

水素を動脈／炭素を静脈とする新しいサプライチェーン (2)

今井 尚哉

1. 少しだけ前置き

気候変動問題への対応、温室効果ガスの排出抑制は、もはや国際政治や企業経営の primary agenda となりつつある。個々の異常気象が真相としてどの程度まで温室効果ガスの影響に依るものなのか、あるいは、宇宙空間、太陽系、生命体、人類という壮大な時空間の中では些細な出来事なのか。そうした根源的疑問は現実の政治にとって意味がない。ひとたび形づくられた政治的正義は、第二のガリレオ・ガリレイが登場しない限り覆されることはない。

他方、人類にとって温室効果ガス抑制だけが究極の達成目標ではない。貧困と飢餓の撲滅、教育と健康の確保なども包含した SDG s 「持続的な開発」、すなわち、環境と経済の持続的両立こそが真の目標である。全ての国・地域による協働、collective action によって世界全体が SDG s 目標に向かって前進することが重要である。現下のコロナウィルス感染症との闘いの中で生じているワクチン争奪戦、ワクチン覇権外交にみられるがごとく、「持てる者」(巨額の投資者)による先行利益(レント)が driving force となって新しい薬やエネルギーが創造され、営利主義と平等主義の相克のプロセスを経て世界は協調へと向かう。現実の

プロセスは理想主義者の望むようには進まない。

「日本は温室効果ガス削減にどの国よりも野心的目標を。」「日米が、G7が先進的役割を。」といった政治的メッセージは正しい。というか、やむを得ない。しかし、具体的な数値目標の設定に当たっては、日本の足元の状況を正確に理解することも大切である。天然資源や再生可能エネルギーのポテンシャルに恵まれない、しかも脱炭素の最大の主力であった原子力発電の挫折を経験してから年月の浅い日本が進むべき道は、「短期的数値目標で見栄を張ること」ではなく、「長期目標へ向けて着実に進むこと」「アジア諸国や新興国と共に歩むこと」そして「最後にはやり遂げること」である。数世紀かけて人類の産業文明を進化させてきたエネルギー構造を30年で完璧に塗り替えるのは至難の業である。日本だけが経済を犠牲にしてまで目標を実現させたとしても、発展途上国を含めた世界全体が足並みを揃えないと究極のゴールには辿り着けない。発展途上国は今後の経済成長のためにまだまだ化石燃料を利用せざるを得ないし、利用する権利がある。それを最高度の効率利用に誘導し、カーボンマネジメントで協働するように仕向ける。それが日本の役割だ。世界各国がそれぞれの状況を反映したカーボンニュートラルへの道筋を（政治的にではなく）科学的に描き、これをcollectiveな行動へとプッシュしていく。日本はそういう仕事をしたい。

2. 地に足付いた国家戦略を

温室効果ガス排出削減をリードするのは常に欧州であるが、ここに来て COP の次期主催国である英国のリーダーシップが特に強い。全ての国内炭鉱が閉山し、ブレント原油の競争力に陰りが見え、風力発電の競争力に自信を持つ中、EU 離脱後もなお金融センターとしての地位を確保するために、COP をリードし、ESG 投資のルールメイキングに乗り出すには絶好のタイミングである。

米国はどうか。バイデン政権は、気候変動問題を安全保障問題と位置づけ、自ら野心的な削減目標を掲げて日本や中国に圧力をかけ、欧州以上に世界をリードしているように見えるが、本音のところ共和党対策という色彩が強い。全世界を巻き込むことで内なる闘いに挑んでいる。ただこの問題は、経験則上、米国民にとって所詮はトップアジェンダにはならない。それでも明確に言えることは、どの国も、博愛的精神からではなく、冷徹に自らの国益を計算して戦略を練っているという点である。

日本政府は、2030 年までに温室効果ガス排出量を 2013 年比で 46%削減する目標を設定した。この目標に向けて、政府、自治体、企業、国民が一体となって努力していくべきは当然であるが、率直に言って目標達成は困難である。正確に言えば、「経済と両立させながら削減目標を達成する」ことはおおよそ不可能で

ある。パリ協定上の▲26%目標でさえ、原子力発電所を 25 基～30 基程度再稼働させることを前提としていた。現在計画されている北海道や東北を中心とする洋上風力発電群の形成は、それらを繋ぐ電源線と大容量直流海底送電網の整備を前提とするものであり、2030 年時点ではようやくその入口にたったばかりの段階であろう。水素と炭素を原料とする合成ガスの大規模供給体制が整うのも 2030 年代後半から 2040 年頃と見込まれる。どれも時間を要する。こうした中、2030 年新目標を達成するためには、日本国内での生産量を落とす、すなわち経済を弱くするしかないだろう。2050 年、すなわち 30 年後のカーボンニュートラル目標を掲げた時には、新技術に挑む技術者からある種の高揚感が伝わってきた。しかしながら、今回の短期目標に対しては、産業界から悲鳴に近い声と溜息が聞こえてくる。国民や企業は「経済と環境の両立」を望んでいる。「46%削減は妥当だと思いますか」と聞かれても国民はわからない。この先、報道機関等が世論調査を行う場合には、例えば以下のような設問をお願いしたい。

- ア どんなに経済を悪くしても炭素排出量を減らすべきだと思いますか
- イ 炭素排出量を減らせるのであれば多少所得が減るのも良しとしますか
- ウ 経済が悪くならない範囲で炭素排出量を減らすべきと思いますか
- エ よくわからない

今回の決定プロセスについては多くは語らないが、要すれば、政府は「2050年に向けた科学的道筋」よりも「国際的に恥をかきたくない体裁」を優先させた。過去に温室効果削減目標を設定した1997年(京都議定書)、2009年(ポスト北海道洞爺湖サミット)、2015年(パリ協定)の際には、かなりの時間と労力を使い、カーボン削減の道筋を精緻に積み上げたうえで大議論をした。経済成長見通しは当然のことながら直近の政府の閣議決定を前提とし、成長と環境の両立に矛盾を来さないように配慮した。カーボン削減目標を設定する際に財政収支見通しとは異なる経済成長率を採用することは禁じ手である。排出削減を多く見せかけるために政府経済見通しから逸脱した低めの成長率を前提に置けば、そのこと自体がある意味「閣内不一致」となる。今回は、そうした精緻な議論もなされず、有識者(?)会合に何のシミュレーション結果も示されぬまま、おぼろげに浮かんだ数値を密室で決めたようである。何とも言い様がない。

それとは反対に、中国は立派に国益を貫いた。2030年までは経済成長と共に増えるカーボン排出量を成長率に見合うCO₂排出原単位向上(GDP当たりのCO₂排出量削減)によってオフセットしながら、2030年から2060年に向けて革新的技術とその市場浸透によって加速度的に目標に向けて進んでいく、との国家戦略を貫いた。正しい戦略である。

初稿において、以下のように述べた。

「目的は『環境と経済の好循環』である。これが大前提である。いかに新しい投資が生み出されても、エネルギーという基幹コストが止めどもなく上昇すれば、産業構造転換どころか製造業の国外大流出という結果に終わる。日本人が金融とサービスだけで繁栄するのならそれでもいい。しかし、そういう産業構造は望ましくない。『成長の持続性』とは、コスト、レント、リスクの時系列的最適化である。当然、政府の役割は大きい。そして、30年間に亘り、脱炭素に向けた国民的意思が貫徹できるかが成否を決める。30年間の国民的闘いである。電力会社や石油会社だけの闘いではない。政府は、国家的に雇用を維持しながら、国民コストを30年に配分する『配分政策』を周到に練らなければならない。」

第二稿においては、以下のようにも述べた。

「コストベネフィットを正しく分析し、30年間のコスト配分を間違えることなく、『脱炭素というのはこういう社会変容だ。これぐらいのコストを国民は受け入れなければならない。ここまでは可能であり、その先はまだ可能かどうか分からない。』と、体系立って国民に説明しながら進めていく『賢い政府』が存在しなければ、脱炭素の勝者にはなれない。」

囲碁盤の四隅から始まって先々を読みながら大まかな陣形を整えていく序盤

戦こそ十分な時間が必要であり、中盤の攻防で臨機応変に修正を加えながら無駄打ちさえしなければ、終盤の「寄せ」で一気に目標を達成することができる。

2050年のカーボンニュートラルを目指すシナリオの中で、今から10年後の2030年目標は現実的な方がよい。無理矢理に高コスト構造を作り出してまで半減目標など掲げる必要はない。2050年までの道のりは beeline にはならない。まずは自然増からの反転が先決である。無理な計画は挫折への道を早める。」

政治家にとって9年先は長い。しかしエネルギー政策としては「1コマ」にもなっていない。企業活動、とりわけ研究者にとって9年は短い。あと9年しかない。どこから着手すればよいのか。産業界、とりわけ中小企業からの問い合わせが多く寄せられる。それに対する回答は以下のようなになる。

「まずは現実的な省エネ、燃費・電費向上への投資を急ぎましょう。BAU (Business As Usual) に対し、可能な範囲でエネルギー原単位を向上させましょう。9年後の▲46%は個々の事業者が過度に意識する必要はありません。それは社会システム全体の問題ですから。▲46%はあくまで中間目標であり、大切なことは30年後のカーボンニュートラルに向けて、最初の10年間で、あらゆる技術オプションに挑戦し、革新的技術の実用化に目途をつけ、新しいサプライチェーン実装の入口に立つことです。『茶色からオリーブ色』『オリーブ色から緑色』

への具体的な投資行動を Transition Finance がしっかりと支えています。」

3. グリーンイノベーション基金 2 兆円の使い途

米国バイデン政権は、クリーンエネルギーに 4 年間 2 兆ドル（50 兆円／年）の投資を行うと宣言。EU 委員会は「欧州グリーンディール」に官民で 10 年間 1 兆ユーロ超（10 兆円／年）を投入すると発表しているが、これは各々のメンバー国による投資の補助的拠出に過ぎない。実際にはこの 2～3 倍の投資規模となるであろう。

日本では、2 兆円規模のグリーンイノベーション基金が創設され、現在、採択プロジェクトの選考プロセスにある。「10 年間、研究開発・実証までを継続して支援する」ことのようなのであるが、10 年計画で 2 兆円（平均 2000 億円／年）という欧米とは二桁違う予算が多分野に総花的に拠出されることを強く懸念する。昨年末に発表されたグリーン成長 14 分野に沿った形で、以下の 18 フィールドに拠出される方向だ。

- ① 洋上風力発電
- ② 次世代型太陽電池
- ③ 大規模水素サプライチェーン（製造・輸送・貯蔵・発電）
- ④ 水電解装置（グリーン水素開発）
- ⑤ 水素還元製鉄
- ⑥ 燃料アンモニアサプライチェーン
- ⑦ CO2 原料プラスチック製造技術
- ⑧ CO2 合成燃料製造技術
- ⑨ CO2 原料コンクリート製造技術
- ⑩ CO2 分離回収（CCS）
- ⑪ 廃棄物処理 CO2 削減技術
- ⑫ 次世代蓄電池・次世代モータ
- ⑬ 自動車電動化サプライチェーン変革
- ⑭ スマートモビリティ（自動走行等）
- ⑮ 次世代デジタルインフラ
- ⑯ 次世代航空機
- ⑰ 次世代船舶
- ⑱ 食料・農林水産分野の CO2 削減

それぞれ重要な分野であることに違いはないが、本来企業戦略に委ねるべき要素技術開発や単発的な設備実証（例えば、福島洋上風力コンソーシアム）へのバラマキに終わるのではなく、最終的な社会実装、新エネルギーの供給拠点と関連インフラ整備の方向づけを明確に持ったうえで、戦略的・効率的な投資を断行してほしい。今回の採択プロジェクトは30年間かけて築き上げる新社会資本の礎を形成するものである。

さらに言えば、上記18フィールドの中でも特に、水素と炭素を循環させる大サプライチェーン構築に重点化して投資してほしい。自動車や航空といった国際競争に晒された部門への新燃料の開発と供給網構築、次いで、発電・産業部門における化石燃料からの転換実証及び関連インフラ整備に集中的に力を注ぐべきである。家庭や業務用の電力・ガス供給のためのコジェネ、次世代太陽光や蓄電池、それに伴うスマートグリッド整備はもはや実装段階に来ている。カーボンゼロ宣言を行っている企業や地方自治体において責任をもって、実装を加速してもらいたい。

こうした大規模政府投資の財源としては、特定の資源や製品に賦課するタイプの「炭素税」、いわゆる特別会計財源では到底及ばず、単なる環境エネルギー対策という意味合いを超えた国家的社会資本投資と位置付け、一般財源もしく

はグリーンボンド発行により国民全体が広く負担すべきものである。年間 2000 億円ではとても足りない。年間 2.5 兆円（消費税 1%分）規模の投資を 10 年間実行すれば、日本もそれなりに飛躍できるかもしれない。

4. 水素／炭素サプライチェーンの 9 つのパターン

さて、水素を動脈、炭素を静脈とする新たなエネルギーサプライチェーンをどのように構築するのが合理的であろうか。この点については、西村あさひ法律事務所の紺野博靖弁護士の分析が参考になる。やや受け売りのにはなるが、そこはお許しをいただいて、今後のサプライチェーン構築の手順を考察してみたい。

水素をエネルギー源として生産あるいは調達し、排出される炭素（CO₂）を回収貯留するパターンとして、概念的に 9 つのパターンが考えられる。ガス発電を例にとる。

① グリーン水素国内生産・発電

国内において再生可能エネルギーもしくは原子力発電による水電解で水

素を生産し、当該水素を燃焼して発電する。

② グリーン水素輸入・発電（水素船輸送）

海外（例えばオーストラリア、サウジアラビア、中国）において再生可能エネルギー発電による水電解で水素を生産し、当該水素を輸入し、燃焼して発電する。

③ ブルー水素輸入・発電 & CO₂ 産ガス国貯留（水素船輸送）

産ガス国（例えば、オーストラリア、ロシア、カタール）において天然ガスの改質により生産した水素を輸入し、当該水素を燃焼して発電する。改質により発生した CO₂ は当該産ガス国にて地下貯留する。

④ LNG 輸入・ガス発電 & CO₂ 国内貯留（LNG 船輸送）

産ガス国から LNG を輸入してガス発電を行う（現行通り）。燃焼により発生した CO₂ は日本国内にて地下貯留する。

⑤ LNG 輸入・ガス発電 & CO₂ 産ガス国貯留（LNG 船輸送・CO₂ 船輸送）

産ガス国から LNG を輸入してガス発電を行う（現行通り）。燃焼により発生した CO₂ は当該産ガス国に輸出し、当該産ガス国にて地下貯留する。

⑥ LNG 輸入・ブルー水素国内生産・発電 & CO₂ 国内貯留（LNG 船輸送）

産ガス国から LNG を輸入し、日本国内において天然ガスを改質して水素を生産し、当該水素を燃焼して発電する。改質によって発生した CO₂ は

日本国内にて地下貯留する。

⑦ LNG 輸入・ブルー水素国内生産・発電 & CO2 産ガス国貯留 (LNG 船輸送・CO2 船輸送)

産ガス国から LNG を輸入し、日本国内において天然ガスを改質して水素を生産し、当該水素を燃焼して発電する。改質によって発生した CO2 は当該産ガス国に輸出し、当該産ガス国にて地下貯留する。

⑧ LNG 輸入・ガス発電 & 国内クレジット相殺 (LNG 船輸送)

産ガス国から LNG を輸入してガス発電を行う。燃焼により発生した CO2 を相殺するカーボンクレジットを国内で購入する。

⑨ LNG 輸入・ガス発電 & 海外クレジット相殺 (LNG 船輸送)

産ガス国から LNG を輸入してガス発電を行う。燃焼により発生した CO2 を相殺するカーボンクレジットを海外で購入する。

上記 9 パターンのうち、⑧と⑨については、供給システムとしては現状と何ら変更がなく、技術開発要素もゼロであることから、優劣の検討対象外とする。あらゆる技術開発に失敗した場合の末路である。ただし、結果的に最も安く済む可能性もある。

①から⑦までの 7 つのパターンのうち、①、④、⑥は、水素生産もしくは炭素

回収といった脱炭素プロセスが国内で完結するとの意味で「脱炭素国内自給作戦」と言えるのに対し、②、③、⑤、⑦は、水素生産と炭素回収のいずれかもしくは両方を海外に依存することになるため、「脱炭素輸入作戦」と言える。

エネルギーセキュリティーの視点に立てば、優劣は明確であり、

① > ④⑥ > ②⑤⑦ > ③

となる。

他方で、コスト面での優劣は、現段階ではなかなか予測が難しい。セキュリティーの面で最も優れている国産グリーン水素(①)がとんでもない高コストになることは福島県浪江町水電解プロジェクトで実証済みであるが、それ以前に、太陽光や風力による発電が今後急速に拡大し、家庭や業務用の地産地消電源として活躍していく中で、そもそも電気が水電解用に回ってくるか、との問題がある。本来の電力供給を差し置いて水素生産のための電力供給が優先されることは、経済合理性からして考えにくい。九州地方など一部の太陽光余剰電力、もしくはベースロード電源たる原子力発電の夜間余剰電力に頼るしかなくなる。そうになると、国産グリーン水素安価大量供給への道は現実にはかなり険しい。

となると、仮に日本国内におけるCO₂貯留の適地が少なく国内貯留が困難であるとの前提に立てば、次なるオプションとして、グリーン水素輸入(②)、ブルー水素輸入・CO₂海外貯留(③)、LNG輸入・CO₂海外貯留(⑤)、LNG輸

入・水素国内生産・CO₂ 海外貯留（⑦）の4つの方式を並行的に追及する必要がある。それぞれの方式について、日本企業コンソーシアムは既に実証に向けて走り出しているが、水素という商品が現在のLNGのようにコモディティー化するまでの間は、ドイツ、中国、韓国などの水素大消費国との間で熾烈な開発・獲得競争を余儀なくされるであろう。

輸入グリーン水素には、産ガス国での発電コストに加え、水電解設備、加工・輸送基地、水素輸送船などのコストが「水素代金」として上乗せされる。また、輸入ブルー水素輸入には、産ガス国での水素改質設備、加工・輸送基地、水素やCO₂を輸送する運搬船、さらにはCO₂貯留のためのコストが、オリジナルの天然ガス価格に上乗せされることになる。大量安定供給のためにいずれのパターンが価格合理性を持つかは、全ての方式の実証を追求する中で判断していくしかない。

ちなみに、⑤と⑦の比較においては、どのみち炭素を回収・貯留するのであれば、何も輸入LNGをわざわざ水素に改質して発電しなくても、現行通りガス発電のままの方が安価で合理的ではないか、との議論がある。しかし、水素のユーザーは発電だけではなく、自動車・航空・船舶、あるいはガス事業などかなり広範な分野に及ぶこと、そして、輸入水素のみに頼ることとなれば「脱炭素ナショナリズム」によって自国優先あるいは価格高騰のリスクに常に晒される恐れが

あることから、多少の先行コストがかかるとしてもやはり水素の国産化が理想である。将来の水素輸出国の可能性を考えても然りである。要すれば、先ずは全てのオプションを持つことが重要である。

以上の前提を元に戻し、CO₂の国内回収・貯留がある程度可能になってくると仮定すれば、優劣は全く変わってくる。経済産業省及び環境省において2018年度から3年越しでCO₂貯留適地調査を実施してきたが、最新の3D探査によれば、約90億トンのCO₂貯留可能量が推計された。現在の年間CO₂排出量が12億トン程度、10年後にはこれが約7億トン程度まで減少、合成ガスの原料やCCUの開発によって相当量が再利用されることとなれば、理論値としては数十年分、おそらく21世紀内はカーボンマネジメントが可能となる。勿論、実用化に向けては更なる技術開発、原子力の使用済燃料最終処分と同様に文献調査から本格的な地質調査と社会的受容性の問題に立ち向かわなければならないが、いずれにせよ避けては通れぬ課題である。CCSのコストとリスクは全て国家が負うとの原則を早く明確にし、立法措置の検討に入るべきである。

5. 鍵を握る中国・ロシアとの協力

脱炭素社会を構築する上で、米国、欧州との協力が欠かせないことは言うまでもない。日本、米国、欧州が先頭を切って脱炭素先端技術を磨き、ベストプラクティスを共有しながら、産業用、輸送用、業務用、家庭用各分野での省エネルギーやエネルギー転換を主導し、発展途上国に伝授していく。これが10年程前までのビジネスモデルであった。ところが、それ以降、現実には起きたことは、原子力、再生可能エネルギー、高効率ガス発電、高効率石炭発電、蓄電システム等々いずれの分野においても、米国や欧州のエネルギージャイアンツが中国市場を獲得する過程で中国企業に技術を伝授し、性能で勝る日本製品よりも遥かに大きな世界市場シェアを獲得するようになった。中国企業が自ら国内生産体制を可能にすると、今度はASEANや中東の市場で、日本企業と中国企業が熾烈な入札競争を繰り返すこととなるが、実は、真のライバルは中国企業の面をかぶった欧州企業や米国企業であり、日本企業は技術競争よりも価格競争で連戦連敗の苦境に立たされる。ODAという甘い風土で馴らされた日本勢はPPP/PFIへの移行過程でマーケティング力を失い、アジアや中東の市場における存在感を徐々に低下させた。悪いのは勿論、ライバルたる欧米企業や中国企業ではなく、日本政府や企業の先見性、戦略性、したたかさの欠如である。今後の脱炭素市場においてもこうした失敗を繰り返すことを強く懸念している。

軍事・宇宙・サイバーといった極めて sensitive な分野にあっては、米中の熾烈な競争が続く。こうした分野での日本企業の投資行動も当然その影響を受けざるを得ない。しかしながら、脱炭素戦略は人類益であり、エネルギー消費構造の類似する中国、韓国など近隣諸国との戦略的連携は欠かせない。日中両国は、あるいは韓国も、電力の主要な部分を依然火力発電に頼っている。火力発電を最高燃焼効率まで極め、水素・アンモニアとの混焼からやがて専燃へと展開させていく。最終的には CCS-ready 火力だけを残す。このプロセスは全く共通のものとなろう。やがて水素獲得競争に突入し脱炭素ナショナリズムによる価格高騰を引き起こす前に、水素や炭素のサプライチェーン構築の初期段階から、消費国同士が連携し、資源国と消費国による対話、いわゆる産消対話の枠組みを日中主導で設けるのも悪い企画ではない。

そしてロシア。もとよりロシアは、日本に最も近接する石油・天然ガスの世界有数埋蔵国である。地理的近接性はエネルギーの価格競争力に直結する。サハリンプロジェクトから北極 LNG、ヤマル LNG へと、日本とロシアは緊密なエネルギーパートナーとして関係を強化してきた。石油・天然ガスの世界市場が徐々に縮小する中で、脱炭素時代の新しいエネルギー供給構造をロシアとしても模索していくことになろう。

水素と炭素が循環する大きなサプライチェーン形成の中で、日本とロシアの役割は益々重要になる。エネルギーや医療、都市システムなど、日本とロシアの産業協力をさらに進め、日ロ関係を更に前進させるべきである。