを1km輸送するのに排出する二酸化炭素は、自家用貨物車が1136g-CO₂/トンkm、営業用貨物車が208g-CO₂/トンkm、船舶が43g-CO₂/トンkm、鉄道が20g-CO₂/トンkmであり、自家用貨物車の二酸化炭素排出原単位が飛び抜けて高いことが分かる。営業用貨物車においても、船舶や鉄道よりも二酸化炭素排出原単位が多いことが分かる。

そもそも、モーダルシフトとは、トラック等の自動車で行われている貨物輸送を環境負荷の小さい鉄道や船舶への利用へと転換することをいい¹³⁴、二酸化炭素排出原単位の高い自動車から船舶や鉄道も活用した輸送への転換が求められている。

¹³⁰ 持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）pp. 13-16.

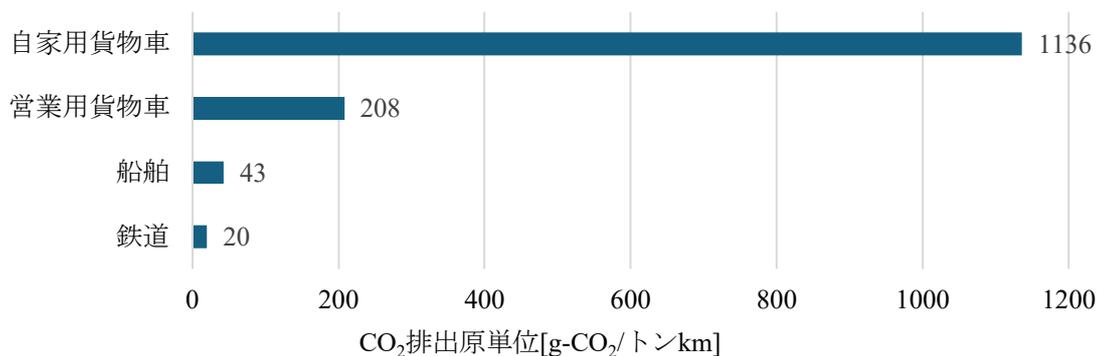
¹³¹ 持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）p. 13.

¹³² 持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）p. 13.

¹³³ 国土交通省（2024a）.

¹³⁴ 国土交通省「モーダルシフトとは」.

図表 13 貨物部門の二酸化炭素排出原単位



(出所) 国土交通省 (2024a) をもとに筆者作成。

国内貨物の輸送分担率では、自動車約 5 割を占めることや、2019 年度のトンキロベースの二酸化炭素排出量では、鉄道がトラックの約 13 分の 1、船舶が約 5 分の 1 であることなどから¹³⁵、モーダルシフトによる二酸化炭素排出量の削減の効果は大きいと考えられる。加えて、災害時における安定的な物流網確保の観点からもモーダルシフトは重要である、と指摘されている。

流通業務を一体的に実施することや輸送の合理化を行うことを促進するため、物流総合効率化法が制定されている。物流総合効率化法では、2 以上の者が連携して、物流業務の総合化及び効率化を図る事業であって、環境負荷の低減及び省力化に資するものを認定し、認定された事業に対して支援を行っている¹³⁶。

物流総合効率化法の認定を受けることで、物流拠点施設に関する税制特例や開発許可の配慮、計画策定経費・運行経費の補助（モーダルシフト等推進事業）、鉄道・運輸機構による資金の貸付け・出資、等の支援制度を利用することができる¹³⁷。

モーダルシフト等推進事業は、温室効果ガスの排出削減、流通業務の省力化による持続可能な物流体系の構築を図るため、荷主及び物流事業者等物流に係る関係者によって構成される協議会が実施するモーダルシフト等の取組みを支援することを目的として、募集を行っている¹³⁸。

モーダルシフト等の物流効率化を図る取組において、「協議会の開催等、物流総合効率化法に基づく総合効率化計画の策定のための調査事業に要する経費」や「認定を受けた総合効率化計画に基づき実施するモーダルシフト及び幹線輸送の集約化、過疎地域のラストワンマイル配送の効率化、中継輸送の初年度の運行経費」に対して支援を行うとともに、省人化・自動化に資する機器の導入に対して支援を行うことが示されている¹³⁹。

国土交通省は、2024 年度のモーダルシフト等推進事業において、優先的に採択する案件の例

¹³⁵ 「総合物流施策大綱（2021 年度～2025 年度）」（2021 年 6 月 15 日・閣議決定）p. 33.

¹³⁶ 国土交通省「物流総合効率化法の概要」.

¹³⁷ 国土交通省「物流総合効率化法に基づく支援」.

¹³⁸ 国土交通省「モーダルシフト等推進事業」.

¹³⁹ 国土交通省「モーダルシフト等推進事業について（概要）」.

として、以下の例を定めている¹⁴⁰。

- 荷主や輸送事業者等の連携・工夫による輸送の効率化。
- 複数企業による混載、または帰り荷を確保したモーダルシフトや、過疎地域や管内物流における共同配送。
- 旅客鉄道やバス等の空きスペースを活用した貨客混載。
- 鮮度保持コンテナの活用等による農産品輸送の効率化。
- 中継輸送や流通業務への省人化・自動機器を用いた輸送の効率化。
- 物流企業内の企業間の事業再編、企業間の協調投資を伴う輸送の効率化

物流総合効率化法の認定を受けた事業は、2023年12月末時点で405事業ある。そのなかのモーダルシフトに関する事例を紹介する¹⁴¹。

青森県下北地域のトラック共同輸配送

青森県下北地域に配送する一般貨物、宅配貨物について、佐川急便と西濃運輸で扱う貨物を一者の営業所に集約して共同輸配送することで、二酸化炭素排出量を約41.8%削減し、ドライバーの運転時間を約54%削減する効果を得ることができている。

関西から九州への自動車部品輸送における船舶モーダルシフトの事例

兵庫県内の生産工場から納品先である福岡県内2カ所までの自動車部品及び帰り荷の空容器・空パレットの輸送について、神戸港～新門司港間を内航船輸送にモーダルシフトすることにより、二酸化炭素排出量を約44%削減し、ドライバーの運転時間を75.3%削減する効果を得ることができている。

3.4 新技術等を活用した物流の低炭素化・脱炭素化

物流施策大綱では、物流産業における主要な二酸化炭素排出源となっているトラックをはじめ、各輸送モードや倉庫等の物流拠点の低炭素化・脱炭素化に向けた取組、CNG・LNG・水素等のエネルギーへの転換を促進する、と定められている¹⁴²。

貨物自動車の二酸化炭素排出量に関して、図表7によると、貨物自動車（自家用貨物車、営業用貨物車）は運輸部門の二酸化炭素排出量の内、38%を占めている。

長期的に見ると貨物自動車の二酸化炭素排出量は減少傾向であり、1996年の1億270万トン をピークにして、2021年には7355万トンとなっている。加えて、輸送トンキロ当たりの二酸化炭素排出量も1993年をピークとして減少傾向を示している¹⁴³。

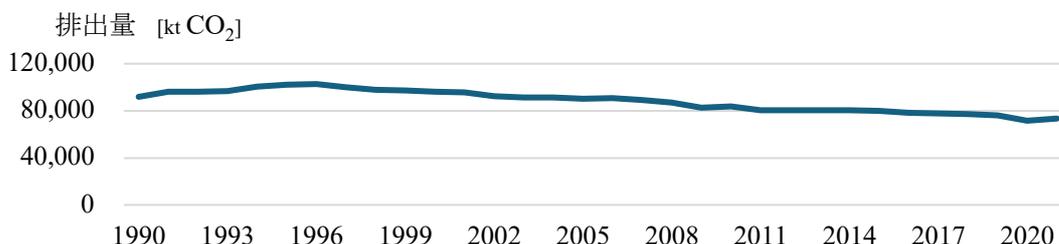
¹⁴⁰ 中国運輸局 交通政策部 環境・物流課（2024）p. 22.

¹⁴¹ 国土交通省（2023）.

¹⁴² 「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）pp. 33-34.

¹⁴³ 室町・三科（2021）p. 42.

図表 14 貨物自動車の二酸化炭素排出量の推移



(出所) 国立環境研究所 (2024c) を基に筆者作成。

しかし、1台当たりの輸送トンキロは増加傾向となっている。輸送トンキロが増加しているにも関わらず二酸化炭素排出量が減少していることに関して、室町・三科 (2021) は営業用貨物自動車の輸送トンキロあたりの二酸化炭素排出量の改善効果が大きいことを指摘している¹⁴⁴。

貨物自動車の二酸化炭素排出量の低減に関しては、ダブル連結トラック等による物流の効率化や運送事業者と荷主が連携したトラック輸送の省エネ化、道路交通流対策、次世代自動車の普及等の取組を促進する¹⁴⁵、とされている。

次世代自動車の普及に関して、グリーン成長戦略では以下のように定められている。

商用車については、8トン以下の小型の車について、2030年までに、新車販売で電動車20～30%、2040年までに、新車販売で、電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて100%を目指し、車両の導入やインフラ整備の促進等の包括的な措置を講じる。8トン超の大型の車については、貨物・旅客事業等の商用用途に適する電動車の開発・利用促進に向けた技術実証を進めつつ、2020年代に5000台の先行導入を目指すとともに、水素や合成燃料等の価格低減に向けた技術開発・普及の取組の進捗も踏まえ、2030年までに、2040年の電動車の普及目標を設定する¹⁴⁶。

各輸送モードや倉庫等の物流拠点の低炭素化・脱炭素化に向けた取組としては、自動化機器の導入に伴って庫内作業を省人化することにより、照明や空調のエネルギー消費の削減を図る取組を推進することや、冷凍冷蔵倉庫における省エネ型自然冷媒機器への転換等を引き続き積極的に支援すること、等が定められている¹⁴⁷。

CNG・LNG・水素等のエネルギーへの転換の促進に関しては、日本の二酸化炭素の排出量の約6割を占める発電、鉄鋼、化学工業等の産業の多くが立地する港湾において、港湾機能の高度化等を通じて、カーボンニュートラルポート (CNP) を形成し、脱炭素社会の実現への貢献を図る方針が示されている¹⁴⁸。大量かつ安定・安価な水素・燃料アンモニア等の輸入を可能とする港湾

¹⁴⁴ 室町・三科 (2021) p. 42.

¹⁴⁵ 「総合物流施策大綱 (2021年度～2025年度)」 (2021年6月15日・閣議決定) pp. 33-34.

¹⁴⁶ 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) p. 60.

¹⁴⁷ 「総合物流施策大綱 (2021年度～2025年度)」 (2021年6月15日・閣議決定) p. 34.

¹⁴⁸ 「総合物流施策大綱 (2021年度～2025年度)」 (2021年6月15日・閣議決定) p. 34.

の施設の規模・配置等について検討するとともに、停泊中船舶への陸上電力供給の導入による船舶のアイドリング・ストップの促進、非常時にも活用可能な自立型水素等電源の導入促進、港湾荷役機械や港湾に出入りする大型車両等への燃料電池導入の促進等の取組を推進することが示されている¹⁴⁹。

第 4 節 まちづくりの中での脱炭素

4.1 都市における公共交通

運輸部門における気候変動対策においては、産業界における自主的取組の推進や自動車単体対策等の輸送用器具の製造や利用に関する面での対策に加えて、道路交通流対策や脱炭素型ライフスタイルへの転換、公共交通機関及び自転車の利用促進等のまちづくりの面からの対策も必要不可欠である。

公共交通の現状

公共交通に関して SDGs 目標 11:住み続けられるまちづくり、が定められている。その中で全ての人々に持続的な輸送システムへのアクセスを提供すること (11.2) や、包摂的かつ持続可能な都市化を促進すること (11.3)、都市の一人当たりの環境上の悪影響を軽減すること (11.6) 等が定められている¹⁵⁰。

日本では 1960 年代の初頭から自動車の普及が一気に進み、人口 1000 人あたりの自動車保有台数は 1960 年に約 14.5 台であったものが、1970 年に 169.5 台、1980 年に 323.4 台、1990 年に 466.8 台、2000 年に 572.4 台、2010 年に 593 台となり、2020 年には 620 台に達している¹⁵¹。

全国の都市において、人々がどのような交通手段を利用して移動しているか等の人の動きからみた交通実態を調査したものとして、全国都市交通特性調査がある。この調査の中で「移動」を「人がある目的をもってある地点からある地点へ移動する」ことを 1 回として数えた代表交通手段¹⁵²分担率の調査がある。この調査によれば、人々の移動の代表交通手段では自動車が全国の平日と休日、3 大都市圏の平日と休日、地方都市圏の平日と休日のすべての調査区分においても最大の値を占めていることが示された。特に地方都市圏では平日と休日の共に 6 割を超え、過半数を自動車が占めている。

一方で鉄道やバスは地方都市圏での分担率が平日はそれぞれ 3.7%と 2.6%、休日はそれぞれ 2.2%と 1.3%に留まっている。2.2 項で確認したように、鉄道やバスは CO₂ 排出原単位で自家用乗用車に対して優位性が大きいという特徴がある。そのため、運輸部門の脱炭素化を進めるには

¹⁴⁹ 「総合物流施策大綱 (2021 年度~2025 年度)」(2021 年 6 月 15 日・閣議決定) p. 34.

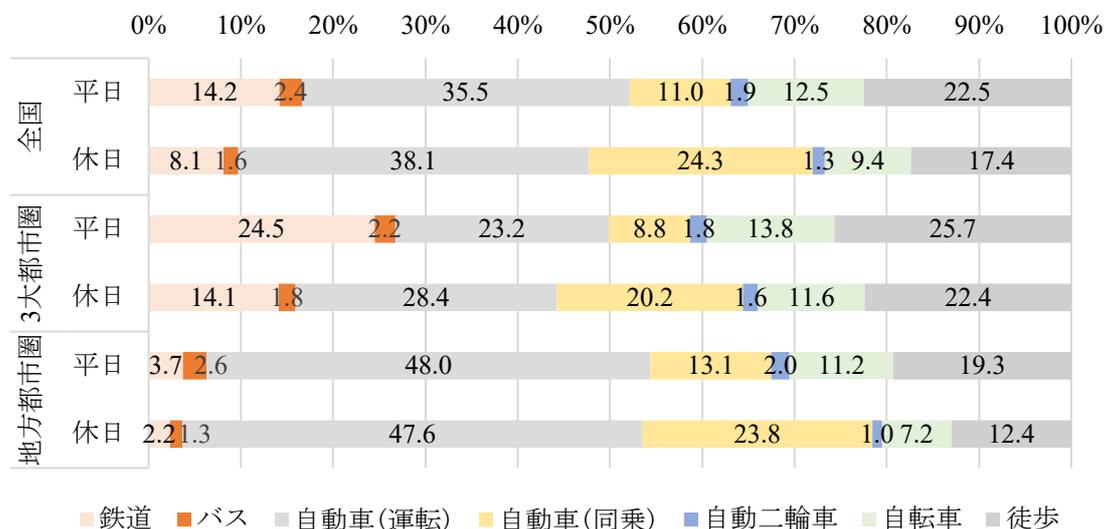
¹⁵⁰ 辻本 (2023) p. 50.

¹⁵¹ 辻本 (2023) p. 51.

¹⁵² 移動が複数の交通手段からなっている場合に利用した主たる交通手段のことであり、集計上の優先順位は鉄道→バス→自動車→二輪車→徒歩である。

自動車の利用の抑制や鉄道・バス等の公共交通の利用促進を促すまちづくりが必要である。

図表 15 代表交通手段分担率



(出所) 国土交通省 都市局 都市計画課 都市計画調査室 (2023) を基に筆者作成。

4.2 公共交通を活用したまちづくり

TDM (交通需要マネジメント)

日本の地方都市圏では、自動車利用を前提としたまちづくりを行う中で、まちは広がり、自動車は増加し、それに応じて道路が整備され、公共交通利用が減少し、さらに自動車への依存が進む、という図式が見られた¹⁵³。そこで、交通網整備の新しい考え方として、供給を必要最小限に抑えながら、需要のマネジメントで対処する TDM (交通需要マネジメント) のアプローチが誕生した¹⁵⁴。

TDM の取り組みとして、東京都環境局では手段の変更、時間帯の変更、経路の変更、自動車の効率利用、発生源の調整等の取り組みが行われている¹⁵⁵。

手段の変更とは、鉄道など公共交通機関の利用を促進し、自動車利用からのシフトを促すものであり、以下の取り組みが行われている。

- パーク&ライド、パーク&バスライド駐車場の利用、バスや鉄道などの公共交通手段の活用など。
- 鉄道等の案内情報の充実、利用しやすい車両や施設への改造、LRT やコミュニティバス

¹⁵³ 辻本 (2023) p. 92.

¹⁵⁴ 辻本 (2023) p. 92.

¹⁵⁵ 東京都環境局 (2018) .

の整備など公共交通機関の利便性向上策。

- 自転車利用の環境整備。

時間帯の変化とは、朝夕などピーク時間帯の交通をピーク時間外にシフトさせ、交通需要の時間的な平準化を行うものであり、以下の取り組みが行われている。

- 時差出勤（オフピーク通勤）、フレックスタイムなど。
- 物流における朝夕の時間帯を避けた配達、ジャストインタイムや商習慣（5・10日等）の見直しなど。

経路の変更とは、混雑する道路の交通を分散させることにより、交通需要の空間的な平準化を行うものであり、以下の取り組みが行われている。

- カーナビによる渋滞情報、駐車場情報の提供など。
- 交通管理者による交通管制の高度化など。

自動車の効率利用とは、乗用車等の乗車率、貨物車の積載率を適正化（高める）するものであり、以下の取り組みが行われている。

- 相乗り（カープール）、共同利用（カーシェアリング）など。
- 共同輸配送。

発生源の調整とは、自動車交通の発生量を調整、抑制するものであり、以下の取り組みが行われている。

- 在宅勤務、職住近接のまちづくり、カーフリーデーの実施など。
- ロードプライシング、ナンバー規制、炭素税など。

交通需要マネジメントは、これらの施策を効果的に組み合わせることで、交通の円滑化や、都市環境の改善を図ろうとする取り組みであり、東京都環境局はこれまでの道路や公共交通の整備という「容量の拡大」施策と合わせて、このTDM施策を図っていくことが、東京の持続的発展のために必要である¹⁵⁶、としている。

MM（モビリティマネジメント）

MM（モビリティマネジメント）とは、懇切丁寧な交通情報の提要や、自動車が環境や健康に及ぼす影響等についてわかりやすく解説することを通じて、組織や市民一人ひとりの「気づき」を促し、過度の自動車利用から、適度な自動車利用へと無理のない範囲での転換を促そうとする手法のことをいう¹⁵⁷。

辻本（2023）は、地域住民は利便性の高い自動車利用を選択しがちであるが、住民に地域公共交通の社会的価値（環境への優しさ、安全性の高さ、通学手段としての重要性等）をいかにわかりやすく伝え、気づきを促し、適切な交通手段選択へとむかわせるか、などの点でモビリティマネジメントの技法を用いた取組が有効である¹⁵⁸、と指摘している。

¹⁵⁶ 東京都環境局（2018）。

¹⁵⁷ 辻本（2023）p.113.

¹⁵⁸ 辻本（2023）p.115.

コンパクト・プラス・ネットワーク

コンパクト・プラス・ネットワークとは生活サービス機能と居住を集約・誘導し、人口を集積する「コンパクトシティ」と、まちづくりと連携した公共交通ネットワークの再構築の「ネットワーク」を組み合わせたものである。

市街地の拡散や中心市街地の空洞化によって、サービス提供効率の低下や自動車利用の加速、環境負荷の増大等の問題が発生してきたことや、少子高齢化の時代を迎えるにあたって、拡散した市街地のままでは医療、商業等の生活サービス施設や公共交通を維持することが困難となってくるのが背景としてある。コンパクト・プラス・ネットワークのねらいに関して、国土交通省は、都市のコンパクト化は、居住や都市機能の集積による「密度の経済」の発揮を通じて、住民の生活利便性の維持・向上、サービス産業の生産性向上による地域経済の活性化、行政サービスの効率化等による行政コストの削減などの具体的な行政目的を実現するための有効な政策手段¹⁵⁹、としている。コンパクトシティ化による効果として、環境面では、エネルギーの効率的利用や二酸化炭素排出量の削減の効果があり、低炭素型の都市構造の実現に繋がるとされている¹⁶⁰。

4.3 地域で取り組む脱炭素の事例

2050年カーボンニュートラルを達成するためには、国と地域との協働は不可欠である。そこで、地域の成長戦略としてどのように脱炭素を組み入れるか、すなわち、持続可能な地域社会の実現に向けて、どのような政策、技術等を組み合わせればよいか、などの観点が重要になる。運輸部門においても、脱炭素のみならず、持続可能な物流政策、公共交通ネットワークの維持、都市の拡散による社会的・経済的影響等の観点も含めた総合的な対策が必要となっている。

小田原市の事例

小田原市は、東日本大震災以降、持続可能なまちづくりに向けて、再生可能エネルギーの導入促進や、エネルギー利用の効率化に取り組んでいる¹⁶¹。このようなエネルギーの地域自給の取組と、脱炭素に係るEVシフトの潮流を組み合わせ、脱炭素型の地域交通モデル構築等の取組を推進している¹⁶²。

再生可能エネルギーは、気象条件によって発電量が変動する性質があり、EVを動く蓄電池と見立てて、エネルギーマネジメント機能を付加できないか、という視点からシェアリングEVを活用した脱炭素型の地域交通モデル事業が開始された。事業実施により期待される効果として、以下のものがある¹⁶³。

¹⁵⁹ 国土交通省 都市局 都市計画課 (2017) p. 7.

¹⁶⁰ 国土交通省 都市局 都市計画課 (2017) p. 7.

¹⁶¹ 小田原市 (2023) .

¹⁶² 山口 (2021) p. 200.

¹⁶³ 小田原市 (2023) .

- EVで地域に点在する地域資源等をつなぎ、人の流れをつくり出すことで、地域経済活性化への波及効果が期待される。
- 災害における停電時には、EVに蓄えられた電力を利用できるようにすることで、地域における防災機能の強化に貢献する。
- EVには市内等で発電された再生可能エネルギーを可能な限り活用することで、その需要を創出する。
- 蓄電池のエネルギーマネジメントを行うことで、電力需要が低いときは電気を蓄え、高い時には放電し、電力量を抑える。
- ガソリン車両をEVに置き換えることで、二酸化炭素排出量が削減される。
- カーシェアリングを行うことで車両台数を削減することができ、渋滞の緩和に寄与する。
- カーシェアリングサービスの提供は、利用者のライフスタイル転換の契機として期待される。

本事業は、EVに特化したカーシェアリングサービスに加え、エネルギーマネジメントとして、施設に対するオフピーク充電、ピークカット、再生可能エネルギーの発電量予測に基づく再生可能エネルギー優先充電マネジメントが行われている¹⁶⁴。

小田原市では、このようにEVに特化したカーシェアリングとエネルギーマネジメントを軸にした施策を進めており、EVを活用することで、災害時の活用や地域マイクログリッド事業等の環境・エネルギー×地域課題の取組を展開している¹⁶⁵。

災害時には、EVの位置情報や蓄電池残量等を遠隔で把握できるシステム特性を活かし、避難所等への効率的な配車を可能にするシステムを構築している¹⁶⁶。

地域マイクログリッド事業は、平時は地域の送配電ネットワークを活用し、災害等による大規模停電が発生した際には、送配電ネットワークから切り離し、小規模な独立電力網を運用することを目的としている¹⁶⁷。このような地域マイクログリッドのなかで、EVを蓄電池として活用することや、EVを媒介として、地域マイクログリッドエリアの電力を他地域に届けること等も検討されている¹⁶⁸。

4.4 脱炭素社会の実現に向けて

本論では、脱炭素に向けた政策や技術に関して述べてきた。しかし、そのような政策を社会に浸透させていくには、政策、社会、技術、経済等の相互関連や時間軸における展開をみる視点が重要である¹⁶⁹。そこで、イノベーション研究や進化経済学、技術社会学などの流れを受けて発展

¹⁶⁴ 山口（2021）pp. 204-205.

¹⁶⁵ 山口（2021）pp. 205-208.

¹⁶⁶ 山口（2021）p. 205.

¹⁶⁷ 山口（2021）p. 206.

¹⁶⁸ 山口（2021）pp. 206-207.

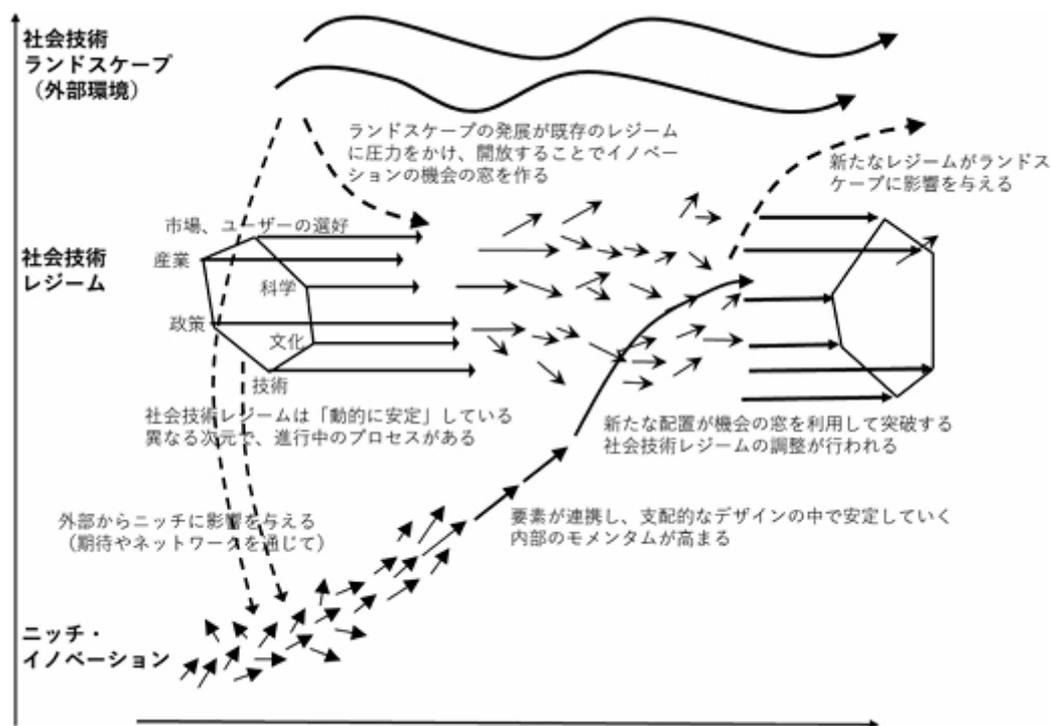
¹⁶⁹ 杉山・城山（2024）p. 201.

してきた「持続可能性移行研究 (サステナビリティ・トランジション)」が注目されている¹⁷⁰。

持続可能性移行研究は、気候変動、生物多様性の喪失、食品ロス等の各種環境問題に通底する、いわゆる固執性のある問題 (**persistent problem**) に起因しており、具体的には、エネルギー、交通 (モビリティ)、農業・水産業等の各分野において、需給システム全体が持続不可能 (**unsustainable**) な状態となり、地球環境に対して制御困難な負荷を課している点を問題視している¹⁷¹。

脱炭素の観点では、例として、電気自動車が普及して内燃機関にとってかわるには、電気自動車の技術開発以外にも社会や制度、消費者の変化も必要になることが挙げられる。イノベーションの普及過程では、技術だけではなく社会的側面についても考える必要があり、重層的視座 (MLP:Multi-Level Perspective) という持続可能性移行研究の枠組みが用いられる¹⁷²。

図表 16 持続可能性移行への MLP



(出所) 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子 (2022) より転載。

MLP には、ニッチ・イノベーション、社会技術レジーム、社会技術ランドスケープの 3 つの層がある。

¹⁷⁰ 杉山・城山 (2024) p. 201.

¹⁷¹ 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子 (2022) .

¹⁷² 杉山・城山 (2024) p. 201.

社会技術レジームは、技術者の習慣や行動様式、文化、共有されている問題設定や考え方、関連する学問体系などであり、既存技術の強化や漸進的改善を促す一方、革新技術に対しては開発や普及を妨げる方向に働くものである¹⁷³。このような社会技術レジームに対し、既存レジームの選択圧力から革新技術を保護し、育てる場として「ニッチ」があり、さまざまなイノベーションが育成されている。一方で、既存の社会技術レジームは安定的・現状維持的であり、イノベーションを容易に受け付けない。そこで、人口動態やマクロ経済、気候風土などの外部要因である社会技術ランドスケープが重要となる。社会技術ランドスケープから、何らかの圧力やショックが社会技術レジームに加わると、ニッチに対して機会の窓が開き、ニッチ・イノベーションが社会技術レジームに入り込んだり、取り込まれたりする。このような過程を経て、新たなレジームが形成されていく¹⁷⁴。

電気自動車で例えると、テスラの初期製品は一部の環境保護運動者やセレブリティに好んで購入されており、これがニッチに相当する。この動きをみて、他の自動車会社は戦略を再考した。これが社会技術レジームとニッチ・イノベーションの相互作用である。加えて、ランドスケープとして、脱炭素の必要性を幅広いアクターが認識することで、自動車業界や交通システムの外で学生の学校ストライキ運動や金融界の環境・社会・ガバナンス（ESG）投資の潮流が生まれる。これがニッチ・イノベーションを後押しし、既存のビジネスや政治家に圧力をかけることに繋がる。実際にアメリカでは、気候変動対策の必要性が浸透したことから、2022年にインフレ抑制法が成立し、電気自動車の導入支援策が充実した¹⁷⁵。

このように、MLP等の枠組みを用いて、相互作用の拡がりや移行の過程を研究するのが持続可能性移行研究である。社会技術システム全体の観点からは、ニッチ・イノベーションを育成する研究開発投資や企業の促進、脱炭素技術導入のための再エネ固定化価格買取制度や炭素の価格付けを適切に組み合わせ、一定の時間軸の下で共進化させていくことが必要である、と指摘されている¹⁷⁶。

おわりに

本論を執筆中の2024年においても気候変動は進展しており、2024年の夏（6月～8月）の平均気温の基準値¹⁷⁷からの偏差は、+1.76°Cで2023年と並んで歴代1位タイを記録した¹⁷⁸。このような気候変動による影響として、豪雨や高温の日の増加等の極端現象が増加することや年平均気温の上昇等が予想されており、それに伴って私たちの日々の暮らしにも大きな影響を与える

¹⁷³ 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子（2022）。

¹⁷⁴ 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子（2022）。

¹⁷⁵ 杉山・城山（2024）pp. 201-202.

¹⁷⁶ 杉山・城山（2024）p. 202.

¹⁷⁷ 1991年から2020年までの30年間の平均値を指す。

¹⁷⁸ 気象庁（2024）。

こととなる。気候変動に対処するため、世界的にも脱炭素の流れが進行しており、脱炭素に向けた政策の実施や、民間企業等の取り組み等が行われている。

本稿では、運輸部門の脱炭素化に着目し、各運輸セクターの方針や、物流部門における方針、まちづくりにおける方針について触れてきた。日本では2050年のカーボンニュートラル達成に向け、国の方針のみならず、各地方自治体や民間企業が脱炭素の目標を掲げ、取り組みが開始されている。カーボンニュートラルの実現に向けては、脱炭素のみに焦点をあてた課題解決だけではなく、少子高齢化や過疎化等の問題にも焦点をあて、国、地方自治体、民間企業が一体となって取り組んでいくことが求められている。

そのような社会の中で、我々は気候変動や脱炭素の動きに関心を寄せ続け、商品の選好や政治への意見反映を通して新たなイノベーションに対して「機会の窓」を開いていくことが必要となっている。

参考文献

- ・ 沖大幹（2024）「気候変動問題の推移」, 東京大学 気候と社会連携研究機構編『気候変動と社会』東京大学出版会 pp. 21-31.
- ・ 澁谷潤（2021）「脱炭素社会の実現に向けた地方公共団体の取組について」, 国立環境研究所・Ph.D.小端拓郎編『都市の脱炭素化』大河出版 pp. 209-216.
- ・ 杉山昌広・城山英明（2024）「脱炭素への社会技術システムの移行」, 東京大学 気候と社会連携研究機構編『気候変動と社会』東京大学出版会 pp. 201-202.
- ・ 辻本勝久（2023）「SDGs時代の地方都市圏の交通まちづくり」学芸出版.
- ・ 永田豊（2021）「電気自動車によるCO₂削減のための電源構成」, 室町泰徳編『運輸部門の気候変動対策』成山堂書店 pp. 52-67.
- ・ 成田大樹（2024）「なぜ政策が必要か」, 東京大学 気候と社会連携研究機構編『気候変動と社会』東京大学出版会 pp. 185-191.
- ・ 室町泰徳・三科善則（2021）「乗用車と貨物車の地域別CO₂排出量変動要因分析」, 室町泰徳編『運輸部門の気候変動対策』成山堂書店 pp. 31-51.
- ・ 山口一哉（2021）「小田原市におけるシェアリングEVを活用した脱炭素型地域交通モデル」, 国立環境研究所・Ph.D.小端拓郎編『都市の脱炭素化』大河出版 pp. 199-208.
- ・ PwC Japan グループ Life Cycle Assessment Consulting Initiative（2023）「LCAが変える産業の未来」ダイヤモンド社.
- ・ 清水延彦（2022）「2050 ネットゼロに向けた電気自動車の更なる普及促進策の検討」, https://www.jstage.jst.go.jp/article/reeps/15/1/15_43/_pdf/-char/ja（参照2024年11月5日）
- ・ 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子

(2022)「日本における持続可能性移行 (サステナビリティ・トランジション) 研究の現況と今後の展望」,

https://www.jstage.jst.go.jp/article/reeps/15/2/15_1/_pdf/-char/ja (参照 2025 年 1 月 8 日)

- ・一般社団法人日本自動車販売協会連合会 (2024)「年度別統計 (2019 年度～2023 年度)」,
<https://www.jada.or.jp/files/libs/3619/202404031651483532.pdf> (参照 2024 年 7 月 8 日)
- ・小田原市 (2023)「EV を活用した新たな地域エネルギーマネジメントに取り組みます」,
https://www.city.odawara.kanagawa.jp/field/envi/energy/electric_vehicle/main.html (参照 2024 年 11 月 4 日)
- ・環境省 (2020)「自動車による排出量のバウンダリに係る論点について」,
<https://www.env.go.jp/policy//【資料2-2】自動車排出量のバウンダリ pptx.pdf> (参照 2024 年 10 月 30 日)
- ・環境省 (2024a)「2022 年度の温室効果ガス排出・吸収量 (詳細)」,
<https://www.env.go.jp/content/000215754.pdf> (参照 2024 年 7 月 8 日)
- ・環境省 (2024b)「2050 年二酸化炭素排出実質ゼロに向けた取組等」,
<https://www.env.go.jp/content/000277214.pdf> (参照 2024 年 11 月 6 日)
- ・気象庁 (2024)「夏の天候」,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2409/02a/betten_natsu.pdf (参照 2024 年 11 月 8 日)
- ・経済産業省 (2020)「低炭素社会実行計画」,
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/kankyuu_keizai/va/brochure_ja.pdf (参照 2024 年 7 月 8 日)
- ・国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト (2022)「国際海運の 2050 年カーボンニュートラル達成に向けて」,
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001484435.pdf> (参照 2024 年 10 月 31 日)
- ・国土交通省 (2021)「船舶の脱炭素化」,
<https://www.mlit.go.jp/common/001447792.pdf> (参照 2024 年 10 月 30 日)
- ・国土交通省 (2022)「航空脱炭素化推進基本方針」,
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001573999.pdf> (参照 2024 年 7 月 9 日)
- ・国土交通省 (2023)「物流総合効率化法の認定状況」,
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001716589.pdf> (参照 2024 年 10 月 31 日)
- ・国土交通省 (2024a)「運輸部門における二酸化炭素排出量」,
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html (参照 2024 年 7 月 8 日)
- ・国土交通省 (2024b)「「航空運送事業脱炭素化推進計画」初の認定! ～空のカーボンニュートラルを目指して～」,
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001720041.pdf> (参照 2024 年 10 月 30 日)
- ・国土交通省「物流総合効率化法に基づく支援」,

- <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/bukkouhou.html> (参照 2024 年 10 月 31 日)
- ・国土交通省「物流総合効率化法の概要」,
<https://www.mlit.go.jp/common/001476255.pdf> (参照 2024 年 10 月 31 日)
 - ・国土交通省「モーダルシフト等推進事業」,
https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/ms_subsidy.html (参照 2024 年 10 月 31 日)
 - ・国土交通省「モーダルシフト等推進事業について(概要)」,
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001738026.pdf> (参照 2024 年 10 月 31 日)
 - ・国土交通省「モーダルシフトとは」,
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/modalshift.html> (参照 2024 年 9 月 2 日)
 - ・国土交通省「SAF の導入促進に向けた取組(航空局カーボンニュートラル推進室の取組紹介)」,
<https://www.mlit.go.jp/koku/pdf/saf.pdf> (参照 2024 年 10 月 30 日)
 - ・国土交通省 都市局 都市計画課 (2017)「コンパクト・プラス・ネットワークの推進について」,
<https://www.mlit.go.jp/common/001170865.pdf> (参照 2024 年 8 月 15 日)
 - ・国土交通省 都市局 都市計画課 都市計画調査室 (2023)「都市における人の動きとその変化～令和 3 年度全国都市交通特性調査結果集計結果より～」,
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001711623.pdf> (参照 2024 年 7 月 9 日)
 - ・国立環境研究所 (2024a)「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2024 年」,
https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/pi5dm3000010ina4-att/NID-JPN-2024-v3.6_J_gioweb.pdf (参照 2024 年 7 月 8 日)
 - ・国立環境研究所 (2024b)「2024 年提出版 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NID) の各分野に掲載されている時系列データ」,
<https://www.nies.go.jp/gio/archive/nirdata/2024.html> (参照 2024 年 7 月 8 日)
 - ・国立環境研究所 (2024c)「日本の温室効果ガス排出量データ (1990～2022 年度) (確報値)」,
https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.nies.go.jp%2Fgio%2Farchive%2Fghgdata%2Fpi5dm3000010bn31-att%2FL5-7gas_2024_gioweb_ver1.0.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK (参照 2024 年 11 月 8 日)
 - ・資源エネルギー庁 (2017)「今さら聞けない「パリ協定」～何が決まったのか？私たちは何をすべきか？～」,
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html> (参照 2024 年 7 月 8 日)
 - ・資源エネルギー庁 (2021)「第 6 次エネルギー基本計画」,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf (参照 2024 年 10 月 31 日)
 - ・資源エネルギー庁 (2022)「自動車の“脱炭素化”のいま(前編)～日本の戦略は？電動車はどのくらい売れている？」,
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/xev_2022now.html (参照 2024 年 11 月 6 日)

- ・持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）「持続可能な物流の実現に向けた検討会 最終とりまとめ」,
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sustainable_logistics/pdf/20230831_1.pdf（参照 2025年1月12日）
- ・全日本空輸・日本航空（2021）「共同レポート 2050年 航空輸送における CO2 排出実質ゼロへ向けて」,
<https://press.jal.co.jp/ja/items/uploads/29b739f32e77631451b59a6c03bf77b906ac9e8a.pdf>（参照 2024年10月30日）
- ・「総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）」（2021年6月15日・閣議決定）,
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001409564.pdf>（参照 2025年1月12日）
- ・地球温暖化対策推進本部（2021a）「地球温暖化対策計画」,
<https://www.env.go.jp/content/900501972.pdf>（参照 2024年7月8日）
- ・地球温暖化対策推進本部（2021b）「日本の NDC（国が決定する貢献）」,
<https://www.env.go.jp/content/900501970.pdf>（参照 2024年7月8日）
- ・地球温暖化対策推進本部（2021c）「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」,
<https://www.env.go.jp/content/900501973.pdf>（参照 2024年7月8日）
- ・中国運輸局 交通政策部 環境・物流課（2024）「物流 2024年問題の概要と国土交通省の取組紹介」,
<https://www.tb.mlit.go.jp/chugoku/content/000330452.pdf>（参照 2025年1月12日）
- ・鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会（2023）「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」,
<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001611767.pdf>（参照 2025年1月19日）
- ・東京都環境局（2018）「交通需要マネジメント（TDM）とは」,
<https://www.kankyo1.metro.tokyo.lg.jp/archive/vehicle/management/tdm.html>（参照 2024年11月6日）
- ・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」,
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf（参照 2024年7月8日）
- ・長野県（2022）「長野県ゼロカーボン戦略」,
https://www.pref.nagano.lg.jp/kankyo/keikaku/zerocarbon/documents/00zerocarbon_hontai_r4re.pdf（参照 2024年11月6日）
- ・内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会（2022）「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」とりまとめ」,
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001447040.pdf>（参照 2025年1月12日）
- ・文部科学省・気象庁（2020a）「日本の気候変動 2020（本編）」,

- https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_honpen.pdf (参照 2024 年 11 月 7 日)
- ・ 文部科学省・気象庁 (2020b) 「日本の気候変動 2020 (詳細版)」,
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_shousai.pdf (参照 2024 年 7 月 8 日)
 - ・ 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省 (2021) 「参考資料 (IPCC の概要や報告書等で使用される表現等について)」,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2108/09a/ipcc_ar6_wg1_a3.pdf (参照 2025 年 1 月 13 日)
 - ・ JR 東日本 (2018) 「鉄道用超電導フライホイール蓄電システムの開発について」,
<https://www.jreast.co.jp/press/2017/20180320.pdf> (参照 2024 年 11 月 6 日)
 - ・ JR 東日本 (2020) 「JR 東日本グループは 2050 年度の C2 排出量「ゼロ」を目指します ～JR 東日本グループ「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」～」,
https://www.jreast.co.jp/press/2020/20201008_ho01.pdf (参照 2024 年 11 月 6 日)
 - ・ JR 東日本 (2024) 「JR 東日本グループレポート 2024」,
https://www.jreast.co.jp/eeco/pdf/pdf_2024/all.pdf (参照 2024 年 8 月 6 日)
 - ・ JR 東日本「エコステ」,
<https://www.jreast.co.jp/eeco/ecostation/> (参照 2024 年 10 月 27 日)
 - ・ JR 東日本「品川開発プロジェクトにおける環境・エネルギー技術の導入」,
https://www.jreast.co.jp/eeco/pdf/shinagawa_project.pdf (参照 2024 年 11 月 6 日)
 - ・ JR 東日本「地球温暖化防止へ向けて」,
<https://www.jreast.co.jp/eeco/warming/> (参照 2024 年 11 月 6 日)
 - ・ IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 気象庁訳,
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_es_faq_all.pdf (参照 2025 年 1 月 20 日)
 - ・ IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24.
<https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>. 環境省訳,
<https://www.env.go.jp/content/900442312.pdf> (参照 2025 年 1 月 20 日)
 - ・ IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y.

- Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)). In Press. 気象庁訳,
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf (参照 2025 年 1 月 9 日)
- IPCC (2022a) Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001. 環境省訳,
<https://www.env.go.jp/content/000138044.pdf> (参照 2024 年 7 月 8 日)
 - IPCC (2022b) Summary for Policymakers [P.R. Shukla, J. Skea, A. Reisinger, R. Slade, R. Fradera, M. Pathak, A. Al Khourdajie, M. Belkacemi, R. van Diemen, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, D. McCollum, S. Some, P. Vyas, (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [P.R. Shukla, J. Skea, A. Reisinger, R. Slade, R. Fradera, M. Pathak, A. Al Khourdajie, M. Belkacemi, R. van Diemen, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, D. McCollum, S. Some, P. Vyas, (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001. 経済産業省訳,
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/global2/about_ipcc/202310ipccwg3spmthirdversion.pdf (参照 2025 年 1 月 19 日)
 - IPCC (2023) Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647,
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf (参照 2025 年 1 月 20 日)
 - World Meteorological Organization (2024) 「温室効果ガス年報 (概要)」 気象庁訳,
https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-20_j.pdf (参照 2024 年 11 月 9 日)