

2013 年 10 月 13 日

電力中央研究所 星野優子

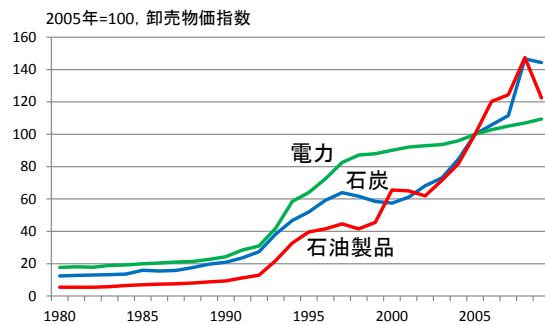
## 1. はじめに

途上国のエネルギー需要の急増による、地球環境問題や国際経済への影響が懸念されている。途上国のエネルギー需要の増加は、工業化による経済発展期に一般的に観察されることであり、脱工業化が進む先進国の生産を代替するという側面からみれば当然の帰結である。重要なのは、途上国でのエネルギーの効率的な利用をどのように促すか、という点である。2009、2010 年の G20 サミットでは、化石燃料補助金制度の改革が論点の一つに挙げられ、途上国での化石燃料補助金の削減による、価格効果を通じた需要抑制への期待が高まっている。ここで問題とされているのは、消費者補助金としての化石燃料補助金であり、化石燃料の国内価格を国際水準からみた適正価格よりも低めに設定するための支出である。IEA(2012)の推計によれば、世界の化石燃料補助金の総額は、2011 年には 5,230 億ドルであった。最大はイランの 800 億ドル、次いでサウジアラビアの 60 億ドル、ロシア、インドの 40 億ドルで、中国の化石燃料補助金の規模は世界第 5 位の 30 億ドル強と推計されている。

IEA, OPEC, OECD, World Bank(2010)によれば、世界全体で化石燃料補助金を撤廃した場合には、世界全体の GHG 排出量は、2050 年時点で 10%の削減が可能であると試算している。こうした需要抑制の価格効果を左右するのが、エネルギー需要の価格弾力性である。しかしながら、政策評価のために参照される価格弾力性には、分析ごとに様々な値が用いられているのが現状であり、特にデータ制約の厳しい途上国においては、十分に信頼できる分析結果の蓄積が少ない。そこで、本稿では、途上国におけるエネルギー価格の上昇によるエネルギー需要の削減効果には、どの程度期待できるのか、さらにエネルギー価格以外の要因にはどの程度期待できるのかについて、中国のエネルギー多消費産業を対象にした実証分析を行う。

## 2. 中国におけるエネルギー価格・需給動向

Hang and Tu(2007) をもとに、中国でのエネルギー価格制度改革の状況を整理したい。図 1 は、中国での産業用のエネルギーの卸売価格の推移をみたものである。中国のエネルギー価格制度改革は、1980 年代に開始されて以降、漸次進められている。



データ出所：中国統計年鑑より作成

図 1 中国の産業用エネルギー価格指数(WPI)の推移

石炭は、発電だけでなく産業用の基幹的なエネルギー源として、生産コストの半額で安価に国内供給されていたが、価格制度改革以降は、民間企業の参入増加とともに、石炭価格の統制は徐々に弱められ、1996年までに石炭価格は完全に自由化された。2000年以降に頻発した電力不足では、発電用の石炭需要の急増から、石炭価格は急上昇した。

石油は、1981年までは、価格統制を行っていたが、1982年には、二重価格制度が導入され、割当生産量超過分は市場で価格が決まる方式に改められた。その後も漸次的に制度改革が進められ、1998年に基準価格制度が導入された。これは、輸入が急増したことに対応し、国内価格と国際価格との連動性を重視したことによる。しかし、その後の輸入価格変動幅、変化のスピードは、ともに想定を超えたため、国際価格との連動性は、依然として十分ではない。引き続き連動方式の変更など漸次的な自由化への対応が続けられている。

電力は、1985年に全国規模の料金引き上げが行われた。1987年からは、2セント/kWhの電気料金収入が地方政府による発電所建設に充てられるようになった。また、1993年からは、新設の発電所については、投資回収を考慮した価格設定ができるように改められるなど、いずれも電力部門への投資インセンティブを高めることに寄与した。しかし、自由化が進んだ石油、石炭とは異なり、依然として政府による電力価格への関与は強く、1997年以降、電力価格の急上昇は抑えられている。

中国のエネルギー価格を国際水準と比較したのが、図2,3

である。図2は、家庭部門における自動車用ディーゼル油の1978年から2010年までの各国の国内価格をドル建て名目価格表示で比較したものである。英国は税率が高く、ここで取り上げた国以外を含めても国際的に最高水準の価格である。中国でも2000年以降、急激な価格上昇が観察できる。米国は州ごとにエネルギー税制が異なるが、平均的な税率は非常に低いことから、米国の価格を便宜的に国際的なリファレンス価格と読み替えることが可能である。中国のここ数年のディーゼル価格は、国際的なリファレンス価格に相当する

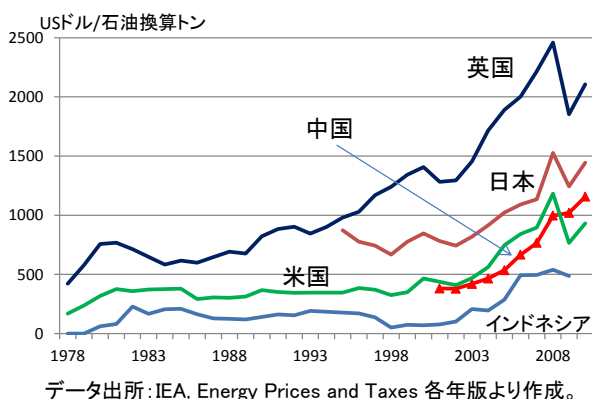


図2 自動車用ディーゼル油の国内価格(家庭用)の比較

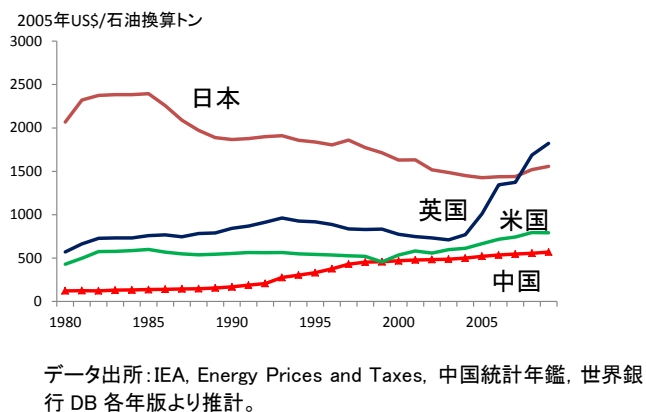


図3 産業用電力価格の比較(2005年米ドル表示)

米国の国内価格とも遜色ない水準である。これに対して、インドネシアの国内価格は低く、依然として分厚い消費者補助金が存在することが示唆される。図 3 は産業部門における電力価格水準を 2005 年の米ドル価格表示で比較したものである。中国の産業用電力価格は、2010 年時点では、日本の 3 分の 1 強にとどまっていることがわかる。

2010 年時点での中国の産業部門のエネルギー需要は、中国の最終エネルギー消費の 47.0%であり、そのうち鉄鋼、セメント産業は 49.8%を占める。ともに、経済成長期にある中国において国内のインフラ建設に欠かせないことから、経済成長が加速した 2000 年以降、鉄鋼、セメント部門のエネルギー需要は急増している。また、鉄鋼、セメントの両産業では、ともに、CO2 排出原単位の大きな石炭の需要が大きいことも特徴である。従って、温暖化防止の観点からも、鉄鋼、セメント産業でのエネルギー需要の抑制は重要な課題である。IEA(2009)によれば、中国の鉄鋼、セメント産業において、Best Available Technology に置き換えることによる原単位低下ポテンシャルは非常に大きいことが指摘されている。

### 3. 中国の鉄鋼、セメント産業におけるエネルギー需要の価格弾力性の推計と要因分解

#### 3.1 先行研究のレビュー

表 1 は、中国についての価格弾力性の推計結果をまとめたものである。Fan 他(2007)、Hang 他(2007)は、それぞれ、経済開放が始まった 1993 年、あるいはエネルギー価格制度改革が本格化した 1995 年前後での価格弾力性の変化を推計している。ともに後半期での価格弾力性がより大きいという結果を得てはいるものの、その推計結果の変化は、主に石炭需要に関連していることが推察できる。これは、エネルギー制度改革が、まず石炭価格において完了したこととも関連すると考えられる。他方で電力については、Hang 他(2007)で改革後の価格弾力性がプラスに推計されているなど、分析結果の間には大きな幅がある。

価格弾力性の推計に関しては、中国に限らず、他の多くの先行研究においても推計結果に大きな幅があることが知られている。これに関して Adeyami(2007)では、価格弾力性の推

表 1 先行研究での中国のエネルギー需要の価格弾力性推計結果

Authors	価格弾力性(短期のみ)	内容
Fan 他(2007)	マクロ 経済開放前: +0.29 経済開放後: - 1.24	経済開放(1993年)後のエネルギー効率改善の要因分析。トランスログ費用関数。期間別の価格弾力性推計。
Hang 他(2007)	石炭 改革前: -0.29 改革後: -1.59 石油 改革前: -0.54 改革後: -0.06 電力 改革前: -0.02 改革後: +0.43 集計 改革前: -0.54 改革後: -0.65	エネルギー価格制度改革前後(1995年)での、エネルギー間の代替弾力性、所得/価格弾力性の変化を分析。
Asadoorian 他(2008)	電力(都市) -0.19 電力(農村) -0.28	中国の都市/農村別での電力需要モデルでの、所得、価格弾力性の推計。気温のほか、エアコン、冷蔵庫、テレビ台数などを考慮。
Ma 他(2008)	石炭 -0.60 ガス -0.27 電力 -0.68 ディーゼル油 -0.17	トランスログ費用関数で代替弾力性、自己価格弾力性、Allen 偏弾力性を推計。
Lin 他(2011)	石炭(発電用) -0.53 ガス(産業用) -0.58 電力(産業用) -0.60 石油製品(産業用) -0.19	価格弾力性は、先行研究レビューより。石油、石炭補助金削減の影響を分析。補助金削減分を還流するケースを試算している。

計上には、以下の2つの課題があり、これらが、推計値にバイアスをもたらす可能性があることを指摘している。1つめは、所得、価格以外のエネルギー需要のトレンドは、様々な要因が複合した非線形なトレンドとなる可能性がある、という点である。2つめは、価格上昇時と価格下降時では価格弾力性が異なる（非対称である）可能性がある、という点である。

## 4.2 推計モデル

前節であげた価格弾力性の推計に関する課題に対処するために、本稿の分析で用いる推計モデルは、星野(2013)に倣い、*Hunt 他(2003)*及び *Haas(1998)*から、価格弾力性の非対称性とトレンドの非線形性を同時に考慮した状態空間モデルとして定式化する。モデルは、生産規模、価格、トレンドを説明変数とするエネルギー需要関数に相当する観測方程式と、時間に伴って変化するトレンド項を表す遷移方程式からなる。

ここで、実質エネルギー価格を  $P$ 、上昇時の実質エネルギー価格の累積値を  $P^{inc}$ 、下降時の実質エネルギー価格の累積値を  $P^{dec}$  とすると、*Haas(1998)*から、これらは以下を満たす。

$$\ln P_t = \ln P_t^{inc} + \ln P_t^{dec} \quad (1)$$

エネルギー需要計  $E$ 、業種別実質生産額  $X$ 、 $\mu$  はトレンドの水準、 $\phi$  はトレンドの傾き、 $\varepsilon$ 、 $\xi$ 、 $\rho$ 、 $\eta$ 、 $\omega$  はそれぞれ正規分布に従う誤差項とすると、観察方程式は以下(2)式で、状態方程式は以下の(3)、(4)式で表せる。

$$\ln E_t = \mu_t + \alpha \ln X_t + \beta \ln P_t^{inc} + \gamma \ln P_t^{dec} + \delta \ln E_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t = N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (2)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \phi_t + \xi_t, \quad \xi_t = N(0, \sigma_\xi^2) \quad (3)$$

$$\phi_t = \phi_{t-1} + \rho_t, \quad \rho_t = N(0, \sigma_\rho^2) \quad (4)$$

また、生産規模弾力性、価格弾力性  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  を時変パラメータとし、各々(5)、(6)式のように定式化する。ただし、 $\Delta^k$  は  $k$  次の差分を示し、 $k=1$  の場合には、ランダムウォークモデルに相当する。本研究では、2次までを検討対象とする。

$$\Delta^k \alpha_t = \eta_t \quad \eta_t \sim N(0, \sigma_\eta^2) \quad (5)$$

$$\Delta^k \beta_t = \omega_t \quad \omega_t \sim N(0, \sigma_\omega^2) \quad (6)$$

エネルギー需要データは、IEA エネルギーバランス表から、産業部門の業種別最終エネルギー消費合計を用いた。業種別のエネルギー価格は、IEA Energy Prices and taxes データをベンチマークとして用いたが、同統計には欠損値が多いため、その他の中国の国内統計を元に補完推計を行った。

## 3.3 推計結果

鉄鋼、セメントを対象に、エネルギー需要関数のパラメータを推計した。その結果を、星野(2013)の推計結果と比較したのが表 2、3 である。表 2 は価格弾力性、表 3 は生産規模弾力性の推計結果をまとめたものである。各パラメータは、式(5)、(6)より時変パラメータとして推計しており、さらに価格弾力性については、価格上昇期、価格下降期に分割して推計した。星野(2013)で観察されたと同様に、中国においても、価格上昇期、下降期ともに、価格弾力性は、期間中ほぼ一定の値として推計された。

一方、生産規模弾力性については、星野(2013)の日本の推計結果では、期間中ほぼ一定の値として推計されたのに対し、中国においては、期間中ゆるやかな上昇傾向にあることが確認された。このため表3では、最大、最小、平均値を示している。

まず、表2の価格弾力性の推計結果からみていく。鉄鋼、セメントのいずれにおいても、価格上昇時の価格弾力性は、下降時の弾力性よりも大きな値が推計されている。これは、先行研究とも整合的である。価格上昇時の価格弾力性が高くなる要因としては、(1)価格上昇によって、

技術進歩が促進され、省エネ機器の開発や普及が促進されること、(2)省エネ規制など、価格上昇を契機に導入された政策は、その後の価格動向とは関係なく残りやすいこと(3)価格上昇時に獲得した人々の省エネ習慣は、その後も残る可能性があることなどが考えられている(Grubb(1995))。また、推計された中国の価格弾力性は、短期、長期ともに、日本の価格弾力性よりも大きい。特に価格上昇期では、日本の数倍から10倍以上と大きい。鉄鋼、セメントにおいては、中国におけるエネルギー価格上昇は、省エネルギーに一定の効果が確認できた。

次に、表3の生産規模弾力性の結果についてみていく。星野(2013)による日本の推計結果では、鉄鋼、セメントともに、期間中一定であるのに対し、本稿の中国についての生産規模弾力性の推計値は、時間とともに変化している。表からは読み取れないが、推計された生産規模弾力性は、緩やかな上昇トレンドにある。長期の生産規模弾力性の値を日中で比較すると、鉄鋼、セメントともに日本のほうが大きい。生産規模弾力性が1であれば、生産規模が1%拡大したときエネルギー投入も同じく1%増加することを意味する。これに対して、1以下ということは、生産規模拡大によってエネルギー投入原単位が低下する、いわゆる規模の経済性が存在することを意味する。また、生産規模弾力性の値が、日本よりも中国が小さいということは、中国では日本よりも規模の経済性効果が大きいことを意味する。生産規模弾力性が上昇傾向にあることは、この規模の経済性効果が緩やかに日本水準に近づきつつあることを意味している。

表2 エネルギー需要の価格弾力性の推計結果

短期	鉄鋼		セメント	
	価格上昇期	価格下降期	価格上昇期	価格下降期
日本	-0.09	-0.05	-0.14	-0.03
中国	-0.58	-0.09	-0.61	-0.10
長期	価格上昇期	価格下降期	価格上昇期	価格下降期
日本	-0.16	-0.11	-0.22	-0.05
中国	-1.26	-0.20	-0.61	-0.10

注) 日本の推計結果は、星野(2013)より

表3 エネルギー需要の生産規模弾力性の推計結果

短期	鉄鋼			セメント		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
日本	0.49	0.49	0.49	0.37	0.36	0.36
中国	0.32	0.28	0.30	0.30	0.10	0.21
長期	最大	最小	平均	最大	最小	平均
日本	0.86	0.86	0.86	0.60	0.58	0.59
中国	0.69	0.61	0.65	0.30	0.10	0.21

注) 日本の推計結果は、星野(2013)より

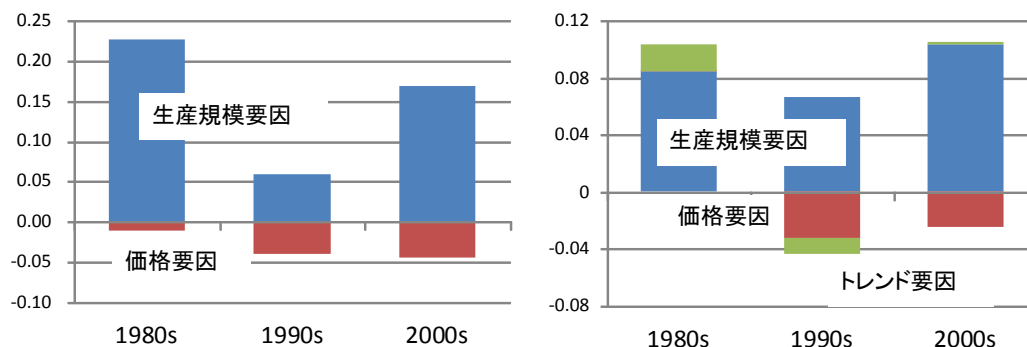


図4 中国のエネルギー需要の変動要因分解，鉄鋼（左図）、セメント（右図）

### 3.3 要因分解

以上の価格効果、生産規模拡大効果が、中国の鉄鋼、セメント産業における過去のエネルギー需要変動に、どの程度、寄与したのかを見るために、推計パラメータを用いた要因分解を行ったのが、図4である。この結果、両産業ともに、全期間を通して、最も大きな変動要因は、生産規模要因であったことが確認できる。

表2で見たように、中国の鉄鋼の長期価格弾力性は1.26、セメントでも-0.61と、日本の結果と比べても大きな値である。エネルギー価格の引き上げは、しばしば困難な政治的調整を伴うことから、特に途上国においては容易ではないものの、中国では、エネルギー価格自由化が本格化した1990年代以降、エネルギー需要の抑制に対して一定の効果があったことを確認できる。

さらに、図4右に示したセメント産業の要因分解では、トレンド要因の変化を確認することができる。これは、式(2)の $\mu_t$ の変動に相当し、需要関数で明示的に捉えた、生産規模要因、価格要因以外の様々な要因が複合したものである。鉄鋼産業では、 $\mu_t$ は、期間を通じて一定であったのに対し、セメント産業では、図4の右でみるように、1980年代にプラスに寄与していた需要トレンドが、1990年代には、わずかではあるがマイナスの寄与に変わっている。

### 3.5 中国のセメント産業の特徴と需要トレンド変化の背景

田島他(2010)によれば、中国のセメント産業の特徴は、最先端技術を持つ少数の大企業と、旧来の技術で生産を続ける多数の地方中小企業とに二極分解している点である。2007年時点での中国全土のセメント企業数は5,028社で、うち国有企業は5%弱であるのに対し、個人企業を含む民間企業は82%を占める。図5は、中国統計年報から、企業形態別に1社当たりの純固定資産額の推移を比較したものであるが<sup>1</sup>、大多数を占める民間企業の1社当た

<sup>1</sup> ここでは「非金属鉱物製品製造業」に分類されるデータで計算しているため、セメント産業以外の産業も含む。

りの設備規模は、国有企業の約 10 分の 1 と小規模であることがわかる。これらの多くは、建設が容易な堅窯式の小規模なセメント工場と考えられる。田島他(2010)によれば、地方でのセメント需要の急増に対応して、文化大革命期、1980 年代初頭、1992 年以降にそれぞれ小規模セメント工場の建設ラッシュがあった。

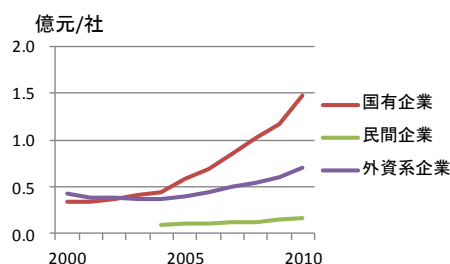
堅窯式は、設備費用が安価な反面、低品質でエネルギー効率が悪いとされる。図 4(右)で、1980 年代の需要トレンドがプラスに寄与している背景には、この小規模セメント工場の増加があると考えられる。一方で、堅窯式技術にも、中国独自の改良が進んだことで、小規模ながら生産効率の向上が見られたことが、1990 年代の需要トレンドをわずかではあるがマイナスの寄与に転じさせたとも考えることもできる。この需要トレンドの変動要因に関しては、より詳細な分析が必要であり今後の課題としたい。

ところで、中国では、鉄鋼についても中小規模の企業が多数存在する。この存続理由について、小田他(2012)では、1)地方政府による地域経済保護、2)安価な原材料・人件費・輸送制約、3)低い参入障壁と激しい競争、不確実性の高さ、企業の技術意欲の向上を挙げており、セメント産業の場合と多くの共通点がある。中国の鉄鋼、セメント産業のエネルギー需要を考えるうえでは、企業規模の要因を考慮することが重要であろう。

#### 4. まとめ

中国での、エネルギー価格制度改革が需要に与える影響を明らかにするため、エネルギー多消費産業の代表として鉄鋼、セメントの 2 業種を取り上げ、エネルギー需要の価格弾力性を推計した。推計にあたっては、価格変化に対する非対称性や需要トレンドの非線形性を捉えることのできるモデルを用いることで、よりロバストな推計値を得た。分析の結果、中国の鉄鋼、セメント産業におけるエネルギー需要の価格弾力性は、決して小さな値ではなく、十分なエネルギー価格の引き上げによって、省エネ効果が期待できることを確認した。また、中国の鉄鋼、セメント産業では、日本と比較して、規模の経済性が強く働くこともわかった。

セメント産業では、非線形な需要トレンドが推計された。中国における同産業の特徴から、需要トレンドが変化した要因を考えると、企業規模の変化が影響している可能性があげられる。途上国におけるエネルギー価格の急速な引き上げは、しばしば政治的調整に困難を伴う。価格政策だけではなく、中小規模工場での生産効率向上や、大規模工場への集約化を誘導する政策と組み合わせることで、中国のエネルギー集約産業においても、より実効性のある省エネが可能であろう。



出所：中国統計年鑑より

図 5 中国のセメント産業の 1 社当たり純固定資産（企業種別）

## 参考引用文献

- 1) IEA, "World Energy Outlook 2012", 2012
- 2) IEA, OPEC, OECD, World Bank, "Anakysis of the scope of energy subsidies and suggestions for the G-20 Initiative", IEA, OPEC, OECD, World Bank joint report, 16 June 2010, [http://www.iea.org/weo/docs/G20\\_Subsidy\\_Joint\\_Report.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/G20_Subsidy_Joint_Report.pdf)
- 3) Hang, Leiming, Meizeng Tu, "The impacts of energy prices on energy intensity: Evidence from China", Energy Policy, pp2978-2988, 2007
- 4) 中国国家統計局, 『中国統計年鑑』, 各年版
- 5) IEA, "Energy Prices and Taxes", 各年版
- 6) IEA, "Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions", 2009
- 7) Fan, Ying, Hua Liaoa, Yi-Ming We, "Can market oriented economic reforms contribute to energy efficiency improvement? Evidence from China", Energy Policy 35 2287–2295, 2007.
- 8) Asadoorian, Malcolm O. Richard S. Eckaus, C. Adam Schlosser, "Modeling climate feedbacks to electricity demand: The case of China", Energy Economics 30 1577–1602, 2008.
- 9) Ma, Hengyun, Les Oxley, John Gibson, Bonggeun Kim, "China's energy economy: Technical change, factor demand and interfactor / interfuel substitution", Energy Economics 30 pp2167–2183, 2008
- 10) Lin, Boqiang, Zhujun Jiang, "Estimates of energy subsidies in China and impact of energy subsidy reform", Energy Economics 33, pp273-283, 2011
- 11) Adeyemi, Olutomi I., David C. Broadstock, Mona Chitnis, Lester C. Hunt and Guy Judge, "Asymmetric price responses and the underlying energy demand trend: Are they substitutes or complements? Evidence from modeling OECD aggregate energy demand", Energy Economics, Vol.32, 1157-1164, 2010.
- 12) 星野優子, 『日本の製造業業種別エネルギー需要の価格弾力性の推計—国際比較のための分析枠組みの検討—』, エネルギー・資源 Vol.34, No.1, 2013
- 13) Hunt, Lester C., Guy Judge, Yasushi Ninomiya, "Underlying trends and seasonality in UK energy demand: a sectoral analysis", Energy Economics 25 , 93–118, 2003.
- 14) Haas, Reinhard, Lee Schipper, "Residential Energy Demand in OECD-countries and the roles of irreversible efficiency improvements", Energy Economics, Vol 20, Issue 4, 421-442, 1998
- 15) IEA, "Energy Balance of OECD / Non-OECD Countries", 各年版
- 16) Grubb, Michael, "Asymmetrical Price Elasticities of Energy Demand", in Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N. (Eds), Global Warming and Energy Demand, Routledge, London, 305-310, 1995.
- 17) 田島俊雄, 朱蔭貴、加島潤, 『中国セメント産業の発展』, お茶の水書房
- 18) 小田潤一郎, 秋元圭吾, 和田謙一, 長島美由紀, 佐野史典, 『中国における中小規模製鉄所の存続理由の考察』, 第31回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 11-5, 2012