

# エネルギーモデル分析と省エネルギー

大山達雄・森清 堯

## 1. はじめに

わが国への1次エネルギー供給は、昭和52年度において合計 $387 \times 10^{18}$  kcal (石油換算4.12億kℓ)であるが、その約90%を輸入に依存し、また燃料種別にみると70%以上も石油に依存している。総合エネルギー調査会の昭和54年8月の見通しによると、昭和70年度におけるわが国へのエネルギー供給の合計は石油換算で8.25億kℓとされ、そのうち輸入石油量は3.66億kℓと予測されている。このような中でたとえば西暦2000年におけるわが国のエネルギー需給を考える場合、原油を中心とする1次エネルギー供給の将来の不安定性にもなっており、それがわが国のエネルギー供給システムあるいは産業構造を含めたエネルギー需要形態にいかなる影響をもたらすかを予測し、また来たるべき21世紀初頭におけるわが国の望ましいエネルギー供給システムがいかなるものかを考察することが必要である。このような問題に対するひとつのシステム工学的アプローチとしてエネルギーモデル分析がある。

エネルギーに関する政策的、経済的、技術的諸問題の分析をエネルギーモデルによって行なおうとする研究は、米国をはじめとしてわが国においても近年数多く行なわれている。われわれの作成したエネルギーモデルによるいくつかの特徴的な

分析として、エネルギーをめぐるわが国の情勢をエネルギーモデルによるモデル分析上の諸現象と対応づけること、あるいはこのようなエネルギーモデル分析によって現実の国家的、社会的な政策との関連づけを行なうことなどが試みられた。また一方将来に予想されるエネルギーの供給不安定さの増大や価格の高騰化にもなっており省エネルギーが今後のエネルギー問題の中で果たす役割もますます大きくなってきている。そこで省エネルギーが今後のわが国のエネルギーシステムに対してどのような効果を果たしうるかを知ることは、省エネルギー政策の評価のため、さらにはそれを促進するためにも重要である。本稿ではわれわれの開発したエネルギーモデルの簡単な紹介とともにこのモデルを用いた分析のいくつかを省エネルギー効果分析を含めて以下に紹介する。

## 2. エネルギーモデルの概要

ひとくちにエネルギー問題と言っても技術的、経済的、社会的、そして資源的に多くの複雑な面を有している。したがってある地域あるいはある国のエネルギーシステムを考える場合にこれらの多くの側面あるいは複雑な諸要因を総合的に把握する必要が生じ、そこからエネルギー問題のモデル分析といったアプローチが現われてきたと言えよう。このようなモデル分析が最初に現われたのが厳密にいつのことであるかは筆者にとって明確ではないが、少なくともシステム分析手法を用い

おおやま たつお、もりきよ たかし 電力中央研究所

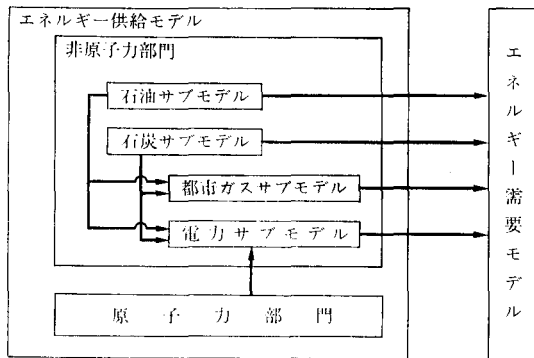


図 2.1 エネルギーモデルの構成

た分析が、電気事業あるいは石油精製業などの個別の産業からエネルギーシステムといった総合的なシステムを対象として適用されるようになったのは1970年に入ってからのように思われる。この意味で K. Hoffman の学位論文にあるモデル分析 [5] などは、かなり初期の研究結果であって、かつまたその後にも本質的な変革を迫られることなく継続して利用されているアプローチであるということができよう。Hoffman モデルでは、最終エネルギー需要を与えたいうでその需要を最小コストでまかなうようなエネルギーの供給、変換のフローを線形計画 (LP) モデルによって求めるという形をとっている。ここに紹介するわれわれのモデルも何らかの評価基準のもとにエネルギー供給システムの最適化を行なうという点で Hoffman モデルと本質的には同様のものである。つまりわれわれのエネルギーモデルは、1975年のわが国のエネルギー需給システムを前提としたうで、2000年におけるエネルギー需給の望ましい姿を描き出そうとするものである。以下にそのモデルの概略を紹介しよう。

エネルギーモデルは図 2.1 のような構成を有しているが、図にもあるように大きく需要モデルと供給モデルから成る。さらに供給モデルは非原子力部門と原子力部門に分かれ、特に前者は石油、石炭、都市ガス、電力の 4 サブモデルを含んでいる。われわれが分析の対象とする部分は、このエネルギー供給モデルの非原子力部門を数学的に定

式化した LP モデルである。さてエネルギー需要モデルは、供給モデルへの外生値を与えるための最終エネルギー需要を計算するモデルであって、大きく産業、輸送、家庭、業務の 4 部門から成っている。産業部門では、13 分類の各産業において 2000 年の最終エネルギー需要 (以下、最終エネルギー需要とは真にある目的のために有効に利用されたエネルギーとしての有効エネルギー需要を示すものとする) をボイラー、加熱炉、乾燥炉などの使用機器別に算出する。このようなエネルギー需要は 2000 年における産業別のエネルギー原単位を設定して計算される。輸送部門では、輸送需要を旅客と貨物に分類したうで、前者を自家用乗用車、営業用乗用車、バス、内航海運、航空機に、後者をトラック、鉄道、内航海運、外航海運に細分し各輸送方式ごとの需要を与えている。家庭部門では、エネルギー需要を大きく、冷房、暖房、給湯、調理、動力・照明・通信の各需要に分類し、さらに冷、暖房に関して独立住宅と集合住宅、寒冷地域と温暖地域とに分けて各分類別の有効エネルギー需要を算出している。また業務部門では、エネルギー需要を大きく冷房、暖房、空調・動力・照明の各需要に分類し、さらに冷暖房に関して事務所、店舗、ホテル・旅館、学校、病院等に分け、各分類別の有効エネルギー需要を算出している。以上のようにして与えられた 2000 年における各部門の有効エネルギー需要は、以下に述べるエネルギー供給モデルの外生値として用いられ、供給モデルの中でそのようなエネルギー需要をまかなう最適なエネルギーの供給、変換のフローが求められる。

エネルギー供給モデルは図 2.1 にもあるように 4 コのサブモデルを含んでいるが、構成の点からその大部分を占める主要なものは石油サブモデルと電力サブモデルである。石炭サブモデルでは、国内炭と輸入炭に対して原料炭と一般炭の分類を行ない、これらがコールセンターを経てあるいは直接に産業部門の鉄鋼業、あるいは電力、都市ガ

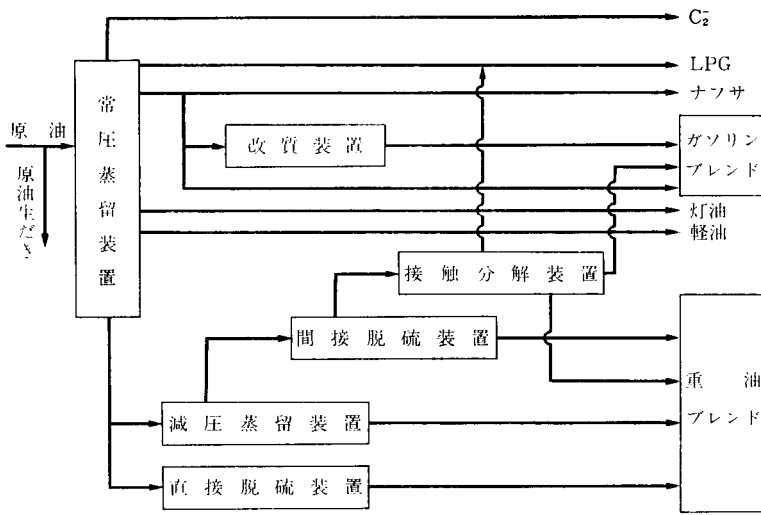


図 2.2 石油精製フローの概略

表 2.1 立地タイプ、発電設備、運転負荷領域、使用燃料の関連

| 立地     | 発電設備    | 運転負荷領域        | 使用燃料          |                         |
|--------|---------|---------------|---------------|-------------------------|
| 新設型    | 重原油火力   | B, MI, MII, P | 重油, 原油        |                         |
|        | 排脱重原油火力 | B, MI, MII, P | 重油, 原油        |                         |
|        | 石炭火力    | B, MI, MII, P | 一般炭           |                         |
|        | 石炭ガス化火力 | B, MI, MII, P | ガス化炭          |                         |
|        | 石炭液化火力  | B, MI, MII, P | 液化炭           |                         |
|        | 近傍型     | 重原油火力         | B, MI, MII, P | 重油, 原油                  |
|        |         | 排脱重原油火力       | B, MI, MII, P | 重油, 原油                  |
|        |         | LNG火力         | B, MI, MII, P | LNG                     |
|        |         | 複合サイクル火力      | B, MI, MII, P | 重油, ガス化炭, 液化炭, LPG, LNG |
|        |         | 燃料電池 I        | B, MI, MII, P | LNG                     |
|        |         | 燃料電池 II       | MI, MII, P    | 水素                      |
|        | 直結型     | ガスタービン        | MI, MII, P    | 軽油                      |
|        |         | 複合サイクル火力      | MI, MII, P    | 重油, ガス化炭, 液化炭, LPG, LNG |
|        |         | 燃料電池 I        | MI, MII, P    | LNG                     |
| ガスタービン |         | MI, MII, P    | 軽油            |                         |
| 既設型    | 揚水発電    | MI, MII, P    |               |                         |
|        | 重原油火力   | B, MI, MII, P | 重油, 原油        |                         |
|        | 排脱重原油火力 | B, MI, MII, P | 重油, 原油        |                         |
|        | 石炭火力    | B, MI, MII, P | 一般炭           |                         |
|        | LNG火力   | B, MI, MII, P | LNG           |                         |
|        | ガスタービン  | MI, MII, P    | 軽油            |                         |
|        | 揚水発電    | MI, MII, P    |               |                         |
|        | 揚水発電    | MI, MII, P    |               |                         |

スなどの各部門において消費されるまでのフローが定式化されている。また都市ガスサブモデルでは、原料炭、ナフサ、LPG、LNG、原油、重油などの原料の都市ガスへの変換がバランス式で定式化されている。石油サブモデルは原油からいくつかの石油製品に至る石油精製フローのプロセスが、図 2.2 のようなフロー図の概略をもとに定式化されている。この石油サブモデルの分析から、輸入先別に 11 種に分類された各種原油の

輸入量、蒸留、分解、改質、脱硫等の各種設備の新設量および稼働状況、各種石油製品の生産量等が得られる。電力サブモデルは、発電設備を発電方式によって 13 種類に分類し、それを 3 種類の立地タイプで分類と組合せて、各種設備が各立地分類の中でいかに新設されるのが望ましいか、さらにはそれらの設備が、1975 年時点ですでに稼働している既設設備を含めて、いかなる運転形態をとってどのような燃料を消費するのが効率的であるかを求めるものである。またそこで与えられる電力需要に関しては、産業用需要が産業別、使用機器別に年負荷持続曲線の中で外生的に与えられるのに対して、家庭用、業務用、輸送用の電力需要は、これらが将来の不確定な要因を含み、かつま

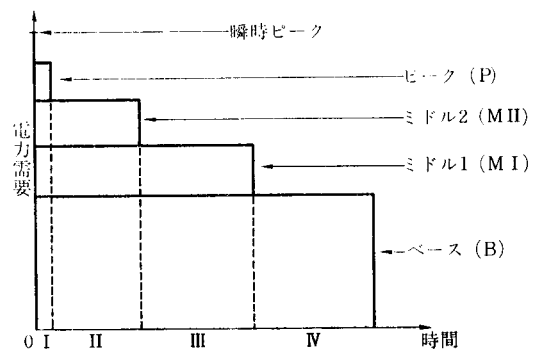


図 2.3 負荷持続曲線の概略

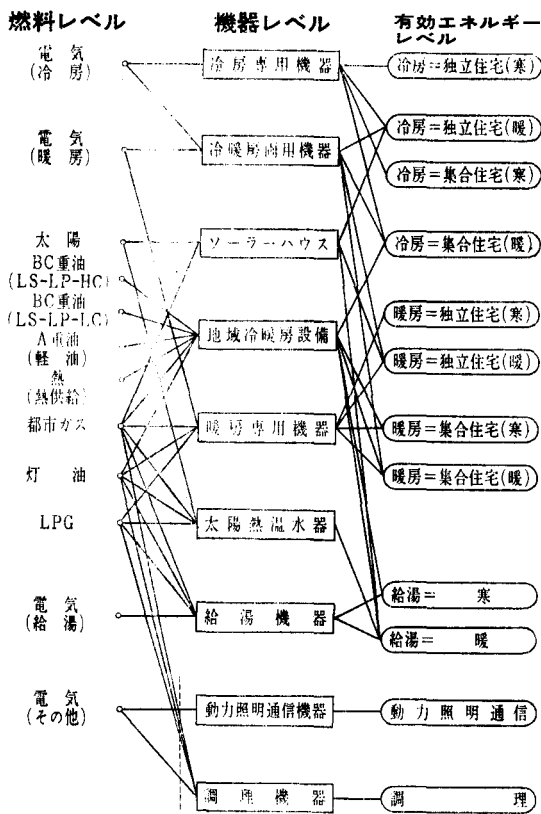


図 2.4 家庭部門の概略

た燃料としても、石油製品、石炭、都市ガスなどの他の燃料との競合性を有することから、モデルの中で内生的に求めることにしている。つまり電力需要の年負荷持続曲線は全部が外生的に与えられるのではなく、一部が内生化されているといえることができる。なお電力供給に対しては、各種発電設備に関して、立地タイプ、運転負荷領域、使用燃料等の関連は表 2.1 の通りである。また負荷持続曲線は、図 2.3 にあるように 4 つの運転負荷領域と 4 つの時間帯（さらに瞬時ピーク時が加わる）に分割されている。また上に述べたような石油、石炭、都市ガス、電力等のエネルギー供給システムが家庭、業務等の最終エネルギー各部門と連結する部分に、各々図 2.4、図 2.5 のようにエネルギー利用機器別に与えられている。

### 3. モデル分析と省エネルギー

#### 3.1 原油供給制約下におけるエネルギー需給

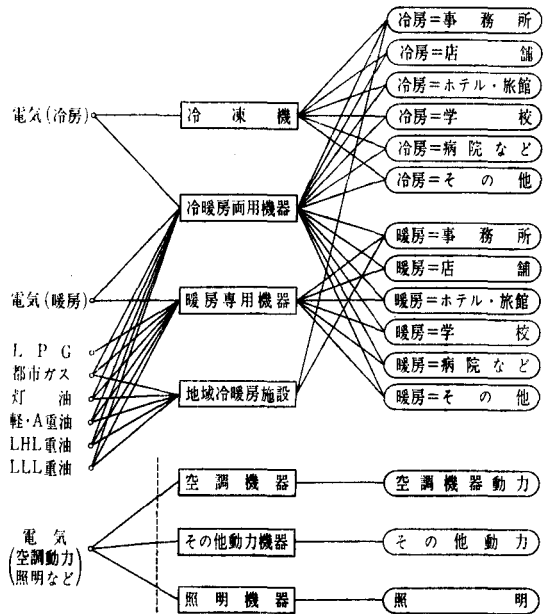


図 2.5 業務部門の概略

エネルギーモデルの概要については前章でその紹介を行なった。以下ではそのようなモデルを用いたいくつかの計算結果、分析結果について述べる。現在のところわれわれエネルギーモデルの入力データ、パラメータに関しては、まだ多くの修正の余地を残している状況である。したがってここに紹介する結果に関しては、厳密な数値よりもモデルの解の示唆する傾向あるいはその分析方法等に特に注目されたい。われわれのエネルギーモデルは、1975年のわが国のエネルギー需給システムをベースとして、2000年における何らかのシステム最適化を行なうものである。特に2000年におけるわが国への原油供給量総計の上限が4.75億kℓから3.50億kℓに至るまでの諸供給制約の変化（供給量上限の多いほうから0.25億kℓずつ減らし、各々を1, 2, …, 6 ケースと呼ぶ）に対して、エネルギーシステムのトータルコスト（年経費）最小化（TCM）シリーズと1次エネルギー消費最小化（PEM）シリーズの2シリーズの結果の分析を中心に述べることにする。なおここで、PEMシリーズにおいては、TCMシリーズの各ケースに対する最適目的関数値の5%増までの範囲をPE

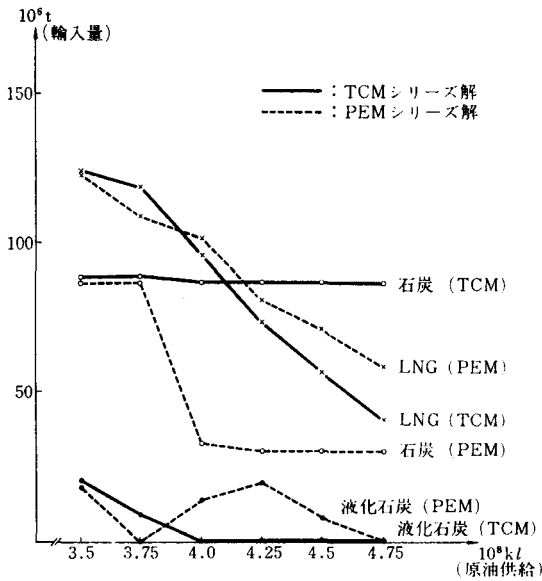


図 3.1 原油供給逼迫化にともなう1次エネルギー供給量の推移

Mシリーズ各ケースのトータルコストのとりうる範囲として設定してあることをつけ加えておく。これは、まず総コスト最小化が主目標であることを前提として、そのうえでコスト最小化をめざしつつ1次エネルギー消費量をできるだけ少なくするようなエネルギーの需給形態を求めることを目的として設定したシリーズである。まずわが国への原油供給の逼迫化にともなう1次エネルギー供給の推移をケース別にみると図3.1のような傾向が得られる。この結果からは以下のようなことが明らかとなる。

TCMシリーズでは、まず石炭（一般炭）が廉価であることから優先的に輸入され、原油供給が厳しくなるにつれてLNG（液化天然ガス）によってそれを補うが、TCM5ケース、つまり原油供給量が3.75億klあたりではそれでも不十分となり液化石炭が輸入されるに至る。また一方PEMシリーズにおいては、発熱量あるいは変換効率が相対的に良い燃料としてのLNGあるいは液化石炭が優先して輸入されるが、原油供給が逼迫化するにつれてLNGの増加あるいは石炭の大幅増によって液化石炭は減少傾向をたどり、さらに原

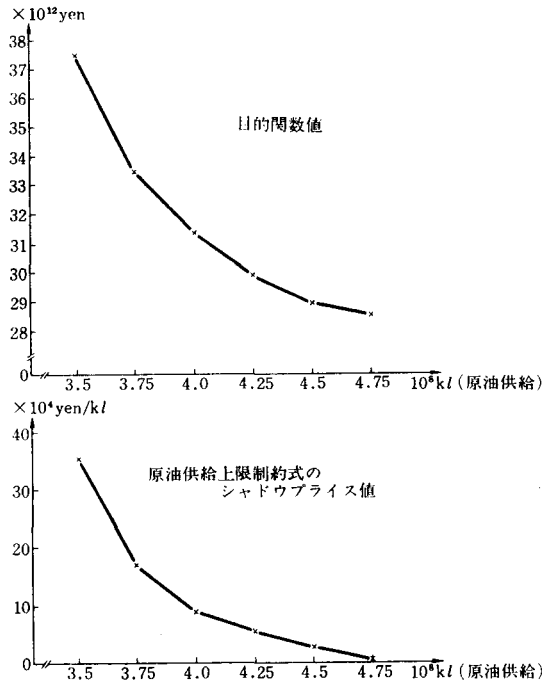


図 3.2 目的関数値と原油供給上限制約のシャドウプライス値 (TCMシリーズ)

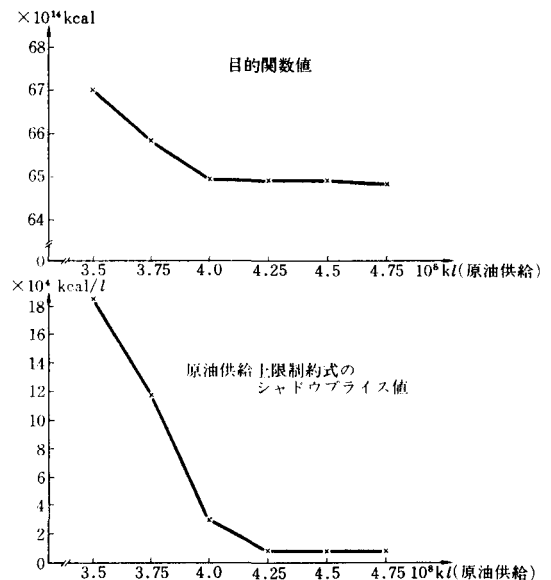


図 3.3 目的関数値と原油供給上限制約のシャドウプライス値 (PEMシリーズ)

油供給が厳しくなると再び輸入増となる。なお各ケースに対して、石炭、液化石炭に関しては輸入総量上限、LNGに関しては都市ガス、電力の各

部門における消費量上限値あるいはLNG火力設備新設容量上限値等が設定されていることをつげ加えておこう。

1次エネルギー源としての原油、LPG（液化石油ガス）、石炭などが2000年におけるわが国のエネルギーシステムの中で資源としていかなる“価値”を持つのかということに関して、LPモデルのエネルギー源別の上限制約式のシャドウプライスの観点から眺めてみよう。まずTCM、PEMの各シリーズに対して、各ケースの目的関数値（ここでは第2章に述べたように原子力部門、あるいは一般水力発電部門等はコストおよび1次エネルギーに勘定されていない）と原油供給制約式のシャドウプライスの値が図3.2、図3.3に与えられている。なおここで原油供給上限制約式のシャドウプライスとは、11種の原油に対してそれらのシャドウプライスの平均をとったものである。油種別のシャドウプライス値は、各ケースに対してほとんど一定であること、つまりこれらのサンプルの分散が非常に小さいことをつげ加えておこう。これらの結果から以下のことが確認されよう。まずTCMシリーズに関しては、原油のシャドウプライス（つまりコスト面からみた“原油の価値”と解釈できるであろう）は $\text{k}\ell$ あたり $7.7 \times 10^3$ 円程度であったのが石油供給制約が厳しくなるにつれて急激に上昇し、TCM6ケースでは約50倍の $353.0 \times 10^3$ 円程度となる。目的関数値の上昇傾向と比べても原油シャドウプライスの上昇が非常に大きいことは容易に確認される。PEMシリーズでは、図3.3からも分かるように、目的関数値、つまりこのエネルギーシステムの1次エネルギー消費量はPEM5ケースあたりから上昇し、それに対応して原油シャドウプライス（つまりエネルギーとしての“原油の価値”）は $0.67 \times 10^4 \text{kcal}/\ell$ あたりではほぼ一定であったのがPEM6ケースでは $18.4 \times 10^4 \text{kcal}/\ell$ 程度に上昇している。このような原油シャドウプライスの急激かつ大幅な上昇は、原油に大きく依存しているわが国

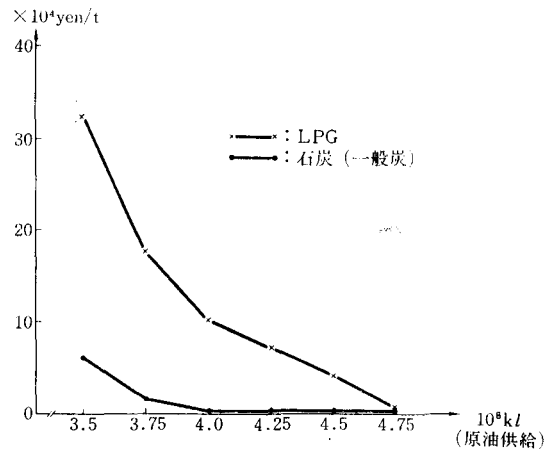


図 3.4 LPG、石炭のシャドウプライスの推移 (TCMシリーズ)

のエネルギーシステムにおいては、将来原油供給が逼迫化した場合に原油の“価値”が大幅に上昇することを示しているということができよう。そこで、なぜ原油の“価値”がこのように大幅に上昇するのか、あるいはまた何がこの上昇に起因しているのかということをもLPモデル解のシャドウプライスをその構成要因までさかのぼって調べることはエネルギーシステム分析上非常に興味ある問題であると思われるが、それに関する詳細はここでは省略する。またさらに図3.2、図3.3からは、目的関数値あるいは原油シャドウプライスの動きをみることによって2000年におけるわが国のエネルギーシステムが原油供給上限値4.0億 $\text{k}\ell$ あたりまではそれほど大きな変化がなく稼働しうるもののそれ以下となるとシステムとして非常に大幅な変革を迫られることを示唆していると考えられる。なお原油以外の輸入エネルギー源としてLPGと石炭（一般炭）のシャドウプライスの推移を図3.4に掲げてある。図からもLPGのシャドウプライスの上昇傾向が原油とほぼ類似しているのに対して、石炭の場合は原油供給制約が“本格的”に逼迫するTCM5ケースあたりから原油のシャドウプライスの上昇よりは緩やかに上昇するのが確認されよう。

さて電力部門の将来動向についてLPモデルの

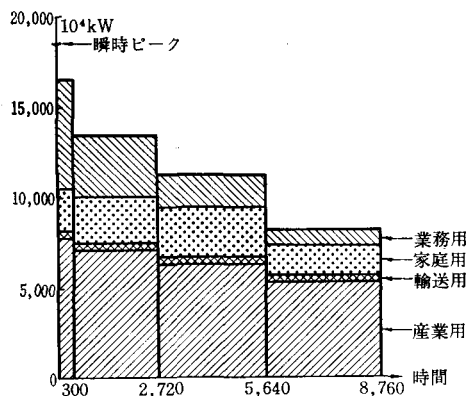


図 3.5 電力需要の概要 (TCM1 ケース)

解の概略を紹介しよう。まず電力需要に関しては TCM1 ケースの解は図 3.5 の通りであって、前述のように産業用電力需要のみが外生的に与えられ、他の民生用電力需要はモデルの中で内生的に得られる形式をとっている。したがって家庭用、業務用の特に冷暖房を中心とした電力需要は負荷持続曲線の形状、ひいては負荷率にも大きく影響することになる。一般に TCM, PEM のいずれのシリーズにおいても原油供給制約が厳しくなるにつれて民生用の電力需要は増加する。その大きな要因となっているのは家庭用、業務用の冷暖房需要であって、なかでも暖房用電力需要が灯油、重油等からのふりかわりとして増加するのが図 2.3 の近似負荷持続曲線の第Ⅲ、Ⅳ時間帯の電力需要を高めることによって全体としての負荷率の向上につながっている。したがってたとえば負荷率に関しては、TCM シリーズにおいては TCM1 ケースで 58.5% であったのが原油供給の逼迫化にともなって徐々に増加し TCM6 ケースでは 63.1% となり、また PEM シリーズでは PEM1 ケースで 59.1% であったのが PEM6 ケースでは 66.9% にまで上昇している。また輸送用電力需要としての電気自動車に関しては、いずれのシリーズのいずれのケースにおいても大幅な増加は得られていないが、LP モデルにおける電気自動車の充電のための電力需要を表わす変数の TCM シリーズにおけるレデュースト・コスト分析によれば

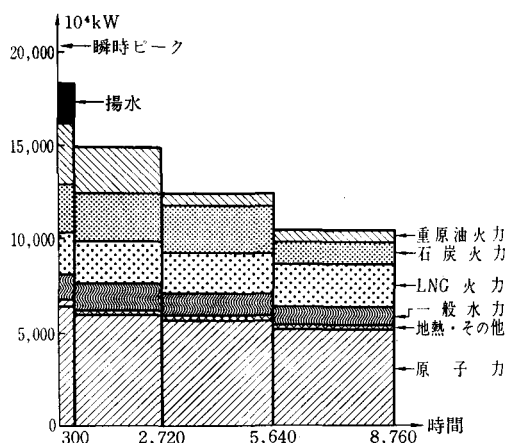


図 3.6 電力供給の概要 (TCM1 ケース)

さらに原油供給が逼迫すれば大幅な需要増もありうるということが予想される。

電力供給を表わす解の概要を眺めてみよう。まず TCM1 ケースの解は図 3.6 に与えられているが、TCM シリーズにおいては原油供給量制約が厳しくなるにつれて LNG 火力の割合が増加し、TCM5 ケースからはさらに液化石炭を燃料とする火力が新設されることになる。また PEM シリーズでは、前にも述べたように石炭火力よりも LNG 火力が優先的に新設され、原油供給量が減少するにつれて石炭火力、液化石炭火力の新設量が増加している。なおいずれのシリーズにおいても重原油火力は、ベースあるいはミドルの負荷領域を負荷持続曲線の中で分担する現在の役割から変化し、将来は現在の揚水発電設備が果たしている役割に近づき、ピーク負荷をまかなうようになる。この傾向は原油供給量が少なくなればなるほど、つまり重原油火力用の燃料が少なくなるにつれて顕著となることが確認される。したがって揚水発電設備の新設量は、TCM シリーズでは原油供給が厳しくなるにつれて減少し、また PEM シリーズにおいてはエネルギー効率の観点から完全に重原油火力、既設揚水設備、新設石炭火力等によって代替がなされている。

最後に電力システムをエネルギーシステムのサブシステムとして扱った場合のひとつの評価を L

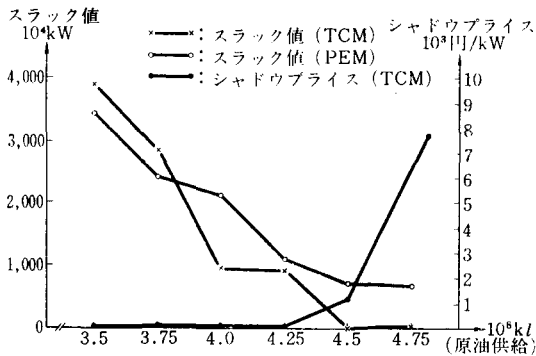


図 3.7 瞬時ピーク時の需要充足条件のスラック値とシャドウプライス

Pモデルの解の観点から与えてみよう。図2.3の負荷持続曲線の瞬時ピーク需要をまかなうという制約条件は、各種新設設備と既設設備の設備容量と瞬時ピーク時の設備利用可能率の積和が供給予備率を考慮したうえでの瞬時ピーク需要をまかなうことを示す式である。そこでこの制約条件式がLPモデルの最適解においてスラック値を有するか、あるいはスラック値が零でシャドウプライスを有するかは、電力システムが電源構成上で設備の余剰（信頼性を考慮した供給予備以上の余分な設備に相当する）を有するか否かに対応すると言えよう。図3.7からもわかるように、TCMシリーズにおいてはTCM3ケースからスラックが現われはじめ、原油供給が逼迫化するにつれて増大しTCM6ケースではそれが4000万kWにも達するのがわかる。現在の電力システムが重原油火力設備に大きく依存しているために、発電用燃料としての重油、原油が不足するとそれらが余分の設備になりうることを示唆していると言えよう。またPEMシリーズにおいてPEM1ケースからすでにスラックが現われているのは、1次エネルギー消費の最小化という観点からは揚水設備等の発電効率の悪い設備が余剰設備として解釈されることも起因していると思われる。しかしながらPEMシリーズのスラック量には前述のPEMシリーズ設定のための5%幅のコスト制約も大きく影響していることをつけ加えておこう。

## 3.2 省エネルギー分析

エネルギーの供給不安や高価格化により今後ますます促進される省エネルギーは、トータルエネルギーシステムに対する効果として、(a)設備または機器のエネルギー利用形態の変化、(b)エネルギー消費効率、変換効率向上のための技術開発の促進、(c)新エネルギー技術開発の促進、さらにこうした結果として、(d)投入1次エネルギー量の逡減または抑制、(e)最終エネルギー需要の逡減または抑制、という形で反映する。

わが国全体のエネルギーシステムを模擬しているわれわれのエネルギーモデル分析によって上にあげたような効果を明確にとらえることは難しいが、(i)モデルで対象とした各機器のエネルギー利用効率などの技術パラメータの修正、(ii)新エネルギー開発については外生条件としてモデルに組み込むこと、(iii)エネルギー需要については産業、民生の各部門別に個別に省エネルギー効果を想定し、モデルに入力すること、などといった形でエネルギーモデルに省エネルギー要因を考慮することは可能である。

本節では、現在のモデル分析から容易に考察できる省エネルギー効果に対するひとつの定量的評価方法についてLPモデルの解からアプローチしてみよう。われわれのエネルギーモデルの需要が産業、家庭、業務の各部門で利用機器別あるいは機能別に有効エネルギー需要の形で与えられていることは前に述べた。そこでこのような部門別、利用機器別、機能別の有効エネルギー需要充足条件のPEMシリーズ各ケースの解のシャドウプライスに注目すると、これらは最終（有効）エネルギー需要の単位量（kcal）の変化がトータルエネルギーシステムの1次エネルギー消費量にいかに関与するかを示す量であると言える。つまりこれらのシャドウプライスは、各部門における“節約の効果”あるいは“エネルギー利用機器の高効率化の影響”等を定量的に示す指標とも解釈できる



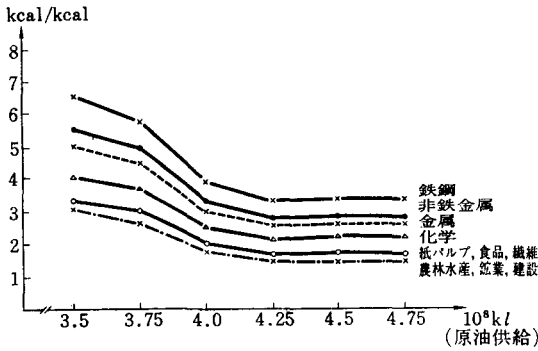


図 3.8 産業部門需要充足条件のシャドウプライス (PEMシリーズ)

であろう。

図 3.8は各産業においてボイラー、加熱炉、乾燥炉等の利用機器別需要充足条件のシャドウプライスを平均することによって産業別のシャドウプライスとし、それらをPEMシリーズの各ケース別にプロットしたものである。この結果からも鉄鋼、非鉄金属、金属等のいわゆるエネルギー多消費産業における1次エネルギー消費という観点からみた“節約効果”は他産業と比べても大であることが容易に理解されよう。より具体的には、このようなエネルギー多消費産業の最終エネルギー段階での1 kcalの“節約”は、もしそれが可能ならば、原油供給1~4ケースあたりでは約3倍の効果となってトータルエネルギーシステムに反映されるということができる。

家庭、業務部門に対して、最終エネルギー需要充足条件のシャドウプライスを暖房、冷房に分類して各平均をとったものが図 3.9に与えられている。この結果からは、暖房のほうが冷房よりも、あるいはまた家庭部門冷暖房のほうが業務部門冷暖房よりも相対的に“節約効果”が大きいことが確認される。暖房用エネルギーが灯油、重油、電気等の代替性があるのに対して冷房用エネルギーはほぼ電気であること、あるいはまた家庭部門冷暖房機器の効率が業務部門の機器の効率よりも低いことが上の各々の現象に起因していると思われる。また図 3.8の産業部門のシャドウプライス数値と比べて、図 3.9の民生部門の数値が小さいの

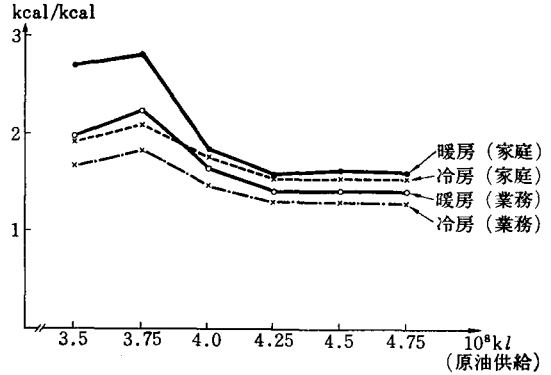


図 3.9 家庭、業務部門冷暖房需要充足条件のシャドウプライス (PEMシリーズ)

は、産業部門のエネルギー利用機器の効率が冷暖房機器の効率より低いことから容易に理解されるであろう。

#### 4. エネルギーモデル分析の今後への課題

エネルギーモデル分析に関しては第2章にその一例を紹介したが、そこで用いられたLPモデルのような最適化型モデル分析ばかりでなく、非最適化型の代表的なものとしてのシミュレーション型、あるいは産業連関、エコノメトリックモデルとの結合型としての経済分析型などの数多くのモデル分析のアプローチが行なわれてきている。エネルギー問題のモデル分析に関して、世界各国で作成されたいろいろなモデルの概略を整理したものとして[1]、[2]、また代表的なモデルをとり上げたうえで概要を紹介し、あるいは比較検討を加えたものとして[9]あるいは[10]がある。たとえば上に述べたエネルギーモデル分析の各分類に属する代表的なものとしては、最適化型モデル分析として[4]、[5]、シミュレーション型モデル分析として[7]、経済分析型モデル分析として[6]、[8]、[11]などがある。これらはエネルギーモデル分析としてなされた研究の成果の中のごく一部に過ぎないが、興味を有される諸氏は参照されたい。エネルギー問題へのモデル分析のアプローチの概要について研究の歴史的経過を含めて

ここで述べることは紙面の都合で不可能であるので、本稿で紹介したようなモデル分析例のいくつかの問題点とそれらを補うための今後の研究の方向について筆者の私見を交えて述べておくことにする。われわれのエネルギーモデルのようなLP型確定的 (deterministic) モデルにおいては、以下に掲げるような問題点が指摘されている。

(1) 外生的に与える最終エネルギー需要などのLP右辺値の不確定性をどう解釈、処理するのか。

(2) コスト (あるいは価格) と需要を外生的確定的に与えることによって、本来それらが同時に決定され、相互関連を有することは無視されているのではないか。

(3) いくつかのエネルギー源間の代替性あるいは補完性といった相互関係に関してはLPモデルの解からは何も得られないのではないか。

上のような問題点に明確に答えるようなモデル分析手法が現存しているとは筆者は思わない。しかしながら、LPモデルによっても、(2)は少々別としても、その他の問題点に関してはパラメトリックLPあるいはLPの感度分析等によってかなりのところまでは答えるものである。特に(2)の問題点を補うものとしてSRIモデル分析[11]などの経済分析型モデル分析が数多く存在しているし、また(3)を補うものとしてChristensen et al [3] 以来のトランスログ型生産関数理論を用いたモデル分析が1970年代に非常に盛んに行なわれてきている。現在においてもエネルギー問題全般に対して効果的な分析手法があるとは思えないが、このような状況の中では各々の目的に合った分析手法を適用することが重要であることは言うまでもない。そのような中からより良い、より強力なエネルギーモデル分析手法が生まれてくるものと筆者は信じている次第である。

## おわりに

本稿の内容に関しては、すべて筆者ら個人の分析によるものであって、いかなる組織の見解とも

何ら関係を有するものではないことを断わっておきたい。また本稿のベースとなっているエネルギーモデルの作成にあたっては、当電力中央研究所の小川洋氏(現千葉工大教授)、齊藤雄志氏およびセンチュリーリサーチセンターの長田紘一氏に絶大な協力をいただいたので、ここに改めて感謝の意を表したい。

## 参考文献

- [1] Beaujean, J. M. and Charpentier, J. P. (eds.) ; *A Review of Energy Models*, No. 3 (No. 4), IIASA, RR-76-18 (RR-78-12), Dec. 1976 (July 1978).
- [2] Charpentier, J. P. (ed.) ; *A Review of Energy Models*, No. 1 (No. 2), IIASA, RR-74-10 (RR-75-35), July 1974 (October 1975).
- [3] Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., and Lau, L. J. : "Transcendental Logarithmic Production Frontiers", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, Feb. 1973, pp. 28-45.
- [4] Dantzig, G. B., Connolly T. J. and Parikh, S. C. ; *Stanford Pilot Energy/Economic Model*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Cal., U. S. A., EA-626, Vol. 2, Research Project 652-1, May 1978.
- [5] Hoffman, K. C. : *The United States Energy System—A Unified Planning Framework*, Ph. D. Dissertation, Polytechnic Institute of Brooklyn, U. S. A., June 1972.
- [6] Hudson, E. A. and Jorgenson, D. W. ; U. S. Energy Policy and Economic Growth, 1975—2000, *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 5, No. 2, Autumn 1974.
- [7] Joskow, P. L. and Baughman, M. L. ; *The Future of the U. S. Nuclear Energy Industry*, *Bell Journal of Economics*, Vol. 7, 1976, pp. 3—32.
- [8] Kennedy, M. ; *An Economic Model of the World Oil Market*, *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 5, 1974, pp. 540—577, 1979, pp. 1-36.
- [9] Manne, A. S., Richels, R. G., and Weyant, J. P. ; *Energy Policy Modeling : A Survey*, *Operations Research*, Vol. 27, No. 1,
- [10] Modeling Resource Group (MRG) ; *Energy Modeling for an Uncertain Future*, Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems (CONAES), National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1978.
- [11] SRI International : "Fuel and Energy Price Forecasts : Quantities and Long-term Marginal Prices", EPRI EA-433, Palo Alto, Cal., U. S. A., September 1977.