Original Paper

Accuracy of the Procedure to Forecast World Energy Demand
derived from Long-range Prospect of World Population

Kenji MORI

(Received August 15, 2002)

人口長期予測から見た世界エネルギー需要予測手法の精度
森 憲二

The author has developed the procedure to forecast world energy demand for about 100 years^{6) 7) 8)}. The procedure depended on long-range prospect of world population such as published by World Bank¹⁰⁾ and personal energy consumption published by United Nations⁹⁾.

One of the weak point of this procedure is that the accuracy of this procedure has not been certified yet, because there is no comparable such long-range prospect of world energy demand.

Recently long-range prospects of world energy demand till 2000 have been published by WEC and Institute of Energy and Economics Japan. At this time these prospects are compared and it is found that there is no significant discrepancy among these three prospects.

And also the accuracy of this forecasting procedure is examined by comparison with actual energy consumptions from 1970 till 1997 and the prospect derived from this procedure. And it is found that actual consumptions have followed close after data of the prospect.

Moreover it is found the discrepancy between data of prospect and actual consumption has appeared by the price change of crude oil.

Example of applications of this forecasting procedure on present economic situation of Japan and on Kyoto protocol for environment protection are described.

Key Words

Procedure to forecast world energy demand, Accuracy of procedure, Energy consumption and price of crude oil, WEC and IEEJ prospects, Economic situation of Japan, Kyoto protocol for environment protection

1. はじめに

エネルギーは人類の経済的生活にとってなくてはならないものである。したがってその需要予測は人類の経済的生活の将来を示唆するものであろう。エネルギーの需要予測はその需給に多大の関心が寄せられた時期には、主として国際的なかつ公的機関によって検討された。その代表的なものは1979年に発表された世界エネルギー会議(WEC)のコンサベーション委員会によるもので¹⁾、最近では地球環境を保全する必要に迫られて1998年にはOECD/IEAから2020年までの²⁾、同年WEC(World Energy Council)から³⁾また2000年には日本エネルギー経済研究所から⁴⁾、相次いで21世紀末までの世界

のエネルギー需要の予測が公表された。しかし公表されたエネルギーの需要予測は、コンサベーション委員会の報告のようにその予測過程が数式で示されるのはきわめて稀で、多くの場合には中央値をはさんで2, 3のシナリオが示されるのみであり、その値の適否については読者が検討するのは難しい。したがって読者は公表した機関を信用し、その値の得られた根拠についての検討は諦めざるをえない。定性的なエネルギー需要予測の典型的な例であるローマクラブの予測を引き継いだWorld3モデル⁵⁾でもわかるように、エネルギーの需要を構成している要素の数は莫大であり、しかもそれぞれが相互に関係を保ちつつ変化していくので、たとえプログラムを見

Formerly, Kobe Steel, Ltd

Present address: 4-3-15-616, Takaodôri, Nada-ku, Kobe-shi, Hyogo 657-0813, Japan

元(株)神戸製鋼所

(現在の連絡先) 〒657-0813 兵庫県神戸市灘区高尾通4丁目3-15-616

でもその要素の一つ一つを検討し、定量的な考察を加えることは個人的には困難である。このような世界モデルはいずれ定量的な結果が得られるようになるとは考えられるが、今までは定性的であるに止まっている。また従来公表されてきたエネルギーの需要予測では予測精度についての考察は加えられていない。この点でも物足りなさを感じざるをえなかった。もし予測手法が精度の上で信頼できるものであるとすれば、その予測値から例えば石炭などの固体化石エネルギー資源を流体化しなければならない時期とその必要量や、再生可能エネルギー資源の必要となる時期とその必要量を明確にすることができるので、技術開発計画はより確実なものとなりその実現への資金投入効果を増すことができるようになるであろう。

著者は1994年以来このようなエネルギー需要予測のあり方に対して、予測を必要とする研究者あるいは行政担当者などが予測値について考察し、計画立案などにより有効に活用できる余地のある需要予測手法の開発に努めてきた^{6) 7) 8)}。しかし需要予測というデジタルな数値を求めるにあたって、いまままで開発してきた予測手法の基礎が、一人当たりのエネルギー消費量と人口の増加率との関係図というアナログ的な見方に立っており、それが需要予測という目的に適合しうるかという疑問は残されている。このような予測手法が有効に活用されるようになるためには、その疑問を解く必要があろう。そのためには、その予測精度を明らかにしその信頼性を明確にしておかねばならない。しかし対比すべき21世紀末までの長期の公的予測を見出すことができなかったために、その予測精度を客観的に評価することもできなかった。

冒頭で述べたように、最近になって地球の環境保全の目的からも、一世紀にもおよぶ長期でかつ信頼できるエネルギー消費の動向を知る要望に迫られて、世界のエネルギー需要の超長期予測が公表されるようになった。ここではじめて1994年以来提示し続けてきた予測手法の精度を、他の機関の異なった手法で予測された値と対比して検討できることになった。しかし、他の機関の予測値との対比では相対的であるに過ぎない。そこで著者は対比すべき長期予測が公表されたのを機会に、WECおよび日本エネルギー経済研究所の予測と対比して予測値の客観性を確かめるとともに、1970年から1997年という短期間ではあるが、国際連合で公表されているエネルギーの実消費量⁹⁾と1970年を起点とする予測値を対比することによって、絶対的な予測精度を確認することにした。

2. エネルギー需要予測の手法⁹⁾

後述する予測精度の検討に対する理解を助けるために予測手法を述べておきたい。手法は前報⁹⁾で述べた通り次の楕円曲線の計算式にしたがう。

式は消費量を決定するのに必要な一人当たりのエネルギー消費量と、それに対応する年度の人口増加率からなっている。その年の一人当たりのエネルギー消費量とその年度の人口の積が、求める年度のエネルギー消費量すなわちその年度のエネルギー需要である。

$$(a-x)^2/(a-A)^2 = 1 - (B-y)^2/(B-b)^2 \quad (1)$$

Aは予測起点年度の一人当たりの年間エネルギー消費量、aは予測終点年度において予想される一人当たりのエネルギー消費量、Bは起点の人口増加率、bは人口増加率がほぼ0.1%以下になる終点となるべき年度の人口増加率である。終点は人口の増加がほぼ停止すると予想される年度で世界銀行等の人口予測¹⁰⁾から得ることができる。しかもこの時点においては、一人当たりのエネルギー消費量の増加が停滞し、ほぼ飽和に達すると考えられる。

起点における一人当たりのエネルギー消費量は国際連合の統計⁹⁾から得ることができる。またこの終点における一人当たりのエネルギー消費量はほぼ4TCE～5TCE（石炭換算値）と考えられる。yは求める年度の人口増加率で、これもたとえば世界銀行などの人口予測から求められる。xは求める年度の一人当たりのエネルギー消費量である。

この楕円式は人口増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係図⁹⁾において、予測の対象となる地域が、経験上経済の発展につれて経由するルートを示している。楕円曲線が適応しうる範囲は、経済の発展途上域に相当し、人口増加率が2.4%から0.1%程度までと考えられる。このように定められたエネルギー需要予測式の起点は統計で示された現実の値であり、予測式を決定する他の一点すなわち終点の値のみが、予測しようとする人の個性あるいは予測の目的によって左右されることになる。終点を人口増加率が0.1%の時点としてもその時点における一人当たりのエネルギー消費量は4TCE～5TCEの幅で選択することが許される。予測の目的たとえば環境の保全をはかるなどの目的のためには、それを目的とした社会構造の変化に応じて、計算の上ではさらに低い消費量を設定することも許される。

3. 相対的予測精度

世界エネルギー会議のコンサベーション委員会の報告¹¹⁾には、予測の起点におけるエネルギー消費量増加の趨勢を外挿することを基準とし、経済成長とそのエネルギー弾性値、エネルギー価格とその弾性値等の経済的指標によって補正するという計算式が提示されている。通常予測では計算プログラムは提示されていないが、おそらくは多くの場合コンサベーション委員会の報告に類似した外挿法の変形が用いられていたと想像される。

外挿法を基準とした予測では、起点におけるエネルギー消費量増加の趨勢の影響が大きく、起点を変えれば予測値は大幅に変わるといふ欠点があると言われている。一方人口の増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係から導き出された手法はその欠点は僅少である。また外挿法を基準とした予測手法は、エネルギー消費量の起点における増加の趨勢がどの程度の期間保たれるかを予測することや、例えば化石エネルギー資源が枯渇するにしたがってエネルギー価格が高騰してゆく時期を予測するなどの困難さがあるために、その予測は比較的短期間にならざるを得ない。

比較の対象としては1998年に公表されたWECの予測⁹⁾と

2001年に発表された日本エネルギー経済研究所の予測⁴⁾を選んだ。

1998年に提示されたWECの予測³⁾は主として人口、経済成長および技術の進歩に着目して算出されたというが、同じ年に公表されたOECD/IEAの予測²⁾の2020年までという短期の予測に対して2100年までの長期の予測が行われているのが特徴である。WEC (World Energy Council) の報告書³⁾は1993年からIIASA (The International Institute for Applied Systemes Analysis) と共同で検討を開始し、1998年にCambridge University Pressから刊行されたものである。

日本エネルギー経済研究所の予測⁴⁾は、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託によって作成された。特徴は人口およびその成長率、GDPおよびその成長率をリンクして経済発展を一人当たりの所得で表現し、それとエネルギー弾性値からエネルギー需要が導き出されている。その予測手法は、再生可能エネルギーの供給可能性とコスト、在来型・非在来型化石燃料の資源量等の条件に基づき、2100年に到る長期の経済、人口、エネルギー需給から作成した「超長期世界エネルギー需給モデル」から定量的に算出された。予測は世界を12地域に分割して行い、OECD/IEAの予測でも用いられたBAU (Business As Usual, 自然体) 予測を中心に、4ケースのシナリオに従って考察している。

Table 1に人口の増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係から導き出された手法によって得られた予測値と、WECの予測値および日本エネルギー経済研究所のBAUケースの予測値を比較した。WEC、日本エネルギー経済研究所の予測は

いずれもエネルギーの単位として石油換算値が用いられている。国際連合の統計¹⁰⁾によれば1990年のエネルギー消費量は10.285GTCEであるがWECの場合は1990年における消費量は9GTOE (石油換算値) となっている。一方日本エネルギー経済研究所の場合は1990年の消費量が83億TOEとなっている。そこでいずれの場合も1990年をベースにしてその換算比率によって石炭換算値に転換した。

WECの報告には高成長のA、中位のBおよび環境への影響を考慮したCの3ケースが示されている。そのうちのケースAは人口の増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係から導き出された手法による予測値とは良い一致を示した。

人口増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係から導き出された手法による予測はBAU予測に相当しており、この予測とケースAが一致したということは、ケースAはWECのBAU予測であり、現在の経済成長はやがて減速されて中位のケースBの状態に落ち付くと考えているように思われる。また環境への影響を考慮すれば、ケースAは許容しうる上限と考えているように思われる。

Table 1に示したように、WECの予測の中でケースCの2050年の一人当たりのエネルギー消費量は1990年の値よりも少なくなっている。これは1990年の二酸化炭素排出量を基準として設定された京都議定書の目標を達成することを念頭において予測されたものと考えられる。しかし現在の経済社会で、一人当たりのエネルギー消費量が50年前のそれを下回るということは、地球規模の大災害を仮定し世界規模での経済の後退があったことを想定しないかぎりあり得ることではな

Table 1 Comparison among three prospects on world energy demand till 2100

		K. Mori ⁸⁾		World Energy Council ³⁾			IEEJ ⁴⁾
		A	B	A	B	C	
				High growth	Middle course	Ecologically driven	BAU
Population, billion							
1990		5.27	5.27	5.3	5.3	5.3	5.1
2050		9.58	9.58	10.1	10.1	10.1	10.4
2100		10.96	10.96	11.7	11.7	11.7	11.7
Primary energy demand							
1990	GTCE	10.285	10.285	(10.285)	(10.285)	(10.285)	(10.285)
	GTOE	(—)	(—)	9	9	9	8.3
2050	GTCE	28.391	26.961	(28.569)	(22.856)	(15.999)	(25.155)
	GTOE	(—)	(—)	25	20	14	20.3
2100	GTCE	49.867	44.967	(51.425)	(39.997)	(23.998)	(33.829)
	GTOE	(—)	(—)	45	35	21	27.3
Personal energy consumption							
1990	TCE	1.953	1.953	(1.941)	(1.941)	(1.941)	(2.017)
	TOE	(—)	(—)	1.698	1.698	1.698	1.627
2050	TCE	2.964	2.964	(2.829)	(2.263)	(1.584)	(2.419)
	TOE	(—)	(—)	2.475	1.980	1.386	1.952
2100	TCE	4.551	4.104	(4.395)	(3.419)	(2.051)	(2.891)
	TOE	(—)	(—)	3.846	2.991	1.795	2.333

() Conversion

い。このことから考えても京都議定書の目標そのものがかなり野心的なものであり、その目的を達成することがいかに困難であるかを容易に想像することができる。

OECD/IEA の予測²⁾ は Table 2 に示したように 2020 年までの短期予測であるが、その値は Fig. 1 に示したように WEC の予測のケース A に対応している。

Fig. 1 Comparison between world actual energy consumption and several prospects

Table 2 Comparison among actual world energy consumption and prospects (10^8 TCE)

Year	Actual consumption	WEC (1979)	OECD/IEA (1998)	WEC&IISA (1998)				IEEJ (2000)	JJIE(K.Mori) (1995)	JJIE(K.Mori) (2001)	Present Paper
				A	B	C	BAU			Case 1	Case 2
1970	68.43										68.61
1972	74.10	74.09									
1975	80.02										75.08
1980	85.48	94.52									85.23
1985	91.30										93.00
1990	102.85	127.45		102.85	102.85	102.85	102.85	105.92			103.32
1995	117.20		117.20							117.20	117.20
2000		171.05							126.26	123.99	123.82
2010		228.06	160.24						156.28	139.92	138.99
2020		304.90	191.38						179.50	160.57	157.85
2030									215.52	190.59	185.61
2050				285.69	228.56	159.99	251.55	284.33	283.91	269.61	283.91
2075									388.09	363.00	388.09
2100				514.25	399.97	239.98	338.29		498.67	449.67	498.67

(出典) WEC (1979): World Energy Conference, Conservation Committee, OECD/IEA (1998): International Energy Agency, "World Energy Outlook 1998", WEC & IISA (1998): World Energy Council, "Global Energy Perspective 1998", IEEJ (2001): K. Ito et al., Energy Economics, 27 (2), 66 (2001), JJIE (K. Mori) (1995): Journal of the Japan Institute of Energy, 74, 791 (1995), (2001): Journal of the Japan Institute of Energy, 80, 1042 (2001)

日本エネルギー経済研究所 (IEEJ) の予測はその中心である BAU 予測のみを比較の対象とした。他の予測と比べれば日本エネルギー経済研究所の予測の特徴は、2050 年までの予測値が大差ないにもかかわらず、それ以降の需要の伸びが急速に衰えていることであろう。他の予測と比べて人口の予測値が大差ないにもかかわらずこの差の現れる原因は他に求めなければならない。日本エネルギー経済研究所の BAU ケースの予測結果を見れば 2030 年から 2050 年までの間に、一次エネルギー資源としての在来型の化石エネルギー資源である石油および天然ガスの供給量の激減が予想されている。このことは当然エネルギー価格の高騰を意味しており、その影響が必要に反映したと考えることができる。

日本エネルギー経済研究所の予測値のうち 2100 年の一人当たりのエネルギー消費量は 3TCE 以下に止まっている。この報告では途上国の経済発展を加速化することが、地球温暖化問題の長期的解決に繋がり得ると述べられているにもかかわらずこのように低い値としたが、これはアメリカ・カナダなど多量にエネルギーを消費している国々の省エネルギーが進み現在の消費レベル以下となり、さらに開発途上国の経済成長が停滞し、しかも人口の増加も鈍化するという人口の増加率と一人当たりのエネルギー消費量の関係が破れるという現象が起こらないかぎり、達成できないであろう。

三者の予測を比較すれば Fig. 1 に見られるように 2050 年まではその差がほとんどなく、それ以降は在来型の化石エネルギー資源から非在来型化石エネルギー資源および再生可能エネルギー資源への転換と、そのエネルギー価格への影響の見方によって差が現れたと考えられる。

また公表されている予測を比較した結果、一人当たりのエネルギー消費量と人口増加率の関係図というアナログ思考から導かれた予測値が、一般のデジタル的に求められた予測値とほぼ同様の値を示すことも明らかになった。

4. 予測精度の絶対的評価

前項では予測結果を相互に比較し、予測値を客観的に検討した。しかしこの方法では公表されている予測値の中での比較はできても、それが実際の需要とどのような関係にあるかを知ることはできない。実消費量からの乖離度を計ることは定量的予測には欠くことができない。その乖離度をかりに絶対的精度と称する。すなわちその絶対的精度とは、この予測式のみを用いて検討することによって得られるものとする。

予測精度の検討は、1970 年の統計値のみを用い同年を起点として 2100 年までを予測し、その間公表されている 1970 年から 1997 年までの実消費量と予測値を比較することによって求めた。

前報⁹⁾では 1995 年を起点として予測を実施した。それは六大大陸のエネルギー消費量を個別に予測し、将来における先進地域と開発途上地域のエネルギー消費の変動を知ることを目的の一つにしたことによる。それ以前の統計では旧ソ連邦の解体により統計上での地域区分の変動があったので、2100 年までの予測の一貫性が保たれないからである。しかし今回は

対象地域を全世界のみとすることにより 1970 年に遡って予測することが可能になった。今回 1970 年を予測の起点にした理由の一つは 1970 年代には石油危機が到来したことによる。当時は国際的にその対策が講じられ、また 1979 年には WEC のコンサベーション委員会から 2020 年までの世界エネルギー需要の代替シナリオが公表された¹⁾。この時期には実消費量の予測値からの乖離が相当にあり、予測手法の精度の検討には適していると考えられたためである。1970 年を予測の起点にすればおよそ 30 年間の値を比較することができる。さらに以前に遡り検討することは国連の統計ですら連続性に欠ける疑いもあるのでこれを避けた。

1970 年の世界の一人当たりのエネルギー消費量は 1.889TCE であり、世界の人口は 36.32 億でその人口増加率は 2.0 % であった。世界銀行の予測¹⁰⁾に従えば 2100 年には人口の増加率は 0.11 % まで低下する。この時点ではアフリカ大陸を除いて、一人当たりのエネルギー消費量の増加はほぼ限界に達すると考えられる⁹⁾。2100 年における一人当たりのエネルギー消費量は前報⁹⁾にならって 4.55TCE と置いた。

Fig. 2 (a)には 1970 年を起点とした予測値と、1970 年から 1997 年までの実消費量を示した。両者は同じ傾向で増加しているが、実消費量はその年の経済情勢を反映して予測値から若干外れている。

1980 年代の外れは原油価格の高騰によると考え、アラビヤン・ライトの価格 (CIF 価格) の変動¹¹⁾を Fig. 2 (b)に示した。

(b) Change of crude oil price (CIF)

(a) Comparison between world actual energy consumption and prospected demand from 1970

Fig. 2

Fig. 3 Comparison between actual energy consumption and prospects of Japan

実消費量の前測値からの外れは原油価格の変動を捕らえている。前測値はおよそバレル 20 ドルの原油価格に対応しているようである。また以上明らかにしたように、この前測手法の感度は原油価格にして 10 ドル以下の変動が認知できる程度のものであることがわかった。

さらにエネルギー需要前測の手法としては前測開始時点から少なくとも 30 年は信頼するに足ることもわかった。

5. 世界のエネルギー需要前測手法の応用

エネルギー需要前測の精度が確認されることによってその応用範囲が広まるであろうことを示唆したが、その一例とし

て世界の場合と同様の手法により日本のエネルギー需要前測を行い、そこから日本の経済の実態と将来を考察した。また世界の環境の変化によぼすエネルギーの消費については重大な関心が払われるようになったが、COP3 における京都議定書で定められた日本の二酸化炭素の削減目標についても考察を加えた。

5.1 日本経済の現状

世界銀行の前測では 2010 年の日本の人口は 1.279 億で 2015 年には 1.273 億に減少するとされている。すなわち日本の人口増加は 2010 年には限界に達すると想定されている。2010 年の

人口増加率は0.03%となり、予測手法のルールである予測の終点の0.1%を下回る。予測手法のルールによれば、その時点における一人当たりのエネルギー消費量は4TCEから5TCEになるとしている。日本の一人当たりのエネルギー消費量は1989年にはすでに4TCEを越えているので、2010年の一人当たりのエネルギー消費量を5TCEと置き予測した。ちなみに1970年の日本の人口増加率は1.1%、一人当たりのエネルギー消費量は3.319TCEであった。

Fig. 3に示したように1995年の実消費量は一人当たり5.105TCEであったのに対して予測値は3.87TCEとなった。その理由は1970年から1995年の間にバブルといわれるほど激しい経済の過成長があったためと考えられる。

この期間の経済成長の激しさを見るために、1970年を起点として1995年を経由する放物線を描き、2010年の日本の一人当たりのエネルギー消費量を推定しあわせてFig. 3に示した。その結果2010年の日本の一人当たりのエネルギー消費量は12.43TCEに達することになる。この値は現在世界で最高のしかも異常といってもよい多量のエネルギー消費を続けているアメリカ合衆国のそれさえも超える値となっている。日本の経済が欧州型ではなくアメリカ型を追随していることを示すものと考えられる。

その後の日本経済は停滞を続けているので、2010年のエネルギー消費量は12.43TCEを下回るであろうが5TCEをかなり超えた値になるであろう。大局的に考えれば現在の経済の停滞は、バブル期の過成長を調整するものであり、アダム・スミス流に言えば「見えざる手」の働きとも考えられる。したがって日本の経済の停滞は今しばらくは継続する可能性がある。予測値と実消費量の対応によって過成長の歪みの算出も可能であろう。その値を知ることは今後の経済の停滞を計る上で興味が深い。

5.2 COP3における京都議定書への日本の対応

1997年COP3において先進国の二酸化炭素発生量の削減についての京都議定書が制定された。またそれは日本政府によって批准され公式に日本のエネルギー消費削減の目標になっている。ここにエネルギー消費削減と書いた理由は、目標達成期限の2008年から2012年の間までには日本の一次エネルギー資源の消費構造はそれほど変わらないと考えたためである。日本の目標は1990年度の二酸化炭素排出量を6%削減することとされている。1990年度の日本のエネルギーの実消費量は5.1211億TCEであるから、2008年から2012年までの間のエネルギー消費は年間およそ4.8億TCE以下でなければならない。1970年と1995年の2点で定めた放物線による予測によれば、1990年には削減目標値をすでに超えて5.9億TCEに達することになる。2010年の消費量はおよそ16億TCEになるのでそれに対する削減量は70%となり、目標の達成が不可能であることは明らかである。1970年から1995年までの経済成長の過熱がなかったとしても、2010年における消費量は6.4億TCEと推定されるので、この場合でも25%の削減が必要とされる。この目的の達成さえはなはだ困難と言わざるを得ない。

このように検討を加えて行けば、京都議定書の決定にはかなり無理があったと思われる。おそらくは1992年の地球温暖化監視レポート¹²⁾において示されている温室効果ガス排出シナリオによって定められたものであろうが、予測精度の明らかな世界のエネルギー需要予測に基づいて定められるべきであったのは言うまでもない。

以上のようにエネルギーの需要予測手法は、それが信頼のおけるものであり、また容易に利用できるものであれば、政策の立案にも有効に利用でき、またその政策の確実性も高められるであろう。

6. 考 察

もともと世界のエネルギー需要予測の手法を開発しようとした目的は、やがては枯渇してゆくであろう化石エネルギー資源の将来を憂慮し、エネルギー技術開発の政策立案に対する明確な根拠を得たいと考えたことによる。目的から考えれば日本エネルギー経済研究所の予測⁴⁾も同様ということができよう。

人口増加率と一人当たりのエネルギー消費量との関係から導き出された予測手法それ自体の予測精度は、実消費量と予測値との対比によって確かめられるが、このようにして求められた予測の精度は予測起点である1970年から少なくとも30年はかなり良好で、原油価格の変動が予測値から実消費量を乖離させる原因であることも明らかになった。

また最近公表された主として人口、経済成長および技術の進歩に着目して予測されたというWECの予測や、経済成長を一人当たりの所得でとらえ、「超長期世界エネルギー需給モデル」によって分析した日本エネルギー経済研究所の予測とはいずれも2050年まではよく一致している。2050年以降では日本エネルギー経済研究所の予測ではかなり顕著な需要の伸びの停滞が認められるが、これは2030年以降に予想される在来型化石エネルギー資源の供給量の変化を考慮したものであることが推定できる。

以上のようにここで提案しているアナログ思考から出発した予測手法の精度は、客観的にも満足できる上に他の予測結果とも整合し、その差についても考察することができることがわかった。

最近まではこのような100年にも及ぶ超長期のエネルギー需要予測は行われたことがなく、30年程度の短期とも言える予測についても不確実で、しかもその予測精度が示されたことがなかった。したがってその信頼性の欠如から技術開発を含めたエネルギー関連の政策は、かならずしも万全となし得なかったように考えられる。現在ここに提案している予測手法にしてもWEC³⁾や日本エネルギー経済研究所の予測⁴⁾にしても、予測の手法の相違こそあれそれぞれの予測精度はかなり向上した結果、長期でかつ信頼性における予測が可能になったと考えられる。

またエネルギー需給の量の変化のみならずエネルギー資源の構造変化を示唆することによって、必要欠くべからざるものと考えられる再生可能エネルギー資源の開発や、そのイン

フラ整備に要する期間とスケールを明確にし、それに必要な資源投入の有効な計画立案が促進されることになる。

ここに提案している予測手法は予測する人の意思をある程度取り入れることのできる柔軟性をそなえている。したがって予測値を一義的なものとして嚥下するのではなく、それぞれの目的にしたがい予測の前提条件を変えることによって、その予測結果から社会の変動を予測し、将来の問題に対応する多面的な計画の立案に利用できると考えている。

また原油価格がバレル 30 ドルに近くなり、または超えた場合には世界的にエネルギーの消費量が低下することが認められたが、OPEC の増産の判断を下す基準の石油価格がバレル 28 ドルと伝えられているのも良い符合と言うことができるかもしれない。

エネルギーの需要予測値は数字単独でかつ信頼度が低い場合にはあまり大きい意義を持たせることはできないかも知れない。しかしその数字が信頼できるものであり、またその数字の生まれてきた所以を知ることができればその利用価値は当然高まるものと考えられる。

最後に予測精度がかなり高いとしてもこの予測手法を構成する幾つかの仮定が論理的に証明されていないのは一つの欠点かも知れない。このことはこの予測手法の活用には抵抗感を与えるとも考えられる。

もともとこの予測手法は統計から導き出されたもので、その基本的な性格は経験則に基づいている。したがってすべてを論理によって証明することは不可能であるにしても、予測手法の背景について若干の説明を加えておく必要はあろう。

まず経済成長につれて一人当たりのエネルギー消費量は増加するが、十分に成長を遂げた国すなわち先進国においてはやがて消費量の増加は停滞し、若干の例外を除いて 6TCE 以下通常は 4TCE から 5TCE の範囲に止まるという仮説である。この現象は長期間統計を追跡することによって知ることができる。欧州の先進国ではほとんどの国が 5TCE 程度の消費限界を保っている。しかしたとえばアメリカ合衆国やカナダのように少数の例外ではあるが 11TCE 程度消費している国もある。したがって WEC の予測の中で環境への影響を考慮したケース C では 2100 年における一人当たりのエネルギー消費量はおよそ 1.8TCE、日本エネルギー経済研究所の予測のそれは 2.3TCE という低い値になっているが、このような値を達成するためには先進諸国は勿論、これから成長しようとする開発途上国においても過酷ともいえるエネルギーの節減を強いられるであろう。またそれによって開発途上国の経済成長もかなり阻害されることになる。このことは開発途上国に今後要望される人口増加の抑制を遅らせることにもなりかねない。このような不都合を逃れようとすれば実現可能な目標となるべき 2100 年の一人当たりのエネルギー消費量は 4TCE から 5TCE というきわめて狭い範囲とならざるを得ない。

個人の欲望には限りがなく、また人間個人の豊かさの限界を明らかにする試みは無意味ではあるが、一人当たりのエネルギー消費量の限界は人間の食物の摂取量に限界があるように、生理学的限界があるのかも知れない。ただしこの値は世

界経済の変動によっても動く値でもあろう。しかしその値が大きく多消費へと動くことは環境破壊を加速して人類を破滅に導く可能性があると考えられる。

つぎに経済が成長するとともに、すなわち一人あたりのエネルギー消費量が増加するとともに人口の増加率が低下するという仮説である。

最近わが国の一人の女性が生涯にもうける子供の数を示す合計特殊出生率が 1.5 を下回り¹⁰⁾、そのために起こるいわゆる少子化は社会問題化しつつある。しかし先進地域である欧州では、1990 年代にはほとんどの国において 2 より低い合計特殊出生率を経験しているところから、日本に特有の現象ではない。人口論の嚆矢といわれるマルサスはその農本主義から、限定された地域の人口増加は幾何級数的であるのに対してその人口を養う食糧は算術級数的にしか増加しない。したがって食糧不足のためにやがて人口の増加は停止すると予言した。現在では経済のグローバル化によって地域は世界全体を含むようになり、工業の発展によって人を養う物も農産物のみならず工業製品から商業製品まで拡大されるに到った。それにもかかわらず豊かである先進地域の人口の増加は停滞し、21 世紀以降でもこの地域の人口はようやく平衡を保つ程度と推定されている。このような先進国における人口の停滞は教育の普及によって 1) 女性が社会に進出しそれに伴って婚期が高齢化するため、出産の機会が減少すると同時に育児時間が制約される。また 2) 生活費が高くなるにつれ、それを補うために女性の社会進出が加速されるなどいくつかの原因が唱えられており、それぞれに頷けるところはあが定説にはなっていない。

つぎにこの手法による予測値は、原油価格およそバレル 20 ドルのレベルにおける値に相当すると考察したが、化石エネルギー資源の枯渇にもなってエネルギー価格は相当に高騰するであろう。エネルギー価格の高騰は日本エネルギー経済研究所の予測にもある通り消費量の予測値を引き下げるものではあるが、いずれこの予測手法のルールの修正は必要となるであろう。

以上予測精度の検討によって予測手法はかなり信頼に足るものであることが明らかになった。さらにその予測値の信頼性をベースとして予測手法の利用を拡大するとともに、予測手法を構成する要因の論理的背景とその動向、エネルギー価格の予測値への影響等について考察を加えてゆくべきであろう。

最後にこの報告に関連した世界のエネルギー需要の予測値を実消費量とあわせて Table 2 に示した。

7. おわりに

予測値の信頼性を検討する目的で、人口の増加率と一人当たりのエネルギーの消費量の関係から導き出された世界のエネルギー需要予測手法⁹⁾の予測精度を示した。この種の予測の信頼性は従来それほど高いものではなく、単にエネルギー需要のトレンドを示す程度に理解されていたように考えられる。このたび人口の増加率と一人当たりのエネルギー消費量

の関係から導き出された手法による予測値は、少なくとも 30 年先の予測に耐えるものであり、また最近公表された日本エネルギー経済研究所の予測⁴⁾とは 2050 年まで、WEC の予測³⁾とは 2100 年まで一致が認められた。このことは世界的にエネルギーの需要予測技術の進歩があり、それによって得られた予測値は十分活用しに耐える予測精度が得られるようになったことを表しているように考えられる。このような予測精度が得られた現在、この予測手法が大いに活用されて世界の政治・経済政策の策定あるいは技術開発計画の策定の指標として活用されることを期待している。また今後も国際的なあるいは国内のシンクタンクにおいては引き続きエネルギーの需要予測は行われるであろう。この予測手法はその予測精度が確かめられ、また個人が容易に利用できることから、それらの予測の検討に用いられることも期待される。

文 献：References

- 1) 世界エネルギー会議, コンサベーション委員会, 世界エネルギー—2020 年を展望して (日本動力協会) (1979)
- 2) OECD/IEA, 2020 年世界のエネルギー展望 (通商産業調査会) (1998)
- 3) WEC, “Global Energy Perspective” (Cambridge University Press) (1998)
- 4) 伊藤浩吉ほか, エネルギー経済, 27 (2), 64 (2001)
- 5) D. H. Meadows et al., “Beyond the Limit” (Chelsea Green Publishing Co.) (1992)
- 6) 森 憲二, 日エネ誌, 73, 318 (1994)
- 7) 森 憲二, 日エネ誌, 74, 791 (1995)
- 8) 森 憲二, 日エネ誌, 80, 1042 (2001)
- 9) 国際連合, 世界統計年鑑 (原書房) (— 1998)
- 10) 世界銀行編, 世界人口長期推計 94/95<1990-2150> (東洋書林) (1996)
- 11) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編, 総合エネルギー統計 昭和 56 年度版, P. 286 (通商産業研究社) 総務省統計局監修 統計でみる日本 2002 P. 217 (日本統計協会) (平成 13 年)
- 12) 気象庁編, 地球温暖化監視レポート 1992, P. 192 (大蔵省印刷局)