

2050年のエネルギーの姿

～気候変動とエネルギーの調和を目指して～

株式会社国際協力銀行
インフラ・環境ファイナンス部門 電力・新エネルギー第2部次長
佐藤 勉



1. 社会経済システムを脅かす「気候関連リスク」

高まる気候変動への懸念

ここ2年ほどの日本国内の大規模豪雨や大型台風による被害、米国、ブラジル、豪州の大規模な森林火災など自然災害が深刻化しており、欧米では最近、「気候非常事態 (Climate Emergency)」という表現さえも耳にする。それを反映するように、2020年の「世界経済フォーラム」(ダボス会議)においては、発生する可能性の高いグローバルリスクとして4年連続で「異常気象」が、また影響が大きいグローバルリスクとして「気候対策の失敗」が、それぞれトップにあげられた^{注1}。

2020年1月にはビジネスや金融の視点から注目すべき報告書が発表されている。マッキンゼー・グローバル・インティチュートによる『気候リスクへの対応 (Climate risk and response)』および国際決済銀行 (BIS)／Patrick Bolton et al.による『グリーンスワン (The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change)』である。

注1：The Global Risks Report 2020。なお、発生する可能性の高いグローバルリスクの2位以下は「気候対策の失敗」、「大規模自然災害」、「生物多様性の喪失」、「人為的な環境損害」とすべて環境分野となっている。



2つの報告書の表紙

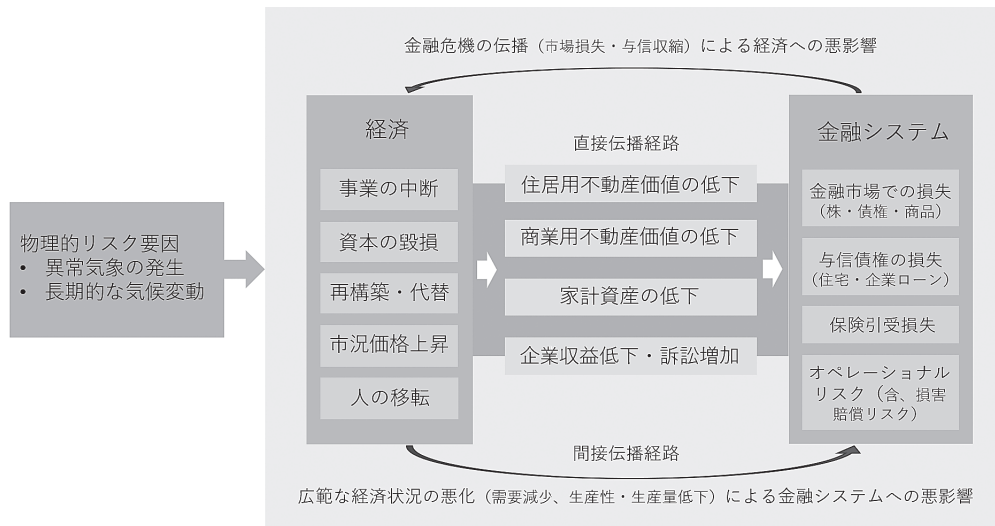
2つの報告書に共通しているのは、気候変動は世界の社会経済システム全体に深刻な危機的状况を生じさせる歴史上前例のない大きな脅威であり、人類は早急に低炭素社会への移行といった抜本的な対応をとる必要があることを主張している点である。

マッキンゼー報告書では、世界的な平均気温の上昇により、熱波や洪水などの急性的な現象の頻度が高まり、規模が大型化しつつあること、さらには渇水や海面上昇などの慢性的な現象が深刻化していることを指摘している。そして、気候変動による社会経済システムへの影響について、生活・労働環境の悪化、食糧確保の不安定化、物理的資産の損害リスクの高まり、インフラサービスの低下、自然環境の劣化などといった直接的影響の範囲・規模が極めて深刻となるとの分析および低炭素社会への移行の緊要性が指摘されている。

金融におけるリスクとしての気候変動

もう一つの「グリーンスワン」とは、10年前の世界金融危機の比喩であるブラックスワン（事前に予測できず、また滅多に発生しないが、発生すると影響が大きい事象）に由来するものであり、「気候関連リスク (Climate related risks)」が不確実性や非線形性・不可逆性を有し^{注2}、金融におけるシステムック・リスクになり得ることを示唆するものである。こうした議論は「金融システムのグリーン化を目指す中央銀行・金融監督当局ネットワーク」(NGFS)^{注3}を中心に検討が続いている。NGFSは、「気候関連リスク」を「物理的リスク」と「移行リスク」とに区分し、「物理的リスク」とは、干ばつ、洪水や台風などの急性的な発生あるいは気温上昇などの慢性的な変化によって生じる資産損失や生産性減少などの直接的な影響や、グローバルサプライチェーンの遮断などにより生じる間接的な影響に関するリスクであり、他方、「移行リスク」とは、低炭素化へ移行するために生じる調整費用などに関するリスク（いわゆる座礁資産となるリスクなど）としている。これらのリスクについては、経済および

図表1 気候変動の「物理的リスク」と金融システムとの関係



（出典）NGFS（A Call for Action: Climate change as a source of financial risk, 2019年4月）

金融システムにおいて広範かつ大規模な影響を生じさせることから（「物理的リスク」について図表1参照）、金融システム安定化の観点から金融監督の対象とすべきとしている。

注2：気候変動に関する現象は、大気中の温室効果ガス濃度の特性・経路に関する不確実性や、影響の拡大についてティッピングポイント（臨界点）と呼ばれる急激な変化を発生させる閾値を超えた場合に非線形かつ不可逆的な状態が発生する可能性などの特徴がIPCC評価報告書などにより指摘されている。

注3：2017年12月の「One Planet Summit」(パリにて開催)において結成された中央銀行と金融監督当局による連携活動。2020年2月時点で55機関（日本からは金融庁及び日本銀行）と12オブザーバー（IMFなど）が参加。

パリ協定と世界のエネルギー政策

1990年代に始まるCOP（気候変動枠組条約締約国会議）などにおける国際的な議論を経て、現在の気候変動に対するグローバルな対応の中心は、2020年から実施されるパリ協定（2015年締結）である。パリ協定は、「世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも2℃を十分下回るものに抑えることならびに1.5℃に抑えることを努力すること」を目標としている^{注4}。この「1.5℃ないし2℃目標」の実現には、世界全体の温室効果ガス（GHG）の排出を大幅に抑制する必要がある、そのためには世界のエネルギー政策を変えていく必要がある。

毎年COPなどで議論される気候変動に関連する政策と国際的なエネルギー政策は非常によく連携されている。パリ協定の「1.5℃ないし2℃目標」に関しても、科学的分析を所掌するIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の評価報告書などをベースに、OECD

や国際エネルギー機関（IEA）、国際再生可能エネルギー機関（IRENA）などの国際機関（シンクタンク）が政策的な提言などを行う関係にある。

そうしたなかでも、IEAが毎年発行している『世界エネルギー展望（World Energy Outlook（WEO））』が最も明確な姿でパリ協定に基づく世界のエネルギー政策の方向性を提示している。

注4：世界気象機関（WMO）は、2019年12月、世界の平均気温はすでに産業革命以前から1.1℃上昇していると報告している。

2. WEO2019年版が掲げる「2050年のエネルギーの姿」

IEAとWEO

IEAは、第1次石油危機を契機に1974年に「石油消費国の国際機関」として設立されたパリを本部とする国際機関であり、当初はエネルギー安全保障を使命としてきた。その後、2000年代のG20対話などを経て、2008年洞爺湖サミットでの正式発表により環境イシューがIEAの新たな使命として加わった^{注5}。

WEOは、IEAのレポートの中でも最も影響が大きく国際的なベンチマークとなるものであり、石油・ガスなどの市場動向、各国の電力開発計画や太陽光パネル価格などの市場動向のほか、国際的な気候変動政策などに基づき、世界のエネルギーに関する中長期的なシナリオ（モデルによる定量的分析）を毎年提示している。

最新となるWEO2019年版によると、2018年の世界の一次エネルギー需要は2017年比2.3%増と2010年以降で最も高い伸び率^{注6}となり、世界のエネルギー起源CO₂排出量は33Gt（2017年比1.9%増）と過去最高となった。

注5：黒住淳人『世界エネルギー展望』の読み方（2015年）

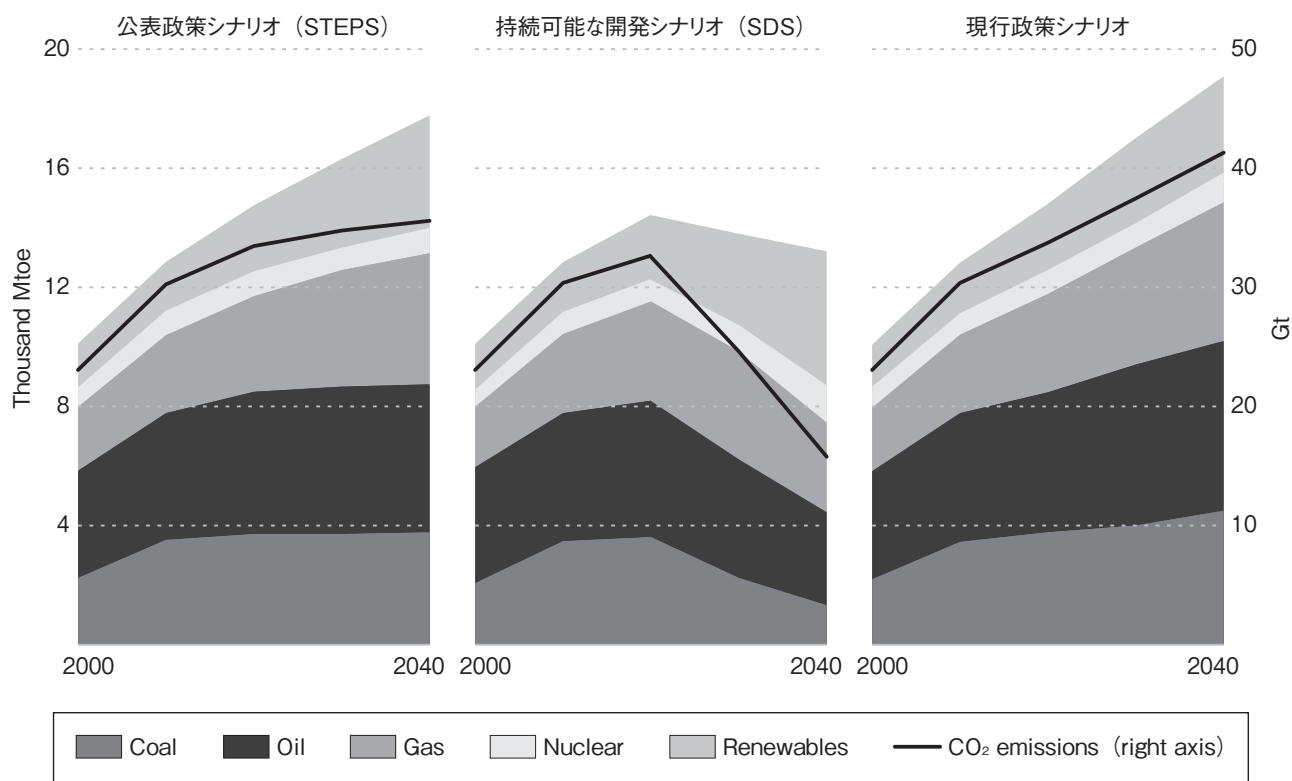
注6：2018年の伸び率の内訳の7割は中国、米国、インドが占める。また、その約5分の1は、異常気象による冷暖房需要によるものとされている。

図表2 WEO2019における3つのシナリオの比較

	公表政策シナリオ (STEPS)	持続可能な開発シナリオ (SDS)	現行政策シナリオ
定義・内容	すでに実施中の政策に加えて、現時点で各国政府が公表している温暖化対策（NDC ^{注7} など）が含まれる。	パリ協定（1.5℃ないし2℃目標）に基づく（66%の確率で、平均気温上昇を1.8℃に抑える水準を採用）。	すでに実施中の政策が継続される。
一次エネルギー需要 (2018年基準)	2040年まで年平均1%増加。総需要は、2030年に14%増、2040年に27%増。	一次エネルギー需要は減少に転じる。総需要は2030年に4%減、2040年に7%減。	2040年まで年平均1.3%増加。なお、2040年の化石燃料比率79%。
CO ₂ 排出量	2040年までは増加が継続し2040年の排出量は35.6Gt。	年平均5.6%の排出削減により、2040年15.8Gt、2050年10Gt、2070年実質ゼロ。	2040年の排出量は41.3Gt。
世界全体のエネルギー 投資額	年間2兆6730億ドル（2040年までの平均額）	年間3兆2420億ドル（2040年までの平均額）	年間2兆710億ドル（2014～2018年の平均額）

（出典）WEO2019年版に基づき筆者作成

図表3 2040年までの一次エネルギー需要構成（左目盛）およびCO₂ 排出量（右目盛）の推移



（出典）WEO2019年版

WEOの3つのシナリオ

WEO2019年版は800頁もある大部な資料である。以下ではきわめて簡略的であるが、その特徴的な部分を紹介したい。

WEO2019年版では、例年通り世界全体の長期的なエネルギーの需給などに関する3つのシナリオが提示

されている^{注8}。すなわち、すでに実施中の政策が継続されることを前提とする「現行政策シナリオ（Current Policies Scenario）」、すでに実施中の政策に加えて現在公表されている新規政策やそれに基づく目標値が実現することを前提とする「公表政策シナリオ（Stated Policies Scenario：STEPS）」^{注9}、パリ協定が目指す

「1.5℃ないし2℃目標」と一致する「持続可能な開発シナリオ（Sustainable Development Scenario：SDS）」である。

まず、3つのシナリオの比較（図表2）と、各シナリオにおける一次エネルギー需要構成およびエネルギー起源CO₂排出量（図表3）は次のとおりである。

注7：Nationally Determined Contributions（パリ協定に基づき、各国が国連に提出する温暖化対策目標）

注8：2019年版では、これまでどおり2040年までを基本的分析対象としているが、一部については2050年ないしそれを超える範囲も分析されている（特に第2章）。また、WEOでは地域・国ごとの分析も行われるほか、2019年版ではアフリカ地域の特集もされている。

注9：2018年版までは、「新政策シナリオ（New Policies Scenario）」と称していた。

持続可能な開発シナリオ（SDS）における具体的な施策

図表3で明らかなおと、公表政策シナリオ（STEPS）と持続可能な開発シナリオ（SDS）の間では、一次エネルギー需要構成及びエネルギー起源CO₂の排出量の形状は大きく異なる。

SDSは「1.5℃ないし2℃目標」および「今世紀後半に温室効果ガス的人為的な排出と吸収による均衡を達成するために、世界全体の温室効果ガス排出量をできるだけ早くピークアウトする」(パリ協定4条1項)に基づいている。これに対して、STEPSではCO₂排出量は2040年でもピークアウトせずに、平均気温も2.7℃上昇することから、パリ協定の目標は実現しないばかりか、ティッピングポイント（脚注2参照）の観点からもリスクがかなり大きい。

そこでパリ協定の目標実現を目指すSDSでは、主に次のような施策を想定している。

第一に、すべてのセクターにおける徹底した省エネの推進と、電化（化石燃料から電力への転換）が最も重要な取り組みとなる。家庭での省エネ機器の導入や、産業分野（多消費型、非多消費型ともに）における省エネが推進されるとともに、2050年までに自動車の75%、バイクおよび都市内バスが原則100%、トラックの50%が電化されることを通じて交通分野におけるエネルギー消費量が半分となる。この結果、石油の燃料としての利用率が減少し、プラスチック原料などとしての利用が4割を占めることになる。石炭消費も激減し、利用はセメント・製鉄用が中心となり、また利用分の3分の1はCCUS（CO₂回収・利用・貯留）に回っていく。ガスについてはクリーンな燃料として需要が高まる。

第二に、エネルギー供給面での電力の比重が高まる

とともに、低炭素化が進む。SDSでは、2050年の発電量は、45000TWhと現在の7割増と想定されており、電源構成中の低炭素電源比率は36%（2018年）から94%（2050年）と高まり、電力の排出原単位は、475gCO₂/kWh（2018年）から23gCO₂/kWh（2050年）と大幅に減少する。電源としては、洋上風力と太陽光が低炭素化の中核の役割を有し、2040年まで発電量増加分のうちのほとんどを賄う（なお、STEPSにおいても電力増加分の半分は風力と太陽光で賄われる）。また、こうした出力に関して変動性を有する再エネ電源の活用のためには、安価な蓄電池の普及が重要な鍵とされる。

第三に、電力セクターにおける石炭火力発電については、CO₂排出量の削減への効果が大きい既設発電所の廃止やCCUSを進めることが鍵となる。また原子力発電は、STEPSよりもSDSで比率が高まる。

こうした取り組みによって、2050年におけるCO₂排出量は、36億トン（STEPS）から10億トン（SDS）へと大幅に削減（約72%）される。かかるCO₂排出削減量の寄与率（内訳）は、省エネ37%、再エネ32%、燃料転換8%、CCUS9%、原子力3%、その他11%となる。

鍵を握る電力セクターと不確実性

パリ協定4条1項の「人為的な排出と吸収による均衡」について、SDSでは、エネルギー全体で2070年にカーボンニュートラルを実現することと、電力セクター単独で2050年の後に先進国が実質ゼロCO₂排出を実現し、その後、途上国が続いていくことを想定している。SDSではエネルギー構成上の電力の比重が高まるため、電力における低炭素化（排出原単位の減少）は、きわめて重要な要素となる（なお、STEPSでも、電力需要がエネルギー需要全体の2倍以上のペースで増加するため、同様となる）。

たとえば、日本の鉄鋼業界の分析（一般社団法人日本鉄鋼連盟「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」）に基づく、日本のように鉄鋼蓄積が1人当たり10トン以上となり、リサイクル率が高まる場合、供給において石炭を消費する銑鉄の需要が大きく減少し、電炉を中心とする生産が可能となり、電力の排出原単位の低下により大幅な低炭素化が実現する。このように電力の低炭素化は、産業や電化が進んだ場合の交通への影響が非常に大きい。

しかしながら、世界的な電力セクターの実質ゼロCO₂排出の実現には大きな不確実性があり、この点からSDSに対する異論も少なくない。一般財団法人日本

エネルギー経済研究所（エネ研）による世界エネルギーの需給見通し（IEEJ Outlook 2020）では、「レファレンスシナリオ」と「技術進展シナリオ」の2つが用意されているが、より環境に配慮する後者においても2050年の世界の年間CO₂排出量は25.3Gt（SDSの2.5倍）とされており、パリ協定の目標とは大きな乖離が生じる。IEEJ Outlook 2020は、電力需要が拡大するアジアなどの途上国においては、仮にカーボンプライシング（化石燃料に課せられる炭素税など）が導入された場合にあっては、風力や太陽光といった変動性の高い再エネ発電については、必要な統合コスト（変動性再エネの大量導入に伴う出力抑制や蓄電池導入、グリッド増強などの需給調整費用）を加味すると価格競争力がなく、電力の低炭素化には相当の時間が要されると指摘する。

以上のようにSDSの実現には不確実性が高く、課題は少なくない。WEO2019年においても、蓄電池だけでなく、洋上風力、CCUSなどのコスト削減について今後の技術革新などが必要であると指摘されている。低炭素社会の実現を可能とする技術・イノベーション面で今後の研究開発の重要性は高く、EUのグリーンニューディール政策や日本政府による「革新的環境イノベーション戦略」などによる長期的な戦略的取り組みによるブレークスルーがきわめて重要となることは間違いない。

3. 結びにかえて

「2050年のエネルギーの姿」というきわめて壮大で不確実性のあるテーマについて、IEAのシナリオを含めて紹介してきたが、最後にビジネスおよび金融の視点から当面の注目点について若干付言したい。

冒頭で紹介のとおり、近時、ビジネスや金融における「気候関連リスク」が定形化されてきており、この視点からの企業や投資家、金融機関の関心がきわめて高まっている。日本政府も推進するTCFD（気候変動関連財務情報開示タスクフォース）では、「気候関連リスク」に関して、ガバナンス、戦略、リスク管理や評価をもって取り組む必要があり、具体的な企業活動や情報開示の取り組みの中において、パリ協定や上述のエネルギー政策といった視点は無関係ではない。さらにはステークホルダーの関心や要求は刻々と変化しており、企業経営者はこうしたなかで時代に即した先進的な取り組みが求められている。

また、企業金融の観点からは、ESG投資の流れはますます加速しており、投資や金融と「気候関連リスク」

あるいは「機会」とは不可分の関係になっていく方向にある。現在、ISOではGreen BondやGreen融資、金融機関の融資活動などの評価・報告の枠組みその他の複数の規格化が進んでいる。今後の金融判断において、よりいっそう気候変動に対する企業の姿勢が問われ、将来の事業活動に影響を与えてくることは間違いないものと考えられる。

