

# Business Discussion Paper

No.1

Nov.1997

## 世界経済の発展とエネルギー制約<sup>1</sup>

國府 靖 ・ 嶋田 健

### 要旨

現代の世界経済は、膨大なエネルギー投入を前提として成り立っている。その中でも重要な位置づけとなっている化石エネルギーの利用は、資源が有限であること、地球温暖化の要因となる二酸化炭素を排出することなどの問題があり、過度の依存は将来における経済成長の阻害要因になりかねない。しかし、現段階でエネルギーの使用を固定化、もしくは削減は、発展の段階に差異のある国際経済では難しいであろう。

もっとも、資源の枯渇という問題は、石炭、ヘビーオイルなどの埋蔵量を踏まえれば、百年単位での利用が可能である。そのため、途上国のエネルギー消費を抑制し、経済を停滞させるのではなく、成長維持による1人当たりの所得の向上を容認することで、GDP原単位当たりのエネルギー投入量を低下させることが可能である。なぜなら、所得の向上は、環境への意識向上、人口抑制を促し、また、エネルギー効率の高い製品購入、インフラの整備を進める余力を生むからである。

---

<sup>1</sup> 小論は、河上記念財団主催の第37回懸賞論文に応募した論文に若干付け加えをしたものです。

## 内容目次

はじめに	3
第1章 古代文明とエネルギーの制約	4
第2章 エネルギー需給の今後の見通しと影響	4
第1節 世界経済の成長とエネルギー需給の見通し	4
第2節 石油生産の頭打ちと代替エネルギーの動向	5
第3節 35 - 50ドルで推移する石油価格	6
第3章 在来型エネルギーの問題点	6
第1節 政治的に不安定な中東諸国	7
第2節 環境負荷の大きい石炭	7
第3節 エネルギー投入量の大きい原子力発電	8
第4章 所得水準の向上とエネルギー消費のジレンマ	9
第1節 所得の増加とエネルギー消費の関係	9
第2節 「衣食足りて、礼節を知る」	11
第5章 電力化率の向上とネットワーク社会	12
第1節 電力化がもたらすエネルギーの効率的な使用	12
第2節 ネットワーク社会の到来と移動の抑制	14
a. 移動を抑制するネットワーク社会	14
b. エネルギー効率の高いバーチャルリアリティ	15
第6章 エネルギーの効率的な利用と我が国の役割	15
第1節 公的機関の役割	16
第2節 民間サイドによる役割	16
むすび	17
参考文献	18

## はじめに

現代の経済活動は、大量のエネルギー投入を前提に成り立っている。産業革命以降、幾何級数的に増大したエネルギー消費は、過去の生命活動の遺産である石油や石炭などの化石燃料を自らのエネルギー体系に組み込むことで維持しているといえる。この化石燃料に立脚した現代文明は、今や世界の隅々にまで広がり、毎年百億トンものエネルギーを消費しているのである。

最近ではアジア、特にアセアン諸国、中国の発展は著しく、21世紀初頭の20年間は年率5%以上の経済成長を維持していくものと予想されている。これら諸国に共通した原動力とは、我が国がかつて経験し、現在も継続している大量消費文化への願望であり、東アジアは世界の成長セクターとして躍進を続けている。しかし、所得の増加、大量消費の基づく経済成長は、大量のエネルギー消費を前提としている。今後も持続的な成長を維持していくには、安定的なエネルギー供給は不可欠であり、主要なエネルギー源である石油が低価格で推移していることに、高成長の一因があるといえる。

このような状況下、有限である化石燃料に過度に依存することは、不安定要因になりかねない。21世紀初頭には、石油の供給が限界に達すると予想されており、天然ガス、石炭などの代替エネルギーへの関心が高まっている。もっとも、これら代替エネルギーも有限、もしくは供給には限りがあり、問題の根本的な解決ではなく、先送りに過ぎない。同時に二酸化炭素排出による地球温暖化など環境問題も顕在化しつつあり、膨大なエネルギー消費に立脚した大量生産、大量消費による豊かなモノに囲まれた生活の在り方が懸念されており、省エネルギー、低成長の社会の美德が一部で叫ばれている。

しかし、この主張は、一定の生活水準をすでに享受している先進国側から出された論理であり、食べることに欠く人々が億単位で存在する途上国に対して新たな社会像の提案とはなっていない。このままでは、発展途上国は現在の先進国で実現している生活水準を目標として、それらを達成したと認識するまで成長重視、大量消費というエネルギー依存型の経済活動を持続するであろう。

そこで、小論では、現在の世界経済の拡大という流れにおいて、石油、石炭、天然ガスなど化石燃料の供給が将来の経済成長に与える影響について言及するとともに、エコロジーの立場から新たな時代に対応するための処方せんを提供し、その中で先進国で最もエネルギー効率が高いとされている日本の役割について論じてみたい。

## 第1章 古代文明とエネルギーの制約

古代より人類は、多くの文明社会を築いてきた。しかし、現在に至る数千年にも及ぶ全歴史を通じて存続し続けた文明は存在しない。北方の騎馬民族により滅ぼされた中国の王朝、スペイン人により滅ぼされた米大陸の文明など、異質な文明同士の衝突により滅んだケースは数え切れない。つまり、個々の文明は幾度となく栄枯盛衰を繰り返し、現在の姿

に至ったのである。

その繰り返す歴史の中で、一時代を代表する文明が、必要とするエネルギーを確保できなかったことで衰退するという事実もある。例えば、クレタ文明がある。地中海に浮かぶクレタ島を拠点に、紀元前30世紀から同15世紀まで栄えたクレタ文明は、地中海世界における商業活動の中心的な存在であった。経済的な発展に伴い人口が増大し、当時主要なエネルギー源であった木材を過剰に伐採した結果、島内の森林資源が枯渇、その後衰退した。資源の枯渇により衰退は、レバノン杉で栄えた文明や小アジアのミレトス、エフェソス等の港湾都市などにも同様に観察できる。

一方、エネルギー問題を克服した文明も存在する。ローマ帝国は帝国内の人口増加に応じて木材資源に対する需要が増大していたが、森林資源をイタリア半島だけではなく、海外属領にまで求めたことで、エネルギーの制約による衰退を避けることができた。同様に、産業革命後の英国は森林資源から石炭へとエネルギー源を転換することで、成長を維持することができた。このケースは、別に地域、別の形態の資源に求めることでエネルギーの制約を克服したというケースである。

しかし、現代文明は、地球の隅々にまで広がり、資源を使い尽くそうとしている。ローマにとっての周辺地域、イギリスにとっての海外植民地は、現代文明には存在しないのである。従って、他の地域へと資源を求めることのできない現代の文明にとって、この問題はより深刻なものであり、今後の経済成長、発展を阻害しかねない要因である。

## 第2章 エネルギー需給の今後の見通しと影響

まず、今後のエネルギー需給の動向について言及する。2度にわたる石油ショック後、主要なエネルギー消費国においては、石炭、天然ガスなどの代替エネルギーの利用が進み、一次エネルギー需要に占める石油の割合は低下している。そのため、第2次石油ショック直後、一部の研究機関で予測された1バーレル当たり100ドルといった数字は非現実的になりつつある。一方で、世界のエネルギー需給は比較的安定しているものの、成長セクターであるアジア諸国を中心に需要が拡大し、石油価格は徐々にだが上昇し続けている。80年代中頃の石油価格の暴落を経て、現在、石油価格は1バーレル当たり20ドル前後で推移しているが、21世紀初頭には石油生産が頭打ちになると予測されており、今後の動向が注目されている。

### 1) 世界経済の成長とエネルギー需要の見通し

E I A (Energy Information Administration/Department of Energy) によれば、2010年までの世界の経済成長は、2 - 3%程度の成長率で推移すると予測されているが、成長著しい中国、アセアン諸国を中心としたアジア諸国では、今後15年間にわたって5 - 6%以上の高成長を持続するとしている。

一方、1990年 - 2010年における一次エネルギー需要の伸びは、年率でOECD加盟国1.3%、OECD非加盟国1.8%の増加が見込まれている。特にアジアのOECD非加盟国は、世界全体の伸び率を大きく上回る3.5%とされており、高度成長を謳歌しているアジア諸国を中心に世界のエネルギー需要は今後とも拡大すると考えられる。

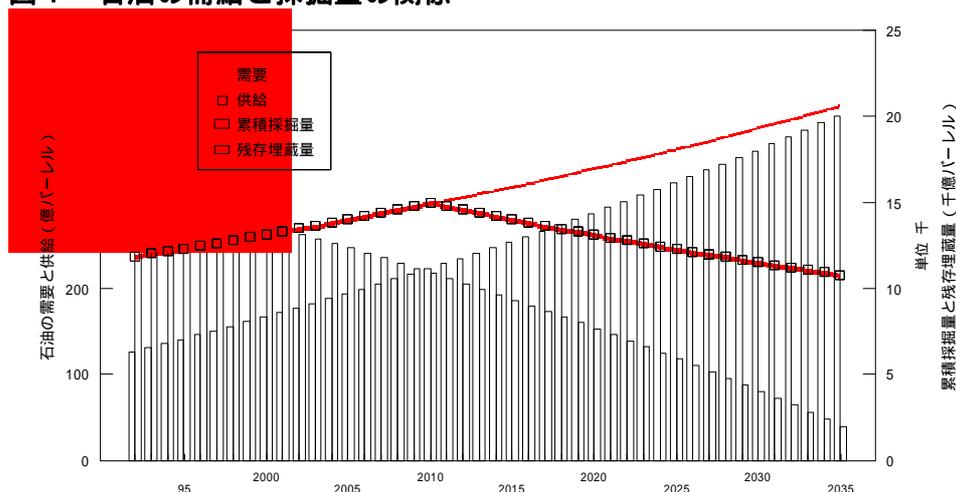
ここ数年、アジア諸国の1人当たりの国民所得は高い伸びを示しており、エネルギーを大量に消費する先進国型の産業構造へと転換しつつある。成長著しいこれら諸国のエネルギーの潜在的需要は大きく、世界のエネルギー需要を押し上げる可能性がある。特に所得の増加は電気製品の普及率上昇とモータリゼーションのより一層の進展をもたらすことで、必要とされるエネルギーの総量を加速的に増大させる可能性がある。モータリゼーションの進展はガソリン、軽油などの特定の石油製品の需要を増大させるため、今後輸送用エネルギーの逼迫により軽質油を多く含んだ油種（例えば、インドネシアのミナスなど）の価格が上昇すると予想される。

しかし、所得の増大はエネルギー効率の高い製品の購入余力を高める上、出生率の低下をもたらす効果があるため、これら諸国の成長を否定するのではなく、むしろ高める方向で対処することも可能である。

## 2) 石油生産の頭打ちと代替エネルギーの動向

石油の累積探掘量は6300億バレル、究極可採埋蔵量は2.2兆バレルと推測される(図1)。累積探掘量が究極可採埋蔵量の半分を上回った時点がフローの最大採掘量となるため、石油の供給は2010年前後を境に減少すると予測されている。<sup>2</sup>

図1 石油の需給と探掘量の関係



資料：『最新エネルギー経済入門』を参考に作成

<sup>2</sup> 富舘、木船 [ 1994 ]

今後、エネルギー需要が確実に増加するならば、石油に替わるエネルギー資源の開発が不可欠であり、天然ガス、石炭、ヘビーオイルなどの代替エネルギーによる供給が期待されている。特に石炭の埋蔵量は豊富であり、今後需要の増加が見込まれる発電用エネルギーとして積極的な利用が期待されている。実際、先進国の発電用エネルギーに占める石油の割合は4.8%と低く、石油ショック後、石炭、天然ガス、原子力による発電へと転換が進められているが、高い電力需要の伸びが予想される中国では、すでに石炭火力による発電の依存度が高くなっている。しかし、中国の石炭による火力発電はわが国に与える酸性雨被害の問題に加え、単位熱量当たりの二酸化炭素排出量が大きいため、地球の温暖化を加速させる恐れがある。

原子力発電もある程度の増加が見込まれるが、先進国を中心に世論の反発が強く、スリーマイル島の事故以降米国では新規の原発建設が完全にストップしている。わが国でも高速増殖炉等による事故に加え、廃棄物の処理等に必要とされる多額な資金を考慮すれば、大幅な拡大には疑問が残る。ダム建設、水力発電もむしろ水資源の確保という立場から語られるべきであり、立地場所、環境問題など、エネルギーの供給源としては限界がある。

また、二酸化炭素排出量や効率性を考慮すれば、電力以外で高い伸びが予想される輸送用エネルギーとして天然ガスの扱いが注目されているが、93年時点の需要量では可採年数は60年程度であり<sup>3</sup>、これ以上の依存は不可能であろう。

### 3) 35 - 50ドルで推移する石油価格

石油価格の上昇は採算価格の高い代替エネルギーの供給拡大を促すであろう。代替エネルギーとして、膨大な埋蔵量を誇るオイルシェール（北米地域における推定埋蔵量は石油の全埋蔵量に匹敵する）、オイルサンドなどが考えられるが、採掘には大量の水を使用する上、大量の土砂を排出するなど環境面での制約が大きいが、石油価格の動向次第では有効な資源として活用できるであろう。また、第2次世界大戦中に技術が確立した石炭の液化も有望視されており、石油価格が1バーレル35 - 50ドル程度<sup>4</sup>に上昇した段階で両者の利用が活発になるため、石油価格はこれ以上上昇しないことが予想される。

従って、石炭への転換を進めるなど、この価格水準に耐え得るエネルギー需給体制、経済システムを確立すれば、経済成長は持続できるものと考えられる。

## 第3章 在来型エネルギーの問題点

上記で指摘したように、石油価格の高騰という形で世界経済に一時的に影を落とすこと

---

<sup>3</sup> 資源エネルギー庁長官官房企画調査課 [ 1994 ]

<sup>4</sup> 富舘、木船 [ 1994 ]

が考えられるものの、生産・利用コストとの比較において石油価格の高騰が他の代替エネルギーへの転換を促進し、可採埋蔵量の点で優位性を持つ天然ガス、石炭、オイルシェール、ヘビーオイルなどが利用されるであろう。

しかし、石油に過度に依存した現在のエネルギー消費構造には再考の必要があり、多少のコストを払うとしても化石燃料の節約には今まで以上に注力すべきであり、その理由としては、以下のようなことが挙げられる。

### 1) 政治的に不安定な中東諸国

エネルギー資源からみた我が国は、先進国の中でも「持たざる国」の代表である。エネルギー資源はほとんどすべてを他国からの輸入で賄っており、中でも一次エネルギー消費に占める石油の割合が高い。

特に、石油の輸入に関して中東諸国からの比率は、1985年当時の69.2%の依存度から、1991年には76.9%にまで上昇している<sup>5</sup>。このことは、我が国が石油資源の大部分を政治的に不安定な中東諸国に大きく依存していることを示している。この状況は、たとえ代替エネルギーとして天然ガスを利用したとしても大きく大きく変わることはないと考えられる。

一方、「持てる国」であるはずの中国も急拡大するエネルギー需要に自国の石油・石炭の生産だけでは自給できず、1996年にも石油の輸出国から純輸入国へ転落している。この状況は他のアジア諸国にも当てはまり、石油の輸入は増産余力のある中東諸国への依存度を高めることになる。

そのため、冷戦の終結に伴う国際情勢の流動化により、突発的な地域紛争の可能性が以前に増して高まっている為、中東地域からの石油の安定供給が保証されなくなることも考えられる。石油価格の上昇にも耐えうる多様化したエネルギー体制、及び高いエネルギー効率を追求しなければならない。加えて、代替エネルギーである天然ガスの価格も石油の需給に密接に関係しており、旧ソ連、中東地域に埋蔵量の7割以上が集中している。天然ガスには環境への負荷が小さいというメリットがあるが、経済成長に必要なエネルギー供給の安定化には貢献しないであろう。

従って、中東地域の政治情勢如何では、2010年の石油生産頭打ち以前にエネルギー供給に影響を与える可能性があり、エネルギー需給体制の多様化を積極的に進める必要があるといえよう。

### 2) 石炭エネルギーの環境負荷は大きい

今後、アジア・太平洋地域において、石油による発電比率が1993年の15.4%から2010年には4.8%へ低下する半面、石炭発電は45.0%から49.9%へ上昇

---

<sup>5</sup> 通商産業調査会 [ 1994 ]

すると予想されている<sup>6</sup>。これは可採年数が200年超といわれる石炭資源の安定的な供給が当分の間期待できるためであり、慢性的な電力不足に悩む中国などは、自国産の石炭を使うことで国際収支に影響を与えずに電力需要を賄うことができ、エネルギー生産量の74%、エネルギー消費量の76%が石炭利用となっている<sup>7</sup>。

エネルギー供給が安定化する半面、石炭の利用は二酸化炭素排出などの環境への負荷も大きく、利用に際しては外部コストの負担も考慮しなければならない。これは石油、天然ガスと比べ、石炭が炭素のみの構成であるため、二酸化炭素の排出の割に、発熱量が低いことに起因している。

近い将来の石油価格は確実に上昇するため、今後豊富な石炭資源による発電比率が上昇することが予想される。しかし、その場合には石炭を気化あるいは液化することにより、クリーンな利用方法を開発することが必要である。しかし、根本的な解決法とはいえず、生産過程において大量のエネルギーを投入しなければならず、二酸化炭素を排出すること、有限であることを踏まえれば、暫定的なエネルギー源としてとらえるべきであろう。

従って、石炭を中心とした代替エネルギーの利用により経済活動への影響を抑えることができるものの、根本的な問題解決とはならず、むしろ暫定的な問題処理策として考えるべきであろう。

### 3) エネルギー投入量の大きい原子力発電

原子力発電は、わが国のエネルギー政策において重要な位置づけになっている。図2は、1990年6月に改定された長期エネルギー需給見通しであり、1989年度の実績値から2010年度を通じて原子力発電の比重が高まっていることに特徴がある。二酸化炭素による地球温暖化が本格的に指摘されつつある昨今、原子力発電のクリーンさが強調されている。

しかし、わが国では立地場所が限られていること、発電コストが高いこと、核廃棄物の処理にコストがかかることなど、原子力発電に関する問題点が指摘されている。しかし、最も重要なのは、原子力による発電のエネルギー収支が適切な水準を維持しているかであろう。因みに、ウラン235を3%含んだ濃縮ウランを1トン程度生産するには、アメリカの標準品位の鉱山(ウラン濃度0.208%)の場合、8,500トンもの石油を必要とすることである<sup>8</sup>。また、発電所設備、使用済核燃料保管施設などにも同様のエネルギー投入を必要とするため、エネルギー収支はかなり低下する。

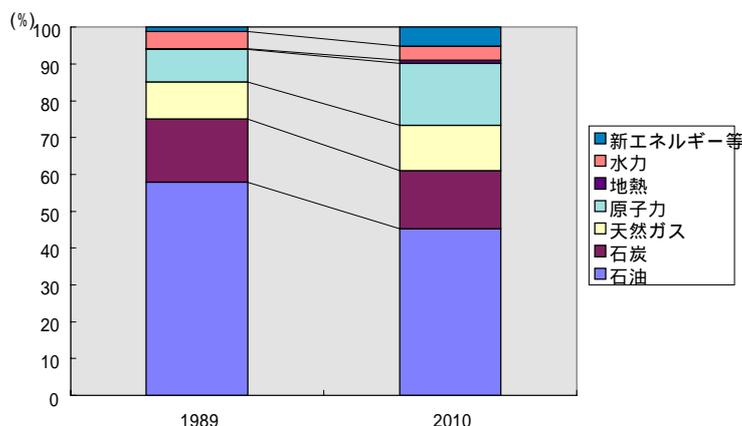
---

<sup>6</sup> フェレイドウン・フェジャラキ [1995]

<sup>7</sup> 唐沢 [1995]

<sup>8</sup> 室田 [1979]

図2．今後のエネルギー需要の見通し



資料：『総合エネルギー統計 平成5年版』

エネルギー収支の問題があるものの、実際には原子力発電は、わが国における今後のエネルギー供給の柱であるとされている。しかし、原発の相次ぐ事故、老朽化した施設の廃棄にかかるコスト、計画通り進まない立地などを考慮すれば、原発への過度な依存は危険であり、別の方策を求めることが望ましい。

## 第4章 所得水準の向上とエネルギー消費のジレンマ

豊富な代替エネルギーを利用すれば、エネルギー供給の限界性による経済成長の制約という事態は当面回避できるであろう。しかし、第3章で述べたように、化石燃料を使い続けることには様々な問題がある。政治情勢の変動、環境への負荷を考慮すれば、天然ガス、石炭など豊かな埋蔵量を有するものであっても、これ以上依存度を高めることは安定した経済成長を阻害しかねないのである。いくら膨大な埋蔵量があろうと過去の生命活動の遺産である化石燃料は有限であり、遅かれ早かれいずれは使い尽くしてしまうのである。

その対応策として、太陽エネルギー、核融合、バイオマスなどの再生可能エネルギーの利用が最も有望であろう。しかし、これらによるエネルギー供給は依然としてコスト面、技術面において制約があり、途上国を含め早急な導入は不可能であろう。従って、新しいエネルギー源が開発されるまで、有限である化石燃料に依存せざるを得ず、今後これらの資源をいかに効率的に利用するかが課題となる。

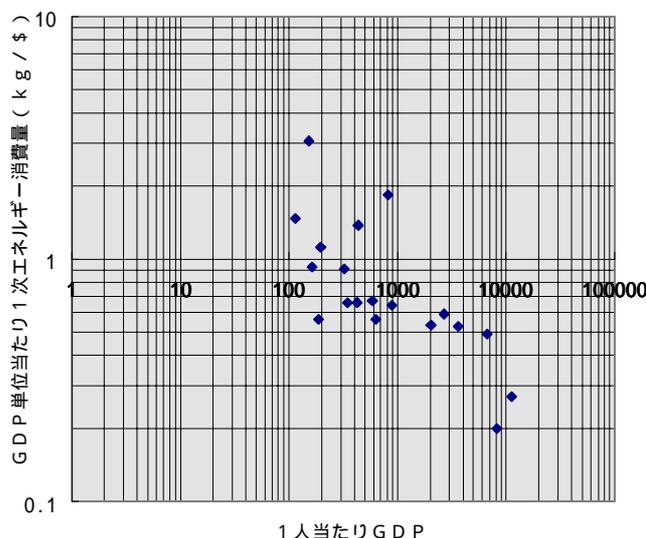
### 1) 所得の増加とエネルギー消費の関係

エネルギーの利用にあたって重要なのは、どの程度の量を利用しているのかということと、エネルギーをどの程度効率的に利用しているかである。つまり、稀少なエネルギー資源を効率的に利用し、エネルギーの利用により獲得でき得る便益でもって、人々の効用をいかにして極大化するかが問題となるのだ。今後はより少ないエネルギー消費で、より多

くの付加価値を生むことを追求する必要がある、その付加価値の増大により研究開発費、及び高額な再生可能エネルギー導入への支出を賄わなければならないのである。

G N P原単位に対する一次エネルギー消費は、途上国が多く、先進国が少なくなっている（図3を参照）。これは一定の付加価値に対して、どの程度のエネルギーを必要するかを示しており、途上国よりも先進国の方が、この尺度に従えばエネルギー効率が高いのである。また、図2は、アジア主要国における1人当たりG D PとG D P当たり一次エネルギー消費量の関係を表している。この図に従えば、1人当たりG D Pと、単位G D P当たり一次エネルギー消費量は負の相関関係にあり、所得の増加は一定単位のエネルギー消費をもたらす付加価値を増加させる効果があるといえる。

**図3 アジア各国の経済水準とエネルギー効率の関係**  
(数値は対数値)



資料：『アジア地域とエネルギー利用と環境予測』

この背景には、米国を中心に先進国は産業の空洞化が進んでおり、第3次産業のウエートが高まっていることがある。製造業が人件費の安い途上国へと流出し、これら諸国で生産された製品が先進国へと輸出され、先進国は膨大な消費社会を維持している側面がある。必然的に多大なエネルギーを必要とする製造業比率の高い途上国はG D Pに対する一次エネルギーの消費量が高くなり、一定の付加価値に対してエネルギー効率は悪化するのである。将来必要とされる研究開発費を賄うのは、あくまでこの付加価値によるもので、どのような産業構成であるかについては言及しない。

所得水準の向上がもたらすエネルギー利用の効率化の要因には、国民の教育の浸透によりエネルギー、環境問題への意識が向上すること、所得水準の高い国に所属する企業においては、競争力維持を目的に、割高な人件費による製品原価の上昇する避けるために、

コストであるエネルギーの利用効率化へのインセンティブが働くこと、価格が相対的に高いが、燃費効率の高い自動車、あるいは消費電力の小さい家電製品などエネルギー効率の高い製品の購入が可能であること、政府、企業などにエネルギーの効率利用の研究開発費を支出するだけの余力が発生すること、出生率の低下をもたらす、人口の増加を抑制することなどが挙げられる。

については、途上国では補助金などによりエネルギー価格を意図的に下げており、過度にエネルギーを利用するケースが多くみられる。また、については、エネルギー効率の高い製品は、製造段階で過剰なエネルギーを消費していることも考えられるが、製造段階におけるエネルギー消費が製品価格に反映されている限り、購入価格と購入後のエネルギー支出を加えたものが、エネルギー効率の高い製品において安くすむのならば、高効率の製品の方がトータルのエネルギー効率が高くなるといえる。

一方、所得水準の向上はエネルギー利用の効率化を高める半面、モータリゼーションの進展により運輸部門におけるエネルギー消費が増大すること、豊かになるに従い電力化率が上昇し、火力発電などのエネルギー転換によるロスに占める割合が大きくなること、所得の増加は燃料価格の上昇による需要抑制効果を減殺してしまうことなどの要因により、一人当たりのエネルギー消費を過度に増大させる可能性がある。

つまり、所得水準の向上は「諸刃の剣」である。付加価値に対するエネルギー効率を高める一方で、一人当たりエネルギー消費を増大させるのである。しかし、所得水準の向上と人口の増加率には密接な関係があり、将来のエネルギー需要を抑えるための重要なファクターとなろう。

## 2) 「衣食足りて、礼節を知る」

先進国と途上国の所得格差を固定化してしまう低成長への意図的な移行は、途上国にとって受け入れることはできないであろう。経済発展の先行した先進国が過去において膨大なエネルギーを利用した結果、現在の先進国の所得水準を築けたという事実がある限り、先進国は途上国のエネルギー消費を抑制する権利は全くない。逆に先進国だけが成長を抑制し、エネルギー消費を制限することは、構造的に多くの失業者を抱え、生活水準の悪化（外部不経済を無視した場合）など社会問題が表面化している先進国全ての国民に同意を得ることはできないであろう。90年レベルの二酸化炭素排出量で固定化しようとした案も一部の国の反発で実現しないのが現状である。

従って、経済成長を抑制することを目指し、エネルギー消費の総枠を規定したのでは途上国と先進国との利害が対立するため、エネルギー利用の抑制はエネルギー利用の効率化を促進する点に重点を置き、途上国を中心とした一人当たりのエネルギー消費量の増加については容認しなければならない。環境問題を考慮に入れれば、早急な対応が求められるのだが、第1章で述べたように、石炭などを利用すれば、経済成長の維持に必要な当面のエネルギー供給に支障をきたすことはないであろう。

エネルギーに関する南北問題は互いに同じ土俵に立って議論を行っていないことも事実である。途上国には明日の生活にも事欠く人々が数多く存在する一方で、先進国は膨大な浪費を続けつつ、環境維持のため世界のエネルギー消費を抑制するなどといった途上国にとっての理想論を展開している。先進国は、途上国の発展を容認し、途上国をエネルギーや環境問題に対処できる余裕のある国へと1国でも多く引き上げる必要がある。

つまり、途上国の人々にとって、エネルギーの稀少性を理由に、経済成長の否定をすることはできないのである。中国の故事で「衣食足りて礼節を知る」というように、まずは先進国と発展途上国の間に見られる生活水準の格差の是正が必要であり、その前提において資源保護に関する世界的なコンセンサスは初めて確立するのである。

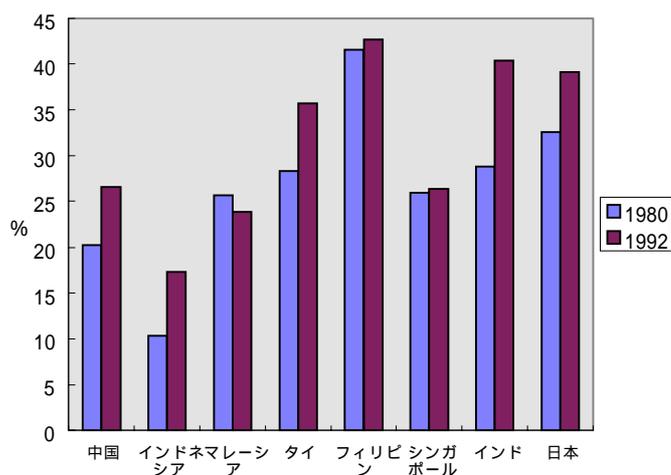
## 第5章 電力化率の向上とネットワーク社会

第3章では、エネルギー利用の効率を高める上で必要なのは、所得水準の向上とそれに伴う意識改革であると述べた。特に所得水準の向上は、様々な意味において有効であるといえる。ここでは、その例として電力化率の向上とネットワーク社会の構築について述べてみたい。

### 1) 電力化がもたらすエネルギーの効率的利用

上述の通り、所得水準の向上がもたらす省エネルギー効果はある程度認められるが、それがもたらす最も大きな効果の一つに電力化率の向上があるといえる。図4はアジアの主要国の電力化率の推移が示すように、通常、経済発展に伴い電力化比率は上昇していく。

図4 アジア各国の電力化率



資料：資源エネルギー庁編『アジア・エネルギービジョン』

一見、電力化率の向上とエネルギー効率の上昇は相反するものと考えられる。例えば、

暖房器具であるエアコンとストーブとを比べた場合、エネルギー効率は後者の方が優れている。特に発電の段階で60%前後のエネルギーロスが生じる電気による暖房は極めて効率の悪い道具であるといえよう。しかし、電力化には、発電に必要とされるエネルギーは石炭などの化石燃料から太陽エネルギーといった具合に多様化が図れるため、エネルギー供給の安定性を生むことなどの利点がある。

また、力学エネルギーで考えた場合、電気エネルギーを利用したモーターが90%に近いエネルギー効率を示すのに対して、内燃機関であるガソリンエンジンは、燃焼により生成したエネルギーの20 - 30%程度しか動力に伝えることができない(図5)。車内で暖を取ることを目的としているのなら別問題だが、通常残りの部分は全て熱として浪費されてしまう<sup>9</sup>。

図5 カエネルギーへの変換

エネルギーの変換	変換形態	効率
1 発電機	力学E 電気E	~ 99%
2 大型モーター 乾電池	電気E 力学E 化学E 電気E	90%以上
3 大型蒸気ボイラー	化学E 熱E	80~90%
4 小型モーター 燃料電池	電気E 力学E 化学E 電気E	60~70%
5 蒸気タービン	熱E 力学E	40~50%
6 ディーゼルエンジン	化学E 熱E 力学E	30~40%
7 自動車エンジン 蛍光灯ランプ	化学E 熱E 力学E 電気E 可視光E	20~30%
8 太陽電池	電磁波E 電気E	10~20%
9 白熱電球	電気E 可視光E	10%以下

電気エネルギー生成時におけるロス、つまり熱の発生をいかに抑え、またその熱をいかに再利用するかで電気エネルギーの効率性は格段違ってくる。その対応としては、燃焼効率の高い発電機、例えば天然ガスとガスタービンを組み合わせた発電システムを構築するケースが考えられ、技術的には50%近いエネルギー変換効率を得られている。また発電による廃熱を利用するコージェネレーションを導入すれば、極めて高いエネルギー効率を獲得することができるのである。

途上国にとって、化石燃料に依存したモータリゼーションの進展により今後価格が上昇するであろう石油に依存し続けることは、経済成長の低下へとつながる可能性がある。それに対し、多様なエネルギー源を選択できる電力化率の上昇は、経済成長の安定化に結びつくといえる。しかし、それには効率的な電気製品、電気自動車を購入するだけの所得や、エネルギー転換効率の高い発電設備、及びコージェネレーションなどのインフラ整備が不可欠である。従って、成長著しいアジア諸国が先進国に追随し、これら効率的なエネルギー利用を獲得するには、しばらく現在の成長率を維持しなければならないであろう。先進国

<sup>9</sup> 中島 [1995]

はエネルギー効率を高め、これら諸国に配分すべきエネルギーを提供することと、技術協力、インフラ整備などを進めるための資金供与をこれまで以上に進めなければならない。

## 2) ネットワーク社会の到来と移動の抑制

また、所得の向上は情報機器に対する購買余力をもたらす。従って、ここでは、ネットワーク社会がもたらすエネルギー消費に対する影響について言及する。

### a. 移動を抑制するネットワーク社会

本田技研工業の創立者である故本田宗一郎氏は、いつの時代でも人間にとって移動すること必要不可欠であり、自動車社会は長期間にわたり繁栄するとかつて語った。しかし、この繁栄はエネルギーの非効率な利用をもたらし、世界のエネルギー需給を不透明にする要因となっている。ロスの少ない発電と電気自動車の導入によりエネルギー効率を高めることも考えられるが、移動を一切しないことで、エネルギー効率を一挙に高めることもできる。

効果について疑問視する向きもあるものの、ドイツでは在宅勤務を奨励する法案が成立、移動させないことでエネルギー消費の効率性を高めることを主な目的としてしている。この法案成立の背景には、昨今の電話、ファックス、コンピューターネットワークなど通信機器、コンピューター技術の急激な進歩がある。また、米国では企業によるオフィスの所有・管理コストの削減、育児にかかわるものの労働力化など在宅勤務は現実的なニーズがあり、数千万人単位の人々が自宅や、自宅近くのオフィスで勤務していると試算されている。

通勤に1リットルのガソリンを使用したとしよう。一日当たり8400キロカロリーものエネルギーを消費する。一方、500Wのコンピューターを8時間利用した場合、9000キロカロリーのエネルギー消費をすることになる<sup>10</sup>。暖房、冷房、室内照明などについては、通常の勤務、在宅勤務の両方にかかわるエネルギー消費であるため考慮しないとすれば、10分程度の車による移動に要するエネルギーでパソコン8時間の稼働を充足することができる。しかも、コジェネレーションを導入した場合、後者のエネルギー効率はさらに高まるであろう。

同様に、通信機器、コンピューターを利用した場合、そのエネルギー源は多様化の図れる電力に依存している点においても優れている。2010年には石油生産が頭打ちになると予想されており、早急な転換を図らなければ経済的な打撃が小さくないであろう。その点、原子力、水力、石炭など多角化の図れる資源に現段階ですでに依存している電気に関してはこのような問題はない。

もっとも、公共交通機関を使えば、移動した場合でもエネルギー効率は十分に高いため

---

<sup>10</sup> 資源エネルギー庁長官官房企画調査会 [ 1994 ]

問題とはならない。しかし、住宅事情、通勤ラッシュ等わが国の社会環境を考慮した場合、移動しないことによるメリットは計り知れないであろう。この面からもネットワーク網の整備が求められるのである。

#### **b) エネルギー効率の高いバーチャルリアリティー**

1994年を境に、わが国でもインターネット等コンピューターネットワークが注目されており、これらの普及により新たな価値観、生活環境の変化がもたらされようとしている。

そのなかで、エネルギー利用の効率化の例として、バーチャルリアリティーがある。購入する財が物理的に存在する限り、エネルギー消費を必ず必要とするのである。知識の集約である本ですら、輸送にガソリンを使い、紙の生産に電気を要するのである。つまり、人が行動すれば、エネルギー消費は必然的に増大するのである。

一方、コンピューターネットワーク上で再現される自然、美術館、出版物などはコンピューターに電源を入れるだけで満喫することができる。ネット上で自然探索をしたとしても、移動を伴わないためエネルギー投入を抑制できるだけでなく、微妙なバランスで成り立つ自然界に人々が足を踏み入れることを抑制する意義は大きい。現段階では、リアリズム等画像処理、データ転送の速度など制約要因が大きいので、今後の技術進歩如何では人々の要求を満たす水準にまで引き上げる必要がある。

### **第6章 エネルギーの効率的な利用と我が国の役割**

エネルギー問題を克服する上で、最も直接的な方法とは我が国のエネルギー効率をさらに高め、効率が高まった部分を途上国へと配分することである。すでに我が国はGNP原単位に対する一次エネルギー消費は極めて低く、先進国のなかでも最も効率的な国の一つである。しかし、別の見方をすれば、これ以上の効率化は厳しく、その努力を途上国のエネルギー効率を高めるために使った方が効果的であるという側面もある。

我が国のエネルギー利用の効率性の背景には、規制が強く、エネルギー価格が他国と比べて高く、エネルギーの需要が抑制されること、国土が狭いため、特に運輸部門におけるエネルギーの抑制効果があること、製造業などにおいて人件費などが高く、エネルギー消費をいかに抑えるかが競争力維持にとって不可欠であること、他国と比べてエネルギーに課される税金が高いことなどの要因がある。このような状況で今後増大するであろう途上国のエネルギー効率を高める上での我が国の役割について述べてみたい。

#### **1) 公的機関の役割**

日本政府は毎年多額の援助を行っている。1992年におけるODA（政府開発援助）は、2国間援助に84.8億ドル、国際機関に対する出資・拠出等に28.5億ドル、計113.3億ドルに達している。対GNPでは欧米諸国と比べて低率であるが、円高の影

響もあり、4年連続一位となっている。既に火力発電所、ダムなどの建設においてODAは実績を上げており、途上国のエネルギー関連のインフラ整備を進める上、今後ますます期待されるであろう。

現在、アジア諸国は高い経済成長を謳歌しているが、今後一層の飛躍をするのならばインフラの整備が不可欠であろう。例えば、タイでは経済発展に伴い自動車の販売が伸びている。しかし、道路の整備が進んでいないため、バンコク市内は慢性的に渋滞に悩まされている。これはバンコク市民の生活を阻害するだけでなく、渋滞による自動車の燃費を低下させ、エネルギー効率の悪化を招くのである。工場内に最新機器を導入したとしても、周辺道路の整備、発電所などのエネルギー供給のやり方次第では、エネルギー効率の悪化を招く恐れがある。エネルギー効率を高めるには、インフラの整備を考慮に入れ、進めなければならないのだ。

また、地域の特性にあったインフラ整備を進める必要がある。例えば、石油を産出しない途上国で、石油火力発電所を建設したところで、燃料を輸入に頼らざるを得ないため、輸出により稼いだ資金がすべて石油輸入代金に使われ、全く豊かにならないというケースがある。アフリカのある国では、木炭の燃焼効率を高める陶器製のコンロを生産したところ、木炭の消費量が減少した上、コンロの生産に必要な資材、人員が全て国内で調達できるため、雇用の場をも提供できたという例がある。コンロの生産には我が国の技術協力があり、途上国のエネルギー供給を考えるには、地域の特性に合わせる必要がある。

我が国のODAは技術協力、人材の派遣などで欧米諸国と比べて見劣りするといわれているが、今後は人員を積極的に派遣し、国それぞれの特性を鑑み、現地の人々と協力し、効率的なエネルギーの利用方法を確立する必要があるだろう。

## 2) 民間サイドによる役割

1987年のプラザ合意以降、円高が急速に進み、輸出環境が悪化した国内輸出企業は大挙してアジア諸国、米国など海外へと進出し、進出先の経済成長を促進している。現地で生産された製品を逆輸入するケースも増加しており、途上国の所得水準向上に一役かっている。

我が国の経済基盤は、これら諸国と対外進出、輸出入を通じて密接につながりつつある。このことは、これら地域の発展が日本企業の輸出市場の拡大をもたらし、互いの経済発展に結びついている。

このような状況下、エネルギーの効率的利用における日本企業の役割とは、対外直接投資による生産現場におけるエネルギー効率の向上、消費社会の浸透により増大するであろうエネルギー消費に対して、安価で、しかもエネルギー効率の高い製品の提供、研究施設などを現地化することで、地域のエネルギー特性のあった製品開発の促進などが考えられる。

効率的にエネルギーの利用は、工場内だけでなく、エネルギーの供給システム、輸送な

どインフラまで考慮に入れなければならないであろう。上述のODAなどと組み合わせ、効率的なエネルギー利用を獲得しなければならない。つまり、最新の機器を導入したところで、社員の通勤に自家用車を利用したり、部品・製品を輸送する道路が混雑したり、ロスの多い中央集権的なエネルギー供給システムを導入していたのでは、効率的なエネルギー利用ができないといえる。

アジア諸国での電力化比率は今後上昇すると述べたが、所得が低ければ電力消費の非効率な電気製品を使用することになる。従って、競争力維持を図る上でも、日本企業は技術開発に力を入れることで、低価格、高品質の製品を提供し、これら地域のエネルギー効率を高める必要がある。これは、わが国国内向けの製品に消費電力などに一定の規制を設けることで、技術革新へのインセンティブを高める要因となり、基準に合わない製品を販売禁止にすれば、企業は製品開発に向けて必死の努力を続けることになる。例えば、カリフォルニア州で実施されている電気自動車に関する法案により、日米の自動車メーカーは電気自動車の激しい開発競争を行っている。つまり、一国で定められた規制が技術革新を促進し、ここで開発された技術が世界へと広まることで、途上国のエネルギー効率を高めることも可能であろう。

家電製品といえば日本製というほどに日本企業により生産された製品が世界に溢れている。しかし、日本製品のシェアが高いと一企業にエネルギー効率の向上まで責任を負わせることはできないであろうし、企業が独自にこれらの努力をし、画期的な製品を開発したところで、エネルギー効率の低い安価な製品に駆逐されてしまう恐れがある。従って、日本企業は技術革新をこれまで以上に進めるのは当然として、それらを支援する規制や国際的な基準を設ける上で、わが国が主導権を握るために、民間だけの力ではなく、政府機関の積極的に関与が求められる。

## むすび

以上のように、エネルギー問題が与える影響は大きい。しかも、南北間の所得格差、人口問題もエネルギー問題と密接に関わりあっているため、同意によるエネルギーの規制を非常に困難なものにしている。しかし、近い将来、確実に石油の供給は頭打ちになるであろうし、途上国を中心にエネルギー需要は増大するため、早急の対策が求められている。

二酸化炭素の排出を規制するため、エネルギー消費を抑えた場合、南北間の所得格差を埋めることはできない。だからといって、エネルギーの無秩序な消費を認めることもできないのである。今後は途上国の所得水準の向上を第一に考え、エネルギー効率的な利用と環境問題という相反するファクターを調和させる経済、社会体制の確立が求められるのである。

## 参考文献

- 通商産業省資源エネルギー庁 『エネルギー「新世紀へのシナリオ」』、通商産業調査会、1994年
- 富舘孝夫/木船久雄 『最新・エネルギー経済入門』、東洋経済新報社、1994年
- 唐沢 敬 『資源環境と成長の経済学』、中央経済社、1995年
- 宮崎 勇 『世界経済図説』、岩波新書
- C. R. ハムフェリー、F. H. バトル 『環境・エネルギー・社会』、ミネルバ書房、1991年
- フェレイドウン・フェシャラキ 『アジア・太平洋のエネルギー・リスク』、NHK出版、1995年
- 資源エネルギー庁編 『アジア・エネルギービジョン』、通産産業調査会
- 科学技術政策研究所 『アジア地域のエネルギー利用と環境予測』、大蔵省印刷局
- 白鳥 正喜 『ODAフロンティア』、大蔵省印刷局、1995年
- 資源エネルギー庁長官官房企画調査会 『総合エネルギー統計』、通商産業研究社、1994年
- 中島 篤之助 『21世紀のエネルギーと環境』、新日本出版社、1995年
- レスター・R・ブラウン 『ワールドウォッチ地球白書1993-94』、ダイヤモンド社、1993年
- 室田 武 『エネルギーとエントロピーの経済学』、東経選書、1979年

(manuscript received on Nov.10, 1997)