

## 展 望

UDC 669.1.012.23 : 626

## 長期のエネルギー問題\*

青山晋一郎\*\*・向坂正男\*\*\*

## Long-term Energy Outlook

Shin-ichiro AOYAMA and Masao SAKISAKA

## 1. 緒 言

総合研究開発機構では、昭和 50 年 1 月からわが国の長期エネルギー問題に関する大がかりな調査に着手し、本年 2 月にその結果を発表した。1973 年の石油危機は、資源・エネルギーの大量消費によつて築かれた先進工業国の経済基盤を、根底から問われるものであつた。と同時に、石油生産の将来に対する不安をより現実的なものにした。昨年暮れには、資源エネルギー庁長官の私的諮問機関である「長期エネルギービジョン研究会」が、西暦 2000 年におけるエネルギー需給の展望を発表した。国際的には、WAES (Workshop on Alternative Energy Strategies) とよばれる、米・欧・日など 15 ケ国の民間機関が共同作業でまとめた、世界的なわく組みでの西暦 2000 年までのエネルギー需給見通しと必要な戦略が、本年 5 月に発表された。

2000 年までを視野においたエネルギー問題は、1985 年ごろまでの中期展望とはまた異なつた様相がえがかれるのである。石油の増産が、今世紀内には限界点に達するという見通しが現実的となり、その一方で、高速増殖炉、核融合や太陽エネルギーなど、資源制約の少ないエネルギーの大量導入は来世紀以後にもちこされる見通しである。すなわち、今世紀終りごろから来世紀にかけて、エネルギー供給に谷間が生ずる可能性が大きく、代替エネルギーの開発や大幅な消費節約に成功しない限り、人類は構造的・慢性的なエネルギー危機を迎えるおそれがある。

本稿では、総合研究開発機構および WAES の結果を中心に、西暦 2000 年にいたるエネルギー問題を展望してみよう。

## 2. 終りに近づく石油時代

## 2.1 過去のエネルギー消費

図 1 は今世紀に入つてからの世界エネルギー消費の推

移である。1950 年代から消費量の急激な増加がみられ、さらに特徴的なことは、その増加分のほとんどが石油と天然ガスでまかなわれてきたことである。エネルギーの流体化革命は 1950 年代前半にはじまり、豊富で安価な中東やアフリカの原油に支えられて、先進工業国の「豊かな社会」が急速に形成されることになつた。1960 年代には原油価格は低下しつづけ、世界の石油消費は急膨張した。1970 年代に入つて石油価格は値上りしはじめたが、石油消費の勢いはおとろえず、1972 年には全エネルギーに占める石油の割合が世界全体で 50% 近く、自由世界全体では 55% に達した。安価な石油は、世界の経済社会を支える基盤となつた。

しかし、1973 年の石油危機を契機として、OPEC 地域での石油生産の量および価格の支配権は、先進国メジャーズから OPEC に移り、石油に依存する先進国の経済基盤は根底から揺さぶられることになつた。石油資源

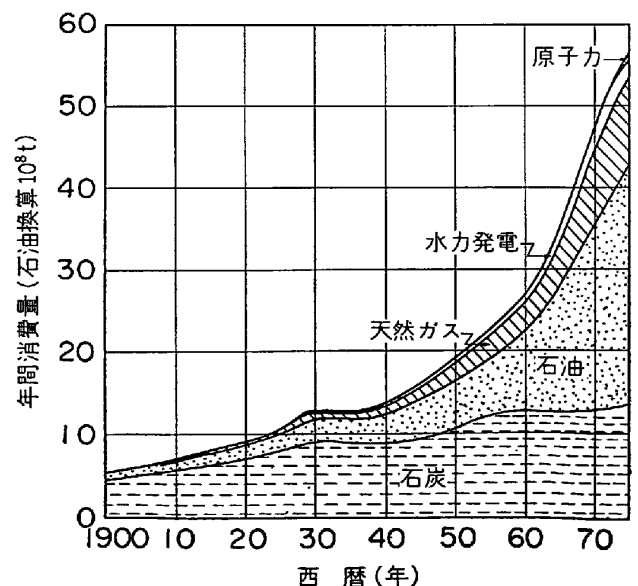


図 1 全世界エネルギー種別消費の推移

\* 昭和 52 年 5 月 11 日受付 (Received May 11, 1977)

\*\* 新日本製鉄(株)研究開発本部技術開発部 (Technical Development Department, R & D Bureau, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100) (昭和 49 年 9 月~52 年 2 月特殊法人総合研究開発機構へ派遣)

\*\*\* 特殊法人総合研究開発機構 (National Institute for Research Advancement)

があと何年もつかという議論も、このように石油消費が増大した現在では、過去の低消費の時代とは全く異なった尺度で測られなければならない。

石炭の生産は過去 10 数年ほぼ一定の量を保つてきたが、全エネルギーに占めるシェアは次第に低下した。

### 2.2 今後の世界のエネルギー需要

世界が今後どのようなエネルギーを必要としているかを示したのが、表 1 である。たとえば WAES によれば、1972 年に比べて 85 年には石油換算で年間 25 億 t の消費増が予測されるが、その増分のうち 42% は石油に対する需要となつている。1985 年と 2000 年との差額についても、なおその 40% 強は石油が必要とされる。石油危機後、各国ともエネルギー多様化の計画を掲げたが、それでも、今後増加するエネルギー需要のうち、石炭でまかなえるのは 20% 以下、天然ガスは 10% 前後、原子力 25% 以下で、2000 年まではひきつづいて石油に依存せざるを得ないという展望がえがかれている。

図 3 は、WAES による 2000 年までの需要の増加と、エネルギー別内訳の予測である。72 年から 2000 年まで

表 1 今後必要とされる増分エネルギーの構成

発表機関	WAES		OECD	
	自由世界		加盟 24ヶ国	
対象	1972 ~1985	1985 ~2000	1974 ~1985	
増分エネルギー (石油換算、億 t)	25.3	38.3	16.3	
構成内訳 (%)	石油	42.3	41.8	45.0
	天然ガス	11.9	9.4	11.1
	石炭	17.0	16.4	14.6
	原子力	23.3	23.5	25.0
	その他	5.5	8.9	4.3

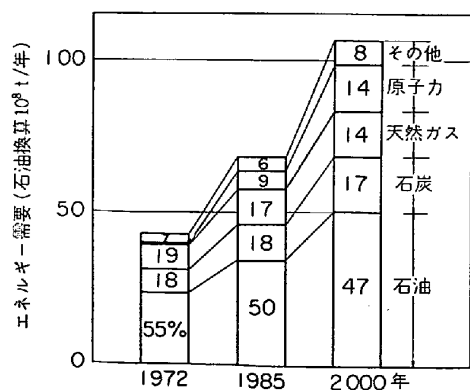


図 2 WAES 予測による自由世界の長期エネルギー需要

の需要伸び率は年平均 3.3% で、過去 65 年から 73 年までの 5.4% にくらべて低く見られているが、2000 年の需要規模は 72 年の 2.5 倍に達する。この予測は、各国とも石炭の利用拡大を積極的にすすめるという前提をおいたケースであるが、石炭は現在のシェアを保つのがせい一杯という結果である。2000 年において全需要のなお 5 割近くは石油が必要とされ、仮に原子力の開発が遅れるようなことがあれば、その不足分は主に石油の負担として上積みされる。

この需要予測では、2000 年に必要とされる石油は自由世界全体で 50 億 t となり、72 年の 2 倍強に達するが、これだけの石油供給が可能かどうか問題である。2000 年までのエネルギー需要は、依然として石油が中心と予測されるため、エネルギー問題とは第一義的には石油生産の将来がどうなるかという問題に帰着する。

### 2.3 石油生産の将来

まず石油資源の規模に関する見解であるが、世界全体の究極可採埋蔵量として 2 兆バレルという数字が、専門家の間で合意を得つつある。究極可採埋蔵量とは、確認埋蔵量およびその周辺で存在が推定されるもの、さらに、これに地質学的見地から存在が予想されるものをプラスして、その合計に技術的に可能とみられる回収率を掛けた数字である。この 2 兆バレルという量には、過去の累積生産量である 3400 億バレルも含まれており、今後仮に石油消費が年率 5% で伸びれば 2008 年に、また 2.5% の伸び率でも 2020 年に完全に使いはたしてしまうものである。自由世界の石油消費伸び率は、1960 年から 72 年まで平均 6.2%、65 年から 73 年までは 7.4% という高率であつた。2.5 ないし 5% という伸び率はこれをかなり下回るものであり、このことからある程度、石油資源の有限性について理解できよう。今後大幅な回収率の向上や、深海からの生産技術が開発されたとしても、消費が幾何級数的にふえつづける限り、耐用年数はあまりのびないのである。

図 3 はエクソン社が発表した過去の生産推移であるが、1970 年代はじめに年間生産量が新規に発見される量を上回つた。現在は、確認埋蔵量が年々減少する局面に入っている。1935 年から 70 年までの新規発見量は年

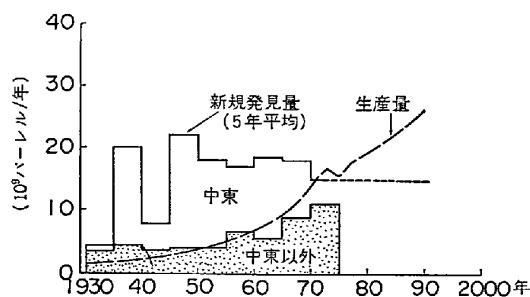


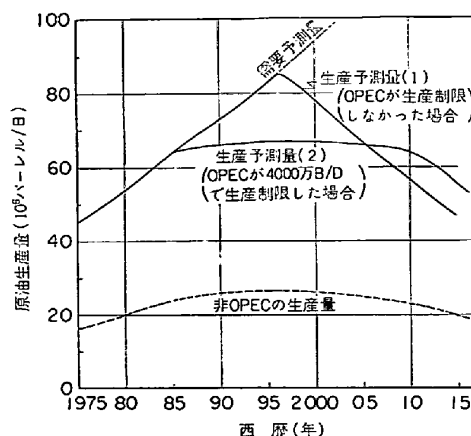
図 3 世界石油の生産量と新規発見量 (共産圏を除く)

平均 180 億バレルであり、中東の寄与が大きい。60 年代後半から北海（確認埋蔵量 230 億バレル）、アラスカ（同 100 億バレル）が脚光をあげたが、両者合わせても自由世界消費量の 2 年ぶんにはかならない。今後の新規発見量として、エクソンは年間 150 億バレルと推定している。

今後の自由世界の石油生産に関する 1 つの予測が、図 4 である。図に付記したように、石油生産の予測は 3 つの前提をおいて行なわれた。第 1 に需要の前提として、1975 年から 85 年まで年率 3.6%、85 年から 2000 年まで 2.6% でふえるものとする。これは、図 2 のうちの石油需要と一致するものであり、石油ショック前にくらべて半分以下の伸び率想定である。第 2 に、今後の新規発見量を 2000 年まで年平均 200 億バレルとし、以後しだいに減少するものとする。200 億バレルという仮定は、前述のエクソンの推定にくらべて楽観的といえよう。今後の油田開発については、①インフレによる開発コストの上昇。②地理的、自然的条件の悪化。③メジャーズの投資力低下、などの制約から、過去の水準を保つことさえ困難といわれている。第 3 の前提は、増産の限界点として確認埋蔵量 (R) に対する年間生産量 (P) の比率を 15 とする。現在の R/P は約 33 であり、今後の増産にしたがつて R/P は低下してゆくが、これが 15 に達するとそれ以降は R/P を 15 に保つように生産を調節すると考えるわけである。この 15 という値は、石油会社の経営基盤を保つためという理由と、急速に油田のガス圧を抜くと却つて全体としての回収量が低下するという技術的理由にもよる。

以上の前提に立つて、1975 年末の確認埋蔵量 5 550 億バレルおよび 75 年生産量 4 500 万バレル/日（以下 B/D と記す）を起点にして、今後の石油生産を予測する。結果は図 4 の生産予測量 (1) であり、1995 年を少しこえたところで R/P が 15 に達しそれ以後生産量の低下がはじまる。ところで、この予測は物理的な増産限界ともいべきもので、自由世界確認埋蔵量の約 80 % を有している OPEC が、資源量の範囲内で無制限に増産をつづけるということを前提にしている。しかし OPEC は、「消費国は物理的に可能なだけの生産量を期待してはならない」ことを表明しており、自国の経済・社会開発をすすめて石油依存経済から脱出する時点まで、石油資源の寿命をひきのばしたいと考えている。また一部の産油国は、累積するオイルマネーの価値が保証されない限り、ある量で石油生産を制限することが当然起こりうるだろう。つまり、OPEC が将来生産制限することを加味した予測の方が、より真実に近いと考えられる。

図 4 の生産予測量 (2) は、OPEC の生産制限水準として可能性が大きいと考えられているケースであるが、こうした体制的制約が加わることによつて、1980 年代



前提

- 1) 需要の伸び
  - {1975~1985 年率 3.6%
  - {1985~2000 " 2.6%
- 2) 確認埋蔵量の増加
  - 1976~2000 年間 200 億バレル
  - 2000~2010 " 120 "
  - 2010~2020 " 70 "
- 3) 石油増産の限界
 
$$\frac{\text{確認埋蔵量 (R)}}{\text{年間生産量 (P)}} = 15$$

図 4 世界（共産圏を除く）の石油生産の将来

のなかばに石油生産が頭打ちになる可能性が大きい。

1975 年の OPEC 生産量は 2 700 万 B/D でそのうちサウジアラビアは 850 万 B/D であった。OPEC が 4 000 万 B/D に達するためには、サウジアラビア 1 国で 1 500 万 B/D まで増産するという仮定である。

このような石油生産の予測結果をみると、需要をみたくすることが可能であるのは、1985 年ごろまでで 2000 年には大幅な供給不足を生じる可能性がある。OPEC が生産制限した場合、2000 年における需要に対する不足分は 30% 近くに達し、大幅な消費節約または代替エネルギーの開発をすすめないと、世界の将来は深刻なエネルギー不足をむかえるおそれがある。

この予測では、共産圏諸国と自由世界とは正味での出入りは無視できるとして、共産圏を除外している。しかし、中国・シベリアに近いわが国にとつては、これらの国の資源ポテンシャルは今後大きな意味をもつであろう。

### 3. 代替エネルギー

#### 3.1 石炭

過去 10 数年間、世界的に石炭の生産量はほぼ一定の水準を保つてきたが、エネルギー消費に占めるシェアは低下した。自由世界でみると、1960 年の 34% に対して 1975 年には 18% に下がり、この間に日本では、44% から 16% まで低下している。

世界の石炭全埋蔵量は、10 兆 t 以上と推定されている。このうち経済的可採量といわれるものは、現在の技

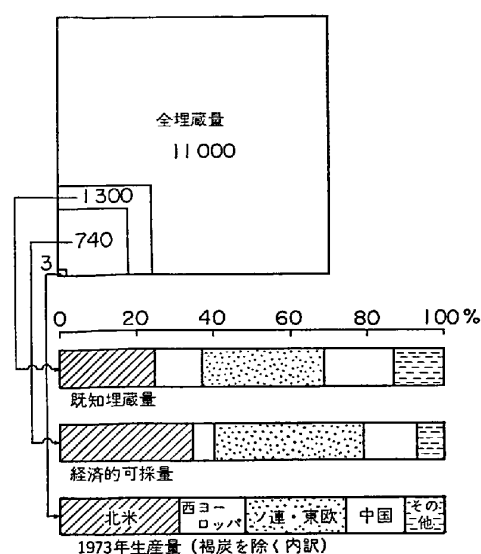


図 5 世界の石炭資源量 ( $10^9$  t)

術やコストで経済的生産の対象になるものと定義されるが、石油危機前の調査で 7000 億 t 以上であり、これは現在の生産量とくらべてゆうに 200 年ぶん以上の資源量である。資源の分布はアメリカ、ソ連、中国にかたよっているが、その他の地域にも広く分布している。とくに南半球についてはまだ調査が不十分であり、オーストラリア、インドネシア、南ア連邦などのような供給ポテンシャルの大きな国が、これからも出現する可能性がある。少なくとも今世紀内から来世紀はじめにかけて、石炭については資源面からの制約はないとされる。

石炭(亜炭、褐炭を除く)の生産は、世界全体でここ 10 数年 20~23 億 t とほぼ一定であった。最近の内訳は原料炭が 20% 強、一般炭が 80% 弱と一般炭が圧倒的であり、一般炭のおよそ 7 割が発電用に使われている。全生産量のうち国際的に取引される量は約 9% であるが、このうち共産圏内、EEC 域内およびアメリカ・カナダ間の取引を除くと、貿易対象となつているのは全体の 5% 弱である。しかもその 75% 近くは原料炭であり、国際貿易される一般炭は 1% 強にすぎない。一般炭は、ほとんどが生産国の国内消費に向けられているのが現状であり、今後、一般炭の世界的な利用拡大をすすめるためには、まず国際商品としてのマーケット形成をどう進めるかという課題がある。

将来の石炭生産については、供給力の大幅な増加が予測されている。原油価格の高騰により資源国での石炭生産へのインセンティブが著しく高まったもので、とくにアメリカでは、需要さえあれば 2000 年までに現在の 3 倍程度まで供給ポテンシャルが拡大できるとの見通しである。アメリカでは、今後の石炭増産の中心とされる西部の露天掘りに対して、環境面からの開発規制はさげられない事態に至っているが、ある程度の規制があつてもなお経済的に生産が成り立つものとみているのである。

オーストラリアなど南半球のいくつかの国でも、長期的にみて供給力の大幅な増加が可能と考えられ、石炭の将来に関しては、生産地の供給力が需要を上回るようになるだろうと予測されている。

石炭の需要に関する WAES の予測では、各国とも石炭消費を積極的にすすめるという前提をおいたケースでも、ガス化や液化などの新技術は 2000 年まであまり大きな寄与はないとされ、2000 年において自由世界の石炭需要は現在の約 2.4 倍に達するが、全エネルギーに占めるシェアは現在よりむしろ低下する。ガス化などによるクリーンエネルギーへの転換がすすまないかぎり、石炭の用途は主として発電用や一部の産業に限られることになるから、石炭が消費市場において石油や天然ガスに代わり得るためには、ガス化や液化などの新技術の役割が大きい。

石炭の利用拡大をすすめるためには、いくつかの解決すべき問題がある。①大量に取扱うための輸送方式、港湾、貯炭施設などのインフラストラクチャーにはばう大な資金がかかる。②生産から輸送、消費の各段階での環境対策③生産国と消費国の間で長期のリスクが保障されるような契約も必要であるし、④新技術の開発ももつと進めなければならない。

ガス化・液化の新技術は、現在の原油価格にくらべてまだコスト高である。技術的には転換効率の向上と建設費の低廉化が課題であるが、今後の改良や実施への努力に負うところが大きく、主要国では政府による研究開発への具体的施策がすすめられつつある。これら新技術を早期に確立することは、OPEC の原油値上げに対する大きな抑止力になることはまちがいない。

### 3.2 天然ガス

世界の究極可採埋蔵量に関する最近 10 年の見解は、石油換算で 1.05 兆から 2.7 兆バレルまでの幅がある。石油にくらべてばらつきが大きいのが、ほぼ石油と同程度の資源量ということができよう。しかし天然ガスについては、全体の資源量よりもどこに賦存しているかが問題であった。現にこれまでは、北米や西欧など消費地に近い資源の開発が進んでおり、とくに北米では早くから主要なエネルギー源として利用され、1975 年には北米エネルギー消費の 1/3 を占め、これは自由世界天然ガス消費の 68% に相当する。西欧では 60 年代初期にオランダのガス田が発見されて以後、急速に消費が伸びた。その後、ソ連や北海のガスが加わり、1969~72 年には西欧全体で天然ガスの伸びは年率 30% に達した。1973 年には、西欧エネルギー消費の 13% を占めている。ところが、これまでの天然ガスの利用は、生産地と消費地を結ぶパイプラインをほとんど唯一の輸送手段として進められてきたもので、消費地に近い資源の開発が急速に進んだ。液化天然ガス (LNG) は 1964 年にはじめて実用化されたが、その量はいまも僅かで、世界天然

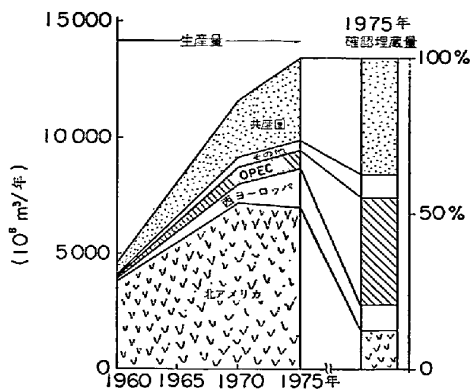


図 6 天然ガス生産量と確認埋蔵量

ガス生産量の1.4%にすぎない。

北米の天然ガス生産は、70年代に入つて下降しはじめ、西欧でも資源的に今後の拡大はあまり望めなくなった。図6に見るように、確認埋蔵量と生産量との間に大きな乖離を生じている。今後の供給ポテンシャルは中東と共産圏が大きい。米・欧・日などの大消費国がこれら遠隔地の資源を利用するためには、LNGによる海上輸送をすすめなければならない。このような資源的な背景も加わつて、石油危機後LNGが世界的に注目されるようになり、天然ガスが国際商品としての性格をもつようになった。

米・欧など主要消費国での天然ガス生産は、2000年までに72年の2/3程度に低下するとみられている。日本を含めたこれら主消費国の需要をみたすのに必要な輸入は、1985年石油換算1億7000万t、2000年には4億5000万tに達する予想である。その一部はソ連から供給されようが、大部分は中東からの輸入に期待がかけられている。中東の豊富な資源量は、これだけの供給をまかなうのに十分であり、今世紀内は資源面からの制約はないとされている。また、LNG開発は資源国の工業化推進の方針とも合致する。しかしLNG開発には問題も多い。

LNGは開発から輸送・消費にいたる一貫体制が必要であり、それに要する資金はぼう大でリードタイムは長い。タンカーやLNG基地などの不測の事故も懸念されている。また、日本の場合は、大量に消化するためには国内のパイプライン幹線を新たに敷かなければならない。世界のLNGプロジェクトを操業中から計画段階のものまで含めると、もしそれが全部遅滞なく実現すれば、1985年には必要な輸入にほぼ見合う量になるものであり、その動向が注目される。メタノール化による天然ガスの利用も、輸送コストと安全面の利点から1つの選択と考えられている。メタノール化は天然ガス熱量の40%程度を失うが、LNGの場合でも25%程度の損失になるのである。

表 2 原子力発電規模予測のスローダウン

1985年 OECD加盟国全体

予測機関	発表時期	原子力発電規模
OECD	1975.1 <sup>1)</sup>	5.24 億 kW
〃	1975.12 <sup>2)</sup>	4.37~4.84
〃	1977.1 <sup>3)</sup>	3.25

2000年 自由世界全体

予測機関	発表時期	原子力発電規模
OECD	1975.12 <sup>2)</sup>	20.05~24.80 億 kW
個人	1976.10 <sup>4)</sup>	15.00~18.00
WAES	1976.6 <sup>5)</sup>	10.68~19.82
〃	1976.10 <sup>6)</sup>	9.11~17.72

1) OECD : Energy Prospect to 1985

2) 〃 : Uranium Resource, Production and Demand

3) 〃 : World energy Outlook

4) КРУММ : IAEA Bulletin Vol. 18 No. 5/6

5) WAES : 非公開資料

6) 〃 : Energy, Global Prospects, 1985~2000

### 3.3 原子力

将来の原子力規模の予測には、いま数多くの疑問符がつけられている。石油危機の前後に各国で出された開発計画や見直しは、それが見直されるたびに下方に修正されている。表2に見るように、原子力規模の予測は、新しいものほど数字が小さくおろされており、最近の原子力スローダウンの風潮を物語っている。

原子力の見通しがこのように後退したのは、次のような理由による。ひとつには、石油危機後の計画があまりにも戦略的で過大であつたことにもよるが、その後の不況と建設費エスカレーションの影響も大きい。また、原子力の安全性や環境問題に関して、これまでの実績では公衆の不安を解消するまでに至らず、新しい立地に対する住民の抵抗が主要国に共通して顕在化している。最近では、プルトニウムの拡散による安全保障上の懸念が、政治的レベルでの重要問題となり、原子力のもつ平和利用と核拡散という二律相反の矛盾が、将来の見通しをより困難なものにしている。

WAESの予測では、自由世界の全エネルギーに占める原子力のシェアを1985年で6~9%、2000年で14~21%としている。この程度の規模ならば、ウランをすべて軽水炉で使つたとしても、2000年までウラン資源および濃縮ウランの供給力に不安はないと考えられている。将来のエネルギー供給事情からみて、原子力の後退は深刻な影響をもたらすだろう。問題は資源的・物理的な制約にあるのではなく、技術的な信頼性を高め、核防

問題に活路をひらいて、現在の原子力に関する論争を解決することにある。スローダウンした原子力の路線を上向きに転じられるかどうか、ここ1~2年の動向はとくに重要であろう。

高速増殖炉は、2000年において自由世界の全原子力発電の5%以下と予測されており、今世紀中はあまり期待がかけられないようである。

### 3.4 その他の代替エネルギー

化石燃料としてタールサンド、オイルシェールなど、また再生可能な資源として太陽、植物、風力等の利用があり、いずれも新技術の開発が重要な役割をもつ。

タールサンド、オイルシェールの資源量は豊富である。カナダのタールサンドは、回収可能な資源量として石油換算3000億バレル、そのうち10%は露天掘の対象とされる。アメリカのオイルシェールは資源量2兆バレルのうち、現在、商業化の対象と考えられているのは1200億バレルといわれる。しかし両者のうち、現在の生産量はタールサンド5万B/Dのみであり、石油危機ごろの見通しは大きく後退した。問題は生産コストと環境や水の制約であり、地下から採鉱したのち地上にて油分の抽出を行なう方式では、表3に示したようなコストを大幅に下げることが困難といわれる。オイルシェール生産コストに関するERDA(米国エネルギー研究開発局)の発表では、バレル当り地上抽出法が16~25ドルに対して、地下抽出(in situ)法によれば8~11

ドルの見込みで、石油と対抗するためには地下抽出法の技術開発が必要としている。WAESでは、これら化石燃料からの合成原油は2000年に300万B/D程度としているが、主に資源保有国の関心をひくにとどまっている。

太陽エネルギーは豊富で非枯渇性、しかも地球上広く分布していることから、将来への評価は高い。しかし低密度であることと、季節・昼夜・天候による不連続性という問題があり、コレクターの面積効率を上げることとエネルギーの貯蔵が技術的な課題とされる。今世紀内の利用は、暖冷房や給湯などの面で進むが、太陽エネルギーによる発電は大量には出ないという見通しである。太陽発電については、来世紀以後のために研究開発には最高の優先度をあたえるべきとされている。太陽エネルギーの一種として、植物に固定されたエネルギーの利用がある。地球上の光合成量は年間で人間が消費するエネルギーの17倍という試算があり、メタン化やメタノール化による利用が考えられている。

地熱や風力なども含めて、これら再生可能な資源の特徴は大規模集中型のエネルギーシステムに適さないということである。これまで工業国の経済社会は大規模集中型エネルギーシステムを母体としてきたが、将来もその路線がつづくとするれば、高速増殖炉や核融合の開発が要請されるだろう。再生可能エネルギーが将来の主力になるかどうかは、社会システムの選択にもかかわる問題である。

水力発電はとくに発展途上国で大きく伸びるだろう。これらの国では、現在はポテンシャルの4%しか利用されていないといわれる。とくにブラジルでは、水力発電を利用したエネルギー集約型産業を有利にすると予測される。

## 4. 日本の長期エネルギー需給

### 4.1 エネルギー消費の現状

1950年代エネルギー流体化革命以後、豊富で安価な石油の供給は、日本の高度経済成長を支える柱となった。その結果、輸入石油を基盤とした経済の繁栄を実現したが、石油危機により日本経済の安全保障は根本から問われることになった。石油危機までの日本のエネルギー消費の主な特徴として、次の点が指摘される。

- 1) 最近の急激な消費増加(1960~73年平均で年率11.4%)
- 2) 輸入石油への高い依存度(1973年度で77%)
- 3) 低い自給率(1973年度で10%)
- 4) 消費面における高い産業用のシェア

これらは供給構造の脆弱性と消費面での硬直性をあらわすものであり、石油危機後のエネルギー計画にて、供給の多様化と消費節約が主要な政策課題とされたのは当然といえる。

表3 各種エネルギーの概算コスト  
(1977年1月)

		資本費 (\$/石油換算 バレル/日)	製造コスト* (\$/石油換算 バレル)
原油	中 東	500~1000	>0.20
	北 海	7000~12000	5~12
石炭(アメリカ)		1500~2000	3~5
タールサンド		25000	15~20
オイルシェール		25000	15~20
石炭 ガス化	アメリカ国内	20000~25000	15~20
	西欧(輸入炭)	25000~30000	20~25
石炭 液化	アメリカ国内	20000~25000	15~20
	西欧(輸入炭)	25000~30000	20~25
LNG		12000~22000	>20
太陽熱給湯		85000	>40
風力発電		45000~60000	40~120

\* 年間15%の償却を含む

1人あたりの消費量で見れば、まだ先進国の水準に達していない。とくに民生部門のエネルギー消費を各国と比較してみると、図7のように1人あたりGNPのほぼ等しいイギリスの約半分である。このことは、民生部門でみるかぎり今後1人あたりGNPの増加速度以上にエネルギー消費がふえるという可能性をもつものであ

り、今後のエネルギー需要は民生部門の伸びが大きいという予側につながる。

4.2 1985年および2000年のエネルギー需要

エネルギー需要の前提となる経済フレームについては、総合研究開発機構の調査では、1985年はマクロ経済モデルより、また2000年については日本経済の長期発展パターンから推計した。今後の経済成長は1975~85年で年率6%程度、85~2000年で4%程度に減速化するものと考えられ、同時に、産業構造の知識集約化、サービス経済化が進むと想定される。詳細は省略するが、こうした経済フレームと産業連関的手法により、将来の各部門の経済活動規模を推定する。そして、部門別の単位経済活動あたりのエネルギー消費量をもちいて、将来のエネルギー需要を予測した。

表4に1次エネルギー換算での予測結果を示した。省エネルギー前の需要とは、総合研究開発機構の場合、消費原単位(産業部門では生産額あたり、輸送部門では単位走行あたりのエネルギー消費量)が1972年の水準で推移するとしたもので、弾性値が低下するのは産業構造の変化によるものである。これに対して省エネルギー後

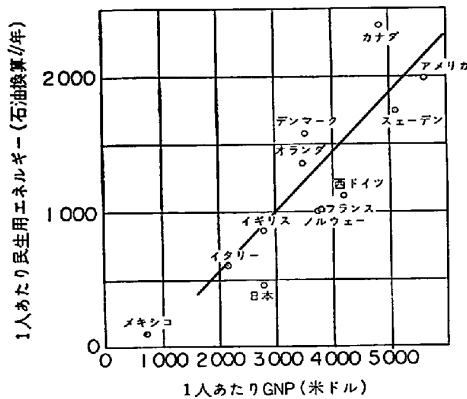


図7 民生用最終消費エネルギーの各国比較 (1972年)

表4 わが国エネルギー需要の予測

発表機関		総合研究開発機構		政府機関の例	
対象年		1985 基準ケース	2000 基準ケース	1985 総合エネルギー 調査会 (50年10月)	2000 長期エネルギー ビジョン研究会 (51年12月)
経済成長率 (年率%)	1985/1975	6.2	6.0	6.6	6.6
	2000/1985		3.9		4.0
省エネルギー前	エネルギー需要 (10 <sup>13</sup> kcal)	704 <sup>1)</sup>	1097 <sup>1)</sup>	784	1243
	伸び率(年率%)	85/73 5.2	2000/85 3.0	85/73 6.2	2000/85 3.8
	対GNP弾性値	" 0.98	" 0.75	" 1.11	" 0.95
省エネルギー後	エネルギー需要 (10 <sup>13</sup> kcal)	638	930	710	1068
	伸び率(年率%)	85/73 4.3	2000/85 2.5	85/73 5.3	2000/85 2.8
	対GNP弾性値	" 0.81	" 0.63	" 0.95	" 0.70
省エネルギー率		9	15	9.6	14 <sup>2)</sup>

1) 産業構造変化による省エネルギーを含む  
 2) 1985年に9.6%省エネルギー後、さらに2000年で14%の省エネルギーとする  
 <参考>

	1960~65	1965~73
経済成長率	9.7%	10.4%
エネルギー伸び率	12.0	11.0
弾性値	1.24	1.06

表 5 わが国のエネルギー供給構成の予測

[ ] 内は1次エネルギー基準での構成比 (%)

発表機関		実績値	総合研究開発機構		政府関係機関の例	
対象年度		1973	1985 基準ケース	2000 基準ケース	1985 (総合エネルギー 調査会)	2000 (長期エネルギー ビジョン研究会)
節約後エネルギー需要 (10 <sup>13</sup> kcal)		383	638	930	710	1 068
供給源	国内水力 (10 <sup>4</sup> kW)	2 120 〔4.6%〕	2 830 〔4.1〕	3 500 〔4.2〕	2 830 〔3.7〕	石油換算1.3億 t
	内地熱 (10 <sup>4</sup> kW)	3 〔0.0〕	200 〔0.6〕	500 〔0.5〕	210 〔0.5〕	
	国内石油・ガス (石油換算10 <sup>6</sup> t)	3.7 〔0.9〕	5.1 〔0.8〕	12.6 〔1.4〕	13.3 〔1.8〕	
	国内石炭 (10 <sup>4</sup> t)	2 168 〔3.8〕	2 200 〔2.5〕	2 000 〔1.5〕	2 000 〔1.9〕	
構成	原子力 (10 <sup>4</sup> kW)	230 〔0.6〕	3 000 〔6.6〕	10 000 〔15.0〕	4 900 〔9.6〕	10 000~15 000
	輸入石炭 (10 <sup>4</sup> t)	5 800 〔11.7〕	9 400 〔10.9〕	12 900 〔10.0〕	10 240 〔11.2〕	17 000~25 000
	LNG (10 <sup>4</sup> t)	230 〔0.8〕	3 000 〔6.2〕	6 000 〔8.6〕	4 200 〔7.9〕	10 000~14 000
	輸入石油 (10 <sup>6</sup> kl)	310 〔77.4〕	460 〔68.3〕	580 〔58.8〕	485 〔63.3〕	500

の需要とは、各消費部門ごとに将来の省エネルギー可能量を分析し、それを集計して将来可能と考えられる省エネルギー量を差引いたものである。供給面からみて、将来この程度の省エネルギーは是非必要であるし、また政策的な誘導のもとでこの程度の省エネルギーは可能と考えられることから、将来の実需要としては省エネルギー後の数字を対象に考えることとする。産業部門の経済規模として、鉄鋼とエチレンについては外生的に将来の生産規模を推定した。粗鋼生産量として1985年は1億6800万t、2000年は1億8700万tと想定されている。

省エネルギー後の需要は、1985年で石油換算6.4億t、2000年には9.3億tになる。高度成長期にくらべて経済成長率もエネルギー消費の弾性値も小さくなる。そのため、エネルギー消費の伸び率は大幅な低下が見込まれるが、それでも2000年の需要は73年実績の2.4倍になる。この間産業部門全体としては2倍になるが、輸送や民生部門は約3倍と伸びが大きい。

#### 4.3 将来のエネルギー供給

先にあげた需要のうち、省エネルギー後の需要量を対象にして1次エネルギーの供給を考える。世界的な今後の供給事情からみて、日本のエネルギー供給選択の基本

は、①国内資源開発の優先、②原子力発電の推進、③輸入エネルギーとして石炭、LNGの増加による石油依存度の低下、④輸入石油については輸入先の分散、が必要である。

このような考え方で作成した将来の供給構成の基準ケースを表5に、また需要と組み合わせたエネルギーフローの想定図を、図8、9、10に示した。国内資源については、水力、地熱、石油・天然ガス、石炭など、相当の努力をばらつてもこれより多くの供給増加は望めないだろう。その結果、国内資源の比率は1973年の9%からむしろ漸減する。原子力は1985年3000万kW、2000年に1億kWとした。1983年末までの運開で認可されているものの合計が、現在29基2190万kWであるから、85年に3000万kWの実現はあやぶまれる。また2000年1億kWというのも、現状の原子力に関する諸制約がつづくとなれば、実現は容易ではない。しかし原子力の後退は日本のエネルギー問題にとって深刻であるため、この程度の規模に国民的合意を得たいというねがいをもちめて、発電規模を想定したものである。

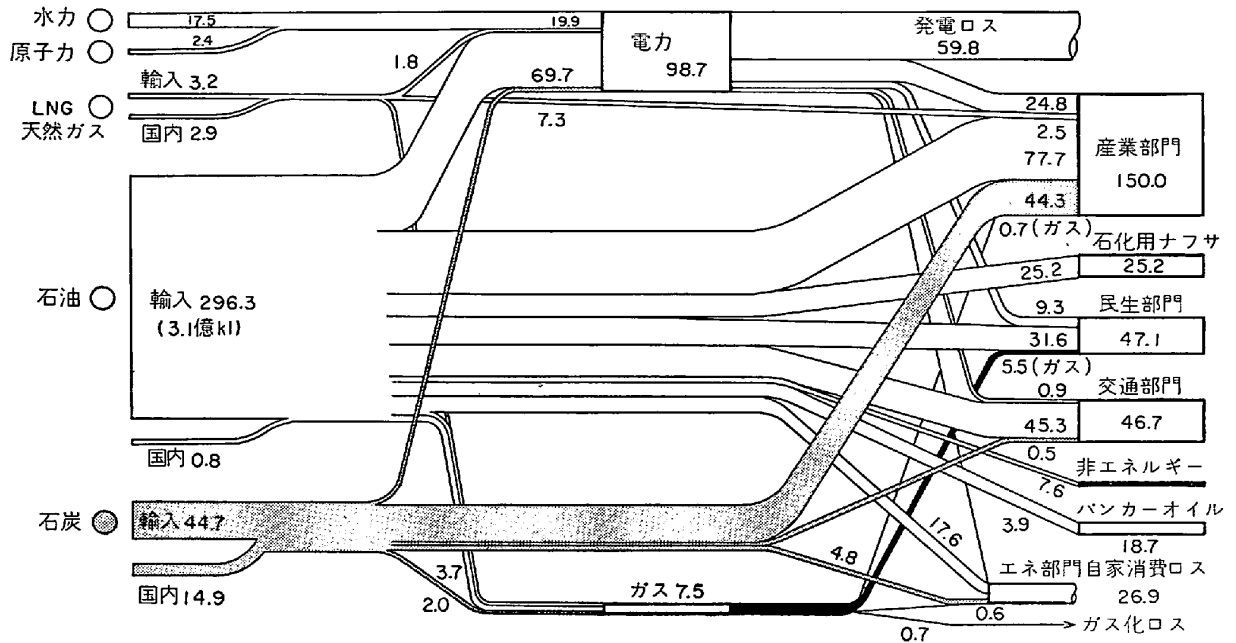
輸入エネルギーのうち石炭については、まず前述の粗鋼生産規模にもとづき、輸入原料炭として1985年8400万t、2000年9500万tとした。このほかにボイラー



用一般炭の輸入を見込み、1985年1000万t、2000年3400万tとしている。一般炭の用途は主に発電用がふえるとしているが、産業部門での利用が進めばもつと輸

入をふやすことが可能になる。

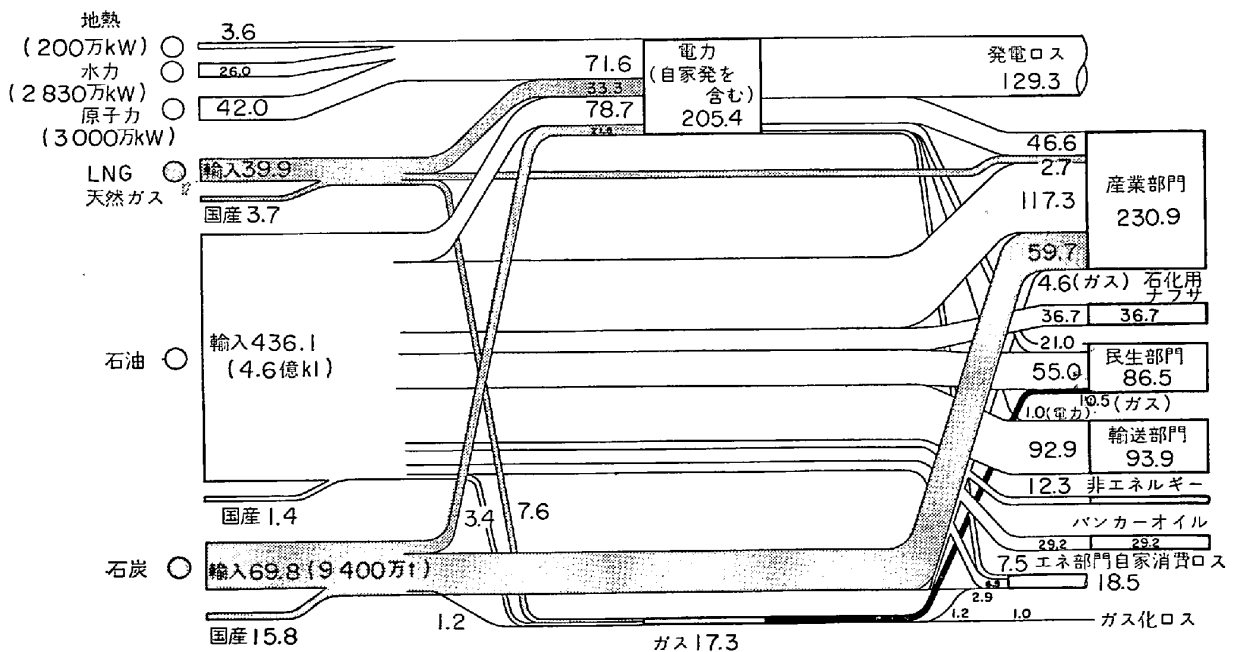
LNG輸入は1985年3000万t、2000年6000万tと見込んである。現状にくらべて大幅な増加である。



GNP.....91兆円(1970年価格)  
粗鋼生産量.....1億1850万t  
1次エネルギー供給量..... $383 \times 10^{13}$  kcal

人口.....1億800万人  
エチレン生産量.....410万t

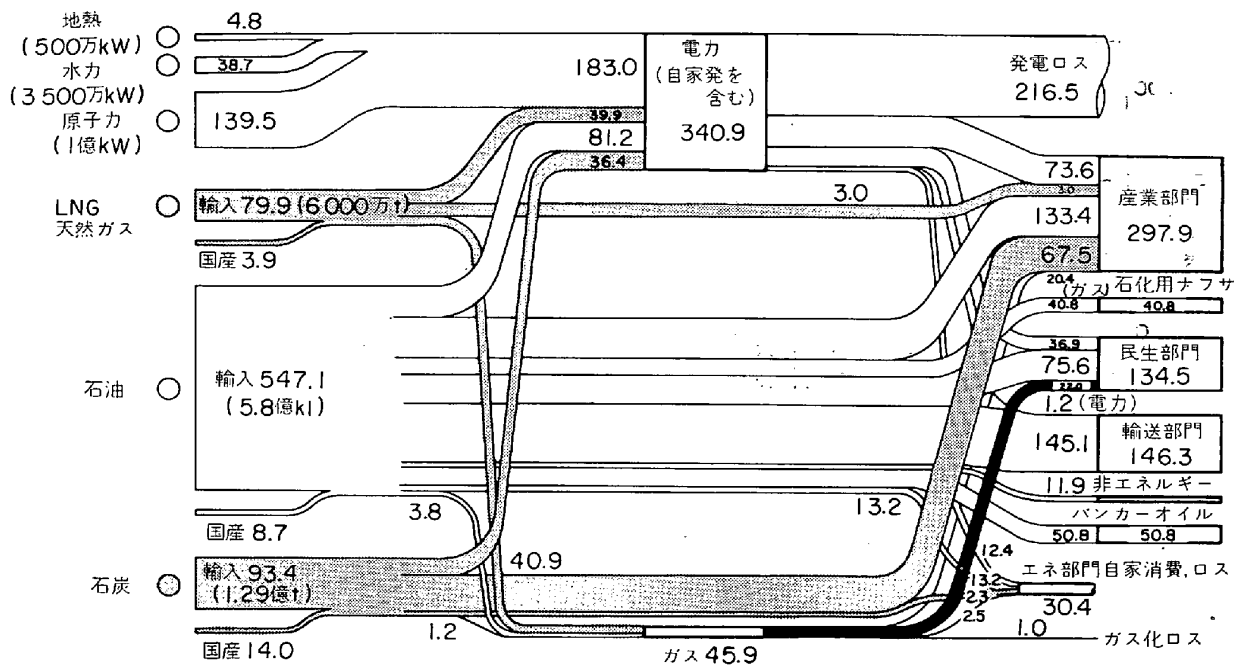
図8 エネルギーフロー図(1973年度実績)  
単位:  $10^{13}$  kcal (石油換算百万t)



経済成長率.....1975~1985年 平均6.2%  
人口.....1億2300万人  
エチレン生産量.....720万t

GNP.....170兆円(1970年価格)  
粗鋼生産量.....1億6800万t  
1次エネルギー供給量..... $638 \times 10^{13}$  kcal

図9 エネルギーフロー図(1985年度予測)  
単位:  $10^{13}$  kcal (石油換算百万t)



経済成長率…………… {1975~1985年 平均 6.2% } GNP……………303兆円 (1970年価格)  
 {1985~2000年 平均 3.9% }  
 人口……………1億3500万人  
 エチレン生産量……………780万t  
 粗鋼生産量……………1億8700万t  
 1次エネルギー供給量……………930×10<sup>13</sup>kcal

図 10 エネルギーフロー図 (2000年度予測)  
 単位: 10<sup>13</sup>kcal (石油換算百万 t)

LNG 開発にともなう問題はさきに記したが、日本がこれだけの輸入を実現した場合、電力、鉄鋼および家庭用中心の都市ガスなど、従来の分野だけでは消化しきれない。一般産業での利用を大幅に増大しなければならないが、そのためには、ガス化ターミナルから主要都市間、地方都市間をつなぐパイプライン網の建設をこれから進めなければならない。

このようにエネルギー源の多様化をはかつたのち、残余を輸入石油で供給する。それでも石油輸入は 1985 年 4 億 3 600 万 t、2000 年 5 億 4 700 万 t に増加する。全エネルギーに占める輸入石油のシェアは 85 年 68%、2000 年 59% で、輸入石油への依存からなかなか脱却できない。

4.4 将来の石油確保について

カーター大統領の新政策により、アメリカは石油輸入の削減を強力に進めようとしている。もしそれが実現すれば、日本は一国としては世界最大の輸入国になる。前項までの予測は、将来の石油供給量が OPEC 産油国、とくにサウジアラビアの政策によつて決定的に左右されるという、きわめて不安定な状態のなかで、日本は中東原油へ大きく依存をつづけざるをえないことを意味している。OPEC の産油量が 1985 年以後 4000 万 B/D を保つと仮定して、日本の石油輸入量との割合を求めると、1973 年が 18% であつたのに対し 1985 年 20%、2000 年 26% まで高まる。

輸入石油の一部は共産圏などから供給するとしても、OPEC 生産量の中で日本の比重はますます高くなる。従来のように、購売力さえあれば必要な石油は確保できると、安易に考えることはできない。将来の石油確保のためには、ソ連・中国などからの輸入や海外における油田開発を積極的にすすめ、また、産油国に対する経済・技術協力や社会開発への協力を推進する必要がある。これらに対する民間企業のリスクを、国全体でカバーするような方策が切望される。

OPEC 産油量のうち日本の輸入分の割合を、2000 年になっても現在と同じく 18% 程度と想定すると、今後中国などからの輸入を増やしたとしても、2000 年の輸入石油量は 4 億 t 強となろう。いま仮に 2000 年の石油輸入が 4 億 t にとどまつたとして、前項の供給構成を見直してみよう。輸入石油の減少分だけ他の燃料でおきかえようとする、原子力を 5000 万 kW 増やしたうえ、LNG 3000 万 t、輸入一般炭 6000 万 t の追加が必要である。その実現は容易ではない。2000 年に輸入石油 4 億 t というのは十分あり得る想定であるから、表 5 に示した基準ケースの供給構成より以上に、一層のエネルギー転換と消費の節約を指向すべきであろう。

5. エネルギー消費増大による環境への影響

日本の平地面積あたりエネルギー消費密度は、アメリカの 9 倍、フランスの 6.5 倍、西ドイツの 1.8 倍であ

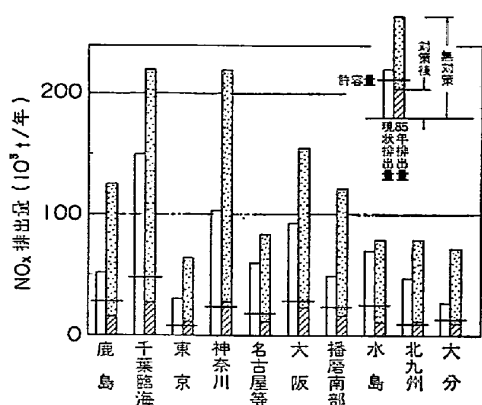


図 11 固定発生源からの NO<sub>x</sub> 排出量

る。2000年にはこれがさらに2.5倍近くなるから、現在定められている環境基準を今後守つてゆくことは容易でない。

ここでは例としてNO<sub>x</sub>に関する予測を紹介する。内閣総理大臣が指示した公害防止計画策定地域45について、1985年のNO<sub>x</sub>排出量を推定し、環境基準(0.02 ppm)達成のためにどのような対策が必要か検討したものである。NO<sub>x</sub>排出源としては固定発生源と移動発生源(群小煙源を含む)とがあるが、ここでは、固定発生源について移動発生源と分離して考察している。固定発生源に許容される排出量としては、45の地域それぞれについて、現状のNO<sub>x</sub>排出量のうち固定発生源からの割合と全排出許容量との積から求めた。NO<sub>x</sub>削減は、移動発生源と固定発生源が同率で削減されるものと仮定するわけである。1985年の地域別生産活動がほぼ今までの延長で分布されるとして、地域ごとのエネルギー消費を施設別、規模別に予測する。これとNO<sub>x</sub>排出原単位とから、各地域について1985年のNO<sub>x</sub>排出量を予測した。

結果の一部が図11である。図で対策後と示したのは、実行可能と考えられるぎりぎりの対策、すなわち重油換算で500 l/h以上の燃焼施設にはすべて排煙脱硝(脱硝率90%)をつけ、500 l/h以下の施設にはバーナーでの発生抑制対策(50%削減)を実施すると仮定したものである。図に示すように、これだけのきびしい対策を行なつても、東京、神奈川、北九州などは1985年には許容量をこえてしまう。45地域のうちでは、8つの地域が環境基準をこえるという予測結果であり、NO<sub>x</sub>対策に関しては技術的な限界に近いことを示している。500 l/h以上の施設で使用される燃料は全体の9割をこえる。これだけの施設に排煙脱硝装置をつけることは、技術的に可能であつたとしても、ぼう大な費用がかかる。45地域それぞれについて、NO<sub>x</sub>排出量を許容量以内にとどめるために必要なレベルまでの対策を施したとき、1985年までに必要な設備投資額は合計で約4兆円、こ

のうち鉄鋼は1.2兆円と試算されている。

NO<sub>x</sub>について0.02 ppmという環境基準を固守するとすれば、いくつかの地域においてはNO<sub>x</sub>発生量の少ない燃料に転換するか、エネルギー消費そのものを減らすか、他地域への分散をはかるかの選択に迫られることになる。2000年には45地域すべてに上記の対策を施し、NO<sub>x</sub>排出量を87%削減したとしても、45地域合計で許容量内にやつと抑えることができるという状況である。

## 6. 省エネルギー

以上のように、エネルギーの供給側からもまた環境問題の側からも、エネルギー消費節約は日本にとって重要な課題である。すでにこれまでの考察では、1973年の原単位水準にくらべて1985年で9%、2000年で15%の省エネルギーが可能という立場に立っているが、それは次のような調査によつて行っている。

産業部門では、主なエネルギー多消費産業について業種別に、①技術進歩、工程改善によるもの、②製品の付加価値向上による効果、③材料の輸入代替、などによる生産額あたりの原単位節減の効果を分析した。製造業全体についてこれを集計した結果は、1次エネルギー基準で1985年12%、2000年18%程度の省エネルギー可能性が計測されている。上記3つの要因のうちでは、②の効果が大きい。①については、既存技術およびすでに実用化の緒についたものが対象とされており、たとえば原子力製鉄のように、実用化見通しの判然としないものは除外されている。鉄鋼業の技術的対策としては、高炉炉頂圧回収タービン、コークスドライクエンチ、転炉ガス回収量の向上、連鑄、などの効果が大きいとされ、これらを含めた①の効果は、1985年6.7%、2000年9.7%とされている。

輸送部門での省エネルギーは、主として輸送機関別の分担率を、エネルギー効率のよい大量輸送機関重視の方向へ誘導することによつて達成される。分担率の推移がこれまでのトレンドで変化するとすれば、将来はますます乗用車、トラックの比率が高まることになるが、これらを現在の水準にとどめるとすれば、トレンド型で予測されるエネルギー需要にくらべて1985年18%、2000年27%の省エネルギーになる。民生部門でのエネルギー消費は、今後、暖冷房や給湯などで大きく伸びるといふ予測であり、建物の断熱化や太陽熱利用、また機器の適正使用による省エネルギー効果が大きいとされている。

物財やサービスの生産活動に関して、プロセスヒート、動力等として直接投入されるエネルギーのほか、原材料や設備などの形で間接的に投入されるエネルギーにも注目すべきである。図12は間接投入エネルギーも含めて、消費部門でのエネルギーの流れを示したものであ

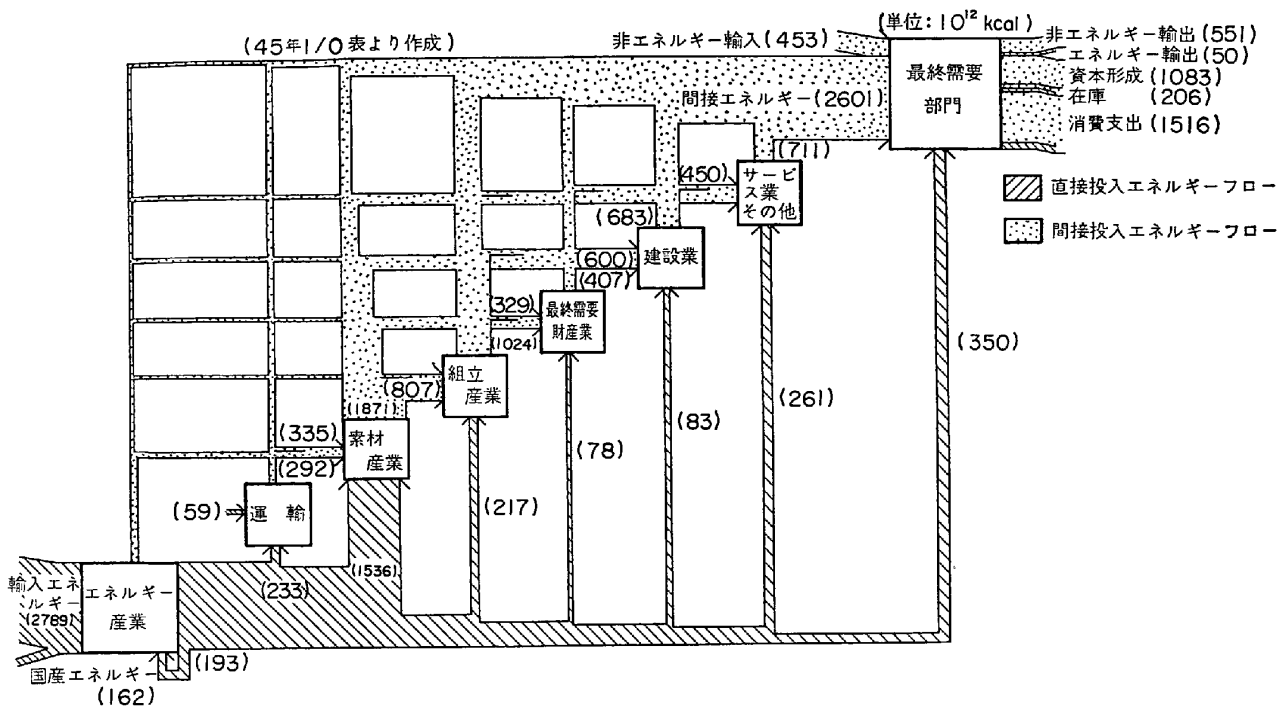


図 12 エネルギーフローよりみた産業ヒエラルキーと直接・間接エネルギーフロー

る。各消費部門の下から入る線が直接投入エネルギーで、左から入るのが間接投入エネルギーを示しており、エネルギーフローの上流にエネルギー産業があり、ついで素材産業、組立産業、最終需要産業というヒエラルキーの存在がみられる。素材産業が下流の産業に素材を供給しているということは、いいかえれば、下流部門の産業活動に必要なエネルギーを間接的に供給しているということである。従来、省エネルギーといえば、直接投入エネルギーのみが目目され、鉄鋼業など素材産業への風当たりが強かったが、エネルギーの総合的利用という観点から間接エネルギーをも視野においた省エネルギー対策が考えられるべきである。

省エネルギーは、経済・社会全体のありかたにかかわる課題である。これまでのような幾何級数的な消費増加は、いずれ大きな障害を生むことになる。21世紀に向つて、エネルギーゼロ成長社会の実現を目標に社会的合意を高め、政府の施策を推進する必要がある。

## 7. 結 言

2000年までという長期を視野においた予測は、多くの前提や想定にもとづくものである。しかし、長期のエネルギー需給を展望することによつて提起される多くの問題について、われわれは正しい警告と受けとめるべきであろう。それぞれが到来する時期はもつと先かも知れない。しかしそれを乗り越える対策については、いままですぐにでも準備に着手すべきである。エネルギー問題への対策は、代替燃料の開発にしても省エネルギーにして一効率化と石油からの脱却という日本全体の命題に範を

も、その効果があらわれるまでのリードタイムは長い。

戦後つくりあげてきたエネルギー多消費構造を省エネルギー型に転換し、輸入石油に依存した供給システムを多様な供給源に変えてゆくためには、長い時間を必要とする。そのためには政府による総合的政策の確立がまず要望されるが、民間の立場からみても、今後は高価で利用上不便なエネルギーの利用もある程度やむを得ないという覚悟が必要であろう。かつての流体化革命は、安価で使いやすい石油への転換であり、市場でのインセンティブにしたがって進むことができた。しかし、これからの転換は国民経済的に大きな負担を強いられることになるだろう。国全体として、長期の利益と安全保障のために短期の経済性を犠牲にするほどの決意が必要であろう。

最後に、鉄鋼業への示唆を汲みとれば次のようなことが指摘されよう。まず省エネルギーが重要な課題である。環境問題に関して、とくに NO<sub>x</sub> 対策については、削減技術開発への努力は当然つづけるとしても、0.02 ppm という環境基準はきわめてきびしい。供給面では、石油系燃料の削減と一般炭の利用増加というニーズが高まろう。また排エネルギー回収などによる購入電力の低減も要請されるだろう。

鉄鋼業は、現在日本の全エネルギーの 18% を消費している。将来の粗鋼生産規模がどのくらいになるかによつて、日本のエネルギー需給への影響は大きい。鉄鋼業がこれからも日本経済の主力を担うためには、エネルギーがこれからも日本経済の主力を担うためには、エネルギー一効率化と石油からの脱却という日本全体の命題に範を

示す必要があるだろう。

文 献

- 1) 総合研究開発機構; 長期エネルギー戦略 (仮題)  
(日本経済新聞社 1977年9月)
- 2) WAES; Energy, Global Prospects 1985—2000  
(マグローヒル社 1977年5月)
- 3) 長期エネルギービジョン研究会; 我が国エネルギー問題の長期展望 (1976年12月)
- 4) OECD; World Energy Outlook (1977年1月)
- 5) EXXON; World Energy Outlook (1975年12月)