

エネルギー需要の長期価格弾力性に関するレビュー

星野優子

社会経済研究所

Abstract:

エネルギー需要の長期価格弾力性は、需要が価格変化にどの程度の感度で変化するかを知る手がかりとして計測され、さらには、エネルギー・環境政策評価のためのモデル分析でよく利用されてきた。それでは、これらの分析には、どの程度の信頼性があるのだろうか。本稿では、長期価格弾力性の推計研究のレビューを行い、その結果には大きなばらつきがあることを確認した。

ばらつきが出る最大の要因は、長期価格弾力性と言う場合の、「長期」のとりえ方の違いにある。「長期」のとりえ方は、分析者によって様々である。本稿でレビューしただけでも、ラグつきモデルのようにモデルの定式化から「長期」をとらえる場合、クロスセクションデータやプーリングデータのように、大きな分散を持つデータで推計することで「長期」ととらえる場合、機器の置き換えや技術の進歩といった本来の意味に基づいて「長期」をとらえる場合など、全く異なる見方があることがわかった。

「長期」をどのようにとらえるかによって、使用するデータ、モデルのタイプや推計手法も異なったものになる。したがって、長期価格弾力性の推計には、広く一つに決まった理論モデルも、計量的手法も、データの定義も存在せず、その結果、推計値には推計誤差を別としても、大きなばらつきが生じることになる。本稿のレビューで整理した推計結果の傾向では、(1)モデルのタイプに関しては、時系列モデルよりもラグ構造モデルのほうが、(2)データのタイプに関しては、時系列データよりもクロスセクションデータのほうが、(3)タイムトレンドの有無に関しては、タイムトレンドのないほうが、(4)論文の発表時期に関しては、2000年以前と以降で比べると2000年以前のほうが、それぞれ最大で約1.5~8倍程度大きくなっている。長期価格弾力性についての統一的な定義がない現状においては、長期価格弾力性という普遍的な値が存在すると考えるよりも、長期価格弾力性は各モデルにおいて定義される固有の値である、と解釈すべきであろう。長期価格弾力性を巡る混乱は、本来、各モデル固有であるはずの内部変数が、あたかも普遍的で比較可能な値であるかのように解釈され利用されてきたことに始まるのではないだろうか。

したがって、長期価格弾力性のコンセンサス値として、異なる性質を持つモデル群から得られた複数の推計値の平均を用いることには十分な注意が必要である。また、長期価格弾力性を用いたモデル分析結果を解釈するにあたっては、価格弾力性が適切に設定されているか、不確実性の幅を踏まえた、十分な吟味がなされているか、といった検討が不可欠である。

免責事項

本ディスカッション・ペーパー中、意見にかかる部分は筆者のものであり、
(財)電力中央研究所又はその他機関の見解を示すものではない。

Disclaimer

The views expressed in this paper are solely those of the author(s), and do not necessarily reflect the views of CRIEPI or other organizations.

概要

エネルギー需要の長期価格弾力性は、需要が価格変化にどの程度の感度で変化するかを知る手がかりとして計測され、さらには、エネルギー・環境政策評価のためのモデル分析でよく利用されてきた。それでは、これらの分析には、どの程度の信頼性があるのだろうか。本稿では、長期価格弾力性の推計研究のレビューを行い、その結果には大きなばらつきがあることを確認した。

ばらつきが出る最大の要因は、長期価格弾力性と言う場合の、「長期」のとらえ方の違いにある。「長期」のとらえ方は、分析者によって様々である。本稿でレビューしただけでも、ラグつきモデルのようにモデルの定式化から「長期」をとらえる場合、クロスセクションデータやプーリングデータのように、大きな分散を持つデータで推計することで「長期」ととらえる場合、機器の置き換えや技術の進歩といった本来の意味に基づいて「長期」ととらえる場合など、全く異なる見方があることがわかった。

「長期」をどのように捉えるかによって、使用するデータ、モデルのタイプや推計手法も異なったものになる。したがって、長期価格弾力性の推計には、広く一つに決まった理論モデルも、計量的手法も、データの定義も存在せず、その結果、推計値には推計誤差を別としても大きなばらつきが生じることになる。本稿のレビューで整理できた推計結果の傾向は、(1)モデルのタイプに関しては、時系列モデルよりも、ラグ構造モデルのほうが、(2)データのタイプに関しては、時系列データよりもクロスセクションデータのほうが、(3)タイムトレンドの有無に関しては、タイムトレンドのないほうが、(4)論文の発表時期に関しては、2000年以前と以降で比べると2000年以前のほうが、それぞれ最大で約1.5~8倍程度大きくなっている。長期価格弾力性についての統一的な定義がない現状においては、長期価格弾力性という普遍的な値が存在するというよりも、各モデルにおいて定義される固有の値である、と解釈すべきであろう。したがって、長期価格弾力性は、それぞれのモデル内で、弾力性の推計とシミュレーション分析が、共通のデータベースに基づいて一貫して分析されるような場合のみ意味を持つモデルの内部変数の一つと考えたほうが妥当ではないだろうか。長期価格弾力性を巡る混乱は、本来、各モデル固有であるはずの内部変数が、あたかも普遍的で比較可能な値であるかのように解釈され利用されてきたことに始まるのではないだろうか。

したがって、長期価格弾力性のコンセンサス値として、異なる性質を持つモデル群から得られた複数の推計値の平均を用いることには十分な注意が必要である。また、長期価格弾力性を用いたモデル分析結果を解釈するにあたっては、価格弾力性が適切に設定されているか、不確実性の幅を踏まえた、十分な吟味がなされているか、といった検討が不可欠である。

もちろん、この長期価格弾力性の推計の試みの中で、政策に対する需要の反応、社会変化や消費者心理の影響、技術進歩率の影響といった、より本質的な議論が行われてきたこ

とは言うまでもない。長期価格弾性値について、異なるモデル間での無意味な比較やシミュレーション分析への誤った利用は厳に慎むべきであるが、各モデル単位では、より実態を反映したシミュレーションを可能とする長期価格弾性値推計の努力は、引き続き重要である。

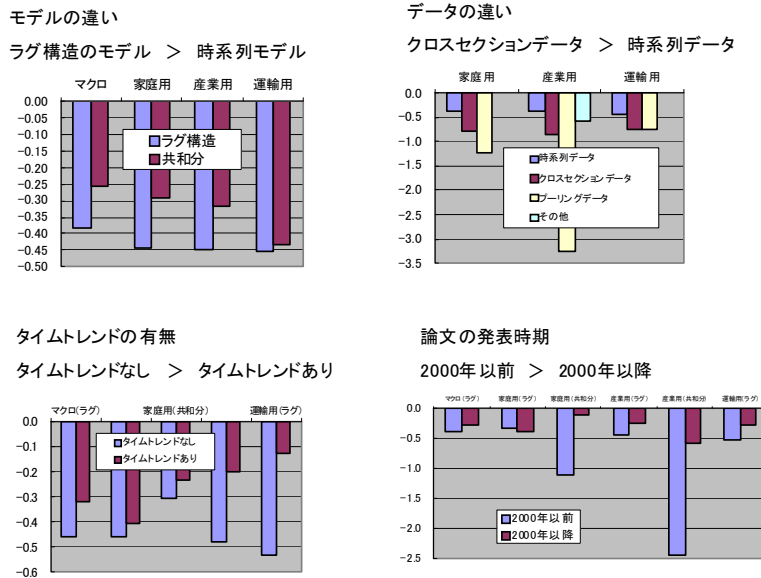


図 長期価格弾性推計値のばらつきとその要因

表 推計された長期価格弾性値の意味付け

モデルタイプ、データタイプ、推計手法		その他の要因(例: 考慮する条件の有無など)								
時系列データ	ラグ構造	一期の自己ラグ: 今期の1%の価格上昇が、無限先にわたって合計何パーセント需要を減少させるか。	×	推計結果のばらつきは、さらに右に例示したような要因の掛け算によって拡大してしまう。	×	タイムトレンド項: 技術進歩をどのように捉えるか、あるいは考慮しないか。	×	ストック調整項: 機器の買い替えなどによる省エネ効果をどのように捉えるか、あるいは考慮しないか。	×	その他:
	共和分モデル	価格の多項式ラグ: 今期からラグ次数で想定しているt期先までの各1%の価格上昇によって引き起こされる今期の需要の減少は合計何パーセントか。								
クロスセクション/プーリングデータ		クロスセクション/プーリングデータ: 標本を空間スケールに広げることによって需要関数のシフトを考慮できるものとする。今期の1%の価格上昇による需要は需要関数がシフトした結果、最終的に何パーセントの需要を減少させるか。								

エネルギー需要の長期価格弾力性に関するレビュー

1. はじめに

エネルギー需要の価格弾力性は、需要が価格変化にどの程度の感度で変化するかを知る手がかりとして、また、エネルギー・環境政策の立案や評価のためのモデル分析の場で、広く参考にされてきた値である。たとえば、IPCCの第4次評価報告書第3作業部会報告書の第6章では、家庭部門のエネルギー需要の価格弾力性として、先進国では英国が-0.19、オランダが-0.25、米国テキサス州が-0.08、途上国ではインドネシアが-0.57、パキスタンが-0.33という推計例をあげ、先進国では必ずしも高い値ではないが、エネルギー支出の割合が高い途上国ではより大きくなっていると述べている。これらの推計値から、低い価格弾力性のもとでCO₂排出量の削減を実現するには、必要となる価格上昇幅も大きくならざるを得ないこと、価格弾力性を低くする要因の一つである省エネバリア¹を除去することが重要であること、などが考察されている²。また、McKinsey(2009)では、EIA/DOEの価格弾力性の推計値を利用して、米国がCO₂排出量の削減目標を達成するためには、産業部門で20%、家庭部門で50%のエネルギー価格の上昇が必要であるという分析結果を紹介している。

これまでもエネルギー価格弾力性の実証研究に関するレビューは様々な形で行われてきた。その背景には、先に述べたようにこの問題が極めて重要なトピックであるということ以外に、過去においても、研究によって、推計結果がさまざまであるため、複数の研究結果での推計結果を束ねることで価格弾力性の値に関するコンセンサスを得ようとしてきたためだと考えられる。本稿では、価格弾力性の推計値がなぜこのようにばらつきが出てしまうのか、という点にさかのぼってレビューを行い、長期の価格弾力性の持つ意味とそれを政策に用いる意味を考えていきたい。

2. エネルギー価格弾力性値の実証研究の歴史(概要)

2.1 実証研究の年代ごとの特徴

エネルギー需要の価格弾力性に関して、その実証研究を時代を追って整理するところから始めたい。図1は、エネルギー価格弾力性値の実証研究の簡単な歴史を整理したもので、右側のグラフは、サイエンスダイレクトのサイトから、「Energy」、「Demand」、「Elasticity」というキーワード検索に該当した文献を、「モデル・推計法の理論研究・レビュー」、「先進国を対象として実証研究」、「途上国を対象とした実証研究」の3つに分けて年代別にその文献数の推移をみたものである。

¹若林・木村(2008)によれば、経済的に妥当な費用で実施できるにもかかわらず、何らかの理由によって実施されないままとなっている省エネルギー対策が数多く存在する。こうした省エネ対策の実施を阻む要因を、省エネルギーの障壁(省エネルギーバリア)と呼ぶ。

²文面からは、これらが短期価格弾力性か長期価格弾力性か判断できない。

1975年以前のデータは得られないので確固としたことは言えないが、第一次石油危機以降、エネルギー価格弾性値に関する文献数も増加している。データの蓄積とともに実証研究のウエイトも高まっており、特に最近では途上国に関する実証分析が急増している。これは、グローバル化以降の中国をはじめとする新興国の経済成長によってエネルギー需要が急増していること、これらの途上国でも統計分析が可能となるデータの蓄積・整備が進んでいることによるものであろう。エネルギー価格弾性値に関する文献の特徴を、年代別に整理すると、大まかに以下のとおりである。1970年代は、第一次石油危機を契機に、エネルギー価格弾性値に注目が集まるようになる。特に、石油危機の前後で弾性値は変化したのか、に関心が集まった。推計モデルは、対数線形モデル、長期弾性値は、ラグ付き誘導型モデルなどが中心であり、推計手法のバリエーションは比較的少なく、この当時では長期弾性値のコンセンサスビューもそれなりに可能であった。1980年代は、推計手法としてトランスログ型モデルが多用された。それまでの関数型と異なり、要素間の代替弾力性に関する制約がよりフレキシブルになったことから、資本とエネルギーの間の代替／補完の可能性に関する計測が盛んに行われた。同時に1980年代はデータ、モデルの双方で大きな変化があった時期でもある。従来、マクロの集計データによる計測がほとんどであったのに対し、個票データの蓄積・整備が進んだことで、クロスセクション、プーリングモデルによる計測が行われるようになった。その結果、これらのマイクロ・データによる推計結果

1970年代

第一次石油危機を契機に、エネルギー価格が取り上げられるように。“石油危機の前後で弾性値は変化したのか。”

対数線形モデル、長期弾性値は、ラグ付き誘導型モデルから。

推計手法のバリエーションは少なく、長期弾性値のコンセンサスビューもそれなりに可能であった。

1980年代

トランスログ型モデル。

個票データの整備進む。クロスセクション、プーリングモデル。

時系列データで推計した長期弾性値との、結果の差が指摘される。

1987年のEngel&Granger論文

1990年代

「Unit root革命」時系列分析の隆盛。共和分検定、ECM

環境税導入の効果に関連した分析ニーズ

2000年代

時系列手法の過剰な適応への反省。モデルスペックそのもの見直し。技術進歩率の内生化。社会的要因。省エネのリバウンドなど多様な 이슈が盛り込まれるように。

⇒ますます、長期価格弾性値のコンセンサスは困難に

エネルギー需要増大から、中国など途上国に関する実証研究が増加

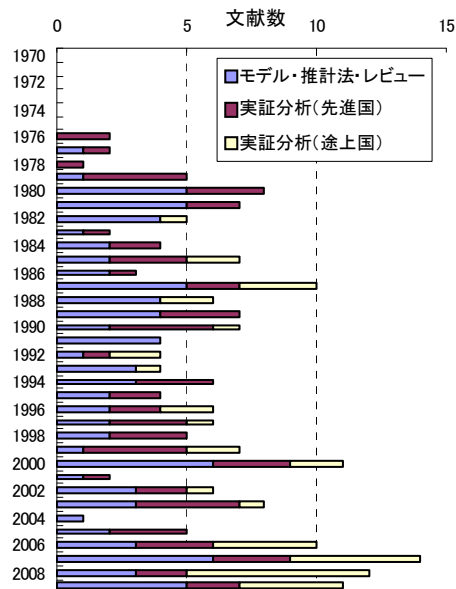


図1 エネルギー価格弾力性値の実証研究の簡単な歴史と文献数の推移

と、従来のマクロの時系列データで推計した長期弾性値との結果の差が指摘されるようになった。モデルの分野では、1980年代に盛んとなる時系列分析が提案され、1990年代にかけては、「Unit root 革命」とも呼ばれる時系列分析の隆盛の時代となった (Diebold and Nerlove(1990))。 エネルギー需要関数の推計においても、各変数の時系列的な性質の検定が不可欠とされた。それにより、多くの変数がそのままでは回帰分析には不向きな非定常の変数であることから、共和分検定、ECM といった分析手法やモデルが提案された。また、1990年代はリオサミット以降、地球温暖化が世界的な課題として急浮上した時期とも重なることから、エネルギー価格弾力性の推計は、環境税導入の効果といった政策分析ニーズの高まりとともに、注目を集めるようになった。2000年代に入って、一部には、時系列手法の過剰な適応への反省も起こった。モデルスペックそのものの見直し。技術進歩率の内生化。社会的要因。省エネのリバウンドなど多様な 이슈が盛り込まれる、モデルは多様化、複雑化したため、ますます、長期価格弾性値のコンセンサスを得ることは困難になった。また、エネルギー需要増大から、中国など途上国に関する実証研究が増加したこともこの時期の特徴の一つである。

2.2 1980,1990 年代のレビュー論文から

この分野に関しては、レビュー論文のレビューができるほど、数多くの研究蓄積がある。以下では、1980-90年代、2000年時点、2000年以降の3つの時代に分けてこのレビュー論文を中心に価格弾力性に関する研究を概観していく。

まず1980,1990年代のレビュー文献として、Bohi&Zimmerman(1984)、Goodwin(1992)を中心にとりあげてみたい。

(1)Bohi&Zimmerman(1984)

Bohi&Zimmerman(1984)では、2度の石油危機後に数多くまとめられた文献を精力的にサーベイしている。彼らは、短期、長期の弾性値の区別は曖昧であるとしながらも、モデルタイプで分けるとするなら、時系列データ分析から短期の価格弾力性、クロスセクションデータ分析から長期の価格弾力性が求められ、ラグ付き変数のある誘導型モデル、部分調整モデルからも長期の弾性値が求められるとしている。以下は彼らが文献レビューによって整理した、燃料別・部門別の短期／長期価格弾性値のコンセンサス値である。

それによると、家庭部門では、電力需要、天然ガス需要とも、短期価格弾力性はともに0.2と低い。長期価格弾力性では、電力は0.7、天然ガスは0.3になる。運輸部門のガソリン需要に関しては、短期価格弾力性は0.2、長期価格弾力性は1.0未満になっている。他方、業務、産業部門でのコンセンサス値を得ることはできていない。

表1 Bohi&Zimmerman(1984)より、価格弾性値のサーベイ

Table 12 Consensus estimates of price elasticities (in absolute value)

	Electricity Short/long	Natural gas Short/long	Fuel oil Short/long	Gasoline Short/long
Residential	0.2/0.7	0.2/0.3	uncertain	
Commercial	uncertain	uncertain	uncertain	
Industrial	uncertain	uncertain	uncertain	
Transportation				0.2/< 1.00

モデリングの課題として、以下の5つをあげている。①データの集計レベルをどうすべきか。②需要と供給は価格決定を含めて相互に関連性が深いが、供給関数とは別個に需要関数を推計することは問題点ないか。③データの捕捉の問題 (measurement) (気象データは暖房度日や冷房度日で計測するのが通常だが、地域性を反映した指標たりうるのか。家計所得は、収入データと支出データのどちらがいいのか。電力やガスの段階的料率のもとでは、価格データとして限界価格がいいのか、平均価格がいいのかなど)。④関数型の選択の問題として、対数線形モデル、translog の2つが最も多く使われるが、前者は、弾性値が一定というように制約が厳しく、後者は異時点間の需要の調整を捉えることが出来ない点、推計パラメータが多く自由度が確保できない点が課題である。⑤推計手法の問題として、OLS (Ordinary Least Squares) ,TSLS (Two-Stage Least Squares) ,GLS (Generalized Least Squares) ,SUR (Seemingly Unrelated Regression) などの手法の選択についての課題をあげている。

(2)Goodwin(1992)

Goodwin(1992)では、運輸部門での燃料需要に関するサーベイを行っている。以下、その主要内容を整理する。運輸部門の価格弾性値について、特に公共交通に関する分析で以前は区別されることのなかった、長期・短期の別が区別されるようになった。おおまかにいうと、長期弾性値は短期弾性値の約2～3倍になる。時系列データを用いたモデルでの短期、長期の区別はモデルのパラメータから行われるが、クロスセクションモデルでの短期、長期の区別はデータの分布の性質を知る分析者の判断である。時系列データを用いたモデルの場合、年次、四半期、月次などの違いはあるが、そのサンプル期間は、5～15年程度であり、クロスセクション分析では、ほぼ同時期のデータとなる。その意味で、ともに短期弾性値という場合の「短期」の定義は、1年と考えられる。一方、「長期」の定義については、本来であれば、最終的な均衡状態にいたったときの弾性値、とすべきであるが、実際には、時系列モデルであれば、サンプル期間の半分くらいのラグ(5年程度以上)までであれば何とか計測可能である。運輸部門の分析では、都市構造の観点も必要であるが、クロスセクションモデルの結果も、建物や産業立地などのパターンの影響までは盛り込め

ていない。

表 2 は、Goodwin のサーベイによる燃料需要の短期／長期価格弾力性の推計値である。短期の価格弾力性は、時系列データを用いた場合には-0.27、クロスセクションを用いた場合には-0.28 と非常に似通った値になる。長期の価格弾力性も、時系列データを用いた場合には-0.71、クロスセクションデータを用いた場合には-0.84 と似通った傾向にある。また、長期／短期の区別が不明瞭な研究の場合の価格弾力性は、時系列データを用いた場合には-0.53、クロスセクションデータを用いた場合には-0.18 となる。ところで、需要を燃料消費ではなく、人・km と価格との関係を見ると、長期の価格弾力性は約半分弱になる。これは、燃料価格上昇が、長期的には、燃費向上技術の進歩や消費者の高燃費車への乗り換えに結びつくためであることを指摘している。

表 2 Goodwin(1992)より、運輸部門の石油消費の価格弾力性値のサーベイ

TABLE 1
*Summary of Evidence from Studies of Elasticity of Petrol
Consumption With Respect to Price*

	<i>Explicit</i>		<i>Ambiguous</i>
	<i>Short term</i>	<i>Long term</i>	
Time-series	-0.27 (0.18, 51)	-0.71 (0.41, 45)	-0.53 (0.47, 8)
Cross-section	-0.28 (0.13, 6)	-0.84 (0.18, 8)	-0.18 (0.10, 5)

Figures in brackets are one standard deviation, and the number of quoted elasticities in the average. From 13 studies: Ben Akiva *et al.* (1986); Bland (1984); Bonsall and Champornowne (1976); Commission of the European Communities (1980); Donnelly (1985); Drollas (1984, 1987); Goodwin (1987a); Mackett (1984); Thomson (1972); Vaes (1982); Wabe (1987); Zudak and Koshal (1982). Not included is Hensher and Young (1991) which provides a synthesis of a number of studies and recommends a 'five-year' fuel elasticity for road passenger vehicles of -0.66, which would be consistent with a long term equilibrium figure of -0.7 or -0.8 as suggested here.

(3) Barker 他(1995)

Barker 他(1995)は、温暖化問題とエネルギー需要分析に関する論文集であり、価格弾力性の推計結果が持つ問題点や課題を中心としてレビューも多く、本稿の問題意識とも近い。同 3 章のなかで、長期のエネルギー需要弾力性の計測は、いまだに多くの問題点を抱えていること、広く一つに決まった理論モデルも、計量的手法も、データの定義もないこと、短期弾力性は時系列モデルで、長期弾力性はクロスセクションデータで、という区別は、単純すぎる議論であること、時系列データによる分析に関しては、その時系列的な特性を十分に吟味した分析はまだあまり存在しないこと、などが指摘されている。個別のレビュー内容に関しては、次節で紹介したい。

2.3 2000年時点のレビュー

OECD (2000)は、OECD諸国における環境関連税制の検討材料とするため、エネルギー需要の価格弾力性に関するレビューを行っている。エネルギー価格がエネルギー需要に影

響を与える経路として、以下の4つをあげている。①エネルギー源の代替（電気とガスなど）、②投入要素間の代替（資本とエネルギーなど）、③エネルギー原単位の変化、④所得効果（エネルギー価格上昇による実質所得の減少）。文献レビューの結果、長期価格弾力性は、短期価格弾力性よりも大きいという結果を得ているが、エネルギー需要の価格弾力性を、課税効果の事前の検討といった消費者行動の理解に用いることは多くの留保条件があるとして注意を喚起している。たとえば以下のような点に注意すべきであるとしている。

- ・価格弾力性は限界的な傾きである。需要関数の形状が曲線である限り、この弾性値は需要規模に応じて変化する性質のものである。
- ・価格の上昇時と下降時の価格弾力性は異なる（Haas, Reinhard, Lee Schipper(1998)にも同様の指摘あり）。
- ・価格上昇が何に起因するかは、消費者行動に影響を与える。一般に消費者は、税率の変化の方が市場価格の変動よりも永続的な効果を持つものとして大きく反応しがちである（Velthuisen, 1995）。
- ・価格弾力性を用いた課税の分析では、それ以外の間接的な影響評価が無視されてしまう。
- ・価格弾性値をひとつに決めることはできない。需要関数の全形状を知ることにも不可能である。モデルタイプ、対象期間、地域や推計方法などのそれぞれで、弾性値が異なるということを踏まえたうえで、幅を持って価格弾性値を捉えるべきである。

2.4 2000年以降の論文レビュー

サイエンスダイレクトのサイトから、「Energy」、「Demand」、「Elasticity」のキーワード検索して該当した2000年以降の文献83編のうち、長期価格弾性値を推計した文献は33編であった。

これを、長期価格弾性値の求め方で分類すると。

(1) 自己回帰モデルおよびラグ付き価格変数を用いたモデルによる分析

該当数は10件。手法自体の新鮮さではなく、価格弾性値を推計するにあたって重要と思われる点、タイムトレンドの再考や省エネ政策や価格制度の影響といった別の視点による分析を主眼としたものがある。

(2) 時系列分析の手法を用いた分析

該当数は10件。エネルギー需要とエネルギー価格の間の共変関係を用いる時系列分析手法による分析。

(3) クロスセクションあるいはプールデータを用いた分析

該当数は6件。うち3本については、推計された価格弾性値について、短期／長期の区別に言及していない。

(4) 機器ストックへの影響を考慮することで長期価格弾性値の推計を試みた分析

該当数は7件

という内訳であった。これらの内容を含め、2000年以前の文献と合わせて、以下に手法、推計結果別にサーベイを行った。

3. 長期価格弾力性の推計手法のサーベイ

3.1 回帰モデルのラグ構造を用いた求め方

まず、Nordhaus (1977) をもとに、これ以降に共通して想定されているマクロのエネルギー需要関数による求め方を整理する。まず、非エネルギー財についての費用関数は、下記のように資本価格 P_K 、労働コスト P_L 、エネルギー価格 P_E の関数になる。

$$C = C(P_K, P_L, P_E) \quad (1)$$

ここで、非エネルギー財価格 P は、マークアップ及び税率の合計を σ とすると、

$$P = c + \sigma \quad (2)$$

で表せる。また、消費者の効用関数から効用最大化によって導いた非エネルギー財の需要関数は、下記のように、非エネルギー財価格 P と所得水準 Y の関数になる。

$$Q = Q(P, Y) \quad (3)$$

ここで、(1)、(2)より、(3)は以下のように書き直せる。

$$Q = Q(P_K, P_L, P_E, \sigma, Y) \quad (4)$$

費用最小化の条件によって、各要素投入が求められる。エネルギー需要関数は、下記のように、エネルギー財価格と所得水準の関数として定式化する。

$$E = E(P_E, Y)$$

以下では長期の価格弾力性をどのように定義し、求めているのかについて整理する。最もオーソドックスな手法としてマクロの集計データによる回帰モデルのラグ構造から求める手法は以下のとおりである。ここでは、簡単のため所得項を省いている。

$$(1) \ln E_t = a + \beta \ln P_t + \lambda \ln E_{t-1}$$

$$\text{長期価格弾性値} = \beta / (1 - \lambda)$$

$$\text{短期価格弾性値} = \beta$$

$$(2) \ln E_t = a + \beta_1 \ln P_t + \beta_2 \ln P_{t-1} + \beta_3 \ln P_{t-2} + \dots + \beta_k \ln P_{t-k}$$

$$\text{長期価格弾性値} = \sum \beta_k$$

$$\text{短期価格弾性値} = \beta_t$$

ラグが複数期にわたる場合には、ラグ構造に先験的な制約をつけた推計方法が一般的である。

(1)では、通常、 $\lambda < 1$ であり、(2)では、通常、 $\beta_t < \sum \beta_k$ であることから、推計を待つまでもなく、この定式化を行ったときには、長期価格弾性値は短期価格弾性値よりも大きくなることは明らかであろう。

3.2 時系列モデルを用いた求め方

3.1 で推計したモデルに用いられているマクロの諸変数の時系列データの多くは、定常ではない（すなわち非定常である）ことが知られている。このうち、トレンドを除去すれば定常となる系列 TSP(trend-stationary process)と、階差をとれば定常となる系列 DSP (difference-stationary process) とがある。たとえば、 ε_t をホワイトノイズとすると、

TSP は、 $E_t = a + \beta t + \varepsilon_t$ のように、

DSP は、 $E_t = \rho E_{t-1} + \varepsilon_t$, $\rho = 1$ あるいは、ドリフト項を持つ場合には、

$E_t = \rho E_{t-1} + \alpha + \varepsilon_t$, $\rho = 1$ と表すことができる。

DSP の系列であることを、単位根を持つという。誤差の分散が時間とともに増加するので通常の最小二乗法を使うことができないが、一階の階差をとることで定常となる。多くの経済変数は、DSP であることが知られている。ところで、モデルに含まれる各変数の単位根検定で単位根の存在が確認され、かつ共和分検定³で変数間に共和分関係が確認できれば、互いに単位根を持つ変数同士の回帰分関が意味を持つことが知られている。ここで共和分とは、仮にエネルギー需要をエネルギー価格に回帰させるモデル $E_t = \beta P_t + u_t$ において、 E_t と P_t が共に一階の階差で定常となる単位根を持ち、 $E_t - \beta P_t$ が定常となるゼロでない β が存在すれば、 E_t と P_t は共和分関係（長期的関係）にあるという。この場合には、階差をとらない変数同士による回帰係数 β を、長期のパラメータ（ここでは、長期価格弾力性）とみなす。一方、階差を含む誤差調整モデル

$\Delta E_t = \alpha \Delta P_t + \lambda (E_t - \beta P_t) + v_t$ のパラメータ α を短期のパラメータ（ここでは短期価格弾力性値）とみなす。

ここで、長期価格弾力性値とされる β は、3.1 の(1)式（回帰モデルのラグ構造を用いた求め方）における短期価格弾力性（ただし $\lambda = 0$ ）に他ならないことから、時系列モデルで推計される長期価格弾力性値は、多くの場合、回帰モデルのラグ構造を用いた場合の長期価格弾力性値よりも小さくなることが予想される。

3.3 クロスセクションモデルを用いた求め方

ある時点における、異なる主体ごとのエネルギー需要データを用いて推計する方法がクロスセクションモデルを用いた方法である。たとえば、国別、州別や県別といったデータを用いる場合には、特定の国、州や県のみの時系列データによる分析に比べて、分散の大きなサンプルを取ることが可能となる。このように、エネルギー需要構造や経済の発展段

³ 共和分とは、仮にエネルギー需要をエネルギー価格に回帰させる次のモデル $E_t = \beta P_t + u_t$ において、 E_t と P_t が共に一階の階差で定常となる単位根を持ち、 $E_t - \beta P_t$ が定常となるゼロでない β が存在すれば、 E_t と P_t は共和分関係にあるという。

階の異なるサンプルから推計された価格弾性値を、長期的な価格の影響をみることのできる長期価格弾性値として読み換えることもしばしばなされている。さらに、国別、州別や県別といったデータについて、その各々の時系列方向にもサンプルを拡大したデータを用いたモデルをプーリングデータと呼ぶ。この場合には、さらに広い分散からなるデータを得ることが可能となる。

以上のような、マクロ統計に基づいたクロスセクションデータ、プーリングデータだけではなく、サーベイデータなどのマイクロな個票データを用いて、同様にクロスセクション、プーリングモデルを設計する場合も増えている。先のマクロ統計を用いる場合には、特に国際統計の場合には統計の定義や精度がまちまちであることがしばしば問題として挙げられる。これに対して、一定の調査票に基づく個票データの場合には目的に沿ったデータを得ることが可能となる。

3.4 その他の長期価格弾性値の推計方法－機器ストックの調整を考慮したモデル

以上のモデルは、主にマクロ（トップダウン）からエネルギー需要をとらえた場合であるが、エネルギー需要を、エネルギー機器の利用というマイクロ（ボトムアップ）の視点で捉えなおすことも重要な視点である(Dhal(1995))。具体的には、エネルギー需要はエネルギー機器サービスを利用するために必要なもの、として、例えばエネルギー機器のストック \times (1/効率) \times 稼働率で求めるといった考え方である。この場合、エネルギー機器ストックへの影響を考慮することから、このモデルで計測された価格弾性値を長期価格弾性値ととらえる方法もある。このタイプのモデルは、さまざまなバリエーションがあるため、以下では、このタイプに該当する4つの文献の概要をあげるにとどめる。

Nwell(2008)では、米国の業務部門についてのCO2削減コストカーブを推計している。モデルは、用途別エネルギー需要の燃料選択についてのロジットモデルである。機器の変更を許さないモデルで推計した価格弾性値を短期価格弾性値、機器の変更を許すモデルで推計した価格弾性値を長期の弾性値としている。

Brannlunda(2007)では、スウェーデンの製造業の企業データを用いた生産関数を推計している。生産関数において、資本ストックの調整を考慮したモデルで推計したパラメータを長期弾性値としている。

Vaage(2000)は、ノルウェイの家計の暖房用エネルギー需要関数を、ロジットモデルとして定式化し、家計収入、建物のタイプや築年数といった要因をコントロールした価格弾性値を推計している。モデルでは、機器選択を含む誘導型を推計しているので、そのパラメータは長期とみなしている。

Yi(2000)は、スウェーデンの製造業部門別のエネルギー需要を、TL(トランスログモデル)、GL(general レオンチェフモデル)で推計している。TLでは、除却率、新設比率を考慮した調整マトリックスを定義し、それで求められたパラメータを長期弾力性としている。

4. 推計結果のサーベイ

以上みてきたように、長期価格弾性値については、統一的な推計手法があるわけではなく、その手法も時間を追って変化してきていることがわかる。また、依拠するデータの性質も、マクロの国際統計の場合もあれば、特定地域の家計を対象としたサーベイデータの場合もあり、大きく異なる。このため、各文献から推計された長期価格弾性値の値には大きな開きがある。表3は、この価格弾性値の推計結果を、部門別に、モデルタイプ、タイムトレンドのあるなし、論文発表年ごとに平均値をとってまとめたものである。対象とした文献は、Bohi(1984), Goodwin(1992), Atkinson(1995), Hodgeson&Miller(1995), Vouyoukas(1995)の各レビュー文献に、サイエンスダイレクトから検索した2000年以降の文献である。

表3 長期価格弾性値の推計値の整理

	モデルタイプ				タイムトレンド (時系列データ と比較) ^a		論文発表年	
	時系列 データ	クロス セクション データ	プー リング データ	その他 (ストック 変数な ど)	含む	含ま ない	2000年 以前	2000年 以降
マクロ	ラグ構造				-0.32	-0.46	時系列 -0.39	-0.29
	共和分					-0.26	時系列データ以外 -0.26	
家庭用	ラグ構造				-0.41	-0.46	時系列 -0.33	-0.40
	共和分				-0.24	-0.31	時系列データ以外 -1.11	-0.13
産業用	ラグ構造				-0.20	-0.48	時系列 -0.46	-0.26
	共和分					-0.32	時系列データ以外 -2.46	-0.59
運輸用	ラグ構造				-0.13	-0.54	時系列 -0.54	-0.28
	共和分					-0.44	時系列データ以外 -0.74	

注) a. Bohiのサーベイのなかで、Blosch(1980)のみタイムトレンドを考慮。タイムトレンド付きは弾性値が低くなることを指摘。
 b. 走行距離を被説明変数とするモデルの結果も含む。
 c. 陰線は、該当する計算値が一つしかないことを示す。

以下では、表で整理した内容について、時系列データを用いた分析手法による違い、データの種別による違い、タイムトレンドの有無による違い、論文の発表年の新旧による違いの4つの視点からみてみたい。

(1) 時系列データを用いた分析手法による違い

図2は、時系列データを用いた分析において、3.1の回帰モデルにおいてラグ構造を用いて推計する方法と、3.2の時系列モデルにおいて共和分の関係から推計する方法の両者による推計値の平均を比較したものである。3.2で述べたような理由により、時系列分析手法によって共和分を利用したモデルでは、従来型のラグ付き変数の回帰係数を用いたモデルよりも、長期弾性値が低くなる傾向にあることがわかる。

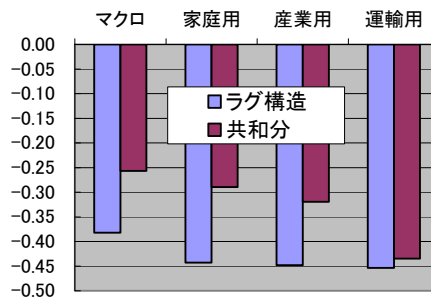
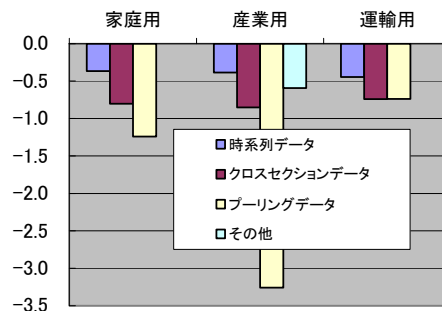


図 2 長期価格弾力性推計値—時系列データを用いた分析手法による違い—

(2) データの種類による違い

図 3 は、エネルギー需要部門ごとに、推計に用いるデータの種別（時系列データ、クロスセクションデータ、プーリングデータ、その他）間での長期価格弾力性の平均値を比較したものである。図から、時系列データ、クロスセクションデータ、プーリングデータの順に、長期価格弾力性は高くなる傾向にあることがわかる。



図中、「その他」は資本ストックの変更を、許す/許さない、で短期/長期を区別するモデル。

図 3 長期価格弾力性推計値—データの種別による違い—

Barker 他(1995)の 2、3 章によれば、十分なサンプル期間のないプーリングデータを用いた分析も多いなど、プーリングデータによる推計にはエラーが入り込みやすいこと、石油ショックなど極端な事象を含む時期のデータからの分析では結果が異なることが予想される、と指摘している。

(3) タイムトレンドの有無による違い

図 4 は、部門別モデルについて、タイムトレンドの有無ごとに長期価格弾力性の推計結果の平均を比較したものである。タイムトレンドを含むモデルのほうが、タイムトレンドを含まないモデルよりも長期価格弾力性は低い傾向にある。

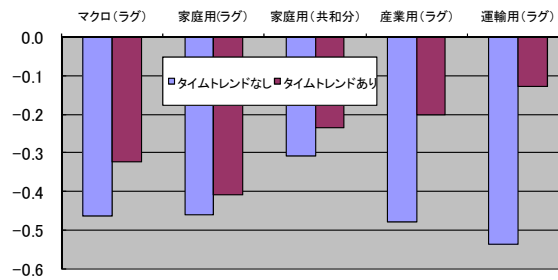


図 4 長期価格弾力性推計値－タイムトレンドの有無による違い

Boero 他(1991)によれば、多くのエネルギーモデルで、非価格・所得要因は、ひとまとめに、AEEI(Autonomous Energy Efficiency improvement)として外生的に扱われてきた。非価格要因としては、①外生的な省エネに関わる技術進歩率②政策に誘発される技術進歩③非効率な技術の廃止④GDP の構成の変化、があげられている。グローバルモデルを使った政策シミュレーションでは、外生扱いの AEEI はケース内で共通のままのことが多いが、実際には政策効果は非価格要因にも影響するはずであり、外生の AEEI をそのまま使ってしまうと、省エネポテンシャルを小さめに、削減費用を大きめに評価してしまうことになる、としている。Barker 他(1995)の 3,8 章では、技術進歩の扱いも結果に影響を与えることを指摘している。技術進歩率は通常、タイムトレンドで代用されることが多いが、技術進歩それ自体は内生変数である、という考え方あり、技術進歩率を内生化することによって、従来の計測結果に比べて、価格弾力性は低めに、技術進歩の寄与は大きめに推計される傾向にあることがわかった、としている。

(4) 論文の発表年の新旧による違い

図 5 は、部門別モデルについて、論文の発表年の新旧ごとに長期価格弾力性の推計結果の平均を比較したものである。論文の発表年が新しい（2000 年以降）ほうが、長期価格弾力性は低くなる傾向にある。2000 年以降の分析では、時系列分析手法を用いた共和分モデルによる長期価格弾力性の推計が増えたが、この共和分モデルでのパラメータは先にみたようにラグ構造を用いた長期価格弾力性よりも低くなることも理由の一つである。

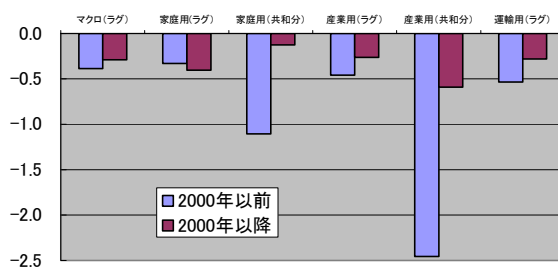


図 5 長期価格弾力性推計値－論文の発表年の新旧による違い

5. 推計された「長期」価格弾性値は何を示しているのか

既に触れたように、長期価格弾性値をどのように捉えるかについて、統一的な定義はなく分析者によって様々であるため、分析者によって、モデルタイプ、データタイプ、推計手法は異なる。これが長期価格弾性値の推計結果に大きなばらつきが生じる原因である。

表 4 推計された長期価格弾性値の意味付けと推計値にばらつきが生じる理由

モデルタイプ、データタイプ、推計手法			その他の要因(例:考慮する条件の有無など)				
時系列データ	ラグ構造	一期の自己ラグ: 今期の1%の価格上昇が、無限先にわたって合計何パーセント需要を減少させるか。 価格の多項式ラグ: 今期からラグ次数で想定しているt期前までの各1%の価格上昇によって引き起こされる今期の需要の減少は合計何パーセントか。	× 推計結果のばらつきは、さらに右に例示したような要因の掛け算によって拡大してしまう。	× エネルギー需要構造の違い: 気象条件、人口構造(ミクロデータなら世帯構成)や居住環境(キムロデータなら部屋の広さ)などをどのように捉えるか、あるいは考慮しないか。	× タイムトレンド項: 技術進歩をどのように捉えるか、あるいは考慮しないか。	× ストック調整項: 機器の買い替えなどによる省エネ効果をどのように捉えるか、あるいは考慮しないか。	× その他:
	共和分モデル	共和分: (価格と需要の間に長期的関係がある場合に推計可能)1%の価格上昇が、同じ期の需要を何パーセント減少させるか。					
クロスセクション/プーリングデータ		クロスセクション/プーリングデータ: 標本を空間スケールに広げることで需要関数のシフトを考慮できるものとする。今期の1%の価格上昇による需要は需要関数がシフトした結果、最終的に何パーセントの需要を減少させるか。					

表 4 には、長期価格弾性値の「長期」をどのように捉えるかによって、モデルタイプ、データタイプ、推計手法がどのように変わってくるのか、それに加えて、考慮する条件の有無や、条件のモデル化の方法によって推計された長期価格弾性値がさらに大きな幅を持つ可能性について示したものである。

まず、モデルタイプとして時系列データ（ラグ構造モデル、共和分モデル）、クロスセクション/プーリングデータに分ける。一期の自己ラグモデルで推計された長期価格弾性値は、今期の1%の価格上昇が、無限先にわたって合計何パーセント需要を減少させるか、を示している。価格の多項式ラグモデルで推計された長期価格弾性値は、今期からラグ次数で想定している t 期前までの各期でそれぞれ価格が 1% 上昇した場合の今期の需要の減少を全て合計した値を示している。共和分モデルの場合には、共和分モデルで定式化できることが確認（共和分検定）されたこと自体が、すなわち、価格と需要の間に長期的関係がある、ということの意味している。したがって、推計されたパラメータの示している「1%の価格上昇が、同じ期の需要を何パーセント減少させるか」という値、そのものが長期価格弾性値を示していると解釈される。クロスセクション/プーリングモデルは、空間スケールに広げたことで、より大きな分散を持つことから、需要関数のシフトまで考慮するこ

とができると考える。例えば、世界各国データをサンプルにした推計を行った場合には、経済発展段階の初期にある途上国が、経済成長していく過程でエネルギー需要構造も先進国型にシフトしていくダイナミズムを含めて推計したことに相当する。従ってこのモデルで推計された長期価格弾性値は、今期の1%の価格によって、需要関数がシフトした（例えば、より先進国型にシフトした場合）結果、最終的に何パーセントの需要を減少させるか、を示している。ただし、クロスセクション／プーリングといっても、国レベルのものから、市町村、あるいは、世帯レベルまで様々な標本データが存在する。その中の分散は、どの程度の長期の需要変化に対応したものになるかは、それぞれの標本データの性質に大きく依存する。

さらにその他の要因として、例えば考慮する条件の有無や、モデル化の方法による違いが、長期価格弾性値の推計結果に大きな違いをもたらす。このうち、タイムトレンド項についてはすでに前述の4の(3)で述べたとおりであるが、このほかにも、需要構造やストック調整のモデル化の有無やその方法などが、長期価格弾性値の推計結果のばらつきの幅をさらに拡大させていると考えられる。

6. まとめ

6.1 何がわかっているのか

これまで確認したように、推計モデルや依拠しているデータの多様化により、長期価格弾性値そのもののコンセンサスを得ることますます難しくなっている。一方、ある程度のコンセンサスの得られる点としては、以下のような推計値の性質（特徴）に関する点である。

- (1) 短期弾性値よりも長期弾性値が高めになる。
- (2) 時系列データを用いたモデルよりもクロスセクションデータを用いたモデルのほうが、弾力性は高めになる。
- (3) 時系列手法を使った推計では、価格弾力性は低めになる。
- (4) 技術進歩項（タイムトレンド項）を考慮したモデルのほうが、価格弾性値は低めになる。
- (5) 価格上昇期と下降期とでは弾性値は非対称である。

6.2 何がわかっていないのか、今後の課題は何か

今後、エネルギー需要の価格弾力性を推計するにあたって新たに検討が必要となる課題としては、以下の3点をあげたい。

- (1) 環境規制や税・補助金といったエネルギー・環境政策が、長期価格弾力性にどのような影響を与えるかに着目した研究はまだ少ない（Boonekamp(2007)など）。また、省エネバリアがある場合には、長期価格弾力性も異なることが予想され、バリアを除去する政策の効果などは重要な検討項目となろう。
- (2) エネルギー需要のモデル化に関しては、所得要因、価格要因からなる従来のオーソドックス

クスのエネルギー需要関数に対して、消費者の心理や社会変化といった新しい要因を考慮した研究もまだ少ない (Jeroen C. J. M. van den Bergh(2008)など)。

(3) 長期価格弾性値を計測する場合に、技術進歩の影響をどのように捉えるか、も大きな課題である。

最後にあげた、技術進歩のとらえ方について若干補足したい。価格に対する反応にラグがあり、省エネに対する制度的なバリアが存在するもとでは、エネルギー価格だけで需要が変化するとは考えにくく、技術の影響を捉えることが重要となる。しかし、技術進歩率の扱い方(従来のタイムトレンド項)について、従来は、期間中一定のタイムトレンドのパラメータとして推計したり、外生的な技術進歩率(AEEI)として、先見的に想定したりしてきた。これに対し、「期間中一定という仮定で良いのか?」、「単なるタイムトレンドには、嗜好や経済構造の変化など他の要因も含まれるのではないか?」、「技術進歩率自身が価格の関数ではないか?」、「設備や機器自身の効率向上(技術進歩率)をどう捉えるか。」といった様々な問題提議がだされている。こうした議論の中から、Dowlatabadi(2006), Boone(1995), Hunt(2005)などで、技術進歩率を、価格、産業構造の代理変数、時間の関数として内生化する試みが始まっているが、長期価格弾性値の推計という観点から、技術進歩率をどのように扱うべきか、という定説は今のところない。

以上は、長期価格弾性値の推計についての課題であるが、そもそも長期価格弾性値という場合の「長期」をどのように捉えるかについての統一的な定義は存在しない⁴。このことが、使用するモデル、データ、推計手法の違いにつながり、推計結果に大きなばらつきを生む原因となっている。本稿でレビューしただけでも「長期」のとらえ方は、分析者によって様々である。ラグつきモデルのようにモデルの定式化から「長期」をとらえる場合、クロスセクションデータやプーリングデータのように、大きな分散を持つデータで推計することで「長期」ととらえる場合、機器の置き換えや技術の進歩といった本来の意味に基づいて「長期」をとらえる場合など、全く異なる見方があることがわかった。長期価格弾性値についての統一的な定義がない現状においては、長期価格弾性値という普遍的な値が存在するというよりも、各モデルにおいて定義される固有の値である、と解釈すべきであろう。したがって、長期価格弾性値は、それぞれのモデル内で、弾性値の推計と価格変化によるシミュレーション分析が、共通のデータベースに基づいて一貫して分析されるような場合にのみ意味を持つモデルの内部変数の一つと考えたほうが妥当ではないだろうか。長期価格弾性値を巡る混乱は、本来、各モデル固有であるはずの内部変数が、あたかも普遍的で比較可能な値であるかのように解釈され利用されてきたことに始まるのではないだろうか。

したがって、この長期の捉え方の違いを考慮しないまま、異なる複数の研究成果から推

⁴ この点は Barker 他(1995)でも次のように指摘されている。「長期のエネルギー需要弾性値の計測は、いまだに多くの問題点を抱えており、広く一つに決まった理論モデルも、計量的手法も、データの定義もない。」

計結果のみの平均をとるなどして求められた長期価格弾性値のコンセンサス値には、全く根拠がないことは明らかである。しかし、実際には、環境税などのエネルギー・環境政策の評価をモデル分析したもののなかには、過去に行われた全く異なる性質を持つモデル群から得られた複数の推計値の平均などから、長期価格弾性値を外生的に設定した分析も多く見受けられる。こうしたモデル分析の結果を解釈するにあたっては、長期価格弾性値が適切に設定されているか、長期価格弾性値の推計結果が持つ不確実性の幅がシミュレーション結果にどのような影響を与えるのか、といった十分な吟味が必要である。したがって、環境税などのエネルギー・環境政策の評価をモデル分析する場合には、その経済影響に関する数値には大きな不確実性が含まれているということを十分に認識すべきであろう。

もちろん、この長期価格弾性値の推計の試みの中で、政策に対する需要の反応、社会変化や消費者心理の影響、技術進歩率の影響といった、より本質的な議論が行われてきたことは確かである。長期価格弾性値について、異なるモデル間での無意味な比較やシミュレーション分析への誤った利用は厳に慎むべきであるが、各モデル単位では、上記で指摘してきたような点を含め、より実態を反映したシミュレーションを可能とする長期価格弾性値を推計する努力が、引き続き重要であることは言うまでもない。

参考文献

- Agnolucci, Paolo, "The energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity and common factors", *Energy Economics* 31 (2009) 175–187, 2009
- Amarawickramaa, Himanshu, A Lester C. Hunt, "Electricity demand for Sri Lanka: A time series analysis", *Energy* 33 (2008) 724–739, 2008
- Arnberg, Søren, Thomas Bue Bjørner, "Substitution between energy, capital and labour within industrial companies: A micro panel data analysis", *Resource and Energy Economics* 29 (2007) 122–136, 2007
- Atkinson, Jago, Neil Manning, "A survey of International Energy Elasticities", in Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N. (Eds), "Global Warming and Energy Demand", Routledge, London, pp227-253, 1995
- Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N. (Eds), "Global Warming and Energy Demand", Routledge, London, pp227-253, 1995
- Bohi&Zimmerman(1984), "An update on econometric studies of energy demand behavior", *Annual Review of Energy*, 1984, 9, pp105-154
- Boonekamp, Piet G.M., "Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption - A bottom up analysis for the Netherlands", *Energy Economics* 29 (2007) 133–157, 2007
- Brannlunda, Runar, Tommy Lundgren, "Hamid Davoudpoura, Mohammad Sadegh

- Ahadi”, *Energy Policy* 34 (2006) 40–49, 2006
- Center for Clean Air Policy (CCPA) (1998). “US Carbon Emissions Trading: Some Options that Include Downstream Sources,” April.
- Davoudpoura, Hamid, Mohammad Sadegh Ahadi, “The potential for greenhouse gases mitigation in household sector of Iran: cases of price reform/efficiency”, *Energy Policy* 34 (2006) 40–49, 2006
- Diebold., F.X., and M.Nerlove, “Unit Roots in Economic Time Series: A Selective Survey,” in T. Fomby and G.Rhodes(eds), *Advances in Econometrics*, Voll. 8 (Greenwich, CT:JAI Press, 1990
- Alexander, Galetovic, Cristian M.Mun˜oz, “Estimating deficit probabilities with price-responsive demand in contract-based electricity markets”, *Energy Policy*37(2009)560–569, 2009
- Fouquet, R., Pearson, P., Hawdon, D., Robinson, C., “The future of UK final user energy demand”, *Energy Policy*, Vol.25, pp231-240, 1997
- Galindo, Luis Miguel, “Short- and long-run demand for energy in Mexico: a cointegration approach”, *Energy Policy* 33 (2005) 1179–1185, 2005
- Ghosh, Sajal, “Import demand of crude oil and economic growth: Evidence from India”, *Energy Policy*37(2009)699–702, 2009
- Goodwin, P., “A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes”, *Journal of Transport Economics and Policy* 26, pp155-163, 1992
- Haas, Reinhard, Lee Schipper, “Residential Energy Demand in OECD-countries and the roles of irreversible efficiency improvements”, *Energy Economics*, Vol 20, Issue 4, 1998
- Halicioglu, Ferda, “Residential electricity demand dynamics in Turkey”, *Energy Economics* 29 (2007) 199–210, 2007
- Halvorsen, Bente, Bodil M. Larsen, “The flexibility of household electricity demand over time”, *Resource and Energy Economics* 23 (2001) 1–18, 2001
- Hang, Leiming, Meizeng Tu, “The impacts of energy prices on energy intensity: Evidence from China”, *Energy Policy* 35 (2007) 2978–2988, 2007
- Harvey, A.C., “Trends, cycles and autoregressions”, *Econ. J.*, Vol.107, pp192-201, 1997
- Hodgson, Derek, Keith Miller, “Modelling UK Energy Demand”, in Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N. (Eds), “Global Warming and Energy Demand”, Routledge, London, pp227-253, 1995
- Hunt, Lester C., Guy Judge, Yasushi Ninomiya, “Underlying trends and seasonality in UK energy demand: a sectoral analysis”, *Energy Economics* 25 (2003) 93–118, 2003
- Hunt, Lester C., Yasushi Ninomiya, “Primary energy demand in Japan: an empirical

- analysis of long-term trends and future CO2 emissions”, *Energy Policy* 33 (2005) 1409–1424, 2005
- Jin, Sang-Hyeon, “The effectiveness of energy efficiency improvement in a developing country: Rebound effect of residential electricity use in South Korea”, *Energy Policy* 35 (2007) 5622–5629, 2007
- Koetse, Mark J., Henri L.F. de Groot, Raymond J.G.M. Florax, “Capital-energy substitution and shifts in factor demand: A meta-analysis”, *Energy Economics* 30 (2008) 2236–2251, 2008
- Krichene, Noureddine, “World crude oil and natural gas: a demand and supply model”, *Energy Economics* 24 (2002) 557–576, 2002
- Kumar Narayan, Paresh, Russell Smyth, “The residential demand for electricity in Australia: an application of the bounds testing approach to cointegration”, *Energy Policy* 33 (2005) 467–474, 2005
- Lescaroux, François, “Decomposition of US manufacturing energy intensity and elasticities of components with respect to energy prices”, *Energy Economics* 30 (2008) 1068–1080, 2008
- Lord Marshall (1998). “Economic Instruments and the Business Use of Energy: A report by Lord Marshall,” London: HM Treasury.
- Macinsey, “Unlocking Energy Efficiency in the U.S. Economy”, *Global Energy & Materials*, 2009
- Mahadevan, Renuka, John Asafu-Adjaye, “Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries”, *Energy Policy* 35 (2007) 2481–2490, 2007
- Mahmud, Syed F., “The energy demand in the manufacturing sector of Pakistan: some further results”, *Energy Economics* 22, 2000, 641-648, 2000
- Na`sse´n, Jonas, Frances Sprei, John Holmberg, “Stagnating energy efficiency in the Swedish building sector—Economic and organisational explanations”, *Energy Policy* 36 (2008) 3814–3822, 2008
- Newell, Richard G., William A. Pizer, “Carbon mitigation costs for the commercial building sector: Discrete–continuous choice analysis of multifuel energy demand”, *Resource and Energy Economics* 30 (2008) 527–539, 2008
- Nordhaus, William D., “The Demand for Energy: An International Perspective”, in Chapter 13 of ‘International Studies of the Demand for Energy’ Nordhaus Ed., , North-Holland, 1977
- OECD, “BEHAVIORAL RESPONSES TO ENVIRONMENTALLY-RELATED TAXES”, COM/ENV/EPOC/DAFFE/CFA(99)111/FINAL, 2000

- Polemis, Michael. L., “Modeling industrial energy demand in Greece using cointegration techniques”, *Energy Policy* 35 (2007) 4039–4050, 2007
- Rapanos, Vassilis T., Michael L. Polemis, “The structure of residential energy demand in Greece”, *Energy Policy* 34 (2006) 3137–3143, 2006
- Roy, Joyashree, Alan H. Sanstad, Jayant A. Sathaye, Raman Khaddaria, “Substitution and price elasticity estimates using inter-country”, *Energy Economics* 28 (2006) 706–719, 2006
- Sadorsky, Perry, “Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries”, *Energy Economics* 31 (2009) 456–462, 2009
- Schipper, L., Meyes, S., Howarth, R.B., Steiner, R., “Energy Efficiency and Human Activity: Past Trends, Future Prospects.” Cambridge University Press, Cambridge, 1997
- Turner, Karen, “Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy”, *Energy Economics*, 2009
- Vaage, Kjell, “Heating technology and energy use: a discretecontinuous choice approach to Norwegian household energy demand”, *Energy Economics* 22, 2000. 649-666, 2000
- Vita, G. De, K. Endresen, L.C. Hunt, “An empirical analysis of energy demand in Namibia”, *Energy Policy* 34 (2006) 3447–3463, 2006
- Vouyoukas, Lakis, “Elasticities for OECD aggregate final energy demand” in Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N. (Eds), “Global Warming and Energy Demand”, Routledge, London, pp227-253, 1995
- Yamaguchi, Keiko, “Estimating energy elasticity with structural changes in Japan”, *Energy Economics* 29 (2007) 1254–1259, 2007
- Yi, Feng, “Dynamic energy-demand models: a comparison”, *Energy Economics* 22, 2000, 285-297, 2000
- 日本エネルギー経済研究所計量分析部, 『エネルギー・経済統計要覧 各年版』省エネルギーセンター
- マダラ著、佐伯親良訳, 『計量経済分析の方法』, エコノミスト, 2004
- 若林雅代、木村幸, 『省エネルギー政策理論のレビュー ー省エネルギーの「ギャップ」と「バリア」ー』, Y08046, 2009