

エネルギー産業の歴史とカーボンニュートラル

平 野 創

1. はじめに

近年、社会的課題としてカーボンニュートラル（CN）社会の実現が指摘されており、エネルギー産業・企業の目線から考えれば、これは石油や石炭など既存の化石系のエネルギーから再生可能エネルギーを中心とした CN エネルギーへの「エネルギー転換」が不可避であることを示している。

本稿においては、過去のエネルギー転換時に新エネルギーがいかなるプロセスを経て普及していったのか、その歴史を概観する。基本的に歴史をたどりつつ、それぞれの事例から示唆される点をまとめることにより、今後のエネルギー転換について学びを得ることを目的としている。本稿が提示するのは、法則性でもなく「答え」でもなく、「気づき」に至る切り口である。

エネルギー企業にとってエネルギー転換は根源的な経営変化であり、例えば日本においては石炭から石油へのエネルギー転換時に多数の石炭企業が経営破綻に至った（日本の石炭産業の衰退については、島西（2011）、杉山・牛島編（2012）などが詳しい）。豊富な経営資源を抱え、優秀な学卒者によって運営されていたとしても、必ずしも経営環境の変化に対応することができず、存続することが困難になっていった。複数の先行研究がエネルギー転換に直面した石炭企業による多角化行動について検討しており、多角化に成功した企業であっても多くはセメント工業への展開に限られていたことを明らかにしている。既存エネルギーから新エネルギーの企業へと転身した事例はほとんど見当たらないのである。荻野（1991）は、石炭企業の

各会社史を概観し石炭企業の多角化は経営資源制約のため既存部門である資源産業(とりわけセメント工業)に限定され、その速度も漸進的であることを明らかにしている。また、橘川(1996)は企業集団が「衰退産業から撤収を促す機能をはたした」事例として、企業集団のメンバー企業が旧財閥系石炭企業のセメント工業進出に際して共同出資したことを指摘している。島西(2009)は三井鉱山、三菱鉱業、住友石炭鉱業によるセメント工業への進出を比較し、セメント進出の構想は同時期にもかかわらず、多角化の速度は異なっていたことを明らかにしている。

2. エネルギー転換の事例と石油産業の歴史

(1) 鯨油から石油へのエネルギー転換

一般に石油へのエネルギー転換としては、石炭からの代替が広く認識されているが、石油が初めて代替したエネルギーは鯨油であった¹⁾。鯨油はランプに入れて光源として米国などで広く用いられていた。

しかしながら、供給側および需要側の双方の事情から鯨油価格が高騰し、新たなエネルギー源の発見が期待された。まず、供給側の要因について概観すれば、1760年頃になると大西洋において鯨の生息数が減少し、より遠洋(インド洋、太平洋等)にて捕鯨活動をする必要が生じていた。このため、鯨油の精製装置を搭載した船は4年以上の航海をすることもあったという。日本との関連でいえば、1853年、ペリー率いる黒船が来航し、捕鯨基地として日本に開国を要求するのもこの流れによるものである。また、人材不足も深刻化した。捕鯨業界においては、人材育成が重視されず結果として熟練捕鯨者の人材不足が深刻化した。さらに1848年からのゴールドラッシュにより賃金の低い捕鯨従事者が金採掘へ転向したことが拍車をかけた。その一方で経済活動の活発化により鯨油需要は増大していたために、鯨油

1) 鯨油から石油へのエネルギー転換の事例については、松島編(2019)を参照した。

価格が高騰し新たな光源が求められるようになったのである。

こうした時期に米国において世界初の機械掘りによる石油の採掘がはじまった。1859 年エドウィン・ドレーク大佐²⁾がペンシルバニア州タイタスビルにて回転式掘削機を用いて原油生産に成功した（ドレーク井）。同地において多数の石油採掘業者が勃興し、タイタスビルには石油の採掘で一攫千金を夢見る人々が集まり、オイルラッシュともいうべき様相を呈するようになった。

原油から石油への移行は 20 年程度の短期間で順調に進んだとされている。その背景としては、供給側については、当初高価であった石油の価格が原油精製技術の進展と市場の形成によって急速に低下したことが指摘されている。また、需要側については、既存の鯨油用のランプにて新たなエネルギーである灯油（石油を精製して生産される）の使用が可能であり、インフラ面で変更や初期投資が必要なかった点も大きい。

同時期に誕生した巨大石油企業としては、ジョン・ロックフェラーが設立したスタンダード石油が名高い。1870 年に同社を設立したロックフェラーは当初リスクの低い下流事業へと集中した³⁾。スタンダード石油は生産工程の工夫や改善によりコスト削減し競合他社を圧倒するとともに、ロジスティクスの支配により企業規模を拡大させていった。同社は、産油地域における鉄道タンク車やパイプラインなどの輸送手段を傘下に入れ、競合他社には高額の差別的運賃を課し、経営困難に陥らせ、それらの企業を買収することを繰り返していたという。1890 年には全米の製油所の 80% を手中にすることになった。しかしながら、同社は 1911 年にシャーマン反トラスト法により 34 社に分割されてしまう。

-
- 2) 実際にはドレーク大佐は元鉄道員であった。箔を付けさせ物事をスムーズに進行させるために、会社側が「ドレーク大佐」宛の郵便物を現地に多数送り、現地の人々に彼を大佐と思わせるようにしていた。
 - 3) 石油事業は探鉱、油田の発見、開発、原油採掘などの「上流」部門と原油の精製、石油製品の販売などの「下流」部門の二つに大別できる。

これらの事例からは、エネルギー転換時における既存インフラやロジスティクスの重要性が浮き彫りとなる。鯨油から灯油のように、ユーザー側にインフラの変更がなくスイッチングコストが低いケースは移行が容易に進行している。したがって、CN 社会の実現に向けても既存の電力網を利用した再生可能エネルギーの拡大や合成メタンを既存の都市ガス導管に流すといった施策、合成燃料を生産し既存の石油流通網を活用することが新エネルギーへの移行を円滑なものにさせることだろう。

これらの歴史の事例を自動車に援用すれば、電気自動車は電力網というインフラを有するという優位性が存在している。しかしながら、電気自動車に関しては、航続距離や充電時間というユーザー側にとっての負担が大きいため普及が妨げられるとも考えられる。したがって、ユーザー側の利便性を踏まえれば、当面はハイブリッド車を利用し、燃料を脱炭素化することが近道であり、そこには「低炭素から脱炭素へ向かう確かな道筋」が存在すると考えられる。また、水素に関しては、既存のインフラも存在せず、さらにユーザー側のスイッチングコストも大きいため、自動車への活用には時間を要する。水素については、その初期段階ではコンビナートなどのまとまった需要が存在する場所（産業系）において計画的にインフラ構築と需要創出を同時に行うことがカギとなり、その後により広範な需要を開拓していくというプロセスとなる。

（２） 石油需要の拡大と国際石油資本の誕生

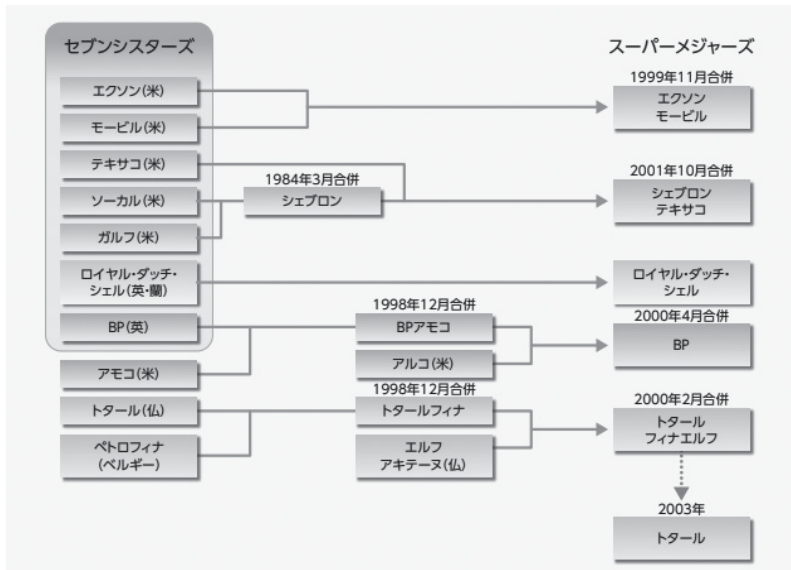
当初、光源として用いられていた石油エネルギーは、20 世紀に入り需給ともに大幅な拡大を見せる。需要については、自動車、航空機、船舶等の輸送用燃料として利用が拡大していった。1910 年に英国のチャーチルも軍艦の燃料を石炭から石油に転換することを決定した。供給については、米国以外にもロシア、メキシコ、オランダ領東インド（インドネシア）、旧トルコ帝国領メソポタミア（イラク）、サウジアラビアなどで次々と石油資源が

発見されていった。サウジアラビアについては、地表に油徴が見られず、当初は石油資源が期待されていなかった。しかしながら、ニュージーランド人のフランク・ホームズ大佐が石油採掘に挑み、この採掘権はガルフ、そしてソカールに移り、最終的に1931年に石油が発見されるに至った。ホームズ大佐による挑戦は、石油採掘に関する知見に乏しい素人であったからこそ着手され、結果として発見をなしえたともいうことができるだろう。

これらの地域では、英米系を中心とした7社の企業（セブンスターズ）が多数の石油利権を獲得し、結果として世界の石油市場を支配することになった。これらの国際石油資本（メジャー）間で国際石油カルテルも結ばれた。図1に示されるように、これらの企業は今なお石油事業を継続しており、業界において大きな力を有している。

これらの歴史の事例からは、権益を確保したければ、市場の拡大初期に

図1 メジャーズ再編の流れ



出所：石油連盟（2022）

メインプレーヤーとなることが重要であり、不確実性が存在していても積極的に行動する重要性が浮かび上がる。CN 社会への移行が実現した際には、砂漠地帯の土地（太陽光発電用）、アンモニア・MCH など工場、輸出港湾等がある種の権益となっている可能性がある。輸入エネルギーに依存している国は日本に留まらないため、これらの権益確保やサプライチェーンの構築に際しては、他の資源小国や輸入国と連携したり、これらの国々を相手とした資源ビジネスを展開したりすることを念頭に入れる必要があるだろう。

（３） 石油危機と日本への影響⁴⁾

石油危機が発生する以前は、国際石油資本、いわゆる「メジャー」と呼ばれる欧米の巨大石油企業は、産油国との間で超長期にわたる利権操業契約を締結し、極めて低廉なコストで原油の採掘・輸出を行っていた。これらの契約において産油国が得る利権料はバレルあたり数十セント程度にとどまり、石油による収益の大部分はメジャーによって独占されていた。

しかしながら、1950 年前後からは産油国の不満と圧力を受ける形で利益折半方式（50：50 制度）へと移行する動きが見られるようになった。この方式ではメジャーが設定する公示価格（posted price）を基準にその一定比率が産油国に支払われる仕組みとなった。しかし、この公示価格自体がメジャーの一方的な裁量により引き下げられるケースが多く、結果として産油国の収入は安定性を欠き、不公平感が高まった。

こうした状況に対抗するため、1960 年には主要な産油国によって石油輸出国機構（Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC）が設立され、メジャーによる価格支配に対抗する国際的な枠組みが形成された。OPEC は 1971 年に加盟国による所得税率の引き上げおよび公示価格の改

4) 本項の内容は平野（2020）を参照した。

定に成功し、産油国側の交渉力が強化される転機となった。

その後、1973 年に勃発した第 4 次中東戦争を契機として、第一次石油危機が発生した。アラブの産油国による石油供給制限と価格の引き上げにより、原油価格は従来の約 4 倍に急騰し世界経済に深刻な打撃を与えた。さらに 1979 年のイラン革命を背景として第二次石油危機が発生し、原油のスポット価格は約 12 ドルから約 40 ドルへと急騰する事態となった。

日本は石油危機によって特に大きな影響を受けた。その理由は、当時の日本のエネルギー構造にある。この当時の日本は、一次エネルギー供給の約 78%を石油に依存しており（フランスは 67%、イギリス 50%、西ドイツ 47%、アメリカ 47%であった）、他の先進諸国と比較しても著しく高い石油依存度であった。この体質は、資源小国である日本が経済成長を支えるために諸外国に先駆けいち早く石油の安定的かつ低廉な輸入体制を整備した結果であった。

こうした状況を受けて日本政府はエネルギー供給体制の脆弱性を克服すべく、供給の安定化およびエネルギー源の多様化に向けた一連の政策を推進した。その一環として 1976 年には石油備蓄法を施行し、国家としての備蓄能力を強化する体制が構築された。また、代替エネルギーの開発を目的とした大型技術開発計画として「サンシャイン計画」（主に太陽エネルギー、地熱、合成天然ガス、水素エネルギーといった新エネルギーの実用化を目指してい

た）および省エネルギー技術開発を企図した「ムーンライト計画」が策定された。しかしながら、1980 年代後半における国際原油価格の長期的低迷はエネルギー危機の緊張感を薄れさせ、結果としてこれらの技術開発に対する必要性の認識と政策的な意欲を減退させた。

結局、太陽光をはじめとするいわゆる再生可能エネルギーは、当時の技術水準においては供給量やコスト面で石油を代替するには至らなかった。そのため、エネルギー政策の中核的な選択肢として、より安定した供給が可能な原子力発電の導入が加速されることになった。

近年におけるエネルギー政策や技術開発において、再生可能エネルギーや代替エネルギーに関する「選択肢」が「サンシャイン計画」において目指されたものと大きく変わらないことは興味深い。ラインアップに本質的な変化は見られない背景には、主に二つの可能性が考えられる。第一の可能性はこれらのエネルギー選択肢が科学的・経済的に見て最適な回答、すなわち「真理」であるためというものである。すなわち、持続可能性、環境負荷の低減、技術的実現可能性などの複数の観点から評価した結果、現在提示されているエネルギーオプションが最適解として合理的に残り続けているという仮説である。この場合、「メニューが変わらない」という事実は目指している方向性の正しさを示しているとも考えられる。第二の可能性は、エネルギー問題に対する「正しい答え」がいまだ導出されておらず、過去に提示された選択肢が残存し続けているというものである。すなわち、制度的慣性や政策的惰性、あるいは新技術に対する投資や研究の停滞により、実質的な進展が乏しく、その結果として「古い選択肢」が消去されずに残り続けているという可能性である。我々はその二つの可能性を念頭に入れつつ、常に技術開発の方向性を吟味し続けることを求められている。

(4) 石油危機による各産業への影響

石油危機に端を発する原油価格の高騰は、日本の各産業、とりわけエネルギー多消費型の産業に大きな影響を与えた。これらの各種産業は設備稼働率と利益率が長期的に低迷する「構造不況業種」となった。これに対処すべく、政府は特定不況産業安定臨時措置法(1978年公布)や特定産業構造改善臨時措置法(1983年公布)を制定することによって、過剰設備を法的に処理するなどの対策を講じた⁵⁾。

5) これらの一連の動きについては、渡辺(2016)が詳しい。

しかしながら、構造不況に陥りこれらの政策の実施対象となった産業であっても、その後の推移は明暗が分かれることになった。石油化学産業は、1985年に法的設備処理を完了させたのち、内需・外需の成長や製品の高付加価値化に成功し、1982年には359万トンにまで減少した年間のエチレン生産量は2007年に過去最高の774万トンにまで増加し再成長を遂げたのである（平野、2016）。さらに、半導体材料、リチウムイオン材料、液晶パネルの材料などの電子材料領域において高い世界シェアを獲得し収益性も高まった（橘川・平野、2011）。一方でアルミニウム製錬業は政府の想定を上回る規模で企業の撤退が続き、最盛期の1977年には146万トンあった製錬能力は1987年には1工場3万5000トンが残るのみとなり、現在では国内製錬は行われていない（三和、2016）。政策の主眼も国内製錬の維持から地金の安定供給確保へと移行し、日本のアルミニウム企業が海外での製錬事業へと資本参加し、生産した地金を日本へと輸入する開発輸入が目指されるようになった。

また、石油危機を契機に大きく躍進した産業の一つに自動車産業がある（宇田川、2013）。石油危機はガソリン価格の高騰を招き、世界の自動車需要を急激に冷え込ませた。そうした中で燃費効率等の良い日本製の小型車に対する需要が世界的に急増した。主要先進国の自動車生産台数は1970年代を通じてわずか1.3倍にしかならなかったのに対して、日本は年平均10%近い伸びを示し、10年間で生産台数は約2倍となったのである。そして、1980年代には米国を抜いて世界第1位の自動車生産国に躍進した。日本車の欧米市場向け輸出の急増は、価格、品質・燃費を含む性能といった諸点における競争上の優位に基づくものであった。このように石油危機は日本の産業構造そのものにも大きな影響を及ぼしたのであった。

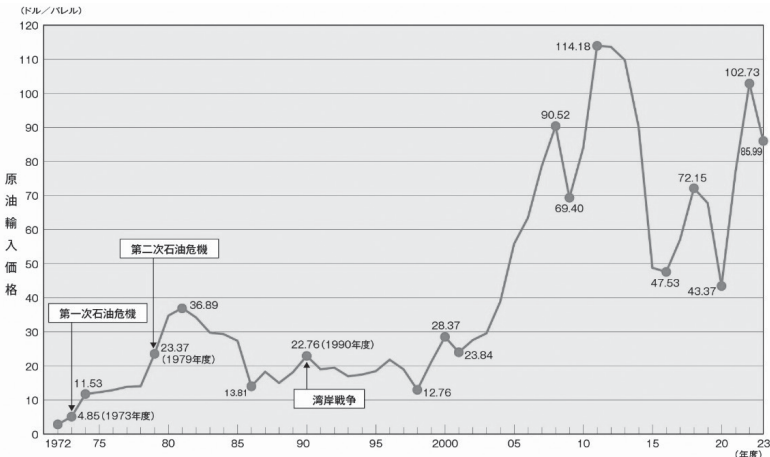
これらの各種産業の動向を概観するとエネルギー状況の変化に合わせて、新たに企業が勃興するというよりも、むしろ既存の企業の中で環境適合的な企業が飛躍していることや、変化以前の布石が重要であることが窺い知

れる。

（５） 石油危機以降の原油価格の推移

参考までに石油危機以降の原油価格の推移について概観すれば、2000 年頃までは低位安定し、その後は乱高下している（図 2）。過去において原油価格が低位安定した理由としては、①先進諸国において省エネが進み石油需要が減退したこと、② OPEC 加盟国が生産枠を遵守せず、余剰となった原油が現物市場に流れ、スポット市場が形成されたことなどがある。一方で、2000 年代以降は原油価格が乱高下するようになった。この理由としては、①新興国による石油需要の増大、②中東を中心とした地政学的リスクの高まり、③投機マネーの流入などがある。米国産シェールオイルの増産で原油価格が低下するなどの現象もみられた。米国の原油生産量は 2009 年から増加に転じ、2018 年には 45 年ぶりに世界首位に返り咲いた。

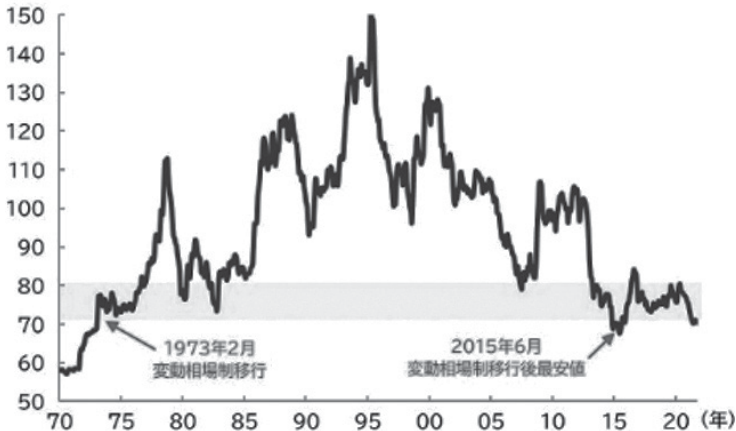
図 2 原油輸入価格の推移



出所：原子力・エネルギー図面集 (<https://www.ene100.jp/zumen/1-2-6>)

また、原油の輸入価格に影響を与える円の実効レートもこの期間に大きな変化を見せており（図 3）、これらのことから一つの環境条件は長くは続かないことが理解できる。したがって、長期トレンドと短期トレンドの双方の動きを分けて考える必要がある。おそらく、CN を目指す方向性そのものは長期トレンドであり、近年の欧州や中国を中心とした急速な EV 化への流れは短期トレンドと考えられる。したがって、短期トレンドに振り回されることなく、長期トレンドを見据え実効性のある施策、戦略を一貫して採用することが重要となる。

図 3 円の実効為替レート（指数）



出所：三井住友信託銀行ホームページ

(<https://www.smtb.jp/business/dc/web/NL/sk202112.html>)

注：2010 年を 100 として指数を求めた

3. カーボンニュートラルとエネルギー転換

カーボンニュートラル社会の実現に際しては、既存の化石系資源から再生可能エネルギーへのエネルギー転換が不可避であることは言うまでもないが、このエネルギー転換の実現は業種によって異なる意味合いを持つ。

本節の結論を先取りするならば以下ようになる。第一に、製造業（特に、製造工程で CO₂ が副生する産業、製法転換を伴う産業、例えば鉄鋼業、セメント産業、化学産業など）では難易度が高い。したがって、現時点では低炭素化への取り組みが重要となる。第二に、エネルギー産業においては、困難が伴うも産業の基本的構造は変化せず、製造業と比較すれば相対的に実現の見通しが立ちやすい。

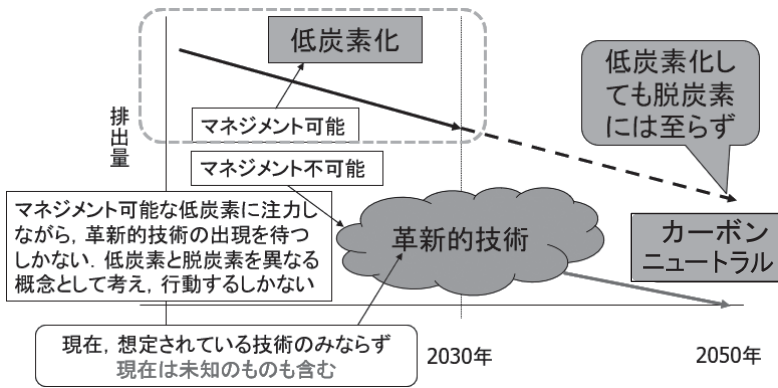
この結論から導かれる含意は、（1）エネルギー部門が製造業に先行して脱炭素化を進め、製造業がそれに追従する『段階的なカーボンニュートラル戦略』が必要とされること、（2）製造業は、①「低炭素に向けた取組」の着実な遂行と、②ものづくりを継続しながらの粘り強い技術開発が重要というものである。したがって、（逆説的ではあるが）脱炭素化の前に確かな「低炭素の時代」の実現が必要となり、低炭素社会を着実に実現しつつ、不連続なカーボンニュートラルを待つ形になるというものである。この期間には温室効果ガスの排出量を低下させるという現実的な解決策を選択する必要がある。したがって、LCA（ライフサイクルアセスメント）⁶⁾ からみた貢献を重視し、化石燃料を有効に利用する観点すらも必要となる。以下では、事例を交えつつ、これらの結論に至る過程を見ていきたい。

（１）カーボンニュートラルと製造業

エネルギー産業に比して製造業においては、CN の実現が困難である理由は図 4 のような状況にあることに求められる。まず、既存の低炭素化の努力を継続しても、それが既存の削減量からの外挿的な線形の推移を見せるならば、2050 年段階において CO₂ の排出量がゼロに至ることはない（現行の削減努力は乾いた雑巾を絞るような工夫を重ねており、この外挿的な排出

6) ライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）とは、ある製品・サービスのライフサイクル全体（資源採取—原料生産—製品生産—流通・消費—廃棄・リサイクル）又はその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法である。

図 4 低炭素と脱炭素（CN）との関係性



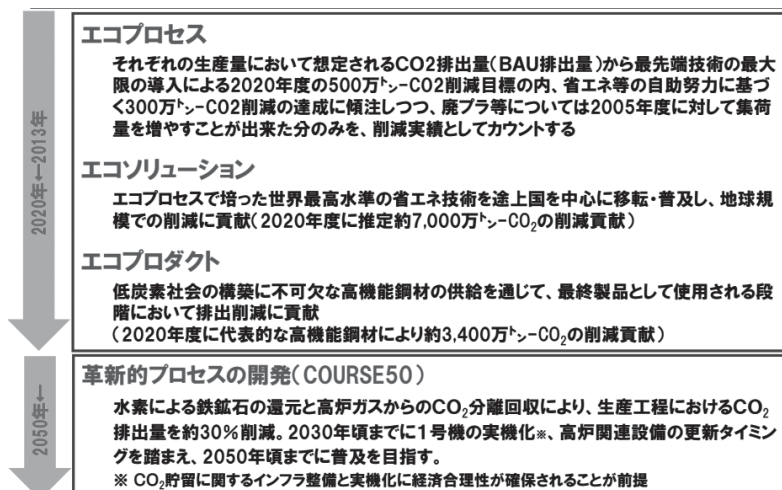
出所：筆者作成

量削減の推移ですら楽観的なものである)。そのため、低炭素化の努力の先に CN は存在しない。したがって、革新的な技術の実用化が不可欠となる。しかしながら、現在、想定されている革新的な技術がすべて実現してもなお CN には至らない（削減量が十分ではない）。それゆえ、CN を実現するためには、既知の革新的技術の実装に加えて、未知の革新的技術の出現と実装まで求められる。この技術開発は本質的にマネジメント不可能であるため、CN を目指しつつも、我々が管理可能な施策は低炭素化と既知の革新的技術の実装の努力のみとなる。

こうした結論が導かれるに至った根拠として鉄鋼業の事例を見てみよう。鉄鋼業においては、図 5 にみられるようにエコプロセス、エコソリューション、エコプロダクトといった低炭素化の努力を重ねたうえで、革新的プロセスを開発するというステップが考えられている。

ここでは、これまでの鉄鋼業における排出量の推移と鉄鋼連盟の資料に基づき、将来像の簡便な推計を行っていきたい。まずは、低炭素化の実現については、同産業の CO₂ 排出量は 2007 年から 2018 年の 11 年間に 2140 万トン削減されており（1 年あたり 194.5 万トン）、同程度の削減が 2020 年か

図5 鉄鋼業における脱炭素の取り組み



出所：日本鉄鋼連盟（2021）

ら30年進むと想定すると5835万トンの削減がみこまれる。現時点の排出量から引くと1.12億トンの排出量となる。次に、革新的な技術の実装に成功したと仮定する。これにより、30%の排出減が可能になるとされているため、1.12億トン×0.7(7割)と計算すれば、排出量は7840万トンにまで下がる。これに加えてかなりの好条件ではあるもの、国際貢献(日本の技術の国際展開寄与分)がすべて認められ、日本の排出量から控除可能となった場合、7840万トンから国際貢献分6553万トンを差し引くと残りの排出量は1287万トンとなる。かなりの希望的観測、好条件を重ねたとしてもCNは実現できないという見通ししか得られない。

引き続き化学産業に関しても同様の簡便な推計をしてみよう。現在の排出量が5784万トンであり、これまでと同様の排出量削減が実現できるという仮定をおくと、2020年からの30年間に約2970万トンの削減が可能になる。これに加えて2020年度に日本化学工業協会が作成した資料(日

本化学工業協会，2020b) に基づきすべての革新的な技術が実現すると考えると原油 633 万キロリットル，二酸化炭素排出量に直せば 1696.4 万トンの削減が可能となる（原油⇒熱量⇒二酸化炭素排出量で換算し，計算した）。現在の排出量からこの双方の削減量を差し引くと残りの排出量は 1118 万トンとなり，やはり鉄鋼業と同様の結論へと至るのである。

革新的技術にはかなりの不確実性が存在していることは，審議会に提出された資料からも窺い知ることができる。産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会 化学・非鉄金属ワーキンググループにおいては，毎年度産業別に排出削減に向けた行動のフォローアップが実施されている。この中で，各産業とも革新的技術における削減量についても言及している。しかしながら，その内容や削減量は年度によって異なっていることもある。例えば，化学産業の場合，図 6 に示されるように 2019 年度の資料と 2020 年度の資料では内容も削減量も大きく異なっている。このことは，革新的技術の見通しの不透明さの証左である。

また，過去にもCO₂の原料化に向けた研究開発などは行われていたもの，商業化には至らずに終了した事例も見受けられる。三井化学は，工場等から排出されるCO₂と水の光分解などから得られる水素からメタノールを合成し，その得られたメタノールから石化製品（オレフィン類，アロマ類等）

図 6 提示された革新的技術の年度による記述の差異

2019年度資料 削減見込量も異なる 2020年度資料		革新的技術・サービス	導入時期	削減見込量
	1	二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発	2030年	29.6万kl-原油
	2	非可食植物由来原料による高効率化学品製造プロセス技術開発	2030年	10.5万kl-原油
	3	有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発	2030年	27.9万kl-原油
	4	革新的印刷技術による省エネ型電子デバイス製造プロセス開発	2030年	169.8万kl-原油
		次世代省エネ材料評価基盤技術開発プロジェクト	2030年	1,030.5万kl-原油
		革新的技術・サービス	導入時期	削減見込量
	1	二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発	2030年	633万kl-原油
	2	有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発	2030年	
	3	非可食性植物由来原料による高効率化学品製造プロセス技術開発	2030年	
	4	機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発	2030年	

出所：日本化学工業協会（2020a；2020b）

を製造するという、いわゆる「CO₂ 化学的固定化技術」の開発を行っていた (三井化学, 2008)。2009 年 5 月には CO₂ からのメタノール合成プロセスの実証パイロット設備が稼働し, 2010 年 3 月をめどに実用化技術確立を目指すとされていた。しかしながら, 最終的には事業化は見送られ, 現在は設備も撤去されている。

(2) カーボンニュートラルとエネルギー産業

製造業と比較すれば, エネルギー産業の方が CN 実現の見通しは立ちやすい。その理由は, エネルギー産業の基本的構造は CN 社会が実現しても大きな変化が見られないことに求められる。現在の日本のエネルギー構造を概観すると基本的に輸入エネルギーが主軸となっている (1 次エネルギーベースで輸入エネルギーが約 85%を占めている)。エネルギー企業は, この輸入エネルギーをコンビナート等で加工し (発電, 都市ガス製造など), それを流通網に乗せるという役割を担っている。CN 実現は, エネルギーの種類が「化石資源」から「海外の再生エネルギーを主体とした水素等 (アンモニア, 液体水素, 合成メタンなど) に置き換える, つまり加工, 流通させるものが新しくなることを意味し, エネルギー企業の役割そのものに変化はないのである。

現在, こうしたエネルギー転換の実現に向けて, 水素等の輸入に向けた様々な政策的支援が講じられつつある。2025 年 1 月には, 「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律 (水素社会推進法)」が施行され, 低炭素水素等の供給・利用を早期に促進するため, 計画認定制度が創設されるとともに, 計画認定を受けた事業者に対する支援措置 (「価格差に着目した支援」, 「拠点整備支援」) がとられることになった⁷⁾。「価格差に着目した支援」では, 低炭素水素等の価

7) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律 (水素

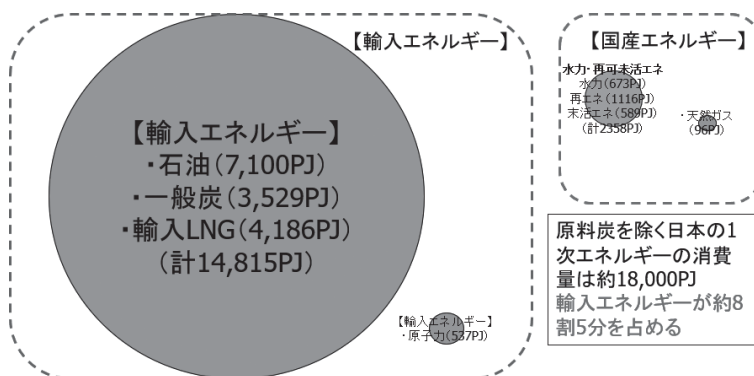
格（基準価格）と既存燃料・原料の価格（参照価格）の差額を支援することにより、認定を受けた低炭素水素等供給事業者が認定計画に従って継続的に低炭素水素等の供給を行うことを可能とすることを目的としている。また、「拠点整備支援」は認定供給等事業者の低炭素水素等の製造又は輸入を行う地点から利用を行う地点までにおける、認定計画の実施に必要な低炭素水素等の輸送又は貯蔵のために必要な設備であって複数の低炭素水素等利用事業者が共同して使用するもの整備に必要な資金を支援する制度となっている。つまり、新エネルギーのサプライチェーン構築を支援しようというものである。

これらの支援制度がありつつも、現時点においては 2050 年のカーボンニュートラルの実現は不確実な状況にある。実際に第 7 次エネルギー基本計画では、「2050 年カーボンニュートラル実現に向けては更なるイノベーションが不可欠であるところ、2040 年度時点において再エネ、水素等、CCS などの脱炭素技術の開発が期待されたほど進展せず、コスト低減等が十分に進まないような事態」を想定したシナリオも示されているのである（資源エネルギー庁、2025）。

こうした不確実性が存在しながらも、水素等の輸入はビジネスとして成立しうると考えられる。その理由は、1 次エネルギーの調達先ベースを念頭に入れて考えると理解しやすい。図 7 に示されるように、現在の日本のエネルギー構造はその大部分を輸入エネルギーに依存している。その構造から、①国内の再生可能エネルギーの拡大に努め、最大限まで拡大する努力がなされるもの、②国内の再生可能エネルギーのみでは日本のエネルギーは賄いきれず、輸入エネルギーの調達が不可避となる、③結果として、海外の再生可能エネルギーで水素を製造し、それを何らかの形態に加工し、CN エネルギーとして日本に輸入するという形に落ち着く。その将来像を

社会推進法）」(https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/hydrogen_society/carbon_neutral/)。

図7 現在の1次エネルギー概略（2018年度）



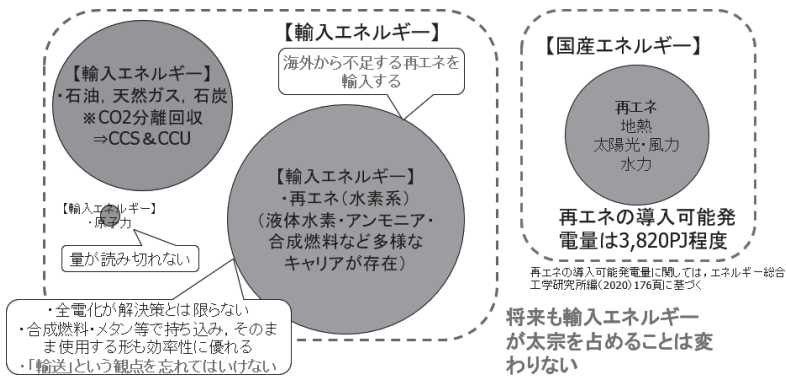
出所：資源エネルギー庁（2021）より筆者作成

イメージで示したものが図8である。資源小国である日本は、エネルギーの輸入が不可欠であり、CN社会となってもそれは変化せず、化石資源に代わる燃料の輸入ビジネスは必要とされ続けるのである。

水素系資源の輸入に関しては、アンモニア、液体水素、合成メタン、合成燃料など様々なキャリアが候補にあがっている。なかでもアンモニアのプロジェクトが先行している。諸外国からアンモニア混焼は石炭火力発電の延命策という見方もされているもの、島国という日本の特性を鑑みれば、パイプラインや送電網を用いてエネルギーを輸入できる大陸の国々とは異なり、日本は液体や気体の形で船舶を用いて輸入せざるを得ない（運ばざるを得ない）ため、液体水素に比較して運びやすいアンモニアを選択することは合理的な帰結といえよう。また、図8に示されるように、必要とされるエネルギーの総量を考えれば、大量の輸入エネルギーの調達が必要となるため、アンモニア、液体水素、合成メタン・燃料含め総力戦で水素等の確保に努めなければ、CNの達成はなしえない（再エネの拡大も必須である）。

また、再生可能エネルギーや原子力エネルギーを活用し電力のCN化を実現し、全電化を推し進めることによりCNを実現するという方向性も考

図 8 将来のエネルギーの姿（イメージ）



出所：筆者作成

えられているもの、それも現実社会にはそぐわないものである。日本国内の最終エネルギー消費の約7割は熱・燃料によるものであり、特に製造業等で用いられる200度以上の熱を電気から得ることは極めて困難である（化学、石油、鉄鋼、金属、窯業などの産業分野では高温・大量の熱を消費している）。さらには、電気は貯蔵が難しく、レジリエンスの面でも液体や気体燃料が必要とされる。我々は、薪、石炭、石油、天然ガス、原子力エネルギーと次々に新たなエネルギーを発見しつつも、多数の種類のを並行かつ継続して使用し続けているのは、利用適性、レジリエンス等、様々な観点により適切なエネルギーが異なっているためである。したがって、今後も様々なエネルギーが併存し、すみ分けに至る可能性が高いだろう。

（3） 見落とされがちな「需要家の目線」

前述のように水素系エネルギーの普及に向けて政府は既存エネルギーとの価格差を支援するとしているもの、それはファーストムーバーの事業者に限られ、概してこの新エネルギーは既存のエネルギーよりも高いものとなる。

そうした中で新エネルギーの普及に向けて重要となるのが、環境価値以外の新しい価値の発見である。つまり「環境に良いという点以外の新しい価値」を提供し、それによって高い価格が受容されることが解決策となりうる。こうした事例は石炭から石油へのエネルギー転換の際にもみられた。小堀(2010)によれば、1950年代初頭においては、重油が石炭よりも高価であったものの、「熱管理の容易さ」という価格以外の価値が評価されることによって、転換が進展していったという。

このような事例の萌芽は、すでにCNへ向けたエネルギー転換においても見受けられる。ここで紹介したいのは旭タンカーによる電気推進タンカー導入事例である⁸⁾。旭タンカーは、大容量リチウムイオン電池を動力源とした世界初のピュアバッテリー電気推進タンカー「あさひ」を2022年に竣工させた。同船の導入する契機は、もちろんCN社会への対応という側面が大きかった。しかし、同時にEV化によって主機材(内燃機関)が存在しないため機械的なメンテナンスが減少することや、操船システムとEVは相性が良いこと、振動や音がないことなど環境価値以外にもたらされる付随的な価値も認識したうえで導入が決定された。

実際に同船が導入されるとタンカーの電動化は、CN社会への対応の以外の新たな価値を同社にもたらした。具体的には、内航海運の喫緊の課題である乗組員の労務環境改善とさらには人材不足解消に向けた解決策となったのである。電動化によって、①燃料補給に関する特別な資格が不要となり(給電の際にコネクタを接続するのみ)、採用可能な人材の範囲が広がった。さらに、機関を搭載しないため、将来的には機関士を配置する必要がなくなる可能性もある。②内燃機関からの振動や船内の臭いが解消され、船内も明るく開放感のあるものとなることで居住環境が向上し、魅力的なものになった。同社の先進的な取り組みは、採用活動において人材

8) 本事例に関しては、東京電力エナジーパートナーホームページを参照した(https://evdays.tepco.co.jp/entry/2022/08/18/tepco_15)。

確保に寄与しているという。同社はこのような状況を受け、2023年には2隻目の電気推進タンカーである「あかり」を竣工させるに至った（旭タンカー、2023）。

この事例から考えるに、「市場が評価する価値＝環境価値×新しい価値」という構図が成立しているように推察される。掛け算という点が要点であり、イノベーター⁹⁾以降の実用性も重んじる顧客に対しては、どれほど環境価値を高めようとも新しい価値提案がなければ顧客にとっての価値はゼロとなるため受容されない。逆に、新しい価値が大きければ環境価値が低くとも、高価格での購入・採用が実現することになる。したがって、高価なCNエネルギーの普及には、この価値提案という視点を忘れてはならないだろう。

エネルギーの業界においては、伝統的に上流から下流に向かって順次物事を考える傾向がある。この思考法（私は「エネルギーの上から目線」と呼んでいる）で行く限り、消費者の視点は置き去りになりがちである。しかし、価値の高い新しいエネルギーの普及局面においては、環境価値以外を評価する顧客の発見が極めて重要であり、消費者の視点を取り入れることがCN社会実現に向けたカギとなるだろう。

4. おわりに

（１） 不確実性をどう考えるか

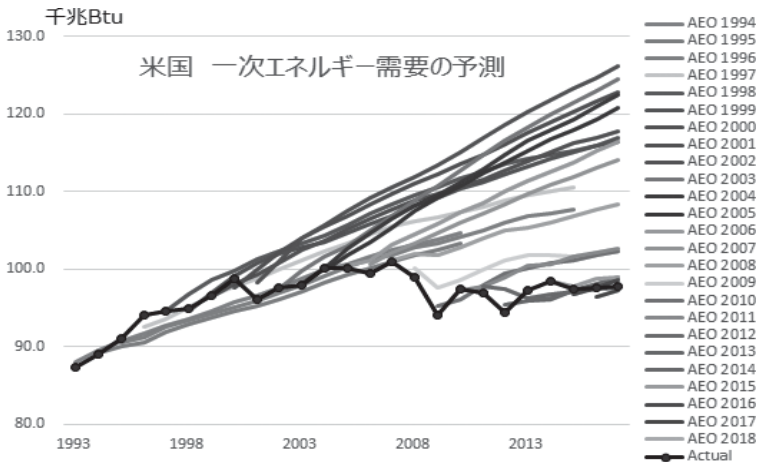
カーボンニュートラルを目指す中で、そうした方向性を疑問視する声も多数ある。例えば、Garrett（2010）は、「経済成長は必然的にエネルギー消費とCO₂排出を伴うため、文明の繁栄と気候変動の緩和は物理的に両立できない」と主張しており、カーボンニュートラル社会の実現に際して

9) 高価格であっても新しいエネルギーを受け入れるのは、イノベーター理論において、イノベーターと呼ばれる存在のみであろう。彼・彼女らは商品やサービスの品質や便益にかかわらず、新しい商品やサービスを購入するものの、市場の2.5%に過ぎない

は、経済成長の停止が不可避であるという「出口のないジレンマ（double-bind）」に我々は直面しているという。また、温暖化の原因はCO₂ではないとする主張する研究も存在している。Gerlich & Tschuschner（2009）は、地球の大気におけるCO₂の温室効果は物理学的に成立しないと主張し、特に「熱力学の第二法則に反する」という根拠から地球温暖化はCO₂の増加によって生じたものではないと結論づけている。

こうした将来の不確実性の存在が企業などの取り組み意欲をそいでいる可能性があるもの、元来我々は常に不確実性の中で思考し、意思決定しているということを忘れてはいけない。意思決定の基盤となる将来予測がそもそも不確実性に満ちているのである。図9は米国における一次エネルギーの総量に関する長期需要予測と実需の対応関係を示したものである。実線が予測、実線に丸のポイントをつけたものが実需である。グラフからも理解できるように、我々はエネルギー転換などの大きな変化が生じていない安定的な環境下においても、将来を確実に見通せてはいないのである。

図9 米国の一次エネルギーの需要予測と実需



出所：平野・古關・星野（2019）

しかし、その中で我々は常に意思決定し、行動し続けてきたのである。したがって、不確実性の存在そのものは行動しない理由とはならないだろう。

さらに、仮に将来をある程度の精度で予測できる技術が存在したとしても、人々の社会的行動によって、CN が実現しない可能性も存在する¹⁰⁾。この理由は、世の中を変えようとする人々の行動によって将来像は大きく変化することに求められる。したがって、悲観的な予測が悲観的な将来を生む可能性もある。我々は、こうした複雑な要因を踏まえた変化の傾向を読み切ることにはできない。したがって、変化への耐性を身につけていくしかないのである。予測に従属しているのではなく、我々の行為によって将来の姿は変わるため、望ましいあり方を描き、行動することが重要となるだろう。

変化への耐性という点では、将来像・将来予測の不確実性ともに、非合理的な行動や個々の主体が合理的であっても全体としては非合理的な結果に至る囚人のジレンマのような状況も頭の片隅に置く必要がある。結果として、CN 実現の見通しが立たず、気温 40 度で生き延びることこそ企業が解決すべき課題になる可能性すらある。

（２） 不確実性の中で行動する意義

今後のシナリオは大別すれば以下の３つのルートにまとめられると筆者は考えている。最初のルート（A ルート）は、CN が実現するというものである。宣言通りに各国が足並みをそろえて CN に取り組み、かつ先進国から途上国への惜しみない技術供与などがなされる。その場合、いち早く

10) 将来予測が当たらない理由としては、もちろん予見不可能な外部環境の変化（例えば、石油危機や新型コロナウイルスの出現など）もある一方で、自律性のある行為主体の存在が将来を変えてしまう可能性がある。例えば、技術革新をテーマとした沼上（1999）は、技術革新を「個々の発明」ではなく、研究者・企業・制度・市場といった多様な主体の行為が連鎖する「行為連鎖システム」として捉えるべきだと主張しており、技術は社会的・組織的文脈の中で形成される複雑なプロセスであることを明らかにしている。

CN化を先行させた国家、企業が覇権を握る形になり先行者優位の確立こそが重要となる。次のルート(Bルート)は、CNの先進国クラブ化である。先進国間ではCNが必須事項である一方、途上国は経済成長の妨げとして、CNに取り組まず、先進国からの技術供与も滞る。しかしながら、途上国も経済成長し先進国との取引関係が密接になった時点でCNに対応するというものである。CNは先進国との取引の際の条件として機能し、いわば先進国クラブへの加入条件となる。環境問題解決としての実質的な意味を失い、形骸化しつつも残存し、一定程度排出量減少が期待されうる。最後のルート(Cルート)は、炭素多排出世界への適合である。先進国間での利害対立から、早期にCNを目指す動きがとん挫する。結果として、気温のかなりの上昇(例えば40度以上)かつ災害が多発する中でも生き延びるための手段(食糧増産、高温対応、豪雨対応)を提供できる国家や企業が覇権を握るという世界像である。

これらの議論を踏まえれば、不確実性への意識やCN対応にまつわる経済性の欠如が企業にとってCNに本気で踏み込めない要因となっている可能性が高いと考えられるもの、それでもなおCNに取り組む必要がある。その理由は、第一にCNへ取り組まなければAとBのルートに対応できないリスクを企業が抱えることになるというものである。やらないことのリスクを意識する必要性がある。第二に、CNに至らなくとも低炭素化そのものは逃れられないトレンドであり、CNへと結びつく低炭素化の努力は企業にとって不可欠だからである。先ほど紹介したような温暖化の原因はCO₂ではないとする主張する研究はごく一部であり、地球温暖化の主因は人為的なCO₂排出であるという見解は、現在の気候科学において圧倒的に支持されている学術的コンセンサスである(例えば、Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021; Hansen et al., 1981)。様々な着地点があっても、避けて通れないことを覚悟しないと進まないだろう。一方で、様々な着地点についての議論がないことは不健全であり、様々なルートを考慮したう

えて腹落ちする議論を経ることが CN の推進にとって不可欠となる。

過去の歴史を振り返れば、我々の先人は不確実性に直面しつつも大きなインフラ投資を続けてきた。例えば、LNG の導入は、「突飛な行為」であり、かつ経済性も当初はなかった（1000 キロカロリーあたり重油は 60 銭以下、LNG は 80 銭弱）。さらに、技術的にも未知数の部分が大きかった。しかし、埋蔵量の大きさ（安定供給の実現）や公害対策での有効性が期待され、巨額の資金を投じてサプライチェーンの構築がなされた（今井・橘川、2019）。現在では、天然ガスは相対的に CO₂ 排出の少ない化石資源として重宝され、1 次エネルギーの 2 割超を占めている。また、エネルギー業界のみならず鉄道においても同様の事例が見られる。東海道本線の輸送余力がひっ迫し、別線の建設が不可避となった際、巨額の費用を必要とする標準軌別線方式（新幹線）の建設を国鉄幹部は主張した。費用面から国からの同意を得るのが難しく、1900 億円の建設費で済むと主張し着工許可を得た（二階堂・鈴木・老川編、2015）。物価上昇の中で予算不足に陥り、事後的に予算調達に難儀することが自明であったもの、将来の日本の輸送の在り方を考えて着工を優先させたのである。結局、新幹線開業前にこれを主導した国鉄幹部は国鉄を去ることになったが、現在では新幹線は高速大量輸送かつ環境負荷も低く日本にとって欠かせない存在となっている。これらの歴史的事例は、やらなければいけないことは費用対効果とは言ってられず、見通しも不完全であるもの、しかし粛々と進める必要性があることを我々に教えてくれている。

それでは、「無謀」な取り組みと「やらなければいけないこと」、「怖がらずにやるべきこと」はどのように判別可能であるかと問われれば、その答えは「ベーシックな部分での正しさ」に求められる。例えば、新幹線の事例では、戦前から標準軌・別線の優位性は自明であったもの、政治的理由により狭軌から標準軌への改軌が断念されていた。また、新幹線に類似した弾丸列車計画も戦前に立案されていた。別の事例を概観すれば、信越

化学工業は塩化ビニルの世界シェア1位企業となり、日本有数の化学企業に成長しているが、この塩化ビニル事業への投資の際には、①塩化ビニルの需要はなくなるしない、②シェアをとればパワーが行使できる、③原料が安いのは米国、④米国はカントリーリスクが低いといったベーシックな正しさを前提に思い切った投資（逆張り含む）を行っていたのである（橘川・平野，2011）。これらの事例からは常に原理原則に立ち返って思考し、判断する必要性が窺い知れる。

実務家との対話の中でしばしば「CN はビジネスになりますか（儲かりますか）」と尋ねられることがあるが、この問いは着手しないことのリスク・機会損失の存在を見失っているように思われる。将来の動向は分からないし、分かった時に動いても競争優位を築くことはできないのである（成功する企業は密かに儲かる道筋を見つけている）。かつて、倉敷紡績の社長であった大原孫三郎の「仕事というものは三割の賛成者があれば着手すべきだ。五割も賛成者があればもう手遅れだ。十人のうち七人も八人も賛成するようなら、もうやらない方がいい」（大原，1981）という言葉はこれを具現化したものである。企業経営においては、CN は「稼げるか?」、「見通しが立つようになったら本格的に着手」ではなく、「稼げるように育てる」という目線が欠かせない。

現時点では製造業を中心に CN への確かな道筋は見えていないもの、根本的な変化に挑めば実現の可能性があり、そうした形で現状を打開した二つの事例を紹介しておきたい。

最初の事例は、松下通信工業における新型のカーラジオの開発である¹¹⁾。1961年、松下通信工業はトヨタ自動車工業から「カーラジオの値段を20%下げて欲しい」との要請を受けた。松下はすでに前年トヨタの生産する乗用車「コロナ」につけるラジオの値段を大変な思いをして5%下げたばかり

11) パナソニックミュージアムホームページ (<https://www.panasonic.com/jp/corporate/history/panasonic-museum/pdf/2015/PART3j-2.pdf>) を参照した。

りであり、社員からは「できるわけがない」との声が上がった。しかし、創業者は「これはチャンスだよ。ここで 20% も安いラジオを作ることができれば、一気に競争力がつくじゃないか。5% のコストダウンはできないが、20% ならできる」と語り、すべての工程・部品を見直し、2 枚のプリント基板は 1 枚にし、1 年後に性能は同じで 20% 安いカーラジオが完成した。開発期間中に一部の従業員は自動車の免許を取得し、通勤に使うなどユーザー目線を取り入れる努力もした。

次の事例は、スーパーファミコンの「MOTHER2 ギーグの逆襲」というゲームソフトの開発である¹²⁾。同ソフトは開発開始から約 4 年の歳月を経ても完成せず、完全に行き詰った状態に陥っていた。これに対して、当時ハル研究所の社長だった岩田聡（のちに任天堂社長）が名乗り出て次のように宣言した。「いまあるものを活かしながら手直ししていく方法だと 2 年かかります。一からつくり直していいのであれば、半年でやります」。岩田が開発を請け負った後、宣言通りに半年で大枠が出来上がり、そこから更に半年で内容に磨きを掛け、最終的に約 1 年で完成に至ったという。

（３） カーボンニュートラル社会を志向する際の要点

すでに述べたように、エネルギーは適材適所での使い分けが必要となる。そのため、我々は新たなエネルギー源が発見されても、木材や石炭など旧来のエネルギーも手放さずに使い続けてきた。用途や入手可能性、利用適性、レジリエンス等、様々な観点によって適切なエネルギーは異なっているのである。したがって、CN 社会となっても電氣に加えて液体や気体の燃料が必要とされることだろう。ポートフォリオを考えつつエネルギー転換を進めていくことになるだろう。

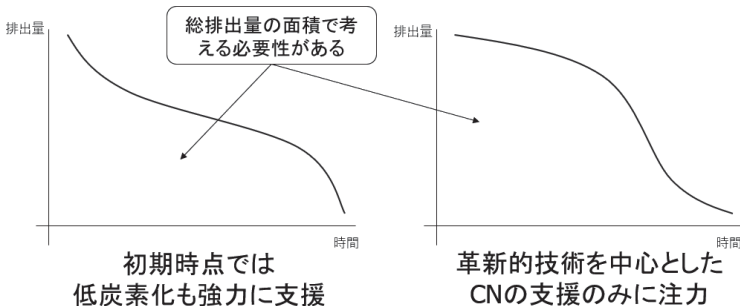
また、CN 化の実現に先行して「確かな低炭素社会」を構築する必要性

12) 出所：ほぼ日刊イトイ新聞 (https://www.1101.com/nintendo/mother2_wiiu/)

がある。「水素や電気はクリーン」などといったファッションとしての選択ではなく、温室効果ガスの排出量を低下させるという現実的な解決策を選択する必要がある。この際には、図10に示されるように2050年までのCO₂排出量を2030年や2050年時点といった断面だけではなく、面積つまりは2050年までの総排出量という見方で考えることが重要である（平野，2025）¹³⁾。さらにはこの過程において化石燃料を有効に利用する観点も欠かせない。地熱発電など既存の再生可能エネルギーについても、既存の方式に縛られずに、ゼロベースから考えてみることにより新たなブレイクスルーが起こる可能性がある。

現在の日本社会においては、「CNを実現すること」から議論が始まっているが、根本的に考えなければいけないのは、50年後、100年後に日本はどのような食べていくのかという点である。食料自給率もエネルギー自給率も低い日本においてはそれらの輸入に要する外貨の獲得が求められ、さらに人口は大幅に減少する見通しである。本来はこうした中で少ない人数で大きな付加価値を生み出せる産業（例：化学、鉄鋼など）はCO₂の排

図10 面積でとらえるCO₂排出量のイメージ



出所：平野（2025）

13) この考え方は、のちに日本ガス協会の「アクションプラン 2030」にも反映された（日本ガス協会，2025）。

出量が大きくとも重要となるはずである。我々が実現すべきは、50年後、100年後も日本人がエネルギーを使用でき、国内の産業が維持されることであり、CNの達成はそれを実現するために手段（要件）の一つに過ぎないのである。

したがって、CNのために産業が日本から次々に海外移転していくことがあってはならない。しかしながら、残念にもこうしたCO₂の排出量が多い産業の日本からの流出が始まっている。野村（2021）は日本全体のエネルギー生産性の変化を、家計を含む各産業別に分解したところ、その貢献は化学と鉄鋼という二つの産業に偏っていることを明らかにしている。しかも、直近（2008～2016年）のエネルギー生産性の改善は、省エネの推進というよりは、国内基礎素材の生産量・生産設備の縮小（海外への移転）により実現されてきた傾向があるという。したがって、製造業の脱炭素化への配慮が必要であり、ものづくりに配慮した形の政策展開が望まれる。

参考文献

【英文文献】

Garrett, T. J. (2010). No way out? The double-bind in seeking global prosperity alongside mitigated climate change. *Climatic Change*, 98(1–2), 1–17.

Gerlich, G., & Tschuschner, R. D. (2009). Falsification of the atmospheric CO₂ greenhouse effects within the frame of physics. *International Journal of Modern Physics B*, 23(3), 275–364.

Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D., & Russell, G. (1981). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*, 213(4511), 957–966.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte et al., Eds.). Cambridge University Press.

【日本語文献】

- 旭タンカー株式会社(2023)『次世代内航電気推進タンカー船「あかり」竣工について』。ニュースリリース, 2023年3月28日。
- 今井伸・橘川武郎(2019)『LNG 50年の軌跡とその未来』日経BPコンサルティング。
- 宇田川勝(2013)『日本の自動車産業経営史』文眞堂。
- エネルギー総合工学研究所編(2020)『図解で理解できるカーボンリサイクル』技術評論社。
- 大原総一郎(1981)『大原総一郎随想全集 第1巻』福武書店。
- 荻野喜弘(1991)「鉱業会社社史についての一考察」『経営史学』第26巻第3号。
- 橘川武郎(1996)『日本の企業集団』有斐閣。
- 橘川武郎・平野創(2011)『化学産業の時代』化学工業日報社。
- 小堀聡(2010)『日本のエネルギー革命』名古屋大学出版会。
- 資源エネルギー庁(2021)『エネルギー白書2021』。
- 資源エネルギー庁(2025)『2040年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)』。
- 島西智輝(2009)「衰退産業における事業多角化の遅滞要因の検討」『三田商学研究』第51巻第6号。
- 島西智輝(2011)『日本石炭の戦後史』慶應義塾大学出版会。
- 杉山伸也・牛島利明編(2012)『日本石炭産業の衰退』慶應義塾大学出版会。
- 石油連盟(2022)『今日の石油産業2022』。
- 二階堂行宣・鈴木勇一郎・老川慶喜編(2015)『角本良平オールラウンド・ヒストリー』交通協力会。
- 日本化学工業協会(2020a)『化学産業における地球温暖化対策の取組み』。2019年度第1回産業構造審議会地球環境小委員会化学・非鉄金属ワーキンググループ配布資料。
- 日本化学工業協会(2020b)『化学産業における地球温暖化対策の取組み』。2020年度第1回産業構造審議会地球環境小委員会化学・非鉄金属ワーキンググループ配布資料。
- 日本ガス協会(2025)『アクションプラン2030』。
- 日本鉄鋼連盟(2021)『鉄鋼業の地球温暖化対策への取組』。2020年度第1回産業構造審議会地球環境小委員会鉄鋼ワーキンググループ配布資料。
- 沼上幹(1999)『液晶ディスプレイの技術革新史: 行為連鎖システムとしての技術』白桃書房。
- 野村浩二(2021)『日本の経済成長とエネルギー: 経済と環境の両立はいかに可

能か』慶應義塾大学出版会。

平野創（2016）『日本の石油化学産業』名古屋大学出版会。

平野創（2020）「石油危機」筒井清忠編『昭和史講義【戦後篇】（下）』所収，筑摩書房。

平野創（2025）「確実な低炭素時代の実現からカーボンニュートラル社会への移行」『日経ビジネス』，第2280号，2025年3月3日号。

平野創・古關恵一・星野優子（2019）『エネルギー需給に関する基礎的研究』（JXTG エネルギー共同研究 H30 年度報告書）。

松島潤編（2019）『エネルギー資源の世界史』一色出版。

三井化学株式会社（2008）『CO₂ からのメタノール合成プロセスの実証パイロット設備建設について』。ニュースリリース，2008年8月25日。

三和元（2016）『日本のアルミニウム産業』三重大学出版会。

渡辺純子（2016）『通産省（経産省）の産業調整政策』RIETI Discussion Paper Series, 16-J-033。