

特集

エネルギー価格の動向とその影響

# 原子力開発と化石燃料価格

## Nuclear Power Development and Fossil Fuel Prices

熊倉 修\*

Osamu Kumakura

### 1. はじめに

第一次石油危機以後の十数年間、化石燃料とくに石油の価格は大きな変動を経験してきた。1970年代から80年代前半まで続いたエネルギーの高価格は、次第にエネルギー需要抑制と供給促進の効果を現し、1980年代前半には世界のエネルギー需給は一転して軟調となった。石油価格は1986年には10ドルを下まわる水準まで急落し、最近までこうした軟調な市場が続いた。こうした状況を反映して、石油の低価格は今後長期的に続くという見解も一部には見られるようになった。しかし、現在ではエネルギー需要が急増に転じ、ふたたびエネルギー需給は逼迫化に向い、価格が急騰する可能性も現れてきた。

石油価格のこうした変動は今後も続くのか、また長期的には石油価格はどのような趨勢をもっているのか。本稿では、こうした問題をおもにエネルギーの供給側から、とくに原子力発電と化石燃料価格との関係に重点をおいて見ていく。

まずはじめに、第一次、第二次石油危機後のエネルギー需給と価格の動きと、今後の見通しを概観しよう。

表1は、第一次石油危機が起こった1973年から1985年までの世界の一次エネルギー需要の構造変化を示したものである。1980年代に入って、エネルギー需給が急速に緩和した最大の要因は、エネルギー高価格によって需要が抑制されたことである。世界の総エネルギー需要量は、第一次石油危機の発生した1973年から1985年の期間において、それ以前を大きく下まわって年率2.5%の低い伸び率を示し、とくに先進国のエネルギー需要はほぼ横ばいに推移した。一方供給側においては、石油価格の急騰は石炭、天然ガスなどの非石

油化石燃料供給を増加させ、さらに非OPECの石油供給を増加させることになった。また原子力発電は1970年代にはいって急速に増加し、1985年には世界の一次エネルギー需要量の5%をまかなうに至った。エネルギー需給におけるこれらの構造変化によって、石油需要（とくに非OPEC石油需要）は大幅に抑制されることになった。この期間の世界の石油需要増加率は、一次エネルギー需要の需要増加率2.5%を下まわる年率1.6%にとどまった。また、対OPEC石油需要は3000万バレル/日をこえる水準から、1980年代半ばには1500万バレル/日前後に減少した。

こうした、エネルギー需給の構造変化は先進国においてとくに顕著であった。先進国では、この期間に、原子力発電は石油換算2.4億トン増加し、石炭は1.6億

表1 地域別エネルギー種類別消費量

	一次エネルギー換算 (百万toe)					
	1973	1985	2005	1973~1985 年増 加率	1985~2005 増減	年増 加率
先進国				%	%	
石炭	703	863	1164	1.7	160	1.5
石油	1655	1600	1958	-0.3	-55	1.0
天然ガス	742	751	1054	0.1	9	1.7
原子力	44	280	558	16.6	236	3.5
水力	224	226	306	0.1	2	1.5
一次エネルギー計	3369	3720	5041	0.8	351	1.5
発展途上国						
石炭	70	235	400	10.6	165	2.7
石油	305	569	792	5.3	264	1.7
天然ガス	63	140	216	6.9	77	2.2
原子力	1	20	82	31.7	19	7.3
水力	47	119	187	8.0	72	2.3
一次エネルギー計	486	1083	1677	6.9	597	2.2
社会主義諸国						
石炭	820	1044	1460	2.0	224	1.7
石油	385	658	888	4.6	273	1.5
天然ガス	244	566	840	7.3	322	2.0
原子力	4	54	182	25.1	50	6.3
水力	45	100	172	6.8	55	2.7
一次エネルギー計	1498	2422	3541	4.1	924	1.9
世界計						
石炭	1593	2142	3024	2.5	549	1.7
石油	2344	2827	3638	1.6	483	1.3
天然ガス	1050	1457	2110	2.8	407	1.9
原子力	49	354	822	18.0	305	4.3
水力	317	445	664	2.9	128	2.0
一次エネルギー計	5352	7225	10336	2.5	1873	1.8

\* 電力中央研究所経済研究所

経済部エネルギー研究室主任研究員

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

United Nations, World Energy Statistics

トン増加した。これによって、一次エネルギー総消費量は3.6億トン増加したが、石油消費量は0.6億トン減少させることが可能となった。

表2は、データの得られる先進国（IEA諸国）について、電源別発電量を示したものである。この期間に石炭火力と原子力発電が急増（それぞれ石油換算2億トンの増加）し、これにともなって石油が1億トン減少している。とくに原子力発電は、1973年には総発電量の4%であったものが、1986年には18%にまで増加している。

表2 IEA諸国電源別発電量  
(一次エネルギー換算百万toe)

	1973	1986	差
石炭	363	565	202
石油	223	113	-110
天然ガス	115	118	3
原子力	39	232	193
水力等	186	237	51
計	926	1265	339

資料、IEA, Energy Policies and Programmes of IEA Countries, 1988 Review

しかしこうしたエネルギー需給緩和基調にはここ2、3年で変化が現れてきた。安定的なエネルギー価格が続いたことによって、エネルギー需要の伸び率は高まり、一方、供給側にも、非OPEC石油供給の停滞など、需給を逼迫化させる要因が現われてきた。表1には、世界エネルギーモデル<sup>1)</sup>をもちいて予測した、2005年の世界のエネルギー需給量が示されている。これによると、世界の一次エネルギー需要量は、1985年～2005年に、年率1.8%で増加すると予測されている。エネルギー種類別に見ると、次の2点が特徴的である。石油需要は安定的な石油価格が当面は続くこともあって、年率1.3と比較的高い伸び率で増加する。石油需要は2005年においても総需要量の35%（自由世界では41%）をしめて、石油は当面は主要なエネルギー源としてとどまる。また、原子力は、この期間においても他のエネルギーにくらべて最も高い伸び率を示し、2005年の発電量は現在の2倍以上に達し、総需要量に占めるシェアも8.0%（自由世界では9.4%）に達する。こうしたエネルギー需要の増加にともなって、需給は次第に逼迫化し石油価格は1995年前後から次第に上昇率を高めていくと予測される（図-1）。

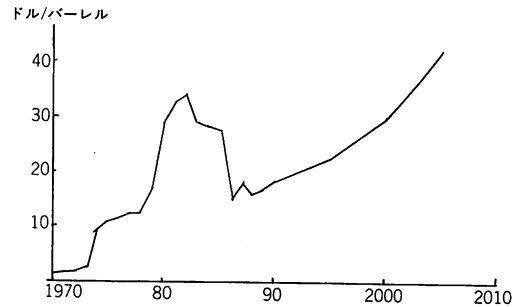


図-1 国際石油価格

## 2. 化石燃料の価格形成

### 2.1 バックストップ技術と枯渇性エネルギー

ノードハウスは、石油など枯渇性の高い化石燃料の長期的な価格が、非枯渇性資源の供給との関係において形成されるメカニズムを、簡単なモデルによって説明している。ここでは、まずノードハウスの議論を簡単に紹介し、つぎに、それを世界エネルギーモデルに適用して、その現実的なインプリケーションをあきらかにしたい。

現在のエネルギー供給は、供給コストは安い相対的に希少な資源（中東石油、天然ガス）が主体となっている。これらの資源が枯渇に向かうとともに豊富だがコストの高い資源（オイル・シェール、石炭）の供給が増加する。そして究極的には、きわめて豊富に存在する資源—核分裂、核融合、太陽エネルギー、地熱その他に依存するようになる。この技術をバックストップ技術という。

石油など希少な資源が、将来こうしたバックストップ技術に転換するということから、現在の枯渇性資源の価格は、それよりも価格は高いがより資源量の大きいエネルギーの価格によって上限を画されることになる。

枯渇性資源の供給者がその資源から得られる総利益の現在価値を最大化するように供給を行うと仮定するならば、供給者が年々供給する量と価格とバックストップ技術の価格との間にはつぎの関係が見られるであろう。

ここで、枯渇性資源の供給者が競争的供給者である（枯渇性資源の供給が競争市場にまかされている）場合には、市場で決定されるその価格（競争的価格）は、枯渇性資源からバックストップ技術への転換時におけるバックストップ技術の価格の現在価値に等しくなる。

そして、これが石油の長期的に資源の最適利用をもたらす価格（つまり完全競争のもとでの効率的価格）となる。

一方、枯渇性資源の供給者が独占的供給者である場合には、供給者はその供給量を決定（抑制）して（利潤の最大化）をおこなうことができる。この場合には、価格は競争的な価格よりも高いところに設定されるであろう。ただしこの場合にも、価格は各年のバックストップ技術の価格によって上限を画される<sup>2)</sup>。

## 2.2 石油価格の決定メカニズム

この議論を現在のエネルギー市場に適用してみよう。石油は資源賦存量が最も小さく（可採年数がもっとも短く）、かつ当面は主要なエネルギー源である。世界のエネルギー需給と価格の動向は、今後も石油の需給を軸に動いていくことになろう。そこで、石油の需給に重点をおいて、以下のようなシミュレーションをおこなった。

まず、枯渇性資源として石油（OPEC、非OPECの石油供給とを分けて考える）をとり、石油よりも枯渇性の低いその他の化石燃料、非化石エネルギー（バックストップ技術とそれにいたる過渡的資源）を石油代替エネルギーとして一括して考える。

モデルでは、世界市場の均衡化メカニズムを通じて、世界のエネルギー需給量と価格とが同時に決定される。石油需要量は、総エネルギー需要量と石油および石油代替エネルギーの供給量、および各エネルギーの価格とから決定される。

石油供給は、OPECと非OPECとによって行われる。非OPECは競争的供給者とみなすことができ、石油価格が上昇すれば供給を増加させ、低下すれば減少させる。OPECは、非OPECよりも石油供給コストが小さく、一般には過剰生産能力を有しているため、世界のエネルギー需給したがってその価格から独立に供給量を設定することが可能である。OPECが独占的（あるいは寡占的）供給者として行動する場合には、その生産量を変化させ価格水準を自由に設定する（競争的価格水準より高い水準に引き上げる）ことができる。逆に、競争的に供給する（生産調整を行わない）場合には、市場の動向（価格など）によってその供給量が決定される。ここでは、OPECのこうした供給行動と世界のエネルギー需給との関係をシミュレーションを試みた。現実の世界では、バックストップ技術について、その種類、枯渇性資源からの転換期、その供給コストなどを特定化することは困難であり、長期にわたっ

て安定的な競争的価格水準と独占的価格水準（の上限）を導出することはできない。そこで、仮に独占的の上限価格を実質35ドル/バレル、競争的価格を15ドル/バレルと想定して、それぞれの価格水準に対応する対OPEC石油需要量を算出した。

図-2に、1970年～2005年における、石油価格35ドルと15ドルに対応する対OPEC石油需要の推移が2つの実線で示されている。まずこの2つの曲線が、20年前後の周期をもって変動しているのがみられる。2つの曲線は第一次石油危機後ピークに達した後、1980年以後急速に低下しはじめた。そして1988、89年に底をうちその後は再び上昇に転じている。つまり世界市場においては、エネルギー需要と、非OPEC石油および原子力発電など石油代替エネルギーの供給量（とその供給コスト）が、石油価格の変動に対して調整していく過程において、大きく変動する傾向が今まで見られた。また、現在はこうした変動の上昇局面にあるので、今後対OPEC石油需要は増加に向い、石油需給は逼迫化していき、価格はその上昇率を次第に高めていくと考えることができる。

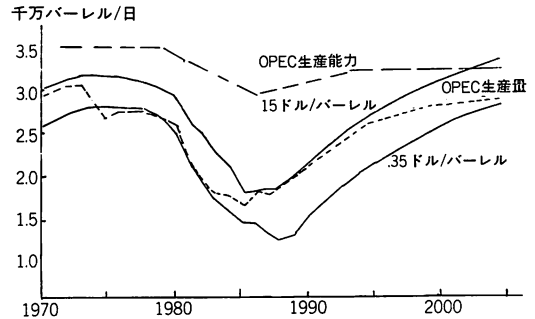


図-2 対OPEC石油需要の変動とOPEC石油生産

図には、この2つの曲線に、OPEC石油供給量の実績値と2005年までの想定値を加えて示してある。対OPEC石油需要が大きい時期、すなわち曲線のピークの期間には、OPEC生産量が価格35ドルに対応する曲線に接近し（供給を抑制し）ており、OPECが独占的な供給行動をとってきたことが分かる。逆に石油需給が緩和する曲線の谷の期間には、OPECの供給は競争的な価格水準に対応した曲線に近づいている。つまり、短期的には、OPECの供給行動自体も価格変動を拡大する方向で変動してきたのである<sup>3)</sup>。

一方、石油価格が、長期的にはどのような方向に向かっていくのかは、前述のように原子力をはじめ石油

代替エネルギーの供給量が今後どのように推移するか  
に依存する。石油代替エネルギーの供給量の増加（と  
価格の低下）は、対OPEC石油需要を減少させ（図の  
2つの曲線を下方にシフトさせ）、石油価格を低下さ  
せるのである。次項においては視点を換え、石油代替  
エネルギーとしての原子力発電をとりだして、それが  
石油価格に対してどのような効果をおよぼすかを検討  
する。

### 3. 原子力発電と化石燃料価格

#### 3.1 原子力発電減少の影響の波及過程

原子力発電量が変化した場合の化石燃料需給と価格  
への影響をみるために、つぎのようなシミュレシ  
ョンをおこなった。

OECD 7 か国（日本、アメリカ、カナダ、フランス  
西ドイツ、イタリア、イギリス）の原子力発電を停止  
する場合を想定し、停止の過程についてつぎの2つの  
ケースを設定した（図-3）。この結果を原子力発電が  
計画どおりにおこなわれる場合（標準ケース）と比較  
した。

原子力即時停止ケース：OECD 7 か国の原子力発  
電を、1990年に半減、1991年に全廃する。

原子力段階的停止ケース：OECD 7 か国の原子力  
発電を1990年以後減少させていき、2000年に全廃  
する。

原子力発電の停止の影響は、このモデルでは、図-4  
に示すような過程を通して波及していく。まず電力部  
門は、電力需要を満たすために原子力に代わって、火  
力発電を増加させる。短期的には既存の火力発電設備  
の設備利用率の上昇、長期的にはその増設によって発  
電量を増加させる（モデルでは各年の火力発電量の増  
加率に制約を課して、火力発電の増加に対する設備面  
での制約を反映させている）。また、このシミュレシ  
ョンでは、火力発電増加分の燃料として石油と天然

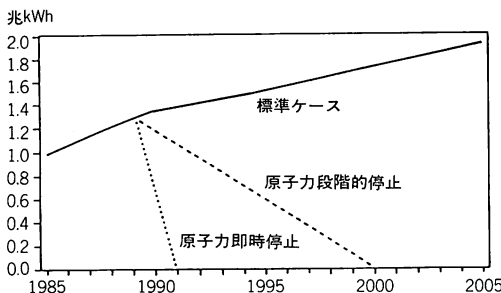


図-3 OECD 7 か国原子力発電量

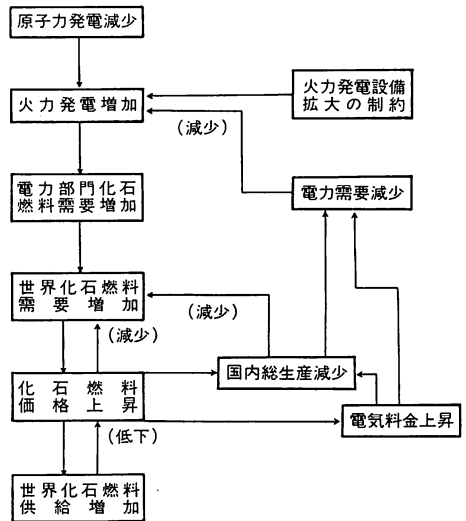


図-4 原子力発電停止の影響の波及過程

ガスを 2 ; 1 の比率で消費すると想定した。現実には  
OECD 7 か国の総発電量のうち41%が石炭、8%が石  
油、10%が天然ガスによって発電されており、現在の  
発電設備の構成と石油、石炭価格の水準の下では、石  
炭消費量の増加がもっとも大きくなる（モデルによっ  
て、化石燃料の配分を内生的に解くと、7か国の化石  
燃料消費増加の6~70%が石炭に向かう）。しかしこ  
こでは、地球温暖化対策として今後石炭の消費が抑制  
される可能性があることを考慮し、また世界のエネル  
ギー需給により大きな影響をおよぼす状況について調  
べるために、極端なケースとして、石油と天然ガスに  
燃料消費が向かうと仮定した。

電力部門の化石燃料需要の増加は、世界の化石燃料  
需要を増加させ、化石燃料価格、さらに電力価格を上  
昇させる。また、化石燃料価格、電力価格の上昇は、  
経済成長にマイナスの効果をおよぼす。一方、価格の  
上昇と、国内総生産の減少は、エネルギーの需要を抑  
制し、供給を増加させる効果をもつ。モデルでは、こ  
うした過程を通して、化石燃料と電力について、需給  
を均衡させる価格が決定される。

このシミュレーションによって、原子力発電が世界  
の化石燃料の需給に直接およぼす量的な影響を通じて、  
その価格にどのような影響をおよぼすかを明かにする  
ことができる。しかし、モデルでは原子力発電量は外  
生変数となっており、原子力と他のエネルギーとの選  
択がコストを通じて決定されているわけではない。つま  
り、エネルギー価格が原子力開発におよぼす効果は、

このシミュレーションでは考慮されていない。

### 3.2 シミュレーション結果

図-5は、原子力即時停止ケースと段階的停止ケースの影響を比較するために、両ケースの2005年までの石油価格の動きを示したものである。2つのケースの2005年における結果の差は小さく、長期的には2つのケースは同様の影響をおよぼすことを示している。しかし、短期的には（原子力を減少させていく期間とその後2～3年間）、即時停止ケースにおいては、段階的停止ケースにくらべて、多大の影響を受けることが示されている。

まず、原子力停止の短期的な影響について、即時停止ケースをとって見よう。

図-6～7に、即時停止ケースにおける、1989～94年

の石油価格、OECD 7 各国総発電量を示す。石油価格は、1990年には31.3ドル/バレル（標準ケース18.5ドル）、1991年37.5ドル（標準ケース19.5ドル）と急騰する、しかしその後は石油価格上昇にともなう需要抑制効果と、生産増加効果とが現われて、1992年には29.2ドルまで低下し、その後標準ケースを数ドル上まわる水準で推移する。

原子力発電が急減するこのケースでは、1990、91年には原子力発電の減少を火力発電によってすべてカバーすることができず、電力供給力の不足が生じ、OECD 7 各国の総発電量は前年の水準を下まわる。また、化石燃料価格の上昇は電力価格を上昇させ、電力需要の減少をもたらす。図-6に示すように、原子力発電は1990年に半減、1991年に全廃されるが、両年とも原子力の減少分（1991年には1.5兆kWh、石油換算3.7億トン）のうちほぼ%が火力発電によってカバーされ、この%の分の供給力の減少が生じる。この結果OECD 7 各国の総発電量は、1990年には標準ケースを5.0%、1991年には9.2%下まわる。この2か年については、電力需要に供給力が対応できない事態が予想される。また1992年には電力価格の急騰による電力需要の抑制効果が大きく現れ、総発電量は標準ケースを9.7%下まわることになる。しかしその後は電力需要は回復し、標準ケースとほぼ同じ伸び率で増加していく。

また、経済への影響（OECD 7 各国の国内総生産への影響）は、1991年にもっとも大きくなり、標準ケースの水準を1.2%下まわる。しかし、その後は成長率は標準ケースの水準に回復し、各年標準ケースを1%弱下まわる水準で推移する。

原子力発電の減少は、直接電力部門における化石燃料需要の増加をもたらすが、需要の増加による価格上昇は逆にその需要を抑制する効果も持つ。自由世界の石油需要は、1991、92年には標準ケースを7.3%上まわるが、その後は高価格による需要抑制効果が現れ、標準ケースからの乖離は縮小していく。

次に原子力段階的停止ケースによって、長期的な影響を見よう。図-8に、1989～2005年の、石油価格、自由世界石油需要量、OECD 7 各国の総発電量を示す。また表3は、2005年における標準ケースと原子力段階的停止ケースの結果を比較したものである。このケースでは、原子力発電停止の影響は、2005年まで徐々に大きくなっていく。石油価格は1995年には、標準ケースを7ドル上まわる29.4ドルにとどまるが、2005年には、標準ケースを16ドル上まわる58ドルとなる。OEC

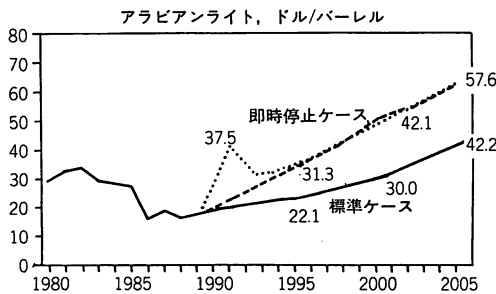


図-5 石油価格

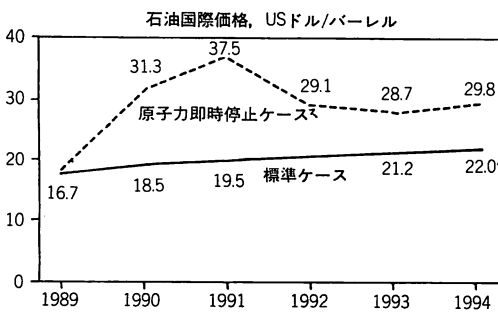


図-6 原子力即時停止ケース(1)

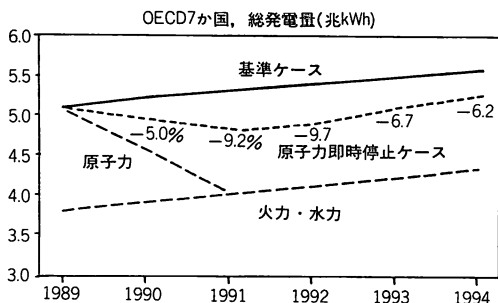


図-7 原子力即時停止ケース(2)

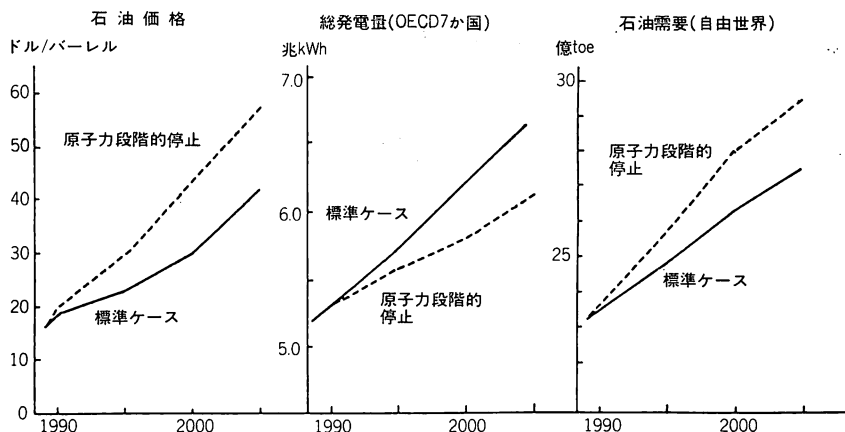


図-8 原子力段階的の停止ケース

表 3 原子力段階的の停止と標準ケースとの比較 (2005年)

	標準ケース	原子力即時停止ケース 標準ケースとの差	
石油価格 ドル/バレル	42.3	58.0	+15.7 (37.1%)
石炭価格 ドル/トン	85.4	94.7	+9.3 (10.9%)
自由世界化石燃料需要量			
石油 百万toe	2,749	2,945	+196 ( 7.1 )
石炭	1,433	1,437	+4 ( 0.3 )
天然ガス	1,270	1,355	+85 ( 6.7 )
計	5,452	5,737	+285 ( 5.2 )
うち発展途上国	1,292	1,267	-25 ( 1.9 )
OECD 7 か国			
総発電量 10億kWh	6,792	6,157	-635 ( 9.3 )
原子力発電量	1,951	0	-1,951 ( - )
国内総生産 10億ドル	12,946	12,822	-124 ( 1.0 )

D7 か国の総発電電力量は、標準ケースの年率1.8%の伸びが1.2%に低下し、2005年には標準ケースを9%下まわる6.2兆kWhとなる。自由世界の石油需要量も同様に、次第に標準ケースとの差をひろげ、2005年には標準ケースを7%上まわる29.5億toe (石油換算トン) になる。また、7か国の国内総生産は、2005年には標準ケースを1.0% (1.2千億ドル) 下まわる。

2005年には、OECD 7 か国の原子力発電量 2 兆 kWh (4.8億toe) が全廃されるが、自由世界の化石燃料需要量は2.9億toe増加する。原子力発電量の減少量と化石燃料需要量の増加量との差、1.9億toeは、原子力の減少による化石燃料への需要転換量のうち、エネルギー価格の上昇によって需要が抑制された部分である。化石燃料需要増加2.9億toeの内訳は、石油2.0億トン、天然ガス0.9億トンの増加となり、石炭は微増にとどまる。

#### 4. むすび

本稿では、化石燃料とくに石油価格の形成メカニズムを世界のエネルギー需給との関係において検討し、そのなかで原子力発電のはたしている役割を明らかにした。

今後長期的に安定的なエネルギー価格が維持できるかどうかは、需要側では、省エネルギーがどのように推進されるか、供給側では、原子力や新エネルギーなど、供給制約の小さい非化石エネルギー供給がどのように増加していくかにかかっている。太陽エネルギーなど新エネルギーについては今回の分析では無視したが、それらの開発が今後急速に進んだとしても、当面は原子力発電が量的に最も重要な非化石エネルギーの1つとしてエネルギー価格の安定化に一定の役割を果たしていくことは否定できないであろう。

(この報告は、筆者が電力中央研究所において行った作業にもとづいてとりまとめたものである。しかし、本稿中の意見にわたる部分は、筆者個人のものである)。

#### 参考文献

- 1) 熊倉 修; 世界エネルギー需給モデル I モデルの構成 (1985). 電力中央研究所研究報告 585006.  
Osamu Kumakura, Long-Term Prospects of the World Oil Market-Experiments with the CRIEPI World Energy Model-(1987), CRIEPI REPORT EY87003.
- 2) ウィリアム・D・ノードハウス: エネルギー-経済学-エネルギー資源の効率的配分-(1982), 鈴木篤之, 室田康弘訳.
- 3) 石油価格のこうした周期的変動とエネルギー需給との関係については、室田康弘; 石油価格の変動と新しい政策理念, エネルギー・資源, Vol. 10 No. 6 (1989) を参照.