

CO₂削減の「イノベーション・シナリオ」

2014/11/28

温暖化の政策科学

杉山 大志

(一財) 電力中央研究所 / IPCC 統括執筆責任者

技術革新への洞察を深めることで、現実的な、イノベーションによる CO₂ 削減シナリオが見えてくる： 革新的技術は、イノベーション・エコシステム（技術の生態系）から生まれる。これを育むには経済成長が不可欠で、日本のエネルギーは安くなければならない。

1 稚拙な IPCC シナリオ

温暖化問題の解決のカギは技術革新である。

だが IPCC のシナリオ^{注1)} では、技術革新の扱いは稚拙だ： 技術の仕様やコストは、現時点での予測に基づいている。或いは、単に生産量が増えれば安くなると想定している。いずれも不確かで、2050 年、2100 年という遠い将来までの中する筈が無い。

問題の根源： 技術革新は本質的に不可知だ。

だから、無理やりに既知の技術でシナリオを描くと稚拙になるのだ。IPCC の 2 度目標達成シナリオは、「世界全体で一致協力して、高コストを厭わずバイオエネルギーと CCS を大規模に普及させる」としているが、これは実現可能性が全くない。荒唐無稽だ。

2 ICT 革命@2030 を思い描く

では、実際のところ、今後の技術はどうなるか？ もっとも動きが大きいのは、ICT であろう。過去 15 年、インターネットによって、雑誌は減り、本屋が消えた。これからの 15 年は、更に ICT 革命が加速する。ウェアラブル、ロボット等だ。人工知能は、言語処理や判断など、人間の知識労働をも置き換える。生産から生活まで、経済の全てが変わる。これに連れて、エネルギー消費も CO₂ も激変する。

以下、予言は必ず外れることを承知で^{注2)}、諸文献から、将来のイメージを掴んでみよう。何れも技術的には既に開発されつつあり、一部は既に実現している：

[運輸部門]

自動車は 100 年に 1 度の変化をする。自動運転、無人運転だ。トラックは高速道路から順に無人運転になる。乗用車は無人化で EV が有利になる。EV タクシーが普及し、車の保有は激減する。交通事故と渋滞は消滅する^{注3)}。

[業務部門]

オフィスはどうか。コールセンターは機械に代わる。法務など、知識集約的な仕事も人工知能が取って代わる。1 人での座業は家庭に移る。打ち合わせも多くはネットになる。オフィスでは、個人の机は消えて、打ち合わせスペースだけが残る^{注4)}。

学校の授業は家庭にネット配信され、学校では宿題を個別指導する。つまり今と逆転する^{注5)}。やがて大半がネットになる^{注6)}。

病院では、まず看護師と人工知能が診察をする。医者は、それを確認し、患者と対話することに特化する。次いで遠隔診断、無人診察も普及する^{注7)}。

物流・小売りは変わり続ける。過去 15 年、アマゾンやセブンイレブンが伸び、家電量販店は消えた。ネット販売、コンビニ、ディスカウントストア等が再編され続ける^{注8)}。

レストランはどうか。機械の作る食事が増える。家庭料理が減り、食事の宅配が増える。

[家庭部門]

スマートフォンやグーグルグラスがさらに進化したウェアラブルが家電と連動し、老人は健康に、子供は安全に、生活は快適になる^{注9)}。

[産業部門]

これまで労働集約的だった工場が、知識集約的・設備集約的になる。この結果、人件費の安い途上国から、インフラや企業集積のある日本へ、工場立地が回帰する^{注10)}。

[経済と余暇]

ICT 革命で富は増大し、人々は、レストランで、家庭料理で、美容院で、整体院で、自然公園で、旅行で、コンサートで、リアルな体験を楽しむ。現在の雇用の半分は機械にとって代わられる^{注11)}。だがリアルな体験のための雇用が生まれ、経済は成長する^{注12)}。

さて、以上のような変化が表層の観察だとすると、その深層にある原理は何か？

- 注1) IPCCのシナリオについて、詳しくは[こちら](#)
- 注2) 参考：ガードナー著「専門家の予測はサルにも劣る」
- 注3) 詳しくは鶴原他著「自動運転」。
- 注4) 詳しくはオフィスビル研究所著「オフィスビル2030」。
- 注5) 英語圏では既の実現している：詳しくはプリニョルフソン他著「機械との競争」
- 注6) 既に無料のネット授業は多い。「無料授業 ネット」でググるとヒットする。
- 注7) 詳しくは、モス著「MITメディアラボ」
- 注8) 参考：ストーン著 ジェフ・ベソス「限りなき野望」、朝永「セブン&アイ 9兆円企業の秘密」、山田順著「出版大崩壊」
- 注9) 詳しくは、スコープル他著、「コンテキストの時代」
- 注10) なお産業部門では、エネルギー集約産業（電力、鉄、セメント）は例外的で、他産業に比べると、変化は少ないだろう。既に設備集約的で、技術が成熟しているからだ。
- 注11) 詳しくは、[オックスフォード あと10年で「消える職業」「なくなる仕事」](#)
- 注12) 米国ではこれが実際におきた。詳しくは、モレッティ著 “年収は「住むところ」で決まる：雇用とイノベーションの都市経済学”

3 技術革新の本質：イノベーション・エコシステム

技術革新の本質については、複雑系研究によって、理解が深まった^{注13)}。すなわち、

- ・技術革新とは、既存の技術の交配（組合せ）である（図）。



図 技術革新とは既存の技術の組合せであり、人類を繁栄に導く。

マウスは無数の技術の組合せで出来ている。

詳しくは、マット・リドレーの講演（日本語字幕付き）を

ぜひご覧ください：[アイデアがセックスするとき](#)

- 技術は生態系「イノベーション・エコシステム」として進化する：
このため、長期にわたる技術予測は根本的に不可能となる。それが数学的に複雑系（非線形システム）だからだ。生物は、それがどう進化したかを後から説明することは出来る。だが進化の結果どのような生物になるかを予言はできない。技術も同じだ。
- 技術の進化は加速する：
技術の知識は、一度進むと戻らないという累積性がある。そして、その組合せの数は、既存の蓄積量に比例する。このため、進化は加速する。
- 技術は自律的に進化する：
技術史は、よく偉人の歴史として語られる。だが、実はその偉人がいなくても、別の人が同じものを発明したであろう。例えばベルは電話を発明したが、彼は多くのライバルと競争していた。ということは、ベルが居なくても、電話は時を待たず発明されただろう。そこまで、技術の蓄積が進んでいたと云うことだ^{注14)}。

科学も技術と同様だ。「アインシュタインが居なければ一般相対性理論は何年遅れたか？」という問いへの、ある物理学者の回答は「10年」だった。偉大な個人は居る。だが、科学・技術の進歩の大局は、イノベーション・エコシステムの自律的な進化が決めるのだ。

4 安いエネルギーが望ましい理由

さて温暖化問題の解決のためには、革新的技術が必要だ。ではこれは、どうすれば得られるか？

イノベーションは、地域の産業蓄積を基盤とする。例えば ICT はシリコンバレーに基盤がある。

日本は、国全体が、製造業を中心とした世界有数の産業蓄積地である^{注15)}。言わば「ニッポン・イノベーション・エコシステム」である。プリウスも青色 LED もここで生まれた。イノベーション・エコシステムをさらに育むために、多くの提案がされている。産学連携強化、研究開発投資の政策的優遇などだ。

だが根本的に重要なことがある： 経済が成長しなければ、いかなる技術革新も停滞する、ということだ。

このためには、あらゆるコストは低いほうがよい。エネルギーも然り。

温暖化対策というと、エネルギー価格が高いと省エネが進む、という側面ばかりが強調される傾向がある。

だが革新的技術が本質と考えると、これは全く逆になる： 部品メーカーがコスト競争で生き残るためにも、EVの普及のためにも、SOHOでのベンチャーの起業のためにも、エネルギーは安くはないといけない。

もちろん、安すぎると無駄遣いを招くので、バランスは要る。だが今の日本は、世界的に見てエネルギー価格

が高い。必要なことは、安くすることだ。

5 2030年のエネルギー

ICT革命で、2030年のエネルギー消費はどうか？

過去をみると、技術進歩でエネルギー効率は上がったが、経済的に豊かになって、エネルギー消費の総量は増えた。今後も同じかもしれない。だが違うかもしれない。ICTの成果が早々に現れて、総量が減る可能性もある。

要すれば「不可知」だ。2000年時点で、2015年にスマホでアマゾンを使うことは予言不能だった。では今から15年後の2030年はどうか。あらゆる業種で、2030年の業態も技術も増々予言不能となり、エネルギー消費量やその削減可能量は、もっと分からない。

注13) 参考：学問的には複雑系研究者であるアーサー著「テクノロジーとイノベーション」が良いが、読みやすく面白いのはケリー著「テクニウム」、リドレー著「繁栄」。

注14) 参考：ケリー著「テクニウム」。

注15) 参考：フロリダ著「クリエイティブ都市論」。

例えば：

自動運転のEVタクシーが個人の移動手段の主流になれば、自動車のエネルギー消費は激減するかもしれない。だが、便利かつ安価になるので、利用量は激増するかもしれない^{注16)}。合計でエネルギー消費が減るかどうかが、分からない。

高精度・大型化で、テレビの電力消費は増えるかもしれない。だがこれによってネット会議が普及し、通勤や出張が不要になり、移動エネルギーが激減するかもしれない。

ICT革命では、部門の垣根も変わる。例えば、会社でなく家庭が仕事場になる。無人運転EVはオフィスや居間にもなる。そもそも、部門ごとにエネルギー消費量を予想することの意味が消滅するかもしれない。

もしも国際的な約束や、国の計画のため、総量を見通す必要があるならば、予言が不能である以上、安全サイドでの見通しにすべきだろう。

特に電力消費について言えば、経済成長率と同じ伸率を想定すべきだ。過去の殆どの期間、世界のあらゆる国で、所得と電力消費は比例してきた^{注17)}。これは強固な関係なので、「鉄のリンク」と呼ばれる。将来が不可知な中で、最も信頼に足る想定はこれであろう。悲しいかな、低成長に慣れきって、日本人は、あらゆる成長を想像出来なくなっている。だが、もしも経済成長率が高いなら、電力消費の伸び率も高いと考える方が妥当だ。

6 2030年のCO₂

では2030年まで電力消費が増え続けるとなると、CO₂はどうなるのか？ 筆者は以下のように考える：

第1に、ICT革命によって、効率が上がり、少ないエネルギーから多くの富を生み出せるようになる。これは世界全体のCO₂削減になる。プリウスや青色LEDが良い例だ。

第2に、日本が世界でもまれな、有力なイノベーション・エコシステムであることを忘れてはならない。ここでどれだけの技術革新が出来るかで、世界の経済開発・環境保全の成否が大きく左右される。

第3に、今の日本の状況では、技術革新、就中ICT革命は、必ず成し遂げないといけな。国力を高め、安全保障を確保するためだ。これに比べれば、CO₂は喫緊の課題ではない^{注18)}。

事の大小を間違えてはいけな： 2030年までに日本国内のCO₂を減らすことは重要ではない。だが日本には、日本というイノベーション・エコシステムを活用して、技術革新を進める使命がある。これこそが重要で、あらゆる国益に適いつつ、世界規模でのCO₂削減をもたらす。

7 イノベーションによるCO₂削減シナリオ

今後、生産も生活も、業態も技術も、全てが根本的に変わり、経済のエネルギー消費効率は大幅に上がる。

エネルギー供給も大きな変化がありうる。バッテリーや太陽電池も性能が上がり安くなる。バッテリーはモバイル機器という大きなマーケットが既にあるので、技術進歩は進んでいる。国は、補助金で大量導入する無駄遣いをせず、基礎研究に投資を集中すべきだ。バイオもCCSも今はコストが高すぎるが、基礎研究を続けることで、コストダウンに目途が立つかもしれない。

冒頭に述べたが、IPCCのシナリオは荒唐無稽だ。これは、既知の技術で無理に絵を描くからだ。

だが技術進歩の速さを考えるならば、2100年という遠い将来にかけて、CO₂の大規模な削減は十分にありうる。定量的な絵も、書こうと思えば幾らでも描ける（勿論当たらないが；だがイメージの共有のために必要な作業かもしれない）。

日本の国家戦略としては、当面は、国内のCO₂削減は経済を抑制しない範囲に留め、技術革新に注力すべきだ。

8 政府の役割： 技術に付いていくこと

では政府の役割は何か。理科教育、基礎研究、適正規模での技術実証補助は必要だ。だが一方で、近年の政府の技術政策には、FIT等、失敗も目立った^{注19)}。

むしろ重要なのは、出来た技術に必死に付いていくことだ。技術革新を先導するのではなく、むしろ追い付く

ことだ。

折角の技術も、制度が悪ければ、便益をもたらさない：

なぜ公教育の教材・授業を全て無料でネットに載せないのか？ 全国の図書館はなぜアマゾンより遥かに不便なのか？ なぜ電気自転車はアシスト自転車という奇妙なものしか無いのか？ なぜ電気自転車が運転免許無しで乗れないのか？（それ以前に、なぜ自動車学校に通わねば運転免許が取れないのか？）。これらは何れも、制度さえ改正されれば、既存の技術で大きな便益をもたらされる例だ。

それ以外にも、知財制度、個人情報管理等、制度の課題は山積だ。制度は必死になって技術革新に追いつかねばならない。この成否に、死活的国益が懸っている。

より一般的に言って、国の経済成長は何よりも制度に懸っている^{注20)}。これは、北朝鮮と韓国の経済格差を見れば分かる。不満ばかり述べてしまったが、世界全体を見れば、日本は制度の管理が上手く、それ故に今日の地位を築いてきた実績がある。今後も世界をリードできると期待している。

注16) 詳しくは鶴原他著「自動運転」。

注17) 電力消費とGDPの比例関係については、RITEの秋元氏の説明（[こちらの](#) p12）を参照されたい。

注18) 安全保障と温暖化のリスクの比較については[こちら](#)

注19) 技術政策での政府の失敗について、詳しくは[こちら](#)

注20) アセモグル他「国家はなぜ衰退するのか」