

温暖化対策コスト評価およびその推計の前提となる投資の主観的割引率 (投資回収判断年数) について

1. はじめに

RITE を含め国内外の研究機関等において各種の温暖化対策の評価が行われてきており、そこではモデルを用いて温暖化対策コストを評価しているものも多い。例えば、2008～2009 年には政府の中期目標検討委員会¹⁾、2011～2012 年にはエネルギー・環境会議の選択肢の分析²⁾において、RITE は前者においては DNE21+モデル、後者においては DEARS モデルの分析結果を提供した(モデルの概要説明は後述)。また、慶応義塾大学野村浩二教授らが開発した KEO モデルは両検討に分析結果を提供した。

また、RITE では、DNE21+モデルのような技術積み上げ型の評価モデルでコスト推計をする際の重要な想定の一つでもある投資回収判断年数(主観的割引率)に関して、2009 年に「投資回収年数(もしくは割引率)に関して」³⁾を掲載した。

一方、十分な理解がなされないまま、RITE によるモデル分析の費用推計や、その分析の前提としており費用推計に影響が大きい投資の主観的割引率(投資回収判断年数)の想定について、一部に批判的な論考が散見される。モデルとは、将来を完全に予想するものではない。モデルは現実の複雑性を単純化して描写するものの、数千～数百万にもものぼる連立方程式によって変数相互の関係性が表現されるように、モデル自体もまた複雑である。モデルの役割とは、一定の前提条件の下でそうした複雑な変数相互の内部整合性を保持しながら、政策変更などターゲットの設定により、蓋然性が高いと考えられるコスト変化や技術導入など、内生的な影響を定量的に評価することである。よって、前提や背景を把握せずモデル分析結果のみを信じきることは適切ではない。一方で、複雑な経済、社会の状況を適切に理解し、的確に描写しているモデルの分析結果は、その前提を良く理解して利用するならば重要な示唆を与える。モデルの背景等を十分理解せずに、また良き将来見通しを得るための代替手段を持たずに、その分析結果を批判し拒否することもまた社会的な損失が大きいと考えられる。本論考は、費用推計やその分析の前提としている投資の主観的割引率に関するより良い理解のため、また RITE における 2009 年以降のモデル精緻化に関する概要を含め、解説を行うものである。

なお、本解説は、慶応大野村教授からも意見、協力を頂いて、作成したものである。

2. 温暖化のコストについて

2. 1. 温暖化のコストの分類

温暖化のコストは大きく分けると、

- (1) 温暖化緩和策コスト (=排出削減コスト)
- (2) 温暖化適応策コスト
- (3) 温暖化影響被害コスト (適応を行った上での残余の影響被害コスト)

の3種類がある。なお、(3)は、①市場で取引され計測が比較的容易なコストと、②市場では価値が取引されておらず、計測が容易でないコスト(例えば生態系への影響被害コストなど)がある。

RITEは緩和策を中心に検討を行っており、(1)のコストを提示することが多い。ただし、適切な緩和策、適切な気候変動リスク対応策をとるには、(2)、(3)を含め、総合的なコストを理解することも重要なため、必要に応じて(2)、(3)についても分析・評価を行っている。(1)のみの影響を評価するモデル試算結果に対しては、時折、(3)の温暖化影響被害コストが含まれていないのでコストをミスリーディングしているとの批判も聞く。しかし、総合化はより網羅的な評価を可能とするものの、モデル体系内においてより大きな不確実性を内在させる要因ともなる。そのトレードオフのもと、モデル分析ではフォーカスをしっかり合わせる事が重要となり、RITEでは(2)(3)を含める場合と、(1)だけを示す場合と使い分けている。とりわけ(3)のコスト推計は不確実性が大きい。

なお、この(1)～(3)のような温暖化のコスト以外に、非エネルギー・温暖化関連のベネフィットが存在している。例えば、断熱住宅にすると、省エネルギーとなり、それは(1)に含まれてモデル内で評価されるが、室温変化も緩やかになって死亡リスクが低減するといった形で健康に便益をもたらす場合などの効果は、通常の(1)のモデル評価では考慮されていない。また、化石燃料やバイオマス利用はPM2.5を増大させ、健康影響被害をもたらす得る。そのため温暖化緩和策は、化石燃料の消費を削減しCO2排出を減少させるとともに、同時にPM2.5も低減させる可能性があり、そこに別途便益(コベネフィット)が存在する。よってそれらを含めて全体の費用を見るべきというのは正しい議論である。例えば温暖化緩和策として、バイオマス利用が増えれば排出削減につながるが、利用形態によってはPM2.5とのトレードオフになる場合もある。またバイオマス生産によって生物多様性を悪化させるというトレードオフが生じる場合もあり、総合的な評価は重要である。RITEではこれらの点についても別途分析を進めている(例えば、文献4)。査読論文も別途有)。しかし、そこでもまた総合化によっては不確実性が拡大することには留意が必要である。健康増進などのコベネフィットが医療活動の減少をもたらすとすれば、健康寿命の増進の評価にはさらなるモデル拡張を必要とする。またそうした間接的な便益が存在するとしても、多くの場合には、同様な便益をもたらす得る、より直接的で、はるかに安価な政策手段も存在することが多い。そうしたことはシナリオ評価やモデル分析からのメッセージを、全体としてより複雑にしてしまう危惧もある。

2. 2. 温暖化緩和策のコストとは？

2. 1. 節で記述したように、包括的に社会のコストを評価することは重要である。一方で、精緻に評価しようとする場合、同時に、緩和策のコストのみを詳細に評価することもまた重要である。RITEは緩和策を中心に検討を行っているため、緩和策のコストの評価を行うことが多い。本節では、温暖化緩和策のコストについて解説する。

(1) 技術評価モデルにおけるコストと経済モデルにおけるコスト

RITEでは、これまで①世界エネルギー・温暖化対策評価モデル DNE21+、②世界エネルギー経済モデル DEARS による分析を行い、その結果を政府等にも提供してきた。モデルのより詳しい説明は、RITEのHPにも掲載しているのでそちらを見て頂きたいが、概略は以下のようなものである。

① 世界エネルギー・温暖化対策評価モデル DNE21+

エネルギー部門に焦点を当てたモデルであり、各種のエネルギー、温暖化対策技術を詳細にモデル化している、部分均衡型モデルである。CO₂等の環境制約等も踏まえながら、エネルギーシステムの総コストを最小化する対策を導出するモデル。

② 世界エネルギー経済モデル DEARS

経済活動全体を評価するモデルであり、エネルギー、温暖化対策が経済全体にどのように影響をもたらすのかを評価する、一般均衡型モデル。CO₂等の環境制約等も踏まえながら、消費者効用が最大化するように社会が反応すると仮定した場合の経済影響を推計するモデル。

なお、確立した評価ではないが、通常、モデルの専門家の間では、一般均衡型の経済モデル(RITEではDEARS)は、緩やかな排出削減制約に対しては比較的成本を小さめに算定する一方(相対価格の変化にもとづき、様々な経済主体で柔軟に対応できる部分を表現しているため)、厳しい排出削減制約に対しては、将来における不連続的な影響を持ち得る技術変化を明示的にモデル化されていないことが多く、コストを大きめに算定する傾向があるという認識がある。それに対して、部分均衡型の技術評価モデル(RITEではDNE21+)は、緩やかな排出削減制約に対しては相対的にコストを大きめに算定する一方(経済全体での柔軟な対応が十分にモデル化できていないケースがあるため)、厳しい排出制約に対しては、各技術の技術進展を明示的に描写しモデル内で織り込んでいくため、経済や社会としての合理性や受容性という視点から必ずしも十分にその合理性が評価されないままに(実社会の様々な障壁の考慮がモデル上、不十分で単純化された中で)導入されるとの前提を置くケースが多いため、相対的にコストを楽観的に推計する傾向があるとの認識もある。しかし、RITEも他の研究機関もそれらの特性を踏まえ、過大にも過小にもならないように、一般均衡型の経済モデル、部分均衡型の技術評価モデルともに工夫はなされてきている。

【温暖化緩和策コストの概念】

まず、②DEARSモデルにおける最上位概念の温暖化緩和策コストは、温暖化緩和策に伴

う消費効用の低下である。人間活動はモノやサービスの消費を通じて効用を得ている。無論、金銭で測れない効用は多い。モデル分析はそれを考える必要がないと言っているわけではなく、定量的かつ客観的に評価ができる範囲で評価し、一定の分析結果を示すことが役割である。消費そのものではなく、消費効用と言っているのは、一人当たり消費は増大していても効用増は逡減していくと考えられるため、また消費財における代替可能性やあるいは補完性も存在することから、その効用を消費の関数でモデル表現しているためである。

なお、マクロ経済を単純化すると、国内総生産=消費+投資であるため、国内総生産(GDP)は消費が増えるだけでなく、投資が増えても GDP は増大する。例えば、火力発電よりも高い再生可能エネルギーを再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) のような政策措置で誘発した場合、少なくとも短期的には投資が増えるため、GDP は投資年次には増大する可能性がある (図 1)。それに伴って雇用も創出され、所得が誘発される。しかし、FIT は 10 年以上にわたってその費用を電気料金に上乗せされ回収される。そうすると、電気料金の上昇によって、企業の経済活動において価格競争力は低下し、需要と生産とが減少する。それは家計における名目所得の減少となり、さらに、電気料金上昇による実質可処分所得の減少が起こり、結果、消費が減少していく。そういったプロセスをモデル内で統合的に解いている。時折、再エネ導入しても GDP は増大している、雇用も増大している (もしくは、すると推計される) といった指摘も見受けられるが、それは投資断面でのことであり、長期にわたる包括的な評価が必要であり、経済モデルはそれを分析していることを理解する必要がある。

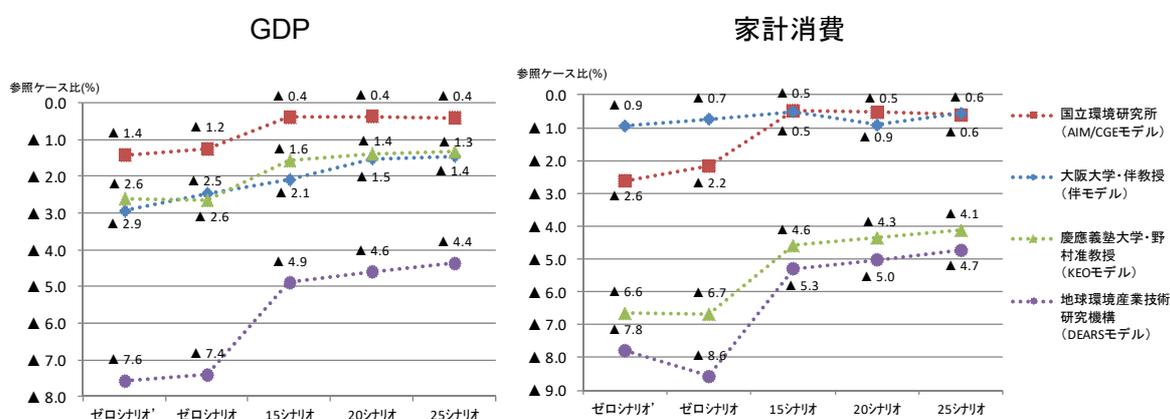


図 1 エネルギー・環境会議選択枝の経済分析²⁾における 2030 年時点の GDP、家計消費の比較

【解説】 KEO と RITE DEARS モデルは GDP (図 1 の左チャート) では大きく乖離しているが、家計消費 (図 1 の右チャート) では近い推計となっている。KEO モデルでは、投資拡大フェーズと賦課金による長期にわたるコスト負担フェーズとが明示的に分離してモデル化されており、シナリオとして 2030 年においても再エネへの投資が大きい (また CO2 制約に伴う省エネ投資の拡大を反映して) GDP の減少が緩和されている。一方、DEARS モデルは投資が設備寿命で将来時点に割り振ったモデル化となっている

め、2030年時点での投資の効果がKEOよりも小さく出ている。そのモデルの特徴を踏まえると、家計消費でKEOとDEARSを比較する方がシナリオの特性を見る上ではより適切である。また図1では、5つのシナリオに基づいて評価がおこなわれている。それぞれのシナリオは、事務局（政府）によって定められた政策ターゲットであり、電源構成やそのタイミングなどの計数として設定されたものである。モデルの役割は、そうしたよく定義されたシナリオの相違による経済への影響を評価することにある。あらためて異なる5つのシナリオ間の相対的な関係性としてみれば、KEOとDEARSではひしゃく型のような線グラフとなり、かなり類似的な形状にあることが見出される。両モデルは独立に評価されたものであるが、モデル内部の整合性が保持されていることを示唆するものであり、シナリオ間の選択においてはそうした相対的な関係性が重要な情報となり得る。このように、一断面のGDPの結果だけを見てモデルの結果を解釈することよりも、どういった政策をどのようにモデルで評価しているかを理解してシナリオ分析結果を理解することが重要である。なお、ここでは解説しないが、国立環境研AIMと大阪大伴モデルは、KEO、DEARSモデルとは大きく異なった分析結果を示している。

政策評価として消費効用への影響はとくに重要である。再生可能エネルギー拡大により賦課金が増大し電気料金が上昇しても、その支払いを上回る効用が消費者に生じるのであれば、望ましい政策として評価される。しかし、電気は一旦電気になれば同じ電気である。再生可能エネルギーで供給されていれば気持ちが良く効用が高まると感じる個人もいるかもしれない。そのとき期待される政策は、市場で再エネ電気を購入できるようにすることである。もしその価格差が十分に小さく、国民が追加負担を自ら選択し、その結果としてCO2排出総量として十分な削減量に到達するのであれば、先の2.1節で示した(3)の温暖化影響被害コストは十分に内部化されると考えられるかもしれない。しかし、現実にはそうした選好はあろうとも、求められる削減量からみればわずかに過ぎない。ゆえに(3)の温暖化影響被害コストを経済社会の中に内部化するための、温暖化緩和策の様々な政策が必要であると考えられている¹。一方、費用負担増は家計の実質所得を低下させ、意識の有無に関わらず、電気料金以外の他の消費が削られていく。定量的に評価するモデルでは、不確実性を排するため再生可能エネルギー電気の消費による効用を直接には評価せずに、消費にど

¹ 温暖化適応策のコストも同様である。温暖化影響被害が頻発し、それを避けるための適応策をとることが適応費用と比べて被害低減の方が勝り効用を高めるといった状態になった場合には（特段の政策措置なく、温暖化影響被害コストが経済社会に内部化された状態）、適切な水準の適応策は消費効用を減じずむしろ上昇させるので、社会に受容されやすい。しかし温暖化緩和策の効果は、世界全体に薄まり、またむしろ将来において便益が生じやすいので、社会の認識は浸透しにくい（ゆえに影響被害の内部化を行う温暖化緩和策の政策措置はとりわけ重要）。一方、適応においては、影響被害に対する直接的な対策であるため、（人為的な温室効果ガス排出による温暖化が主因のものかどうかは不明であっても）影響被害を認識した上で、それを避けるために対策をとるといえることになると、その被害が起こっているという状態において適応策によって効用が増大するので、このような場合にも社会に受容されやすい。しかし適応策においても長期的な計画に基づく適応は、政策措置なく自律的に起こりにくい部分もあるため、適切な政策措置は重要である。

う影響するのかを分析している。また、産業における電力投入も、製品等の生産における一投入要素でしかなく、電力が何でつくられたかによって製品の差は生じないため、高い電気を投入すれば、製品の価格が上昇する一方、製品の品質は変わらない。こちらも、もし社会の多くの人々が、製品価格が上昇してもそれが再生可能エネルギー電気を用いて作られたのなら効用が増すということであれば、その製品価格の上昇は受け容れられるかもしれない。常にそう思い購入行動をする人々もいるだろうが、多くの人々にとってそれは難しいことである。また、それを定量的に分析することは困難でもあるため、その効用増をモデルに組み入れることによってモデル評価における恣意性が拡大してしまう。モデルがそう扱っているからと言って、我々は、環境意識が高く、高価でも再エネを使ったことで効用が増すような方々が増えることの重要性を軽視しているわけではない。むしろ、それが進むことを強く望んでいる。一方で我々は、研究機関として、できるだけ主観を挟まず、客観的な判断材料の一つとしてもらうために、現状で可能な限り蓋然性が高い分析を定量的に提示しようと努力している。

また、電気料金が上昇しても、その分、省電力をすれば電力コストは上昇しない、という極端な指摘さえ見られる。しかし、電気料金の上昇する前が、最も効用が高い状態になるように行動していたとすると、そこから省電力の行動（例えば電気をまめに消すなど）をとったのは何らかの効用損失があったと考えるのが自然である。もしその分、省電力をしても効用損失が無いのなら、電気料金が上昇前にその状態が実現していたはずである（その分、電気代は抑制できるため）。もちろん、電気料金の上昇に対応して、省エネ家電などを購入しても同様に、その分、コストがかかり効用は減じる。

ただし、特殊なケースは考えられる。すなわち、電気料金が上昇する前の効用と、電気料金上昇後の効用の発生の仕方（選好）が全く変わってしまった場合である。電気料金が上昇する前には、明るい照明が効用を高めると思っていたが、マインドが急に変わって、少し暗くても全く問題ないと変わったようなケースである。これは、まさに、東日本大震災前後の日本人に起こった変化である。この場合、電気料金の上昇があったか否か以前の問題として、気持ちに大きな変化が起こったものである。しかし、これも東日本大震災・福島第一原発事故といった莫大なコストを支払ったためと見ることもでき、コスト無し（効用損失無し）で、省電力行動が起こったと見るのはやや短絡的である。

一部には省エネはタダであるとか、負の費用であるといった指摘がある。そうした省エネが期待されることは当然としても、現実の省エネの多くには隠れた費用が存在しており、それがどういう要因によって生じているものかを深く理解することが、良質な省エネ機会を見出すことにもつながる。

まとめると、②DEARS モデルでの温暖化緩和策コストは消費者効用の損失を見ており、留保条件はあるものの、エネルギー・温暖化対策のコストを社会全体での効用との関係から包括的に評価しているものである。

次に①DNE21+におけるコストの扱いである。先に記載したように、DNE21+は、エネルギーシステムの総コストを最小化する技術積み上げ型の部分均衡モデルである。DEARSのような消費効用の低下を評価するものではなく、対策コストを積み上げその費用を最小化している。ただし、省エネルギーのように設備費（資本費）は高くなるが、代わりにエネルギーを節約できるという効果も含めて評価がなされる。すなわち、この場合、資本生産性は悪化する代わりに（資本費は高くなるが生産物は同じ）、エネルギー生産性は高まることとなる。なお、すべての技術を把握できるわけではないので、具体的に技術を積み上げ評価できないエネルギー消費については、長期価格弾性値を使ってエネルギーの消費効用損失としてマクロ的に評価を行っている。

ここで時折、見受けられる批判的な指摘の一つは、設備費が上昇してもそれは誰かの受け取りであるため、正味ではゼロであり、正味で見ればコストではないというものである。しかし、上の②DEARSの説明で既に行ったように、電気などのエネルギーは商品に差異がないことが多い（もちろん、エネルギー種によって代替不可能な分野もあり、それもモデル化している）、得られるエネルギー量が大きい一方、支払い費用が大きくなる場合、それに応じて消費効用を押し下げる可能性が高い。よって、部分均衡として評価する場合、（複数時点に亘る）エネルギーシステム総コストを最小化することは消費者の効用最大化と近い関係にあり、これを評価の指標とすることは妥当性の高い分析となる。経済活動における金銭の支払いは誰かの受け取りになって正味ではゼロであるが、経済活動が全体として消費効用を高めるのは、近似的には、エネルギー総コストがより小さい対策ということになる（先に記載したように断面で見た場合には投資になりGDPは上昇する場合もある）。

なお、DEARSモデルのコスト範囲は、DNE21+のコスト概念の範囲を包含しているため、DEARSモデルでも、エネルギー総コストや排出削減費用も提示できる。ただし、DNE21+モデルの方が精緻なモデル積み上げの結果として、エネルギー総コストや排出削減費用を提示しているため、どちらがより確度の高い費用を提示できているかは明確には言えないものの、少なくとも、費用が何の対策によって影響を受けやすいかなどの因果関係がより明確に提示できるので、RITEではDNE21+モデルの分析結果をより重視して提示している。

【モデルにおける将来のコスト低減の扱い】

温暖化緩和策のコスト評価は、かなり将来の時点までを評価することが多い。そのため、分析・評価は、技術の将来コスト（や性能）の想定に影響を受ける。RITEのモデルでも、太陽光発電、風力発電、バッテリー、CCSなど、コスト低減の見込みが比較的大きいと見られる技術については将来のコスト低減を想定した上で分析している。その想定次第では、温暖化緩和費用（CO₂排出削減費用）を楽観的にも悲観的にも評価することとなる。

なお、特に革新的な技術およびそれに誘発された大きな社会変化については、モデルでは想定が難しい。モデルは定量的かつ整合性を持って分析されるものであり、SF的に技術を想定すると、モデル分析者の想像や主観に依存しやすくなり、政策的なメッセージも歪める

可能性がある。しかし、過去を振り返っても技術進歩は急激に進むこともあり、モデルで十分に将来の技術革新を取り込めていない可能性もある。その点では、将来の削減費用はより安価になることも期待できる。そこで、RITEでも中位的なシナリオは用意しながらも、幅を持った分析結果も提供している（例えば、文献4）など。

【モデルにおける政策費用の扱い】

なお、通常、CO₂ 排出削減をモデル分析する際には、費用最小となる対策を分析することが多い。モデル分析では具体的な政策手段は問わないものの、暗に世界共通炭素税のような政策を想定したような分析となっている。しかし、現実社会では、強力な一国政府が存在しているわけではないので、モデル分析結果が提示するような費用最小となるような対策は非現実的である。費用最小の場合の対策の姿を知ることは重要であるし、また、費用最小の場合でもどの程度の費用が必要と見られるかを知ることも重要であるため、分析結果の意義は大きいものである。しかし、そのときモデル分析で導かれた最小となる排出削減費用が現実社会での費用と認識してしまうことには注意しなければならない。モデル分析結果が提示する推計費用と現実社会の費用では大きなギャップが存在する場合も多い（例えば、文献4）など。

2. 3. CO₂ 限界削減費用

温暖化緩和策費用については、これまで記述してきたように、消費の低下、GDP 低下、(GHG もしくは CO₂) 排出削減費用などで提示する。そのうち、排出削減費用については、限界削減費用という指標も良く用いられる。限界削減費用は、排出削減目標に対して、費用が安価な対策から積み上げていき、削減目標に達するときの限界的な費用である（図 2）。限界削減費用は炭素価格（Carbon Price）にも相当する。限界削減費用を炭素税率として設定すれば、理論的には排出削減目標を達成できることになる。そのため、限界削減費用は特にモデル分析上、重要な指標の一つである。ただし、限界削減費用はとりわけ厳しい排出削減目標の下ではセンシティブな場合もある。すなわち、排出削減が困難になると対応可能な技術が限られてくるため、モデル上、想定される最も高い技術の費用で限界削減費用が決まってくると、その特定の技術のコスト想定（しかもそれは通常あまり実証等、十分になされおらず、コストの不確実が高い場合も多い）に依存しやすくなる。

なお、限界削減費用は、名前のとおり限界費用であり、平均削減費用はより低い値となる。

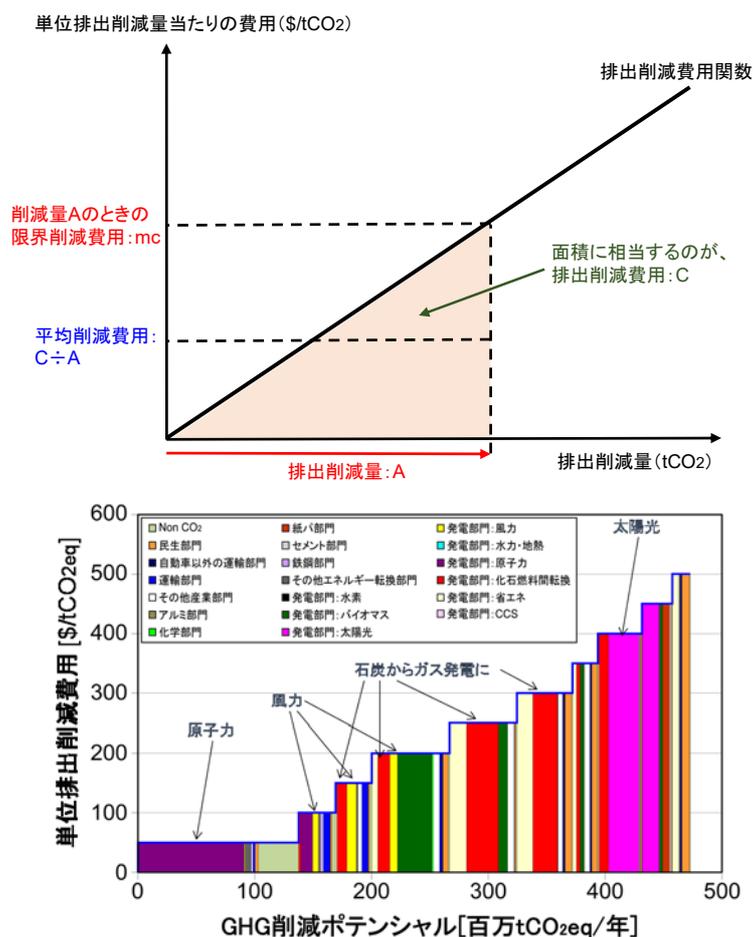


図2 排出削減費用、限界削減費用、平均排出削減費用の関係のイメージと技術別の単位排出削減費用のイメージ

注) 実際には、DNE21+モデルでは複数時点を同時最適化するため少し複雑である。上図は排出削減費用を単純化して表現しているが、それを温暖化対策技術毎に示すと下図のような線形のステップ関数のような形になる。なお、温暖化対策技術毎に単位排出削減量当たりの費用が固定されているわけではない。同じ技術であっても、何の技術を代替するかによって削減費用は異なってくる(排出削減水準によって費用最小となる代替関係が変わることもある)。排出削減水準によって個々の技術コストはモデルの前提条件であるが、排出削減費用関数はモデルの前提条件ではなくモデル分析の結果として求まるものである。

3. 投資の主観的割引率(投資回収判断年数)について

DNE21+モデルなど、技術の積み上げ評価モデルにおいては緩和費用の推計において投資の主観的割引率を想定することとなり、これは前節までに議論した排出削減コスト推計結果に比較的大きな影響をもたらす重要な想定である。一方、投資の主観的割引率は、投資リスクを含んだ複雑な投資環境、機器購買行動を反映した集約的なパラメータであり、深い理解を行う必要がある。投資の主観的割引率について、基本的な要素は、2009年公表の「投資回収年数(もしくは割引率)に関して」において記載済みであるが、その後の情報収集や

理論的な背景等の補足も含め、本稿で改めて解説する。

なお、

$$\text{投資の主観的割引率} = 1 / (\text{投資回収判断年数}) \quad (1)$$

である。実際に投資が何年で回収されるかではなく、何年での投資回収を見込んで投資・購買行動が取られると想定するかの想定値であることに注意されたい。

その上で、DNE21+モデルにおけるコスト計上としては（ある一種類の設備の一時点）、

$$C = C_I \times \gamma \times K + C_o + C_f \times W \div \varepsilon \quad (2)$$

ここで C はあるエネルギー・温暖化対策技術の年間費用（単位：\$/yr）、 C_I ：設備費（単位：\$/kW など）、 γ ：投資の主観的割引率（単位：%/yr）、 K ：設備容量（単位：kW など。モデルの内生変数）、 C_o ：運転維持費（ $C_o = C_I \times \alpha \times K$ とし、 α を想定し設定。 $\gamma + \alpha$ ：年経費率（単位：%/yr））、 C_f ：燃料単価（単位：\$/toe など。DNE21+は線形モデルであるため、直接的にはモデルの外生変数であるが、別途、化石資源価格は累積生産量とともに上昇するモデル化を行っているため、モデル全体として見ると、事実上は内生変数的に変化する）、 W ：年間の二次エネルギー供給量など（単位：kWh/yr など。モデルの内生変数）、 ε ：転換効率

の形で計上している。第1項と第3項は資本とエネルギーの代替関係を表している。ここで見られるように、投資の主観的割引率は、設備費の年間費用換算に影響する。全く投資のリスクがなく、完全予見の下であれば、 γ は利子率相当の割引率と設備寿命から計算された率に相当するものをかけて算出する。しかし、現実の経済社会行動は、多くの要因に影響され、それらは明もしくは暗なる費用として認識がなされ、投資等が決定されている。下記にその投資行動に影響を及ぼす様々な費用について説明する。

3. 1. 概略

企業経済活動においては、投資とそのリターンが常に考えられ、投資決定が行われていく。また、家庭においても例えば冷蔵庫を購入するにしても、購入に要する費用と購入による効用増とを天秤をかけながら意思決定が行われる。

企業活動において、省エネ設備に投資する場合にどのような判断がなされるだろうか。同じ生産物を生産する設備だが、①10億円かかるが年間エネルギー代が1億円かかる設備、②12億円かかるが年間エネルギー代が7000万円で済む設備の2種類があったとしよう。いずれも設備寿命は20年とする。6年後は、①10 + 1 × 6 = 16億円、②12 + 0.7 × 6 = 16.2億円、7年後は、①10 + 1 × 7 = 17億円、②12 + 0.7 × 7 = 16.9億円となるので、②は①よりも2億円高い設備であるが、7年間でその追加投資分は回収できることとなる。そうすると、寿命は20年あるので、7年間で投資が回収できるのなら（このケースでは主観的割引率は11%/年程度）、7年目以降は利益が上回るため、当然、②を選択するかというと現実の経済活動ではそのような単純なものではない。たとえば、省エネ投資の2億円分を、省エネではなく、設備規模を大きくすることで生産量を引き上げられ、そ

れによって企業収益を大きく改善できるとしたらどう判断をするか。企業収益と省エネ投資で回収できる便益とを比較して、より利益が高い方を選択するのが経済合理的な投資判断である。業種に依るが、投下資本利益率（ROI: Return on Investment）は通常 10～20%と言われている。そうすると、仮に 20%だとすれば、11%である省エネ投資であっても、それを別の 20%の資本利益率が期待できる生産拡大等の投資を行う方が合理的な判断となる（無論、環境配慮など別の投資判断要素はある）。資金制約がなければ別だが、現実には資金制約は存在し、このような利益水準と同程度でなければ、省エネ投資は行いづらいこととなる。これは、市場の利子率よりもずっと高いことを理解する必要があり、それが現実社会での経済活動ということである。

また、省エネとなる生産設備を導入しても、製造する生産物の市場変化が早く、例えば 5 年後も同じ生産設備で同じ生産物を製造できるかわからないと思ったとしよう。生産設備自体は普通に動かせば 5 年以上も寿命があるとしても、生産物の市場が変化するリスクが高いと判断すれば、投資意思決定者は、例えばより短い 3 年で元がとれるような設備の投資をしようとするのは合理的な判断である。

また、導入する設備が、コスト低減が早い状況だとこれもまた投資の判断に影響する。来年、技術が進展し価格が 5%下がると認識すれば、投資は来年まで待った方が合理的ということも起こり得る。そうすると、これも主観的割引率を引き上げる（投資回収判断年数が短くなる）。

家庭における機器購入でも様々な要素が製品購入に影響する。例えば、冷蔵庫を考えると、省エネタイプと通常タイプがあった場合、仮に 15 年の寿命とした場合、明らかに省エネタイプの方が全体の費用は小さくなるとしても、予算に制約があったり、また、高齢であると 15 年生きるかどうか不安だったりすれば製品寿命ではなく、自分の寿命との関係も含めた意思決定となることはある意味合理的な判断である。また、冷蔵庫は省エネだけが性能ではないため、省エネ以外の機能も含めて費用と効用が明に暗に考慮され、購入の意思決定がなされる。更に言えば、購入にあたっての隠れた費用と呼ばれるものも存在する。これは、購入を検討するための費用（直接的な費用は発生しなくても、その検討に要し費やした時間による機会費用も含めて）や冷蔵庫の中身を入れ替える手間に対する暗なる費用などである。それらも含まれ、購買行動を計測すると高い主観的割引率が観測される。これらの行動は非合理的なのかというと、部分的には非合理的な行動もあると考えられるが、その主体者にとっては合理的と考えられる場合も多い。よって、これらの隠れた費用を無視したような費用推計は、現実社会の行動を正しく表現していないことになり、結果、効用を悪化させる対策の姿を提示することにもなり得る。

冷蔵庫、給湯、空調等、実際の購買行動の主観的割引率は、不確実性が大きいものの、図 3 のように観測されている。

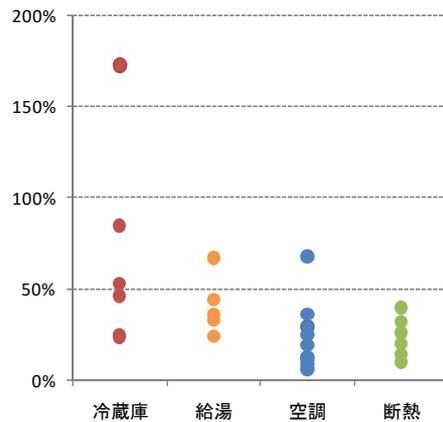


図3 民生機器等における主観的割引率推計（出典：和田他⁵⁾、Anderson⁶⁾、Dubin⁷⁾をもとに作成）

米国の民生部門で計測されたものが中心だが、空調、断熱は比較的低めだが、それでも20%程度前後の割引率が観測される。給湯、冷蔵庫では50%前後の割引率と大変高くなっている。

3. 2. より理論的な解説

本節では、より理論的な説明事例として、経済学における投資理論で重要な役割を果たす資本のユーザーコストの概念を説明する。Jorgenson⁸⁾の新古典派投資理論において企業の最適化行動を考慮して定式化された資本のユーザーコストは、資本財からのサービスを得るために投資家が支払わなければならない費用として定義される。そこでは、資本の保有は3種類の費用をもたらすとされ、資本ユーザーコストは次のように定式化される（詳細はHall and Jorgenson⁹⁾、ローマー¹⁰⁾を参照）。第1は、資本を保有する選択をすれば、もし企業が当該資本を売り払い、その売り上げを銀行に貯蓄した場合に得られたであろう利子収入を得ることができないため、これに相当するコストである。この場合のコストは、 t 時点における実質利子率 (r_t) に資本取得価格 (P_t^A) を掛け合わせたものとして表すことができる。第2に、資本が減耗するコストであり、このコストは減価償却率 (δ) に資本取得価格 (P_t^A) を掛け合わせたものとして表すことができる。第3に資本財価格の変化に伴うコスト (π) であり、(3)式として表現される。

$$\pi = \dot{P}_t^A / P_t^A \tag{3}$$

これは、もし当該資本価格が将来低下すると考えれば、資本の売却を遅らすことによって、売却に伴う利益が減少するため、資本価格低下はコストとみなされる。逆に価格が上昇する場合は資本の保有費用を低下させる。典型的には土地の保有がイメージしやすい。すなわち、土地が将来、価格低下すると期待される場合には、事実上、当該時点で購入することは追加的なコストを背負う状態となり、一方、将来上昇すると期待される場合、負のコストとなる。

これらの3つの要素をまとめて、資産の種類 (k) と国あるいは経済主体 (j) を考慮し、資本ユーザーコスト (P_{kt}^K) を表したものが(4)式である。

$$P_{kt}^K = (r_{kjt} + \delta_{kj} - \pi_{kt}) \cdot P_{kt}^A \quad (4)$$

このとき、資本取得価格 (P_{kt}^A) に対する係数 ($r_{kjt} + \delta_{kj} - \pi_{kt}$) は通常、年次化要素 (annualization factor) と呼ばれる。最も重要なのは、年次化要素すなわち資本を得るために毎年支払うコストは、利率 (r) だけで構成されず、減価償却率 (δ) と資本財価格の変化に伴うコスト (π , 価格低下が期待される時にはコストとなる) を含む点であり、利率だけではなく、これら3つの要素を含めた投資判断が経済合理的と考えられるものである。なお、途上国といった要求収益率の高い国や長期借入の資産は r が高くなるため、結果的に資本ユーザーコストが高くなり設備投資が進まない。企業においても要求収益率 (ROI など) の高い業種、企業では r が高くなるため、省エネのように長期間運用してようやく収益が得られるような種類の設備投資は相対的に進まないこととなる。この r は、単に市場利率を用いるものではなく、部門毎の要求収益率などが反映されるべきものである。また、減価償却率 (δ) については、技術進歩が早い技術や競争的な市場では δ が高いため、資本ユーザーコストが高くなり設備投資のインセンティブが低下する。特にエンドユースの機器は多様で、技術進歩が比較的早い場合は多い。また、後述するが、電力自由化が進んだ競争的な市場では、発電設備等の投資において δ が大きくなりやすい。そのとき、 δ が高いため年次化要素は大きくなる。そして、投資財価格の変化率 (π) が低下すれば、将来更に当該投資財価格が低下すると期待するため、設備投資を延期するインセンティブが働く。例えば、家庭用コジェネの価格低下が仮に激しい状況となれば、逆にそれが当該時点での導入にあたっての事実上のコストとなり、導入を延期することが合理的な投資判断ともなり得る。

なお、合理的な投資回収の判断年数 (N) は、(5)式のように、年次化要素の逆数となる。

$$N_{kjt} = \frac{P_{kt}^A}{P_{kt}^K} = \frac{1}{(r_{kjt} + \delta_{kj} - \pi_{kt})} \quad (5)$$

資本ユーザーコストや資本取得価格の構成要素の実測値について、野村¹¹⁾は1960年以降の日本の46産業を対象に、産業別の収益率及び産業別・資産別の資本のユーザーコストを推計している。また、Nomura and Momose¹²⁾は日本における195種類の資産を対象にした資産別償却率を推計している。一方、OECD¹³⁾では一部の先進国における資産別の償却率が推定されている。

また、真殿・中西¹⁴⁾は日本の電気事業を対象に投資行動を分析している。具体的には、1975年から1978年と1980年から1984年の2期間で企業の投資行動の基準となる年次化要素 (そのうち、利率と減価償却率のみを考慮) を計測している。分析の結果、日本の電気事業における年次化要素は、1975-1978年で7.9%、1980-1984年では13.6%であったとしている。一方、竹中ほか¹⁵⁾の推計によると、日本の製造業における年次化要素 (そのう

ち、利子率と減価償却率のみを考慮)は、1966-1984年の間で13.7%、米国の製造業は1966-1984年で24.7%であったと推計し、日本の電気事業は長期的視野に立った投資行動がみられるとしている。

3. 3. 主観的割引率想定について議論

RITEが分析に用いている割引率は高すぎるのではないかと(よってエネルギー対策や排出削減費用を高く推計しているのではないかと)の批判的意見も散見される。ここまでも見てきたように、具体的に正確な主観的割引率なのかは不確実性が大きいことは事実である。すなわち、主観的割引率を決定している要因は様々であるため(表1に主要な要因等を示す)、計測も推計も簡単ではないからである。どういった特性を持った人が投資、購入するのか(資金力のある人の主観的割引率は低い傾向にある)、その商品の特性はどのようなものか(陳腐化の早い機器等は主観的割引率が高い傾向になる)などに影響を受けるためである。よって、経済社会行動において主観的割引率をより正確に観測していく研究は重要と考えられる。しかし、RITEの分析に対して時折見られる批判のほとんどは、このような実経済、実社会における行動原理等を理解せず、例えば、市場の割引率や時間選好割引率(通常、年1~7%程度)のみと比較して、RITEの分析で用いている主観的割引率について、批判的な指摘を行っているケースも散見される。例えば、米国政府による炭素の社会的費用 Social Cost of Carbon (SCC)を参考にした気候変動対策の政策意思決定において参考にされる割引率は年2.5~7%が多い。しかし、これは2.1節で述べた、緩和費用と影響被害費用の間の費用便益分析において政策判断を行う際に用いられる割引率であり、この議論における実経済、実社会の投資行動で観測される主観的割引率とは概念が異なるものである。この議論については、ラムゼールールに基づく議論として、Stern、Nordhaus、Dasgupta、Weitzmanらが適切な割引率について議論を展開している。通常、経済モデルは実経済の動きを再現するように作られており、技術評価モデルも同様に実経済の動きを再現できるように、主観的割引率も設定している。しかし、実経済、実社会の行動原理を深く理解して、議論を行わなければ、誤った政策インプリケーションを導きかねないので注意頂きたい。

なお、主観的割引率についての類似の議論は、特に米国ではこれまでも多くあり、例えば、McKinsey&Companyが割引率を年4%と想定して省エネポテンシャルを推計し、多くの負の削減費用の機会があることを提示した¹⁶⁾が、これに対して、スタンフォード大学 Energy Modeling Forum (EMF)は、複数のモデルが参加してのEMF25研究において検討を行っている。そこでは、実際には様々な障壁等があり、そのいくつかの障壁を明示的にモデル化して評価すると、McKinsey&Companyが示すような負の省エネポテンシャルの多くは実は正の費用を持つと推計され、負のポテンシャルはかなり小さくなると指摘している^{17,18)}。

また、主観的割引率を低くする政策といった議論も散見される。その中で、炭素価格政策などを例示されることもある。しかし、炭素価格付けでなぜ主観的割引率が低下するのかの

説明はほとんどされていない。また、冷蔵庫等の初期設備費の肩代わりという政策案も例示されている。これは仮に消費者に資金的な制約があり、それが高効率の冷蔵庫導入の主要な障壁になっているとすれば正しい制度措置である（投資の実質的な主体者を変更することで主観的な割引率を変更する。一方で事実上のローンのような形でもあるため、消費者にとって別途、明に暗に費用が生じる中で事業成立性を精査する必要があると考えられる）。しかし、3. 1、3. 2節で記述してきたように、障壁は資金的な制約だけではなく多岐に亘っていると考えられ、そのため、この制度措置をとったとしてもそのメリットをどの程度の消費者が感じるかは大きくは期待できないように思われる。なお、企業活動においては、近年、四半期決算も多くなってきているし、銀行の株式の持ち合いも低下し、企業業績が短期的に評価され、短期間で好業績を求められる方向になってきていると考えられる。こういった動向は、主観的割引率を高める（投資回収の判断年数を短くする）傾向となる。省エネルギー投資や温暖化対策投資を重要視するのであれば、そういった傾向を是正することは一つの方策として考えられる。しかし、これはエネルギー、温暖化対策を超えた大きな課題であり、簡単な課題ではない。

表 1 主観的割引率の影響因子例

<p>【技術固有によるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 技術が必ずしも成熟していない場合（CCS等）や社会的受容面で課題がある技術のリスク場合（原子力等）は、投資しづらくなり、割引率は高くなる。 • 将来コスト低減が期待できれば、投資を待つことが合理的となり、割引率は高くなる。 • 供給するサービスの将来変化：将来も同じような製品・サービスの提供が続くことが期待されれば、割引率は低くなり、逆の場合は高くなる。（電力等エネルギー供給＜鉄、セメント等の素材供給（主にエネルギー多消費産業）＜給湯、空調など（素材供給との大小関係は必ずしも明確ではない）＜照明、冷蔵庫など＜テレビ、自動車など）
<p>【投資者、消費者の選好等】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 資金制約（大規模な投資はリスクが高い）、投資リターン（高いリターンの投資が優先されやすい） • 隠れた費用（投資検討にあたっての機会費用等） • オーナー・テナント問題など（民生部門） • 消費者の選好：環境配慮型製品の購入、（住宅等において）コベネフィットの強い認識など • 住宅などで耐用年数よりも居住者の寿命の方が短いと考える場合、割引率は高くなる。 • 限定合理性（人々の情報処理・判断能力の限界など）
<p>【取引市場、投資環境等、周辺制度によるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 炭素価格市場のボラティリティが高ければCCS投資はなされにくい • 電力自由化で価格指標のボラティリティが大きければ設備費の大きな電源投資はしにくい。 • 四半期決算などでは短期の投資回収が志向されやすい。

3. 4. 現在の DNE21+モデルにおける主観的割引率の想定

RITE の DNE21+では、最新の分析では、表 2 のような主観的割引率の想定を行っている。これは、2009 年に公表している「投資回収年数（もしくは割引率）に関して」と大きく変わるものではないが、部門、技術によってより詳細化して想定を行っている。無論、前節で指摘したように現実社会では、多くの要因によって主観的割引率（投資回収判断年数）は影響を受け、投資主体等によって変化する。例えば、発電部門では、総括原価方式の下では主観的割引率は小さい一方、電力自由化が進んでいる国では将来の投資回収の不確実性が大きいと、主観的割引率は大きくなる傾向がある。実際の投資行動から推察される主観的割引率は、前者では 5%前後、後者では 10%前後というのが感覚的な数字である。ここでは、日本等の先進国については、その中で中位的と考えられる 8%を採用している。

表 2 最新の DNE21+モデルにおける主観的割引率の想定

	上限（日本等の先進国）	下限（後進国）
発電	8%	20%
その他エネルギー転換	15%	25%
エネルギー集約産業	15%	25%
運輸（自動車）	30%	45%
環境購買層	10%	
トラック、バス等	20%	35%
民生（業務） コジエネ	15%	25%
民生（家庭）	30%	55%
給湯、冷暖房等	20%	35%
冷蔵庫、照明等	25%	40%

注) 上限値と下限値の間は、国・地域によって一人当たり GDP の関数として設定。
 なお、投資回収判断年数はこの逆数（例えば 8%/年の場合は、12.5 年）

【参考文献】

- 1) 福井俊彦（編）、「地球温暖化対策中期目標の解説」（2009）
- 2) エネルギー・環境会議の選択肢経済分析（2012）
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/sentakushi/index.html>
- 3) RITE, 「投資回収年数（もしくは割引率）に関して」（2009）www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Paybacktime-Discountrate_RITE20090326.pdf
- 4) RITE, 「気候変動リスクマネジメント戦略の 視点を軸とした ALPSII のまとめ」（2017）www.rite.or.jp/system/research/alps2/data/ALPS2_outline.pdf
- 5) 和田謙一他：「環境・省エネ投資における人間の限定的合理性」、第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（2012）

- 6) Anderson, S.T, Newell, R.G.: Information programs for technology adoption: The case of energy-efficiency audits, Discussion Paper 02-58, Washington, DC, Resources for the Future (2002)
- 7) Dubin, J.A: Market barriers to conservation: Are implicit discount rates too high?, Social Science Working Paper 802, California Institute of Technology (1992)
- 8) Jorgenson, D.W.: Capital theory and investment behavior, American Economic Review, 53, 247-259 (1963)
- 9) Hall, R.E., Jorgenson, D.W.: Tax policy and investment behavior, American Economic Review, 57, 391-414 (1967)
- 10) デビッド・ローマー：上級マクロ経済学、日本評論社（1998）
- 11) 野村浩二：資本の計測－日本経済の資本深化と生産性、慶應義塾大学出版会（2004）
- 12) K. Nomura and F. Momose: Measurement of depreciation rates based on disposal asset data in Japan, National Wealth Division, Economic and Social Research Institute (ESRI), Cabinet office, Government of Japan (2008)
- 13) OECD: Measuring capital-OECD manual, Second edition (2009)
- 14) 真殿誠志、中西泰男：本邦電気事業における設備投資行動の分析－エーベル型投資関数によるトービンの q および主観的割引率の推定、電力中央研究所・研究報告・Y90023（1991）
- 15) 竹中平蔵、桑名康夫、平岡三明：設備投資行動の日米比較－限界 q 理論に基づく投資関数・調整費用関数の推定－、大蔵省財政金融研究所「ファイナンシャル・レビュー」、3月（1987）
- 16) McKinsey & Company: Unlocking energy efficiency in the US economy (2009)
- 17) Energy Modeling Forum: Energy Efficiency and Climate Change Mitigation, EMF Report 25 Volume I, Stanford University, <http://emf.stanford.edu/files/pubs/22530/summary25.pdf> (2011)
- 18) Huntington, H.G.: The Policy Implications of Energy-Efficient Cost Curves, Energy Journal, 32, Special Issue 1, 7-21 (2011)

以上