

長期の需要トレンドからみた先進国の石油需要

星 野 優 子

1. はじめに

2000年代後半以降の原油価格の急騰は、実質ベースで過去の石油危機に匹敵するものであった。一方、先進国の石油需要は、2006年以降減少を続けている。産業構造の変化に加え、自動車の燃費向上や代替燃料の普及が進んだことなどが理由としてあげられる。国際エネルギー機関（International Energy Agency）の最新の見通しを始め、先進国の石油需要の減少トレンドは今後も続くという見方が一般的である。

一方、2014年秋以降、原油価格の低迷が続いている。図1にみるように、過去の価格上昇局面において、先進国の石油需要は減少しているが、需要が価格に反応するのであれば、原油価格低下の需要への影響を見極めておく必要がある。

また、多くの先行研究において、エネルギー需要の価格に対する反応は、価格上昇時と下降時とで異なり、価格上昇時により大きく反応することが観察されている（Adeyemi [2007]、Dargey [1992]、Gately [1993]）。この背景には、価格上昇時に省エネ技術の開発や技術普及が進みやすく、省エネ規制・制度の導入も促進されるが、これらの効果は価格低下時にも失われない不可逆的な性格を持つことがあげられる（Wirl [1988]、Grubb [1995]）。

本稿では、こうした需要の価格に対する反応も考慮しつつ、長期の需要トレンドからみた先進国の石油需要の将来シナリオについて考えてみたい。

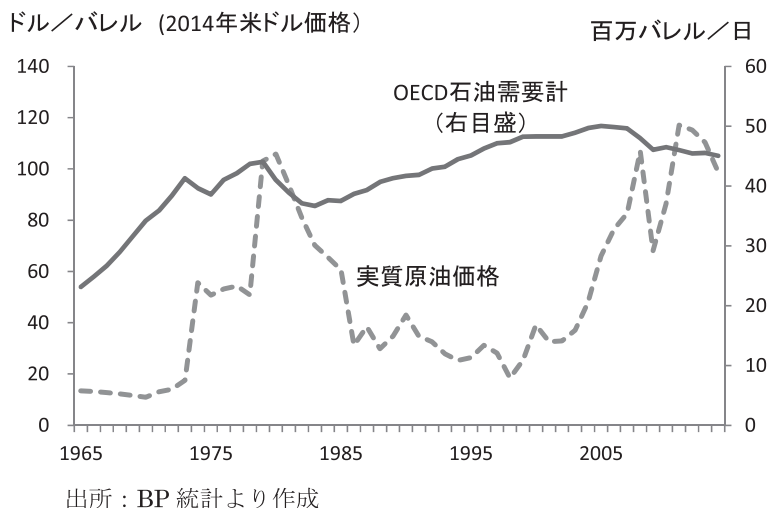


図 1 先進国の石油需要と実質原油価格の推移

2. 分析モデル・データ

星野 [2011] をもとに、先進国（OECD 加盟国合計）の石油需要関数の基本モデルとして、以下の(1)式を導出した。ここで、 E は石油需要、 Q は OECD の実質 GDP、 p は実質原油価格である。

$$\ln E_t = \mu_t + \alpha \ln Q_t + \beta \ln p_t + \lambda \ln E_{t-1} \quad (1)$$

以下の分析では、(1)式をもとに、「価格に対する反応の非対称性」と「需要トレンドの非線形性」を考慮した推定モデルを用いる。需要トレンドについては、Hunt 他 [2003] の定義にない、所得や価格以外の様々な要因の複合からなるトレンドとして捉える。Hunt らはこれを、“Underlying Energy Demand Trend” と呼び、カルマンフィルターを用いた状態空間モデルによって、未知のパラメータとして捉え、推定している。以下では、(1)式に Hunt 他 [2003] のモデルを摘要する。

(1)式を元に、先進国の石油需要関数の誘導型を、(2)式のように状態空間モデルの観測方程式として定式化する。ここで、 ε 、 ξ 、 ρ はそれぞれ正規分布に従う誤差項である。

$$\ln E_t = \mu_t + a \ln Q + \beta \ln p_t + \lambda \ln E_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (2)$$

次の(3)、(4)式は、状態空間モデルの状態方程式に相当する。ここで、上の(2)式の第1項目 μ_t が、(3)式で示す「需要トレンドの水準」に、(3)式の2項目 ϕ_t が、(4)式で示す「需要トレンドの傾き」に相当する。

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

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

次に、「価格に対する反応の非対称性」を考慮するために、(1)式の価格変数 p_t について、Haas 他 [1998]、Gately 他 [2002] を参考に、価格上昇時、価格下降時の2変数とする価格変数を作成する。各変数は以下の(5)式～(7)式のように定義する。ただし、 p^{inc} は、価格上昇時の累積価格、 p^{dec} は価格下降時の累積価格である。

$$p_0^{inc} = p_0^{dec} = (p_0)^{1/2} \quad (5)$$

$$p_t^{inc} = p_{t-1}^{inc} \times \max(1, p_t/p_{t-1}) \quad (6)$$

$$p_t^{dec} = p_{t-1}^{dec} \times \min(1, p_t/p_{t-1}) \quad (7)$$

これらは、以下を満たす。

$$p_t = p_t^{inc} \times p_t^{dec} \quad (8)$$

従って以下のように分割可能である。

$$\ln p_t = \ln p_t^{inc} + \ln p_t^{dec} \quad (9)$$

価格弾力性の非対称性を想定した最終的な観察方程式は、価格上昇時と下降時の2種類の価格を用いる場合、(2)式の価格 p_t を、 $p_t^{inc} \times p_t^{dec}$ で置き換えるので、以下のように書き換えられる。

$$\ln E_t = \mu_t + a \ln Q + \beta_1 \ln p_t^{inc} + \beta_2 \ln p_t^{dec} + \lambda \ln E_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (10)$$

分析に用いるデータは、年次のエネルギー需要、原油価格である。先進国の石油需要データについては、BP の Statistical Review of World Energy から、石油需要合計を用いた。エネルギー価格データは、同じく BP の同統計から実質原油価格の長期時系列を用いた。

3. 先進国の石油需要関数の推定結果

表 1 に(10)式の推定結果を示す。モデル 1 では、価格下降時の累積価格変数（当期）が有意ではなく符号条件も満たさない。モデル 2 では、価格下降時の累積価格変数として前期値を用いしており、パラメータは符号条件を満たし、片側 10% で有意となる。モデル 2 の統計検定量から、誤差項の正規性、分散均一性、系列相関に関する統計的検定は良好な結果を得ていることを確認した。これらから、以下の分析ではモデル 2 の推定結果を参照する。

表 1 先進国の石油需要関数の推定結果

推定期間	モデル 1 1966-2014	モデル 2 1966-2014			
推計パラメータ			注)** 片側 5% で有意、* 片側 10% で有意。		
所得 a	1.004**	1.004**			
価格上昇期 β_1	- 0.058**	- 0.059**			
価格下降期 β_2	0.011				
価格下降期 $\beta_2(-1)$		- 0.025*			
自己回帰項 λ	0.159*	0.193**			
検定統計量				モデル 1	モデル 2
Hyperparameters			Auxiliary residuals		
Irregular $\sigma_\varepsilon^2 \times 10^4$	0.000	0.039	Irregular		
Level $\sigma_N^2 \times 10^4$	0.656	0.535	Normality	1.146	2.167
Slope $\sigma_A^2 \times 10^4$	0.761	0.658	Kurtosis	- 0.715	- 1.017
Equation Residuals			Skewness	- 0.112	- 0.081
Standard Error (%)	1.23%	1.18%	Level		
Normality	0.651	0.811	Normality	0.814	0.997
Kurtosis	- 0.751	- 0.840	Kurtosis	- 0.513	- 0.679
Skewness	0.112	0.003	Skewness	0.190	0.083
H	0.905 H(13)	0.921 H(13)	Slope		
r(1)	0.004	- 0.011	Normality	0.757	1.246
r(7)	- 0.122	- 0.196	Kurtosis	- 0.493	- 0.434
D.W.	1.957	1.977	Skewness	- 0.184	- 0.335
Q	Q(7.5) = 4.59	Q(7.5) = 7.31			
R_s^2	0.899	0.907	AIC	- 8.395	- 8.479

長期の需要トレンドからみた先進国の石油需要

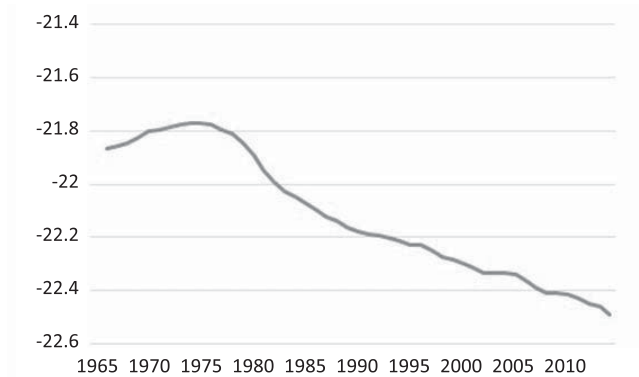


図2 需要トレンドの推定結果

(縦軸：石油需要量対数値)

1966年から2014年間の年次時系列データを用いたモデル2の推定結果によれば、所得に関するパラメータは1.0である。先進国の実質GDPが1%拡大すると石油需要が1%増加することを示している。同じく価格上昇時の累積価格に関するパラメータは -0.059 、価格低下時の累積価格に関するパラメータは -0.025 である。これらは価格上昇時には、1%の累積価格上昇が0.059%の需要減少を招き、価格低下時には、1%の累積価格低下が0.025%の需要増加を招くことを示している。価格低下時よりも価格上昇時のパラメータが大きく推定されており、先行研究の結果とも整合している¹。すなわち、価格上昇時には、価格低下時に比べて、より大きな影響を及ぼすことを意味している。

次に、(10)式の第1項目に相当する、需要トレンド μ_t 推定結果をプロットしたのが図2である。第2次石油危機以降、一貫して減少傾向にあることがわかる。

5. 要因分解

表1の推定結果から、自己回帰項のパラメータを用いることで、所得項のパラメータ α は、 $\alpha / (1 - \lambda)$ 、価格項のパラメータ β_1 、 β_2 は、 $\beta_1 / (1 - \lambda)$ 、 $\beta_2 / (1 - \lambda)$ とすることで、長期弾力性を推定することができる。この長期弾力性を用いて、過去の需要変化を要因分解したのが表2である。所得要因は需要増加に対して最大の寄与をしているのに対し、需要トレンド

1 モデル2の β_1 と β_2 に有意な差があるかについて、帰無仮説： $\beta_1 = \beta_2$ についてウェルチの検定を行ったところ、有意に棄却された。

は、1980年代以降一貫して需要減少に寄与しており、全期間平均では年1.5%の省エネに相当する寄与であることがわかる。特に2010年以降の減少率は年2.0%と大きく拡大している。先進国の石油需要の減少には価格上昇も寄与しており、全期間で見ると需要トレンドの約半分程度の寄与が確認できる。ここでの価格上昇要因は、価格上昇に対する需要の長期的反応度合いの寄与を示したものであり、価格上昇によって費用効果的になる省エネ型設備への更新の影響を含むと考えられる。

表 2 需要変化の要因分解

	需要 トレンド	所得要因	価格下降	価格上昇	その他	需要変化
1970-1974	1.4%	5.0%	0.0%	-1.9%	0.2%	4.7%
1975-1979	1.3%	5.1%	0.1%	-1.1%	-3.2%	2.2%
1980-1984	-5.0%	2.8%	0.2%	0.0%	-1.0%	-3.0%
1985-1989	-2.9%	4.8%	0.5%	-0.4%	-0.1%	1.9%
1990-1994	-1.1%	2.8%	0.2%	-0.3%	-0.1%	1.5%
1995-1999	-1.8%	3.9%	0.3%	-0.6%	-0.1%	1.6%
2000-2004	-1.3%	3.1%	0.1%	-1.0%	-0.3%	0.6%
2005-2009	-1.8%	1.2%	0.0%	-1.0%	0.0%	-1.5%
2010-2014	-2.0%	2.3%	0.2%	-0.6%	-0.3%	-0.4%
全期間	-1.5%	3.5%	0.2%	-0.8%	-0.6%	0.8%

6. まとめ -先進国の石油需要の将来シナリオの幅-

表1の推定パラメータを用いて、2020年までの先進国の石油需要は、どの程度の幅で考えられるのかを示したのが図3である。標準ケースでは、経済成長率は、2000年以降の平均成長率である1.7%を参考に、2015～2020年で1.5%とした。実質原油価格は、2016年以降、2020年まで、バレル40ドルで一定とした。需要トレンドは、2000年以降の平均変化率がそのまま継続すると想定した。これに対して、経済成長率を2.5%とする場合、実質原油価格が2015年以降、毎年5ドル刻みで上昇を続ける場合を代替シナリオとした。その結果、先進国の平均成長率が今後2020年まで年率1.5%程度の緩やかなものにとどまる場合には、原油価格が毎年5ドル刻みで上昇を続ける（2020年時点でバレル65ドル程度の水準まで反転上昇を続ける）シナリオでは、石油需要は、今後も減少を続けることが予想される。一方、経済成長率がより高い場合や、原油価格が（2016年3月現在）現状並みの水準を維持する場合には、先進国においても、石油需要は再び緩やかに増加する可能性がある。

長期の需要トレンドからみた先進国の石油需要

先進国の石油需要が今後も減少を続けるというシナリオは、多くの将来見通しで共通して描かれている。需要トレンドの低下で示される省エネ（省石油）は、石油危機以降、一貫して需要減少に寄与しているものの、他方で所得と需要の間には、依然として堅牢な正の関係があることを確認した。2000年以降の需要減少には同時期の原油価格高騰の影響も少なからず寄与しており、この価格上昇の影響が剥落した場合には、経済成長率の動向によっては、先進国においても再び石油需要が増加に転じる可能性があることを示唆している。

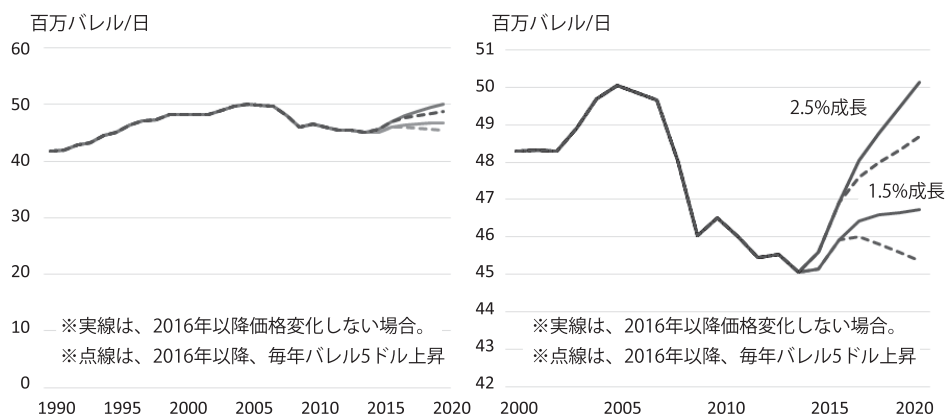


図3 先進国の石油需要の将来シナリオ
(左：1990～2020年，右：2000～2020年を拡大)

参考文献

- 星野優子 [2011]、『日本のエネルギー需要の価格弾力性の推計－非対称性と需要トレンドの影響を考慮して－』、電力中央研究所研究報告 Y10016
- Adeyemi, Olutomi I., Lester C. Hunt [2007], Modeling OECD industrial energy demand: Asymmetric price responses and energy-saving technical change, *Energy Economics*, 29, pp. 693-709
- BP [2015], Statistical Review 2015
- Dargay, J. M [1992], "Are Price and Income Elasticities of Demand Constant?", Oxford Institute for Energy Studies EE16

- Gately, Dermot [1993] , “Oil Demand in the US and Japan: Why the Demand Reductions cause by the price increases of the 1970’ s won’ t be reversed by the price declines of the 1980s” , *Japan and the World Economy*, 5, pp. 295-319
- Gately, Dermot and Hillard G. Huntington [2002] , “The Asymmetric Effects of Changes in Price and Income on Energy and Oil Demand” , *The Energy Journal*, 23, No. 1, pp. 19-55
- Grubb, Michael [1995] , “Asymmetrical Price Elasticities of Energy Demand” , in Barker, T. , Ekins, P. , Johnstone, N. (Eds) , “Global Warming and Energy Demand” , Routledge, London, pp. 305-310
- Haas, Reinhard, Lee Schipper [1998] , “Residential Energy Demand in OECD-countries and the roles of irreversible efficiency improvements” , *Energy Economics*, 20, No. 4, pp. 421-442
- Hunt, Lester C., Guy Judge, Yasushi Ninomiya [2003] , Underlying trends and seasonality in UK energy demand: a sectoral analysis, *Energy Economics* 25 , 93-118
- Wirl, Franz [1988] , The asymmetrical energy demand pattern: some theoretical explanations, *OPEC Review*, Winter, pp. 353-367