



世界エネルギー展望から見る2°C目標

World Energy Outlook and 2 Degree Target

中山寿美枝 電源開発株式会社
Sumie Nakayama 経営企画部
審議役

1 はじめに

2015年11月にCOP21で採択されたパリ協定¹⁾は、異例のスピードで2016年11月に発効し、メディアから学術論文まであらゆるところで昨今は「パリ協定のもと、世界は2°C目標^{*}達成に向かっていく。」ということが、大前提のように語られている。今年の6月初めに米国トランプ大統領がパリ協定脱退を表明した際には、世界中のメディアはこぞって、これはパリ協定の目標達成を危うくするものだ、と批判的に報じた。しかし、いったいどれだけの人が現実のエネルギー動向を踏まえて2°C目標の意味を正しく理解しているのか、パリ協定の定める義務と努力目標を区別できているのか、と考えると大いに疑問である。筆者は15年以上、エネルギー・環境政策に係る動向を、エネルギー動向と展望、気候科学、気候変動国際交渉などの側面から調査、分析してきたが、2°C目標の実現は人類にとってgreat challengeであると認識している。そう考える理由を、ここにファクトベースで説明していきたい。

2 World Energy Outlook 2016 に見るエネルギー展望

2.1 World Energy Outlookとは

国際エネルギー機関 (IEA) が毎年発刊する World Energy Outlook (WEO) は、最新のエネルギー統計データと将来のエネルギー展望を提供するもので、この分野では世界で最も信頼されている権威ある書籍である。昨年11月に発刊され

た最新版のWEO2016²⁾は、パリ協定を受けて初めてのWEOであり、巻頭言にもパリ協定を反映させたと書かれている通り、これまでにない興味深い特徴が見られる。

WEOは、最新のエネルギー動向、そして、シナリオ分析による将来 (現在は2040年まで) の展望を、エネルギー使用量、発電電力量、エネルギー起源CO₂排出量^{**}、などの指標により定量的に示している。シナリオ分析では3つのシナリオを想定している。今後各国が低炭素化に向けて新しい政策を導入していくと想定した「新政策シナリオ」を中心シナリオとしており、比較対照シナリオとして、2°C目標と整合した「450シナリオ」(CO₂濃度450ppmが温度上昇2°Cに相当するため)と、リスクシナリオとして過去のトレンドが継続すると想定した「現行政策シナリオ」が想定されている。

WEO2016ではパリ協定を反映させて、2°Cシナリオ (ここでは450シナリオをそう呼ぶことにする) に留まらず、パリ協定に言及されている“well below 2 degree” および1.5°C^{***} (いずれも産業革命以前からの温度上昇) についても、2°Cシナリオから更にどれだけのエネルギー起源CO₂削減が必要かということを示している。また、新政策シナリオを各国のNDC (Nationally Determined Contribution) と整合させたこともWEO2016の特徴の一つである。NDCとは、パリ協定の下で各国が約束する2030年の温室効果ガス削減目標 (およびその達成手法など) である。

日本のNDCは、2015年に策定した「長期エネルギー需給見通し」を前提とした温室効果ガス削減目標である。WEO2016の新政策シナリオでは、日本は2030年には長期エネルギー需給見通しで示された2030年の一次エネルギー需給見通し

* 「地球全体の平均気温上昇を産業革命以前と比べて2°C未満に抑制する」という目標の略称。

** 世界の温室効果ガス排出量は通常、京都議定書対象の6種類のガス (CO₂、CH₄、N₂O、SF₆、HFC、PFC) のCO₂換算値の合計で表されるが、その8割弱はエネルギー起源CO₂である。国によりその割合は異なり、日本はエネルギー起源CO₂のGHG排出量に占める割合が9割弱と高い。

*** パリ協定の第2条で、同協定が目指す気候変動への脅威への対応の一つとして以下のように記載：“Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change”

の目標、電力構成の目標（石油3%、石炭26%、LNG27%、原子力22-20%、再生可能エネルギー22-24%）を達成する、と想定している。他国についても同様に、NDCに示された目標を達成すると想定されている。米国については、オバマ政権の掲げた「2025年に2005年比で26-28%削減」というNDCの目標が達成されると想定されているが、トランプ大統領はパリ協定離脱を表明しており、既に米国の想定は非現実的なものになってしまっている。

2.2 新政策シナリオの世界

まず、WEO2016の新政策シナリオによる2040年までの世界のエネルギー展望を概説する。地域別の一次エネルギー供給の推移（1990～2014年は実績、2020～2040年は予測）を図1に示す。1990年以降、世界のエネルギー需要を増加させて

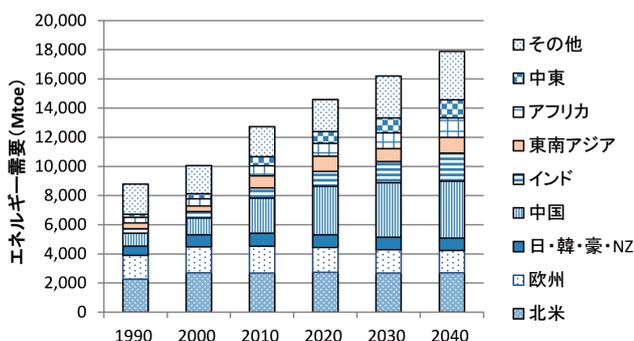


図1 地域別世界の一次エネルギー需要（新政策シナリオ）
出典：IEA World Energy Outlook 2016

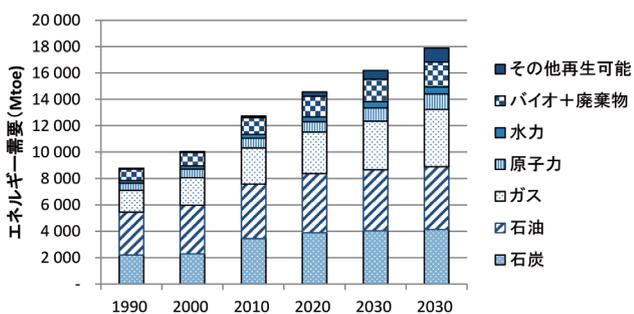


図2 エネルギー源別世界の一次エネルギー需要（新政策シナリオ）
出典：IEA World Energy Outlook 2016

いるのは、途上国である。OECDはほとんど増加に寄与せず、2040年に向けて今後は減少に転じる。2000年～2020年は中国の著しいエネルギー需要増加が世界の需要を押し上げていたこと、2020年以降は中国の成長は鈍る一方で、インドその他途上国の需要増加により、世界の需要は増加し続けること、が示されている。

次に、エネルギー種類別の一次エネルギー供給の推移（1990～2014年は実績、2020～2040年は予測）を図2に示す。燃料の種類別に見ると、化石燃料（石炭+石油+ガス）の占める割合は2014年から2040年にかけて低下する（81% → 74%）が、依然としてマジョリティーを占め、絶対量は微増する。また、大きく増加するのは再生可能エネルギーであり、そのシェアは2014年の13%から2040年には20%に増加することが示されている。

世界の最終エネルギー消費量を、図3に示す。2014年時点で、産業、民生・業務（WEOではBuilding部門）、輸送の3分野で、世界の最終エネルギー消費量はほぼ等しく、全ての分野でエネルギー消費は2040年まで増加する。2040年までの増分に占める電力の割合が、民生・業務では大きく、産業では1/3程度であり、輸送部門ではごく小さい。輸送部門の増分に大宗を占める「その他燃料」のほとんどは石油である。

なお、鉄鋼に関しては歴代WEOにおいて産業部門の中でセメントと共に「石炭依存型産業」として扱われているが、WEO2016においては、今後は中国の鉄鋼需要増加の減速と、世界的なスクラップ増加による転炉から電炉へのシフト（図4）

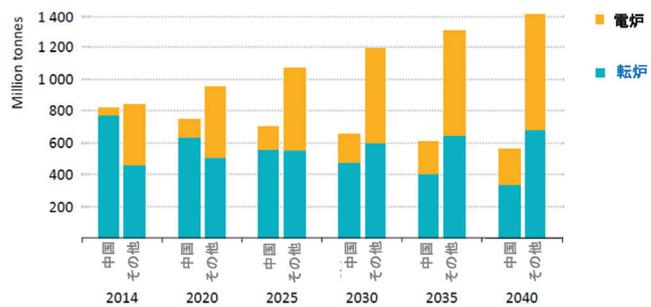


図4 中国／その他の鉄鋼生産量と電炉／転炉の内訳（新政策シナリオ）
出典：IEA World Energy Outlook 2016

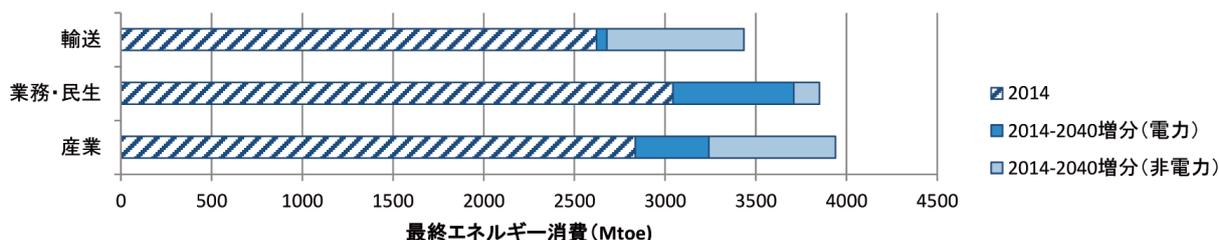


図3 部門別最終エネルギー消費増加における電力／非電力

出典：IEA World Energy Outlook 2016

により、石炭依存度が下がると展望している。WEOモデルの中では、電力の需要と供給は必ずバランスを取るよう考慮されているが、供給において太陽光、風力といった変動性電源と従来型電源の特性による区別はない。そのため、実際には精緻なレベルで安定した電力が必要な鉄鋼部門に対して、WEOモデルの中では変動性電源が電力供給しているという現実にはありえない電力需給が行われている可能性もある。

2.3 新政策シナリオと2°Cシナリオ

このような新政策シナリオに対して、2°Cシナリオと現行政策シナリオの関係を一次エネルギー需要およびエネルギー起源CO₂排出量で示したものが図5である。世界の一次エネルギー需要とそれに伴うCO₂排出量は、新政策シナリオでは今後増加するが、2°Cシナリオでは大きく減少する。新政策シナリオと2°Cシナリオのギャップが年を追って広がって行くということは、年を追うにつれて2°Cシナリオ実現が困難になる、ということを示している。また、新政策シナリオと2°CシナリオのCO₂排出の差とその削減内訳を図6に示す。2040年における新政策シナリオのCO₂排出量は36Gt強に対して、2°Cシナリオでは18Gtと半減する必要がある。2°Cシナ

リオ実現のために必要な新政策シナリオからの累積削減量は2015年から2040年までで201Gtに達する。その削減の34%は再エネ、40%以上は省エネが達成手段となっており、CCS (Carbon Capture and Storage)、原子力の貢献度はそれぞれ10%にも満たない。

図7に産業部門の新政策シナリオと2°Cシナリオの直接CO₂排出と削減手段を示す。産業部門の直接的なCO₂排出量は、新政策シナリオでは0.6%/年で排出係数を低下させながらも、2040年には7.4Gtへと2014年比で約20%増加する。(ただし、この他に産業部門では電力・熱利用による間接的な排出が5Gtある。) 2°Cシナリオでは2040年のCO₂排出量は、新政策シナリオ比で30%以上削減して5Gtで、その削減の30%はCCSによる。また、削減の約半分を占める供給側省エネ(高効率化)では高効率電動モーターの普及を想定しているが、その実現には今後更なる技術開発と普及が必要である、と記載されている。

このようなシナリオ別の一次エネルギー需要とCO₂排出量の違いは、カーボン価格の想定が大きく影響している。(表1) 2°Cシナリオでは、2040年にはほぼ世界全体で140ドル/t-CO₂のカーボン価格が化石燃料に上乗せされている。これ

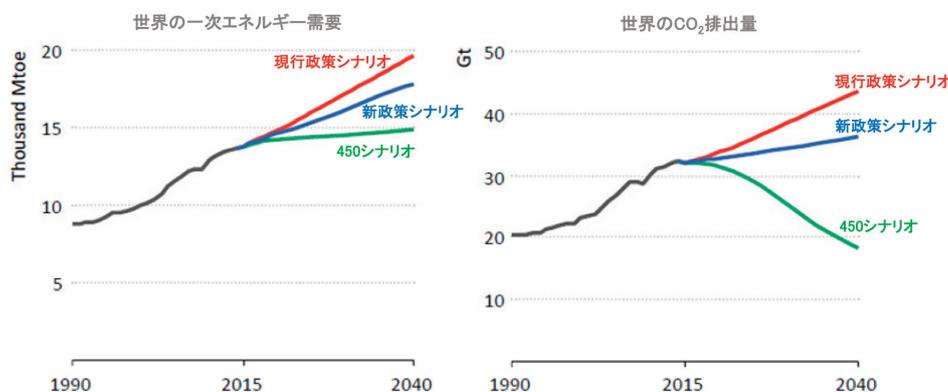


図5 シナリオ別一次エネルギー需要(左)とエネルギー起源CO₂排出(右)
出典：IEA World Energy Outlook 2016

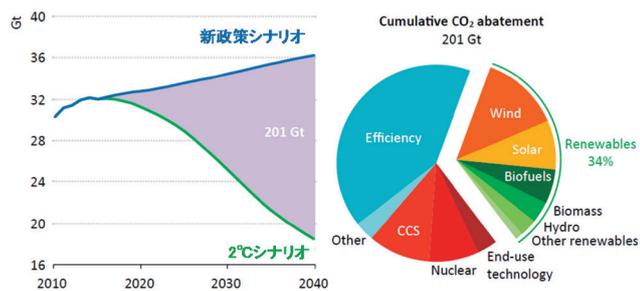


図6 新政策シナリオと比較した2°CシナリオのCO₂排出とその削減手段の内訳
出典：IEA World Energy Outlook 2016

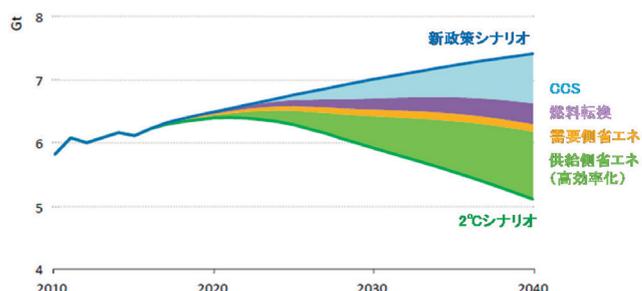


図7 産業部門の新政策シナリオと2°Cシナリオの直接CO₂排出と削減手段
出典：IEA World Energy Outlook 2016

表1 カーボン価格の想定 (2015米ドル/t-CO₂)

	地域	部門	2020	2030	2040
現行政策シナリオ	EU	電力、産業、航空	18	30	40
	韓国	電力、産業	18	30	40
新政策シナリオ	EU	電力、産業、航空	20	37	50
	チリ	電力	6	12	20
	韓国	電力、産業	20	37	50
	中国	電力、産業	10	23	35
	南ア	電力、産業	7	15	24
2°Cシナリオ	米国、カナダ、日本、韓国、豪州、NZ	電力、産業	20	100	140
	EU	電力、産業、航空	20	100	140
	中国、ロシア、ブラジル、南ア	電力、産業	10	75	125

出典：IEA World Energy Outlook 2016

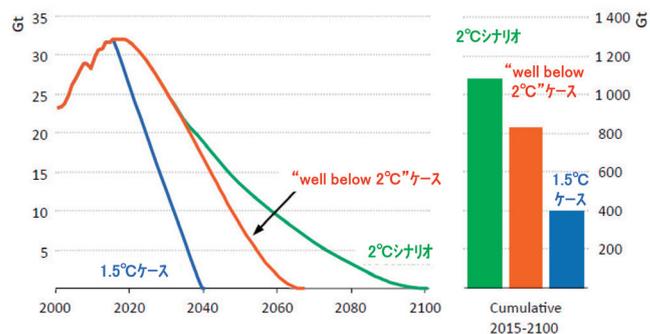


図9 エネルギー起源CO₂の排出経路と排出バジェットの比較
出典：IEA World Energy Outlook 2016

世界のシナリオ別発電電力量

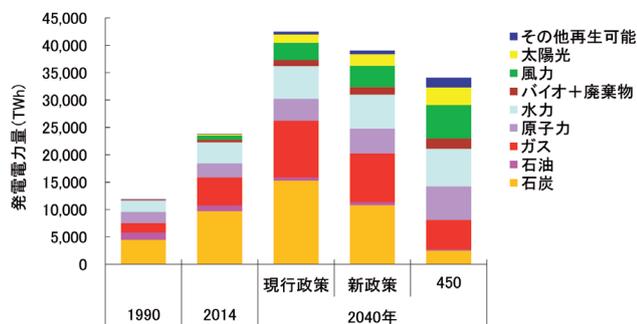


図8 シナリオ別 世界の発電電力量とその電源構成
出典：IEA World Energy Outlook 2016

は、現状の石炭価格を約4倍、石油価格を3倍、LNG価格を2倍にするレベルであることに注意が必要である。

新政策シナリオと2°Cシナリオの2040年の電源構成を比較すると図8のようになる。450シナリオでは新政策シナリオに比べて化石燃料、特に石炭が大きく減少して、逆に原子力、再生可能エネルギーは大きく増加し、世界の発電電力量の約2割を原子力が、約6割を再生可能エネルギーが供給する。つまり約8割が「ゼロエミッション電源」によって発電される世界である。

2.4 “well below 2°C”ケースと1.5°Cケース

図9は、450シナリオ、“well below 2°C”ケース、1.5°Cケース、それぞれの排出枠を右の棒グラフで、CO₂排出経路を左の折れ線グラフで示したものである(いずれもCCSを利用しないと仮定)。450シナリオでは2100年までに排出をゼロにするような排出経路であるのに比較して、“well below 2°C”ケースは2060年までには排出ゼロにする必要がある。更に、1.5°Cケースでは2040年ゼロ排出に向かって2020年から急激な排出削減を行う必要がある。なお、ここに示されていない新政策シナリオのCO₂排出経路は図5の通りで、CO₂排出は今後2040年まで増加する、ということに留意が必要である。

3 IPCC 報告書に見る2°Cシナリオ

そもそも2°C目標とは何なのだろうか。恐らく、多くの人達が「科学的な根拠のある温暖化を防ぐための目標」だと思っているのではないかと。もしかしたら、「IPCCが科学的根拠を示している。」と言う人もいるかもしれない。しかし、その人達に「IPCCの報告書を読みましたか?」と聞いて、Yesと回答する人はどれだけいるだろうか。

3.1 IPCCと最新報告書の2°Cシナリオ

IPCCは、「気候変動に関する最新の科学的知見の評価」を行う目的で、国連環境計画 (UNEP) 及び世界気象機関 (WMO) が1988年に共同で設立した国際機関である。3つの作業部会 (WG) が設けられ、世界各国の研究者 数千名が参加して評価報告書 (各WG報告書および統合報告書) を作成する。第一作業部会 (WG I) は「自然科学的根拠」、第二作業部会 (WG II) は「影響・適応・脆弱性」、第三作業部会 (WG III) は「気候変動の緩和」について、それぞれの分野の専門家が最新の査読付き論文をとりまとめる形で「評価」する。それぞれの作業部会の評価報告書は1000頁を超える分厚いものであるが、作業部会ごとに20~30頁程度の「政策決定者向け要約」(Summary for Policy Makers, 略してSPMと呼ばれる) が、各国政府代表の審議を経て作成される。最後に、全ての部会の報告をまとめた「統合報告書」(約150ページ) が作成され、これに関してもSPMが作成される。IPCCに関する報道は、これらSPM、またはSPMのプレス発表を元になされているものが多い。

通称「2°Cシナリオ」と呼ばれるシナリオは、IPCCの最新の第5次評価報告書では、「温室効果ガス (GHG) 濃度が2100年時点で約450ppmの緩和シナリオ」であり、「2100年に気温上昇を2°C未満に抑える可能性が高い (66%以上の確率)」というものである。図10は、シナリオと温室効果ガス排出量の関係を示すWG IIIのSPM³⁾中の図であり、RCP2.6という実線と薄青色で示されている範囲が2°Cシナリオに相当する。

図10が示す通り、2100年の排出量は平均でゼロ、その範囲にはマイナスの排出を含む、というのが2°Cシナリオである。(RCPとはRepresentative Concentration Pathwayの略であり、RCP2.6、RCP4.5等はGHG濃度シナリオの名称)

パリ協定第2条では、協定の目標を「2°Cより十分低く抑える」と定めただけでなく、「1.5°Cに抑える努力を追及」と言及しているが、パリ協定の採択を定めたCOP21決定は、IPCCに対して2018年までに1.5°C抑制の排出経路と影響に関する特別報告を行うように要請している。実は、IPCC第5次評価報告書の時点では、2°Cシナリオより厳しいシナリオ(1.5°Cに相当)については、図10のグラフの説明に「数少ない幾つかのモデルによる研究が存在する」と記載されているのみである。つまり1.5°Cはこれまでは評価の対象外で、十分な分析が行われていないため、新しく特別報告を行うことになった、というのがその背景である。

3.2 2°Cシナリオの前提条件

気候変動の緩和(即ちGHGの削減)に関する評価を行うIPCCのWG IIIでは、シナリオを用いた数値シミュレーションが主な評価手法であり、AR5では複数のモデルにより200本近い2°Cシナリオが扱われている。数値シミュレーションでは、モデルにもよるが、与える前提条件次第で「2100年時点で2°C以下に温度上昇を抑えることは可能」という結果が導かれる。「計算上は可能」であるこれら2°Cシナリオは、「現実には不可能」と思われる3つの条件を前提としている。それは、①全世界の即時の行動、②技術の総動員、③世界共通のカーボン価格、である。①全世界の即時の行動、が困難であることは明白であるので、②技術の総動員、③世界共通のカーボン価格、についての現実性を見てみよう。

図11は、CCSが可能な場合は電力部門が大幅削減して他の部門の削減負担が軽減されるが、CCS不可な場合は土地利用・植林が非現実的なレベルで大幅削減を負担することを

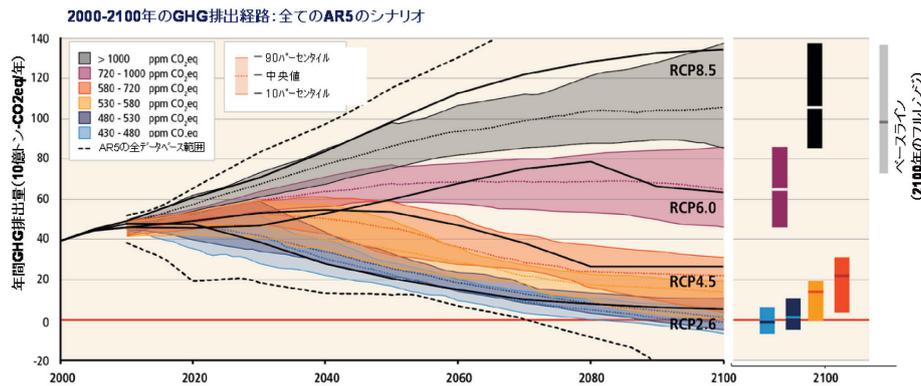


図10 第5次評価報告書の全てのシナリオの2000-2100年の温室効果ガス排出経路
出典：IPCC Fifth Assessment Report WG III, Summary for Policy Makers

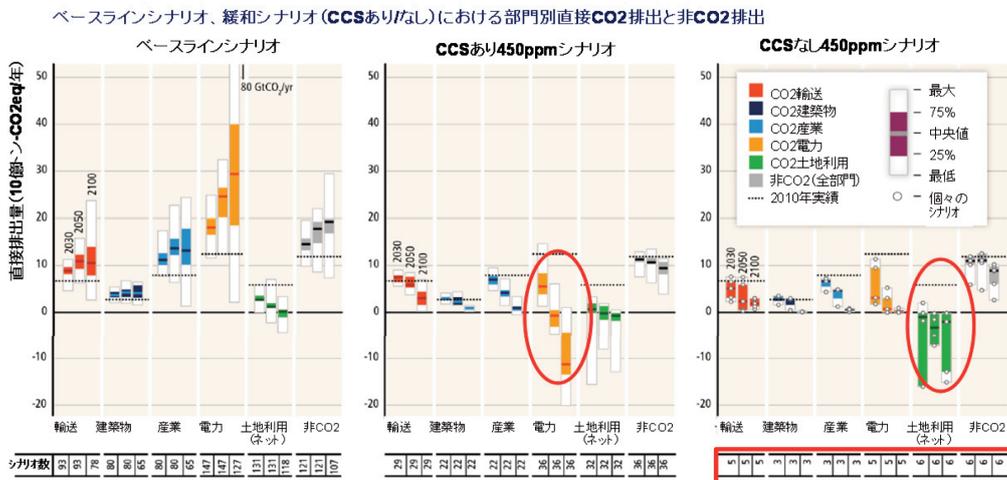


図11 ベースラインシナリオ(左)、緩和シナリオ CCS有(中)、緩和シナリオ CCS無(右)における部門別直接CO₂排出と非CO₂排出
出典：IPCC Fifth Assessment Report WG III, Summary for Policy Makers

示している。CCSが不可能な場合のシナリオ数(グラフ下の太枠で囲んだ数字)が一桁少ないのは、多くのモデルでCCSなしには2℃シナリオ達成の解がなかったことを意味している。このCCSのほとんどがBECCS(バイオマスCCS、CCSは化石燃料の排出するCO₂を貯留する、即ちゼロ排出であるのに対して、バイオマスCCSはマイナス排出)であり、②技術の総動員とは膨大なBECCSを想定しているもので、とても現実的とは言えない。

それでは、③世界共通のカーボン価格、についてはどうだろうか。WG IIの「技術要約」⁴⁾には、191本のシナリオのカーボン価格(世界共通)のグラフが示されているが、これによれば、2℃シナリオでは、カーボン価格は2050年には200ドル前後、2100年には1000ドルのオーダーと非常に高い。このようなレベルのカーボン価格が全世界に導入されるということは、現実的には考えられない。

4 まとめ

昨今メディアで散見される「パリ協定の下で、世界は2℃目標を達成するために一丸となって取り組むのだ。」という論調は、環境ファースト的な思想に基づくならば、それはもっともなことである。しかし、現実のエネルギー需給の動向に目を向けると、エネルギー源のポートフォリオは市場原理に基づきその国、地域ごとの経済性で決定され、それをエネルギー安全保障および環境の観点によるエネルギー政策がエネルギー安全保障(Energy Security)、経済性(Economy)、環境(Environment)の3Eのバランスをとるように調整しており、決して環境ファーストということではない。

現在、パリ協定のもとで各国が約束しているNDCを達成したとしても、2℃目標達成には程遠く、2℃シナリオでは急激な変革を実現するために世界全体で高いレベルのカーボン価格と再生可能エネルギー部門に大きな投資が必要である。米国のパリ協定離脱がなかったとしても、最初からハードルは非常に高いのである。更に、well below 2℃、1.5℃に関しては、更に非現実的なボリュームの削減を必要とすることが示され、WEO2016の中でも「未知の領域」とされている。

また、2℃目標は膨大なBECCSの利用、世界共通の非常に高額なカーボン価格の導入など、現実的には困難な前提条

件の下に、モデルによる全体最適化計算では実現可能というものであり、現実社会における実現性は甚だ疑問である。現実のエネルギー動向と2℃目標のハードルの高さを理解すれば、2℃目標達成は人類にとって壮大なチャレンジであるということ認識できるのではないだろうか。見果てぬ夢、と言ってもいいかもしれない。

2℃目標達成は見果てぬ夢だから、何もしなくていいということではない。鍵は、革新的技術の開発である。実は、IPCCの2℃シナリオは、既存の技術、商用化に近い技術のみを(習熟度によるコスト低下も考慮して)積み上げてモデル計算したもので、革新的技術が想定されていない。商用化の時期とコストが定量的に想定できないため、モデル計算に入れられないからである。

これまで人類は、技術イノベーションを何度か経験してきた。技術開発にリソースを振り向け、50~100年の超長期的な取り組みを息長く行えば、革新的なゼロエミッション・エネルギーが2100年までに実用化することは可能ではないだろうか。それが、現在開発中の核融合なのか、宇宙太陽光発電なのか、それとも全く別の新しいエネルギー利用なのかは、今はわからない。しかし、2℃目標を目指すのであれば、覚悟をもって長期的に技術開発に取り組まない限り技術イノベーションは生まれず、2℃目標達成は見果てぬ夢で終わってしまうということは、ほぼ確実である。

「未知の領域」であるwell below 2℃、1.5℃については、2018年のIPCCの特別報告、および、今後行われる経済性を含めた多角的な詳細検討に、冷静に現実的な視点から注目していきたい。

参考文献

- 1) UNFCCC : FCCC/CP/2015/10/Add.1, Decision 1/CP.21, Adoption of the Paris Agreement, (2015)
- 2) International Energy Association : World Energy Outlook 2016, (2016)
- 3) IPCC : Fifth Assessment Report, Working Group III, Summary for Policymakers, (2014)
- 4) IPCC : Fifth Assessment Report, Working Group III, Technical Summary, (2014)

(2017年6月6日受付)