

る自律的調整力の大きさの問題や、自家発対事業用電力、ガス対事業用電力（コジェネ）などといった料金問題を柱とする規制緩和論議など、当面する政策課題に対する重要な含意を持っている。

従来分析の課題と燃料間代替を引き起こす要因

従来エネルギー需要の経済分析では、生産関数を用いてエネルギーを資本、労働、原材料などと同様な生産要素とみなしてこの代替・補完関係を分析するか、またはエネルギーをそれ以外の生産要素と弱分離可能（weak-separable）であるとの仮定をおいた上で、複数のエネルギー・キャリア（燃料など）間の代替・補完関係を分析するか、のいずれかであった。しかし、これらの分析はほぼ例外なくマクロ分析であり、部門別にヘテロな構造を有すると考えられる業種別分析は行われなかった。また、価格のみでエネルギー間代替を説明するこれら分析でのパラメータ推計結果は必ずしも安定したものとは言えなかった。部門別実証分析の困難性は、主として価格データの精度にあると考えられる。実際の燃料購入価格には企業規模や副生燃料の利用といった要因が大きな影響を与えるため、業種毎にも相当異なるはずである。しかし、従来このようなデータは入手不可能であった。相対価格の変化が量的変化を決定する経済分析にとっては、この価格推計は極めて重要な意味を持っている。

また、燃料間の代替を引き起こす要因として環境規制や代替燃料導入・普及に対する種々のインセンティブといった非価格要因も無視できない。とりわけ70年代における環境規制は環境汚染物質の多く含まれる重質油から軽質油やガスへの転換、燃焼技術の効率化（省エネルギー化）の最大の契機になったし、80年代の非石油燃料への転換を奨励した代替エネルギー設備や省エネルギー設備導入への補助金、政策金融といった代替（脱石油）政策も重要な要因であったと言える。従って、産業部門の燃料間代替の分析にはこれら規制やインセンティブ政策の影響要因が含まれるべきである。

以上から本分析では、(1)22の燃料種別に購入価格推計を行って、部門別のエネルギー価格をより精度の高いデータにするとともに、(2)非価格要因として環境規制および脱石油政策の影響を含める、などの従来にないアプローチによって歴史的ともいえる1980年代製造業のエネルギー需要変動を解明しようとするものである。

2. 製造業における需要変動と燃料間代替に見る80年代の特徴

2.1 戦後の製造業における燃料間代替とその特徴

戦後におけるわが国のエネルギー需要の特徴は、石炭から石油、そして電力およびガスへの移行である。図2.1は、わが国製造業2次エネルギー消費の構成比の1955年から1985年における推移である。第2次大戦終結後、経済の復興を最大の目標に掲げ、鉄鋼をはじめとする重化学工業を主体に経済成長を遂げたが、産業のエネルギー源は石炭であった。その後、高度経済成長期にはいると石油のシェアが急増し、石炭に代わって製造業のエネルギー源の主役となった。石油は流体であり、工場では連続プロセスにおいて利用可能であるため、石炭のような固体燃料の利用にともなうバッチ処理工程の制約がなくなるとともに、石炭利用に必要な大型設備が不要になった等の技術的な側面が石油利用に拍車をかけた。1955年からわずか10年間で石炭から石油への代替は歴史上例を見ない速度で進められた。

しかし、それまで国内自給を中心としていた石炭から、海外にほぼ100%依存する石油へのシフトは、石油危機にみられるように外的なショックに対する経済の脆弱性を高めることとなった。1955年では製造業需要の2割にみたなかった石油の構成比は、第1次石油危機直前の1970年では7割近くに達していたが、2度にわたる石油危機は、脱石油化を促し、LNGや石炭のシェアを増大させることとなった。一方、電力については導入以来一貫してシェアが増加傾向にあり、価格変化に敏感な製造業においても依然電力シフトが進んでいる。

第2次石油危機以降の1980年代は、石油に代わって石炭および電力のシェアが増加したが、石油の中でも重質油の減少が著しいのが特徴である。図2.2は、1980年～1988年における製造業各部門の重質油需要の年平均変化率を示している。各部門とも軒並み重質油需要が減少しており、特に窯業土石における減少の多さが目立つ。セメントでは1980年以降石油から石炭への大幅な燃料転換を行っており、窯業土石における重質油の急減はこれを反映している。

石油危機以降は、それまで類を見なかったエネルギー価格の乱高下が惹起した時期でもある。石油危機以前における製造業のエネルギー構成比の変化が傾斜生産方式や流体革命などの政策的・技術的要因にもとづくのとは対照的に、1980年代におけるエネルギー需要構造の変化は大幅なエネルギー価格の変動にもとづくものと推察され、エネルギー需要における価格効果を分析する期間として興味深い。もちろん、1980年以降のエネルギー需要構造に影響を与えた要因は価格要因のみに限定されるわけではない。1970年代より強化されてきた環境規制、および石油危機以降推進された石油代替政策などの政策的な要因についても考慮する必要がある。価格要因によるエネルギー需要変動が、需要家の費用最適化にもとづく自律的な調整であるのに対し、環境規制および石油代替政策は他律的な調整である。1980年代の特徴がエネルギー需

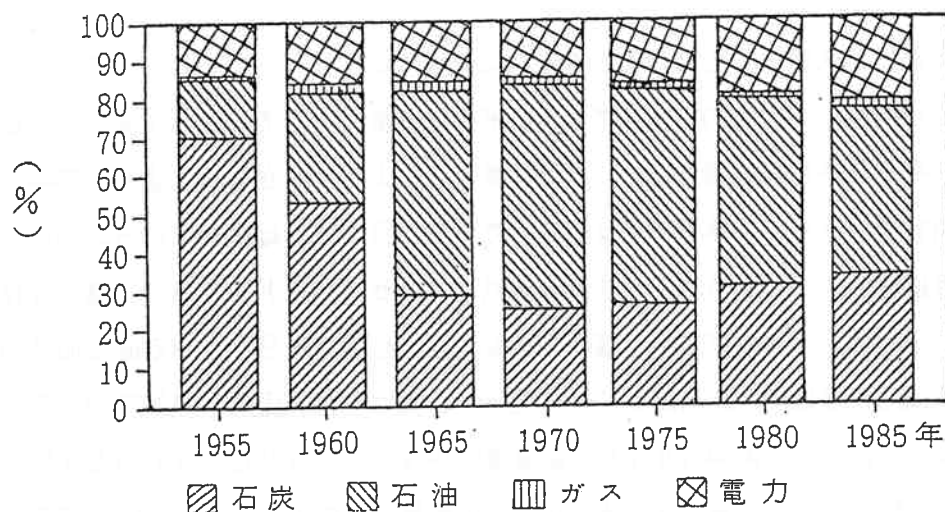


図2.1 製造業エネルギー需要シェアの推移1955年～1985年
Fig.2.1 Fuel Consumption Share of Japanese Manufacturing: 1955-85

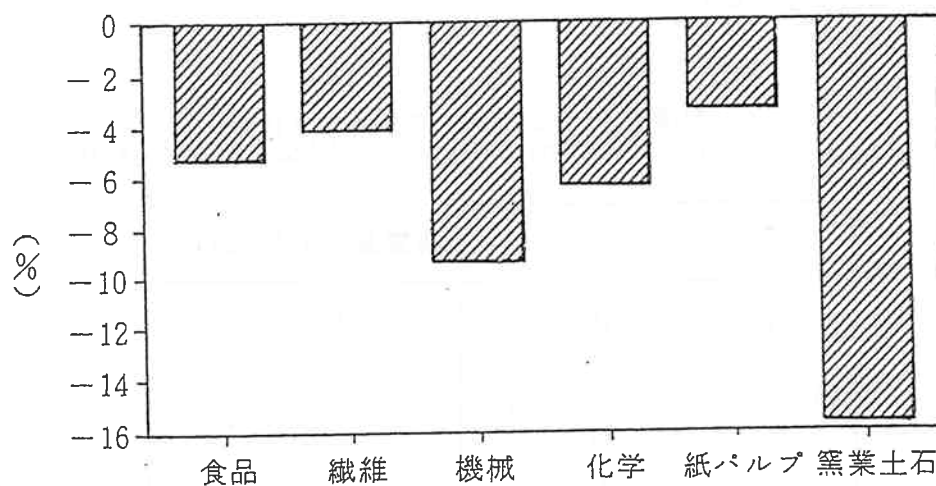


図2.2 重質油需要の変化率1980～1988年平均変化率 (%)
Fig.2.2 Decline in Heavy Fuel Oil Consumption by Sector

要における自律的・他律的調整メカニズムの並存にあるならば、本研究の分析結果は、現在地球規模環境問題の対策としてクローズアップされている炭素税のような価格効果によるエネルギー需要構造の自律的調整と、CO₂ 排出量割当等の他律的調整の有効性を検討する上で少なからぬ示唆を与えるものであろう。

2.2 燃料間代替にかかる規制と影響パス

価格や規制が燃料代替に与えた影響を数量的に分析するに先だって、これらの要因がエネルギーの代替を可能にする技術的バックグラウンドを予備検討として観察しておこう。製造業におけるエネルギー最終利用形態 (End-Use) は、表 2.1 のように示される。まず 1985 年におけるエネルギー消費量のうち、全体の 78% は非電力であり、残り 22% は電力である。非電力では全体の 50% が直接加熱、28% が自家発用を含む蒸気 (プロセスヒート) であり、電力では全体の 18% が動力・照明、4% が電気加熱・電解である。更に全体の半分以上を占める直接加熱のうち、その 1/3 は鉄鋼用の溶鉱炉、10% がセメント焼成炉、続いて金属圧延・熱処理炉 (9%)、石油加熱炉 (9%)、コークス炉 (8%)、金属焼成炉 (7%) などとなっている (図 2.3)。

これらのうち動力・照明用電力 (全体の 18%) は実質上他のエネルギーとは代替不可能であり、交差弾力性はほぼゼロであるといえるため、エネルギー代替は残りの用途 (便宜上「代替可能エネルギー」と呼ぶ) で行われてきた。そこで代替可能エネルギー消費全体の 80% を説明している、ボイラー、製鋼用の高炉、圧延加熱炉、コークス炉、セメントキルン、石油加熱炉、金属焼成・金属熱処理炉、の主要 5 技術について、価格、非価格要因が与えた技術的变化をまとめたものが表 2.2 である。

表 2.1 製造業の用途別エネルギー消費 (1985年)
Table 2.1 Industrial Energy Consumption by End-Use Technology in 1985

	消費量 (10^{13} kcal/y)
全 体	120
熱	
自 家 発	8
プロセスヒート	26
直 接 加 熱	59
電 力	
電 気 加 熱	3
電 気 分 解	2
動 力 そ の 他	22

表 2.2 主要「代替可能エネルギー」設備における要因別技術
 要因毎の技術的バックグラウンド
 Table 2.2 End-Use Technology and Factors Causing Fuel-Switch

エネルギー \ 要 利 設 備 \ 因 〔代替可能燃料に 占めるシェア〕	環 境 規 制	価 格	脱石油政策
1. ボイラー	・燃料別排出基準（固体＞液体＞気体の順で実現が困難な設定）による燃料の軽質化、または排煙装置装備による低コスト燃料の導入。 ・低空気比燃焼などの燃焼改善（熱管理の徹底）	・混焼（Dual Fuel）設備の導入 ・空気余熱器やレキュピレータなどの熱回収設備の導入。	・輸入炭の自由化（国内炭の割当廃止）による石炭ボイラの増大。 ・産し制度の開始による都市ガスボイラの増大。 ・省エネボイラへの政策金融
2. 製鋼用直接加熱（高炉、圧延加熱炉、コークス炉）	・高硫黄重油から燃料転換 ・脱硝設備導入（コークス炉）	・炉頂圧タービン、連続鑄造設備、コークス炉廃熱回収設備の開始	・高炉熱風炉のオイルレス化 ・鉄鋼省エネ設備への政策金融
3. セメントキルン	・廃タイヤなどの燃料使用加速 ・燃焼管理による低空気比燃焼や低NO_xバーナー設置（効率改善）	・SP/NSP（廃熱回収）キルンの導入加速 ・混焼（Dual Fuel）設備の導入	・輸入炭の自由化（国内炭の割当廃止）による石炭ボイラの増大。
4. 石油加熱炉／触媒再生棟（軽質化装置）	・フレアガス（廃棄ガス）の利用に伴うガス利用拡大 ・燃焼管理による低空気比燃焼や低NO_xバーナー設置（効率改善）	・廃熱回収や廃圧回収設備の導入	・廃熱回収や廃圧回収設備の導入 ・「省エネルギー型」工業炉への低利融資
5. 金属加熱炉	・燃焼管理による低空気比燃焼や低NO_xバーナー設置（効率改善）	・断熱材や熱交換（廃熱回収）設備の高度化	・「省エネルギー型」工業炉への低利融資

・セメント焼成は排煙処理を伴うため集塵機器以外はなし。

表からは、環境規制や石油代替政策のインセンティブおよび価格変動への対応がエネルギー利用技術毎に示されている。ボイラーを例にすると次のようになる。環境規制においては、ボイラーの環境規制は1973年に抜本的な見直しが行われ、硫黄酸化物および窒素酸化物に対する規制が強化された。このうち、特に固体（石炭）ボイラーは最も規制の絶対値は緩いものの、排煙脱硝装置などの高コストの設備を導入しなければ満たされない基準値が設定されたため、電力用などの大型設備を除いては実質上導入が困難になった。このため、多くの産業用ボイラーでは低硫黄分燃料へのシフトや熱管理の徹底化が進められた。このうち後者は結果として

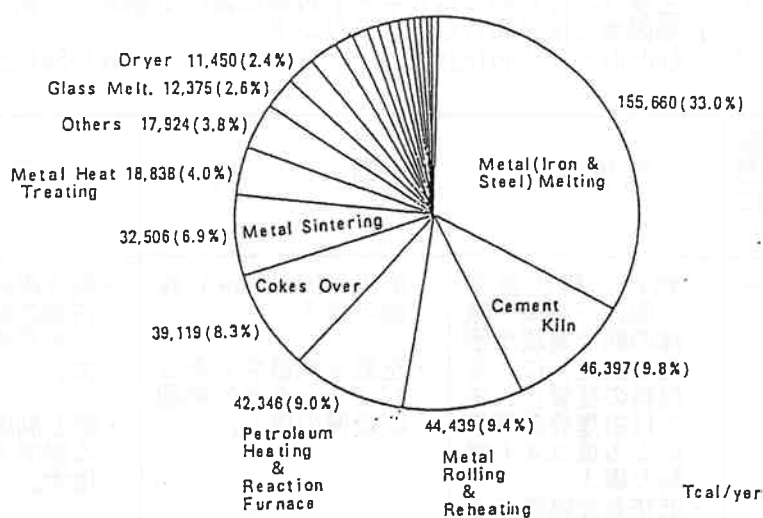


図 2.3 直接加熱エネルギー消費の内訳
Fig. 2.3 Direct Heat Furnace — Energy Consumption Share —

熱効率改善に寄与した。第2次エネルギー危機を契機とした価格高騰は、空気予熱器（熱回収設備）などの省エネルギー設備の導入を促進するとともに、燃料の価格に対応して燃料を選択できる混焼（Dual Fuel）設備の導入・普及を促した。また、脱石油政策では、特に大型ボイラーにおける輸入炭買入れの規制緩和（それまでは価格の高い国内炭の数量割当がなされてきた）が自家発用燃料の石炭化に拍車をかけたし、産業用LNGの個別契約制度の導入などの脱石油政策の促進が都市部などでの大口需要家のガス転換を促進した。また、省エネルギー設備への低利融資は、新規設備、すなわち脱重質化の燃焼設備導入を促進させた。

以上の事例にみるように、産業部門における燃料代替はこれらの要因別に次のようなパターンに分けることが可能である。

まず、第一は環境規制のもたらした燃料の軽質化傾向である。パッケージ型の小型ボイラーはほとんどの場合、低硫黄分の石油やガスへの転換が行われた。ただし、環境規制に対応した燃料転換にはもう一つのパス（経路）がある点には注意が必要である。それは比較的安価に対応できる燃料転換によっても規制基準が満たせない場合（例えば排出規制をクリアしても総量規制をクリアできない場合）には、特に大規模設備では排煙設備が導入された上で安価な重質油などが使用されるというパスが存在する点である。

第二は価格の自律的な影響経路であるが、この最も主要なパスは省エネルギー設備の導入にあった。特に大型設備においては公害対策によるコスト上昇を省エネルギー設備で補ったため、重質油の消費量が極端に減少した。と同時に、混焼設備の増大は燃料価格の変化に対応して燃料転換（Fuel Switching）が行われるなど価格に対する弾力性を高める効果をもっている。代替弾力性に関しては、図2.4に見るように自家発と事業用電力の競合性に関する影響も