

カーボンニュートラルに向けた日本の貢献

- 数値目標の達成を越えて -

辻 嘉之*

目次

はじめに	1
I. カーボンニュートラルが意味するもの	2
II. 世界の現況と日本の立ち位置	3
III. 日本のCO ₂ 削減目標の変遷	4
IV. 横並び意識にとらわれた日本の目標値	5
V. 第6次エネルギー基本計画（素案）について	6
VI. 原子力発電をどう考えるか	9
VII. 日本の強みを生かした貢献を	10
おわりに	11
【編集委員会からの質問】	12

はじめに

パリ協定以降、世界はカーボンニュートラルに向けての動きを加速させている。日本では、菅首相が昨年10月、2050年までにカーボンニュートラルを実現するとの方針を表明し、さらに今年4月の気候サミットにおいては、2030年度に2013年度比で温室効果ガスを46%削減するとの目標を打ち出した¹。それ以前の目標は13年度比26%減であるから、削減量は大幅に上積みされたことになる。

この目標値は、対策の積み上げから導き出されたものではなく、政治的なトップダウンで決定された極めて野心的なものである。そして、その目標を達成するには、少なくとも短中期的にはかなりの副作用を覚悟する必要があるだろう。しかし政府は、俗耳に入りやすいカーボンニュートラルの「あるべき論」は積極的に唱えても、その過程で予想されるエネルギーコストの上昇や経済・雇用への悪影響、あるいは目標達成のために原子力発電に期待される役割、再エネ大量導入にともなう負のインパクトなど、いわば「見栄えがしない」議論や情報発信にはいたって消極的であるように思われる。

* 株式会社アジアエネルギー研究所 主席研究員

¹ 菅首相は「さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく決意」とも表明しており、46%は最低限の必達目標と位置付けているように思われる。

そこで本稿では、より身近で具体的な2030年の46%削減目標に関し、政府が光を当てたがらない側面について検討するとともに、日本が果たすべき役割について考えてみたい。

最初にⅠ.でカーボンニュートラルの意義を明らかにした上で、Ⅱ.で世界の現況と其中での日本の立ち位置を確認する。次いでⅢ.において、日本のCO₂削減目標の歴史を振り返り、それを踏まえてⅣ.では今回の目標の当否について考える。Ⅴ.では、その目標達成に向けて立案された第6次エネルギー基本計画（素案）の問題点を検討し、Ⅵ.において、成否のカギを握ると考えられる原子力発電の課題を取り上げる。最後のⅦ.では、地球温暖化対策において、日本がその強みを生かして世界に貢献する方途を展望する。

Ⅰ. カーボンニュートラルが意味するもの

「カーボンニュートラル」とは、気候変動の原因となる二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）等の温室効果ガス（GHG）の人為的な排出を全体としてゼロにすることを意味する。もとよりあらゆるGHGの排出をゼロに抑えるのは現実問題としては極めて困難であるので、森林等による吸収や、ボイラー排ガスなどからのCO₂除去・固定によって、収支をゼロにするのが「カーボンニュートラル」の考え方である。

日本では排出するGHGの9割以上をCO₂が占めており、そしてそのCO₂の殆どが石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料の燃焼で発生するものである（図表1）。すなわち、カーボンニュートラルの問題とは、化石燃料の利用を今後どう減らし、あるいは別のエネルギーへと転換していくかという、エネルギー問題にほかならない。

【図表1】日本が排出するGHGの物質別シェア（2019年度実績）

物質 (内訳)	二酸化炭素 (CO ₂)		メタン (CH ₄)	一酸化二窒素 (N ₂ O)	代替フロン 等4ガス	計
	(エネルギー起源)	(非エネルギー起源)				
シェア	91.4%	84.9%	2.3%	1.6%	4.6%	100%

（国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」を基に作成、なお四捨五入の関係で合計が合わない）

エネルギー起源のCO₂排出量については、以下の「茅恒等式」が国際的にもよく知られている²。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \textcircled{1} \frac{\text{CO}_2 \text{ 排出量}}{\text{エネルギー消費量}} \times \textcircled{2} \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{GDP}} \times \textcircled{3} \text{GDP}$$

この式から、③経済活動（GDP）に悪影響を与えることなくエネルギー起源のCO₂排出量を削減するためには、①エネルギー消費量当たりのCO₂排出量の低減、すなわちエネルギー供給（特に電力）の低炭素化を図ること、および、②GDP当たりのエネルギー消費量の削減、

² 茅陽一東京大学名誉教授が、CO₂排出を要因別に分解するため1989年に考案されたもの。その後、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）報告書をはじめ、世界で幅広く利用されている。

すなわちエネルギー生産性を向上させること(省エネや、いわゆる経済とCO₂排出のデカップリング)、この二つしか道はないことが分かる。

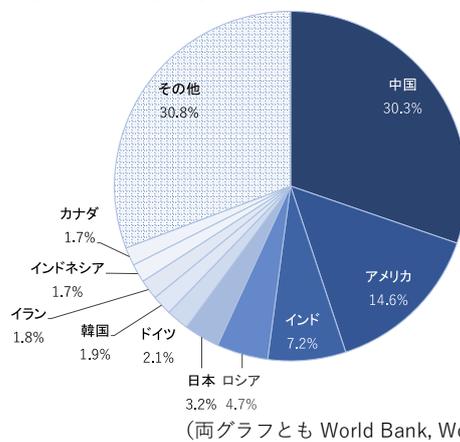
なお、CO₂削減目標の数値に関して、日本のように排出総量の削減を目標とする国が多いが、次のII.で紹介する中国のように、「GDP当たりの排出量」の低減を目標として示す国もある。この場合は排出総量は必ずしも減少しない。各国間の数値目標を比較する際には注意が必要である。

II. 世界の現況と日本の立ち位置

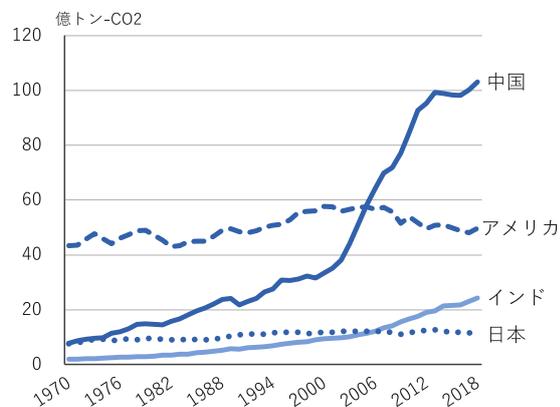
日本がCO₂排出量を削減する根本の理由は、いうまでもなく地球規模の問題である気候変動の解決に向けて少しでも貢献することである。そこで、まずは世界の現況がどうなっているのか、その中で日本のCO₂排出量はどのような位置づけとなるのか、その全体像を把握しておきたい。

2018年時点での日本のCO₂排出実績は世界第5位であり、世界有数の排出国であることに間違いはない。ただし、図表2のとおり、現在、世界で圧倒的な大排出国は中国であり、その量は2位アメリカの2倍、日本の9倍以上に達する。2000年から2018年までの間に排出量は約70億トン(CO₂換算、以下同じ)(図表3)も増加しているが、これは日本が新たに5~6個誕生したのに相当する³。

【図表2】国別CO₂排出割合(2018年)



【図表3】CO₂排出量の推移



その中国は、GDP当たりのGHG排出量を2030年までに05年比で65%ないしそれ以上削減するとの目標を掲げる。中国のGDP成長率が年平均4.7%⁴とした場合、この目標通りの削減に成功したとしても2030年のCO₂排出量は170億トンを超える、すなわち現状からさらに70億トン

³ なお、中国の一人あたり排出量についても、1990年当時は日本の22%程度だったものが、2018年には85%程度にまで接近している。

⁴ 昨年11月に中国が2021~25年の第14次5カ年計画の草案を公表した際、習近平国家主席は「35年までにGDPを2倍にすることは完全に可能」と述べている。15年で2倍にする場合の年平均成長率は約4.7%となる。

以上増加しうることになる。要するに中国の「削減」目標は、その言葉とは裏腹に、CO₂排出のフリーハンドを堅持すると宣言しているに等しい。さらにインドなどからの排出も大きく増加すると見込まれており、こうした流れの中で日本の削減分はほとんどかき消されてしまうといっても過言ではない。

もちろん、他国がCO₂を大量に排出するからといって、日本が排出削減努力を放棄してよい理由には全くならない。しかし同時に、国内の排出削減対策ばかりに目を向けていても、地球規模の気候変動問題への貢献としてはわずかなものに過ぎないこともまた事実である。

III. 日本のCO₂削減目標の変遷

今回の46%削減にいたる道筋についても振り返っておきたい。これまでの歴史に学ぶところがあると考えるからである。

まず、1997年、気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）で京都議定書が採択され、第一約束期間（2008年～12年）において、1990年比で日本6%、アメリカ7%、EU8%のGHG削減目標が定められた。この日本の目標値については、アメリカの民主党ゴア副大統領が嵩上げを強く迫った結果として決められたと言われているが、そのアメリカは共和党への政権交代後の2001年に京都議定書の枠組みから離脱している。またEUの目標は、見た目の大きさに関わらず達成が比較的容易なものであった⁵。一方、もともと省エネが進んでいて改善幅が小さかった日本は、国内の削減努力だけでは到底目標に届かず、森林吸収や京都メカニズム⁶の助けを借りるしかなかった。結局、官民合わせて4億トンの排出権を海外から購入して1兆円以上の国富を流出させ、なんとか辻褄を合わせたというのが実態である⁷。

2009年6月、日本は、第一約束期間終了後に向けた新たに中期目標として、2020年に2005年比15%減との目標を掲げた。この目標の決定に際して当時の麻生内閣は、中期目標検討委員会が半年にわたって技術的可能性やコストの分析などを行って策定した6つの選択肢を国民に提示したうえで、全国で意見交換会を開催（5か所計6回、参加者約1,000人）し、またパブリックコメントのほか特別世論調査も実施している。

このように非常に入念なボトムアップアプローチで決定された目標値ではあったが、わずか3か月という短命に終わった。同年8月の総選挙後に民主党政権が誕生、9月に鳩山首相が

⁵ EU域内では、90年の東西ドイツ統合の結果、東側のエネルギー効率が急速に改善したこと、90年代に英国で石炭から天然ガスへの燃料転換が進んだことから、90年を基準としておけば自ずと排出量は大きく減るかたちになる。この英独2か国だけでEUの排出量の半分程度を占めていたうえ、目標は国別ではなくEU全体として達成すればよい、という自らに都合のよいルールを設定したため、目標達成の難易度は低かった。

⁶ 複数国が協働して削減した排出量を、クレジットとして国をまたいで移転可能にする仕組み。

⁷ 京都議定書の交渉前から国内努力だけで達成できるのは0.5%程度と見込まれており、それを6%に嵩上げするのは森林吸収や京都メカニズムを目一杯活用することを前提としていた。つまり、巨額の国富が流出することは、京都議定書が採択された時点で既定の流れだったと言ってよい。

国連気候変動サミットにおいて、1990年比25%削減という目標を打ち出したからである。翌2010年に改定されたエネルギー基本計画では、2030年までに原子力を少なくとも14基新增設し発電電力量に占めるシェアを53%にまで高めるといった絵姿が描かれたが、それにはこの25%目標との数字合わせという側面があったことは否めないだろう。

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故後、日本は火力への依存度を大きく高めることを余儀なくされた。こうした状況を踏まえて、2013年に削減目標をゼロベースで見直し、2020年度に2005年度比3.8%減を新たな目標とした。震災後はいずれにせよ目標見直しが不可避であったとはいえ、なまじ25%という目標を一旦掲げてしまったがばかりに、この下方修正はなおさら国際的に強い批判を招くこととなった。

次いで2015年末には、「技術的制約、コスト面の課題などを十分に考慮した裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実現可能な削減目標として」2030年度に2013年度比26%減とする国別削減目標を国連に提出した。そしてこの目標実現に向けたエネルギーミックスのあり方について検討を重ね、2018年に現行の第5次エネルギー基本計画が策定・公表されている。

【図表4】

時期	項目	基準年	目標最終年	削減目標	基準排出量	排出目標量	削減量
[年]		[年(年度)]	[年(年度)]	[%]	[億トンCO ₂ 換算]	[億トンCO ₂ 換算]	[億トンCO ₂ 換算]
1997	京都議定書	1990	2012	6	12.75	11.99	0.77
2009	麻生内閣中期目標	2005	2020	15	13.81	11.74	2.07
2009	鳩山内閣中期目標	1990	2020	25	12.75	9.56	3.19
2013	震災後の新目標	2005	2020	3.8	13.81	13.29	0.52
2015	COP21 前の新目標	2013	2030	26	14.08	10.42	3.66
2021	菅内閣の新目標	2013	2030	46	14.08	7.60	6.48

(国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」を基に作成、なお四捨五入の関係で合計が合わない)

IV. 横並び意識にとらわれた日本の目標値

いうまでもなく、世界の国々はそれぞれ異なった特徴がある。優先して取り組むべき政策課題が異なるのは当然であるし、CO₂排出に関連する事項だけに着目しても、国内のエネルギー資源の賦存状況、気象や地形などの自然環境、経済・産業構造、これまでの省エネや脱炭素化の取り組み、エネルギー輸入手段（パイプラインかタンカーか、送電線の国際連系の有無など）など千差万別である。

そうした現実的な要素を捨象し、他国との横並び意識にとらわれて、背伸びしすぎた削減目標をトップダウンで決めたところで、公平性も実効性もなく結局うまくいかない。それが京都議定書から日本が学んだ教訓であった。そこで日本は、紆余曲折はあったものの、概ね一貫して実現可能性を踏まえた国内での削減目標を策定するとともに、国際交渉の場では、各国がそれぞれの国情を織り込んだ自主的な削減目標を設定し、その達成に真摯に努力する

というボトムアップアプローチを粘り強く提唱し続けてきた。それが多くの国々の理解を得て結実したのがパリ協定だったはずである。

ところが今回の菅首相による46%目標の表明は、またしても国情を無視して数字上の横並び意識にとらわれた、京都議定書の世界に逆戻りしたかのようである。そしてまた、鳩山首相が、実現可能性の裏打ちなく表明し、その後のエネルギー基本計画が数字合わせを余儀なくされた25%目標と同じ轍を踏んでいるように思える。

第6次エネルギー基本計画の検討は2020年10月から始まっているが、菅首相が唐突に46%削減目標を表明した2021年4月は、その検討がまだ続いていた最中のことであった。そして、7月に公表されたこの計画の素案は、降って湧いたような46%⁸との無理な数字合わせであるとの批判を各方面から浴びている。そこで以下、この素案の内容を検討する。

V. 第6次エネルギー基本計画（素案）について

第6次エネルギー基本計画の素案では、46%の削減の内訳が概略以下のように示された。

まず、46%削減の基準となる2013年度の排出量はCO₂換算で14億800万トンなので、これを2030年度までに6億4800万トン削減し、7億6000万トンに抑えるのが今回の目標ということになる。また、温室効果ガスの8割以上を占めるエネルギー起源CO₂の排出量は、2013年度の12億3,500万トンを30年度に約6億7,700万トンへ約45%削減、そのうち電力由来のCO₂については、5億7200万トンから2億1,900万トン程度へと約62%の大幅な削減を目標としている。

(1) 電力需給の見通し

電力需要については、「カーボンニュートラルが実現した社会では、産業・業務・家庭・運輸部門における電化の進展により、電力需要が一定程度増加することが予想される」との記述があり、また2030年度の見通しにおいても、経済成長や電化率の向上等による電力需要の増加「要因」が予想されるとしている。それにもかかわらず、2030年度時点の電力需要量は、省エネの「野心的な深掘り」によって、2013年度の約9,896億kWhから約8,640億kWhへと逆に13%程度も減らすことができるとしており、不自然な印象を免れない⁹。

電力供給サイドでは、原子力の比率は現行目標と同じ「20～22%」が維持されている。ただしこれは、再稼働が申請された27基のすべてが設備利用率80%程度で運転してはじめて達成できる大きな数字である。震災後10年を経た現在でも27基中再稼働したのは10基、2020年

⁸ 第6次エネルギー基本計画を検討していた総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の橘川委員は、4月28日の会合において、「本来は、ここで決めた（エネルギー）ミックスに基づいて（削減目標の数値）が出てくるというのが筋だと思うのですが、これが全くひっくり返ってしまったので、私は30年の（エネルギー）ミックスをつくる意味があまりなくなりました」と発言している。

⁹ 2013年から2030年にかけての経済成長率を年平均1.4%とおいた上での試算値である。経済規模が縮小すれば電力需要が大きく減少することもありうるが、もちろんそれは誰も喜ばないシナリオである。

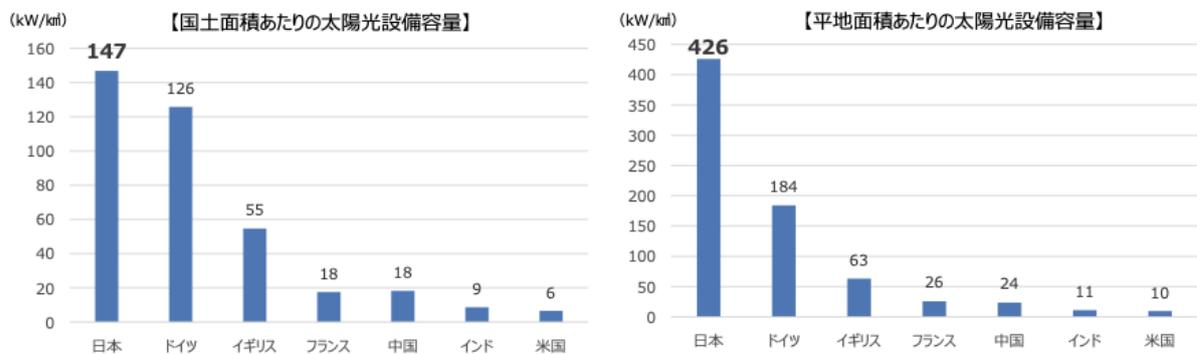
度の設備利用率が約13%で全発電量の4%程度のシェアしかないことを考えれば、目標達成へのハードルは相当に高い。また、現在主力の火力については、LNG電源は37%から20%程度へ、石炭は32%から19%程度へと大きくシェアを落とすとしている。

(2) 再生可能エネルギーの導入

一方、大型水力を含む再生可能エネルギーの比率は現状の18%程度から36～38%へと大幅に拡大することを見込んでいる。例えば2030年の太陽光発電の野心的導入目標は約1,290～1,460億kWhと、2019年度の690億kWhから倍増させるとの計画だ。

しかし、国土面積あたりの太陽光導入容量を見れば日本は主要国の中で最大、平地面積¹⁰あたりでドイツの2.3倍にも達する（図表5）。適地が減少するなかで林地を切り開いて太陽光発電施設を設置する事例も増加しており、その面積は2012年から19年までの間で合計約150km²に及ぶ¹¹。土砂災害や景観を中心に問題も全国各地で多発し¹²、開発を規制する条例も相次いで制定されている。種類によっては鉛やカドミウムなどの有害物質を含む太陽光パネルが大量に廃棄される時期も必ずくる。こうした課題を抱えつつ、今後わずか10年程度で容量を倍増させるというとき、私たちは引き換えに何を失うのか。CO₂削減を急ぐあまり、現在の議論は前のめりにすぎるのではないか。

【図表5】面積あたりの各国太陽光設備容量



（出典：経産省 第31回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 資料2）

(3) 発電コストについて

電力のコストに関しては、今年7月、新聞各紙に「太陽光発電費、原発より安く」¹³などと報じる大見出しが踊った。経産省のワーキンググループ（WG）で、2030年時点では事業用太陽光の方が原子力より安くなるという試算結果が報告されたという内容だが、これは深刻な

¹⁰ 国土面積から森林面積を差し引いたもの。

¹¹ 太陽光発電施設のために林地開発許可を受けた面積（出典：林野庁「林地開発許可制度の推移表」）。ちなみにこの面積をよくある東京ドームで表現すれば3,100個以上になる。

¹² 林野庁「太陽光発電に係る林地開発許可基準の在り方に関する検討会報告書」（令和元年9月）

¹³ この例は、2021年7月13日の日本経済新聞朝刊1面

誤解を招きかねないものであった。この時の試算結果には、電源を電力システムに受け入れるコスト、すなわち「統合コスト」¹⁴が考慮されていないからである。

発電量が日射量や風速に依存するなど、従来の電源にはない特性を有する太陽光や風力発電を電力システムに受け入れるには、相対的に大きなコストがかかる。したがって、それらが大量導入される場合には、従来の電源別発電コスト分析だけでは不十分で、統合コストも併せて考えなければ電力供給コストの全体像が把握できない、という認識がいま世界各国で広がりつつある。すでにOECDのほか、アメリカやイギリスなどでも試算が行われ、政策にも活用され始めている。

日本でも、8月に前述のWGで、そうした統合コストの一部¹⁵を考慮した発電コストの試算結果が報告されている。統合コスト分析にはまだ国際的に確立された手法がないなど一定の留保はつくが、そこでは2030年の事業用太陽光発電は19.9円/kWhで、LNG火力の10.3円/kWh¹⁶や原子力の14.5円/kWhよりも高くなることが示されている¹⁷。

【図表6】2030年の電源別発電コスト試算



(経産省 発電コスト検証WG「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」(令和3年9月14日差替版)を基に作成)

試算にはコストの一部しか含まれていないことなども踏まえれば、今後、電力コストは上昇すると考えて良いだろう¹⁸。一方、経産省の別の作業部会が、再エネに関心をもつ事業者を対象に「100%再エネ電力へ切替えるとして、kWhあたりいくらまで許容できるか」という

¹⁴ 電力システムは瞬時瞬時に需要量と供給量とをバランスさせる必要があるため、自然に出力が変動する太陽光や風力などが大量に導入されると、火力をはじめ他の電源はその変動を補うために運転を調整しなければならない。その際、設備利用率や発電効率の低下、揚水式水力発電でのロスなどが発生し、これが追加的なコストとなる。

¹⁵ 今回の試算には、再生可能エネルギーの大量導入に必要な電力システムの増強、再エネ発電量の予測誤差への対応、電力システムの安定に重要な慣性力(太陽光や風力は現状ではこれを殆ど持たない)の維持に関するコストは含まれない。

¹⁶ 出力を柔軟に制御しやすいLNG火力を電力システムに追加すると、システム全体の調整力が向上し、太陽光や風力の出力変動をより多く吸収できる。そのため石炭火力は出力調整や起動停止をする必要性が減って発電効率の低下が抑えられ、燃料費が節約できるので、結果的に、LNG火力の「統合コストの一部を考慮した発電コスト」は逆に低下する。

¹⁷ 8月に報告された試算値はその後改訂されている。ここで引用した値は執筆時点での最新値である。

¹⁸ 今回の発電コストは、2030年に発電所を更地に建設・運転するとの仮定で試算されたものであって、既存の発電設備を稼働(あるいは再稼働)する場合のコストではない点にも留意が必要。

主旨のアンケートを行ったところ、0円（全く許容できない）が36%、0.1-0.3円が34%という結果であった¹⁹。つまり、たとえ再エネ100%電力であっても、多くの事業者はそう簡単にコスト増を受け入れられるような状況にはない。この点はもっと強く意識されてしかるべきである。

VI. 原子力発電をどう考えるか

前述のとおり第6次エネルギー基本計画の素案では2030年の原子力比率を2割程度としているが、それでも相当「野心的」に再生可能エネルギーを積み上げ、また電力消費量を削減するということにしなければ46%削減という絵姿が描けなかった。すなわち、たとえ原子力の再稼働が進まずその発電量が不足しても、再エネや生産性の向上などでその穴をカバーする余力はなく、結局火力発電で埋め合わせる以外にない、ということだ²⁰。

それでも削減目標を死守するなら、海外からまたしても大量のクレジットを買っていたずらに国富を流出させることになるし、さらには茅恒等式からも分かるように、最後はGDPの縮小にまでつながる²¹。つまり、もし46%削減を必達目標とするのなら、原子力の十分な再稼働も必達目標であるはずだ。

ところが政府には、原子力の再稼働あるいは新設、リプレースを積極的に推進するような意思も、あるいはそのことの是非を国民に正面から問う姿勢も見られない。原子力を活用する場合、しない場合の比較衡量も見えてこない。野心的な目標設定をしたところで、国民一人ひとりの理解と協力なくして達成しえないものである以上、たとえ大所高所からの政治的な決断だとしても、その背景や根拠、あるいは信念などを丁寧に分かりやすく国民に説明することは必須である²²。「由らしむべし、知らしむべからず」では民主主義国家とはいえない²³。

¹⁹ 第56回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会 資料3

²⁰ 燃焼時にCO₂を排出しない燃料として水素やアンモニアが将来の有力な選択肢とされているが、2030年時点では総発電量の1%程度しか賄えないというのが第6次エネルギー基本計画での見立てである。

²¹ 前述のとおり、カーボンニュートラルはCO₂排出抑制に加え、森林等による吸収や、排ガス等からの除去・固定との組み合わせで達成するものであるが、前者は日本では4,590万トン（2019年実績）で、大幅な増加は望めない。また、後者の技術も2050年を見据えたものであって、2030年では実質的な貢献は期待できない。

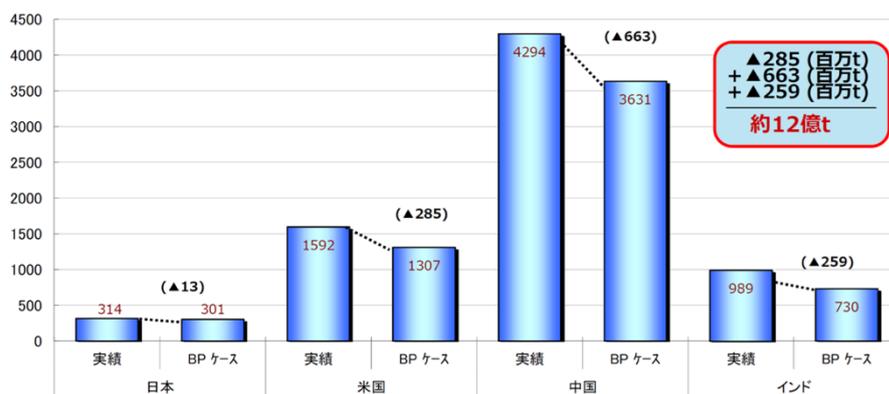
²² 麻生内閣時に国民に提示された選択肢にはGDPや失業者数、可処分所得への影響が数値で示されている。さらに首相は記者会見で、2005年比15%減の目標達成には、1世帯あたり年間で、可処分所得の減少と光熱費増加を合わせて約7万6,000円の負担が生じるとの試算を明らかにしたうえで、国民の理解と協力を求めた。

²³ 菅首相は46%の根拠について漠然と「経産省、環境省、政府を挙げて積み重ねてきた結果」としか述べず、小泉環境大臣にいたっては、民放のインタビューで「おぼろげながら、浮かんできたんです。“46”という数字が」と答え、多くの人々を驚かせた。

VII. 日本の強みを生かした貢献を

前述のとおり、日本のCO₂排出量は世界の3%程度である。つまり、日本の排出削減だけにしか着目しないのであれば、どれほど頑張ろうともせいぜい3%分の貢献しかできないということだ。日本の排出削減ばかりを主張する人たちは、本当にその程度で満足なのだろうか。

カーボンニュートラルは、現在の技術の延長線上にはなく、中長期的に、非連続的な技術革新を積み重ねていって、ようやく達成できるものである。そして日本は、そのような技術革新を成し遂げる実力のある数少ない国のひとつである。日本の真の貢献はまさにこの点にあるのではないか。実際、これまでもLED、ハイブリッド自動車、あるいは電気自動車の基幹部品であるリチウムイオン電池など、日本人や日本企業がその開発・実用化に深く関わった技術が、世界規模で相当量のCO₂削減に貢献してきている。日本の高効率石炭火力技術も同様に、世界のCO₂排出量を大きく削減するポテンシャルを持つ（図表6）。

【図表7】石炭火力発電からのCO₂排出実績（2014年）と日本の最高効率適用ケース

出所：資源エネルギー庁「さまざまなエネルギーの低炭素化に向けた取り組み」2018年2月18日
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/co2sakugen.html>

左のグラフは、日本が持つ石炭火力発電技術のベストプラクティス（BP：最も効率的な発電方式）である超々臨界圧発電（USC）を、もしアメリカ、中国、インドの石炭火力発電に適用すれば、どれだけのCO₂削減効果が得られるかを示している。この3か国だけで合計約12億トン削減されることになり、これは日本全体の排出量に匹敵する。

ただし、こうした技術革新は幅広い産業の集積があってこそ初めて可能になる。自国からの排出削減にこだわるのが、日本のエネルギーコストをさらに高いものにして企業を疲弊させ、あるいは産業の国外への流出を加速させるのだとすれば、要するにそれは日本をせいぜい3%の貢献しかできない国にしてしまうということだ。

他国との横並び意識にとらわれ、あるいはその目を気にして萎縮し、国内での削減ばかりに狂奔しても地球全体への貢献は限られたものにとどまる。そうではなく、広く世界の現状を見渡し、その中で自らの強みを生かして「身の丈」を超える大きな貢献を目指す。それこそが高い技術開発力を有している国として、また長く大量にCO₂を排出してきた国であるという観点からも、日本にふさわしい責任の果たし方といえるのではないか。

おわりに

エネルギー政策の原則は、安全確保を大前提としつつ、基本的な「3つのE」（安定供給、経済効率性、環境適合性）のバランスを取ることにある。近視眼的な部分最適に陥れば必ずその反動で別の問題が生じる。だからこそ、46%削減を金科玉条とすることなく、常に「3つのE」の最適バランスを意識し、柔軟に軌道修正していく姿勢が求められる。

またCO₂の削減を、人びとに不便や我慢を強いるようなものにしないことも大切だ。人は長期にわたるストレスに耐えられないことは、新型コロナ禍の教訓のひとつである。

そして、エネルギー供給は、インフラの整備にせよ資源の安定的な調達にせよ、非常に大規模で長年の地道な努力の積み重ねがものをいう世界であり、その時間軸で見れば、2030年はもちろん、カーボンニュートラル達成の目標年である2050年までに残された時間も、それほど多くはない。だからこそ、これは地球全体の問題であるという本質を見誤ることなく、日本国民および世界各国と丁寧に対話しつつ、日本の進むべき道筋をつけること。これが、歴史の大きな分岐点となる今のエネルギー・環境政策に求められていることである。

(以上)

【編集委員会からの質問】

2050年に向けたCO₂削減目標は確かに唐突感があり、そのプロセスが曖昧であることが良く理解できました。

Q 1：基本的なことで恐縮ですが、世界各国の排出ガス削減目標への取組をどう理解したらよいのでしょうか。下記表は、各国の排出ガス削減目標資料です。

国・地域	2030年目標
日本	-46% (2013年度比) 更に、50%の高みに向け、挑戦を続ける
豪州	-26 ~ -28% (2005年比)
ブラジル	-43% (2005年比)
カナダ	-40 ~ -45% (2005年比)
中国	(1) CO ₂ 排出量のピークを 2030 年より前にすることを目指す (2) GDP 当たり CO ₂ 排出量を -65%以上 (2005 年比)
仏・独・伊・EU	-55%以上 (1990 年比)
インド	GDP 当たり排出量を -33~-35% (2005 年比)
韓国	-24.4% (2017 年比)
ロシア	1990 年排出量の 70% (-30%)
英国	-68%以上 (1990 年比)
米国	-50~-52% (2005 年比)

これを見ると、各国間のバランスがどう取れているのか、良く分かりません。各国の自発的な目標で国際間交渉は必要ないのでしょうか。また、(ペナルティ賦課等) この達成は義務付けられるのでしょうか。

また、この表から日本の排出ガス削減目標-46%はどう評価されるのでしょうか。

A 1：各国の目標のバランスについて

CO₂排出削減については、その費用が各国負担なのに対して便益は地球全体に及ぶため、必ずフリーライダーの問題が発生します。そのため、各国間での公平性・衡平性確保はとりわけ重要な課題です。

パリ協定では、各国の目標の妥当性を確保するために、次のような仕組みを取り入れています。まず各国は5年ごとにGHGの排出削減目標を国連に提出します。その進捗状況については、「隔年透明性報告書(BTR)」で2年ごとに報告し、技術専門家による審査を受けなければなりません。これには、少なくとも10年に2回の訪問審査も含まれます。さらに、促進的多国間検討と呼ばれるプロセスでは、複数の締約国参加のもと、書面および口頭による公開の質疑応答も行われます。各国の目標が全体としてパリ協定上の長期目標と整合的であるかどうかは、5年ごとに実施される「グローバルストックテイク」で総括されます。そして、各国はその結果を踏まえて自国の目標を見直し、継続的に改善を図っていくこととされています。

このようにパリ協定には一種のPDCAサイクルが組み込まれています。各国の努力の度合いについては、このプロセスのなかで評価され、衡平性が図られていくと期待されます。なお、パリ協定下での最初のBTR提出期限が2024年末となっているなど、このプロセスはまだ一巡していません。

(1)ペナルティについて

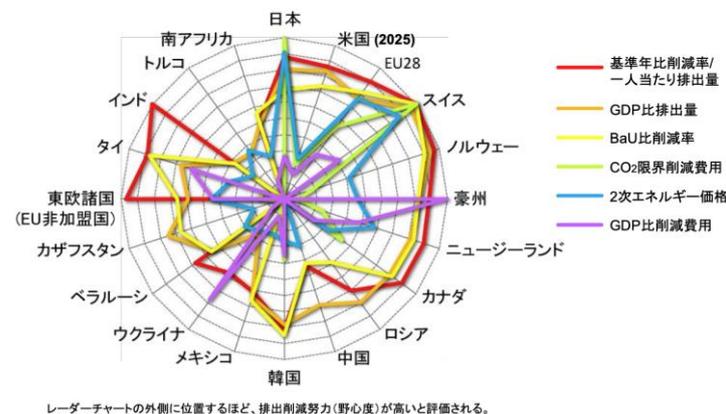
パリ協定自体は法的拘束力のある枠組みですが、そこで義務付けられているのは目標達成ではなく、上記のプロセスに従うことです。つまり、目標達成をペナルティではなく、いわば国際社会からの圧力によって担保しようとする仕組みだといえます。

ちなみに、1997年に採択された京都議定書では、数値目標の達成が法的に義務付けられており、その目標未達に対して罰則もありました。しかし、京都議定書の枠組み内に留まって努力しても、結果として目標未達なら罰則が適用され、アメリカのように枠組みから脱退してしまえば罰則が課せられることはない、というのはあまりに不公平です。罰則の存在が、国際的枠組みからの脱退を誘発し、かえってその実効性を損なうことにもなります。パリ協定の考え方は、このような京都議定書での経験、反省を踏まえたものであるといえると思います。

(2)日本の目標について

各国の目標をどのように客観的に評価するかは大変難しい問題です。下にご紹介するのは、2016年に地球環境産業技術研究機構（RITE）が行った、複数の指標から各国の目標の「野心度」を測る試みです。

現在の各国・地域の目標は2016年当時よりおしなべて引き上げられています。日本も26%から46%へと大幅に引き上げたことを考えれば、日本の目標値は諸外国と比べても十分すぎるほどに野心的と言えるのではないかと思います。



(出所: https://www.rite.or.jp/system/events/Akimoto_ALPSII_2016.pdf)

Q 2 : 中国は数値目標は曖昧だと思いますが、EV自動車の義務付け等国の姿勢としてはかなり排出ガス削減政策に前向きとも受け止められます。これをどう、評価すれば良いのでしょうか。また、アメリカはどの程度この削減目標に対して義務感を持っているのでしょうか。

A 2 : (1)中国の排出削減政策について

中国の温室効果ガス排出削減政策は非常にしたたかで、かつ賢明であると思います。まず外交面を見ると、中国の最大の競争相手であるアメリカは、トランプ政権当時にパリ協定から脱退を宣言するなど、温暖化問題には後ろ向きでした。これは、中国にとっては、温

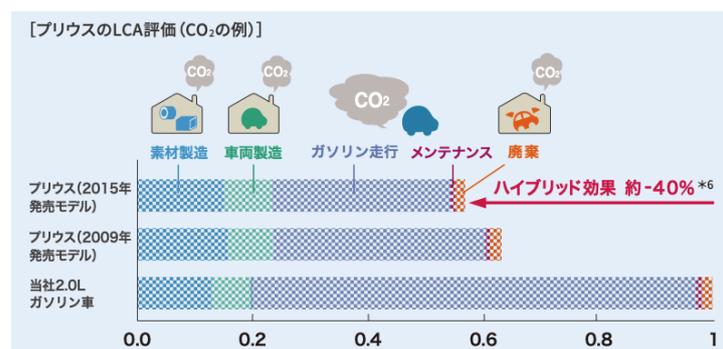
暖化問題に積極的な姿勢を打ち出して、自らをアメリカにかわる新たなリーダーとして世界に印象づける絶好の機会にうつつたのではないかと思います。アメリカと、環境問題に積極的なEUとの間にくさびを打ち込む効果もあります。

また、中国国内では大気汚染問題をはじめとする公害問題が一時は特に深刻でしたから、政府はこれに真剣に取り組まざるを得ません。その過程では、たとえば旧式で低性能なボイラーの高性能なものへの更新などが必ず進みます。従来が低性能であった分、更新によって得られる省エネメリットは大きく、対策には高い費用対効果が見込めます。実際、先にご紹介したRITEの分析では、中国のCO₂限界削減費用はゼロとなっています。これはつまり、成り行きでも自ずと目標が達成できる、ということです（ちなみに、中国の現在の目標は2016年当時と大差ありません）。

要するに、温暖化問題があろうがなかろうが、中国ではエネルギーの利用効率は継続的に改善し、相対的なCO₂排出量は減少します。中国は、こうした状況をうまく使って、温暖化問題に積極的な姿勢を巧みに演出しているように私には思えます。

産業振興という観点でも、中国は温暖化問題を上手に利用しています。例示された自動車についてみれば、従来の内燃機関で競争する場合には、日米欧はまだ中国に対して十分なアドバンテージを有しています。しかし中国は、土俵をEVに移して競争をいったん「リセット」すれば自分たちにも十分な勝機がある、そういう目論見もあってEVの推進を積極的に進めているのだらうと考えられます。

そして、中国の削減目標は、自国産業を不利にしません。対比のため、日本のような目標設定の仕方ではどのような不都合が生じるのか、トヨタ・プリウスを例にご説明したいと思います。下図は、プリウスの製造・使用・廃棄の各段階におけるCO₂排出量を評価したものです。プリウスは、全体として見れば通常のガソリン自動車よりCO₂排出量が大幅に少なくなるものの、その製造段階だけに限定すれば、むしろより多くの排出を伴うことが分かります。



(出所: https://toyota.jp/pages/contents/prius/004_p_007/4.0/pdf/spec/prius_ecology_202106.pdf)

したがって、ひたすら日本国内からの排出削減だけを考えるならば、少なくとも輸出用として国内製造する自動車は、プリウスではなく普通のガソリン車にすべき、ということになります。プリウスを日本で作って世界に供給することは、日本にとっては一種のペナルティになるのです。これをさらに敷衍して考えれば、日本が製造業を持っていること自体がペナルティになりかねない、そういう危険性をはらんでいると思います。

一方、現在の中国の目標は排出の絶対量ではなくGNP比で設定されています。例えば中国は、太陽光発電パネルだけでなく、風力発電でも世界をリードし始めていますが、その製造に使われる電力は石炭火力由来のものが多く、それだけCO₂排出量も増加します。しかし少なくとも当面、そのことと中国の排出削減目標とは抵触しないでしょう。また、安価にこうしたものが製造されるなら、それはそれで世界にとって悪いことともいえません。

このように考えると、中国の「前向き」な姿勢は、国際競争のなかで自国を有利なポジションに持っていくためによく考えられた、非常に戦略性の高いものになっているように思われます。

(2)アメリカの排出削減政策について

アメリカにとって、従来目標の「2025年に05年比で26～28%減」であれば、それほどハードルは高くなかったはずですが。シェールガス革命によって、国内での発電単価は石炭よりガスの方が安くなりました。さらに、既存の石炭火力発電所に低効率で老朽化が進んだものが多いことも相まって、石炭から、CO₂排出が相対的に少ないガスへの代替が自然と進む環境にあります。これは日本などとは全く異なる、アメリカの大きなアドバンテージです。

しかしバイデン大統領になって削減目標は大きく深掘りされ、到底簡単に達成できるものではなくなりました。そのため、インフラへの大規模な投資や再エネ・蓄電への税額控除などが考えられています。

その財源確保のために法人税の引き上げなど、企業増税が必要とされています。しかし、上下院ともに民主党、共和党の勢力が拮抗しているうえ、民主党といえども、産炭州選出議員などにバイデン政権の削減目標に反対を唱えるものがあります。法整備のハードルは相当に高く、公約どおりに政策が進むかは未知数です。

アメリカはこれまで、ブッシュ政権時とトランプ政権時の2回にわたって、国際的な枠組みから脱退した「前科」があります。今後、共和党に政権が交代すれば、また脱退しても不思議ではありません。京都議定書ときはゴア副大統領からの、また今回はバイデン大統領からの圧力もあって目標を引き上げた日本ですが、三たび梯子を外されることも、十分に想定されると思います。

Q 3 : 日本の人口が2050年に向けて大幅に減少するため、排出量が自然減少することが想定されます（一人当たり排出量は同じとして）が、この目標値設定の中で、自然減少部分と新エネ導入等により政策的に対応すべき部分は明示されているのでしょうか。

A 3 : 第6次エネルギー基本計画案のなかで、今後の人口減少については考慮されています。具体的には、国立社会保障・人口問題研究所（社人研）が2017年におこなった推計をもとに、人口や世帯数の減少による内需減少を考慮した上で、2030年度のエネルギー需要が見積もられています。ただし、人口減少分がいくら、新エネ導入分がいくら、というような内訳までもが具体的に公表されているわけではありません。

なお、ご参考までに、上記の社人研の中位推計では、日本に在住する総人口（外国人を含

む)は、2030年には2013年比で約6%、50年には約20%減少するものと見込まれています。また、本文で触れた茅恒等式は、右辺を下記のように変形して、人口の要素を見えやすくしたのも使われています。

$$\text{CO2 排出量} = \textcircled{1} \frac{\text{CO2 排出量}}{\text{エネルギー消費量}} \times \textcircled{2} \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{GDP}} \times \textcircled{3} \frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \times \textcircled{4} \text{人口}$$

Q 4 : 排出ガス削減に向けては、サプライサイドだけでなく、デマンドサイドの政策が必要だと思います。わが国においては、このサプライサイドとデマンドサイドの政策をどう考えているのでしょうか。

A 4 : エネルギーの需要については、第6次エネルギー基本計画案のなかで、「徹底した省エネルギーの推進により、石油危機後の水準を超える大幅なエネルギー効率の改善を見込む」としています。具体的には、産業、業務、家庭、運輸の各部門において、現実的な省エネルギー対策として考えられ得る限りのものを細かく積み上げていった結果として、最終エネルギー消費量を対策前に比して18%程度削減する、との見通しを立てています。

Q 5 : 電源を電力システムに受け入れる「統合コスト」は、(余りわが国では議論されていないと思いますが) 具体的には、どのような内容でしょうか(設備コストか、運転コストか)

A 5 : 統合コストには、以下のようにさまざまなものが含まれます。

(1) 再エネ発電不足時のバックアップコスト

まず、再エネの発電不足に備えた火力等によるバックアップコストがあります。例えば太陽光発電が多くなると、晴天の昼間は火力による発電が最低限にまで絞り込まれます。しかし日没が近づくにつれ太陽光発電は失われていき、一方、需要としては照明が必要になったり、冬季には気温が下がって暖房需要が増えたりします。

つまり、いくら大量に太陽光発電が導入されたところで、この夕方のピーク需要に対しては戦力になりません。風力は太陽光ほど極端ではないにせよ、やはり同様の弱点を抱えています。そのため、従来の発電設備はいつまでも維持し続ける必要がありますが、かといってその多くは夕方の限られた時間帯にしか使われず、夜中も昼間も、つまり1日の大半は「遊んで」います。これがバックアップコストとして跳ね返ってきます。

(2) 火力発電の発電効率低下および起動・停止回数増加に係るコスト

また、再エネの出力変動にあわせて火力発電所も出力を大きく変えなければならず、部分負荷での運転を余儀なくされます。これは発電効率を大きく低下させます。1日のうちに一旦停止し、また起動する場合には、暖機運転のための追加的なコストも発生します。例えば石炭火力100万kW級の場合、定格出力の半分で運転すると発電効率が15%程度低下、また起動・停止にかかるコストは1回あたり1,500万円程度とも想定されており、決して小さくありません。

(3)再エネ発電過多時の出力抑制に係るコスト

一方、再エネが大量導入されると、自然条件いかんでは必要以上に発電することが起こり得ます。しかし電力システムは、瞬時瞬時で需要量と供給量が一致していることが必須です。したがって、もし火力などの出力を絞ってもなお発電過多になるなら、再エネの出力も抑制されます。こうして再エネ発電設備の大量導入が進むにつれ、その稼働率は下がっていきませんが、燃料費のいらぬ再エネは、いいかえれば設備稼働率が下がっても燃料費の節約はありません。ただ固定費の回収が遅れるだけです。このため、稼働率の低下は、火力発電よりもより直接的に、発電コストの上昇につながります。

(4)その他

これらのほかにも、再エネ出力変動を吸収するために揚水発電を利用する場合のロス、日照や風況の予測外れに対応するためのコスト、小規模に分散する電源をつなぐための送配電網拡充のコストや、たとえば風況のよい北海道と本州の間などの地域連系線を強化するコストもあります。さらに、再エネは、電力系統の安定に資する回転質量を殆ど持っていないため、これを補うためのコストも統合コストの一部とされます。

ただし、どの範囲までを統合コストとし、それをどう算定するかについて国際的に確立した考え方はまだありません。今後の技術進展に左右される部分もあります。また、例えば地域連系線の強化には、電力システムの強靱化といったメリットもあるので、そのコスト全てを再エネの統合コストとするのは適切ではありません。こうしたことから、第6次のエネルギー基本計画にあわせて示された統合コストには、上記にご紹介したものの一部しか含まれていません。

Q6：最近、わが国においては（自動車、電力等）水素発電に注力するとの論が聞かれますが、これについては、どうお考えでしょうか。

A6：日本は、世界に先駆けて水素社会実現に向けた取り組みを始めた国のひとつであり、その甲斐あってか特許出願件数で世界一と、技術力で他をリードする存在です。ただしこれは、水素利用が長年をかけてもなかなか実用化レベルには到達しない、非常に難易度の高い技術である、ということの裏返しであるようにも思えます。また、そうした難易度の高さゆえ、ほんの10年ほど前まで、水素社会という日本が掲げるコンセプトに対する世界の視線は冷ややかであった、というのが個人的な印象としてはあります。

近年は、世界的に、水素への注目度が急速に高まってきていますが、コスト低減をはじめ、輸送や貯蔵などから利用に至るまで、課題は数多く残っています。少なくとも発電に限って言えば、2030年時点では殆ど戦力になり得ません。いろいろと「野心的」な第6次エネルギー基本計画案ですら、2030年時点では、電源構成に占める水素とアンモニア合計の比率を1%程度しか見込んでいません。またIEAの2050年ネットゼロ排出に向けたロードマップでは、その2050年時点でも、世界全体で水素・アンモニアが電源構成に占める比率を2%としています。

なお、やや余談になりますが、前述のとおり、再生可能エネルギーはときに発電量が需要量に対して過多となります。その場合に再エネ発電を抑制するのではなく、その余剰電力を無償調達して水の電気分解を行うことにすれば、再エネ由来のカーボンフリー水素を安価に製造できる、とする議論を見ることがあります。

しかし余剰電力が発生する時間は限定的です。つまり、余剰電力だけに頼るなら電解装置の稼働率が非常に低くなって固定費がかさむので、水素製造コストは非常に高いものになります。この点、時に誤解があるようで、留意が必要だと感じています。

国産エネルギー資源に恵まれない日本だからこそ、水素に関する技術開発にも引き続き注力していくことが必要です。しかし、その実用化にはまだまだ時間がかかることも同時に認識しておかねばならないと思います。

Q 7 : スイスで、CO₂固形化の技術（石に埋め込む技術）が開発されたとのニュースが流れておりましたし、苫小牧では地中固形化の実証実験が行われるようです。以前、わが国で研究開発されていた時には、CO₂削減効果よりは固形化段階での排出ガスが大きいと聞きましたが、技術開発は可能でしょうか。又、こうした技術の適用が削減目標達成にどの程度寄与するのでしょうか。

A 7 : CCSをはじめとするCO₂の回収・貯留に係る技術は、実用化までまだ時間が必要で、少なくとも2030年の目標達成に貢献するようなものではありません。ご指摘のように技術的なハードルが高いうえ、CO₂の貯留地点についての社会的合意形成も難題だろうと思われまます。このため、その実施可能性については懐疑的な見方が早い段階からあります。

しかし一方で、カーボンニュートラルを目指すうえでこの技術は不可欠である、との意見も同様に根強くあります。当分は、このようないわば「両論併記」的な状態が続くものと予想しています。

なお、世界約100か国が加盟する世界エネルギー会議（WEC）が、毎年、世界のエネルギー実務家・専門家に対して実施するアンケート調査があります。それを見ると、CCSはここ10年以上ずっと、「不確実性が高い」項目と位置付けられています。要するにこれが、専門家の最大公約数的な見方ということだろうと思います。

以上