

地球環境問題から見た経済発展とエネルギー消費*

地球環境研究チーム 副主任研究員 石川 達哉

〈要 旨〉

1. 日本のエネルギー消費は経済成長とともに増加してきたが、第1次石油ショック前後を境に増加テンポは穏やかになっている。エネルギー消費の増加率を「1人当たり実質 GDP」「人口」「エネルギー消費効率（エネルギー消費の GDP 原単位）」の変化率に分解すると、70年代半ば以降のエネルギー消費の伸び鈍化がエネルギー消費効率の改善によってもたらされていることがわかる。
2. 日本のエネルギー消費効率の変化を産業面から捉えると、消費効率の改善の著しい産業部門の GDP ウェイトが高まり、消費効率が悪化ないしほとんど改善していない産業の GDP ウェイトが低下していることに呼応している。その結果、マクロ的な「エネルギー消費の GDP 原単位」は先進国の中でも一、二を争う程低い水準となっている。
3. OECD24ヶ国のエネルギー消費効率の長期的推移を観察すると、所得水準の低い国は、所得の増加とともに効率が悪化するが、ある程度の所得水準に達すると効率が改善するという共通の変化のパターンが存在する。
その転換点は、1人当たり実質 GDP 7千ドル程度であることが計量分析から示唆される。
4. エネルギー消費効率に対するエネルギーの相対価格変化の影響度も所得水準によって異なり、1人当たり実質 GDP が7千ドル程度に達するまでは影響力は相対的に小さい。従って、炭素税に代表されるエネルギー課税を世界各国共通の税率で実施した場合、途上国には所得分配の面から配慮が必要となるだけでなく、効果の点でも大きな期待はできない。税制の有効活用をはじめ、エネルギー消費に関しては先進国が一層改善すべき余地が残されている。

*当レポートは経済調査部の植浩一、石川達哉、米納嘉継によって行われた研究成果を発展させたものである。

はじめに～地球環境保全におけるエネルギー問題

(1) 研究の背景

地球環境問題は、人類の存亡に関わる極めて深刻な問題であって、様々な分野から分析研究が行われ、問題解決のための方策が模索されている。特に、エネルギー消費に由来する環境問題のうち、酸性雨や地球温暖化問題に関しては、政治的にも各国政府が国際協調のための枠組み作りを模索し始め、排出権制度や課徴金制度の導入が検討されたり、一部実施される段階に至っている。

しかし、問題の深刻さについては必ずしも十分に共通した認識が確立されておらず、従って、各国の利害の対立も激しく、具体的な解決方法に関する合意はまだ得られていない。その原因のひとつは、先進国と発展途上国に大きな所得格差が存在するため、エネルギー消費に由来する環境問題に対する評価が大きく異なることにある。特に、地球温暖化の大きな要因であるCO₂に関しては、ローカルな毒性がないことやこれまで先進国の発展過程で配慮が払われてこなかったこともあって、途上国においては排出抑制よりも開発を優先する傾向が認められる。成長に必要なエネルギーの消費効率に関して先進国と発展途上国に大きな格差が存在するため、エネルギー消費抑制のための協調行動をとった場合に、途上国が経済発展の可能性を失いかねないことも一因である。また、先進国間においてもエネルギー消費構造や国内産業への影響度の違いから、利害関係が一致しているわけではない。

地球環境問題の解決には、因果関係の理論的解明と、問題の深刻さについての国際的コンセンサスの形成と、そしてこれらを踏まえてのアクションプログラムの作成が必須である。特に、環境制約下でこれから経済発展を遂げようとしている途上国と先進国でどのような政策協調が可能かつ必要なのか具体的に提示することが先ず必要であろう。

当レポートでは、そのための第一次的接近として、経済発展とエネルギー消費の関係に着目して、その相互関係と変化の過程に内在するメカニズムを探究することを基本目標とする。具体的には、①産業構造変化とエネルギー消費効率、②エネルギー消費効率と所得・価格の関心に焦点を当てて、定量的・実証的な分析を行い、その政策的な含意を考察する。

(2) 地球環境問題とは

地球環境に関わる問題は、対象が広範かつ多岐にわたり、どのような視点から問題整理するかによって分類の仕方も異なり得る。ここでは、数々の国際的な条約・宣言の中でも「地球環境問題」を具体的に分類して言及した「1992年『環境と開発に関する国連会議』に関する第44回国連総会決議（1989年12月22日採択）」、自然環境の状況という切りで章立てを行っているOECD「THE STATE OF THE ENVIRONMENT（1991年）」、国際的取組の観点から分類を行った「平成4年版『環境白書』各論（1993年5月）」から「地球環境問題」の分類事例を引用し、エネルギー消費との関係において認識すべき地球環境問題とは何であるか先ず整理を行っておきたい。

①1992年『環境と開発に関する国連会議』に関する第44回国連総会決議

- (a) 気候変動、オゾン層の破壊及び国境を越える大気汚染に対する取組による大気保護
- (b) 淡水資源の質及び供給の保護
- (c) 大洋及び閉鎖性、半閉鎖性の海域を含む全ての海洋、並びに海岸地域の保護、さらに海洋の生物資源の保護、合理的な利用及び開発
- (d) なかんずく森林減少、砂漠化及び旱魃への取組による、陸上資源の保護及び管理
- (e) 生物学的多様性の保全
- (f) バイオテクノロジーの環境的に健全な管

理

- (g) 廃棄物、特に有害廃棄物及び有害化学物質の環境上健全な管理、並びに有害で危険な製品及び廃棄物の違法な国際取引の禁止
- (h) 都市スラムと農村地域における貧困者の生活環境及び労働環境の改善。これは、特に都市と農村とを統合した開発計画を実施すること及び環境の悪化を防止するのに必要なあらゆるレベルの適切な措置をとることによって、貧困撲滅することで達成される。
- (i) 人間の健康状態の保護及び生活の質の改善

②OECD「THE STATE OF THE ENVIRONMENT」

- (a) 地球規模の大気汚染
- (b) 大気
- (c) 内陸水
- (d) 海洋環境
- (e) 土地
- (f) 森林
- (g) 野生生物
- (h) 廃棄物
- (i) 騒音

③平成4年版『環境白書』各論 第8章 第1節 地球環境問題への取組

- (a) 地球温暖化対策
- (b) オゾン層保護対策
- (c) 酸性雨対策
- (d) 熱帯林の保護
- (e) 野生生物の保護
- (f) 海洋環境保全対策
- (g) 有害廃棄物の越境移動対策
- (h) 砂漠化の防止
- (i) 地球環境に関する観測・監視

(3) エネルギー問題の重要性

地球環境問題の中でも、エネルギー問題が極めて重要であると考えられること、及び、経済発展との関連において本研究の主題に据えたのは、以下の理由による。

1992年6月3日～14日にリオにおいて開催された「地球サミット（環境と開発に関する国連会議）」の重要な成果の一つは「環境と開発に関するリオ宣言」が採択されたことであり、その中で途上国が「開発の権利」を原則的に獲得したことは極めて重大な意味を持つと言われている。というのは、何らかの対策や国際政策協調を早期に実施しないと、途上国の開発、即ち、経済発展の過程で、現在の先進国の経済活動に伴って発生しているような環境破壊やかつて引き起こされた公害問題が、より激しい形で進行する可能性が高いからである。

工業化により経済発展し、所得や生活水準が向上する段階においては、エネルギーの消費量が飛躍的に増加することは避け難い。そして、エネルギーの生産、転換、最終消費の過程で、直接的にあるいは間接的に、前述の「地球環境」に損失を与えることが予想される。国際エネルギー機関は、「ENERGY AND THE ENVIRONMENT: POLICY OVERVIEW(1989)」の中で、「次の環境問題を有する11の主要分野において、エネルギーが重要な役割を果たしている」と指摘している。それは以下の項目である。

- ・主要環境事故
- ・水質汚濁
- ・海洋汚染
- ・土地利用および立地への影響
- ・放射線および放射物質
- ・固形廃棄物処理
- ・危険な大気汚染物質
- ・地球を取り巻く大気環境
- ・酸性物質の滞留
- ・成層圏でのオゾン破壊
- ・地球気候変化

本研究のテーマである経済発展とエネルギー消費の問題について、整理を行うと、以下のような経済分析の枠組みから問題意識の絞り込みをすることができる。

①エネルギーの再生産可能性

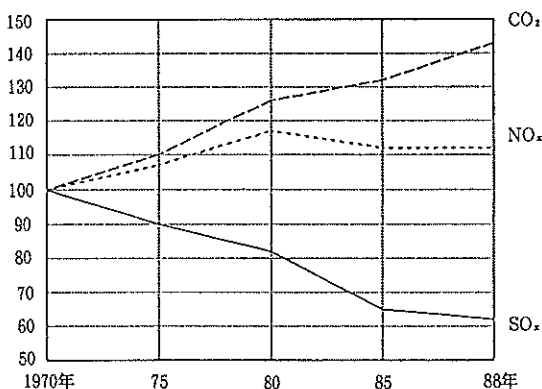
主たるエネルギー供給源である石油・石炭・天然ガス等は有限であり、再生産可能な資源ではない。また、再生産可能でクリーンなエネルギーも、現時点では、コスト的にこれらの燃料にとってかわれるだけの生産技術水準に達していない。また、石油はエネルギー供給源であるばかりでなく、重要な原材料でもある。

従って、エネルギーの有効利用、エネルギーの効率的な消費が求められる。

②エネルギー消費に由来する環境破壊

既述の通り、エネルギー消費に伴って直接的・間接的に様々な環境破壊が行われる。但し、化石燃料（石油・石炭・天然ガス等）の燃焼に伴って排出されるガス（SO_x, NO_x, CO₂）を例にとっても、地球環境への影響の仕方・過去からの推移及び現在の状況・技術的対応の可能性・政策的対応の難易度が全て異なる。

図-1 エネルギー消費に伴う排出ガス (OECD計、1970=100)



例えば、SO_xは発電所段階での排出抑制が有効で、硫黄分の低い燃料の使用・脱硫装置の導

入によって技術的にも対応が可能のため、日本・米国・ドイツ・オランダ・オーストリアで排出量の削減が進み、OECD 諸国全体でも70年の6割程度までに減少している。一方、NO_xについては、設置型の排出源に関しては削減がかなり進んでいるものの、運輸部門での排出が増大し、全体としては70年水準を上回っている。自動車に対する排ガス規制の強化、燃費の向上にも関わらず、自動車保有台数の増加が排出量増加の主因となっている。さらに、CO₂については、固定化技術の導入が進んでいないこと、ローカルな毒性がないため排出抑制のインセンティブが働きにくいこと、発電部門のみならず経済活動の諸局面・家庭での生活においても発生するため、原子力発電への依存度の高まりにも関わらず、排出総量が増加している。

このように、エネルギー消費に由来する環境問題は複雑で、対応の仕方も簡単に論じることができない。しかし、エネルギーの効率的な利用が問題解決のための共通かつ必須の条件であろう。

③生産要素としてのエネルギー

エネルギーは民生部門でも最終消費されるが、大半は産業部門での生産活動に投入される。従って、エネルギーは生産要素であり、「エネルギー消費のGNP原単位（一次エネルギー供給÷実質GNP）」という概念は、資本係数（実質資本ストック÷実質GNP）と同様の意味合いを持つものとも解釈できる。どれだけエネルギーが投入されるかは、資本や労働の場合と同様に、相対価格（エネルギー価格÷一般物価）に影響されるはずである。生産要素の投入量増加と経済成長という意味では、先進国にも途上国にも共通の問題として認識すべきである。

「エネルギー消費のGNP（GDP）原単位」という概念は、1単位のGNP（GDP）を得るのにどれだけエネルギーを必要とするかとい

う情報を提供する。それが経済発展の段階や所得水準によってどのような変化を遂げるのか、相対価格変化の影響が発展段階によってどのように異なり得るかという視点が、1国の経済発展を考える上で根幹に関わるものと思われる。

また、資本係数が一国の生産構造を反映しているように、「エネルギー消費のGNP原単位」も狭義には生産構造を反映していることになるが、民生、運輸部門も含めて考えれば、社会全体の所与の所得水準や交通体系の下でのエネルギー消費構造、エネルギー消費効率を表していると考えられる。

④経済発展と地球環境保全のトレードオフ

②と③を合わせて考えると、経済成長や生活水準の向上にはエネルギー投入の増加が必要であり、その結果として地球環境が損失を受けることが容易に想像される。これを「経済発展と地球環境保全のトレードオフ」として捉え、不可避的な関係と考えるのはやや安易に過ぎる。同じ先進国、同じ所得水準の国でも、交通体系や課税後のエネルギー価格が違えば、エネルギー消費効率も異なってくるはずである。エネルギー消費効率の違いは、国際比較を通じて簡単に把握される。同じ所得水準で相対的にエネルギー消費効率が悪い国は改善の余地があるということであり、「トレードオフ」関係には到っていないはずである。

他方、先進国と途上国のように所得水準が大きく異なる場合には、「改善の余地」を同列に論じるのは適当ではないであろう。③でふれた、所得水準によってエネルギーの相対価格が消費効率に与える影響がどのように異なるのか、相対価格の変化がない場合に各所得水準に見合うエネルギー消費効率はどのように変遷するのを見極めることが必要であろう。その結果次第では、先進国と途上国それぞれが担うべき役割も、見えてくるものと思われる。また、先進国

からの教訓、示唆、反省、協力を途上国に与えることができるかもしれない。即ち、地球環境問題という名を借りた南北問題の解決のための糸口が見つかるかもしれないのである。

第1部 日本の経済成長とエネルギー消費の推移

(1) 一次エネルギー供給とエネルギー消費

全体的な分析に入る前に、「一次エネルギー供給」と「最終エネルギー消費」の関係を予備的に考察する。

両者には次の恒等式が定義的に成立する。

$$\text{一次エネルギー供給} + \text{エネルギー転換} + \text{自家消費} + \text{統計誤差} = \text{最終エネルギー消費}$$

表-1 1990年度のエネルギー需給バランス

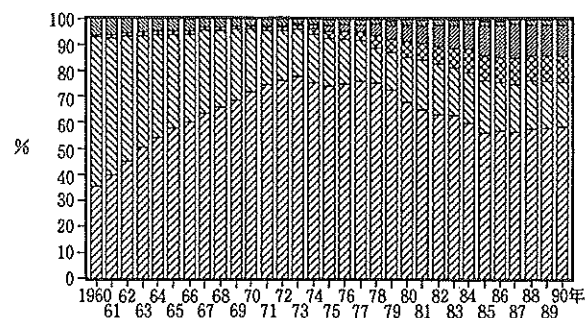
(単位: 10^{10} kcal)

一次エネルギー供給	エネルギー転換	自家消費	統計誤差	最終エネルギー消費
466,198	4124,368	422,074	3,093	322,848

出所: 資源エネルギー庁「平成3年度版 総合エネルギー統計」

「エネルギー転換」とは、石油・石炭・天然ガス等の「一次エネルギー」がエネルギー転換部門で精製、発電されて「二次エネルギー」となる際に使用されるエネルギーのことで、上式ではマイナスの値をとる。「自家消費」はエネルギー転換部門の自家消費と送配電ロスからなり、これもマイナスの値をとる。結局、「一次エネルギー供給」が一国で消費されるエネルギー総量に等しく、本当の意味でのエネルギー消費と捉えるべきである。

図-2 エネルギー供給源の構成の推移



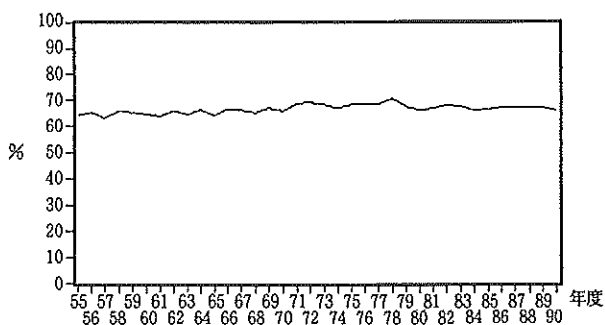
出所: IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」

参考までに、一次エネルギー供給におけるエネルギー源別の構成割合の推移を図2に示す。

「エネルギー消費のGDP (GDP) 原単位」という概念が「一次エネルギー供給」÷「実質GDP (GDP)」によって定義されるのは、上記の理由による。

但し、産業における生産活動や運輸・交通、家庭での生活など、国民生活に直接関わるのは「最終エネルギー消費」であり、「最終エネルギー消費」と「一次エネルギー供給」の比がエネルギー転換効率を表していると考えられる。当研究は地球環境との関連においてエネルギーの消費効率を問題にしているので、エネルギー転換効率も重要である。そこで、「エネルギー転換効率 (最終エネルギー消費÷一次エネルギー供給)」の時系列的推移を計測する。

図-3 エネルギー転換効率の推移



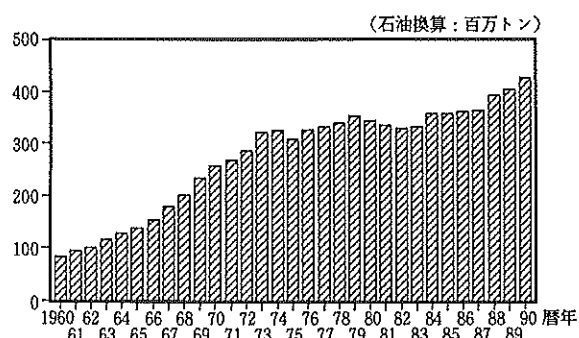
出所：資源エネルギー庁「平成3年度版 総合エネルギー統計」

図3の通り、エネルギー転換効率は意外にも安定している。従って、分析を進めるに当たっては、一次エネルギー供給をベースにした「エネルギー消費効率」のみを考察の対象に据えても、問題は少ないと考えられる。以後、本稿では、「一次エネルギー供給」を以て「エネルギー消費」と呼ぶことにする。また、国際比較をする際に統計の利用可能性が高いGDP概念を使用し、「エネルギー消費のGDP原単位」という言葉と「エネルギー消費効率」という言葉を同義で用いることとする。

(2) エネルギー消費の要因分解

日本のエネルギー消費は、経済成長とともに増加してきたが、第1次石油ショックの頃を境にその増加テンポは穏やかなものになっている(図4参照)。

図-4 日本のエネルギー消費の推移



出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」

経済成長の中でのエネルギー消費の変化が何を反映したものであるかは、次の恒等式によって確かめることができる。即ち、

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費} &= \text{一人当たりGDP} \times \text{人口} \\ &\quad \times \text{エネルギー消費のGDP原単位} \end{aligned}$$

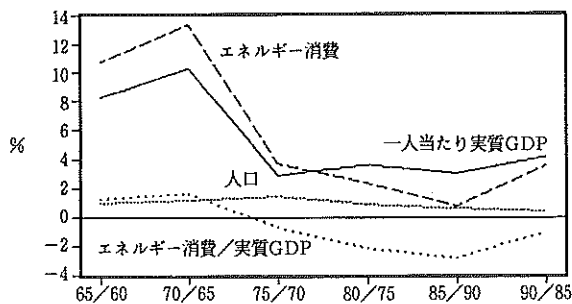
この関係式は近似的に次のように変形できる。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費の変化率} &= \text{一人当たりGDPの} \\ &\quad \text{変化率} + \text{人口の変化率} \\ &\quad + \text{エネルギー消費のGDP原単位の変化率} \end{aligned}$$

図5に示す通り、人口の変化率は安定している。そして、「エネルギー消費」変化率の水準は、基本的には、「一人当たりGDP」の変化率(エネルギー消費変化への寄与度)の水準にほぼ等しい。「エネルギー消費」の増加率が第1次石油ショック期を境に鈍化したのは、主に経済成長率(「一人当たりGDP」の伸び率)の低下に対応していると考えてよいであろう。但し、75年くらいまでは両者はほぼ平行的な動きを見せ、「エネルギー

消費」変化率の方が「一人当たり GDP」の変化率より高かったのに対し、それ以後は「エネルギー消費」変化率の方が「一人当たり GDP」変化率より低く、動きも平行的とは言えなくなっている。その変化は、「エネルギー消費の GDP 原単位」の変化率がマイナス（エネルギー消費効率の改善）になったことよってもたらされている。

図-5 エネルギー消費の変化率の内訳



出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
OECD「NATIONAL ACCOUNTS」

ここで注意しなければならないのは、上式は事後的に成り立つ恒等式であって、要因分解した結果が直接の因果関係を表しているわけではない点である。しかし、冒頭で述べた通り、「生産要素としてのエネルギー」や「民生、運輸部門も含めた所与の社会構造・所得水準の下でのエネルギー消費需要」を考慮すれば、「一人当たり GDP」の水準と「エネルギー消費」の水準が密接な関係があることには異存がないであろう。問題は、「エネルギー消費効率」がどのような要因によって変化するのか、「一人当たり GDP」とは独立の関係にあるのか、それとも、何らかの関係性があるのかということである。

(3) 産業構造とエネルギー消費効率

前節からの問題意識に従い、角度を変えて、日本の「エネルギー消費効率」が産業構造変化の中でどのような変化を遂げたのかを考察することにする。予想されることは、日本の工業化、ハイテク化が進展する過程で「エネルギー消費効率」が変化し、途中で改善に転じるということである。

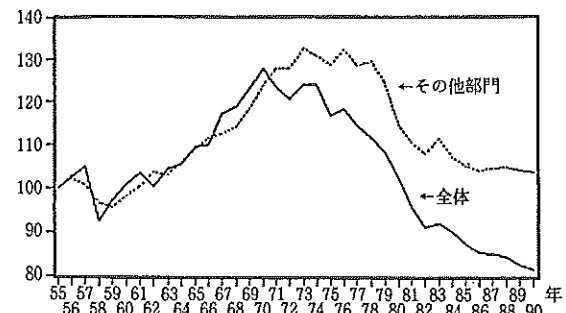
具体的には、産業部門別のエネルギー消費効率（産業別の最終エネルギー消費÷当該産業の付加価値額）と GDP に占める各産業の構成比の推移を計測する。

SNA 統計（国民経済計算体系）において、付加価値の生産主体という観点からは、GDP は民間産業部門・民間非営利部門・政府部門に分類されるが、これらには家庭で消費されるものの生産が反映されている（生産＝支出＝分配という「3面等価」が成り立つように整合的に統計が作成されている）。他方、エネルギー統計においては、産業における生産活動で使用されるエネルギーの他、運輸、民生（家庭用・業務用）部門でのエネルギー消費に分類されており、概念的に統計区分が SNA 統計と完全には合致しない。

そこで、エネルギー統計における「産業」をベースにして SNA 統計における「産業」を対応させつつ、エネルギー統計の産業区分に含まれないものは便宜的に双方とも「その他」部門として取り扱った。即ち、エネルギー消費の「その他」部門には、運輸部門・民生部門での最終消費、エネルギー転換部門での自家消費等が含まれるのに対し、GDP における「その他」部門には、民間非営利部門、政府部門と金融・保険・不動産業、運輸・通信業、サービス業が含まれる。

計測結果は、図6、7、8、9、10に示されている。

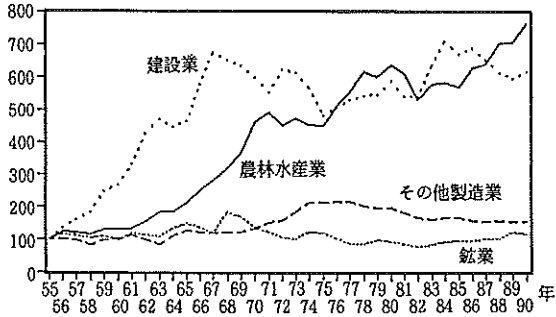
図-6 全体と「その他」部門のエネルギー消費の GDP 原単位（1955=100）



出所：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
経済企画庁「国民経済計算年報」

日本経済全体のエネルギー消費の GDP 原単位（エネルギー消費効率）は1955年以降上昇を続けた後、70年代前半で下落に転じ、90年現在は55年水準を下回り、ピーク時より30%以上も低下している。一方、「その他」部門は、下落に転じたのが、70年代末であり、その後の低下も穏やかなものにとどまっているため、90年時点と55年時点で水準はほとんど変わらない。家庭のエネルギー消費の増大、自家用・業務用自動車の増加によるエネルギー消費の増大が影響していると考えられる。

図-7 グループHのエネルギー消費の GDP 原単位の推移

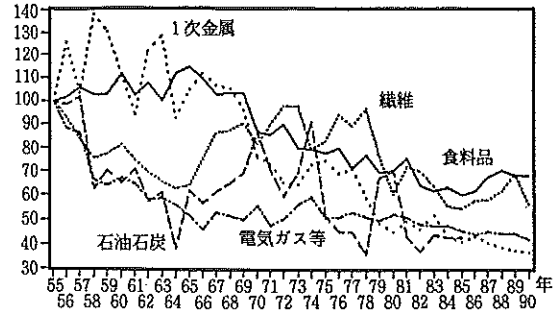


出所：図-6 に同じ

図7には、エネルギー消費の GDP 原単位がほとんど変化していないか、今なお上昇を続けている産業を掲げている。具体的には、農林水産業・鉱業・建設業・その他製造業（以後、「グループH」と区分する）が該当する。生産における利潤最大化行動の観点からは、エネルギー以外の生産要素の価格、即ち、賃金（労働の価格）や資本コストとの相対関係によっては、エネルギー投入を増大させることが当該産業にとっては最適と言える場合もあり、一概にエネルギー消費効率が悪いという言い方は適切ではないかもしれない。しかし、エネルギー多消費型の構造は個別の産業にとっては合理的でも、エネルギー消費に伴って「外部不経済」効果を生じさせているので、社会全体としては好ましくない。また、後述の通り、他の多くの産業分野でエネルギー消費の GDP 原単位が低下しているので、エネルギー消費効率の改善の余地が残されているかもしれない。技術的な生産

構造の関係でエネルギー多消費構造を変える余地が少ない場合、環境税の導入やエネルギー課税の強化がなされた場合、これらの産業は生産物価格の上昇とそれに伴う消費者需要の減少を通じて、産業規模の縮小を余儀無くされる可能性が高い。

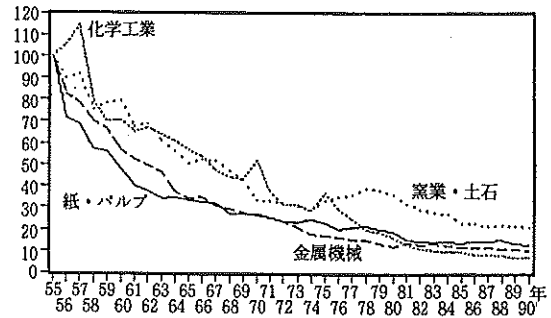
図-8 グループMのエネルギー消費の GDP 原単位の推移



出所：図-6 に同じ

図8には、エネルギー消費の GDP 原単位が1955年当初より低下、ないし、一貫して低下した産業、即ち、食料品、繊維、一次金属、石油・石炭製品、電気・ガスの各産業（「グループM」と区分する）を掲載してある。

図-9 グループLのエネルギー消費の GDP 原単位の推移



出所：図-6 に同じ

図9には、エネルギー消費の GDP 原単位が1955年から著しく低下した産業、即ち、紙・パルプ、化学工業、窯業・土石、金属および機械（「グループL」と区分する）の各産業を掲げてある。紙・パルプ、化学工業、窯業は所謂エネルギー多消費型産業と言われているが、その効率改善には著しいものがある。化学工業は55年当初の1割程度の水準にまで低下している。これは、技術進

歩を背景にしたエネルギー投入効率の改善を反映していると考えられる。

図-10 各産業グループの実質GDPにおける構成比の推移

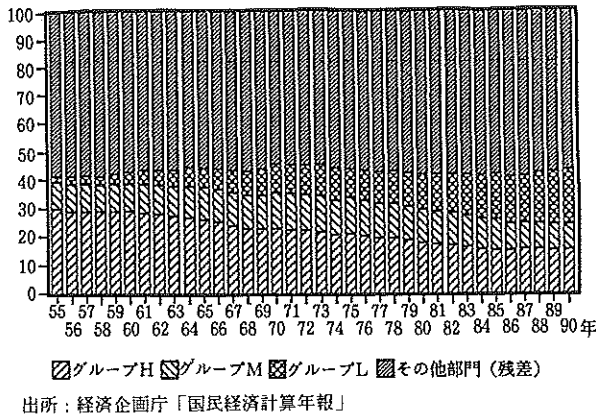


図10には、各産業グループの実質GDPにおける構成比の推移が示されている。予想されたことであるが、「エネルギー消費のGDP原単位」の低下の著しい「グループL」の構成比が上昇し、逆の傾向を示す「グループH」の構成比が低下している。こうした産業構造の変化の中で、マクロ経済全体の「エネルギー消費のGDP原単位」は70年代前半まで上昇を続けた後、下落に転じている。

エネルギー価格は各産業で異なるから、資本コストと賃金が各産業ではほぼ均等化していると做せばエネルギー消費効率の違いが生産効率、生産物価格変化の差となり、消費者の選択を通じて、産業間の盛衰が生じたと解釈できる。逆に、消費者の所得水準が向上する中で、各産業への需要が変化し、たまたまウエイトが高まった産業におけるエネルギー消費効率が改善を続けていたので、結果としてマクロ経済全体のエネルギー消費効率も改善に転じたという解釈も可能である。おそらく、2つの解釈には表裏一体の部分がある。

ここまでの分析で言えることは、経済発展、所得水準の上昇の中で、産業構造の変化とマクロ的なエネルギー消費効率の転換があったという歴史的事実である。これが、日本固有の現象なのかど

うか、他のOECD諸国との比較を通じて、次節で確認することにしたい。

(4) エネルギー消費のGDP原単位の国際比較

国際比較に当たって問題となるのは、通貨の異なる各国のGDPを如何に同一通貨ベースに換算し、かつ、実質化するかという点である。問題点はあるものの、ここではIEAでも用いているOECDの実質GDP統計（1985年米ドル価格）を使用することにした。「エネルギー消費のGDP原単位」の定義式も、IEA統計と全く同一の「一次エネルギー供給（石油換算：百万トン）」÷「実質GDP（1985年米ドル価格：十億ドル）」を採用した。OECD24ヶ国について、1960年から1990年までの各年の実績値を計算し、表2に5年毎の数値を掲載してある。

表-2 エネルギー消費のGDP原単位の推移

	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
オーストラリア	0.5321	0.5260	0.5220	0.5132	0.5137	0.4617	0.4724
オーストリア	0.4058	0.4098	0.4235	0.3868	0.3772	0.3491	0.3266
ベルギー	0.6732	0.6735	0.7214	0.6434	0.6004	0.5518	0.5134
カナダ	0.6274	0.6425	0.6857	0.6487	0.6379	0.5563	0.5227
デンマーク	0.3427	0.4065	0.4943	0.3992	0.3826	0.3370	0.2925
フィンランド	0.4728	0.5066	0.5463	0.4957	0.5337	0.4839	0.4511
フランス	0.3874	0.3905	0.4174	0.3908	0.3929	0.3836	0.3655
ドイツ	0.4903	0.4946	0.5222	0.4784	0.4651	0.4360	0.3863
ギリシャ	0.2669	0.3117	0.4098	0.4812	0.5105	0.5557	0.6105
アイスランド	0.4742	0.4402	0.4685	0.4148	0.3592	0.3755	0.4371
アイルランド	0.5454	0.5372	0.5993	0.5216	0.5114	0.4746	0.4507
イタリア	0.2742	0.3492	0.4048	0.3963	0.3515	0.3219	0.3141
日本	0.3090	0.3287	0.3562	0.3441	0.3091	0.2677	0.2542
ルクセンブルグ	1.9816	1.8200	1.7496	1.4064	1.1944	0.9114	0.8358
オランダ	0.4094	0.4603	0.5544	0.5682	0.5467	0.4894	0.4625
ニュージーランド	0.3773	0.4256	0.4559	0.4465	0.4668	0.5077	0.5899
ノルウェー	0.3383	0.3784	0.4468	0.3905	0.3823	0.3505	0.3434
ポルトガル	0.4471	0.4543	0.4809	0.5166	0.5200	0.5519	0.6343
スペイン	0.2975	0.2801	0.3482	0.4117	0.4434	0.4336	0.4263
スウェーデン	0.4267	0.4371	0.5011	0.4590	0.4435	0.4714	0.4263
スイス	0.1575	0.1891	0.2151	0.2254	0.2420	0.2498	0.2352
トルコ	0.3301	0.4285	0.4814	0.7350	0.7605	0.7372	0.7338
英国	0.6257	0.6090	0.6076	0.5348	0.4863	0.4458	0.3939
米国	0.5619	0.5344	0.5883	0.5613	0.5232	0.4472	0.4152

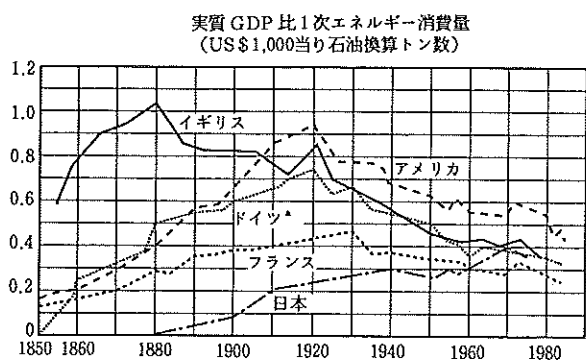
出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
OECD「NATIONAL ACCOUNTS」

横断的に眺めると80年以降、日本のエネルギー消費のGDP原単位は、一、二を争う程低水準であることが確認される。

時系列的に眺めると、国による水準の差や2度の石油ショックによる一次的な攪乱はあるが、1960年以降の各国の変化は3つのパターンに類別し得る。即ち、①一貫して低下傾向を続けている国、②上昇傾向を続けた後、ある時期で転換点を迎え、低下傾向に転じる国、③上昇傾向を続けている国、である。

③のパターンの国は、スイスを例外とすれば、OECD諸国の中では一人当たりGDPの低い国々(スペイン、ギリシャ、ニュージーランド、ポルトガル、トルコ)であり、②のパターンへの移行途上にあると考えることができる。

図-11 エネルギー消費のGDP原単位の超長期的推移



注: aは1945年以降、西ドイツのみ。
出所: Jean-Maria Martin, *Revue de L'Energie*, No415, November 1989.
資料: フランシス・ケアックロス「地球環境と成長」(東京海上火災保険グリーンコミッティ訳)

また、図11に観察される通り、①のパターンに属する英国・米国・ドイツ・フランス(60年～90年の間は②に属する)も、超長期的な経時変化は②のパターンを辿っていることがわかる。

一般に、OECD諸国は年の経過とともに経済成長し、所得を増大させているので、以下に述べるのが普遍的に成立することが推察される。即ち、

「エネルギー消費効率は一人当たり所得(GDP)の上昇とともに当初は悪化するが、ある水準を越えると改善に転じる」

第2部では、これが仮説として検証するに値するのか、まず、実測データに基づいて検討を行うこととする。そして、観察事実から仮説の成立が示唆された場合、計量経済学的な分析手法を用いて、その検証を試みることにする。

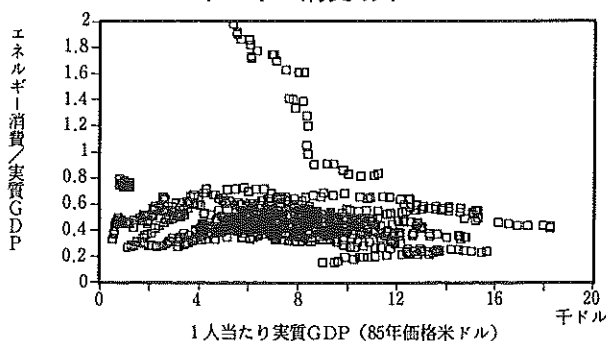
第2部 エネルギー消費効率と一人当たりGDP

(1) 国際的に見たエネルギー消費効率の転換点

第1部では、日本の経済発展における産業構造の変化とエネルギー消費効率の転換を考察した。そして、日本における観察事実と国際比較を通じた予備的な考察から、「エネルギー消費効率は一人当たりGDPの上昇とともに当初は悪化するが、ある水準を越えると改善に転じる」という仮説を得た。

1960年～90年のOECD24ヶ国におけるエネルギー消費効率を一人当たりGDPとの関係で観察すると、時系列的变化を見たときと同様に、①低下傾向を続けている国、②上昇傾向を続けた後、ある時期で転換点を迎え、低下傾向に転じる国、③上昇傾向を続けている国の3つのパターンを見ることができる。もし、上記の仮説が成り立つのであれば、③及び①のパターンも②のパターンの一部であるはずである。そこで、エネルギー消費効率を縦軸、一人当たりGDPを横軸とする同一座標に、前述の全データ(31年間×24ヶ国=744ポイント)の散布図を描いたのが、図12である。

図-12 60年～90年のOECD24ヶ国のエネルギー消費効率



出所: IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
OECD「NATIONAL ACCOUNTS」

残念ながら、2次曲線のような形状は明確には観察されない。その一つの理由は2度の石油ショック等、エネルギーの相対価格（エネルギー価格÷一般物価）変化の影響を強く受けたためと考えられる。その点も考慮して、次のモデル式を想定し、計量分析を試みることにした。

$$\log(E/Y) = \text{定数項} + a Y^2 + b Y + c \log(P_E/P)$$

但し、E：エネルギー消費（石油換算：百万トン）

Y：実質 GDP（85年価格米ドル：十億ドル）

Y：一人当たり実質 GDP（85年価格米ドル：千ドル）

P_E：エネルギー価格（原油価格で代理、85年=100に指数化）

P：GDPデフレーター（85年=100の指数）

a、b、cは係数

仮説から求められる係数の符号条件は、a、cはマイナス、bはプラスである。

実際に推計を行ってみると、式の適合度（相関係数）が極めて低く、推定係数は統計的に有意でない。仮説は単純な形では検証されない。その理由は、①エネルギー消費効率の悪化から改善への転換というパターンが同じでも、各国のエネルギー消費効率の水準に大きな差があること、②狭義の省エネ技術の進歩に加え、エネルギー効率の良い（悪い）運輸手段へのシフトのトレンドや家庭生活でのエネルギー消費のトレンドなどを反映したマクロ的な「省エネ技術進歩」に各国で差異があることが考えられる。地理的条件のほか、交通体系の自動車依存度、エネルギー税制（課税後のエネルギー価格）やその変化の方向性には明らかに違いがあるはずである。

そこで、各国共通の部分と各国で異なる部分の双方を考慮して、前述のモデル式を次のように精緻化し、プールした1系列744個のサンプルデー

タに回帰分析を行った。

$$\log(E/Y)_{ij} = \alpha_i + \beta_j \text{タイムトレンド} + a Y^2_{ij} + b Y_{ij} + c \log(P_E/P)_{ij}$$

但し、添字iiは国を、jは時間を表す。

推計結果は表3、4の通りである^(註1)。概ね良い推計結果が得られている。

(注1) 各国ダミーを使用し、推計方法はコ克蘭・オーカット法に従った。

表-3

修正決定係数	a (t値)	b (t値)	c (t値)
0.88	▲0.002961(▲3.07)	0.045823(2.15)	▲0.031421(▲5.61)

表-4

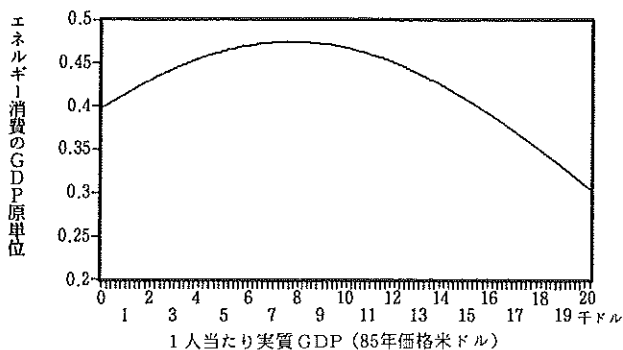
国名	α	β
オーストラリア	-1.0391	-0.0073
オーストリア	-0.8472	-0.0018
ベルギー	-0.5070	-0.0104
カナダ	-0.6521	0.0028
デンマーク	-1.1302	-0.0044
フィンランド	-0.8275	-0.0021
フランス	-1.1013	-0.0016
ドイツ	-0.8623	-0.0055
ギリシャ	-1.3510	0.0226
アイスランド	-0.9611	-0.0015
アイルランド	-0.7671	-0.0027
イタリア	-1.2843	0.0010
日本	-1.1899	-0.0080
ルクセンブルグ	0.5418	-0.0265
オランダ	-0.9905	0.0033
ニュージーランド	-1.1194	0.0125
ノルウェー	-1.2713	0.0053
ポルトガル	-0.8932	0.0086
スペイン	-1.3610	0.0125
スウェーデン	-1.0015	0.0032
スイス	-1.9884	0.0214
トルコ	-1.0696	0.0271
英国	-0.5080	-0.0189
米国	-0.7434	0.0011

各国で異なると予想したエネルギー消費効率水準の違い（αが小さいほど効率的）が計測されている。米国、英国、カナダ、ベルギー、ルクセンブルグは効率が悪い。また、マクロ的なエネルギー

利用のトレンドも節約型（ β の符号が負）の国と使用型（ β の符号が正）の国に分かれている。

上式の推計結果をもとに、基準年次（1985年）ベースでエネルギーの相対価格変化がない場合の、平均的な国の一人当たり実質 GDP に対応するエネルギーの消費効率の仮想的な計算値を示したのが図13である。

図-13 推定モデルに基づくエネルギー消費効率と一人当たり実質 GDP



仮想モデルにおいては、エネルギー消費効率は当初悪化（エネルギー消費のGDP原単位が上昇）するが、一人当たり実質GDPが7000ドル程度に達すると、改善（エネルギー消費のGDP原単位が低下）に転ずることがわかるであろう。この分析からは、エネルギー消費効率に関して、一人当たり実質GDPの7000ドル程度が臨界点と言えそうである。現実の各国の実績値は、固有の条件やマクロ的なエネルギー利用のトレンドを反映しつつも、エネルギー相対価格変化と一人当たり実質GDPの変化に即して上図のような変化を辿っていく。

ここでは所得水準とエネルギー消費効率の関係に焦点を当てたため、所得水準の違いによる価格の影響については、考察の対象外とした。その点については、第3部において詳しく考察することとしたい。

(2) 所得変化によるエネルギー消費効率変化の含意

以上、所得（一人当たり実質GDP）とエネル

ギー消費効率の変化について、国際データを用いて実証的分析を行い、一人当たり実質GDP7000ドル程度が臨界点となることを明らかにした。因みに、先進国においても米国とスイスを除けば、一人当たり実質GDPが7000ドルを超えたのはそう遠い昔のことではない。日本は71年、英国は77年（世界一早く産業革命を終え、大英帝国として栄華をきわめた英国も現在のGDP概念で捉えると高い水準にあるとは言えないので、経済の発展段階を一人当たり実質GDPだけで判断することには再考を要しよう）、旧西独は69年、フランスは71年、カナダは63年、イタリアは80年である。

当初に予想した以上に、かなりの経済発展段階に達するまで、エネルギー消費効率の改善は起こらないということである。「開発の権利」を獲得した途上国においては、当面、エネルギー消費効率の悪化、即ち、実質GDP成長を上回るスピードでのエネルギー消費の増大が続くことが予想される。地球環境保全の観点から、エネルギー消費及びエネルギー消費効率を少しでも低い水準にとどめるためには、先進国から途上国への技術援助・技術移転が不可欠であろう。

また、エネルギー消費効率が改善に転じている先進国においても、消費効率に大きな格差が存在することは既にみた通りである。しかも、エネルギー消費効率は良くても経済規模が大きければ、エネルギー消費量そのものは大きいものとなる（エネルギー消費のGDP原単位×実質GDP＝エネルギー消費）。地球環境への負荷の大きさを考えれば、エネルギーの効率的な利用、エネルギー消費効率の一層の改善が求められるのは先進国である。

表5は、OECDのすべての国が日本なみのエネルギー消費効率を実現した場合のエネルギー消費総量を試算したものである。この場合、同じ経済レベルを維持するのに必要なエネルギーは現状の約三分の二で足り、この差分だけ地球環境への

負荷を増加させずに経済成長を行う余地が残されていることになる。

表-5 消費効率の改善によるエネルギー節約効果

A	1990年のOECD全体のエネルギー消費	3984.22百万トン
B	同 実質GDP	10326.69十億ドル
C	同 エネルギー消費のGDP原単位	0.3858
D	1990年の日本のエネルギー消費のGDP原単位	0.2542
E	各国が日本並みの効率になった場合のエネルギー消費	2625.25百万トン
F	E/A (%)	66 %

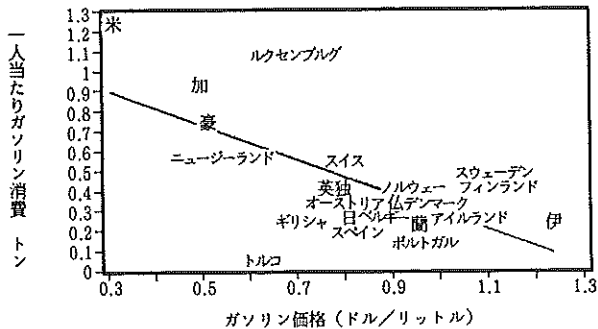
出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
OECD「NATIONAL ACCOUNTS」

第3部 エネルギー価格とエネルギー消費

(1) 一人当たりガソリン消費とガソリン価格

エネルギー価格とエネルギー消費の関係を考察するために、ガソリン価格と消費の関係を見てみたい(図14参照)。

図-14 ガソリン価格と一人当たりガソリン消費量(90年)

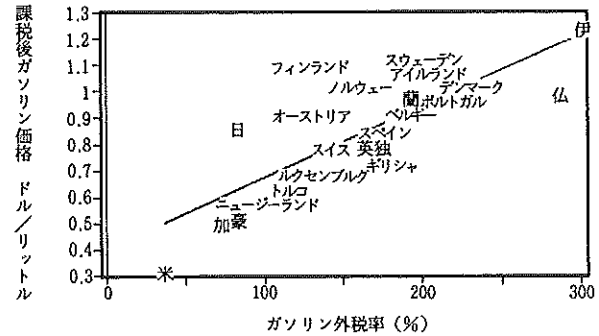


出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
IEA「ENERGY PRICES AND TAXES」

OECD諸国の「ガソリン価格と一人当たりガソリン消費量」、あるいは「ガソリン価格と乗用車一台当たりのガソリン消費量」の関係をみると、明確な負の相関がみられる。ガソリン使用量は人口密度の高いヨーロッパ諸国では比較的少なく、国土面積が広く人口密度の低い、米国、カナダ、オーストラリアでは多いというように地理的条件が大きな影響をもっているが、高価格がガソリン

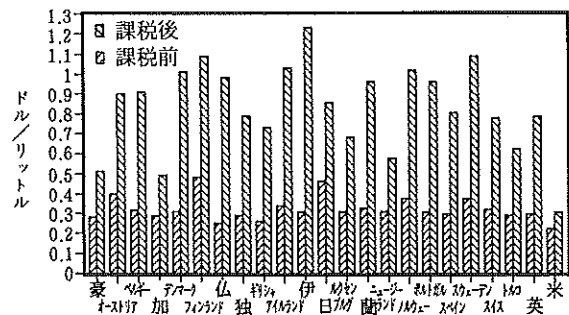
消費の抑制に効果を持っていることを示唆している。

図-15 課税前のガソリン価格に対する税率(90年)



出所：IEA「ENERGY PRICES AND TAXES」

図-16 課税前と課税後のガソリン価格(90年)



出所：IEA「ENERGY PRICES AND TAXES」

図15、図16に示される通り、各国のガソリン価格は概ねガソリンに対する税率に比例的であり、ガソリンへの課税が消費の抑制に効果的であると見られる。

図14において、国毎にみるとルクセンブルグではガソリンの価格に比べて一人当たりガソリン消費量が異常に高い値となっているが、これは周辺各国の消費者がガソリンに対する税率の低いルクセンブルグへ給油に行くためであると言われている。先進国では乗用車一台当たりのガソリン消費量は減少傾向にあるが、唯一ルクセンブルグのみが大幅な悪化を示しており、周辺諸国での価格の上昇によるガソリン消費抑制の効果を弱めている可能性が大きく、国際的な政策の協調が重要であることを示唆している。

発展途上国や旧社会主義国のエネルギー消費効率は、先進工業国に比べて悪いものであると言われている。この原因は技術力の差によるところも大きいですが、エネルギー価格が相対的に低く抑えられているため、省エネルギーのインセンティブが働かないことも原因として見逃せない。特に、民生用のエネルギーの価格は、低所得者の生活保障の観点から低く抑えられていることが多い。途上国のエネルギー効率の改善に対して、エネルギー価格の引き上げが提案されることが多いが、低所得者層への逆進的負担が大きく実施は容易ではないであろう。

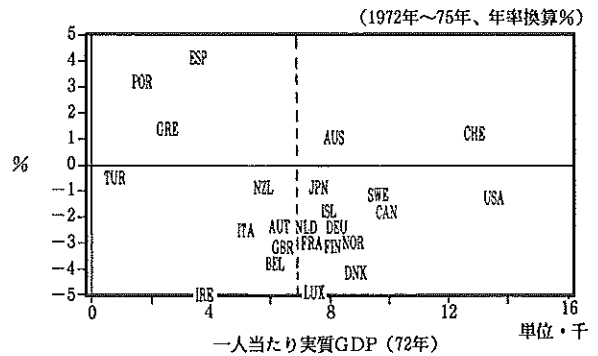
(2) エネルギー価格変化のエネルギー消費効率に対する影響

第2部においてはOECD24ヶ国のデータをプールすることによってエネルギー効率に対する所得や価格等の影響をみた。本節では、所得水準によって、エネルギー価格の変化がエネルギー消費効率の変化に与える影響がどのように異なっているのか、個別に検討を行う。

過去2度にわたる石油危機は価格変化がエネルギー消費効率にどのような影響を与えたのかを調べるのに適切な時期であり、OECD24ヶ国それぞれについて所得と2度の石油危機の前後のエネルギー消費のGDP原単位の変化をみたのが、図17と図18である。第一次石油危機の時期を含む1972年から75年の間のエネルギー消費のGDP原単位の変化と、第二次石油危機の時期を含む78年から81年の間のGDP原単位の変化のいずれをみても、一人当たり実質GDPが約7000ドルを越えている国ではこの間にかなりの低下が認められるが、この水準以下の所得の国では原単位が変わらないかむしろ上昇する傾向が認められる。

価格上昇のエネルギー消費効率に与える影響が所得水準に影響されており、ここでも、概ね一人当たりGDPが7000ドル程度という水準が臨界点になっているとみられる。

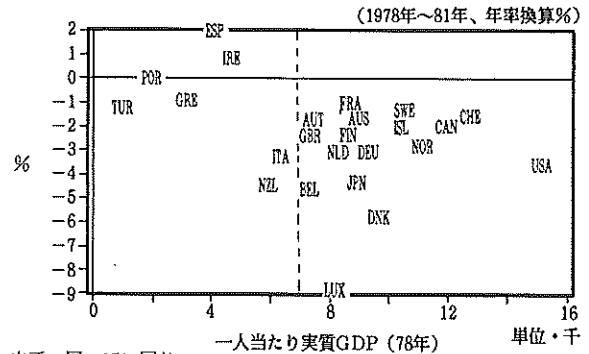
図-17 OECD諸国のGDP原単位の変化率



出所：IEA「ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES」
OECD「NATIONAL ACCOUNTS」

AUS	オーストラリア
AUT	オーストリア
BEL	ベルギー
CAN	カナダ
DNK	デンマーク
FIN	フィンランド
FRA	フランス
DEU	ドイツ
GRE	ギリシャ
ISL	アイスランド
IRE	アイルランド
ITA	イタリア
JPN	日本
LUX	ルクセンブルグ
NLD	オランダ
NZL	ニュージーランド
NOR	ノルウェー
POR	ポルトガル
ESP	スペイン
SWE	スウェーデン
CHE	スイス
TUR	トルコ
GBR	英国
USA	米国

図-18 OECD諸国のGDP原単位の変化率



出所：図-17に同じ

AUS	オーストラリア
AUT	オーストリア
BEL	ベルギー
CAN	カナダ
DNK	デンマーク
FIN	フィンランド
FRA	フランス
DEU	ドイツ
GRE	ギリシャ
ISL	アイスランド
IRE	アイルランド
ITA	イタリア
JPN	日本
LUX	ルクセンブルグ
NLD	オランダ
NZL	ニュージーランド
NOR	ノルウェー
POR	ポルトガル
ESP	スペイン
SWE	スウェーデン
CHE	スイス
TUR	トルコ
GBR	英国
USA	米国

(3) 価格変化の効果の含意

炭素税や環境税など市場メカニズムによって地球環境問題に対応することが可能であると一般的には考えられている。しかし、一人当たり GDP が一定水準に達しないと価格上昇がエネルギー消費効率の改善にあまり効果がないという事実は、途上国の経済がある一定水準に達しないとこのようなメカニズムはうまく機能しないことを示唆している。極端な場合にはエネルギー価格の上昇が発展途上国の所得水準の上昇を遅らせて、価格によるエネルギー消費効率改善の転換点である一人当たり GDP 約 7000 ドルという水準に達するのを遅らせてしまう可能性もある。

他方、価格変化によるエネルギー消費効率の改善効果の著しい先進国においては、税制と価格メカニズムを活用したエネルギーの有効利用を一層促進することが望まれる。

また、環境税の導入に際し、途上国の税率が先進国の税率より低く設定されると、先進国の企業が途上国に進出して「公害輸出」する可能性があるため、同一の税率適用を主張されることも多い。確かにその通りであるが、反面、このような政策は途上国の低所得者へ逆進的な重課となり、場合によっては途上国の成長機会を妨げる可能性があることに注意しなければならない。もし、同一の税率を適用するのであれば、先進国から途上国への所得移転、資金援助や技術援助がセットになっているべきであろう。

結びにかえて

(1) 政策提言に向けて

今回の分析では、経済発展とエネルギー消費効率の関係を主題として、一人当たり実質 GDP に焦点を当てた。第 2 部及び第 3 部の分析結果から、一人当たり GDP7000 ドルを臨界点として、エネルギー消費効率が改善に転じること及びエネルギーの相対価格変化の効果が大きくなることが確認さ

れた。逆に言えば、一人当たり GDP が 7000 ドルへ到達する過程では、経済成長に伴ってエネルギー消費効率は悪化し、エネルギーの相対価格変化の影響も小さいということである。

上で述べたことが普遍的に成立するとすれば、今後の途上国の発展とともにこのままではエネルギー消費総量が経済成長を上回るスピードで増えることが予想される。所得水準が高く、価格上昇のエネルギー消費効率に対する影響の大きい先進国に関しては、税制と価格効果を活用した一層のエネルギー効率改善が期待できるものの、途上国に関しては、こうした政策が実効性を持つことは困難と考えられる。また、途上国におけるエネルギー価格引き上げによる効率の改善は、国際的な所得分配の観点から公平性の問題もある。

発展途上国自身の負担による環境問題の解決は容易でなく、地球環境の保全は先進諸国にも利益をもたらすものである。従って、地球環境保全の政策においても、OECD において遵守されてきた「汚染者負担原則」を見直す余地があろう。

また、先進国においても、エネルギー消費効率改善の余地は十分に残されており、真摯な取り組みが必要である。エネルギー消費効率が改善を続けている国もエネルギーの消費総量は増加しており、これまでに与えてきた地球環境への負荷を考えれば、先進国の責任がより重いものであると言える。その意味でも、先進国から途上国への資金面・技術面での供与や支援が必要であろう。

(2) 今後の課題

図 13 に示した「一人当たり実質 GDP7000 ドルを臨界点にエネルギー消費効率が改善へと転じるパターン」は、1960 年から 90 年までの OECD 24 ヶ国の実績データに基づいて推定されたものである。この間にエネルギー利用に関して個々のミクロレベルでは相当な技術進歩が生じているが、今後経済発展を遂げる国においては最新の技術が利用可能であり、エネルギー消費効率が改善へと

転じるパターンが仮に同じでも、「エネルギー消費の GDP 原単位」の絶対水準はより低い経路を辿ることができるかもしれない。むしろ、それを可能にするためにも、先進国からの支援が不可欠であろう。

今回は、日本についてのみ産業構造変化とエネルギー消費効率の変化を考察したが、マクロ的なエネルギー消費効率の変化は産業構造変化と密接に関係していることは、先進国に共通の「経験」と考えられる。日本以外の先進国についても検証を行うことが必要であろう。更に、後発の途上国の経済発展において、同様の産業構造変化のパターンを辿ることができるかどうかを十分に検討すべきであろう。国際的な相互依存の関係がより高まった現代において、経済発展の過程でエネルギー消費効率が必ず改善に転じるメカニズムが途上国を含めた全ての国に内在しているかどうか、ということである。この問題に関しては、より精緻な分析的な枠組みで理論的に考察する必要がある、今後の検討課題としたい。

また、エネルギー消費効率を「エネルギー消費の GDP 原単位（エネルギー消費÷実質 GDP）」という定義式で捉えることの限界についても留意が必要である。分子は直接国内で消費されたエネルギー消費量を表しているが、分母の実質 GDP は当該国の国内需要だけでなく、輸出入の加減をした結果が反映されている。輸出品の生産には国内でエネルギーが消費されるが、海外で生産された輸入品については生産国でエネルギーが消費されている。国内で生産した場合に多くのエネルギーを要する財を海外から輸入すれば、見掛け上の国内エネルギー消費は少なくて済む。他方、自国の輸出産業のエネルギー消費効率が良く、競争力もあって海外に多くの輸出を行っている場合には、海外での財需要に要したエネルギーが見掛け上国内でのエネルギー消費に計上される。一国の生活水準とそこから生じる地球環境への負荷を考えると、見掛け上の国内エネルギー消費から海外で

負担されたエネルギー消費と海外に帰属するエネルギー消費とを加減した、「帰属ベース」のエネルギー消費を把握することが理想であろう。これも今後の検討課題としたい。