

中国、韓国の長期マクロ経済・エネルギー需給モデルによる 計量分析

理事・計量分析部長		伊藤浩吉
湘南エコノメトリクス	代表	室田泰弘
計量分析部	客員研究員	李志東
計量分析部 統計情報グループ	研究員	沈中元
計量分析部 需要予測研究グループ	研究員	高須賀芳樹

各種石油代替エネルギーの効果、影響等を総合的に把握・分析するには、導入量、コスト、経済性等の側面のみならず、石油代替エネルギーの開発、利用に関する諸側面すなわち、技術、経済、政治、社会、環境等、広範囲の要素を広くシステムとして捉えて分析していく必要がある。とりわけ、増大するエネルギー消費によってもたらされる環境問題は、一国内や限られた地域にとどまらず地球的規模にまで影響を及ぼすようになっており、この面においても新エネルギーの開発、導入促進の果たす役割は極めて大きい。このため、石油代替エネルギーの開発、利用に関する諸側面を経済成長、産業構造、ライフスタイル、環境問題、エネルギー安全保障等との関連で総合的にとらえ、石油代替エネルギー導入の効果の把握、評価を行うことが、今後の石油代替エネルギー施策策定を行う際にも重要である。

以上のことをふまえ、本調査は、エネルギー需要の急増するアジア太平洋地域の中で、中国および韓国を対象とし、経済成長、産業構造変化、省エネ技術、新エネルギー技術の進歩等の社会構造変化とエネルギー需給構造との関連を総合的に分析するための計量モデルを構築し、各種シミュレーションを通じて、様々なエネルギー政策・経済政策等がもたらす経済、エネルギー需給への影響を定量的に分析・評価することにより、今後の我が国のエネルギー政策の国際的な展開に資することを目的として実施した。

モデルは、中国と韓国それぞれ独立したモデルとして構築している。中国モデルについては深刻化する環境問題に着目し、CO₂発生量に加えてSO₂発生量も推計できるようにしている。また、韓国モデルにおいては、産業連関表を活用するなど、それぞれの国の状況や収集可能なデータに応じて特徴あるモデルとなっている。

シミュレーションは、近年関心の高まっているCO₂排出量を抑制するために政策的に炭素

税を導入したケースなど、様々なケースを設定し分析している。

また、中国・韓国モデルとは別に、アジア地域の主要国を対象として将来の自動車用エネルギー需要を推計するための計量モデルを構築しシミュレーション分析を行った。

1. マクロ経済・エネルギー需給モデルの構築とシミュレーション分析

[モデルの構成]

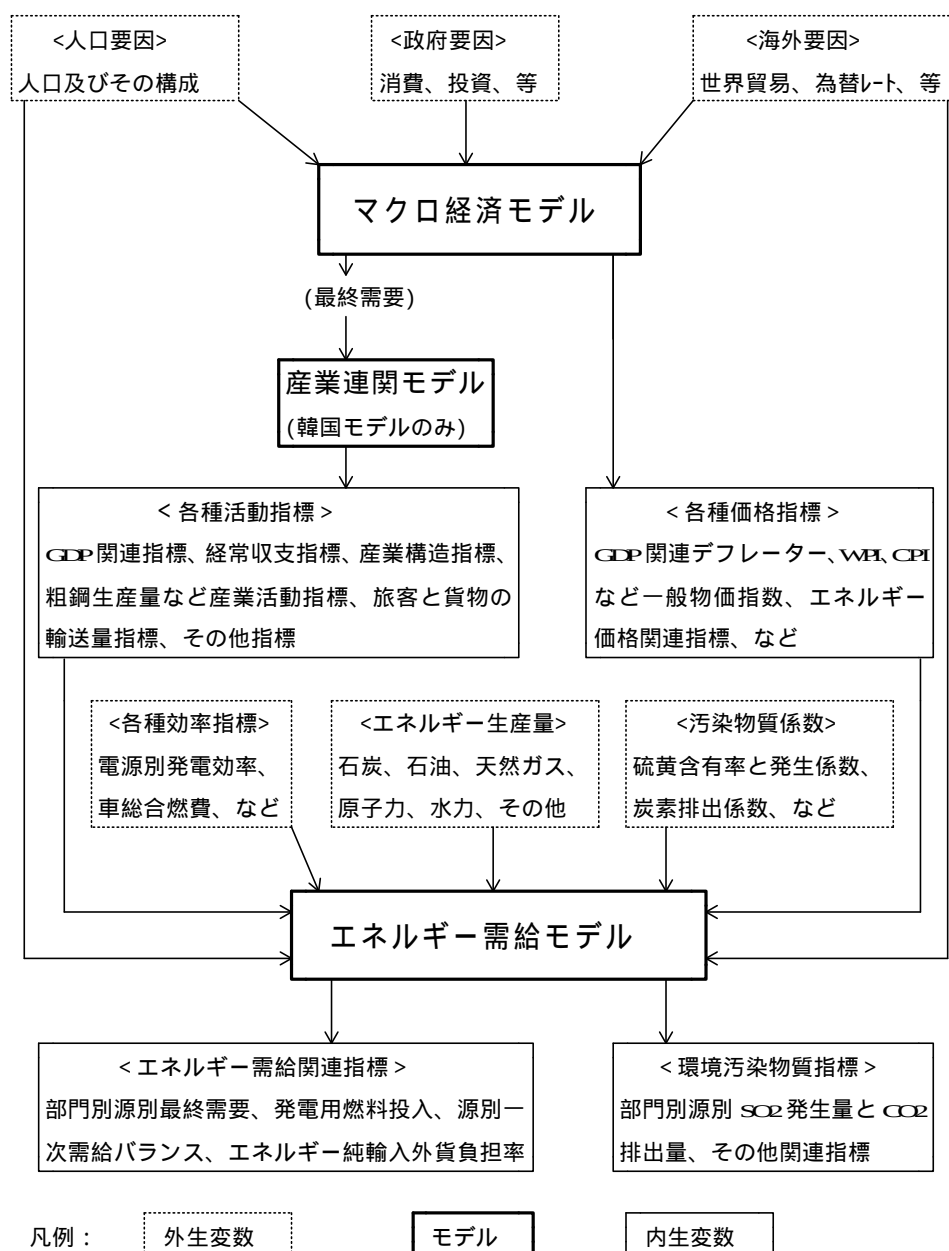


図1 マクロ経済・エネルギー需給モデルの全体構成

本調査では中国と韓国それぞれの国についてモデルを構築し改良を加えた。2つのモデルの構造や特徴は共通する部分が多いため、「マクロ経済・エネルギー需給モデル」の全体構成図をあわせて図1に示した。

中国モデル、韓国モデルともに大別すると「マクロ経済モデル」と「エネルギー需給モデル」という2つのサブモデルによって構成される。韓国モデルについては、もう一つのサブモデルである産業連関モデルがこの2つのサブモデルの間に位置している。なお、図中の指標等個別の項目については両モデルで異なるため、代表的な項目を記している。

次に、フローをサブモデル毎に示す。

(1) マクロ経済モデル(中国・韓国)

まずマクロ経済モデルに対し、

世界貿易、世界工業品輸出物価指数、原油価格、為替レートなどの海外指標

人口、労働力、高齢化率などの人口指標

政府消費、政府投資などの財政指標

などを外生変数すなわち前提条件として与え、その結果として

GDPや粗鋼生産量、旅客と貨物の輸送量などの各種活動指標と産業構造指標

GDPデフレーター、WPI、CPIおよびエネルギー価格などの価格指標

輸出入バランスなどの経常収支指標、などを内生変数として求める。

これらはエネルギー需給モデルの前提条件となる。

従来のエネルギー需給分析では、エネルギー需給の決定要因となるマクロ経済関連指標を外生変数として取り扱っており、エネルギー需給とマクロ経済との整合性が反映されているかどうかは明確でなかった。本モデル(中国・韓国とも)でマクロ経済を内生化しているのは、その従来のアプローチの欠点を克服し長期にわたる経済の推移を総合的かつ定量的にとらえることにより、エネルギー需給見通しに必要な前提条件を整合的に求めるためである。

(2) 産業連関モデル(韓国モデルのみ)

韓国モデルでは、マクロモデルから計算されたGDP支出サイドでの伸びを利用して求めた最終需要を、産業連関モデルに外生的に与えることにより各産業の生産活動(生産量など)、輸出入を求めた。これらもさらに、エネルギー需給モデルの前提条件となる。

(3) エネルギー需給モデル(中国・韓国)

全体のモデルの中核をなす部分である「エネルギー需給モデル」では、外生変数と先に述べたマクロ経済モデル・産業連関モデルから得られる諸指標を前提として、トータルのエネルギー最終需要量が決定される。

エネルギーフローとしては、(各種経済活動→)最終需要→転換部門→一次需要(供給)の形で組まれている。

《エネルギーフローの概念》

最終エネルギー需要 → エネルギー転換 → 一次エネルギー供給

- | | | |
|-------|-------|-------|
| ・産業部門 | ・発電部門 | ・国内生産 |
| ・民生部門 | ・石油精製 | ・輸入等 |
| ・運輸部門 | | ・総供給 |

次に計算されたエネルギー源別需要量のうち、二次エネルギーについては、その量を賄うためのエネルギー源別投入量が求められる。すなわち発電部門での燃料選択、石油精製での必要原油投入量が決定される。

そして、最終需要部門及び転換部門で投入されるエネルギー量に基づいて、一次エネルギー供給が求められる。このようにエネルギー需給モデルは、最終エネルギー需要から一次エネルギー供給に至るまでのエネルギーフローをモデル化している。

最後に、ここで決定された一次エネルギー消費に起因するSO₂発生量(中国モデルのみ)やCO₂排出量(中国・韓国共通)等国内環境と地球環境に関連する汚染物質排出指標も推計している。

[中国モデルの前提条件とシミュレーション結果]

(1)ケース設定と主な前提条件

中国モデルにおけるシミュレーションのケースは、表1に示す基準ケースをベースとして、その他に5ケース、合計6ケースを設定した。基準ケースにおいては、人口は2030年まで伸び率は低いものの、増加を続ける。原油価格は、3%台で上昇する。為替レートは固定している。また、GDPの構成要素である政府消費・政府投資は、伸び率は低下するものの堅調に増加するものと想定した。

表1 基準ケースの前提条件

	(年)					年平均伸び率			
						2000	2010	2020	2030
	1998	2000	2010	2020	2030	/1998	/2000	/2010	/2020
人 口 (百万人)	1,248	1,272	1,370	1,458	1,502	1.0%	0.7%	0.6%	0.3%
原油輸入価格 (ドル/バレル)	12.8	24.7	34.5	49.2	68.7	38.9%	3.4%	3.6%	3.4%
為替レート (元/ドル)	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
政府最終消費 (億元, 95年価格)	8,921	9,835	17,613	28,690	42,469	5.0%	6.0%	5.0%	4.0%
政府投資 (億元, 95年価格)	15,157	18,007	32,248	52,528	77,754	9.0%	6.0%	5.0%	4.0%

これに対して表2に示すようなケースを設定し、その影響を見ることとした。

表2 中国モデルのケース設定と特徴

ケース名	主要前提条件
基準	従来傾向がそのまま続く
省エネ	火力発電効率、自動車燃費が向上
非化石エネルギー促進	発電における水力、風力、原子力が促進される
省エネ・非化石エネ促進	と が同時に実施されたケース
炭素税	2011年から政策的に炭素税を導入したケース
省エネ・非化石促進・炭素税	と と が同時に実施されたケース

(2) シミュレーションの結果

中国モデルでのシミュレーション結果を、以下、基準ケースについて分析した後、各ケース間の比較を行う。

a. 一次エネルギー供給(基準ケース)

図2でみると、中国国内での一次エネルギー供給量は、1997年の891MTOEから、2000年以降3%を越える比較的高い伸び率で推移し、2030年には1997年実績の約3.3倍の2,935MTOEへと増加する。その規模は1997年現在のアメリカ(21.6億TOE)、カナダ(2.4億TOE)と日本(5.2億TOE)の3カ国合計(29.2億TOE)に相当する。

エネルギー源別に見ると石炭の比率が非常に高いことが現在の中国の特徴として挙げられるが、長期的に見ると、環境問題もあって脱石炭化の方向へ変化する。図2で見ると石炭のシェアは、1997年の74%から2030年には54%へ低下するが依然として高いシェアを占める結果となった。

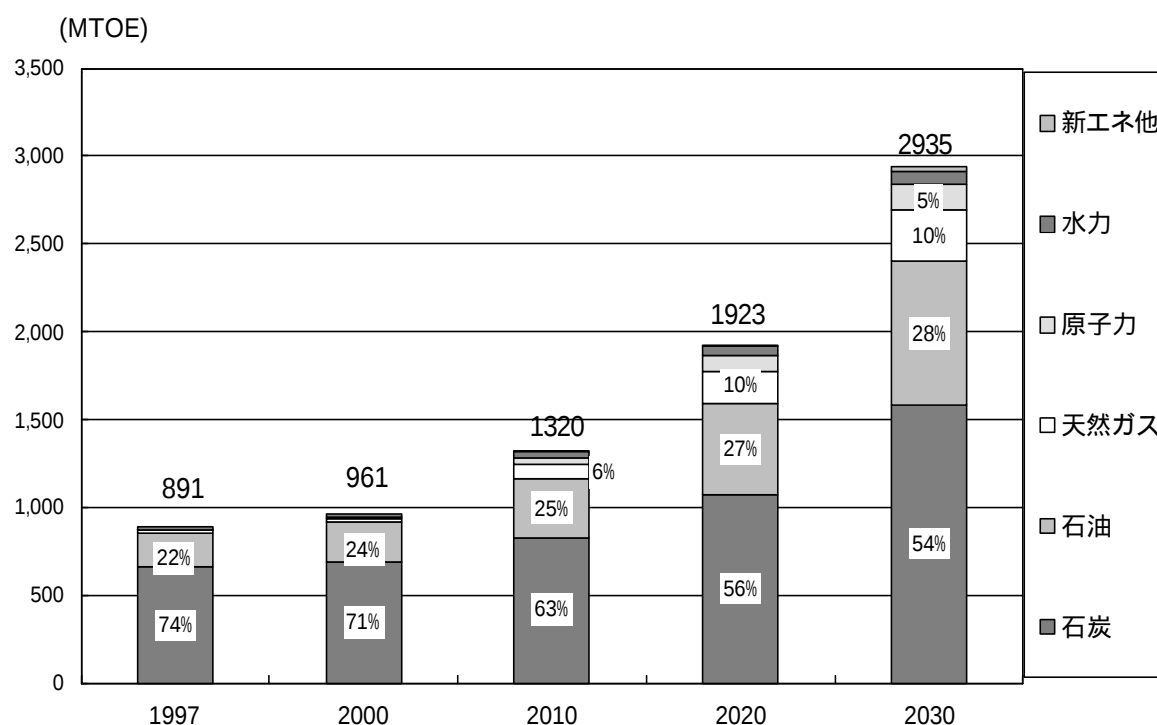


図2 中国のエネルギー源別一次供給(基準ケース)

表3 一次エネルギー供給と弾性値(基準ケース)

	1997/1980	2000/1997	2010/2000	2020/2010	2030/2020
実質GDP成長率(%)	10.1	7.5	7.1	6.1	5.1
一次エネルギー供給伸率(%)	4.6	2.6	3.2	3.8	4.3
弾 性 値	0.46	0.35	0.45	0.62	0.84

この間の一次エネルギー供給のGDPに対する弾性値は(表3)、1980年から1997年までは0.46、1997年から2000年までは0.35と低下するものの、その後上昇し2030年には0.84となる。弾性値が上昇することに関しては、後発者の利益や市場経済への構造転換といった省エネルギーの潜在力を2010年までに使い果たすと考えれば、やむを得ないことと思われる。また、弾性値の水準については、1965年から1995年の日本の弾性値0.82と比較して、中国の2030年の値 0.84が不自然に高い訳ではない。

b. 最終エネルギー需要

最終エネルギー需要全体は、2030年まで2%台後半から4%の伸び率で推移し、2030年には1,811 MTOEで1997年の3.0倍の水準となる(図3)。部門別のシェアで見ると、産業部門で低下し、農業・民生部門と運輸部門で上昇する。特に運輸部門では、自動車の普及による道路

輸送の伸びが高いことからシェアを伸ばす。

OECD諸国の部門別構成(1996年)は、産業・民生・運輸がそれぞれ34%、32%、34%であり、1997年の中国はそれより産業部門が高く、交通部門が低い。OECD諸国の消費構造が近代化された構造と言えるなら、2030年の中国は消費構造の面で近代化が進むことになる。

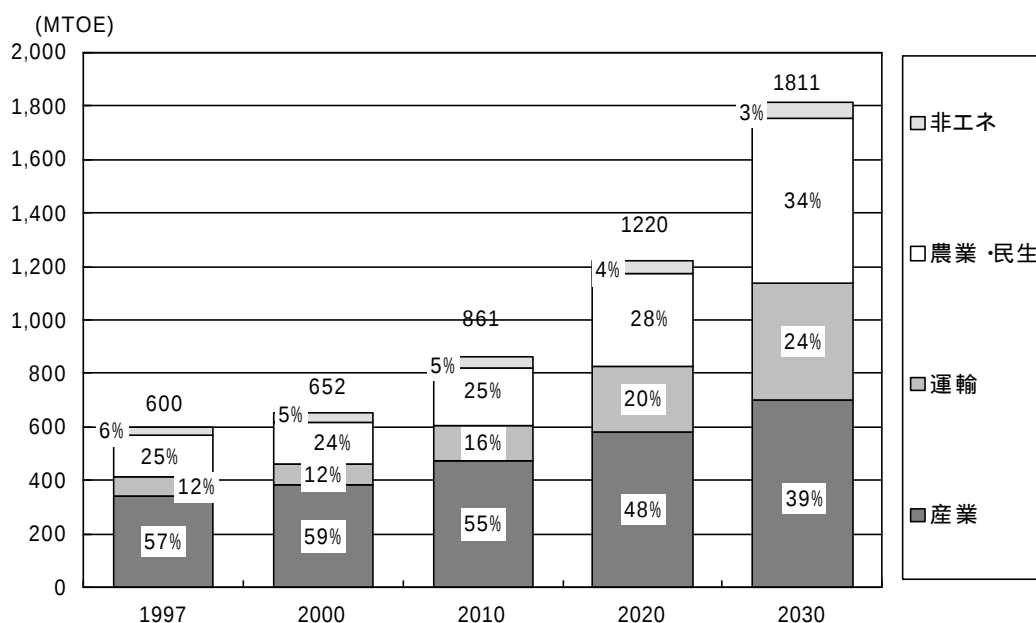


図3 中国の最終エネルギー需要(基準ケース)

c. ケース間比較

先に述べた、前提条件を変えた各ケース間の結果を比較すると次のようになる。

表4 ケース間比較

	1997年 実績	2030年の結果					
		1 基準	2 省エネ	3 非化石	4 2+3	5 炭素税	6 2+3+5
一次エネルギー需要 (億TOE)	8.9	29.4	27.8	29.0	27.6	27.1	25.4
石炭 (構成比%)	73.9	54.0	55.2	47.2	48.2	51.1	44.6
石油	21.8	27.8	25.5	27.4	25.0	29.3	26.4
天然ガス	2.1	10.2	10.7	10.3	10.8	10.9	11.6
原子力	0.4	4.9	5.1	9.9	10.4	5.3	11.3
水力	1.9	2.5	2.6	3.0	3.2	2.7	3.5
新エネ	0.0	0.8	0.8	2.3	2.4	0.9	2.6
SO2発生量 (百万ト)	25.9	72.4	68.5	64.1	60.5	64.6	53.0
CO2発生量 (億T-C)	8.7	25.3	23.9	22.8	21.5	23.0	19.3

(注) 各ケースの特徴については表2を参照

基準ケースでの一次エネルギー需要は2030年に1997年の3.3倍に増大し、その結果としてCO₂発生量は同2.9倍、SO₂発生量は同2.8倍となる。このケースではエネルギー問題、環境問題ともに深刻な状況となる可能性がある。

これに対し、表4のように、省エネルギーの促進や炭素税導入といったその他のケースでは、効果の程度は様々であるがいずれも基準ケースに比べ一次エネルギー需要が減少し、CO₂、SO₂排出量を削減する効果を見ることができ。エネルギーの安定供給を確保し環境悪化を抑制するためには、上のケースに見るような総合エネルギー対策が必要となる。

[韓国モデルの前提条件とシミュレーション結果]

(1)ケース設定と主な前提条件

表5 主な前提条件

ケース							年平均伸び率(%)			
		1997	2000	2010	2020	2030	2000 /1997	2010 /2000	2020 /2010	2030 /2020
基準	原油価格 (ドル/バレル)	19	25	35	49	69	9.6	3.4	3.6	3.4
CO ₂ 税	原油価格 (ドル/バレル)	19	25	35	53	72	9.6	3.4	4.4	3.2
共通	為替レート (ウォン/ドル)	1,415	1,150	989	808	660	-6.7	-1.5	-2.0	-2.0
	世界貿易(実質) (10億ドル 80年)	4,648	5,078	6,694	8,652	10,968	3.0	2.8	2.6	2.4
	政府最終消費 (10億ウォン90年)	25,026	26,558	37,463	50,347	64,448	2.0	3.5	3.0	2.5

(注1) 100ウォン = 約10円 (2000年3月)

(注2) CO₂税 = 炭素税導入ケース

韓国モデルにおけるシミュレーションのケースは、基準ケースと、2020年以降炭素税を導入する炭素税導入ケースの2ケースとした。

主な前提条件は、表5のとおり。

原油価格は、基準ケースで緩やかに上昇するが、炭素税導入ケースでは2020年以降炭素税として1バレルあたり約3.7ドルを賦課した。原油価格以外の外生値は両ケースで共通の値を用いている。為替レートは2030年に1997年の2倍以上のウォン高と想定しており一見ウォン高が急激に進むように見えるが、経済危機前の1996年に844ウォンであったことを考えると比較的穏当な想定であるといえる。世界貿易、政府消費については堅調な伸びを見込んだ。

なお原油以外に炭素税の影響が及ぶエネルギー価格については、内生化されモデルの中で計算されるようになっている。

(2)シミュレーションの結果

a.一次エネルギー供給

韓国国内での一次エネルギー供給量は、1985年の53 MTOE(石油換算百万トン)から、1997年には176MTOEへ年率10.5%の高い伸び率で増加した。基準ケースでは、今後2030年

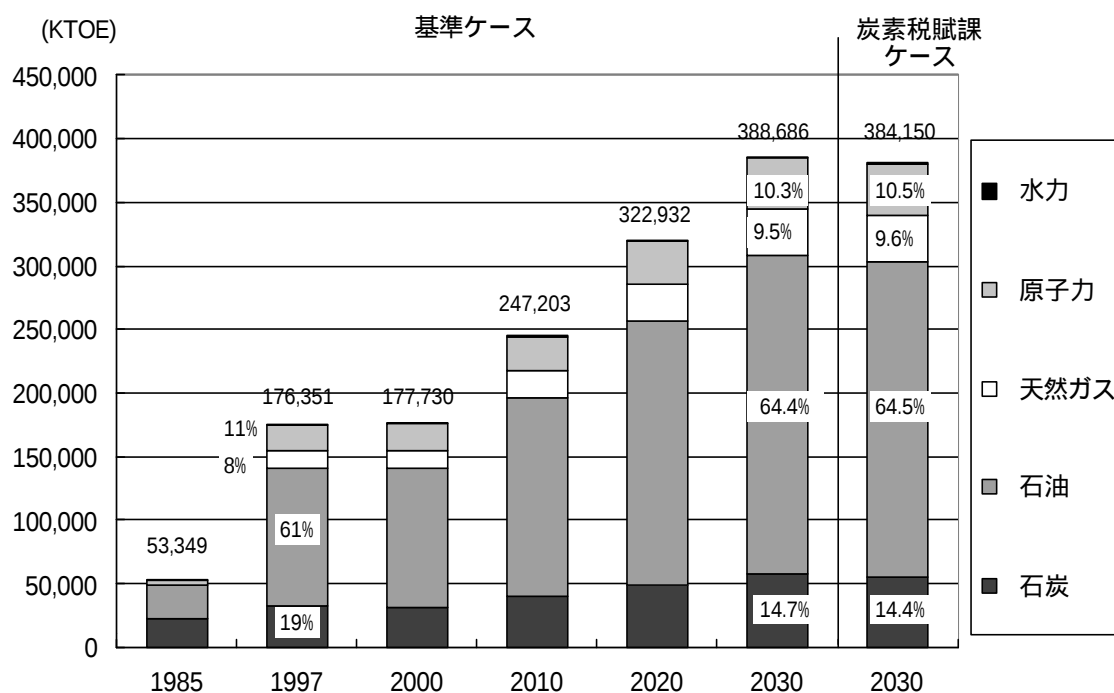


図4 韓国のエネルギー源別一次供給

には389MTOEとなり、1997年実績の約2.2倍の水準に達する。エネルギー源別に見ると、石炭のシェアが低下し、代わって石油・天然ガスのシェアが増加する。

表6 一次エネルギー供給のケース間比較 (2030年)

	基準ケース	炭素税賦課ケース	炭素税/基準
一次供給計(KTOE)	388,686	384,150	-1.2 %
石炭	57,233	55,328	-3.3 %
石油	250,341	247,825	-1.0 %
天然ガス	36,865	36,713	-0.4 %
原子力	40,178	40,258	0.2 %
水力	465	465	0.0 %
実質GDP(10億ウソ)	877,943	877,161	-0.1 %

炭素税導入ケースでは、2030年時点で基準ケースと比較して実質GDPでは0.1%の減少となる。一次エネルギー供給では5MTOEの減少となるが、比率では1.2%の減少で、大きな影響は見られない。エネルギー源別に見ると、基準ケース比で石炭が3.3%減少と最も影響が大きく、石油が1.0%減少、天然ガスが0.4%減少、一方で炭素税の直接的な影響がない原子力は0.2%の増加となる。

この間の一次エネルギー供給のGDPに対する弾性値は(表7)、1985年から1997年までは1を超えるものの、2000年以降は、2010年まで0.79、2020年まで0.75、2030年まで0.68と低下する。日本の1965年から1995年の実績では0.82と比較すると、それよりも低めである。

表7 一次エネルギー供給と弾性値(基準ケース)

	1997/85	2010/2000	2020/2010	2030/2020
実質GDP成長率(%)	8.3	4.3	3.6	2.8
一次エネルギー供給伸率(%)	10.5	3.4	2.7	1.9
弾 性 値	1.23	0.79	0.75	0.68

b.最終エネルギー需要

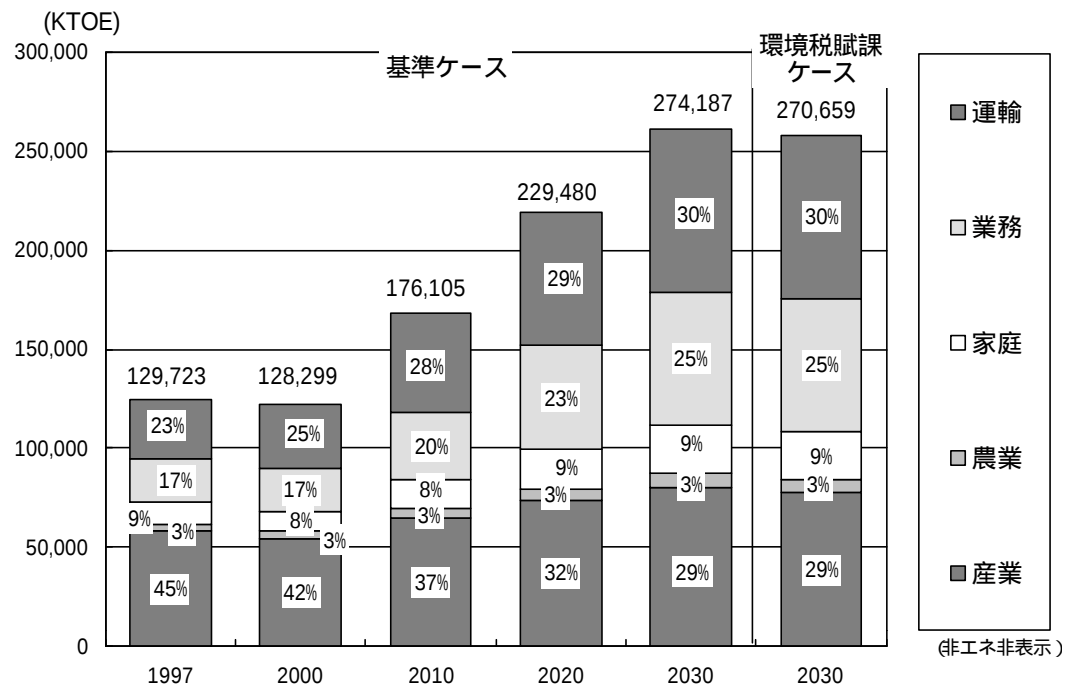


図5 韓国の最終エネルギー需要

最終エネルギー需要量は、基準ケースで1997年の130MTOEから、2030年には274MTOEと、1997年の約2.1倍となる。最終需要の年平均伸び率は、1997年から2000年まで年平均-0.4%、

2010年まで3.2%、2020年まで2.7%、2030年まで1.8%と一次エネルギー供給とほぼ伸び率で推移する。部門別に見ると、シェアは産業部門で低下する一方、運輸部門と業務部門が上昇する傾向が見られる。

c. CO2排出量

基準ケースでのCO2排出量は1997年の127百万TCE(炭素換算トン)から2030年には279百万TCEへ2.2倍に増加する。この間の伸び率はCO2排出量2.4%、実質GDP3.4%、一次エネルギー供給2.4%である。炭素税賦課ケースでは2030年で275百万TCEとなり基準ケース比-1.4%となる。

表8 CO2排出量他のケース間比較 (2030年)

	単位	1997年	2030年		
			基準ケース	炭素税賦課ケース	炭素税/基準
CO2排出量	(10 ⁶ TCE)	127	279	275	-1.4%
GDP実質	(10億ウォン90年)	289,672	877,943	877,161	-0.1%
一次供給	(10 ³ TOE)	176,351	388,686	384,150	-1.2%
エネ原単位	(対GDP)	0.608	0.443	0.438	-1.1%
CO2原単位	(TCE/TOE)	0.720	0.718	0.717	-0.1%

2. 自動車用エネルギー消費に関する分析

自動車用エネルギーに関する計量分析として、中国モデル・韓国モデルの構築とは別に、アジア地域の主要国を対象にデータの整備を行うとともに、GDPと自動車普及率の相関等を利用し、将来の自動車用エネルギー需要を推計するための計量モデルを構築しシミュレーション分析を行った。

(1) 自動車エネルギー需要モデルの構造

自動車用エネルギー需要モデルの対象国は、中国、韓国、日本、インド、インドネシア、マレーシア、フィリピンの計7カ国、シミュレーション期間は2010年までとした。

推計の手順は次による

まず自動車用エネルギー需要に関しては次の式が成り立つ。

$$\text{自動車用エネルギー需要} = \text{車保有台数} \times \text{車走行距離} \times \text{車燃費}$$

また、この式の右辺はそれぞれ次の要因の関数として考えられる。

$$\text{車保有台数} = \text{車普及率} \times \text{人口}$$

さらに、車普及率 $= f(\text{一人あたり所得、...})$

車走行距離 $= f(\text{エネルギー価格、道路の整備率、GDP、...})$

車燃費 $= f(\text{エネルギー価格、技術進歩、バストラック比率、...})$

ここで車走行距離や車燃費についてはデータが整備されていない国も多いため、走行距離と車燃費の代理変数として次のように一台当たりエネルギー消費量を用いた。

車走行距離 $\times$ 車燃費

$=$ 一台当たりエネルギー消費量

$= f(\text{エネルギー価格、技術進歩、バストラック比率、GDP、...})$

したがって、モデルの構築は次の式に沿って行った。

自動車用エネルギー需要 $=$ 人口 $\times$ 車普及率 $\times$ 一台当たりエネルギー消費量

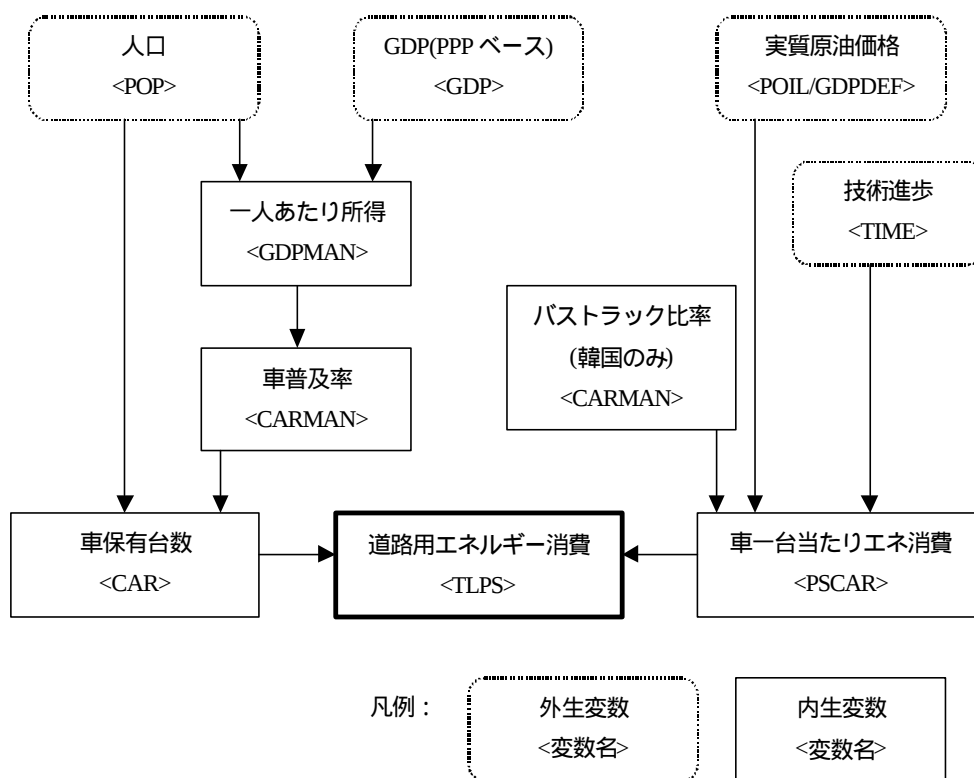


図6 自動車用エネルギーモデルの構造

モデルの構造図(図6)から見てわかるように、モデルは大きく2つに分けることができる。すなわち、自動車普及率の予測と 車一台あたりエネルギー消費の予測の2つである。

(2) 自動車普及率の推定

ここでは自動車普及率を、一人あたりの所得を説明変数として表すことを試みた。モデルは中国、韓国、日本と3カ国のデータをプーリングして自動車普及率を定量化した。推計により、自動車普及率は次のロジスティック曲線で表すことができた。

$$carman = \frac{1}{1 + e^{6.222639 - 0.000334 \times gdpman}}$$

ただし、*carman*は一人あたり車保有台数、すなわち自動車普及率(台/人)

*gdpman*は一人あたりGDP(PPPベース、1995年価格)

(3) 車一台当たりエネルギー消費

車一台当たりエネルギー消費は11各国・地域を対象に分析を行った。シミュレーション対象国の内、代表的な国の推定結果を表9に示す。

原油価格の変動は一台あたりエネルギー消費に比較的大きな影響を及ぼす。また、車一台当たりエネルギー消費は車の普及率と負の相関、バストラック比率とは正の相関が見られる。

表9 車一台当たりエネルギー消費推計結果

国名 (推定期間)	定数項	1期前 ラグ項	原油 価格	バストラック 比率	車 普及率	決定 係数	ダービン ワトソン
中国 (86-97)	-2.4924 (-2.62)		-0.2255 (-1.94)		-0.7393 (-4.61)	0.8810	2.1680
韓国 (87)	1.9947 (16.61)	0.1304 (2.32)		1.0285 (15.27)		0.9730	1.7390
日本 (72-97)	0.0017 (0.23)	0.8643 (16.96)	-0.0074 (-1.44)			0.9250	1.9232
インド (79-97)	0.3976 (3.15)				-0.2388 (-10.50)	0.8590	1.1721
インドネシア (71-97)	-0.4306 (-3.60)		-0.0503 (-2.99)		-0.3995 (-16.01)	0.9190	0.5934
マレーシア (71-97)	-0.1714 (-2.54)		-0.0749 (-5.11)		-0.4186 (-16.74)	0.9250	1.3128
フィリピン (72-97)	-0.9034 (-2.32)	0.8239 (14.36)	-0.0475 (-2.28)		-0.2374 (-2.37)	0.9370	2.0829

(4) シミュレーションの結果

人口、GDP成長率を外生値としてあたえた結果は次のとおり。

a. 自動車普及率

1人あたり所得と自動車普及率について、1997年から2010年までの変化を図7に示す。

この図から、経済の発展(1人あたり所得の増加)に伴い、自動車普及率が高まる関係が、ロジスティック曲線としてとらえることができる。

インド、中国といった発展初期の段階では所得の増加とともに緩やかに普及率は上昇。その後、発展段階で、マレーシアや韓国のように急速に普及が進む段階を経て、日本のような成熟した社会において普及率の上昇が再び緩やかになると考えられる。

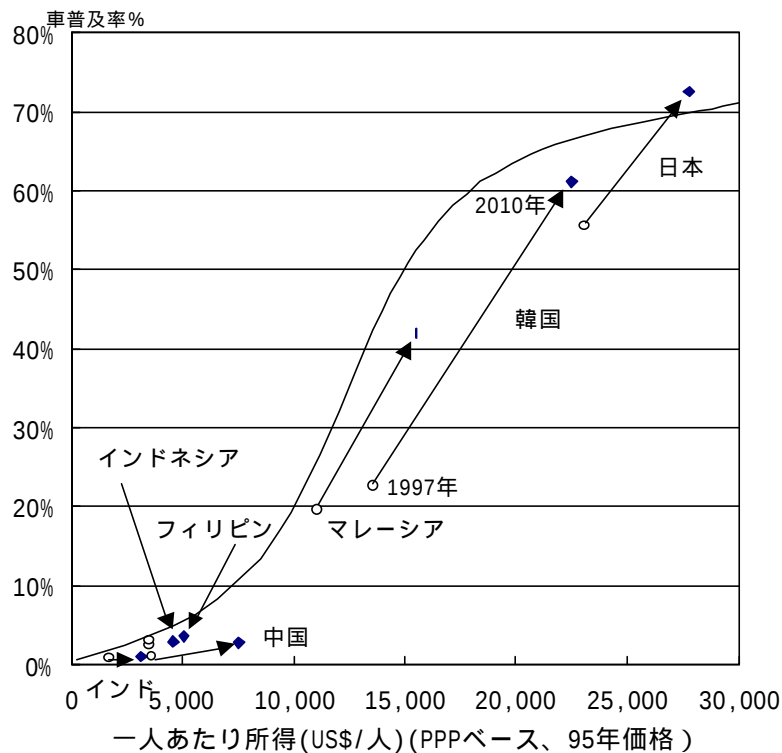


図7 自動車普及率の推移

b. 自動車エネルギー消費量の推移

自動車の普及に伴い、1台あたりの走行距離は減少すると考えられ、1台あたりのエネルギー消費はいずれの国でも若干減少するが、自動車エネルギー消費は2010年まで堅調に増加する。中でも中国は高い伸び率で推移し、1997年には日本の6割強の消費量であったものが、2010年には日本の9割程度にまで増加すると予測される。2010年以降もアジア地域、特に中国ではさらに消費量が増大すると考えられ、その意味でもさらに研究を続けることが

必要であると考えられる。

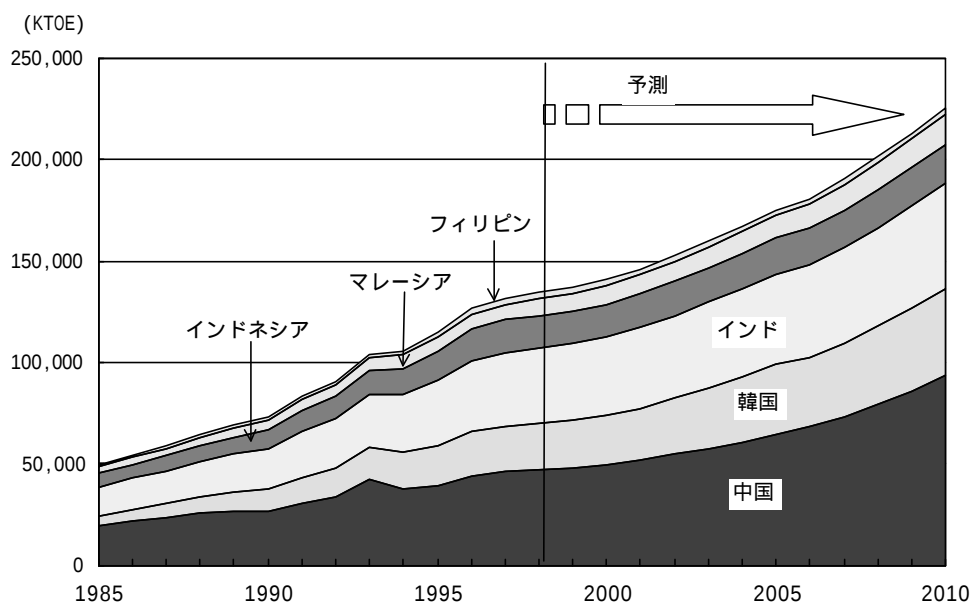


図8 自動車エネルギー消費の推移

本調査は、「石油代替エネルギー計量分析調査」として新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託により実施したものである。また本調査を遂行するにあたっては「石油代替エネルギー計量分析モデル研究委員会」を設置して専門的知識を仰ぐとともに、作業にもご協力いただいた。記して感謝の意を表する。

お問い合わせ info@tky.ieej.or.jp