

# 〈研究報告〉

# 日本の製造業におけるエネルギー選択

## ——価格、環境規制および技術進歩の影響分析——

### Impacts of Price, Regulation and Technological Changes on Interfuel Substitution in Japanese Manufacturing Industries

真 殿 誠 志 松 川 勇  
藤 井 美 文

キーワード：エネルギー政策，環境規制，省エネルギー，燃料代替

#### 【要 旨】

1980年代のわが国の製造業のエネルギー需要は，第二次オイルショックによる80年代前半の原油価格の高騰，後半の円高による原油価格の減少という歴史的な環境変化の中で，一貫して省エネルギーとエネルギー間代替を推進してきた。本研究では製造業の各業種を対象として，エネルギー代替の進展がエネルギー価格，環境規制，各種エネルギー政策に及ぼす影響を受けてきたかを定量的に分析することにある。

分析の結果次の事柄が明らかになった。

- 1) 自己価格弾性は過去の研究に比べて大きく，エネルギー需要は価格に敏感に反応している。
- 2) ほとんどの燃料間で競合関係があり，石炭による自家発と購買電力の競合の存在が確認された。
- 3) 環境規制は，石炭の消費を抑え，軽質油・ガスの消費を促進する方向に働いている。
- 4) エネルギー代替政策により，重質油の消費が抑えられ，一貫して軽質油・ガス，電力の消費が促進されていることが数量的に確認された。

#### 【政策的含意】

全ての業種で購入電力は他のエネルギーのいくつかと競合関係にある。とりわけ素材産業での競合が激しい。最近，首都圏での電力需給逼迫に直面してエネルギー間競合や電力市場における競争よりも，協調といった側面が注目されているが，中長期的に見た場合エネルギー・電力市場における競争の進展は否定できないであろう。この意味で，競争に対応した料金制あり方を今から検討しておくことが必要である。

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 1. はじめに                       | 3.1 分析モデル |
| 2. わが国製造業における種類別エネルギー消費と価格の動向 | 3.2 データ   |
| 3. モデル及びデータ                   | 4. 推定結果   |
|                               | 5. 結語     |

## 1. はじめに

第一次オイルショック後，日本は非常に高いエネルギー効率を達成してきた<sup>注1)</sup>。例えば，1973

年から1988年の間でみると，オイルショック後の原油価格の高騰と80年代に入って円高による

注1) 日本のエネルギー効率の改善は海外でも注目を集めており，研究例としては，Taylor et al (1990)がある。

逆オイルショックというエネルギー価格の極めて大きな変動の中で、実質GDPに対する一次エネルギーの比率は、年間約2パーセントずつ減少している。重量ベースでは、実に1985年の100万USドルあたり73年には重油換算39億トンであったのが、83年には27億トンと大幅な減少を示している。

この現象に対してなされてきた分析<sup>注2)</sup>は、日本全体もしくは製造業全体のデータを用いてもっぱらエネルギー価格と需要との関係を論じてきた。特に、製造業が消費するエネルギーは最終消費の段階で日本全体の消費の約半分を占めており、わが国の今後のエネルギー政策を考える上でエネルギー価格が製造業のエネルギー需要に与えた影響の正確な評価は重要な課題である。製造業のエネルギー需要動向を見ると、重質油価格の上昇期はもちろんのこと、下落している期間ですら、製造業はプロセスヒーティングにおいて重質油の消費比率を急速に減らしつつ、軽質油と石炭の消費比率を一貫して高める行動を取っており、これは価格要因だけで論じられる現象とは考えられない。そこで、製造業においてエネルギー価格が需要に与えた影響を把握するために、価格以外の要因すなわち、技術構造のちがいと、環境規制などの政策的要因も分析に加える必要がある。一口に製造業といっても、業種によりその技術構造は大きく異なっている。たとえば、鉄鋼や化学などの重工業部門では生産過程から生じる廃熱を回収して自家発に用いているが、機械や軽工業などはこうした自家発設備を持っていないのがふつうである。このため、製造業のエネルギー需要を分析するためには、製造業全体のデータでなく、技術構造のちがいを考慮して業種ごとのデータによる分析が必要となる。さらに、技術構造のち

がいのみならず、重工業から機械工業への移行といった構造変化の存在を考慮すると、製造業全体のデータは燃料の代替の分析には適していない。

そこで、本研究ではデータが利用可能な1980年から1988年の期間について、製造業の業種ごとの燃料選択について分析を行う。ここで、価格の変動以外にエネルギー需要に大きな影響を与えた政策的要因が二つ考えられる。まず一つは、大気汚染物質の排出量を規制するために、大気汚染防止法が1968年制定されたことである。この法律により製造業は、エネルギー効率の改善や低硫黄燃料の使用さらに脱硫設備を新たに設置して、硫黄、窒素酸化物等の大気汚染物質の排出量を減少させる努力をしてきた。

第二の要因としては、石油から石炭またはガスへといった燃料転換を促した政策が挙げられる。1979年の第二次オイルショック後、政府は燃料転換のため、石炭燃焼ボイラーの設置に対する減税措置や低利融資であるとか、LNGの使用に対する補助金などの政策を実施してきた。さらに、第二次オイルショック以降、製造業は海外炭よりも高い国内炭の購入義務を免除され石炭消費が促進された。

製造業の燃料需要を分析する際、上記の環境規制や燃料転換を促進させた政策の存在は無視できない。これら二つの要因も燃料需要に大きな影響を持っていることは明かであり、価格効果を正しく把握するためには同時にこうした要

注2) 注目すべき研究例では日本全体の集計データを用いたPindyck(1979)、Hogan(1989)がある。日本のエネルギー市場に関する研究としては大山(1983) Nagata et al(1989)やエネルギー経済研究所(1990)があり、両研究とも業種別のエネルギー間競争を分析している。しかしながら、環境規制などの非価格要因については分析に加えられておらず、エネルギー価格データも実際の購入価格を反映したデータとはなっていない。

因も分析する必要がある。以上のように、技術構造のちがいを考慮して業種ごとのデータを用い、価格と同時に政策的要因も分析の対象とした点が本研究の特徴となっている。

また、近年地球温暖化や気候変動に関連して、省エネルギーが大きな課題となっている。その対策の一つとして、エネルギー消費を抑えるため燃料価格に課徴金<sup>注3)</sup>を上乗せする方法が検討されているが、こうした課徴金制の有効性を論ずるためにも、日本においてエネルギー価格の変化がエネルギー消費にどれほど影響したかを評価しておくことは重要であろう。

論文構成は次の通りである。2章ではわが国の製造業におけるエネルギー消費の実態について定性的分析を行う。3章ではエネルギー需要の分析のための計量モデルの展開とデータについての説明をおこない、4章では推定結果について説明し、5章で結論を述べる。

## 2. わが国製造業における種類別エネルギー消費と価格の動向

他の先進国と同様に製造業の燃料消費のシェアは減少傾向にあるとはいえ、わが国のエネルギー消費シェアのほぼ半分を占めている。表1

表1 日本の製造業におけるエネルギー消費量  
( $10^{12}$ Btus)

	1980	1988	1980—88(%)
重質油	1,662.6 29.9	842.0 16.1	-8.2
軽質油	459.5 8.3	538.5 10.3	2.0
石炭	1,863.4 33.6	2,161.8 41.3	1.9
ガス	719.0 12.9	783.7 15.0	1.1
購入電力	848.8 15.3	906.3 17.3	0.8

註：各燃料の第二行は消費比率(%)を表す。自家発は重質油、石炭、ガスを含んでいる。

には1980年以降のわが国製造業のエネルギー消費量を掲げている。総消費量は年率0.7%の割合で減少しており、80年には5600兆Btus(英国熱量単位：1Btu=252cal)の消費量であったものが、80年には5200兆Btusへと減少している。産出量の伸びを考慮すると緩やかではあるがはっきりとした減少傾向にあることがわかる。ちなみに、製造業の実質生産量はこの期間年平均6.5%の伸びを示している。

5種類の燃料のうちで、重質油だけがこの期間減少し、実に、1700兆Btuから800兆Btuと半減している。このため、量としてはわずかながらの減少を示すものの、他の燃料のシェアは増加している。石炭は第二次オイルショックの1979年までシェアを減少させていたが、一転して1980年の34%から88年には約40%にまでシェアを伸ばした。軽質油・ガス並びに購入電力は88年まで着実にシェアを増加させている。重質油の消費の減少は、製造業のエネルギー利用技術の変化とは無縁では有り得ない。重質油は主としてプロセスヒートと直接加熱に使われている。1980年代には重質油を用いていた技術も急速に他の燃料にとって変わられるようになった。ボイラーであるとか、溶鉱炉、窯業での窯、石油加熱炉、石油反応炉、圧延、熱処理炉といった技術である。さらに、混焼ボイラーも広く用いられ、燃料の代替が容易に行えるようになってきている。

注目すべきは、表1にあるように自家発用の燃料として重質油だけでなく、軽質油・ガス及び石炭も含まれている点である。製造業における自家発は、化石燃料の価格の低下を反映して、近年その比率を増している。購入電力に対する自家発の比率をみると、1988年には34%に達し、

注3) 環境問題の対策として市場機構の活用がOECD(1989)において検討されている。

1980年に比べて5%ポイントの上昇を見せている。自家発の主燃料は石炭と原油である。1983年では、原油燃焼タイプの自家発は全体の64%を占めていたが、1988年にはそのシェアを50%にまで下げている。ただし、化石燃料による自家発の比率は80%で83年から88年まで安定したシェアを占めている。これは、石炭燃焼タイプの自家発の増加を意味している。<sup>注4)</sup>

燃料価格は80年代に入り劇的な変化を見せた。図1では、製造業における燃料価格の変化を示している。これらの価格は3章で述べるように、業種別の購入価格をもとに計算されている。すべての燃料は82年以降その購入価格を下げしており、85年における急激な下降は円高を反映した変化を示している。

### 3. モデル及びデータ

#### 3.1 分析モデル

本論分において我々が必要とする情報は、個々の燃料価格の変化に対して、各燃料需要がどう変化したか、さらに、環境規制の変化ならびに技術変化に対して各燃料需要がどう変化したかである。このような投入要素価格と需要との関係は費用関数を用いることで記述できる。製造業の費用関数を導出する場合、投入要素として考えられるのは、一般に資本、原材料、労働、燃料の4要素である。本研究の場合、燃料間の代替性を考慮するために燃料をさらに重質油、軽質油・ガス、石炭、購入電力に分けて、合計7要素を費用関数に導入する必要がある。しかしながら、このように多くの投入要素を同時に分析しようとすると、多重共線性(変数間に強い相関関係が生じ、同じ変数を2つ導入したことと同じ結果になること)が生じ、推定を不安定にしてしまう可能性がきわめて大きい。分析

の目的から、労働と石炭の代替関係であるとか、原材料と購入電力との代替関係を論ずることはほとんど意味がない。そこで、われわれは燃料と他の要素との間に弱分離性が成り立つものと仮定し、費用関数をエネルギーに対する支出とエネルギー要素価格との関係で記述する。こうした、弱分離性の仮定は、燃料間の競合関係を分析する数多くの研究で採用されている(Fuss, 1977 Pindyck 1979 Concidine 1989)。弱分離性を仮定することで、扱うべき投入要素は7要素からエネルギーの4要素となり、推定すべきパラメータの数を減らせ多重共線性を防ぐことができる。弱分離性の仮定の必要十分条件として、集計された投入要素Eが、n種類のエネルギーの相似拡大的になっていることを仮定する。さらに、総和性条件を満たすためには、一次同次関数であることが必要である。

生産量と、投入要素価格が所与のもとで、双対性により生産関数から一意的に弱分離性を持つ費用関数を導くことができ、その関数は次式のように表される。

$$(1) \quad C = C(PK, PL, PM, PE, PE1, \dots, PE_n), Q$$

$C, PK, PL, PM, PE$ はそれぞれ生産費用、と資本、労働、原材料の価格および燃料の集計価格を表す。

実際に推定する費用関数としては燃料間の代替の弾力性をデータごとに柔軟にとらえるために、実証分析に広く用いられているトランスログ関数を採用する。(Berndt and Wood(1975))<sup>注5)</sup>。投入要素に関して一次同次であるエネルギー単位費用関数は以下のように記述される。

注4) 製造業における燃料別の自家発のデータ(通産省)は1983年以降利用可能である。化石燃料による自家発は、油燃焼型と非油燃焼型とに分類できる。原油をのぞくと化石燃料としては石炭が自家発のほとんどである。

$$(2) \ln P_{E_i} = a_0 + \sum a_i \ln P_{E_i} + a_r \ln R + a_t T \\ + 0.5 \sum b_{ij} \ln P_{E_i} \ln P_{E_j} \\ + \sum b_{ir} \ln P_{E_i} \ln R + \sum b_{it} \ln P_{E_i} T \\ + b_{ir} T \ln R + b_{rr} \ln R \ln R + b_{it} TT$$

非価格要因が二種類(3)式に導入されている。

$R$ は環境規制の度合いを表し、 $T$ は技術進歩を表している。 $R$ は大気汚染防止法によって制定された大気汚染物質の排出量を反映しており、そのパラメータは環境規制が燃料需要に及ぼした大きさを表す。大気汚染防止法の制定を受けて、製造業は燃料を低硫黄な燃料に切り替え、排気ガスから硫黄分を除去する装置を据え付け、あるいは製造工程におけるエネルギー効率を改善するなどしてこの排出規制に対応してきた。つまり、排出規制は燃料転換や省エネルギー活動を推進してきたといえよう。

$T$ はタイムトレンドであり、環境規制以外の政策の効果を含んだ外生的技術変化として解釈される (Mountain et al (1989))。第二次オイルショック後燃料転換の促進のため、減税措置や低利融資制度、LNG輸入のためのインフラの整備等が実施された。このような政策は環境規制とことなり数量的に表現できないため、ここでは外生的技術変化に代表させている<sup>注5)</sup>。

シェファードのレンマにより、(2)式を投入要素価格について微分することで次のコストシェア関数を導ける。

$$(3) S_i = a_i + \sum b_{ij} \ln P_{E_i} + b_{ir} \ln P_{E_i} + b_{it} T$$

$S_i$ はエネルギー要素  $i$  のコストシェアを表している。

コストシェア関数は総和性(各要素への支出の和は総支出に等しい)とともに価格に関して一次同次性を持っていないなければならない。そのために、以下のような制約条件をおく。

$$(4) \sum a_i = 1, \sum b_{ij} = 0, \sum b_{ji} = 0, \sum b_{ir} = 0,$$

$$\sum b_{it} = 0$$

さらに、対称性の条件として

$$(5) b_{ij} = b_{ji}$$

定義によりシェアはあわせて1になることから、シェア関数のうち一つは独立でない。そこで推定にはSUR (Seemingly Unrelated Regression)を用いている。推定されたパラメータを使って得られる、代替の弾力性は次のように定義される。

$$(6) E_{ij} = p_{ij} S_{ij}, i \neq j$$

$$E_{ii} = P_{ij} S_{E_i}$$

ただし、

$$P_{ij} = (b_{ij} + S_{E_i} S_{E_j}) / (S_{E_i} S_{E_j}), i \neq j$$

$$P_{ii} = (b_{ii} + S_{E_i} (S_{E_i} - 1)) / S_{E_i} S_{E_i}$$

エネルギー需要における環境規制の効果は総エネルギー費用が一定のもとで、(4)式を環境規制変数で偏微分した値として定義する (Considine (1989))

$$(7) S_{ir} \equiv (\partial S_i / \partial R) R / S_i \mid C_e \text{ は一定} = b_{ir} / S_i$$

$b_{ir}$ が正(負)の場合は環境規制がその燃料の使用をより使用(節約)させる方向に働いたことを示している。技術進歩に関しては、 $b_{it}$ が正(負)の場合、技術進歩がその燃料をより消費(節約)させる方向に働いたことを意味する。ただし、技術進歩に関しては弾力性で基準化してはならない。また、価格弾力性、環境規制効果と技術進

注5) トランスログ関数による推定は凹性や単調性などの費用関数の最適性を損なうことがある。とくに、ある投入要素のシェアが極端に小さいか、大きい場合におこりやすい (Considine (1989))。

注6) 燃料需要の外生要因として技術進歩を導入することは重要である。なぜならば、第二次オイルショック後、エネルギー代替政策により重質油から軽質油・ガス、石炭へと燃料転換が促進されてきたからである。ほかにも、OA化やFA化に代表される産業の電力シフトは技術進歩に反映される。事実、4章の推定結果を見ると $b_{it}$ は有意にエネルギー需要にきいていることがわかる。技術進歩の項をはずして再推定すると、価格弾力性はまったくちがう値となり、凹性は多くのサンプルで満たされなくなってしまう。

歩の値は相互に大きさの比較はできないことに注意が必要である。

### 3.2 データ

業種別の燃料消費量について石油等消費構造統計（通産省）の各年のデータが利用可能である。この統計は1980年分から作成された統計で、4桁の製造業分類でのエネルギー消費量のデータからなり、さらに、2桁分類での県別のデータも利用可能である。エネルギーの購入価格に関しては石油等消費構造統計と工業統計表とをもとに別途推計している（詳しい推計方法に関してはFujii and Matsukawa (1989)を参照のこと）。この価格データは部門別の購入価格のちがいを反映したデータとなっている。一般に、重工業は機械や軽工業よりもより多くのエネルギーを消費しており、大口需要家には割引価格が適用されるので、重工業は機械、軽工業よりも安い価格でエネルギーを購入している。一例を示すと電力の場合、大口需要家は大口の特別契約を結ぶことで、割引料金の適用が認められている。なお、このデータではエネルギー価格は英国熱量単位 (Btu) で表している。

環境規制に関しては認可排出量<sup>注7)</sup>の指数を代表値として用いている。現在、大気汚染物質の排出基準は汚染物質と地域それぞれについて設定されている。規制対象となっている主な排出物は、硫黄酸化物、窒素酸化物、灰塵である。各都市は汚染物質の集中度等を考慮して、規制の強度が設定されている。原データの数値としては数値が小さいほど認可排出量が小さいすなわちよりきびしい規制が行われていることを表しているが、モデルには原データの逆数を取りそれをさらに100を中心に基準化することで、数値が高いほど環境規制が厳しいことを表すようデータを加工した。環境規制値は80年に入り同

一地域では時系列でほとんど変化しておらず、むしろ横断面でのちがいを表している。ちなみに、東京など大都市圏ではよりきびしい規制値となっている。

## 4. 推定結果

推定はエネルギーシェア関数(4)式とパラメータ制約の(5)(6)式とを9年間(1980—1988年)、58地域(47都道府県と11政令指定都市)<sup>注8)</sup>についてのプーリングデータ(サンプル数522)で推定した。1は食品、2は繊維、3は機械、4は化学、5は紙パルプ、6は窯業土石、7は鉄鋼を表している。ただし、地域によっては存在していない産業もあり、推定の際こうした地域は除いてある。燃料は基本的に4種類に集計している。すなわち、重質油、軽質油・ガス、石炭、購入電力である。軽質油とガスは単体では、消費シェアが非常に小さく分けたまま推定すると、関数が満たすべき性質を損ない推定の精度を著しく損なうことがあり、一つの燃料として集計している。石炭については、食品や繊維などのようにほとんどと言っていいほど使用していない業種があり、これらの業種については投入要素から除外している。また、鉄鋼については、重質油、軽質油、ガスは集計している。なぜなら、これらの個々の燃料シェアは極めて小さく、個別に費用関数に入れた場合自己価格弾力性が正になるなど有為な結果が得られないからである。ちなみに、鉄鋼では副生ガスは石炭に含めてある。

表2には、部門ごとの価格弾力性、環境規制

注7) Gollop and Roberts(1982)が論じているように、環境規制値の扱いでは名目の基準値と実際に守られた値とを導入する方が理想的である。しかしながら、実際の排出量に関するデータは存在しない。

注8) データは58地域からなるので自由度を考慮して地域ダミーは用いていない。実際には、地域ダミーはある業種については有意である。

に対する弾力性および技術変化の係数を示している。なお、弾力性はサンプル平均で計算されている。ほとんどの場合で、弾力性は統計的に有意な値を得ることができた。しかしながら、サンプル数が比較的多いこともあり決定係数は小さな値となっている。

#### 価格要因の効果

表2にあるように、全ての燃料の自己価格弾力性で理論通り負の値を得ることができた。そして業種により、燃料によってかなり異なる値となっている。以下業種ごとに結果の説明を行う。

食品については、自己価格弾力性では重質油がもっとも弾力的な結果を示した。代替の弾力性はすべてのエネルギー間で正の値を示し、重質油、軽質油・ガス、購入電力の3エネルギーは互いに代替的（競合的）関係にある。

繊維については、自己価格弾力性は軽質油がもっとも弾力的な結果を示した。エネルギー間の代替補完関係については、食品と同様に3つのエネルギー間で代替的關係にある。

機械については、自己価格弾力性では石炭がもっとも弾力的で、重質油がこれに続いている。軽質油・ガスと購入電力については自己価格弾力性は比較的非弾力的である。

化学について、自己価格弾力性では軽質油・ガス、石炭が弾力的である。代替補完関係では、重質油と購入電力が補完関係にあるという結果が得られた。

紙・パルプについては、自己価格弾力性で軽質油・ガスは弾力的な結果である。代替補完関係では、軽質油・ガスと購入電力との間に補完関係があり、他の燃料の間では代替関係がある。

窯業土石については、軽質油・ガスと石炭に

関しては自己価格弾力性は絶対値で1を越えて弾力的である。代替補完関係では紙パルプと同様に、軽質油・ガスと購入電力との間に補完関係がある。

鉄鋼については、自己価格弾力性は購入電力で弾力的である。代替補完関係では重質油・軽質油・ガスと石炭との間に補完関係があり、他の燃料間では代替的である。

以上をまとめると、重質油と軽質油・ガスとではすべての業種で代替的な関係が示されたが、この背景には混焼ボイラーが普及したことにより、プロセスヒートでの燃料転換が極めて容易に行えるようになったことがある。石炭と購入電力の代替の弾力性は正の値で競合関係にあることを示しているが、これは石炭による自家発の増加が背景にある。例えば、鉄鋼と化学は80年代、特に自家発と購入電力との競合の激しい業種である。80年には自家発の比率は鉄鋼と化学それぞれ26%と69%であったのが、88年には46%と92%にもそれぞれ上昇している。また、石炭の自己価格弾力正を見ると、鉄鋼では比較的非弾力的な値を示しているが、これは鉄鋼では生産工程において石炭が必要不可欠な投入要素であることに起因する。

#### 非価格要因の効果

まず、環境規制のパラメータを燃料ごとに考察して行こう。石炭や重質油が燃焼する際には軽質油やガスよりもはるかに多量の汚染物質が生じるので、石炭と重質油に対しては、弾力性は負になることが期待される。



表2 業種ごとの価格弾力性, 規制弾力性およびタイム  
トレンドの係数 (括弧内は標準誤差)

## 食品

価格弾力性	重質油	軽質油・ガス	購入電力
重質油	-0.818 (0.152)	0.685 (0.144)	0.133 (0.048)
軽質油 ・ガス	0.665 (0.136)	-0.684 (0.156)	0.020 (0.075)
購入電力	0.220 (0.078)	0.033 (0.127)	-0.254 (0.106)
規制の 弾力性	-0.469 (0.040)	0.460 (0.036)	-0.007 (0.021)
トレンド の係数	-0.030 (0.003)	0.017 (0.004)	0.013 (0.002)
決定係数	0.38	0.29	0.59

## 繊維

価格弾力性	重質油	軽質油 a	購入電力
重質油	-0.415 (0.179)	0.370 (0.183)	0.045 (0.100)
軽質油	1.263 (0.634)	-1.660 (0.834)	0.397 (0.356)
購入電力	0.094 (0.208)	0.245 (0.214)	-0.339 (0.194)
規制の 弾力性	-0.015 (0.026)	0.611 (0.072)	-0.379 (0.046)
トレンド の係数	-0.014 (0.007)	0.000 (0.000)	0.014 (0.006)
決定係数	0.22	0.21	0.36

a : ガスは除いている

## 機械

価格弾力性	重質油	軽質油・ガス	石炭	購入電力
重質油	-2.179 (0.360)	1.339 (0.325)	-0.448 (0.189)	1.288 (0.284)
軽質油 ・ガス	0.267 (0.062)	-0.100 (0.102)	0.103 (0.046)	-0.270 (0.077)
石炭	-0.931 (0.418)	1.077 (0.482)	-3.410 (0.472)	3.263 (0.527)
購入電力	0.213 (0.044)	-0.224 (0.065)	0.260 (0.034)	-0.248 (0.070)
規制の 弾力性	-0.329 (0.100)	0.188 (0.020)	-0.635 (0.177)	-0.051 (0.015)
トレンド の係数	-0.019 (0.003)	0.005 (0.003)	0.001 (0.002)	0.013 (0.003)
決定係数	0.34	0.43	0.21	0.70

## 機械

価格弾力性	重質油	軽質油・ガス	石炭	購入電力
重質油	-0.231 (0.132)	0.216 (0.109)	0.091 (0.059)	-0.076 (0.082)
軽質油 ・ガス	0.681 (0.336)	-2.100 (0.416)	0.642 (0.196)	0.777 (0.237)
石炭	0.371 (0.237)	0.834 (0.282)	-1.949 (0.341)	0.743 (0.172)
購入電力	-0.226 (0.250)	0.736 (0.207)	0.542 (0.104)	-1.052 (0.254)
規制の 弾力性	-0.067 (0.067)	0.565 (0.230)	0.052 (0.307)	-0.374 (0.124)
トレンド の係数	-0.020 (0.007)	-0.006 (0.007)	0.013 (0.006)	0.013 (0.006)
決定係数	0.33	0.16	0.37	0.20

## 組・パルプ

価格弾力性	重質油	軽質油・ガス	購入電力
重質油	-0.918 (0.218)	0.726 (0.174)	0.192 (0.060)
軽質油 ・ガス	2.745 (0.596)	-2.507 (0.525)	-0.238 (0.212)
購入電力	0.589 (0.177)	-0.193 (0.174)	-0.396 (0.138)
規制の 弾力性	-0.062 (0.057)	0.277 (0.171)	-0.033 (0.050)
トレンド の係数	-0.036 (0.097)	0.023 (0.008)	0.013 (0.004)
決定係数	0.98	0.07	0.40

## 窯業土石

価格弾力性	重質油	軽質油・ガス	石炭	購入電力
重質油	-0.661 (0.174)	0.244 (0.140)	0.345 (0.114)	0.071 (0.085)
軽質油 ・ガス	0.372 (0.210)	-1.096 (0.258)	0.826 (0.144)	-0.103 (0.142)
石炭	0.306 (0.100)	0.481 (0.085)	-1.047 (0.151)	0.259 (0.046)
購入電力	0.140 (0.166)	-0.133 (0.185)	0.577 (0.100)	-0.584 (0.167)
規制の 弾力性	0.278 (0.060)	-0.069 (0.074)	-0.143 (0.077)	-0.141 (0.052)
トレンド の係数	-0.035 (0.005)	0.006 (0.004)	0.020 (0.006)	0.009 (0.003)
決定係数	0.30	0.04	0.24	0.04

## 鉄鋼

価格弾力性	重質油 軽質油・ガス	石炭	購入電力
重質油・ ガス	-0.035 (0.062)	-0.193 (0.104)	0.228 (0.071)
石炭	-0.057 (0.031)	-0.251 (0.069)	0.308 (0.059)
購入電力	0.228 (0.068)	1.037 (0.190)	-1.265 (0.198)
規制の 弾力性	-0.462 (0.113)	-0.249 (0.113)	0.376 (0.057)
トレンド の係数	-0.008 (0.003)	0.000 (0.000)	0.008 (0.003)
決定係数	0.55	0.01	0.38

b：重質油，軽質油とガスは集計している。

石炭に関しては，機械と鉄鋼において有意に負の効果すなわち石炭の消費を抑制する効果を持っていることがわかった。化学に関しては正の値が計測されたが統計的には有意ではなかった。

重質油に関しては繊維と窯業土石をのぞく業種で負の値を示した。繊維については正の値であったが，統計的に有意ではない。

軽質油・ガスに関しては，食品，繊維，機械，化学に関しては有意に正の効果を持つ。唯一窯業土石に関しては，環境規制が負の効果を持っていることがわかった。ただし，窯業土石に関しては，値は有意ではない。以上のことから，排出規制は全般に灰塵，硫酸化物の多い，石炭の消費を抑制し軽質油・ガスの消費を促進して来たことが理解できる。

電力はクリーンエネルギーであるので，環境規制のパラメータは正となることが期待される。しかしながら，興味深いことに我々の推定結果では，鉄鋼を除いたすべての業種で負の値が計測された。この理由としては，推定結果は環境規制と自家発との間にある正の相関関係を反映しているのではないかと考えられる。つまり，環境規制のきびしい都市部に立地している工場

は大規模で自家発の比率が高いので相対的に購入電力が少なくなる。一方環境規制値のゆるい郊外に立地している工場は小規模で自家発比率が低く相対的に購入電力が多い。事実，電力需要に関して有意に負であった業種に関しては環境規制値と購入電力のシェアとの相関係数はすべて負であった。環境規制値の動きは時系列では少なく，地域差が大きいので上記のように地域差が観測され購入電力に対しては負の値となったと考えられる。

最後に，タイムトレンドについて検討しよう。すべての業種において，重質油に関してタイムトレンドは有意に負の効果を持っている。つまり1980—1988年の間，技術進歩は重質油をより節約する方向に働いた。

一方，石炭，軽質油・ガスに関しては正の値が得られている。すなわち，技術進歩が石炭，軽質油・ガスをより使用する方向に働いていたことがわかる。化学に関しては軽質油・ガスは負の値であったが有意ではなかった。

タイムトレンドに関するこうした推定結果は，減税措置や補助金などによって燃料代替を促進した政策<sup>注9)</sup>の帰結にほかならない。食品，機械では，軽質油・ガスのシェアは増大しており，その背景にはLNGを使用する機器やガス空調設備への補助が行われていたことが挙げられる。また，重質油から石炭への転換としては高い国内炭の購入義務が免除されたことがある。

購入電力に関しては，タイムトレンドはすべての業種において有意に正の値となった。つま

注9) 燃料転換には，資本面での政策的補助も重要な役割を担っている。燃料転換を分析するためにはストックの分析も必要ではあるが，エネルギー関連の資本ストックとその他の資本ストックとを分けることは極めて困難である。本論分での分析の中心は燃料需要と価格要因，非価格要因との関係であるので，資本ストックの調整については明示的に扱っていない。

り推定期間、技術進歩はより電力を使用する方向に働いている。こうした推定結果は、化石燃料から電力への転換を促すさまざまな誘引が与えられたことや、電力は他の燃料と異なり、クリーンで制御し易く用途が多いことから、半導体産業に見られるように高品質の製品の製造に電力がますます必要とされているといった実態<sup>10)</sup>を反映している。

## 5. 結語

本研究においては、1980—1988までの日本の製造業のエネルギー需要にたいするエネルギー価格、環境規制および技術進歩の影響について分析した。第二次オイルショック後、日本の製造業は経済成長を損なうことなく省エネルギーを促進することに成功している。省エネルギーで大きな成果をもたらした要因として、価格要因の影響を分析する必要がある。これは、現在炭酸ガス排出規制の方策として検討されてる、課徴金の影響をはかる上でも重要な分析となる。

できるだけ先験的な制約を排除した上で、燃料需要に与えた価格の影響を分析するため、我々は、トランスログ型のエネルギー費用関数を採用した。そこで、燃料価格の他に、環境規制と技術進歩も分析に加えている。推定のため、大口の需要家はより安価に燃料を購入しているという実態や地域により輸送費が異なってくるという事情を考慮して、分析には地域ごと、業種ごとの購入価格をデータとして用いている。

1980年から1988年までの期間、58地域のプーリングデータによる分析結果は次の通りである。

- (1) 自己価格弾力性は全ての燃料、業種で負であった。業種ごとの値の大きさの差は、業種ごとの分析の必要性を物語っている。
- (2) 軽質油・ガスは全ての業種で重質油と代替

関係にあった。これは、混焼ボイラーの存在により、これらの燃料の切り替えが容易に行われることを反映している。

- (3) 石炭は、購入電力と代替関係にある。これは、主として自家発が石炭によって行われていることによる。
- (4) 環境規制は石炭消費を抑制し、軽質油・ガスの消費を促進している。一方、技術進歩は、重質油の消費を抑制し、軽質油・ガスと購入電力の消費を促進した。

## 【参考文献】

- [1] Berndt, E. and D. Wood (1975). "Technology, Price and the Derived Demand for [2] Energy," Review of Economics and Statistics 57, 259—268.
- [3] Berndt, E., N. Sagawa, T. Sawa and D. Wood (1986). "Energy Intensity and Productivity in U.S. and Japanese Manufacturing Industries," presented at the Eighth Annual North American Conference of the International Association of Energy Economists. Cambridge, MA, November.
- [4] Considine, T. (1989). "Separability, Functional Form and Regulatory Policy in Models of Interfuel Substitution," Energy Economics 11, 82—94.
- [5] Fujii, Y. and I. Matsukawa (1989). "Sectoral Analysis of Energy Substitution in Japanese Manufacturing Industries based on Purchase Prices," paper presented at the IFAC/IFORS/IAEE Symposium, Tokyo, Japan.
- [6] Fuss, M. (1977). "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs" Journal of Econometrics 5, 89—116.
- [7] Gollop, F. and M. Roberts (1983). "Environmental Regulations and Productivity Growth: the Case of Fossil-Fueled Electric Power Generation," Journal of Political Economy 91, 654—674.

注10) 1980年までの日本の製造業の電力シフトに関する分析としては、Berndt et al(1986)がある。

- [ 8 ] Hogan, W. (1989). "A Dynamic Putty-Semi-Putty Model of Aggregate Energy Demand," Energy Economics 11, 53-69.
- [ 9 ] 日本エネルギー経済研究所(1990)『石油代替エネルギーの計量分析』EDMCエネルギーモデルシリーズ
- [10] Mountain, D., B. Stipdonk and C. Warren (1989). "Technological Innovation and a Changing Energy Mix : A Parametric and Flexible Approach to Modeling Ontario Manufacturing," Energy Journal 10, 139-158.
- [11] Nagata, Y., O. Kumakura, Y. Fujii and I. Matsukawa (1989). "Modeling Interfuel Competition in Japan," paper presented at the IFAC/IFORS/IAEE Symposium, Tokyo, Japan.
- [12] OECD (1989). Economic Instruments for Environmental Protection, Paris.
- [14] 大山達雄(1983)「トランスログモデルによるわが国の一次エネルギー消費」『エネルギー需給の計量分析』経済企画庁経済研究所
- [15] Pindyck, R. (1979). "Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy : An International Comparison," Review of Economics and Statistics 61, 169-179.
- [16] Taylor, L., I. Brown and S. Boyle (1990). Lessons from Japan : Separating Economic Growth from Energy Demand, Association for the Conservation of Energy, London, UK.
- [17] 通産省(各年)工業統計表 通商産業大臣官房調査統計部
- [18] 通産省(各年)石油等消費構造統計表 通商産業大臣官房調査統計部
- [19] Turnovsky, M. and W. Donnelly (1984). "Energy Substitution, Separability, and Technical Progress in the Australian Iron and Steel Industry," Journal of Business and Economic Statistics 2, 54-63.

まどの せいし  
まつかわ いさむ  
経済部 エネルギー研究室  
ふじい よしふみ  
文教大学助教授