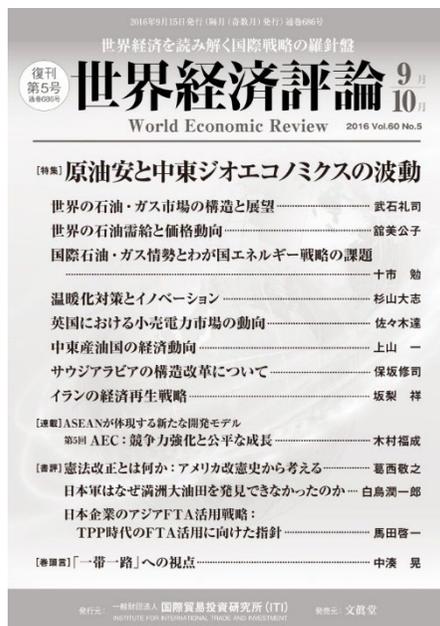


本論文は

# 世界経済評論 2016年9/10月号

(2016年9月発行)

掲載の記事です



世界経済評論

## 定期購読のご案内

年間購読料

1,320円×6冊=7,920円

6,600円

税込

17%

送料無料

OFF



富士山マガジンサービス限定特典

※通巻682号以降

定期購読  
期間中

### デジタル版バックナンバー読み放題!!



世界経済評論 定期購読



☎0120-223-223

[24時間・年中無休]

お支払い方法

Webでお申込みの場合はクレジットカード・銀行振込・コンビニ払いからお選びいただけます。  
お電話でお申込みの場合は銀行振込・コンビニ払いのみとなります。

Fujisan.co.jp  
雑誌のオンライン書店

# 温暖化対策とイノベーション

(一財) 電力中央研究所上席研究員 杉山 大志

すぎやま たいし 東京大学理学部卒，同大学院物理工学科修士。(財) 電力中央研究所入所。国際学術会議執行委員，京都議定書パネル委員，産業構造審議会専門委員会委員 IPCC 評価報告書・総執執筆責任者等を歴任，著書に『地球温暖化とのつきあいかた』(2014, ウェッジ) など多数。

2015 年末のパリ協定合意を受け，翌 5 月末の伊勢志摩サミット前までに，日本の今後の温暖化対策の大体が策定された。そこでは安倍政権の姿勢を反映して経済との両立が謳われ，特にイノベーションを通じて温暖化対策を図るとされた。

他方でイノベーションについては，特に AI 等の ICT を主眼とする形で，経済成長戦略の柱として国を挙げて強化が図られてきた。

これまでのところ温暖化対策とイノベーションは個別に検討が進められてきたが，本稿ではこの両者の密接な関係に着目し，今後，エネルギー需給および温暖化問題に関して，長期的に起きうることを論じる。第 1 に，イノベーションはエネルギー需要における電力の割合を一層増やすだろう。第 2 に，イノベーションは省エネに通じると政府は期待しているが，活動量の増加によって電力消費量はむしろ増える可能性が高い。これはリバウンド効果と呼ばれる。第 3 に，イノベーションによって既存の世界のエネルギー需給バランスが大きく変化するだろう。電気自動車 (EV) によって石油需要が，太陽電池 (PV) によって火力発電量が，大幅に減少する可能性がある。第 4 にイノベーションは温暖化対策のコストを下げ，温暖化問題の解決へ導くだろう。

## I 地球温暖化対策の国際動向

本稿では先ず I，II 節で温暖化対策について，次いで III 節でイノベーション政策を概観し，最後に IV 節で両者の関係を論じる<sup>1)</sup>。

### 1. パリ協定の概要

2015 年末に気候変動枠組み条約の下で，地球規模の温暖化対策の協調を図るためのパリ協定が合意された。骨子は以下の 3 点である。

① [数値目標] 全ての国は 2030 年以降 (米

国等，一部の国は 2025 年以降)，5 年ごとの数値目標を「自国決定貢献」として定期的に事務局に提出する。但しこの数値目標の達成自体は義務ではなく，また数値目標は自国で決定するものであって，国際交渉の対象とはならない。

② [政策の実施] 全ての国は，数値目標の達成を目指して，政策措置を実施する。この政策措置の実施は義務である。

③ [透明性] 全ての国は，排出量目録を定期的に提出する。この提出も義務である。諸国の数値目標は，事務局によって定期的に地球規模で合算され，公表される。

京都議定書との違いは、数値目標が交渉の対象とならず、また、義務でも無い点である。これによって米国・中国を含めて世界の主要国のほとんどの国が批准可能な内容になっているとされる。

パリ協定では、それが排出削減に帰結するという意味での実効性を高めるために、2つの仕掛けがなされている。

第1は、各国が5年に1度、タイミングを合わせて数値目標を提出するというプロセスを設けたことで、5年に1度は国際的な政治的盛り上がりを演出し、各国の取り組み強化を期待している。

第2は透明性に関することである。パリ協定では、協定内部においては数値目標は交渉の俎上に載せず、また数値目標の遵守も義務とはしない。しかし、各国の排出目録と数値目標を一つの場で整理し、かつ世界規模で合算した排出量とその予測を公表することで、各国政府への内外からの政治的圧力を高めて、数値目標の深掘りおよび達成を促そうとしている。

米国・中国が参加しなければ国際枠組みとしては意味を持たないという現実を踏まえると、このような協定の設計は、実効性を高める上でベストを尽くしたものであった、と評価されている<sup>2)</sup>。

## 2. パリ協定の問題点：取り組みの程度は国によって異なる

だがこれで本当に実効性が担保されているかどうかは議論の余地がある。パリ協定の実効性は、透明性の確保によって内外からの圧力を高めることに頼っている。これは日本のような外圧を気にする国には有効に作用するだろう。だが政治的な圧力など意に介さない国も多い。

パリ協定の数値目標は、自国で決定するものであり、国によって内容に不揃いが生じる。またその遵守への圧力も国によって異なる。つまり、パリ協定は枠組みとしては公平といえるかもしれないが、中身は公平とは限らない、という問題点がある。

例えばRITEの試算では、世界各国のトンCO<sub>2</sub>当たりの排出削減限界費用は、日本が378ドルと高く、米国は85ドル、インドと中国に至っては0ドルとなっている。つまり、インドと中国の数値目標は、コストゼロで、なりゆきで達成できるとしている。

日本は2013年比で2030年までに△26%の削減をずるとしているが、これはRITEが378ドルと試算しているように、容易ではない。日本の数値目標は、米国が2025年までに2005年比で△26～△28%を数値目標としたことを受けて、その数字を「横滑り」させて設定したに過ぎないものだが、結果として実現困難な目標を掲げてしまっている。

これに対して、日本がコピーした元になっている米国の数値目標はといえば、シェールガス革命の恩恵を受けており、なりゆきにおいてすら石炭火力発電をガス火力発電が置き換えつつあるので、日本に比べると達成ははるかに容易なものになっている。

このように、パリ協定は多くの国が締結しうる枠組みではあるが、その取り組みの程度は国によって違いが大きい。日本の数値目標は野心的であり、遵守には多大なコストを伴うが、中国・インドはなりゆきで達成出来ると見られている。

## II 地球温暖化対策の国内動向

パリ協定を受けて、2016年5月27日・28日の伊勢志摩サミットに間に合わせる形で、日本の温暖化対策が策定された。以下はその概要である<sup>3)</sup>。

### 1. 地球温暖化対策計画

パリ協定を受けて、2030年までに△26%の温室効果ガス排出削減を目指すとして、部門毎の政策および排出削減量の目安を定めた地球温暖化対策計画が、5月13日に閣議決定された<sup>4)</sup>。

同計画には2つのポイントがある。第1は、技術進歩を促し、経済成長との両立を図っている点である。第2に、計画全体において、進捗管理、つまりPlan-Do-Check and Act (PDCA) を重視していて、進捗状況を毎年確認し、必要に応じて施策を見直すとしていることである。

この進捗管理は、同計画の実施に関わる多くの官庁・審議会・企業等が関与し、年度毎に開催される産構審・中環審合同会合を中心に実施されることとなる。

### 2. 温暖化対策計画の問題点：数値目標達成のコストは極めて高いかもしれない

日本の△26%という数値目標は、一応は積み上げで計算してある。しかし実態としては△26%という数字は米国のものが横滑りしてきたものであり、この数字ありきで、それに向けて積み上げ計算を行ったという側面がある。このため無理の多い計算になっている。

特に電力消費量についての想定には問題があ

る。同計画案では、2013年から2030年にかけて、年率1.7%の経済成長を遂げるにもかかわらず、電力消費量は0.06%しか伸びないと想定し、しかもこれを電気料金を抑制しながら達成するとしている。だがこれは可能とは思えない。

同計画案では、なりゆきに於て電力消費量の伸び率を0.9%としている。この数字の根拠もブラックボックスになっていて示されていないのだが、更に問題が大きいのは、このなりゆきに比べて更に△17%の電力消費削減を、省エネ政策によって実現する、としている点である。電力消費量の長期価格弾性値は0.1～0.2程度であるので、△17%もの電力消費削減を仮に価格効果によって実現しようとするならば、電力価格は、倍増か、それ以上となる。もしも価格効果によらず規制や補助金でこれを達成するにしても、同規模かそれ以上のコスト負担が発生する。このように、計画案の数値目標を達成しようとする、電力の省エネのために莫大な国民負担が生じることが危惧される<sup>5)</sup>。

このため今後、同計画案の進捗管理にあたっては、費用を重視する必要があると考える。もしもパリ協定が全ての国において等しく費用を課するならば、少なくとも国際競争の観点からは費用について気にしなくてよくなる。だが前述のようにパリ協定への取り組みの程度は実態としては不揃いであるので、これも当たらない。

## III イノベーション政策

パリ協定と日本の地球温暖化対策計画は、何れも2030年ごろのいわゆる中期目標を主眼としているが、2100年にかけての長期目標も掲げている。

パリ協定では産業革命前からの温度上昇が

「2度を十分下回る」ことを目指す旨が合意されており、地球温暖化対策計画では様々な条件を付けた上ながら「地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」としており、更に「このような大幅な排出削減は、従来の取組の延長では実現が困難である。したがって、抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限に追求する……長期的、戦略的な取組の中で大幅な排出削減を目指し、また、世界全体での削減にも貢献していく」としている。

更にパリ協定では2020年までに2050年頃を念頭においた国毎の「長期戦略」を提出することとなっており、日本政府はそれに向けた検討を始めている。

日本政府は、温暖化対策に関するイノベーションに関して、後述する「エネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI 2050）」を策定した。同戦略の特徴は、従前から行われてきた個別の技術開発に加えて、AI等のICTによるシステム統合技術といった、共通基盤的な技術に重点が置かれたことである。

この背景としては、安倍政権が成長戦略の柱として実施してきた、イノベーション強化策があり、ここに来て温暖化対策とイノベーション政策という2つの政策が接点を持つことになった。

安倍政権肝煎りのイノベーション政策は、2015年ごろから盛んになった自動車の自動走行やディープラーニングといったAIの急激な進展を色濃く反映している。

以下、概念的に上位レベルにあたる科学技術基本計画（内閣府）と共にエネルギー・環境イ

ノベーション戦略（内閣府）について先ず紹介し、次いで関連する政府のビジョンとして新産業構造ビジョン（経産省）、次世代人工知能技術社会実装ビジョン（NEDO）、及び人工知能技術戦略会議（総務省・文部科学省・経済産業省）の活動を概観する。

## 1. 科学技術基本計画（内閣府）：

### 「Society5.0」（超スマート社会）

日本政府は「科学技術基本計画」を策定し、長期的視野に立って体系的な科学技術政策を実行してきた。内閣府に設置された総合科学技術・イノベーション会議（CSTI。旧総合科学技術会議から改組）は、この計画の策定と実行に責任を有している<sup>6)</sup>。

同会議は「科学技術イノベーション総合戦略」を策定し、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）や革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）といった「国家重点プログラム」の創設、イノベーション・ナショナルシステムの改革に向けた、新たな研究開発法人制度の創設、大学と研究資金の一体改革の検討など、省庁の壁を越えた日本全体での科学技術イノベーションへの取組を強化してきた。

2016年1月22日、2016～2020年度にわたる第5期科学技術基本計画が閣議決定された<sup>7)</sup>。そこでは現状を「ICTの進化等により、社会・経済の構造が日々大きく変化する“大変革時代”が到来し、国内外の課題が増大、複雑化する中で科学技術イノベーション推進の必要性が増している」と認識しており、特に、「“未来の産業創造と社会変革”に向けて、自ら大きな変化を起こし、大変革時代を先導していくため、非連続なイノベーションを生み出す研究開発を強化し、新しい価値やサービスが次々と創

出される“超スマート社会”を世界に先駆けて実現するための一連の取組を更に深化させつつ「Society5.0」として強力に推進する」としている。

ここで超スマート社会とは、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、活き活きと快適に暮らすことのできる社会」と定義されている。

そこでは例えば、「生活の質の向上をもたらす人とロボット・AIとの共生、ユーザーの多様なニーズにきめ細かに応えるカスタマイズされたサービスの提供、潜在的ニーズを先取りして人の活動を支援するサービスの提供、地域や年齢等によるサービス格差の解消、誰もがサービス提供者となれる環境の整備等の実現」が期待されている。

また、超スマート社会に向けた取組の進展に伴い、エネルギー、交通、製造、サービスなど、個々のシステムが組み合わされるだけにとどまらず、将来的には、人事、経理、法務のような組織のマネジメント機能や、労働力の提供及びアイデアの創出など人が実施する作業の価値までもが組み合わされ、更なる価値の創出が期待できる、としている。

## 2. エネルギー・環境イノベーション戦略 (NESTI, 内閣府)

内閣府総合科学技術・イノベーション会議は、「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI 2050)を、2016年4月19日に取りまとめた。これは前述の地球温暖化対策計画と並ぶ日本政府の温暖化対策と位置づけられてい

る<sup>8)</sup>。

ここでは、第5期科学技術基本計画で示された「Society5.0」(超スマート社会)に言及した上で、「エネルギー・環境分野においても、排出削減技術を個別に開発・導入するだけでなく、エネルギー関連の装置や設備をネットワーク化し、また、個別の機器・設備等をそれぞれ制御するだけでなく、エネルギー・システムとして統括的に捉え、システム全体として最適化を図る。……エネルギーの徹底的な有効利用が実現し、世界全体のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量が最小化される」としている。

かかる考え方を反映して、同戦略では、従前から行われてきた太陽電池や蓄電池などの個別のいわゆる温暖化対策技術開発に加えて、AI等のICTによるシステム統合技術、および超電導・パワーエレクトロニクスといった材料・部品などのシステムコア技術といった、温暖化以外の分野でも活用が期待される共通基盤的技術にも重点が置かれている、という特徴を有する。

## 3. 新産業構造ビジョン(経産省)

「日本再興戦略 改訂2015」が2015年6月30日に閣議決定された。そこでは「IoT・ビッグデータ・人工知能等による変革は、従来にないスピードとインパクトで進行しており、民間が時機を失うことなく的確な投資を行い、また、国がそれを促し加速するためのルール整備・変更を遅滞なく講じていくためには、羅針盤となる官民共有のビジョンが必要」とした。

これを受けて、経産省が事務局を務める産業構造審議会は「新産業構造部会」を立ち上げ(8月)、2016年4月27日に「新産業構造ビジョ

ン」の中間整理を発表した。参加省庁は、内閣府、公正取引委員会、金融庁、総務省、財務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省である<sup>9)</sup>。

同ビジョンではIoT・ビッグデータ・AI等の活用によってあらゆる分野でのイノベーションを実現し、それによってエネルギー・環境はもちろんのこと、生産性向上、医療、防災など、あらゆるニーズに対応していくという将来像を、必要な制度整備や研究開発体制の強化の視点から論じている。

執筆時点における日本政府の諸活動の中でも、最も大胆で、想像力を逞しく、かつ詳細に踏み込んで描かれた、イノベーションによる社会経済の総合的なビジョンとなっており、読んでいて面白い。

#### 4. 次世代人工知能技術社会実装ビジョン (NEDO)

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) は、2016年4月21日に、次世代の人工知能技術の発展に伴い、日本の出口分野においてどのような効果がもたらされるのか、人工知能技術の進展予測とともに、時間軸上に可視化した「次世代人工知能技術社会実装ビジョン」を公表した<sup>10)</sup>。

同ビジョンでは、現在～2020年、2020年～2030年、2030年以降の3つの時間軸、「ものづくり」、「モビリティ」、「医療・健康、介護」、「流通・小売、物流」の4つの出口分野において、人工知能技術及びその関連技術の進展を、その効果と併せて示している。人工知能技術の見通しについて、多岐に亘り、詳細に描かれている。

#### 5. 人工知能技術戦略会議

(総務省・文部科学省・経済産業省)

2016年4月12日に開催された第5回「未来投資に向けた官民対話」における安倍総理の指示を受け、人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップを、本年度中に策定するため、「人工知能技術戦略会議」が、総務省・文部科学省・経済産業省の共同事務局のもと設置された。これは産学官の叡智を集め、縦割りを排したものとされる。今年度からは本会議が司令塔となり、その下での人工知能 (AI) 技術の研究開発の3省連携を図るといふ<sup>11)</sup>。

### IV 議論：温暖化対策とイノベーション

以上で紹介したように、パリ協定を受けた地球温暖化対策では、安倍政権の意向のもと経済と温暖化対策の両立が謳われ、イノベーションは温暖化問題解決のための重要な手段と位置づけられた。

他方では経済成長戦略の一環としてイノベーション政策が強化されてきた。これは自動車の自動走行技術やディープラーニングといったAI等を初めとするICTの2015年頃からの急激な進展を反映し、その将来性に期待して「Society5.0」(超スマート社会)を建設するという方向性で展開している。

温暖化対策に関する「エネルギー・環境イノベーション戦略」も、ICTを主眼としたイノベーション政策である科学技術基本計画の下部構造として位置づけられた。

このようにして、温暖化対策とイノベーション政策は接点を持つようになった。もちろん、以上に紹介した一連の政府のビジョンがどの程度実現するかは定かではない。だが大きな方向

性として、加速するイノベーションが大きく経済社会を変えていく中で、温暖化対策も実施されていく、ということは間違いない。一連の政府ビジョンはその将来像について、細部はともかく、大体の未来像を国民が共有するために有益なものとして評価できる。

特に、諸ビジョンの整理によって、イノベーションと温暖化対策のその相互関係について議論する環境が整った。イノベーションはエネルギー需給のあり方を大きく変えるものであり、温暖化問題への対応戦略に対しても根本的な影響を与える。

以下では、かかる検討の端緒として、今後10年及びそれ以上に亘る長期的な視点から、今後の展開について幾つかの方向性を論じる。

## 1. イノベーションと温暖化問題の時間軸の違い

温暖化問題は2050年、2100年という長い時間軸で語られるのに対して、NEDOの人工知能ビジョンがそうであるように、ICT等のイノベーションが具体的に描かれるのはせいぜい2030年までと時間軸が短い。

この時間軸の違いは、温暖化問題を解決する勝機となる。つまり今後数十年の間に起きるイノベーションの果実を得ることで、今世紀半ばにかけてのエネルギー需給の姿が大きく変わり、やがては低コストで温暖化対策が可能になっていくだろう<sup>12)</sup>。ここでは、特に電力部門が重要な鍵となっていくので、以下本稿では、特に同部門を中心に議論を進める。

## 2. あらゆるものの電化

### Electrification of Everything (EOE)

エネルギー消費に関する長期的なトレンドと

して、最終エネルギー消費における電気利用の割合（以下、本稿ではこれを単に「電化率」と呼ぶ）は上昇してきた。これには3つ理由がある。第1に、電気は使用時において便利・安全・クリーンなので選択されてきた。第2に、新しい電気利用機器が次々に開発され普及するという技術進歩があった。第3に、経済成長によって所得水準が上昇した。今後もこの電化（＝本稿では「最終エネルギー需要に占める電気の割合の上昇」と定義する）のトレンドが続くことは間違いない。

これに加え、AI等のICTやロボットが普及すると、電化はますます進むだろう。今後、人間の仕事の多くを機械が置き換えるようになるが、機械は必ず動力を必要とし、更には通信をするからだ。より多くのバッテリー、センサー、モーターが使われるようになる。これは電力を必要とする。田畑でも、建設現場でも、自動車の中でも、電気を利用する機器は増える一方であろう。遍くIoTが進みロボット化が進んだ世界とは、遍く電力供給がなされる世界である。つまりインターネット・オブ・エブリシング (IOE) とはエレクトロフィケーション・オブ・エブリシング (EOE) に他ならない。

電力の供給形態が電線かバッテリーか、電源が集中か分散かを問わず、ここでは「規模の経済」の恩恵が莫大になる。電気料金は安く、電線と無線は遍く張り巡らされ、バッテリーも安くなり、充電用の設備・機器も遍く存在するようになる。すると電力以外のガスや石油供給のためのエネルギーインフラを持つことの経済性は乏しくなるだろう。

AIは高機能な材料や機器のイノベーションももたらすが、これも電気利用機器に有利に働く。電気利用機器の効率は過去にもめざましく

向上してきたし、今後も、更に高くなる余地が、燃料を直接燃焼する機器よりも大きい。また電気利用機器は燃焼機器に比べて設備・機器費が高いが、燃料費は安い傾向にある。例えば電気自動車やエアコンがその例である。イノベーションによって設備・機器費はなおも下がり続けるから、このことも電化に有利に作用する。

そしてCO<sub>2</sub>削減の観点からも電化が推進されるようになる。長期的に見れば、イノベーションによって太陽電池等のコストは下がり、電力の低CO<sub>2</sub>化が一層進む。従前はヒートポンプとガス燃料電池はCO<sub>2</sub>の観点から争ってきたが、今後は、電力の低CO<sub>2</sub>化に加えて機器の効率化が更に進み、電力がガスを圧倒するようになる。利便性やコストなど他の点での大幅な欠点が無い限り、温暖化対策として電力利用が推進されるようになるだろう。

### 3. 省エネと「リバウンド効果」：電力消費は増大し続ける

次に、イノベーションが電気消費の総量にどう影響するか考察する。

政府の温暖化対策計画では省エネに大きな期待が寄せられており、さらに前節で概観した政府の計画・ビジョン等においては、AI等の共通基盤技術によって、あらゆる効率が向上し、とくにエネルギー分野では省エネをもたらすと期待されている。

だがこの省エネへの期待は過剰であると言わざるを得ない。イノベーションは省エネをもたらすと期待されているが、利便性の向上やコスト低下によって活動量の増加ももたらすため、エネルギー消費量、就中、電力消費はむしろ増える可能性がある。これについて関係者はよく認識する必要がある。

過去について振り返ると、1973年の石油ショック以来、日本は省エネを推進してきた。この結果、仕様を固定して比較するならば、エアコンなどの家電機器の効率は10年間で倍増、3倍増ということもよくあった。だが全体としては電力消費は減らなかった。それだけ電力によって供給されるサービスの消費が増えたからだ<sup>13)</sup>。

これは省エネ政策の研究者がリバウンド効果<sup>14)</sup>と呼んできた現象であり、あらゆる技術進歩について共通した議論である。蒸気機関の発明は石炭利用効率を高めたが、総量としては増エネになった。発電機とモーターの発明も化石燃料資源の利用効率を高めたが、総量としては増エネになった。

自動走行についても、燃費は改善するものの、自動車利用のコストが下がるため、運輸部門全体では増エネになるという試算がある<sup>15)</sup>。

より一般的に言って、AI等のICTを初めとする一連のイノベーションが、電力消費量に対してどのような帰結をもたらすかは、予断できない。だが、イノベーションによって経済活動を活性化する以上、過去と同様に、GDP成長と関連した形で電力消費量増大に帰結する可能性が高いと筆者は見ている。

但し以上のことは、省エネ政策が無駄であるというのではない。省エネ政策によって、個人や企業の行動の非合理性を克服し、経済的な便益を享受しつつ、エネルギー消費を削減することは一定程度可能であり、その可能性は常に追求すべきである。ただし、省エネ政策によってエネルギー消費、就中、電力消費の総量が抑制できるかという、それは過去には出来なかったということである。CO<sub>2</sub>の大幅削減は、電力消費の増大を受け入れつつ、電力のCO<sub>2</sub>原

単位を下げることで達成する、という方向性が現実的であろう。

#### 4. ゲームチェンジャー：世界のエネルギー需給バランスを変える技術

イノベーションは、既存の世界のエネルギー需給バランスを大きく変化させ、国際経済や地政学にも大きな影響を及ぼすかもしれない。以下特に、電気自動車（EV）によって石油需要が大幅減少し、太陽電池（PV）によって火力発電量が大幅減少する可能性について考察する。

##### 自動車

運輸部門は2030年には既に大きく変わっているだろう。変化の方向は3つある。

第1はシェアリング・エコノミー化である。これは、自動車が保有するものから、シェアして必要な時だけ使うものであり、米国のUBERのサービス等が知られている。今日の自動車は、大半の時間、空車の状態で駐車している。タクシーも半分の時間は客を乗せていない。ICTによって自動車の稼働率が上がることが期待されている<sup>16)</sup>。

第2に自動走行がある。これは技術としてはかなり実現してきた。自動走行は、渋滞を無くし、事故を減らすなど、多大な効用が期待されている。空ぶかしもせず無駄な加速もしないのでもちろん省エネにもなる。だが他方では、便利になるので利用量は圧倒的に増えて、リバウンド効果が大きく、増エネに帰結するかもしれない。

第3に電気自動車がある。バッテリーの性能は急速に改善している。大型トラックなどは当面難しいかもしれないが、その他の用途では電気自動車が有望になってきた。リチウ

ムイオンバッテリーの価格は、既に300ドル/KWhに達し、さらに年率8%で下がり続けている<sup>17)</sup>。正極・負極・電解質・セパレータの全てに亘り次々と新しいアイデアが研究されており<sup>18)</sup>、2020年以降は200ドル/KWhに達するという予測もある<sup>19)</sup>。日産リーフ並みの24KWhのバッテリー容量（一回充電で200km走行できる）を想定すると、これは50万円となる。前提にもよるが、電気自動車のランニングコストはガソリン自動車より安く、その差は年間10万円程度になるという試算がある<sup>20)</sup>。シェアリングエコノミーにより稼働率が3倍になれば、この差も更に3倍になる（現在の自動車は1日に2時間しか稼働していないが、それが6時間稼働すれば稼働率は3倍になる）。但しバッテリー価格が下がっても、ガソリン自動車も技術進歩するため、ライフサイクルコストでブレークイーブンに達するには、かなり高い石油価格を想定する必要があるとの指摘もあり、それは米国では200ドル/バレル程度という試算もある<sup>21)</sup>。もっとも、ブレークイーブンに達しなくても、ある程度安価になりさえすれば、排気ガスやエンジン音が無いといった電気自動車の特徴によって、都市環境の観点から代替が進むだろう。日本政府は電気自動車およびプラグインハイブリッド車の合計が2030年の新車販売の20%～30%を占めるという普及目標を立てている<sup>22)</sup>。

現状において世界の石油需要はその大半が自動車用なので、運輸部門の変動は世界の石油需給を大きく変えることになる。かつて1973年にヤマニ・サウジ石油相が「石器時代は石がなくなったから終わったのではない」と述べて、代替技術が開発されて石油時代が終わることを警戒すべしと説いたが、これが現実のものとな

りつつあるようだ。

## 太陽電池

日本においては、全量買取り制度によって太陽光発電が大量導入されてきた。だが今そのコストが高く電気料金上昇を招くことが問題視されて、2016年5月25日に法改正が行われ、入札制度に移行することとなった<sup>23)</sup>。

太陽光発電システムの価格は過去大幅に低減してきたし、今後は更なる価格低下が見込める。日本については、今は先ず大量導入を一旦止め、太陽光発電自体に加えて、太陽電池の間欠性が惹起する電力系統との統合の費用についても、技術進歩等による低減を図るべきである。その後で、再び大量導入を検討すればよい。

米国では、砂漠がそうであるように、日照がよく、土地が安く、大規模な設備設置が可能であるため、日本よりも遙かに安価に太陽電池が利用されている。大型の事業用太陽光発電では3.4セント/KWh程度に達しているという試算もある<sup>24)</sup>。今後はこれがさらに安価になるだろう。

今のところ、太陽電池の間欠性の問題は解決できていないが、これも長期的には解決に向かっていくだろう。これには幾つか可能性がある。第1に、より安価になることで、余剰の電力を捨ててしまうという選択肢がある。第2に、前述の「あらゆるものの電化 (EOE)」によって、バッテリー充電の需要が大幅に増えることも解決につながる。充放電する時間は選べるからだ。第3に、バッテリー自体がさらに安くなることも考えられる。

長期的に見て、2030年、まして2050年ともなれば、回避可能費用である火力発電の燃料費と同定度の費用で太陽光発電が導入され、火力発電量の半分以上を代替するような国がいくつ

も出てくると予想される。これはCO<sub>2</sub>の大幅な削減になる一方で、発電燃料である石炭・ガスの国際市場に対して大きなインパクトを与える。

## 5. イノベーションとCO<sub>2</sub>削減のバランス

最後に、イノベーションは温暖化問題に間に合うのか、手遅れにならないためには、どうすべきかを考察する。

パリ協定は2度という温暖化抑制の目標を置いたが、このためには温室効果ガス排出を2050年に半減、2100年にはゼロにしなければならない。これに対して、目標がもし3度であれば2050年まではほぼ横ばいでよい。但し排出量と温暖化の関係には科学的不確実性が大きいので、これは何れも確たる話ではない。

では2度の場合にどのような環境影響があるか。実はこれもよく分っていない。まして2度と3度の場合で環境影響がどのぐらい違うのかは、殆どわかっていない<sup>25)</sup>。

2050年に半減というのは、ありえない話ではない。だがこれからのイノベーションの結果起きることなので、あまり緻密に積算できるような性格のものではない。いま政府は2050年ごろを念頭においた「長期戦略」に着手しているが、大雑把な概算が現時点の経済活動を縛るような愚は避けねばならない。2050年時点にどのような産業があり、どのような技術が存在するかは根本的には不可知である。そして、不可知であることを前提に政策を実施しないと政府は失敗する。政府は研究開発を推進しイノベーションに応じた制度整備をする必要がある。だが政府は、勝者となる産業や技術を選別し計画すべきではない。

2050年に半減まで行けるかどうかは分らな

い。だが、そこまで極端でなく、2050年まで排出量を横ばいにする程度であれば、今後のイノベーションによって、それほどコストをかけることなく実現できると筆者は見ている。

イノベーションはエネルギー効率を高め生活を豊かにする。だがイノベーションだけで温暖化問題が解決する訳でもない。過去についていえば、イノベーションは経済成長をもたらすのみならず、エネルギー消費、就中、電力消費を増やしてきた。将来についても、同じことが起きるだろう。だからCO<sub>2</sub>を抑制しようと思えば、何らかの政策介入は必要になる。

ただしこれは経済と両立しなければならない。経済と両立しなければ、ICT等の共通基盤的イノベーションも、それと密接に関係する温暖化対策のイノベーションも、何れも実現しないからである。前述のように、パリ協定が企業の国際競争上のイコールフットイングを担保しないことにも、十分に配慮しなくてはならない。世界でイノベーションをリードできる国は米国・日本等、数カ国しかない。広範なイノベーションを促進する一方で、それを妨げない範囲で、低コストになった技術をタイミングよく導入してCO<sub>2</sub>排出を抑制することが、日本が温暖化問題の解決に寄与する最善の方法であろう。

[注]

- 1) 本稿は紙幅の都合で文献やデータは大幅に割愛した。更に詳しくは：拙稿「温暖化問題の解決への道筋と日本の政策のあり方について」、日本公共政策学会、2016年6月12日；拙稿「地球温暖化とICTイノベーション」、オーム2016年4月号。
- 2) 上野貴弘、COP21パリ協定の概要と分析・評価、電力中央研究所報告Y15017、2016年。
- 3) 日本の温暖化対策全般の平易な解説として：エネルギー・環境政策の再構築：強い経済とCO<sub>2</sub>排出抑制の両立に向けて みずほ総合研究所 2016年3月23日、<http://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/insight/pl160323.pdf>

- 4) 地球温暖化対策計画 <http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>
- 5) 省エネルギーのコストについて詳しい解説は、杉山大志、大幅な省エネ見通しの国民負担を精査せよ：既存のモデル試算は電力価格倍増を示唆している、国際環境経済研究所(IEEI) ホームページ、2015年。<http://ieei.or.jp/201504/sugiyama150421/>
- 6) 科学技術基本計画 HP <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihon/keikaku/index5.html>
- 7) 科学技術基本計画 平成28年1月22日 閣議決定。<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/sinsangyou/4kai/sanko2.pdf>
- 8) 総合科学技術・イノベーション会議(第18回)平成28年4月19日(火)「エネルギー・環境イノベーション戦略(案)」の概要、<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui018/siry01-1.pdf>
- 9) 新産業構造ビジョン中間整理、平成28年4月27日産業構造審議会新産業構造部会、本文：[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin\\_sangyoukouzou/pdf/008\\_04\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/008_04_00.pdf)、資料：[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin\\_sangyoukouzou/pdf/008\\_05\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/008_05_01.pdf)
- 10) 次世代人工知能技術社会実装ビジョン、<http://www.nedo.go.jp/content/100782828.pdf>
- 11) [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000416243.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000416243.pdf)
- 12) この時間軸の違いについて更に詳しくは、拙稿「地球温暖化とICTイノベーション」、オーム2016年4月号。
- 13) 拙稿、省エネの「ダブルカウント」に要注意—京都議定書目標達成計画の失敗を繰り返す—、国際環境経済研究所(IEEI) ホームページ <http://ieei.or.jp/201502/sugiyama150220/>
- 14) より厳密に言えば、学界の慣例として、ある機器の効率が上がったとき、機器の利用量が増えてその省エネ量の一部が相殺されるときにリバウンド効果と呼び、省エネ量が全てキャンセルされてかえって増エネになる場合をバックファイアと呼ぶのが普通であるが、本稿では簡単のためこの両者を区別せずリバウンド効果と呼ぶ。
- 15) Zia Wadud et al., Help or hindrance? The travel, energy and carbon impact of highly automated vehicles, Transportation Research Part A Policy and Practice 86 : 1-18 · April 2016, DOI : 10.1016/j.tra.2015.12.001, [https://www.researchgate.net/publication/286202541\\_Help\\_or\\_hindrance\\_The\\_travel\\_energy\\_and\\_carbon\\_impact\\_of\\_highly\\_automated\\_vehicles](https://www.researchgate.net/publication/286202541_Help_or_hindrance_The_travel_energy_and_carbon_impact_of_highly_automated_vehicles), 分りやすい紹介記事は以下：New study: fully automating self-driving cars could actually be worse for carbon emissions, <http://www.vox.com/2016/2/27/11121416/study-fully-automating-self-driving-cars-worse>
- 16) 宮崎康二、『シェアリングエコノミー』、日本経済新聞出版社、2015年。
- 17) Björn Nykvist and Måns Nilsson, "Rapidly Falling Costs of Battery Packs for Electric Vehicles," Nature, March 23, 2015, <http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n4/full/nclimate2564.html>, なお本文では1ドルを100円として換算した。
- 18) バッテリー技術開発の最新動向については、金村聖志、『ハイブリッド自動車用リチウムイオン電池』、日刊工業新聞社、

- 2015年；米国のリチウムイオン電池開発競争について読みやすく書かれたものとして、スティーブ・レヴィン、『バッテリーウォーズ 次世代電池開発競争の最前線』、2015年。
- 19) Björn Nykvist and Måns Nilsson, 前掲。なお本文では1ドルを100円として換算した。
- 20) 日産自動車 HP <http://ev.nissan.co.jp/EV/POINT/>
- 21) Thomas Covert, Michael Greenstone, and Christopher R. Knittel, Will We Ever Stop Using Fossil Fuels?, Journal of Economic Perspectives—Volume 30, Number 1—Winter 2016—Pages 117–138, p133. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.30.1.117>
- 22) 自動車産業戦略 2014, 経済産業省製造産業局自動車課, 2014年11月  
<http://www.meti.go.jp/press/2014/11/20141117003/20141117003-A.pdf>; 次世代自動車普及に向けた経済産業省の取組み—CHAdemo, 経済産業省製造産業局自動車課 電池・次世代技術・ITS推進室長 吉田健一郎, 2015年6月8日, <http://www.chademo.com/wp/pdf/japan/2015GA/2015GAMETI.pdf>
- 23) 平成29年4月1日から固定価格買取制度が変わります～固定価格買取制度の認定を受けている皆様へ～ <http://www.meti.go.jp/press/2016/05/20160525005/20160525005.html>
- 24) David Keith, I Was Wrong About the Limits of Solar. PV Is Becoming Dirt Cheap April 28, 2016, <http://www.greentechmedia.com/articles/read/i-was-wrong-about-the-economic-limitations-of-solar-power>
- 25) 詳しくは拙著『地球温暖化とのつきあいかた』, ウェッジ社, 2014年。

## 最近の調査研究シリーズ～国際貿易投資研究所

次の調査研究報告書の全文をダウンロードすることができます

- ・『東アジアのFTA 効果調査～新たな段階を迎えるミャンマー・カンボジアの関税削減措置の影響～調査事業結果』(21号, 2月)
- ・『開発途上国のコミュニティ・ビジネス開発と日本の対応』(22号, 2月)
- ・『投資先としてのASEANの検証～投資環境とリスク～』(23号, 3月)
- ・『地域経済の発展に貢献するドイツのクラスター』(24号, 3月)
- ・『主要国の企業間共同研究・政府支援の実態調』(25号, 3月)
- ・『メコンはチャイナ+1, タイ+1の機会を生かせるか』(26号, 3月)
- ・『欧州の政治的・経済的リスクとその課題』(27号, 3月)
- ・『日本産業構造の長期分析：相手地域別輸入構造の変化』(28号, 4月)
- ・『朴槿恵政権のFTA政策—韓中FTAとTPPへの対応を中心に』(29号, 4月)
- ・『メガFTAにおけるルール～TPPを事例として～ITIメガFTA研究会報告(2)』(30号, 4月)
- ・『TPP協定に対する米国内産業界および労働界の見方～ITIメガFTA研究会報告(3)』(31号, 4月)
- ・『TPPのASEANへの影響～ITIメガFTA研究会報告(4)』(32号, 4月)
- ・『新生インドの「モディノミクス」とFTA戦略～アクト・イースト政策で東アジアと経済連携～ITIメガFTA研究会報告(5)』(33号, 4月)
- ・『電子部品・デバイスの貿易からみたグローバル・サプライチェーンと情報技術協定(ITA)～ITIメガFTA研究会報告(6)』(34号, 4月)
- ・『日本のTPP貿易, RCEP貿易～ITIメガFTA研究会報告(7)』(35号, 4月)
- ・『Mekon Supply Chain Study Country Report～Myanmar～』(36号, 4月)
- ・『Mekon Supply Chain Study Country Report～Viet Nam～』(37号, 4月)
- ・『TPPとサービス貿易—ベトナムの留保内容を事例として—』(38号, 6月)

★ダウンロード先：<http://www.iti.or.jp/>