

カーボンニュートラル社会を拓く

— 皆で学び、話し合い、行動するための読本 —

2024年度 神奈川県「高校生向け脱炭素教育」版

一般社団法人 環境政策対話研究所

本書を読まれる皆さんへ

本書は、脱炭素社会づくりについて学習しようとする高校生を第一に、そして一般の市民の方々に読んでいただくことを念頭に作成いたしました。

脱炭素社会づくりを自分事として考え、取り組みに参加し、そして仲間達と徹底して議論を行ってみたい、という意欲を持った読者の皆様には、一見してとっつきにくい気候変動問題及び脱炭素社会づくりについて、系統だって理解いただくことが何よりも大事と考えました。

まず、第1章では、「なぜ脱炭素社会に変わらねばならないのか？」というテーマについて、地球温暖化の基本的なメカニズムやその影響に触れ、気候変動に対する国際的な取り組みや日本の政策などを紹介しながら説明していきます。

続いて、第2章では、「エネルギーフロー図」を用いながら、エネルギーの流れや、私たちの生活上の対策について考えます。

第3章では、私たちがどのようにして「脱炭素社会」を実現していくべきか考える際のヒントとなるような重要な視点をご紹介します。

最後に、巻末には、参考資料として、日本の一次エネルギー供給と「茅恒等式」^{かやこうとうしき}の説明を収録しています。こちらは、「もっと詳しく知りたい」と感じた時にぜひ読んでみてください。

テキスト全体を通じて、重要な用語や事柄は、本文中の「キーワード」や「解説」で詳しく説明していますので、疑問に思うことがあればぜひ参照してください。また、テキストを読むだけではわからなかったことや、もっと知りたいことなどがあれば、先生を通じるなどして専門家に質問をお寄せください。

私たちはこれまで、化石エネルギーに支えられて、経済規模を飛躍的に拡大させ、科学技術を発展させ、利便性や豊かさを手に入れてきました。しかし現在、国際社会は一転し、化石エネルギーに依存しない社会への転換、すなわち、カーボンニュートラル社会（脱炭素社会）の実現を目標に基本戦略を立て、その具体化に向けて走り出しました。

日本政府は、2021年秋、2050年脱炭素社会の実現を目指し、エネルギー基本計画と地球温暖化対策計画の見直しを行いました。新時代の到来を確信した企業も、技術革新を推し進め、脱炭素の新市場を獲得する激しい競争を始めています。

また、脱炭素社会の構築のためには、エネルギーシステムや技術的側面にとどまらず、まちづくり、交通システム、食や住まいの在り方まで、実に広範で多くの要素と立ち向かわなければなりません。しかも、進むべき針路に正解がある訳ではなく、多様な選択肢の中から答えを選び、実践していかなければなりません。今こそ、私たちは脱炭素という長期の視点に立ち、目指すべき社会の在り方、エネルギー選択の在り方などについて、十分に議論し行動していかなければなりません。自分の問題として強い関心を持ち、解決策を見出していくプロセスに参加し、主体的に行動していくことが何よりも大切です。

特に若い皆さんは、今後多様な分野に進まれると思います。しかしどの分野であろうと、脱炭素社会づくりと必ず接点があるのです。自分なりの考えをしっかりと持って、脱炭素社会の構築に主体的に関わっていただくことを心から期待しています。

目次

第1章 なぜ脱炭素社会に変わらねばならないのか？	1
1. 地球温暖化は現実の問題	1
2. 地球温暖化のメカニズム	2
3. 目指すは脱炭素社会の実現	4
4. 気候変動のリスクへの対応	5
5. 「脱炭素社会」への転換に向けた国際協調の流れ	6
6. 脱炭素転換に向けた日本のチャレンジ	9
第2章 エネルギーと私たちの暮らし	11
1. エネルギーの供給から需要までの構造を知る	11
2. 脱炭素化を進めるための対策・施策	12
第3章 脱炭素社会づくりにどう立ち向かうか	21
1. 脱炭素社会転換は持続可能社会づくりのチャンス	21
2. バックカスティングによる戦略・計画の策定	21
3. エネルギーシステムの選択において重視すべき視点	22
4. これからの新しい社会を生きる皆さんへ	22
参考資料	23
参考資料1. 日本における一次エネルギー供給の推移と内訳	23
参考資料2. 茅恒等式	24

執筆者

西岡 秀三	公益財団法人 地球環境戦略研究機関 参与
柳下 正治	一般社団法人環境政策対話研究所 代表理事
荒井 眞一	一般社団法人環境情報科学センター 常任理事・技術顧問
白木 裕斗	名古屋大学大学院 環境学研究科 准教授
磐田 朋子	芝浦工業大学 副学長・システム理工学部環境システム学科 教授
松橋 啓介	国立研究開発法人国立環境研究所 社会システム領域・地域計画研究室長

編集

新海 朋子	一般社団法人環境政策対話研究所 主任研究員
柳下 正治	同 代表理事

第1章 なぜ脱炭素社会に変わらねばならないのか？

1. 地球温暖化は現実の問題

今、人間活動から排出される二酸化炭素（CO₂）などの**温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas**：P2の「キーワード」参照）によって、科学者の予想を超えて地球の平均温度が上昇しています。この地球温暖化によるとみられる気候変動は、世界の各地で洪水や干ばつ、山火事、海面上昇をもたらし、熱中症が頻発しています。

日本でも、平均気温が上昇し続け、2023年の平均気温は、統計史上最高温を記録しました。この高温傾向によって、熱中症による救急搬送数は、2008年の22,000人が2018年には92,710人へと急増しました。食料生産では、白濁米の発生、温州ミカンの浮皮やリンゴの表面日焼け、ブリなどの水揚げ漁港の北上、養殖ホタテ貝のへい死等の被害が増えています。また、 Deng 熱を媒介するヒトスジシマカの北限が1948年の栃木県から2017年には青森県まで北上しました。

地球温暖化は現実の問題です。

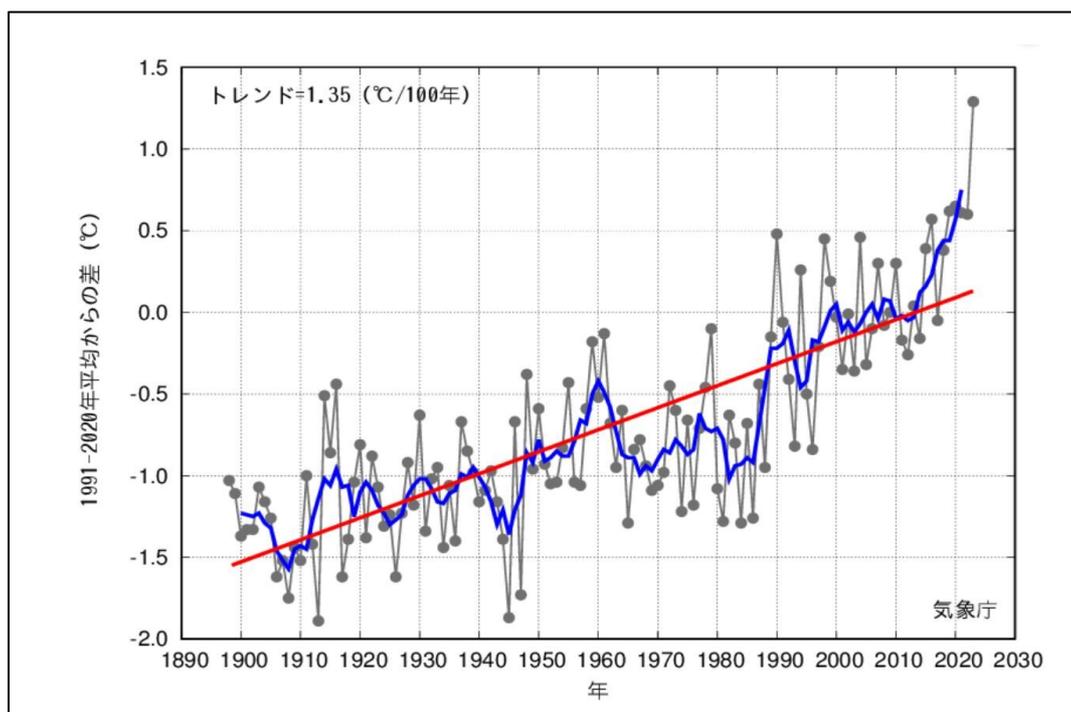


図 1-1 日本の年平均気温の上昇傾向

出典：気象庁

細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差

太線（青）：偏差の5年移動平均値

直線（赤）：長期変化傾向

2. 地球温暖化のメカニズム

大気中にわずかに存在する CO₂ やメタンは大気の温度を上げる効果があり、地球表面の温度を約 34°C 高めています。これを「**温室効果**」といいます。このおかげで、地球表面は平均約 15°C という人類が生存できる温暖な気候に保たれているのです。

19 世紀後半に産業革命が起こるまでは、地球上では石炭や石油などの化石燃料はほとんど使われていませんでした。CO₂ は森林の夜間の呼吸作用や海洋面から排出されますが、昼間の炭酸同化作用（光合成）で森林などに吸収され、土壌に蓄積し、海洋に吸収されていました。つまり、排出と吸収がバランスを保つことで大気中の CO₂ 濃度は増えず、気候はいくらかの自然変動はあるものの、ほぼ安定していました。

ところが、産業革命以降、人類はエネルギーを得るために主成分として炭素を含む化石燃料を地中から掘り出して燃やし始め、大量の CO₂ が大気中に放出されるようになりました。その約半分は海洋や森林土壌に吸収されますが、残り半分は大気中に蓄積され続けて **CO₂ 濃度を高めていきました**。

その結果、**CO₂ の累積排出量（これまで排出されてきた量の総合計）に比例して温室効果が強まり**、地球表面の平均気温が上がって世界中の気候が大きく変わり、人間社会への悪影響が現実の問題になっています。これが**地球温暖化**です。人間社会の活動によって気候システム全体が変わっていくので、（人為的な）「**気候変動**」とも呼ばれています。

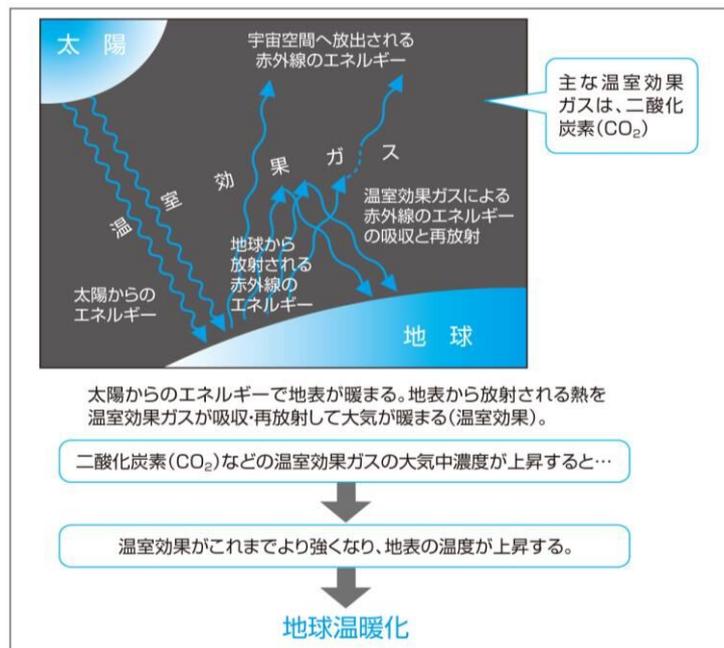


図 1-2 温室効果のメカニズム

出典：改訂 8 版環境社会検定試験 eco 検定公式テキスト
東京商工会議所編著 日本能率協会マネジメントセンター

キーワード

温室効果ガス

地表から放射された赤外線の一部を吸収し、再び地表へ戻すことで地球の温度を上げる働きをする大気中の気体の総称。二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)、パーフルオロカーボン類 (PFCs)、六フッ化硫黄 (SF₆)、三フッ化窒素 (NF₃) など。

キーワード

化石エネルギー

地中に埋蔵されている石油、石炭、天然ガスなどの資源。シェールガスやメタンハイドレートも該当する。化石燃料とほぼ同義。

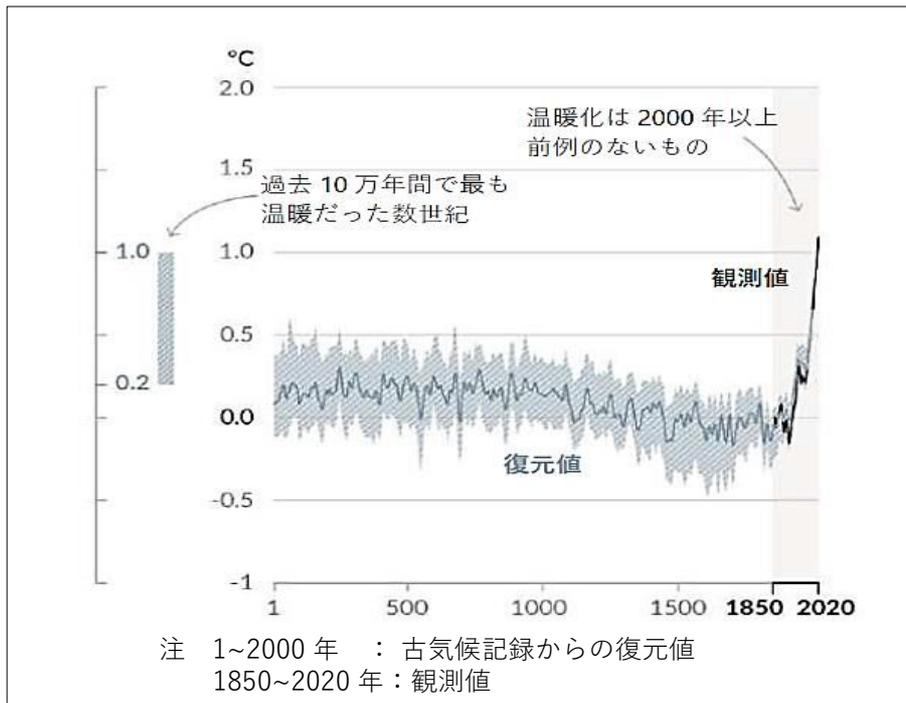
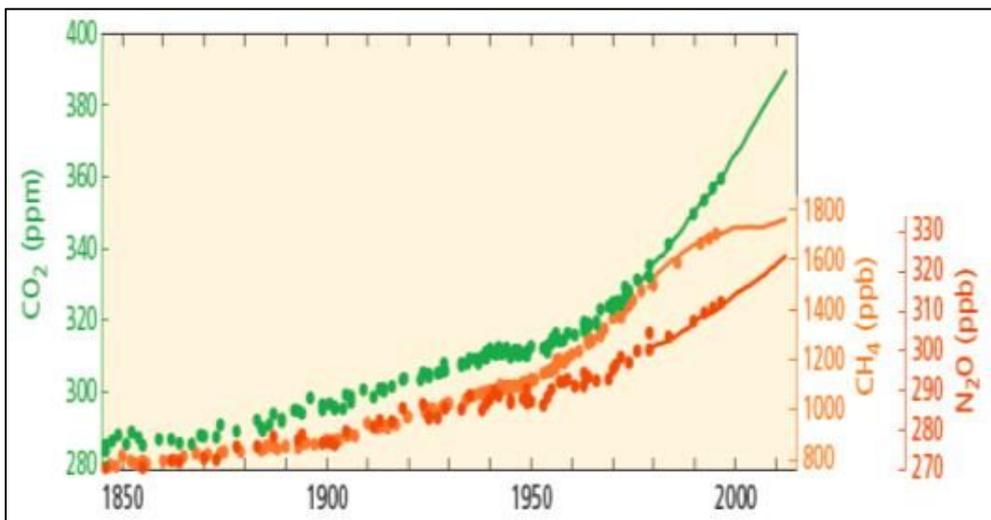


図 1-3 1850~1900 年を基準とした世界平均気温（10 年平均）の変化

出典：IPCC AR6 WG1 SPM



(注) CO₂:二酸化炭素、CH₄:メタン、N₂O:一酸化二窒素

図 1-4 世界平均の GHG 濃度の変化 出典：IPCC AR5

キーワード

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

国連気候変動に関する政府間パネル：気候変動に関する科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）により設立された組織。

各国政府から推薦された科学者が参加し、5~6年ごとにその間の気候変動に関する科学研究から得られた最新の知見を評価し、その結果を評価報告書として公表する。気候変動に関する国際的な政策決定に対して科学的な裏付けを与えている。

3. 目指すは脱炭素社会の実現

それでは、どうしたら温暖化は止められるでしょうか。科学者が世界中からの計測・統計データと知恵を集めて得た結論によれば、温暖化を止めるには温室効果ガスの排出を実質ゼロにするほか、解決策が見当たらないということです。それは前述のとおり、「地球の温度は人為的なCO₂排出総量（累積量）にほぼ比例して上昇する」という事実に基づいています。人為的なCO₂を出している限りその半分が大気中に溜まり続け、100年たっても消えないで濃度を高めてゆき、それに比例して温度がどんどん高くなってゆくからです（図1-5参照）。

この関係から、**温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることでしか温暖化は止められない**ということが導き出されます。温室効果ガスの約75%がCO₂で、現在の工業社会は化石燃料を燃焼しCO₂を排出することでエネルギーの大半を得て成り立っていますから、「化石エネルギー社会」から「**脱炭素社会**」へ変えることが人類生き残りのために避けられないのです。

気候変動のリスクが取り返しのつかないことになる前に、今後30-50年の間に「脱炭素社会」に転換できるか、現世代の非常に重たい大きな挑戦です。

キーワード

脱炭素社会

温室効果ガス排出を実質ゼロにした社会のこと。温室効果ガスの排出を**実質ゼロ***にするには、化石エネルギーを脱炭素エネルギーに転換するだけでなく、化石エネルギー利用を前提として成り立っている今の経済活動、生産方式、都市構造、諸制度、社会慣習、生活様式などを含む社会全体を変えていかなければなりません。

なお、脱炭素社会とほぼ同義語として、**ゼロ・エミッション社会**や**炭素中立（カーボンニュートラル）社会**などの用語が用いられています。

* **実質ゼロ**：温室効果ガスの人為的排出量から、植林、CCS等の人的吸収量を差し引いて実質排出量をゼロにすること。

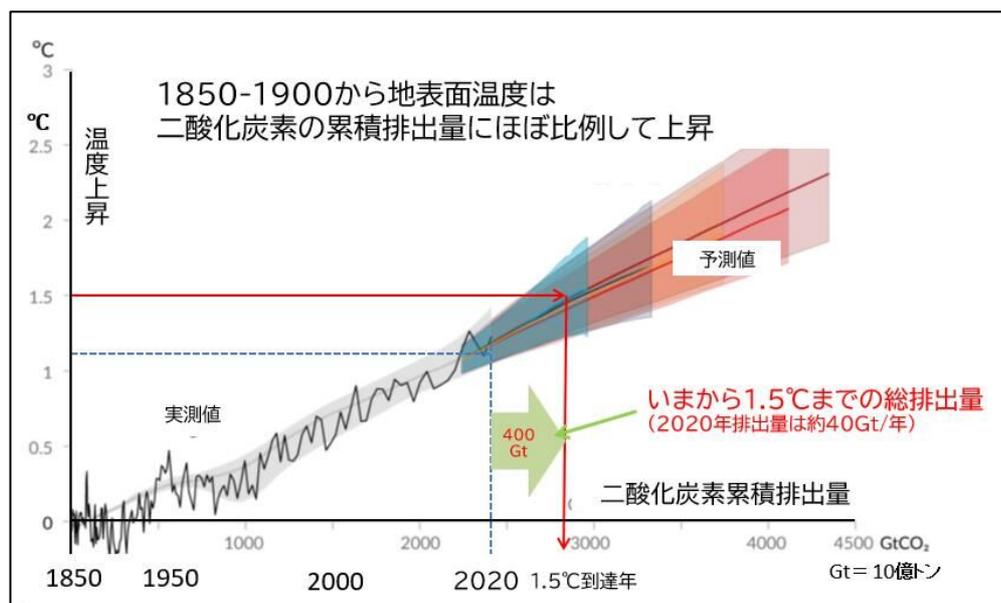


図 1-5 二酸化炭素累積排出量と地表面温度の変化

出典：IPCC AR6 WG1 SPM Fig.SPM10 に加筆

4. 気候変動のリスクへの対応

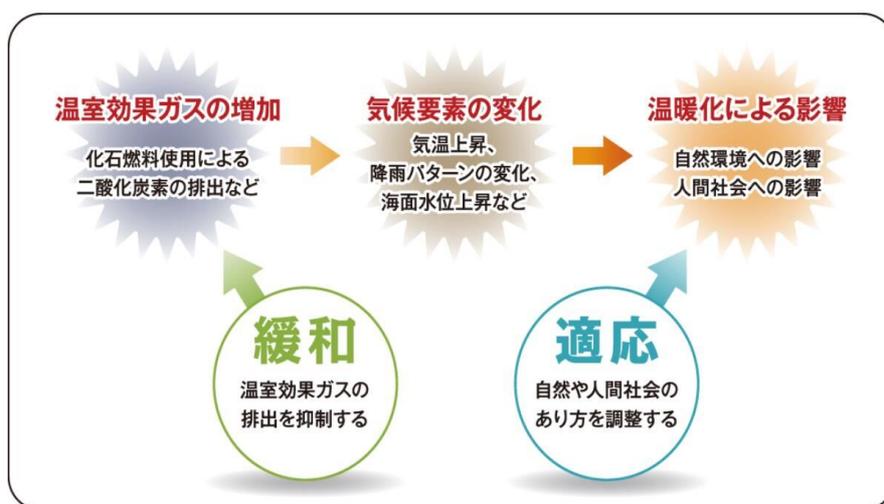
地球温暖化対策は大きく、**緩和策 (mitigation)** と **適応策 (adaptation)** からなっています。

緩和とは、温室効果ガス (GHG) の人為的排出を削減して地球温暖化の進行を抑えたり、GHG の吸収促進のための森林保全対策等を推進することです。排出された CO₂ を回収・貯留する対策技術 (CCS) の開発も進められています。

適応とは、気候変動の影響による被害を抑えるための対策であり、起こりうる異常気象に対する渇水対策・洪水対策、熱中症予防対策、農業における品種改良による高温障害対策等があげられます。

産業革命以降、地球の平均気温はすでに 1.1°C 近く上がっています¹。 **いったん気温が上昇すると元の気候に戻すことはほぼ不可能**で、酷暑日や巨大台風、洪水被害は今よりも何倍も多くなります。もちろん、農産物を耐熱品種に変えたり、堤防をかさ上げして水害を防ぐなどの適応策も重要ですが、強まっていく気候変動に対応し続けることはできません。

CO₂ の排出が今のまま続けば、今世紀末には世界の平均気温は約 4°C 上昇すると予測されています²。気候変動が人間の力では止められない暴走状態に高まる可能性も懸念されます。このため、**温度上昇を止めるための緩和策に全力を傾けなければなりません**。



出典：環境省

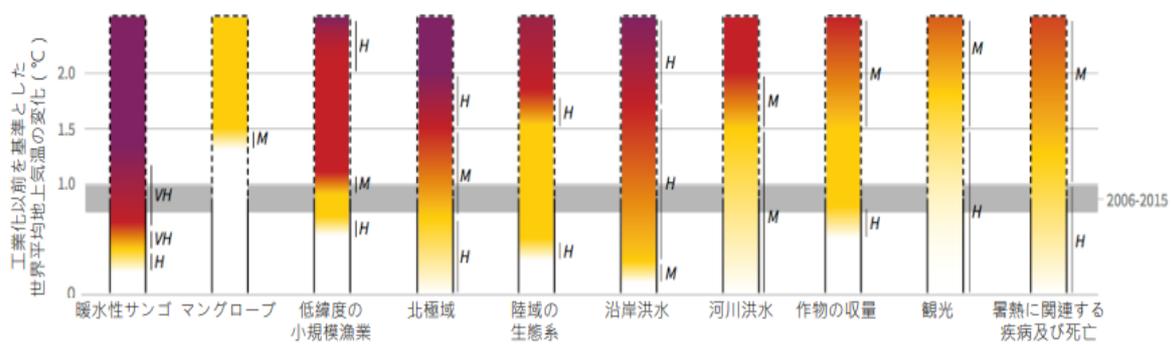
表 1-1 地球温暖化の影響に対する適応策(例)

対策部門	対策内容
農業、森林・林業、水産業	高温耐性の水稻・果樹の品種の開発・普及改良、適切な病害虫の防除
水環境・水資源	生活排水などの排水対策、渇水対策のための時系列の行動計画の策定
自然生態系	モニタリングによる生態系の変化の把握、国立公園等の管理の推進
自然災害・沿岸域	堤防等防災施設の整備、ハザードマップ・避難行動計画の策定・訓練
健康	熱中症の予防法の普及啓発、感染症媒介蚊の発生防止・駆除
産業・経済活動	損害保険などによる取り組み促進、適応技術の開発
国民生活・都市生活	インフラ、ライフラインの強靱化、港湾の事業継続計画 (BCP) の策定

出典：気候変動への適応計画(閣議決定 2015)から作成

¹ 出典：IPCC 第 6 次報告書 (AR6) WG1 A1.2

² 出典：IPCCAR6 WG1 1850～1900 年に対する 2081～2100 年の最良推定値はシナリオによって異なり 1.4～4.4°C (4.4°Cは、SSP1-1.9 (GHG 排出量が非常に多いシナリオ))

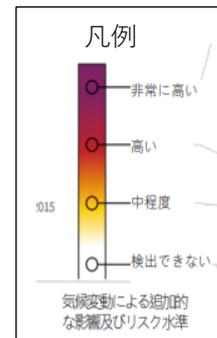


移行の確信度：L=低い、M=中程度、H=高い、VH=非常に高い

図 1-6 気候変動によるリスクのレベルの例

出典：IPCC (IPCC SR1.5 SPM 図 SPM.2)

解説：色が濃いほどリスク水準が高いことを示しています。事柄によって影響が発生し始める気温や影響の程度が異なります。



5. 「脱炭素社会」への転換に向けた国際協調の流れ

気候変動は人類全体の危機です。気候変動によるリスクを回避するためには、全ての国が参加した国際協調の取り組みが何よりも必要です。

表 1-2 は、地球温暖化対策に関する国際協調の動きをごく簡潔に年表として示したものです。地球温暖化に関する本格的な国際会議は 1985 年のフィラハ会議から始まりました。地球温暖化に関する国際協調の歴史はわずか 40 年足らずなのです。

表 1-2 地球温暖化対策の国際協調の歴史

年	国際会議、国際枠組等	説明
1985 年 10 月	フィラハ会議（オーストリア）の開催	地球温暖化に関する初の国際会議（世界の科学者が結集）
1988 年	IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の設立	地球温暖化に関する科学的知見の収集・評価・報告を行う国連組織。1990 年に第 1 次報告書を公表後、概ね 5、6 年おきに最新の知見を集約して報告書を公表。
1992 年 5 月	「 国連気候変動枠組み条約（UNFCCC） 」の採択	国際協力の下に地球温暖化対策を進めるための 初の国際的取り決め
1997 年 12 月（COP3）*	「 京都議定書 」の採択（→2005 年発効）	先進国を対象に G H G 排出量の削減の数値目標を定めた。目標期間は 2008～2012 年の 5 年間。
2015 年 12 月（COP21）	「 パリ協定 」の採択（→2016 年発効）	2020 年以降の国際的枠組み。 全ての国が参加する法的拘束力を持つ国際協定 。現在の脱炭素社会の実現を目指した取り組みの国際的枠組みである。

* COP については P8 の「キーワード」参照

気候変動に対する立場や利害は各国で大きく異なります。途上国の多くは気候変動による影響を受けやすく、農業国は安定な気候を強く望みます。一方で産油国のように化石燃料の輸出で経済が成り立つ国や、石炭が主なエネルギー源である国もあるなど、全ての国による合意形成に向けては極めて厳しい国際交渉が強いられました。

こうした中で重要な役割を果たしたのが、「**気候変動に関する政府間パネル (IPCC)**」(P3 の「キーワード」参照)です。IPCC 第5次報告(2014年)は、人為的排出によって気候変動が起きていることは間違いなく、そのリスクが危険なレベルに至りつつあることを強く警告しました。

一方、途上国を中心に世界の GHG 排出量は増加の一途をたどるなど、全ての国が参加した取り組みが益々重要視されるようになり、新しい気候変動の枠組み作りが急務となりました。こうした中で、2015年に開催された COP21 において「**パリ協定**」が採択されたのです。

パリ協定において、各国は地球の平均気温を**産業革命以前に比べて 2°Cより十分低く保つ(2°C目標)**とともに、**できれば1.5°C以下の上昇範囲に抑えるよう努力**することを合意しました。さらに、2021年の COP26(グラスゴー会合)では、**1.5°C以下にとどめる努力を続ける**ことに合意しました。

解説

パリ協定

2015年、フランス・パリで開かれた第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で採択された、2020年以降の地球温暖化対策を定めた国際的枠組み。

気候変動枠組条約に加盟する196カ国すべてが削減目標・行動をもって参加することをルール化した合意です。パリ協定の概要は以下のとおりです。

- ① **2°C目標の設定**：世界的な平均気温上昇を、産業革命以前と比較して2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑えるよう努力する。
- ② **緩和策(排出抑制・CO₂吸収源の保全)の実施**：今世紀後半に GHG 排出量と吸収量のバランスを達成するため、すべての**締約国***は自主的に排出量削減に関する約束(NDC; Nationally Determined Contribution)を作成し、対策を実施する。
***締約国**：条約や協定を批准等により締結している国。条約等で定められた義務を履行しなければならない。
- ③ **長期戦略の策定**：すべての締約国は2050年以降の長期のGHG低排出発展戦略を策定し、2020年までに提出するよう努める。
- ④ **気候変動適応対策**：すべての締約国は適応計画を策定し、対策を実施する。
- ⑤ **被害と損失(ロスアンドダメージ)**：適応できる範囲を超えて発生する気候変動の影響(被害と損失)を救済するための国際的仕組みを創設する。
- ⑥ **全体の進捗確認(グローバルストックテイク)**：5年ごとにパリ協定の全体の実施状況を確認し、取り組みが十分であったかどうかを評価しようとするもの。2023年に第1回が実施され、その後は5年ごとに実施される。

キーワード

COP

Conference **o**f the **P**arties の略称。日本語では「締約国会議」という。締約国が集まる会議のことで、予算や規則の制定、条約の執行に関わる重要事項を審議して決定する。COP3 とは、第 3 回締約国会議の略称で、1997 年 12 月に京都で開催された。また COP21 とは第 21 回締約国会議の略称で、2015 年にパリで開催された。

今後 10 年以内に本格的な脱炭素社会への転換に着手することがポイント

多くの国が 2050 年頃のカーボンニュートラル社会の実現を目指して、1.5°C 目標の削減計画を作り始めています。そしてパリ協定に基づいて、各国は自国の 2030 年までの削減案（NDC）を国連に提出しました。2023 年にはこの計画に対する「グローバルストックテイク」（P7 の「解説」参照）がなされました。

しかしその結果、現時点では国際社会全体の GHG 排出量の顕著な削減が認められず、各国に対して 2025 年までに削減強化案の再提出が求められたのです。

世界の気候安定化対策は、現状は全体的に遅れをとっています。気候変動の進行にブレーキがかかる兆候を認めるに至っていません。このため、最近では「気候危機」、「気候非常事態」、「地球沸騰化」などの表現が用いられるようになってきました。先述の「温度上昇は排出累積量に比例する」という関係式から、既に 1.1°C 温度上昇した今日から 1.5°C 温度上昇までにどれだけ CO₂ を世界で排出できるか**炭素予算**を推算しますと、4,000 億トンと算定されます。これは現在の年間排出量 400 億トン³の 10 年分です。

キーワード

炭素予算（Carbon Budget）

人間活動を起源とする気候変動による地球の気温上昇を一定のレベルに抑える場合に想定される、温室効果ガスの累積排出量（過去の排出量と将来の排出量の合計）の上限値。

脱炭素社会への転換は簡単に成し遂げられることではありません。しかし、世界中が一刻も早く大幅な削減に着手すれば、この炭素予算（4,000 億トン）を 10 年で使いきることなく、30 年にも 40 年にも引き延ばしてゼロ・エミッション社会に軟着陸することができるのです。一刻も早い大幅削減への転換が鍵です。この可能性は世界各国の削減努力次第ですが、多くの国が**2050 年あるいは 21 世紀後半の早期**（2070 年頃）をゼロエミ目標年として、動き出しています。

³ 出典：AR6 WG3 38 ± 3 Gt CO₂-eq FFI（化石燃料及び産業由来）

6. 脱炭素転換に向けた日本のチャレンジ

2015年のパリ協定の成立を機に、世界中が脱炭素転換に向けて地球温暖化対策を一段と加速していくことが必要となる中、**2021年10月**、菅総理大臣は臨時国会の所信表明演説において「**日本は2050年カーボンニュートラルを目指す**」ことを内外に宣言しました。日本政府は、2021年10月、2050年カーボンニュートラル社会実現を目標に、**第6次エネルギー基本計画及び地球温暖化対策計画の閣議決定**を行いました。

改定計画に掲げられた目標をグラフで示したものが図1-9 (P10)です。

それでは、まず、日本社会の中で、どこからどの程度GHGが排出されているのでしょうか。また、どのような排出削減の可能性や方法があるのでしょうか。また更に、削減対策を進める主体は誰なのかについて明確にしていくことも必要です。

日本の温室効果ガス (GHG) の2021年度の排出状況を図1-7で示しました。総排出量は11.7億トンですが、この90.9%がCO₂です。また、このCO₂の約93%がエネルギー起因です。つまり、「エネルギー起源のCO₂」が全GHG排出量の85%相当を占めていることになります。

このことから、我が国においてゼロ・エミッションを実現し、脱炭素社会に変えていくためには、**エネルギーに関わる対策に重点を置かなければなりません**。その戦略を立てる上で、エネルギーがどのように利用されているかの詳しい情報が必要です。

具体的には、日本におけるエネルギーの供給から最終利用 (需要) に至るまでの流れを**エネルギーフロー図**として知ることが有用です。このことは、後ほど第2章において詳しく説明します。

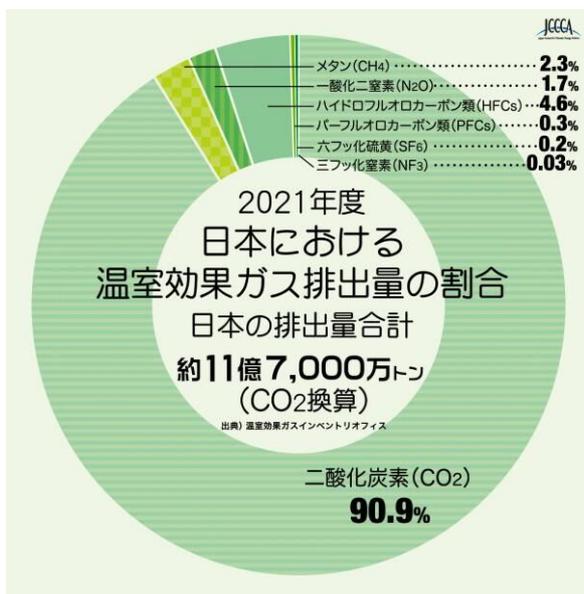
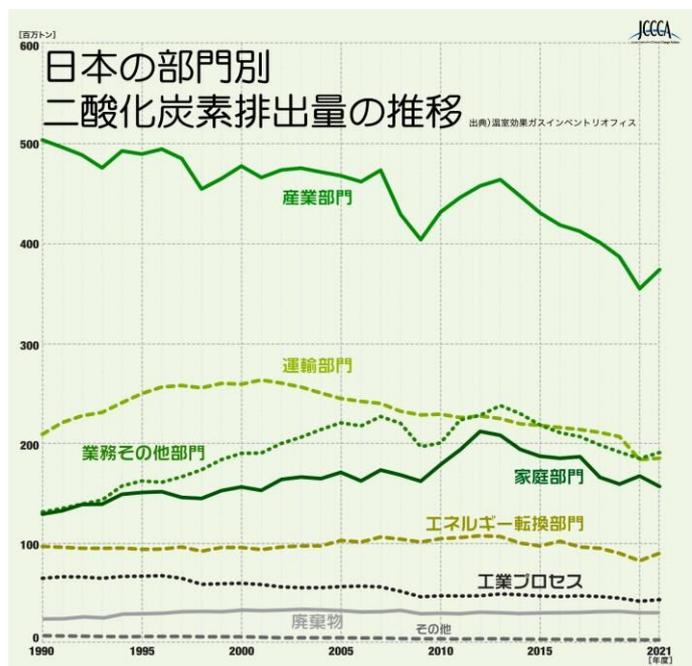


図1-7 日本のGHG排出の種類ごとの内訳 (2021年度)

出典：全国地球温暖化防止活動推進センター
ウェブサイト (<http://www.jccca.org/>)



【参考】図1-8 部門別のCO₂排出量の推移 (1990年度～2021年度)

出典：全国地球温暖化防止活動推進センター
ウェブサイト (<http://www.jccca.org/>)

【参考】カーボンニュートラルのイメージ

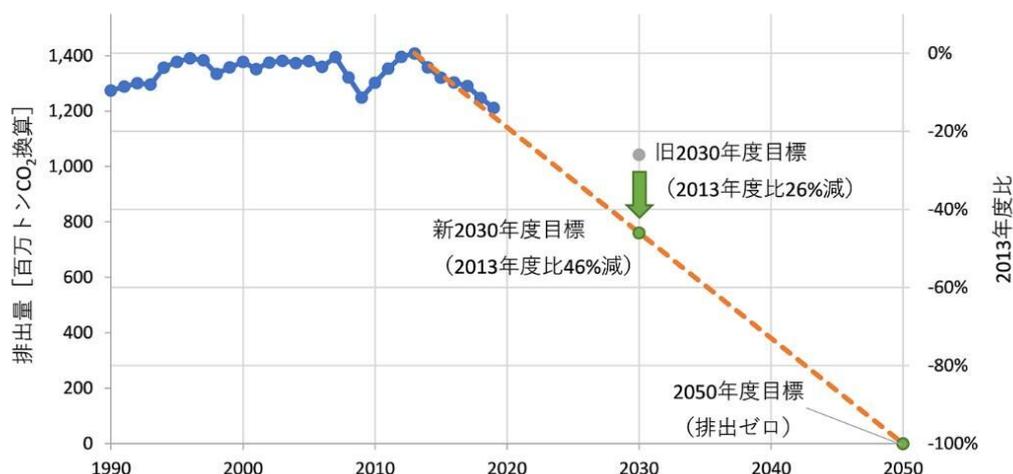


図 1-9 日本の GHG 排出量の推移と中期目標・長期目標

出典：環境省資料

解説

2050年カーボンニュートラルを鮮明にした政府計画

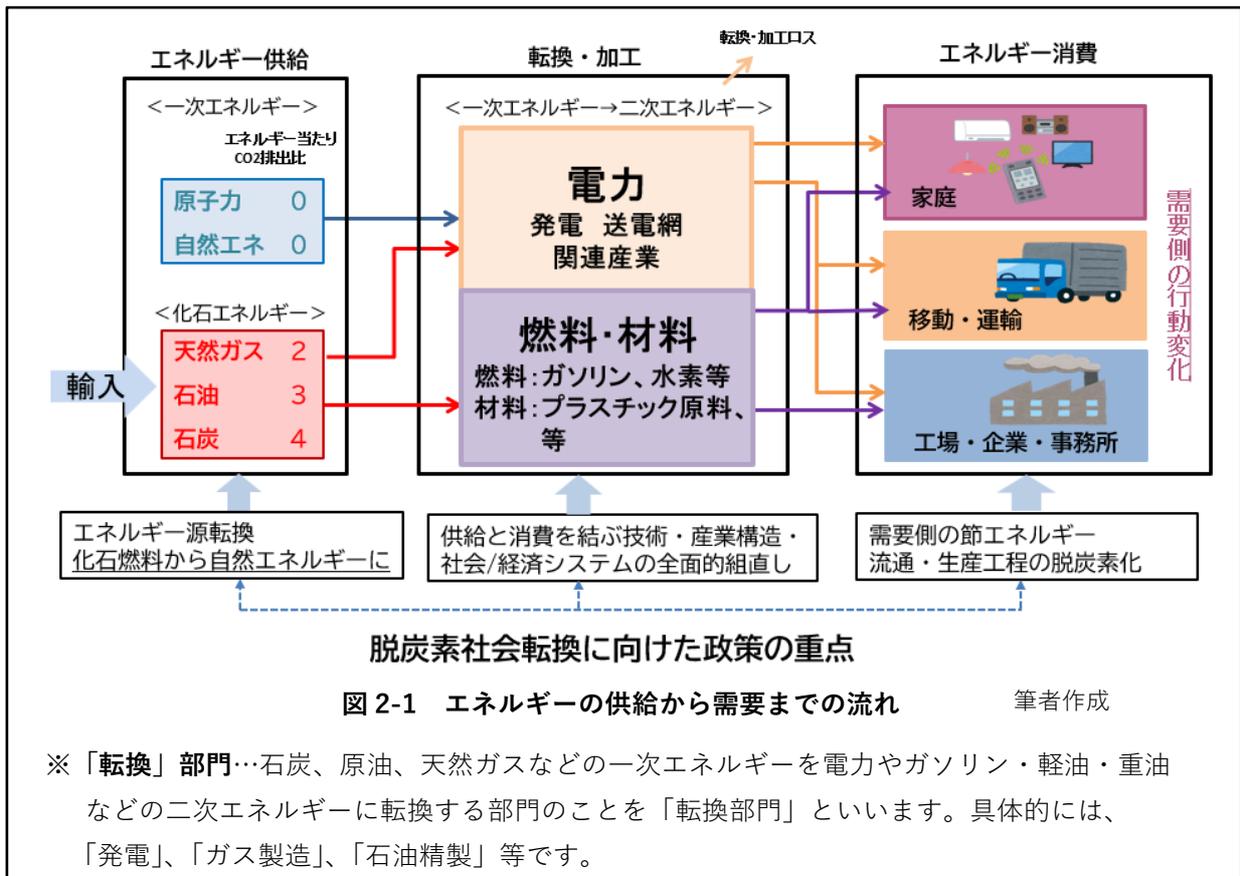
日本は、2050年カーボンニュートラルを目指すとの基本理念の下、2021年10月に従前の地球温暖化対策計画を改訂しました。新目標として2030年GHGの排出量の46%削減（2013年度比）とさらに50%削減の高みを目指す中期目標と、2050年カーボンニュートラルという長期目標を掲げ、その達成のための方策を定めました。同時にエネルギー基本計画も改定しました。

改訂計画に掲げられた目標をグラフで示したものが図1-9です。ここからもわかるように、脱炭素社会の実現は、過去からの取り組みの延長では難しく、一段と対策・取り組みのペースを上げていくことが必要です。これまでの技術、制度、資金の流れ、まちづくり、人々の価値観、生活様式を根本的に改め、その変革を短期間の内に成し遂げることが要求されているのです。加えて2023年のCOP28では、1.5°C目標の達成に沿って2030年度の削減目標を強化し、提出することが求められており、より大胆な目標を設定して着実に実施することが必要です。

第2章 エネルギーと私たちの暮らし

1. エネルギーの供給から需要までの構造を知る

第1章において、エネルギーに関わる分野での脱炭素転換が「脱炭素日本」達成の鍵であることを学びました。図2-1は、日本におけるエネルギーの供給からエネルギー需要に至るまでの流れを簡潔に示したものです。どこでCO₂の削減を進めることができるのかを考えながらエネルギーの流れを見てみましょう。



◆ エネルギーのフロー（流れ）を読み解いてみよう

図2-1を見ると、一次エネルギーとしてどのようなエネルギー資源が供給され、どのような二次エネルギーに加工され、消費されているのかがわかります。

キーワード

一次エネルギー・二次エネルギー

一次エネルギー：自然から直接得られるエネルギー。石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料、原子力の燃料であるウラン、水力・太陽光・太陽熱・地熱・風力・バイオマスの再生可能エネルギーなど。

二次エネルギー：一次エネルギーを人間が利用しやすい形に発電・精製・乾留*などにより転換したもので、電力や灯油、ガソリンなどをいう。

*乾留…石炭を例に取れば、加熱・分解してガスとコークスに分けること。

図の左部は、**一次エネルギーの供給構造**を示しています。2020年度の一次エネルギー源の85%は化石エネルギー（石炭、石油、天然ガス等）が占め、残りが原子力、再生可能エネルギーで供給されました。

図の中部は、一次エネルギーから、人間社会として使用することができる**二次エネルギーへの転換**を示しています。原子力や再生可能エネルギーの大半は電力に転換されますが、化石エネルギーは都市ガス、石油製品などに転換されます。一部はプラスチックなどの石油化学製品の製造原料となるナフサ（原油を分解して得られる石油製品の一つ）としても消費されます。この転換の過程では、発電所の排熱をはじめ、エネルギーロスが生じます。

図の右部は、**最終的に消費されるエネルギー**を表します。使われる場所（部門）別になっており、一番上は家庭でのエネルギー消費です。中央は、乗用車やバス、トラック、船、飛行機など、人や物を運ぶことによるエネルギー消費です。一番下は、工場・企業・事業所などで消費したエネルギーを示します。エネルギーが使われる場所によって、利用されるエネルギーの種類も異なることが確認できます。

キーワード

化石エネルギー（再掲）・再生可能エネルギー

化石エネルギー：地中に埋蔵されている石油、石炭、天然ガスなどの資源。シェールガスやメタンハイドレートも該当する。化石燃料とほぼ同義。

再生可能エネルギー：自然環境の中で繰り返し補給されるエネルギー。水力、太陽光、風力、地熱、バイオマス、波力、潮力、地中熱、温度差熱利用など。

2. 脱炭素化を進めるための対策・施策

これまで繰り返し述べてきたように、脱炭素社会に変えていくためには、エネルギーの供給から需要の全ての段階で、CO₂排出実質ゼロに向けてあらゆる対策が投入されなければなりません。以下では、重点を置いて進めるべき対策・施策を、次の4つの柱で説明します。

- (1) エネルギー供給における脱炭素化
- (2) エネルギー需要側での脱炭素化への諸対策
- (3) 産業構造や都市・社会構造の脱炭素化への転換
- (4) 体系的な施策の構築

(1) エネルギー供給における脱炭素化

燃焼時にCO₂を排出する**化石燃料の使用を減らし**、再生可能エネルギー等の**CO₂排出ゼロのエネルギー源に置き換える**ことが急務です。

また、もし引き続き化石燃料を使うとしても、**比較的排出量の少ない種類に切り替えていく**ことも重要です。表2-1は、同じ量のエネルギーを生み出す際に出るCO₂の排出量の違いを示しています。たとえば、石炭を利用する場合の排出量を基準とすると、同じ量のエネルギーを生成するための排出量は石油ではほぼ4分の3、天然ガスではほぼ2分の1となります。低炭素という点では石炭より天然ガスを使う方が2倍も有利なのです。

表 2-1 各種電源別のライフサイクル CO₂ 排出量*

種別	1kWhあたりの排出量 (g-CO ₂ /kWh)
石炭火力	942.7
石油火力	738.0
LNG火力 (複合)	473.5
太陽光 (住宅用)	38.0
風力 (陸上設置1基)	25.7
原子力	19.4
地熱	13.1
中小水力	10.9

出典：エネルギー白書 (<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/1-2-3.html>)

* ライフサイクル CO₂ とは、製品製造の際に発生する CO₂ を製品の寿命 1 年あたりの排出量を算出し評価する手法

注：数値は直接排出量と間接排出量の合計とした。

直接排出量：発電時に排出される CO₂ 排出量。太陽光、風力、原子力、地熱、中小水力の直接排出量はゼロです。

間接排出量：原料の採取から発電設備の建設・燃料輸送・精製・運用・保守等のための消費されるエネルギーを対象とした CO₂ の排出量

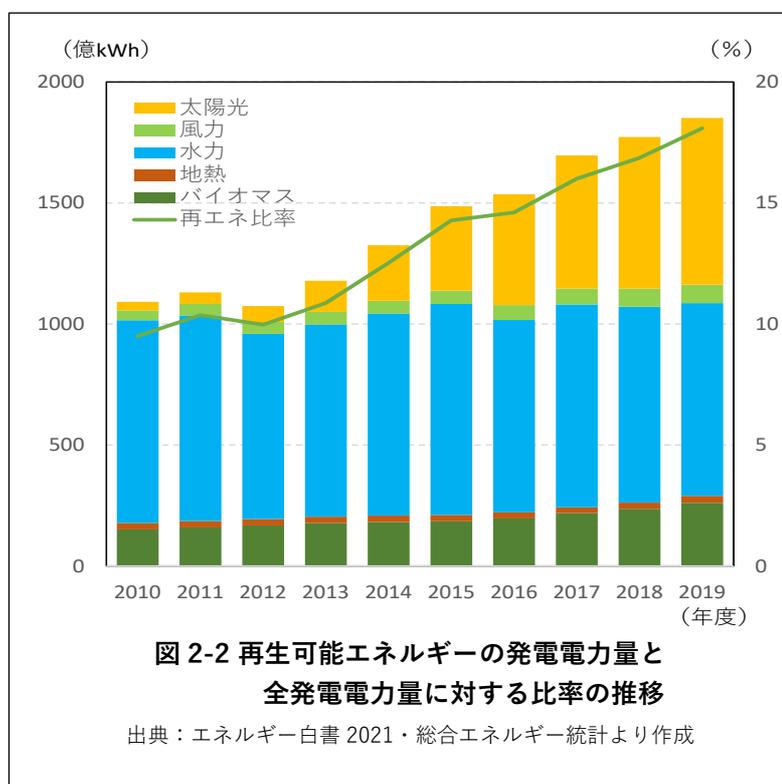
続いて、再生可能エネルギーについて考えてみましょう。

表 2-1 で示したように、太陽光、風力、地熱、中小水力などの再生可能エネルギーは、CO₂ の排出量が化石燃料と比較して非常に少ないため、脱炭素社会の実現の上では再生可能エネルギーの大幅導入に大きな期待が寄せられています。

図 2-2 は、2010 年度から 2019 年度までの期間の日本における再生可能エネルギーによる発電電力量を棒グラフで示しています。年々増加していることがわかります。

また、折れ線グラフは、化石燃料由来を含む全ての発電電力量のうち再生可能エネルギーによる発電量が占める割合（比率）を示しています。近年はこの数値も高くなっていることがわかります。

しかし、期待の大きい太陽光や風力等には、発電量が天候に左右されるという課題があります。この課題の克服のため、蓄電技術を導入したり、発電量に合わせて電力需要を調整するデマンドレスポンスという対応策を同時に進めていくことが必要です。



電力の供給に関する補足説明

最終エネルギー消費のうち約4分の1を**電力**が占めています。発電方法は大きく、「化石燃料を用いた火力発電」「原子力発電」「再生可能エネルギー」に分けられます。

化石燃料を用いた火力発電は、発電出力の調整や燃料の輸送・貯蔵が容易であるなどの長所がある一方で、GHG（温室効果ガス）を排出し、価格が安定しないなどの短所を持ちます。2020年度の総発電量の76.3%は化石燃料が占めています。

原子力発電は、GHGを排出しない、安定的に大量の電力を供給できるなどの長所がある一方で、安全性へ懸念がある、長期間管理が必要な放射性廃棄物を処分しなければならないなどの課題があります。2020年度の総発電量に占める割合は3.9%です。

再生可能エネルギーは、GHGを排出せず、枯渇性のないエネルギーですが、発電出力が天候などの自然条件に左右されるため、需要との調整の問題を克服しなければなりません。最近割合が増えており、2020年度の総発電量に対する割合は19.8%です。

いずれの電源も長所・短所があるため、日本は、**安定供給できるか、経済性は問題ないか、環境に配慮できているか**などの視点から総合的に判断し、最も良いと考えられる電源構成を目指してきました（**電源のベストミックス**）。

(2) エネルギー需要側での脱炭素化への諸対策

無駄なエネルギー利用をやめ、省エネ技術を駆使することなどにより、エネルギー利用の効率性を高めていく必要があります。需要面での対策は次の4つの部門全てにおいて推進しなければなりません。

- ① 家庭部門（家庭の生活等で消費されるエネルギーの効率化）
- ② 運輸部門（人・物の移動・輸送で消費されるエネルギーの効率化）
- ③ 業務部門（都市施設やビルで消費されるエネルギーの効率化）
- ④ 産業部門（産業で消費されるエネルギーの効率化）

① 家庭部門

2021年度の家庭部門のCO₂排出量は日本全体の排出量の14.7%を占めています。日常生活等において、生活の満足度（快適性）を維持しつつ、いかに物やエネルギーの必要量を減らすかという視点で様々な対策を考えなければなりません。

○**生活者**としての「**ライフスタイル**」の転換、**行動変容**が求められます。暮らしの快適性に対する私たちの価値観そのものを見直し、衣・食・住の日々の生活においてエネルギー・物の多消費を伴わない行動・選択を行うことが求められます。

○**消費者**としての行動変容も大事です。私たちは、日々、多くの製品や食材を購入・消費し、使いきれなかったものを廃棄し、それらの行動を通じてエネルギーを消費します。このため、**CO₂の排出の少ない商品選択**が鍵となります。

食品を含む様々な製品を選ぶ際は、**カーボンフットプリント**（P15の「キーワード」参照）が少ない商品を選択すること、例えば、**旬産旬消**、**地産地消**に配慮された食材を選択する

ことも大切です。また、家電を購入する際は、**省エネラベル**などが参考になります。

キーワード

カーボンフットプリント*

商品やサービスの原材料調達から生産、流通、販売、利用・使用を経て廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量を CO₂ 量に換算したもの。

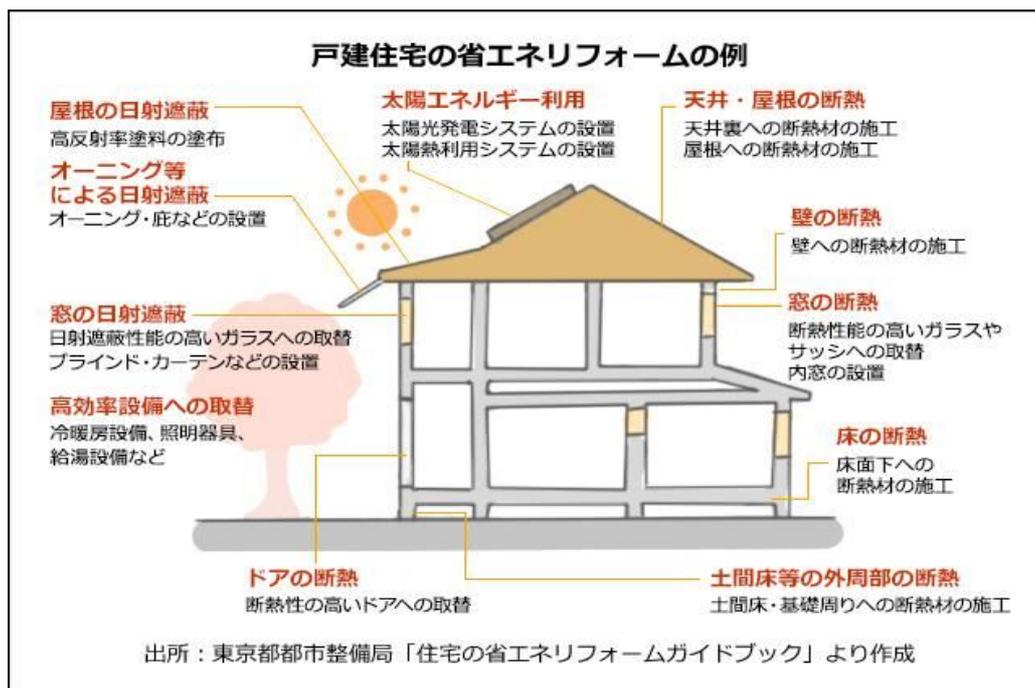
これを商品等に表示することで、事業者・消費者間で CO₂ 排出削減に関する「気づき」を共有し、消費者がより脱炭素な行動に変革していくことを目指している。

*「フットプリント」とは「足跡」の意味。

このように、価格、品質、機能、デザインといった条件だけでなく、環境や社会への影響にも配慮して商品やサービスを選ぶことを**グリーン購入**といいます。

○さらに、私たちの住む**住宅**についても対策できることがあります。

- ・**住宅の断熱化**…日常生活の中での省エネルギーを大幅に進める上で、住宅（住まい）を断熱化構造に新改築したり、窓、床、天井、外壁を断熱リフォームすることが有効です。



注) ZEH：ゼロエネルギーハウス

図 2-3 戸建住宅の省エネルギーフォーム（断熱改修）のイメージ

出典：資源エネルギー庁省エネポータルサイト

- ・**屋根への太陽光パネルの設置等**…戸建住宅の屋根に太陽光発電を設置して自家消費することが有効です。東京都、川崎市、京都府等では新築住宅等に設置を義務づける制度が創設されました。設置が困難な場合は、電力契約を再生可能エネルギー等で発電された低炭素電力に切り替える対策も有効です。

○脱炭素型ライフスタイルを促進する社会システム

各種シェアリングシステム（物だけでなく、コワーキングスポットでの仕事、クールシェア、ウォームシェアも含む）などが、物やエネルギーの必要量の削減に貢献します。

② 運輸部門

2021年度の運輸部門のCO₂排出量は日本全体の排出量の17.4%を占めています。また、その排出量の8割以上が自動車からの排出です。次のような対策が挙げられます。

○自動車の脱炭素化の促進

EV（電気自動車）、PHV（プラグインハイブリッド車）等の低炭素型自動車の導入促進が急がれます。国際社会は、自動車の脱炭素技術イノベーションの激しい競争を展開しています。

EVの普及促進のためには、充電設備（装置）の普及も欠かせません。脱炭素電源による充電設備を住宅や都市内の公共設備へ設置することを進めていく必要があります。

なお、行政もEV等を購入する際の資金助成のほか、自動車排出ガス規制の強化やエコカー減税などにより、環境負荷の少ない自動車の普及を促進しています。

○公共交通の利用の促進、徒歩・自転車の利用の促進

人の移動や物の輸送は、選択する手段によってCO₂排出量が大きく異なります。図2-4は、旅客（＝人の移動）及び貨物（＝物の移動）について、移動の手段別に、輸送量当たりのCO₂の排出量の違いを示しています。（具体的には、旅客については「1人が1km移動するのに排出されるCO₂の量」を移動手段ごとに算定。貨物については「1kgの貨物を1km輸送するのに排出されるCO₂の量」を輸送手段ごとに算定。）

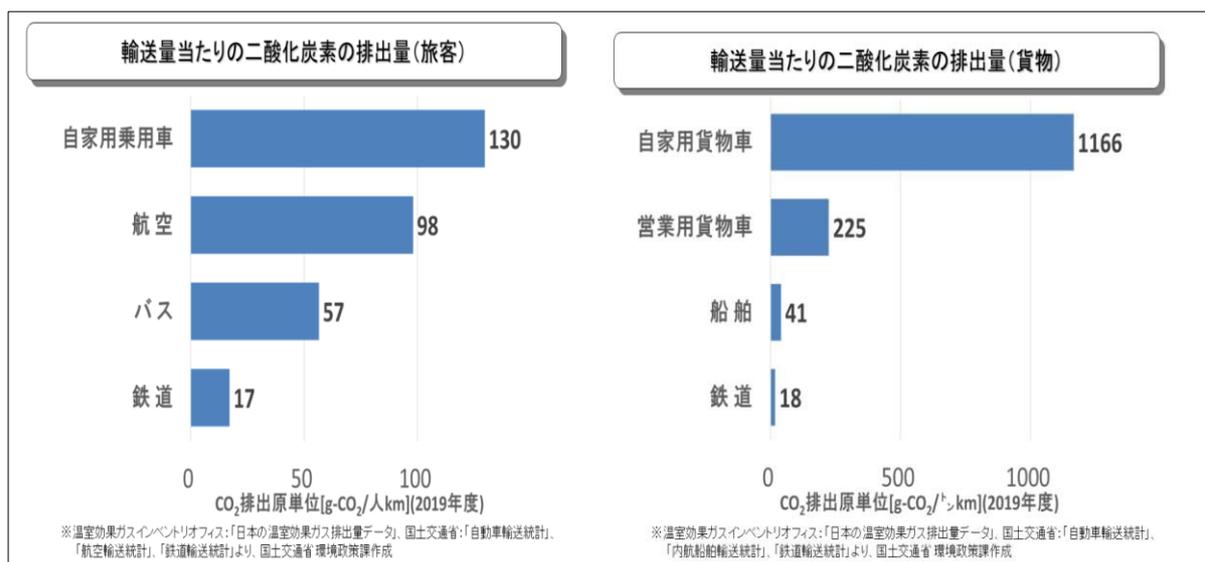


図 2-4 輸送量当たりのCO₂排出量（2019年度）

出典：温室効果ガスインベントリオフィス資料：<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
国土交通省の交通関係統計等資料：<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/index.html>

この図から、運輸部門の脱炭素化においては、輸送手段に何を用いるのかが重要であり、とりわけ自動車への依存を軽減することが必須であることが読み取れます。また同時に、自動車から排出されるCO₂の削減が非常に重要であることもわかります。

○交通・移動の効率化のためのまちづくり、社会システムの見直し

移動・交通の効率化のため、まちの構造や社会システムを変えていくことが有効です。

近年、コンパクトシティという考え方が広く定着してきています（P19の「解説」参照）。またその際、利便性や定時性、アクセシビリティが高く CO₂ 排出量が少ない LRT との組合せが注目されています。欧州では多くの事例が見られますが、日本国内でも富山市・宇都宮市などに事例を見ることができます。

また、近年は社会全体に在宅勤務や在宅授業が浸透し、移動せずとも様々なサービスにアクセスできる社会が現実のものとなりつつあります。

キーワード

LRT (Light Rail Transit)

小型軽量の車両を簡易的な軌道で走行させる軌道系の交通システムのことで、次世代型の路面電車システムとも呼ばれます。

③ 業務部門

都市・地域社会には、学校、病院等の都市施設・公共施設の他、ビル、大型小売店、ホテル、卸・小売店、飲食店等が多く立地しており、これらの部門を**業務部門**と称します。2021年度の業務部門の CO₂ 排出量は日本全体の排出量の 17.9% を占めています。

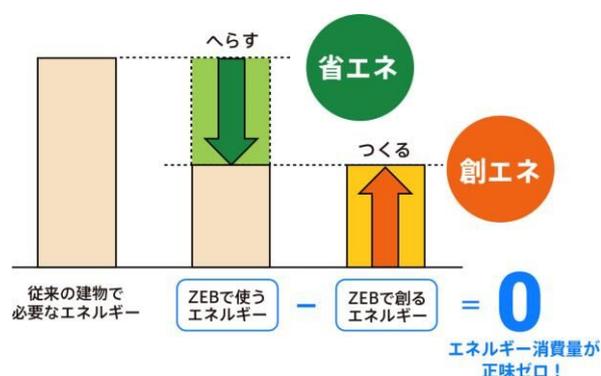
業務部門で省エネルギーを進めるためには、建物の断熱性能の強化、冷暖房の効率の一層の改善、照明などの機器の効率化、屋上緑化など、ビルや施設の利用全般にわたったエネルギー管理を徹底することなどが求められます。

最近、実質的に CO₂ の排出をしないネットゼロエネルギービル（ZEB）が新改築されるようになってきました。また、このようなゼロエネルギービル化の中小事業者の取り組みに対して、一部自治体では助成措置を開始しました。

キーワード

ZEB (Net Zero Energy Building : ゼブ)

快適な室内環境を実現しながら、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにするを旨とした建物のことです。建物の中では人が活動しているためエネルギー消費量を完全にゼロにすることはできませんが、省エネによって使うエネルギーを減らし、創エネによって使う分のエネルギーをつくることで、エネルギー消費量を正味（ネット）でゼロにすることができます。



図の出典：環境省 HP (<https://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>)

④ 産業部門

産業部門には、製造業、農林水産業、建設業、鉱業が含まれ、2021年度の産業部門のCO₂排出量は日本全体の排出量の35.1%を占めています。産業部門の排出量の約93%は製造業からの排出になり、更にまた、エネルギー多消費産業といわれる鉄鋼、化学、窯業土石（セメントなど）、紙・パルプの4業種が、製造業全体のCO₂排出量の約72%を排出しています。

ここでは、まず、エネルギー多消費産業の代表である鉄鋼業とセメント製造業を例にとって、脱炭素に向けた挑戦の現状と課題を紹介します。

○鉄鋼業

これまで、製鉄の製造過程においては、原料の鉄鉱石を還元するために大量の石炭を利用するなど、大量のエネルギーが投入され、CO₂が排出されてきました。このため、様々なCO₂排出削減のための技術革新や対策が講じられてきました。

しかし現在では、より抜本的な対策が求められています。このため、石炭を利用する必要のない電気炉での鉄鋼製造を拡大したり、大型電気炉での高級鋼の量産製造や、水素還元製鉄という画期的な製造方法の開発に挑戦しています。（現時点ではまだ実用の目途が立っていません。）

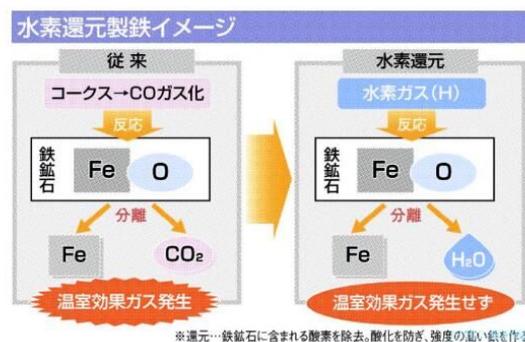


図 2-5 水素還元製鉄のイメージ図

出典：日刊工業新聞 2021年7月28日記事

○セメント製造業

一般にセメント製造は、原料の石灰岩（主成分がCaCO₃）を高温で焼成して製造しますが、その時に右に掲げる式のような化学反応が生じてCO₂が発生します。

これまで、セメントのリサイクルの推進や、石灰岩の代替物として廃棄物の利用を拡大するといった取り組みが進められてきました。さらなる脱炭素転換を図るため、製造過程で石灰石から必然的に発生するCO₂を効果的に回収し、回収したCO₂と産業廃棄物である廃コンクリート等からのセメント原料化を進めようとする画期的な研究開発が行われています。



産業は、自然界から資源を取り出し、事業活動を行っていますが、その過程で様々な物質を排出するなど、環境に何らかの負荷を与えています。有限な資源を大切に使い、排出を抑え、環境保全に努めることは社会に対する責任です。最近CSR（企業の社会的責任）という用語がよく使われ、国内外において定着しています。企業によるCO₂の排出の大幅削減努力は、社会を構成する一員である企業としての持続可能な社会の実現に向けての社会的責任でもあるのです。

また、気候変動問題への対応や、脱炭素社会の実現は、企業にとって大きなビジネスチャンスであるという見方もできます。事実、脱炭素社会の実現に向けて、再生エネルギーへの

転換、製造における脱炭素手法の導入、エネルギー効率の高い製品の開発等の革新的な技術開発が始まっています。それだけでなく、新しいビジネススタイルやライフスタイルや街づくりデザインの変革が求められる中、これらを脱炭素社会構築に向けたビジネスチャンスとして捉え、既に国境を越えたビジネス競争が始まっているのです。

(3) 産業構造や都市・社会構造の脱炭素化への転換

(2) で触れたことと共通しますが (P14 参照)、できるだけ少ない移動で利便性を享受できるコンパクトシティづくりを進めること、**ビジネススタイルの変更、シェアリングシステムの拡充**など、同じ利便性を享受する上でエネルギーサービス需要を減らす空間設計やシステムの導入などが考えられます。

解説

コンパクトシティ

近年、主に地方都市において、大規模店舗や住宅の郊外立地が進み、市街が拡大して低密度化する地域が増えています。この結果、自動車依存が高まり、公共交通の経営が維持困難となり、エネルギー多消費型の生活となって地域社会の維持管理コストが高くなる傾向があります。

コンパクトシティとは、都市の中心から日常生活を賄う近隣の中心まで段階的にセンター機能を配置し、市街地を無秩序に拡散させず、自動車をあまり使わなくても日常生活ができるような空間配置を目指したまちをいいます。公共交通機関の維持や都市空間の有効利用が可能となり、CO₂等の環境負荷の低減、市街地の活性化、都市インフラとサービスの向上、安価で効率的な行政運営といった効果が期待されます。

<富山市が目指すコンパクトなまちづくり>

富山市（人口：約40万人）では、公共交通網が、富山駅を中心に放射状に広がり、各地域の拠点とネットワーク化されています。

この利点を活かし、**鉄軌道（JR、私鉄、路面電車・LRT）と運行頻度の高いバス路線を「串」とし、串で結ばれた駅やバス停などを中心に形成された徒歩圏を「お団子」に見立て、「公共交通を軸とした拠点集中型のコンパクトなまちづくり」（お団子と串の都市構造）**を目指しています。



出典：富山市 HP

<https://www.city.toyama.lg.jp/shisei/machizukuri/1015125/1006102.html>

(4) 体系的な施策の構築

脱炭素社会に移行するために、人々が行動を変え、企業もビジネスも方向転換を図ることは、たとえその必要性や意義が理解されたとしても、それだけで進展していくことは大変に難しいことです。多くの場合、個人や個々の団体・組織の目の前の利害と一致しないことが多いからです。

このため、上記の(1)～(3)において説明を行ってきたような諸々の対策や取り組みを推進していく上で、行政による体系的な施策の構築が必要不可欠です。一定のルールを設けて各主体に一定の行動を義務付ける**規制的手法方法**(例えば、家電製品、自動車、建物などの省エネ基準の設定)を取り入れたり、補助金や税制優遇などの**助成措置**を講じたり、国が率先して**革新的な技術開発を先導**したり、普及啓発などの**国民的運動を促進**することなどが進められています。

これらに加えて、最近、脱炭素社会づくりや温暖化対策の推進のための新しい政策手法が次々と産み出され、国際社会の中で徐々に取り入れられ、定着してきたことにも注目しなければなりません。その典型的な例として、**カーボンプライシング**と**ESG投資**の促進による資金調達について紹介します。

キーワード

カーボンプライシング

炭素税や排出量取引などにより炭素に価格を付けることです。排出されるCO₂の量に応じて課金をすることにより、CO₂の排出削減に対する経済的インセンティブが生まれ、気候変動への対応を促すこととなります。また炭素税で得られた税収を温暖化対策の推進のための財源に充てることにより、脱炭素社会づくりの取り組みを加速させていくことができるのです。

日本では、2012年10月に「地球温暖化対策税」が導入されました。

キーワード

ESG投資

環境(Environment)、社会(Social)、企業統治(Governance)に対する企業の取り組みを重視して投資先を選定することをいいます。

環境や社会的な問題の解決に前向きな企業が評価され、こうした企業の事業活動が拡大発展するようにすることで、脱炭素社会づくりなどの取り組みが促進されます。政府も、こうした長期的な収益への投資が促進されるよう、公的な資金を投入するなどして後押しをしています。

第3章 脱炭素社会づくりにどう立ち向かうか

1. 脱炭素社会転換は持続可能社会づくりのチャンス

地球温暖化問題は、人類が産業革命以降、人為的にCO₂を大量に排出し、元来地球が維持してきた安定した炭素循環のバランスを崩し、その悪影響が人間社会に襲ってきた問題といえます。このことを頭に置きますと、脱炭素社会の目指すところは、「自然と共生した、安心安全で、充足した生活が可能であり続ける社会」の再構成でもあります。気候変動対応は単にエネルギー供給だけの問題ではなく、人類がこの間たどってきた社会の発展の針路そのものの見直しを求めています。

さて、猛暑日が増えると家庭や事業場では適応策としてエアコンを使いますが、エネルギー消費が増加します。また、食と脱炭素の取り組みを深めると、日本の食の自給率、日本の農業の在り方の問題が見えてきます。農業は気候の変化に品種改良などで適応すれば発展していきますが、水田や畜舎の糞尿から発生するメタンや畑地に撒く肥料から発生する一酸化二窒素は強力なGHGで、温暖化を加速します。さらに、CO₂の「吸収力」を増やすためには、CO₂を吸収し樹木や土壌にためこむ森林管理、つまり林業の重要性を再認識する結果となります。

また、住宅の屋根や休耕農地に太陽光パネルを設置して家庭や農家がエネルギー生産者になったり、電気自動車（EV）の電池を配電網・電力調整に組み込んだりすることで、エネルギー需要者と供給者の間の境目はなくなり、エネルギーシステムの関係者（ステークホルダー）が広がります。

脱炭素社会づくりの挑戦は、実に幅広い分野、様々な課題とのつながりを気づかせてくれるのです。そして、幅広い分野の関係者とのつながりが鮮明になり、ステークホルダー間の調整・対話が成立してはじめて解決策が共有され行動が見えてくるのです。

脱炭素社会転換は、**持続可能社会に進む絶好の機会であり、SDGs（持続可能な開発目標）の実現を目指した挑戦**でもあるといえましょう。

2. バックカスティングによる戦略・計画の策定

脱炭素社会の構築に当たっては、「バックカスティング」（P22の「解説」参照）の考え方に基づくことが大切です。現状の延長線上に目標を設定するのではなく、まず将来のあるべき姿をしっかりと見定め、そこに至る道筋を考え抜き、行動戦略・行動計画を策定する方法です。

従来、計画を策定する時には、現状を把握し、その延長線上に将来を予測し、それに合わせて計画を立て、政策を練るという「フォアカスティング」の考え方が用いられてきました。しかし、この方法ではどうしても現状にとらわれがちで、大胆な変革案が出にくいのです。

今、私たちは「今後の世界の平均気温上昇を1.5°C未満に抑えよう、それが達成できる対策をとろう」という、2050年までの限られた時間内での明確な目標を共有しています。それを実現するための必要な技術も相当にクリアになってきました。まずは現在の状況をしっかりと認識し、その上で、目標とのギャップをどう埋めるか、考えられる障害をどう克服するか、いつまでに何をやらねばならないかなどを戦略的に考えていく必要があります。

脱炭素社会に到達するための道筋をバックカスティングで考えていくことは可能です。

解説

自分の将来の進路とバックカスティング志向

将来必ず取り組みたい仕事やなりたい職業が決まっているのなら、具体的にどこに就職すればその夢が叶うのかを調べ、そのために大学の学科を選び、必要なスキルの習得や資格の取得を目指すなど、いつまでに、どのようなことを身につけないとしないのかを具体的に見極め、手順を決めて効率よく確実に学習して、最短での目標達成を試みるでしょう。

バックカスティングとは、まさにこのような考え方をいいます。

3. エネルギーシステムの選択において重視すべき視点

それでは、今後どのようなエネルギーシステムに転換していくことが望ましいのでしょうか？日本では東日本大震災の後、特に**安全性**を確保した上での、**エネルギー安全保障**、**経済効率性**、**環境適合**を同時達成する「**S+3E**」をエネルギー政策の基本方針として掲げています。

キーワード

S+3E

「S」とは Safety = 安全性を、3つの「E」はそれぞれ、
Energy Security = エネルギー安全保障/安定供給、
Economic Efficiency = 経済効率性、
Environment = 環境適合/気候変動抑止/環境保全 を表します。

「S+3E」は、戦後から現在に至るまでのエネルギー政策の重要な局面や主な出来事を反映しています。従来は「3E」のみでしたが、2011年の原発の過酷事故に遭遇して「S」が加わりました。国のエネルギー基本計画では、S+3Eの観点からエネルギーミックスを考えることが重要であると強調されています。このままゼロ・エミッション電源へと移行していけるのかという観点からエネルギーシステムを考える際には、複眼的な視点を持つ必要があります。

4. これからの新しい社会を生きる皆さんへ

世界中の誰一人として、安定した気候の恵みを享受しない人はいませんし、気候変動の影響から逃れられる人もいません。また、エネルギー無しで暮らしていける人もいません。ところが、ほとんどの人は大なり小なり CO₂を排出して大気温度を上げています。全ての人が CO₂の排出をやめないと、地球の温度上昇は止まらず、孫子の代までその影響が残ります。

一方、誰でも気候を安定化させるための行動をとることができ、自分たちの世代だけでなくこれからの世代を含む世界中の人に貢献することができます。もちろん、一人一人が考え行動することに加え、家庭、学校、企業、地域社会そして国といった自分が属する全てのレベルで、他の人たちを誘って転換を進めることでその効果は何倍にもなります。

皆さんは、脱炭素社会転換の時期に、次代の担い手として活躍することになります。ぜひ、それぞれの持ち場で、安定した気候を人類に取り戻し、みんなが安全で充実した生活ができる新しい社会づくりに挑戦してください。

参考資料

参考資料 1. 日本における一次エネルギー供給の推移と内訳

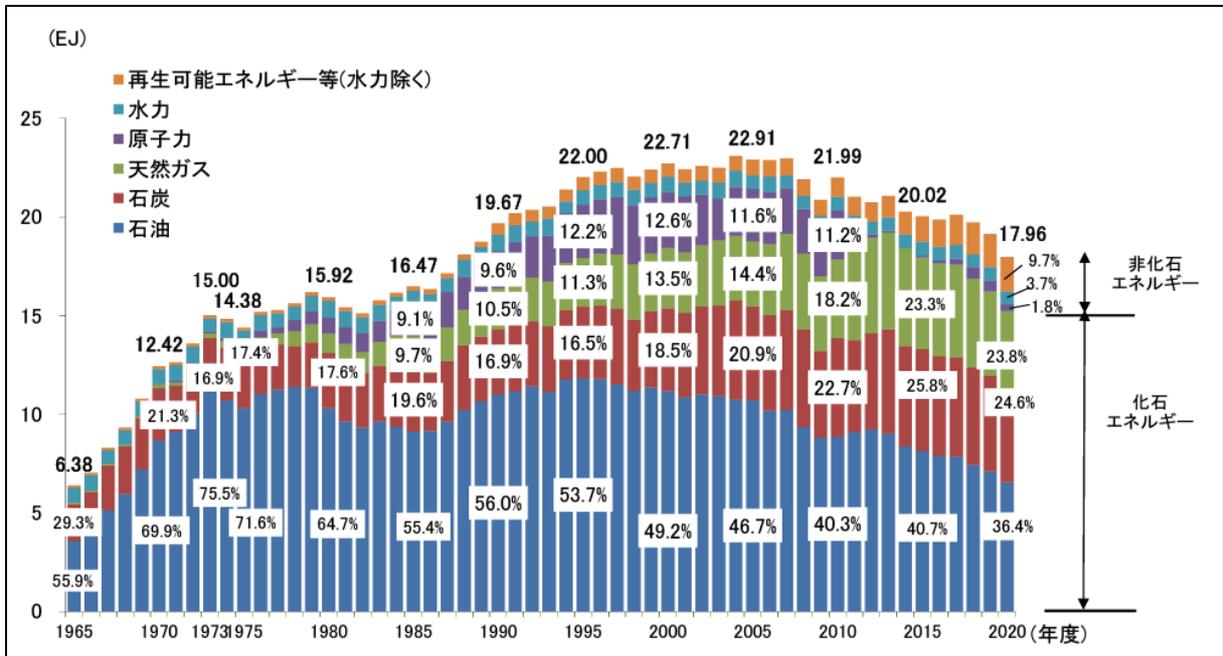


図1 日本の一次エネルギー供給

出典：エネルギー白書 2022

図1は、日本における一次エネルギー供給の推移と内訳を示しています。

第2章 (P11 参照) で学習したように、**一次エネルギー**とは、自然から直接に得られる化石エネルギー (石油・石炭・天然ガス)、原子力の燃料であるウラン、再生可能エネルギー (水力・太陽光・地熱・風力等) 等のことです。**(二次エネルギー**とは、一次エネルギーを人間が利用しやすい形に発電・精製・乾留等により転換したもので、電力や灯油、ガソリン等のことです。)

一次エネルギーの供給量は経済規模の拡大と共に増加してきましたが、2005年頃をピークとして徐々に減少傾向を示すようになってきています。内訳を見ると、2020年度の供給量では8割以上を化石エネルギーが占めています。また、再生可能エネルギーの占める割合は次第に増加していることがわかります。

日本は、化石エネルギーなど、エネルギー資源のほとんどを海外に依存しており、**エネルギー自給率⁴**は11.2% (2020年度) です。これは、他の主要国と比べて大変に低い数値です。

なお、一次エネルギーのうち、**非化石エネルギー** (原子力・水力・再エネ等) のほとんどは、電気の形に加工されます (発電)。一方、化石エネルギーは、3分の1程度が発電に利用され、残りの3分の2は**都市ガス、LPガス、ガソリン、軽油、製品製造の原料**として使われます。

⁴ エネルギー自給率(%) = 国内産出エネルギー量 / 一次エネルギー供給量 × 100。一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率。原子力発電の燃料となるウランは海外から輸入される資源ではあるが、備蓄が容易であること、使用済燃料を再処理することで資源燃料として再利用できること等から「準国産エネルギー」と位置づけられており、自給率を計算する際には国産エネルギーとして計算することがある。

参考資料2. 茅恒等式

◆ 茅恒等式とはどのようなものか

エネルギーフロー全体にわたって CO₂ の排出を俯瞰的かつ定量的に把握・分析する方法として「茅恒等式⁵」があります。茅恒等式は CO₂ の排出の構造を、いくつかの要因に分けて説明しようとするものです。脱炭素社会づくりにおいても、社会全体の在り方について戦略的に考え、CO₂ の排出分野や要素ごとに具体的に戦略を練る上で、茅恒等式が手助けになります。

茅恒等式では、エネルギーシステムが CO₂ を排出する構造を、次に示すように、第1項から第4項までの要因別に考えていきます。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \text{人口} \times \frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \times \frac{\text{エネルギーサービス需要}}{\text{GDP}} \times \frac{\text{エネルギー量}}{\text{エネルギーサービス需要}} \times \frac{\text{CO}_2 \text{ 排出量}}{\text{エネルギー量}}$$

第1項 第2項 第3項 第4項

第1項の1人当たりのGDPは、**経済的な豊かさ**を表します。どちらかというとなぜか増えることが望ましい項目で、この項が増えれば CO₂ の排出圧力が高まります。増大する分は、他の項目で減らす努力をしなければなりません。

第2項のGDP当たりのエネルギーサービス需要は、**さまざまな消費・活動・投資がなされている中でエネルギーを必要とする消費や活動の大きさ**のことです。例えば一般家庭での冷暖房というサービスの量（Degree-day）や移動というサービスを示すドライブ量（人・km）、産業での重化学生産量（トン/年）などですが、断熱住宅が多ければ冷暖房時間が減り、リモートワークが増えれば移動サービス量は減りますから、排出も減ります。また産業構造が重化学工業からソフト産業化すると製品生産量が減り、その結果排出量は減ります。

第3項のエネルギー需要当たりのエネルギー量は、**エネルギー効率**を表します。同じ距離を移動するのに自動車でなく電車を利用すれば、使用エネルギー量は少なくて済み、結果として CO₂ も減ります。鉄鋼生産する工程を省エネ化すればその分投入するエネルギー量は少なくて済みます。

第4項のエネルギー量当たりのCO₂排出量は、**炭素強度**（1単位のエネルギーを供給する時にどれだけの CO₂ が排出されるかという指標（t CO₂/k cal、t CO₂/k Wh））を表します。先に示したように化石燃料と比較すると自然エネルギーや原子力は CO₂ の排出がほとんどありません。エネルギー源を化石燃料から CO₂ 排出のないエネルギー源に換えればそれだけで排出が減ります。

⁵ 恒等式とは、変数が何であっても恒（常）に成り立つ等式。左辺は右辺の各項に分解されることを示す式。「茅恒等式」は、茅陽—東京大学名誉教授が提唱した恒等式で、CO₂ 排出削減を検討する場合、**CO₂ の発生の過程に沿っていくつかの要素に分解して、系統立てて検討することが重要である**とする。

このように、脱炭素社会の構築に向けて CO₂ の排出削減の戦略を系統立てて検討していくにあたり、茅恒等式は大変に有効です。主に国家レベル、社会全体を対象に戦略的に検討する際に用いられます。また、国全体で削減の進展を見るときも、それぞれの項目ごとに集計し経年比較すれば、今後どこを強化してゆくべきか一目瞭然です。さらに、地域などで足元でどのような取り組みが有効かなどを検討する際にも、また自分たちの取り組みが脱炭素全体戦略の中でどこに位置するのかを確認する上でも参考になります。

◆ 茅恒等式に沿った長期的な脱炭素戦略の策定と実践

表 1 は、脱炭素に向けた取り組みを、茅恒等式に沿って、**社会・経済の在り方のエネルギー利用への依存度を減らす方向での変革、エネルギーの需要分野での省エネルギーの徹底、エネルギー供給側での脱炭素の推進**の各段階に着目し、部門（エネルギー転換、産業、運輸、業務、家庭）ごとに系統的に整理して示すものです。

表 1 茅恒等式による脱炭素化の取り組みの全体像

茅恒等式 分野		第 2 項：GDP 当たり エネルギーサービス需要 を減らす	第 3 項：エネルギー サービス当たりのエネ ルギー効率を上げる	第 4 項：炭素強度を 下げる
		脱炭素の社会経済・まち づくりへの切り換え	省エネルギーの徹底	脱炭素エネルギー供給 構造の強化
エネルギー転換部門 (発電所等)		—	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼロ・エミッション電源への移行（再エネ、原子力、水素・アンモニア等） ・再エネ大幅導入に伴う需給ギャップの調整（蓄電・送電体系）
エネルギー需要部門	産業部門	<ul style="list-style-type: none"> ・産業構造の転換：エネルギー多消費型産業から転換 ・ビジネススタイルの変革 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネルギー型の製造工程への転換 ・省エネ機器・技術の開発・導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・非化石エネルギーの投入・調達 ・工場等に非化石発電設備の設置
	運輸部門	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送・物流体系の効率化 ・人・物の移動が少なくても利便性が得られる社会の仕組み作り ・コンパクトシティ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ITS（高度道路交通システム）の導入による交通の合理化 ・自動車単体のエネルギー効率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオ燃料・水素エネルギーの供給 ・電気自動車（EV）を脱炭素電源による供給電気の蓄電装置として利用
	業務部門	<ul style="list-style-type: none"> ・土地利用計画、都市計画の工夫により都市・地域自体のエネルギー需要の低減化、地域冷暖房等 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市施設・インフラ・ビル等における省エネ技術・システムの開発・導入、ゼロエネルギービル（ZEB）の建造 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市施設における低炭素発電設備の設置 ・蓄電インフラの整備
	家庭部門	<ul style="list-style-type: none"> ・ライフスタイルの転換 ・住宅断熱性能の向上 ・節水機器や人感センサー等の製品の利用促進 ・シェアリングシステムの普及 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ型製品の技術革新、市場での優位性による普及の徹底 ・地産地消の促進 	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋の屋根に太陽電池を設置 ・電力契約を非化石エネルギー電力に切替

出典：環境政策対話研究所資料

発行

一般社団法人 環境政策対話研究所

〒215-0021 神奈川県川崎市麻生区上麻生 3-12-11

エスケーハイツ 103

Tel : 044-387-0116 E-mail : office@inst-dep.com

ウェブサイト: <https://inst-dep.com>