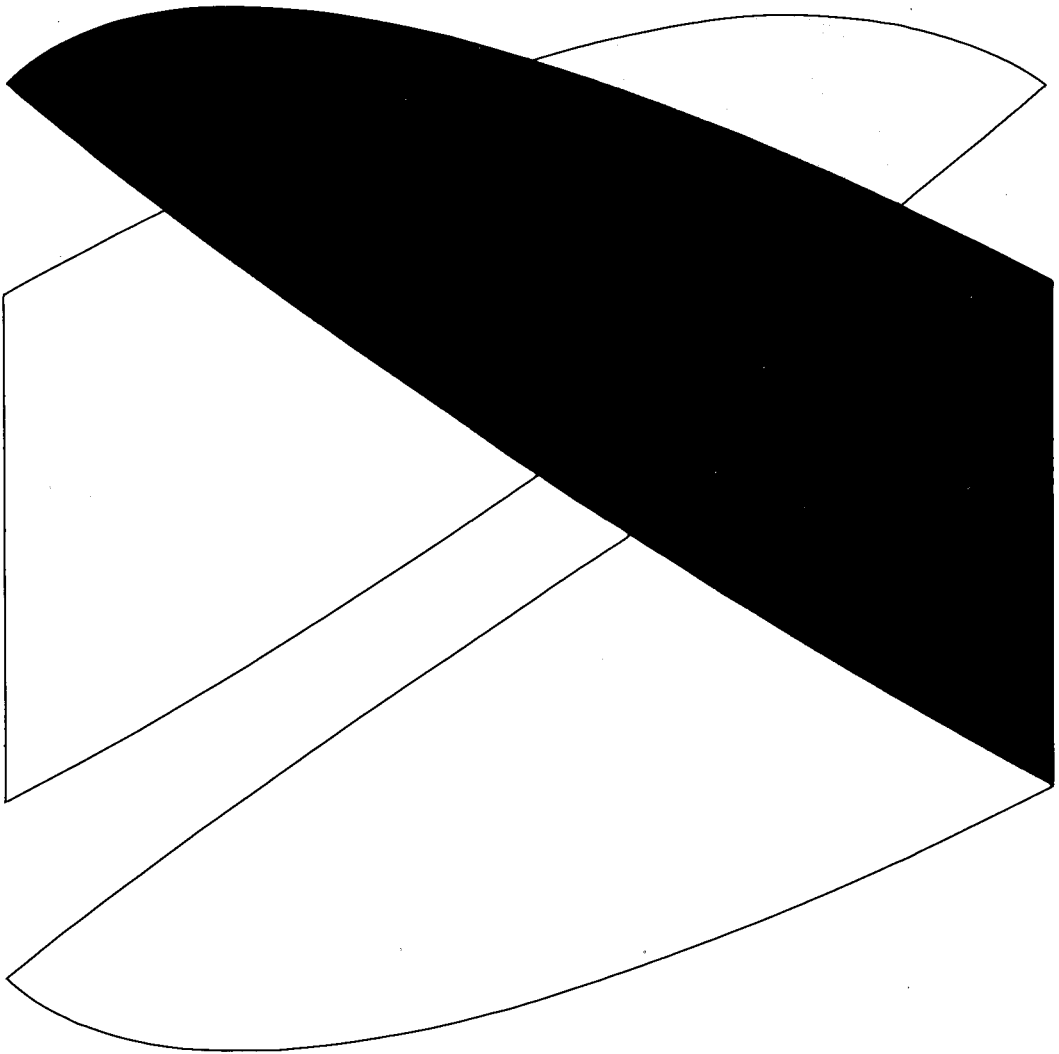


ISSN 0387-0782

電力經濟研究



No. 21

1986.7

財団法人 電力中央研究所

經濟研究所

編集委員

伊藤 成康 内田 光穂
若谷 佳史 矢島 昭

目 次

差益還元のマクロ経済効果の計測 ——マクロ・産業連関モデルの適用——	服部 常見…… 1 桜井 紀久
季時別料金制度の厚生経済分析：展望	伊藤 成康……27
負荷研究の方法とロードマネジメント評価への適用事例	小野 賢治……51
原子炉における燃料資源利用効率の考察	山地 憲治……65

差益還元のマクロ経済効果の計測

——マクロ・産業連関モデルの適用——

キーワード：差益還元，電気料金値下げ，電力投資，
産業連関モデル，マクロ計量モデル

服部常晃 桜井紀久

〔要旨〕

本研究の目的は、電力の差益還元のマクロ経済効果を数量的に解析することである。分析用具として我々はマクロ計量モデルと産業連関モデルを併用する。差益還元策として、電気料金値下げと電力投資拡大の二通りの方策を選び、両者の効果について比較分析する（ただし還元期間は1年）。電力投資の拡大の場合は、差益の相当分が租税となるため、政府がこれを活用するか否かで、全体としての還元効果が異なる。主要な結果は次の通り。

マクロ経済への影響： 実質 GNP への影響では、税の増収分が政府投資として還元される限り、電力投資拡大による還元の方が料金値下げによる還元より効果大きい（1年目は約2倍の効果、2年目以降では両者の差はほとんどない）。しかし、そうでない場合は、両者の効果はほぼ同じになり、景気対策面からみた還元策間の優劣の差はなくなる。電力需要への影響では、料金値下げの方が効果が大きい（2倍以上の効果）。これは料金値下げに伴う価格効果の影響による。

産業活動への影響： 生産への影響については、産業全体では、実質 GNP に対する還元効果の相対的な大きさを反映して、電力投資拡大による還元のほうが料金値下げより効果大きい（全産業平均では約2倍の効果）。産業別では、料金値下げによる還元は、各産業（除電力）に対してはほぼ均等に生産拡大効果をもつ（最大 0.19%、最小 0.08% 増）。しかし、電力投資による還元では、非鉄金属、建設など資本財、投資財部門の生産増加が相対的に大きく、波及効果の産業間のバラツキが大きい（最大 0.58%、最小 0.09% 増）。

料金値下げと投資拡大の経済効果の比較（増加率 %）

還元策	実質 GNP			電力需要		
	1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目
電気料金 8% 値下げ ¹⁾	0.23	0.18	0.07	0.66	0.56	0.25
電力投資・政府投資同時拡大 ¹⁾	0.43	0.19	0.02	0.24	0.23	0.13
(参考) 電力投資のみ拡大 ²⁾	0.22	0.10	0.01	0.12	0.11	0.06

還元策	産業別生産 ³⁾					
	食料品	鉄鋼	非鉄	一般機械	建設	全産業
電気料金 8% 値下げ ¹⁾	0.13	0.09	0.09	0.19	0.18	0.14
電力投資・政府投資同時拡大 ²⁾	0.12	0.25	0.56	0.33	0.58	0.25

- 1) 民間への総還元額 1 兆円（政府投資 5 千億円は電力からの法人税で賄われる）
- 2) 同 5 千億円
- 3) 3 年間平均増加率

1. はじめに
2. 差益の算定と還元方法
3. 計算システムの開発
4. 電気料金値下げによる還元
 - 4.1 産業別生産者価格への影響
 - 4.1.1 産業連関の価格モデル
 - 4.1.2 価格モデルによる計測結果
 - 4.2 マクロ経済への影響
 - 4.3 産業別生産額への影響
5. 電力投資拡大による還元
 - 5.1 マクロ経済への影響
 - 5.1.1 政府投資拡大の場合
 - 5.1.2 政府投資一定の場合
 - 5.2 産業別生産額への影響
 - 5.2.1 電力投資の生産誘発効果
 - 5.2.2 電力投資・政府投資同時拡大の総効果
6. 還元効果の比較分析
 - 6.1 マクロ経済への影響
 - 6.2 産業別生産額への影響
7. 成果と今後の課題

1. はじめに

61年初以来、急激かつ大幅な円高の進展と原油価格の低下に伴い、政府、産業界を中心に差益問題が種々論議されてきた。こうした中で、電力業界の差益還元方策もいくつか取沙汰されたが、最終的には、4月中旬の電気事業審議会・料金制度部会の提言の方向で、6月1日から電気料金値下げを実施することでひとまず決着の運びとなった。

今回の差益還元については、料金決定原則に即して料金面に対応することになったのであるが、差益還元方策の決め方とは別の問題として、差益還元のマクロ経済への影響の分析、代替的な差益還元方策の効果についての比較分析などを行うことは、それ自体極めて重要なことである。

本稿では、今回、論議された差益還元方策の中から、電気料金値下げと電力投資拡大という二つの方法を取り上げ、そのマクロ経済効果を計測し、両者の比較分析を行う。ここで、とくに電力投資拡大を取り上げるのは、昨年秋以来、電力業界は投資拡大を通じて政府の内需拡大策へ協力してきており、その効果を計測することも一つのねらいとしているからである。

2. 差益の算定と還元方法

① 差益の算定

単純計算によれば、円高・原油安に伴う61年度の差益発生見込み額は、表1のようになる。これは60年をベースとして計算したもので、為替レートと原油価格それぞれの61年度想定値（現在水準で固定）の60年実績値に対する変化率に、ベースとなる60年の金額を乗じることによって求めたものである。

表1 差益額の見通し
(単位：兆円)

	日本全体	電力
円高分	7.6	0.7
原油安分	1.9	0.6
合計	9.5	1.3

(注) 60年を基準に算定した61年度の差益発生見込み額(概算)。

円高分：238→180円/ドル
原油安分：28→20ドル/バレル

ベースとなる金額としては、日本経済全体については、日本の総輸入額および原油輸入額

1) 本分析に際して、大阪大学の建元正弘教授、当経済研究所内田光穂次長の各氏より有益なコメントを賜った。また、電力投資データの作成に関して、電力会社の協力を得た。記して感謝の意を表したい。もちろん、ありうべき誤りは著者らが負うものである。

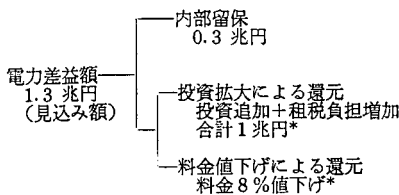
を、電力については、電力の原油購入金額を採用している。

現状では為替レートや原油価格の動向が不透明であり、差益の正確な計算は困難である。また、日本経済全体として約9兆円という巨額な差益の発生が見込まれるものの、一方では、円高による輸出減、輸入増というデフレ効果もあり、両効果は相殺されて差し引きはほぼゼロになることもありうる。円高・原油安の日本経済全体に及ぼす影響については、既に当所の試算例などがあり、これを参照されたい²⁾。本稿ではその分析は行わない。

② 差益の還元方法

実際の還元額および還元方法（料金値下げ）は、電力各社の決定の下に公表されている通りである。

本稿では、還元効果の比較分析を容易にするために、図1に示すように、現実の還元策とは若干異なる想定を行っている³⁾。差益額1兆3千億円のうち、見込み通りの差益額が発生しない場合に備えて3千億円が内部留保され、残りの1兆円が還元されるものとする。



(注) *数値は代替ケース
ただし、実際の還元とは若干異なる。

図1 差益の還元方法

還元策として、電気料金値下げと電力投資拡大を考える。還元額1兆円は60年度の電力収入の約8%にあたるため、電気料金値下げの場合、値下げ率は8%となる。また、電力投資拡大の場合、差益は当期利益の増加をもたらし、

それに伴い電力の租税負担が増加するため、実際の電力投資による還元額は1兆円の半分程度になる。当然、税の増収分が政府投資として社会に還元されるかどうかによって、全体としての還元効果が異なる。本稿ではこの点についても分析する。

なお、差益還元は経済情勢によっては2年以上に及ぶこともありうるが、本分析では、1年間(61年度)の還元実施として計算する。すなわち、モデルでは1年間のインパクト・チェンジによるシミュレーション分析を行う。

3. 計算システムの開発

差益還元のマクロ経済効果を分析するには、経済の相互依存関係や産業の費用構造・投入構造などを明示化したモデルが必要である。そのようなモデルとして、マクロ計量経済モデルや産業連関モデルがある。

当所では、2010年までの長期予測を行うために、昨年度、上記の両モデルを開発した⁴⁾。今回の計算では、このモデル・システムの一部に改良を加えてこれを活用した。

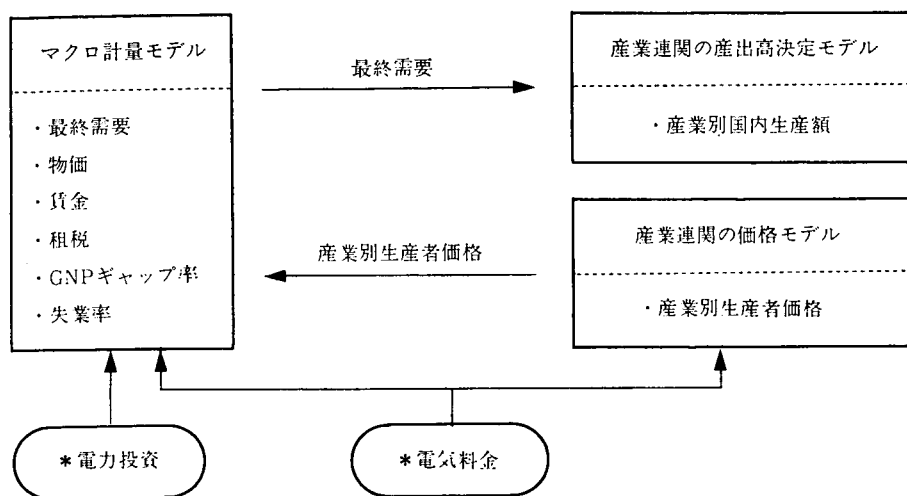
計算システムは、図2に示すように、基本的には、マクロ計量、産業連関の両モデルを斉動的に運用するという方法である。

電気料金値下げの効果の分析では、産業連関の価格モデルより産業別価格の波及効果を計測する。次に、その結果をマクロ計量モデルに導

2) 文献〔5〕を参照のこと。

3) 脱稿後の5月13日、電力9社より差益還元のための料金値下げ案が申請された。これによれば制度調整を含む料金値下げに対する還元額は9,714億円である。還元期間は61年6月～62年3月。これは本分析の前提とはほぼ同じである。したがって今回の計算結果はそのまま使用されてよい。

4) 産業連関プログラムの開発に際して、時子山ひろみ日本女子大学教授および松江由美子帝京大学講師のお力添えを頂いた。ここに御礼申し上げる。



・印は、主要内生変数
 *印は、政策変数（外生）
 ←印は、データ・インプットを示す

図 2 計算システムの概要

入して実質 GNP などマクロ経済への効果を計測する。そして、その結果を産業連関の産出高決定モデルに導入して、産業別生産活動への効果を分析する。

電力投資拡大の効果の計測では、産業別の物価の動きはそれほど大きくないと考えられるため、産業連関の価格モデルは使用しない。マクロ計量モデルによって、通常投資乗数の分析を行い、その結果を産業連関の産出高決定モデルに導入して産業別生産活動への効果を計測する。

いずれにしても、還元効果の計測に対して、マクロ計量、産業連関の両モデルを齊合的に運用する方法を適用した分析としては、今回の計測がわが国では初めての試みとみられる。通常は、両モデルのうち、いずれか一方のモデルだけを適用して計測される⁵⁾。

4. 電気料金値下げによる還元

電気料金一律 8% 値下げの経済効果は、前節で示したように、産業連関の価格モデルと年次マクロ計量モデル、および産業連関の産出高決定モデルという 3 つのモデルを段階的かつ齊合的に用いることにより計測されている。以下では、その計算結果について順を追って示すことにする。

4.1 産業別生産者価格への影響

4.1.1 産業連関の価格モデル

計測の第一段階として、産業連関の価格モデルを用いて電気料金値下げの卸売物価への直接的かつ間接的な影響を計測する必要がある。使用した価格モデルは、以下に示すような価格波

5) 分析例として文献〔4〕がある。そこでは、前回（53 年度）の差益還元について、産業連関価格モデルより産業別生産者価格の変化率が計算されている。

及の中断現象を評価しうる簡便な静学モデルである⁶⁾。

いま産業別価格(行)ベクトル P を2つに分け、内生的に決定される国産品価格(行)ベクトルを P_1 、公共料金のような外生的に決まる国産品価格(行)ベクトルを P_2 とするとき(すなわち、 $P=(P_1, P_2)$)、これに対応して、国産品投入係数行列 A^d 、輸入品投入係数行列 A^m と付加価値率行列 V も適当に分解されているとする。すなわち、

$$A^d = \begin{bmatrix} A_{11}^d & A_{21}^d \\ A_{12}^d & A_{22}^d \end{bmatrix}, \quad A^m = (A_{m1}, A_{m2}),$$

$$V = (V_1, V_2)$$

とする。このとき、内生価格ベクトル P_1 は

$$P_1 = P_1 A_{11}^d + P_2 A_{12}^d + P^m A_{m1} + P^v V_1$$

となる。ただし、 A_{11}^d は価格内生部門間の国産品取引を表わす投入係数部分行列、 A_{12}^d は価格内生部門の価格外生部門からの国産品投入を表わす投入係数部分行列、 A_{m1} は価格内生部門の輸入品投入係数行列、 V_1 は内生部門の付加価値率行列、 P^m, P^v はそれぞれ輸入品、付加価値の価格(行)ベクトルである。上式を P_1 について解けば、価格の基本式として、

$$P_1 = (P_2 A_{12}^d + P^m A_{m1} + P^v V_1)(I - A_{11}^d)^{-1} \quad (1)$$

が得られる。(1)式から、外生価格 P_2 、輸入品価格 P^m 、付加価値価格 P^v を与えれば、内生価格 P_1 が決定される。

今回の計測では、(1)式の構造推定のためのデータとしては、生産者価格評価の55年産業連関表および同付帯表を使用しており、価格はすべて55年を基準年次とした指数(変化率)で表示されている。したがって、このモデルから導出される価格 P_1 とは生産者価格の変化率

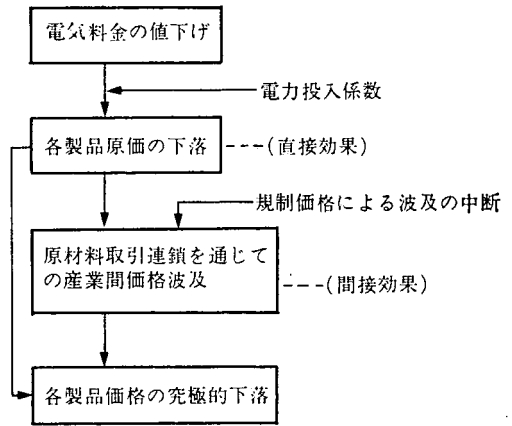


図3 電気料金値下げによる産業別製品価格下落のメカニズム

であることに留意されたい。

図3に(1)式を用いた場合の電気料金値下げの諸価格に及ぼす波及メカニズムが示されている。これによれば、電気料金値下げは、まず電力消費の投入係数の大小に比例して各部門の製品原価の下落となって現れる。この料金値下げのいわゆる直接的価格効果は、(1)式の各辺の第一項にみられるように、各部門の電力の投入係数に電気料金の下落率を乗じたものに等しい。この直接的な各部門製品の原価の下落は、これらの製品を原材料として使用する諸部門の製品原価をさらに引き下げるであろう。各部門の原価の究極的な下落は、この産業間の原材料取引連鎖を通じての乗数的波及過程(いわゆる間接的価格効果)がゆき尽くしたところで決まることになる。このような間接効果をも含めた価格波及効果は、(1)式に示されているように、最初の原価下落分とレオンチェフ逆行列とを乗じることによって計数的にとらえることができる。

このように、本モデルでは価格の産業間波及は投入係数を通じたコスト要因的な側面から一

6) 文献[6],[7]を参照のこと。

元論的に把握され、コスト要因のなかでも流通マージン率や生産者要求分配率の変化さらに短期的により重要な需給要因的側面などは考慮に入れてない⁷⁾⁸⁾。

卸売物価への影響を正確に計測するには、以上の生産者価格の下落分に卸売段階までの流通マージンの変化分を加味した上で総合しなければならないが、今回の計測では流通マージンは一定と考え、直接、生産者価格の変化分を対応する卸売物価指数ウェイトで加重平均して求めている。

4.1.2 価格モデルによる計測結果

計測で使用した産業連関表は、昭和55年72部門表を統合した30部門表である⁹⁾。そのうち、価格波及の中断の原因となる公共部門、あるいは価格形成において政府認可を必要とする部門は、電力のほか、農林水産業、ガス・水道、金融・保険、運輸・通信、教育・研究・医療・保健の7部門である。これらの部門を外生化し、電気料金を一律8%値下げした場合の産業別生産者価格および総合卸売物価への影響は、表2に示されている。参考として、同表では、この計測結果と価格波及の中断がない場合とを対比できるように、電力のみを外生化したケース(ただし総効果のみ)をも取上げている。計測結果を要約すると以下の通りである¹⁰⁾。

- ① 直接効果では、当然のことながら、製品コストに占める電気代のウェイト(電力の投入係数)の大きさを反映して、相対的に電力多消費型産業の価格下落が大きい。最大は非鉄の-0.48%で、次いで窯業・土石-0.41%、紙・パ-0.33%、鉄鋼-0.29%と続く。

卸売物価は0.34%下落し、このうち電気料金値下げによる分は0.23%と約7割

を占める。

- ② 間接効果では、鉄鋼の-0.40%が最大で、以下、紙・パ、金属製品の-0.27%、非鉄-0.24%、機械(一般、電気、輸送)-0.20%という順。鉄鋼、紙・パ、非鉄で下落率が高いのは、主に、直接効果によって大きく価格下落した自産業製品の投入(自家消費分)が多いためと考えられる。金属製品については、最大の間接効果をもつ鉄鋼の投入量が大ききことおよび機械産業と同様原材料循環の川下に位置する加工型産業であるため他産業の価格下落効果を満遍なく受けるためである。

これらの産業とは対照的に、鉱業、食料品、石油・石炭製品、商業、サービス業等では間接効果は極めて小さい。その主な理由としては、これらの産業では、価格下落率の大きい産業との取引が少ない代りに計算にあたって価格不変とした規制部門との取引が多いことが挙げられる。

卸売物価は0.13%の下落を示し、これは直接効果分-0.34%の3分の1程度である。

- ③ 総効果では、以上の結果を反映して、非鉄の下落率が0.72%と最も高く、以下、

-
- 7) これらの影響をも取入れた包括的な多部門価格モデルとしては文献〔6〕が代表的である。
 8) こうした要因をも取入れて料金値下げの効果を正確に計算するためには、経済のさまざまな相互依存関係をとらえたマクロ・モデルに依らねばならない。こうした理由により、産業連関の価格モデルとマクロ・モデルとの斉合的な活用を図ったわけである。
 9) したがって、「電力」部門は、9電力などの事業用電力のほかに自家発電も含む。今回の計測では、時間の制約によりこれらを分割する作業は割愛した。
 10) 55年表を使用しているため、計測結果はすべて55年価格水準(定義によりすべて1)に対する変化率(%)である。最近時点の表である58年表に基づいてシミュレーションを行うべきであるが、輸入表が公表されていないため今回の計測では断念した。しかし、別途行った単純計算によれば、55年表を用いることによるバイアスはかなり小さいことが分かっている。

表 2 電気料金一律 8%値下げの産業別生産者価格への波及効果
(単位: %)

	直接効果	間接効果	総効果	倍率	中断なしのケース
1. 農 林 水 産 業	—	—	—	—	-0.13
2. 鉱 業	-0.18	-0.04	-0.22	1.2	-0.28
3. 食 料 品	-0.07	-0.08	-0.15	2.1	-0.21
4. 織 維 製 品	-0.11	-0.15	-0.26	2.3	-0.29
5. 紙 ・ パ ル プ	-0.33	-0.27	-0.60	1.8	-0.62
6. 化 学 製 品	-0.27	-0.19	-0.46	1.7	-0.49
7. 石 油 製 品	-0.03	-0.02	-0.05	1.4	-0.05
8. 石 炭 製 品	-0.08	-0.07	-0.15	1.9	-0.17
9. 窯 業 ・ 土 石	-0.41	-0.15	-0.56	1.4	-0.59
10. 鉄 鋼	-0.29	-0.40	-0.69	2.4	-0.71
11. 非 鉄 金 属	-0.48	-0.24	-0.72	1.5	-0.74
12. 金 属 製 品	-0.18	-0.27	-0.45	2.6	-0.48
13. 一 般 機 械	-0.07	-0.21	-0.28	3.9	-0.31
14. 電 気 機 械	-0.07	-0.20	-0.27	3.8	-0.29
15. 輸 送 機 械	-0.07	-0.20	-0.27	4.1	-0.30
16. 精 密 機 械	-0.07	-0.16	-0.28	3.2	-0.25
17. そ の 他 製 造 業	-0.10	-0.15	-0.25	2.4	-0.27
18. 建 設	-0.05	-0.18	-0.23	4.7	-0.26
19. 電 力	—	—	—	—	—
20. ガ ス ・ 水 道	—	—	—	—	-0.51
21. 商 業	-0.09	-0.02	-0.11	1.3	-0.14
22. 金 融 ・ 保 険	—	—	—	—	-0.09
23. 不 動 産	-0.02	-0.02	-0.04	2.5	-0.04
24. 運 輸 ・ 通 信	—	—	—	—	-0.19
25. サ ー ビ ス	-0.13	-0.06	-0.19	1.5	-0.22
26. 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療 ・ 保 健	—	—	—	—	-0.24
27. 公 務	—	—	—	—	-0.17
28. 事 務 用 品	0.00	-0.33	-0.33	—	-0.35
29. 梱 包	-0.04	-0.35	-0.39	9.8	-0.41
30. 分 類 不 明	-0.30	-0.16	-0.46	1.5	-0.52
総合卸売物価(総平均)	-0.34	-0.13	-0.47	1.4	-0.49
電気料金による下落分	(-0.23)	(0.00)	(-0.23)	—	(-0.23)
その他価格による下落分	(-0.11)	(-0.13)	(-0.24)	—	(-0.26)

(注) 倍率は、総効果/直接効果で示す。中断なしのケースは総効果。

鉄鋼 -0.69%, 紙・パ -0.60%, 窯業・土石 -0.56% と続き, 石油製品の -0.05% が最小となっている。

直接効果に対する倍率でみると, 梱包の 9.8 倍を例外として, 建設業, 機械産業等で大きい。

卸売物価は 0.47% の下落となり, その内訳は電気料金下落による分が 0.23%, その他価格下落による分が 0.24% とほぼ

等しい効果を持っている。

- ④ 公共料金等への跳ね返りを考慮に入れると, 卸売物価は総効果で -0.49% と中断ケースの -0.47% をわずかに 0.02 ポイント上回るに過ぎない。

4.2 マクロ経済への影響

マクロ計量モデルで把握された, 料金値下げの波及プロセスの概要は図4に示されている。

料金値下げは卸売物価や消費者物価を引き下

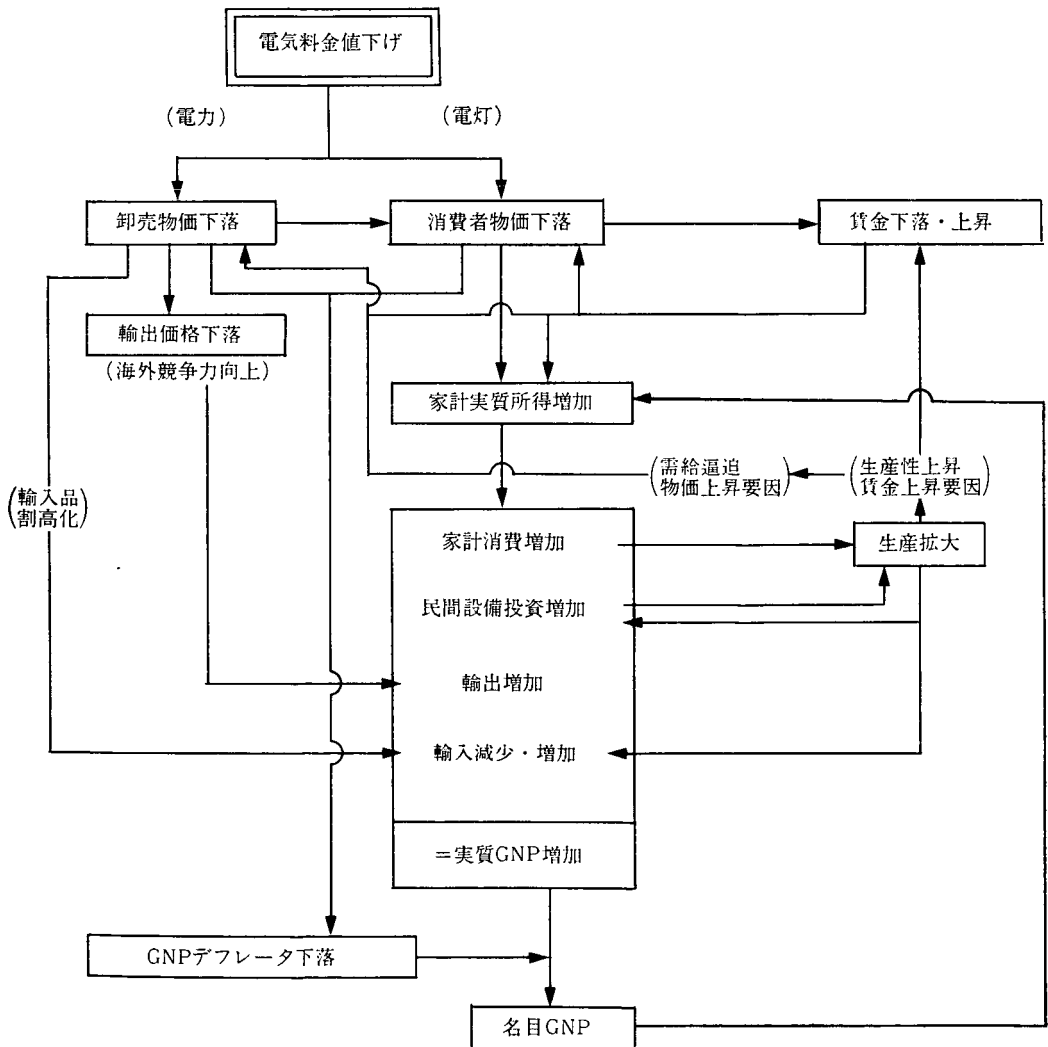


図4 電気料金値下げ効果の波及プロセス (概要)

げる（卸売物価への産業間波及については上述の通り¹¹⁾。諸物価の下落に伴い、家計の実質所得が上昇し、民間消費が増加する。ついで、生産が増加していき、民間設備投資など他の需要項目が増え、乗数的拡大が生じる。

輸出は国内物価の下落により海外競争力が高まり増加する。輸入は国内需要の増加と海外品の割高化という増加・減少の両方向の影響を受ける。

物価は当初下落するが、やがて生産の拡大による需給条件の変化（逼迫）により、上昇圧力を受け下げ止る。賃金は当初若干下落するが、生産性アップにより上昇に転じる。

家計の実質所得は、こうした物価・賃金の循環的変動の影響を受けるが、総じて増加する。

しかし、一般に、産業分割がなされていない通常のマクロモデルでは、上記のプロセスのうち、電気料金の卸売物価および消費者物価への波及を明示的に把えることは難しい。その最大の理由は、物価面における商品（ないし産業）間の波及を計測する場合、商品別価格の時系列データの使用により変数間のマルチコが発生するためである。

そこで、今回の計測では、一つの接近法として、電気料金の卸売物価への波及の計測については、産業連関の価格モデルの計測結果を活用することにした。具体的な計算手順およびモデルの修正方法は次の通りである¹²⁾。

まず、卸売物価については、「電気料金」と「その他商品」とに分け、前者を外生、後者を内生変数とした。そして、料金値下げのシミュレーションを行う場合、「電気料金」については8%（1年間）下げる。「その他商品」については、前節で示した産業連関価格モデルから計測された電気料金波及効果分（その他価格に

よる変化分0.2%ポイント）をこの関数に外から（コンスタント調整として）与える。

一方、消費者物価については、卸売物価と同様、「電気代」と「その他商品」に分け、前者を外生、後者を内生変数とする。料金値下げのシミュレーション分析の際、「電気代」については8%（1年間）下げる。しかし、「その他商品」については、上記のような外からの調整は必要ではない。消費者物価の「その他商品」は、中間投入としての電力コストの変化が卸売物価を通じてこれに反映するような関数が導入されているからである。

以上の方法にしたがって、マクロ・モデルによる料金値下げのシミュレーション分析を行った結果は、表3にある通りである¹³⁾。そのポイントは以下の通り。

- ① 実質 GNP は、物価下落による家計の実質所得の増加をテコに乗数的拡大効果を受け、1年目 0.23%（料金値下げがない場合に比べての変化、以下同様）、約 6,400

11) 厳密に言えば、電力コストの低下はまず企業収益の増加をもたらす、次いで、企業の経営方針の下に、製品の値下げや設備投資の拡大、内部留保の増加に波及する。本分析では、前述したように、電気料金値下げが主として製品価格の下落を通じて波及する場合の効果を計測している（注12）参照。

12) 本分析では、電力コストの低下のほぼ全額が1年程度間に各製品の価格下落に波及すると仮定されている。この仮定は産業界での差益還元の徹底を意味するものではなく、以下の諸要因を数量的に計測することが困難であるために設定されたものである。

料金値下げの還元効果を抑制する要因としては、①マージン率や分配率の変化（企業収益の増加）、②波及ラグ（遅れ）、③価格の下方硬直性、④消費者の価格に関する期待形成、⑤消費者の価格変化（上昇・下落）への反応の非対称性、などがある。一概にはいえないが、①～③は価格下落の不浸透、④、⑤は消費の抑制を通じて還元効果を弱める作用をするであろう。

13) 分析の途中で国民経済計算の55年基準改訂値が公表されたが、今回の計算では50年基準のマクロモデルが使用された。55年基準の産業連関表との対比のため、実額は名目、実質ともに、計算された乖離率を用いて55年基準に換算されている。

この点は早急に改善されるべきであるが、分析の本質には何らさしつかえないと考えられる。モデルの55年基準への改訂は現在進行中である。

表 3 電気料金 8%値下げの効果

(単位: 10 億円, %)

	1 年 目	2 年 目	3 年 目	合計(1~3年)
G N P (名目)	-104 (-0.03)	537 (0.18)	340 (0.10)	823 (0.08)
民間消費(“)	40 (0.02)	138 (0.07)	214 (0.11)	392 (0.07)
民間住宅(“)	36 (0.23)	76 (0.46)	-4 (-0.02)	108 (0.22)
民間設備(“)	-99 (-0.23)	225 (0.49)	165 (0.35)	291 (0.20)
G N P (実質)	642 (0.23)	519 (0.18)	207 (0.07)	1,368 (0.16)
民間消費(“)	435 (0.27)	190 (0.11)	100 (0.06)	725 (0.15)
民間住宅(“)	80 (0.54)	36 (0.23)	-18 (-0.11)	98 (0.22)
民間設備(“)	0 (0.00)	217 (0.47)	152 (0.32)	369 (0.26)
政府投資(“)	54 (0.24)	-3 (-0.04)	-12 (-0.05)	32 (0.05)
輸 出(“)	43 (0.08)	23 (0.04)	13 (0.02)	79 (0.05)
輸 入(“)	-24 (-0.06)	23 (0.05)	33 (0.07)	32 (0.02)
経常収支(10 億ドル)	-0.19 (—)	-0.01 (—)	-0.09 (—)	-0.29 (—)
電力需要(百万kWh)	3,349 (0.66)	2,969 (0.56)	1,403 (0.25)	7,721 (0.49)
GNP デフレーター	- (-0.26)	- (0.00)	- (0.04)	- (-0.07)
卸 売 物 価	- (-0.44)	- (0.00)	- (0.01)	- (-0.14)
消 費 者 物 価	- (-0.31)	- (-0.03)	- (0.05)	- (-0.10)

(注) () は乖離率%, 合計の%は各年の平均値。
実質値は 55 年基準。

- 億円(55年価格), 3年間平均で 0.16%, 合計約 1兆 3,700 億円(同)増加する。
- ② 項目別では, 民間消費は 1年目 0.27%, 4,400 億円(同), 3年間平均で 0.15%, 合計 7,300 億円増加する。民間設備投資は 1年目は増えないが, 2年目に 0.47%, 2,200 億円(同)増加する。3年間合計の実質増加額でみると, 民間消費が最も高い。
- ③ 輸出は価格競争力のアップにより若干増加する。1年目 0.08%, 約 400 億円(同)。輸入は内需の拡大と輸入品の割高化とが相殺し殆ど変化しない。
- ④ 名目 GNP は 3年間平均で 0.08%, 名目約 8,200 億円と伸びは僅か。これは GNP デフレーターが 0.07% 下落するため。

- ⑤ 物価面では, 卸売物価は 1年目 0.44% 下落する(これは産業連関の価格モデルによる計算結果 -0.47% とほぼ一致している)。しかし, 需給逼迫による上昇圧力を受けて, 2年目には料金値下げ前の水準までもどる。
- 消費者物価は 1年目 0.31% 下落するが, 卸売物価の影響を受け 2年目には料金値下げ前の水準近くにまでもどる。
- ⑥ 経常収支は 1年目 2 億ドルと若干減少する。これは, 主として輸出における数量の増加を上回る価格の下落によって, 輸出金額が減少することによる。
- ⑦ 電力需要(9電力計)は 1年目 0.66%, 33 億 kWh, 3年間平均では 0.49% 増加し, 実質 GNP の伸びより 3 倍程度高い。

これは生産や所得の増加の効果(所得効果)に料金値下げの効果(価格効果)が加わるためである。ちなみに、増加寄与度を計算すると、1年目では所得効果は約2割、価格効果は約8割、3年間平均ではそれぞれ約5割であり、料金割安化による需要の増加はかなり大きいといえよう¹⁴⁾。

4.3 産業別生産額への影響

次に、マクロ・モデルから計算された最終需要は、統計上の調整が加えられたあと、産業連関の産出高決定モデルにインプットされる。これより、料金値下げによって増加した消費や投資などの最終需要を満たすに必要な産業別の生産額が計測される。

計算に使用した産出高決定モデルは、通常の競争輸入型静学的レオンチェフモデルであり、とくに説明は要しないであろう。必要生産額の算出式のみ掲げておく。すなわち、

$$X=[I-(I-\hat{M})A]^{-1}[(I-\hat{M})HY+E] \quad (2)$$

である。ここで、 X =生産額ベクトル、 A =投入係数行列、 \hat{M} =輸入係数(対角)行列、 H =輸出を除く最終需要コンバーター行列、 Y =輸出を除く項目別最終需要ベクトル、 E =輸出ベクトル、 I =単位行列である。

(2)式の構造推定で用いたデータは、55年価格表示の58年実質産業連関表を、価格モデルと同様30部門にまで統合した表である。

計算結果は、表4、図5および付表1に示されている。ただし、表4は、マクロ・シミュレーションで得られた最終需要増分(項目別には、額の大きな民間消費と民間投資を計上)を満たすに必要な生産額の3年間の合計値を示している。また、図5は、主要産業について、その生産額の経年変化を乖離率で表わしたもので

ある。ここで、乖離率とは、標準ケース(料金値下げがない場合のマクロ・シミュレーションに対応する生産額)に対する年平均変化率をいう。計算結果の要点は以下の通りである。

① 表4より、一律8%の料金値下げで、実質国内総生産額は3年間合計で2兆5,800億円(55年価格)増加し、これは標準ケースに比べ3年間平均で0.14%(マクロ・シミュレーションの実質GNP上昇率0.16%にはほぼ対応)の上昇となる。項目別内訳では、民間投資の生産誘発係数の相対的な高さ(投資2.18>消費1.69)を反映して、民間消費の誘発額が1兆2,000億円、民間投資では9,500億円と投資の生産への寄与度も高いことがわかる。

② 産業別にみると、民間投資によって誘発された建設部門の生産増加が最も大きく、全体の11%を占め、以下、商業(構成比11%)、電気機械(同8%)、その他製造業(同7%)、サービス(同6%)の順となっている。逆に、生産増加が小さい部門は、とくに製造業では、石炭製品、精密機械、非鉄金属、繊維、窯業・土石の各部門でこれらの構成比はいずれも1.5%以下である。しかし、生産額水準でみると以上のように部門間のバラツキは大きいものの、これを標準ケースと比較した乖離率で見ると、平均値0.14%を中心として上下0.06%と部門間格差は極めて小さい。最大は、一般機械の0.19%増、最小は公務を例外とすれば、精密機械の0.08%増である。また、電力部門は0.13%増となっている。

14) 計測された電力需要の弾性値は次の通りである。対GNP弾性値:短期0.546,長期1.098,対価格弾性値(電力単価/GNPデフレーター):短期-0.066,長期-0.134。

表4 電気料金8%値下げの産業別生産額への影響

(単位: 億円 (55年価格))

	民間消費による増加	民間投資による増加	合計	乖離率 (%)
1. 農 林 水 産 業	641	70	709	0.13
2. 鉱 業	52	42	46	0.06
3. 食 料 品	1,100	33	1,222	0.14
4. 織 維 製 品	204	68	353	0.13
5. 紙 ・ パ ル プ	194	120	402	0.14
6. 化 学 製 品	521	168	856	0.12
7. 石 油 製 品	356	146	481	0.11
8. 石 炭 製 品	18	61	80	0.11
9. 窯 業 ・ 土 石	57	263	367	0.15
10. 鉄 鋼	176	621	758	0.09
11. 非 鉄 金 属	55	178	193	0.09
12. 金 属 製 品	105	333	539	0.16
13. 一 般 機 械	105	939	1,472	0.19
14. 電 気 機 械	239	1,088	2,039	0.17
15. 輸 送 機 械	316	442	1,161	0.14
16. 精 密 機 械	68	56	101	0.08
17. そ の 他 製 造 業	831	499	1,716	0.15
18. 建 設	111	2,369	2,759	0.18
19. 電 力	270	134	457	0.13
20. ガ ス ・ 水 道	131	31	192	0.12
21. 商 業	1,571	785	2,736	0.15
22. 金 融 ・ 保 険	598	223	918	0.14
23. 不 動 産	1,162	83	1,284	0.14
24. 運 輸 ・ 通 信	681	241	1,109	0.13
25. サ ー ビ ス	1,273	266	1,671	0.12
26. 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療 ・ 保 健	1,034	75	1,322	0.11
27. 公 務	17	4	238	0.05
28. 事 務 用 品	25	22	59	0.14
29. 梱 包	85	52	164	0.14
30. 分 類 不 明	158	116	360	0.14
製 造 業 計	4,345	5,015	11,740	0.14
合 計	12,153	9,528	25,764	0.14

(注) 乖離率は、標準ケースに対する3年間平均増加率。
上記以外の最終需要項目の生産誘発額は表示省略。

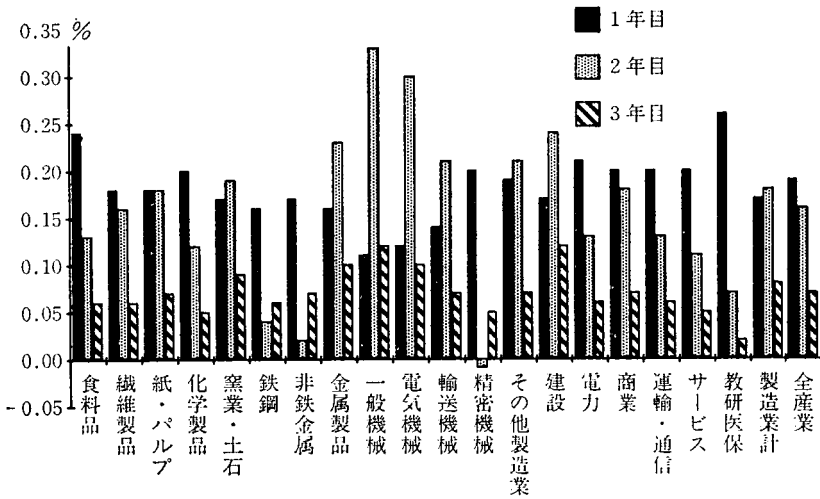


図5 電気料金値下げの生産への影響

③ 図5より乖離率の経年変化をみると、1年目は、家計の実質所得の上昇による消費の増加を反映して、食料品、サービス等の生活関連産業の生産増加が目立つ。しかし、これと交替的に設備投資の拡大が生じる2年目では、一般機械、電気機械、建設等の投資財産の生産増加が顕著である。このように、料金値下げの生産への波及効果は、当初は消費財産の生産を促しその後投資財産の生産増加を導くというパターンをとる¹⁵⁾。

電力については、投入係数、消費コンバーターなどを一定としているため、産業連関モデルが料金値下げによる需要（生産）の増加、つまり価格効果を把握し得ないことを考えると、計算された生産額は実際より低めに出ていると推測できる。この点については、前述のマクロ・モデルから計算された電力需要の伸び率で上方修正する必要がある¹⁶⁾。しかし、他の部門については、相対価格の変化は大きくなく、今回の計測結果は基本的には認められるであろう¹⁷⁾。

5. 電力投資拡大による還元

電力投資拡大による還元効果を計測する方法は3節で述べた通りである（図2参照）。まず、マクロ・モデルによりおなじみの投資乗数の分析を行い、実質 GNP や物価・賃金など、マクロ経済への影響が計測される。その際重要なことは、前述したように、投資による還元の場合

- 15) 鉱業など極く一部の産業が、2年目にマイナスの値を示している。これは在庫投資の増加による生産誘発の影響によるものと考えられる。この点については、在庫投資の影響を除外することや、在庫投資コンバーターを修正することなどによって改善できよう。しかし、今回の分析では、在庫投資の増加額が他の需要項目に比べて著しく小さいため、このような修正は行わない。
- 16) 統計的にはカバレッジ（自家発電）の問題を別にして、電力需要（kWh 表示）と電力生産額との間でその増加率が大きく異なることはないはずである。両モデルの計算によれば、電力需要は3年間平均では乖離率 0.49%、電力生産額は同 0.13% である。両者間の差の大部分は価格効果によって説明できる。すなわち、前述の通り、マクロ・モデルにおける電力需要の増加に対して、価格効果の分はその半分の 0.25% ポイントである。
- 17) たとえば、ある産業の価格下落率を3年間平均で 0.14%（表2の産業平均）、価格弾性値を一般的水準である 0.2 と仮定すれば、生産額は 0.03%（0.14×0.2）だけ上方修正される。数字の桁からみると修正値はかなり小さい。しかし、この点についての改善は今後の研究課題である。

は、租税支払いの増加のため、それだけ電力の還元額（投資額）が削減されることである。この点を明確にして分析を行う。次に、計算された最終需要額を産業連関の産出高決定モデルに導入して、産業別生産への影響を計測する。これらの計測結果について、順を追って説明する。

5.1 マクロ経済への影響

電力投資拡大による差益還元策では、差益の一部が租税として財政収入となるため、政府がこれをいかに活用するかで全体としての還元効果が変わる。政策としては、政府投資拡大、国債償還など、いくつかある。ここでは、還元方法の比較分析を行うことが最大のねらいであるので、民間への総還元額については、料金値下げの場合と同じ額（1兆円）を仮定した場合の

計算を行うことが望ましいであろう。

最初に、租税増加分（5,000億円）が直ちに政府投資として社会に還元される場合のマクロ経済効果について、次に、租税増加分が還元されない場合の経済効果について計測する。

5.1.1 政府投資拡大の場合

上記の理由から、電力投資5千億円と政府投資5千億円、合計1兆円の投資による還元を想定する。マクロ・モデルでは、電力投資は民間設備投資に含まれており、民間投資は内生変数である。そこで、内生変数の一部の変化を外生変数として処理する場合の一般的な方法に従い、電力投資の増加を外生変数である政府投資の増加としてデータをインプットし、電力投資のマクロ経済効果を計測する。

主要な計算結果は、表5に示す通りである。

表5 電力・政府投資合計1兆円増加の効果

(単位：10億円，%)

	1年目	2年目	3年目	合計(1~3年)
G N P (名目)	1,950 (0.65)	903 (0.28)	89 (0.03)	2,942 (0.32)
民間消費(%)	744 (0.41)	467 (0.24)	71 (0.04)	1,282 (0.23)
民間住宅(%)	192 (1.23)	34 (0.21)	-42 (-0.24)	184 (0.40)
民間設備(%)	500 (1.17)	430 (0.94)	152 (0.32)	1,082 (0.81)
G N P (実質)	1,201 (0.43)	562 (0.19)	55 (0.02)	1,818 (0.21)
民間消費(%)	332 (0.20)	200 (0.12)	26 (0.02)	558 (0.11)
民間住宅(%)	130 (0.88)	4 (0.03)	-40 (-0.25)	94 (0.22)
民間設備(%)	444 (1.01)	407 (0.89)	150 (0.32)	1,001 (0.74)
政府投資(%)	474 (2.12)	-27 (-0.12)	-6 (-0.00)	441 (0.67)
輸出(%)	-2 (-0.00)	-2 (-0.00)	-1 (-0.00)	-5 (0.00)
輸入(%)	85 (0.21)	108 (0.25)	86 (0.19)	279 (0.22)
経常収支(10億ドル)	-0.33 (-)	-0.43 (-)	-0.36 (-)	-1.12 (-)
電力需要(百万kWh)	1,239 (0.24)	1,238 (0.23)	701 (0.13)	3,178 (0.20)
GNPデフレーター	- (0.21)	- (0.10)	- (0.01)	- (0.11)
卸売物価	- (0.02)	- (0.01)	- (0.00)	- (0.01)
消費者物価	- (0.21)	- (0.11)	- (0.01)	- (0.11)

(注) ()は乖離率%，合計の%は各年の平均値。
実質は55年基準。

そのポイントは次の通り。

① 実質 GNP は、電力投資と政府投資の増加をテコに乗数的拡大効果をうけ、1年目 0.43% (差益還元がない場合に比べての変化、以下同様)、約 1 兆 2,000 億円 (55 年価格)、3 年間平均で 0.21%、合計 1 兆 8,200 億円 (同) 増加する。

② 項目別では、民間消費は 1 年目 0.20%、3,300 億円 (同)、3 年間平均で 0.11%、合計 5,600 億円増加する。

民間設備投資は、電力以外の他産業の投資が波及効果をうけて増加するため、電力投資の増加分を上回る。1年目は 1.01%、4,400 億円、3 年間平均で 0.74%、合計 1 兆円 (同) 増加する。

政府投資は、政策変数 (名目は外生) であり、1年目に 2.12%、4,700 億円 (同) 増加する。

民間と政府を合わせた投資は、1年目 1.39%、9,200 億円、3 年間平均で 0.72%、合計 1 兆 4,400 億円 (同) 増加する。

③ 輸出はほとんど変化しない。輸入は内需の拡大によって増加する。1年目 0.21%、900 億円 (同) の増加。

④ 名目 GNP は 1 年目 0.65%、3 年間平均で 0.32% 増加する。GNP デフレーターが国内需要の拡大で上昇するため、実質 GNP の伸びより高い。ここで、政府投資の GNP 乗数 (名目ベース) は表 5 から 1 年目 1.95 と計算される。

⑤ 物価面では、卸売物価は 1 年目 0.02%、2 年目 0.01% 上昇する。これは需要の増加の影響による。

⑥ 経常収支は、1 年目 3 億ドル減少する。これは、主として輸入量の増大による。

⑦ 電力需要は 1 年目 0.24%、12 億 kWh 増加する。3 年間平均では 0.20% の増加で実質 GNP とほぼ同じ増加率となっている。この場合、電力需要の増加は、生産や所得の増加 (所得効果) によるもので、料金値下げでみられたような相対価格変化の影響はほとんど受けていない。

5.1.2 政府投資一定の場合

租税の増収分が、たとえば全て政府貯蓄に回り、政府投資の拡大にふりむけられない場合はどうなるか。この場合、差益還元は電力投資 5,000 億円にとどまり、上記のケース 1 兆円の半分になる。そのマクロ経済効果は、おおまかにいえば、上記のケースの半分程度になる¹⁸⁾。

電力投資と政府投資では、投資デフレーターの水準が異なるため、投資乗数は同じにはならない。しかし、電力投資デフレーターの入手が困難であることなどから、正確な電力投資のマクロ経済効果を計測することは困難である。このため、今回の試算では、政府投資一定の場合の差益還元の効果は、上記のケースの丁度、半分として計上しておく。主要変数の変化については、表 5 の数値を半分にして読まれたい (表は別掲しない)。

5.2 産業別生産額への影響

通常、産業連関モデルより電力投資の生産誘発額を計算する場合、電力投資額だけをインプットデータとしてモデルに与えるという方法が採用される。この方法はいわゆるレオンチェフ乗数を計算するものである。しかし、この方法では、電力投資の拡大によって増加する他の最

18) 差益を国債償還や途上国援助に流用するという方法も一時、論議されたことがある。その場合の経済効果は、政府投資一定の場合の効果とほぼ同じになろう。しかし、差益の還元方法としては、電気事業審議会等の方針にもある通り、消費者への還元が本来の姿である。

終需要をまかなう生産の増加は計算できないし、さらには、電力からの租税でまかなわれる政府投資の増加およびそれに伴う最終需要の増加による生産の増加は計算されない¹⁹⁾。

マクロ・モデルと産業連関モデルとを齊合的に活用するのは、これらの問題点を克服するためである。

電力投資と政府投資、およびそれらの波及効果としての他の最終需要の増加額をマクロ・モデルから計算し、これを産業連関モデルにインプットする。これによって、電力・政府投資同時拡大による差益還元の総効果が計測される。通常のレオンチェフ乗数の計測結果も重要な経済的意味があるので、これを示してから、還元策の総効果を示すことにする。

なお、政府投資一定の場合の計算は省略する。

5.2.1 電力投資の生産誘発効果

まず、電力投資名目 5,000 億円の生産誘発効果を計測する。使用したモデルは、上記と同じ 58 年実質産業連関表による産出高決定モデルである(4.3 節参照)。この計算に際しては、電力投資総額を産業別に振り分ける電力投資のコンバーター表の推定が必要である。これについては、表 6 に示すように、電気事業連合会および電力各社の協力を得て作成された 60~63 年度電力追加投資内訳表を 30 部門に集計したものを利用した。電力投資コンバーターとしては公式統計として 55 年の資本マトリックスが利用可能であるが、これは、自家発電投資や火力などの電源部門への投資をも含んだトータルの内訳表であるため、今回のような、配電地中化など輸送部門への重点配分が予想される差益還元のための投資拡大には適当でないと判断したからである。この表をみると、支出先では、電

表 6 電力直接投資の部門別内訳

(単位：億円 (55 年価格))

	直接投資額	構成比(%)
窯業土石	222	4.4
鉄鋼	34	0.7
非鉄金属製品	549	10.8
金属製品	333	6.6
一般機械製品	192	3.8
電気機械	2,080	41.1
その他製造業	2	0.0
建設	1,647	32.5
合計	5,059	100.0

気機械、建設のウェイトが高く、両部門で全体の約 8 割弱を占めている。なお、計算では 55 年実質タームの連関表を用いるため、表では、電力投資名目値 5,000 億円を 55 年実質ベースに変換した 5,059 億円をベースに産業別に振り分けていることに注意されたい。

計測された電力投資拡大の生産誘発効果は、表 7 の第 1 列に示されている。これによれば、総額 5,059 億円の直接投資の生産誘発額は産業全体で、1 兆 871 億円となり、これは直接投資額の 2.15 倍にあたる。これが通常のレオンチェフ乗数である。産業別にみると、電気機械が 2,848 億円(直接投資額 2,080 億円の 1.37 倍)と最も高く全体の 26% を占め、次いで建設(同 1.02 倍)、非鉄金属(同 1.64 倍)、鉄鋼(同 22.21 倍)の順となっている。

5.2.2 電力投資・政府投資同時拡大の総効果

上記の計測では、電力投資拡大に伴って増加する他の最終需要項目の増加や政府投資増加による生産への影響などは考慮に入れていない。これらの効果を考慮した最終的な必要生産額は

19) 産業連関モデルによる電力投資の生産誘発の計測例として、文献〔1〕、〔2〕、〔3〕がある。このうち、〔1〕では、通常のレオンチェフ乗数のほか、所得・消費連関効果を導入した場合の総合的な乗数も計算されている。

表7 投資拡大による産業別生産額への影響

(単位: 億円 (55年価格))

	電力投資	政府投資	民間消費	その他 民間投資	合計	乖離率 (%)
1. 農 林 水 産 業	52	71	496	104	690	0.13
2. 鉱 業	63	55	40	62	146	0.18
3. 食 料 品	33	38	851	49	1,056	0.12
4. 織 維 製 品	54	83	158	100	441	0.16
5. 紙 ・ パ ル プ	143	142	150	177	669	0.24
6. 化 学 製 品	203	196	403	249	1,098	0.15
7. 石 油 製 品	172	180	275	215	745	0.17
8. 石 炭 製 品	68	79	14	90	229	0.30
9. 窯 業 ・ 土 石	459	414	44	388	1,304	0.53
10. 鉄 鋼	755	697	137	917	2,144	0.25
11. 非 鉄 金 属	903	181	42	263	1,267	0.56
12. 金 属 製 品	581	457	82	491	1,660	0.49
13. 一 般 機 械	443	375	81	1,387	2,607	0.33
14. 電 気 機 械	2,848	1,003	185	1,608	6,164	0.52
15. 輸 送 機 械	54	315	245	653	1,497	0.18
16. 精 密 機 械	15	54	52	82	139	0.11
17. そ の 他 製 造 業	423	613	643	738	2,713	0.24
18. 建 設	1,681	3,921	86	3,500	9,191	0.58
19. 電 力	192	156	209	199	760	0.22
20. ガ ス ・ 水 道	35	36	101	45	223	0.14
21. 商 業	498	697	1,216	1,160	3,821	0.21
22. 金 融 ・ 保 険	247	249	463	330	1,320	0.20
23. 不 動 産	77	92	899	122	1,208	0.13
24. 運 輸 ・ 通 信	243	277	527	356	1,456	0.17
25. サ ー ビ ス	279	313	985	393	2,026	0.14
26. 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療 ・ 保 健	92	74	800	111	1,095	0.09
27. 公 務	5	4	13	5	30	0.01
28. 事 務 用 品	31	22	20	32	111	0.26
29. 梱 包	82	58	66	77	296	0.26
30. 分 類 不 明	144	130	122	171	610	0.23
製 造 業 計	7,152	4,827	3,362	7,407	15,577	0.19
合 計	10,871	10,982	9,407	14,074	46,712	0.25

(注) 乖離率は、標準ケースに対する3年間平均増加率。
上記以外の最終需要項目(在庫及び輸出など)の生産誘発額は表示省略。

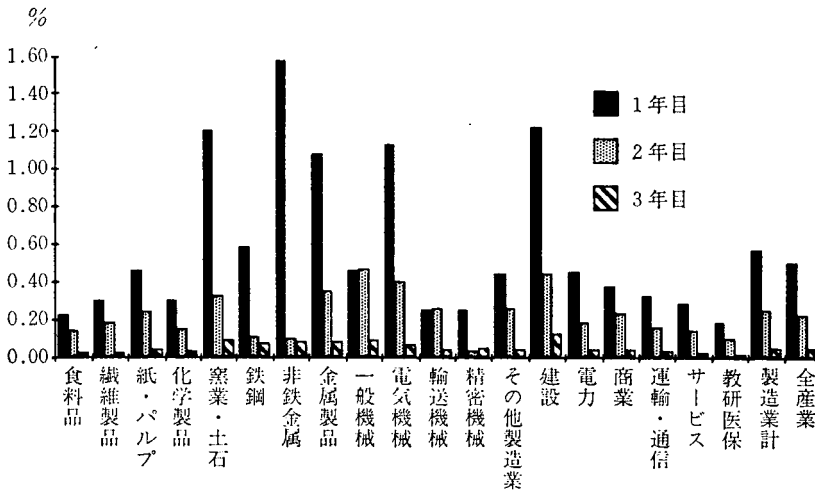


図 6 電力・政府投資同時拡大の生産への影響

さらに増加するはずである。

これらの生産誘発効果を含めた計測結果は、表7および図6、付表2に示されている。ただし、インプットした最終需要項目は、電力投資と政府投資を除き、他の項目については、上記のマクロ・シミュレーション分析（政府投資拡大のケース）の結果を産業連関表ベースに変換したものである。

表7は最終需要項目別の3年間合計の生産誘発額を示している。産出高モデルにインプットした3年間合計の最終需要は、電力以外では、政府投資5,059億円、民間消費5,568億円、その他民間投資6,449億円、民間在庫投資250億円、輸出-43億円（いずれも産業連関ベース、実質値）である。

また、図6は主要産業について、生産額の経年的変化を乖離率で示したものである。

計測結果を要約すると以下の通りである。

① 表7から、生産額は3年間合計で4兆6,700億円（55年価格、以下同じ）に上る。これは、他の最終需要項目を一定とした場合の電力投資の生産誘発額1兆870億

円の4.3倍、また電力投資額と政府投資額の合計1兆118億円の4.6倍にあたる。

② 産業別にみると、生産額合計では、建設が9,190億円（構成比20%）と最も大きく、以下、電気機械6,160億円（同13%）、商業3,820億円（同8%）、その他製造2,710億円（同6%）と続く。

③ これを標準ケースとの乖離率でみると、部門間ではかなりのバラツキがある。最も高いのは、建設で0.58%増、次いで非鉄金属0.56%、窯業・土石0.53%、電気機械0.52%、金属製品0.49%の順。これらの部門はいずれも総平均0.25%の2倍以上となっている。逆に、乖離率が低い部門を製造業についてみると、精密機械0.11%、食料品0.12%、化学0.15%、繊維0.16%などである。

④ 図6から、各年の乖離率の変化をみると、1年目では電力投資と政府投資の増加により、非鉄、建設、窯業・土石、電気機械、金属製品といった投資財産業の生産増加が著しい。これらの産業では、非鉄の

1.57% を筆頭にすべて1%を上回っている。しかし、2年目になると民間消費や電力以外の民間投資の増加によって生産は引き続き誘発されるもののその効果は1年目の半分程度となっている。したがって、生産への波及効果は1年目に強くであるが産業間でのバラツキが大きいといえる(6.2節参照のこと)。

なお、電力の乖離率は3年間平均0.22%で、マクロ・モデルから計算された電力需要の増加率にはほぼ等しい値となっている。これは料金値下げの場合と異なって、このケースでは価格効果が無視できるほど小さいため、モデル間での解の不斉合性は生じないことを示している。

6. 還元効果の比較分析

次に、料金値下げと投資拡大の二通りの還元策の効果について比較分析する。前述のよう

に、政策の違いなどによって、全体的な還元効果は異なってくるので比較する場合、注意を要する。

差益還元の波及径路の比較は図7に要約的に示されている。電気料金値下げの場合、電力コストの低下に伴う物価の下落で家計の実質所得が増加し消費が増える。これを主軸として経済の乗数的拡大が生じる。一方、電力投資拡大の場合は、還元額の約半分は租税として財政収入となり、残り半分が電力投資に費やされる。電力投資の拡大は、直接、最終需要を高め生産の増加をもたらす。これを主軸として経済が活発化する。政府投資の拡大がこれに伴う場合、それだけ最終需要の増加を通じて経済効果が高まる。

6.1 マクロ経済への影響

1) 電気料金値下げと電力・政府投資同時拡大
比較分析という立場からみると、還元総額が

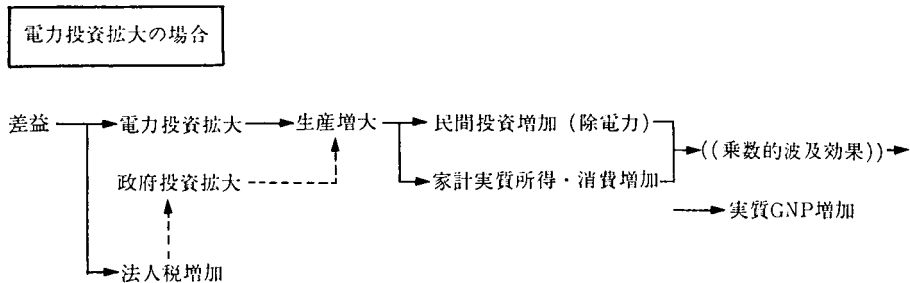
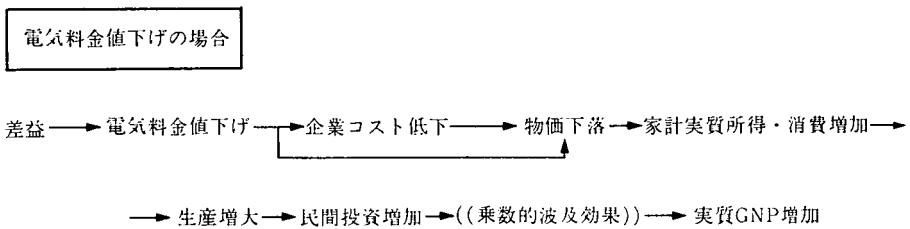


図7 差益還元の波及プロセス(概要)

表 8 差益還元のマクロ経済効果の比較

(単位：%)

	料金値下げ ⁽¹⁾			投資拡大					
				電力+政府 ⁽²⁾			電力 ⁽³⁾		
	1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目
G N P (名目)	-0.03	0.18	0.10	0.65	0.28	0.03	0.33	0.14	0.01
G N P (実質)	0.23	0.18	0.07	0.43	0.19	0.02	0.22	0.10	0.01
消費 ⁽⁴⁾	0.27	0.11	0.06	0.20	0.12	0.02	0.10	0.06	0.01
投資 ⁽⁵⁾	0.08	0.31	0.20	1.39	0.56	0.20	0.69	0.28	0.10
経常収支(10億ドル)	-0.19	-0.01	-0.09	-0.33	-0.43	-0.36	-0.17	-0.22	-0.18
電力需要	0.66	0.56	0.25	0.24	0.23	0.13	0.12	0.11	0.06
GNP デフレーター	-0.26	0.00	0.04	0.21	0.10	0.01	0.11	0.05	0.00

(注) 数値は標準ケースに対する乖離率

(1) 料金8%値下げのケース(総還元額1兆円)

(2) 電力投資, 政府投資各5千億円(同1兆円)

(3) 電力投資のみ5千億円(同5千億円)

(4) 民間消費

(5) 民間設備投資+政府投資

同規模(1兆円)のケースを選ぶことが望ましいであろう。

電気料金値下げの効果と電力・政府投資同時拡大の効果とを比較すれば、表8の通りである。その特徴点は以下の通りである。

① 実質GNPへの影響：実質GNPの増加率は料金値下げのほうが小さい(3年間平均では $0.16 < 0.21\%$)。特に、1年目にその傾向が顕著である(1年目 $0.23 < 0.43\%$)。景気対策からみると料金値下げの効果は相対的に弱く即効性に欠ける。

還元効果がでつくすまでには、両還元策ともに3年程度を要する。

② 消費・投資への影響：料金値下げの場合は、物価下落によって家計の実質所得が増加するため、投資より消費の増加が大きい。他方、投資拡大による還元の場合には、民間投資が直接増加し、これに政府投資の増加が加わるため、消費より投資の増加のほうが著しい。

③ 輸出・輸入への影響：輸出は、料金値下げの場合、価格競争力が上昇するため、僅

かながら増加する。輸入は、料金値下げの場合、内需拡大による増加と輸入品の割高化による減少とが相殺し殆ど変化しない。投資拡大の場合には、内需拡大と輸入品による割安化という二つの増加要因により若干増加する(表3, 表5参照)。

④ 経常収支への影響：経常収支の赤字幅は、料金値下げのほうが小さい。これは主として輸入への効果の違いによる。現在の経常収支黒字の削減効果としては投資拡大による還元策のほうがやや大きい。

⑤ 名目GNPへの影響：GNP名目の増加率は料金値下げのほうが、圧倒的に小さい(3年間平均では $0.08 < 0.32\%$)。これは、実質GNP増加率の差よりもGNPデフレーター上昇率の差に依る。すなわち、GNPデフレーターは料金値下げの場合下落するが、投資拡大の場合には上昇するため両者間の格差が大きくなるためである。企業の景況感の名目販売額の動きと密接に関連しているから、料金値下げは相対的に景況感なき回復をもたらす方策であるといえる。

- ⑥ 物価への影響：料金値下げの場合は物価は下落するが、投資拡大の場合は内需拡大の影響で上昇する。特に、1年目にその傾向が顕著である。
- ⑦ 電力需要への影響：料金値下げは電力投資拡大の2倍以上の需要増加の効果がある（3年間平均では $0.49 > 0.20\%$ ）。これは料金値下げでは所得効果が相対的に小さいものの、電力割安化に伴う価格効果が相当大きいことによる。ちなみに、3年間平均では電力需要の増加の約5割は価格効果による。

料金値下げの価格効果は電力需要の増加に対して無視できないほどの大きさである。投資拡大の場合は価格効果はほとんどない。

上記①にある通り、実質 GNP への影響については、料金値下げによる還元は電力投資・政府投資同時拡大による還元より効果が小さい。その理由として次の要因を指摘できる²⁰⁾。

- i) 料金値下げの場合、その効果が家計消費や民間投資に波及するまでにラグ（遅れ）があること、
- ii) 料金値下げの場合、家計の実質所得の増加の一部が貯蓄に回るため需要拡大の効果がそれだけ弱められること、
- iii) 反面、電力投資拡大の場合、投資増加は直接、最終需要の増加をもたらすため需要拡大に直結し、それだけ効果が大きく即効性に富むこと、
- iv) 電力投資拡大の場合、他の需要項目よりも生産誘発の高い投資の増加が著しいため、景気拡大効果が大きいこと。

2) 電気料金値下げと電力投資拡大

政府投資が拡大しない場合の還元策も一時、

論議されたことがあるので、ここに若干述べておきたい。

- ① 実質 GNP への影響：GNP 実質の増加率は、料金値下げと電力投資拡大とでは、ほぼ同じになる。したがって、租税増収分が政府支出として還元されない場合は、上記のケースとは異なり、景気対策面で優劣の差はなくなる。
- ② 消費・投資への影響：電力投資の効果が全体的に小さくなるため、消費への影響は、料金値下げの方が電力投資拡大より大きく、その相対的な強さは、上記のケースより高まる。投資への影響は、電力投資拡大の方が料金値下げより1年目は高いが、2年目には同程度になる。つまり、投資への還元策間の相対的な強さは、消費への影響とは逆に弱まる。

6.2 産業別生産額への影響

次に、差益還元の産業別生産への影響について比較する。電気料金値下げと電力・政府投資同時拡大の二つのケースを対比したものが図8および表9である（付表も参照のこと）。

まず、図8を概観すれば、生産の増加率は、食料品など若干の例外を除き全産業に渡って、電力・政府投資同時拡大の方が料金値下げより高いことが分かる。これは、前述したような実質 GNP への効果の相対的な大きさの違いを反映したもので、当然の結果である。

次に生産増加率の産業間格差をみると、料金値下げでは、産業間格差は小さい。ただし、電力については前述した理由から計算結果を 0.4% 程度にまで上方修正する方がよい。そうした場合、料金値下げでは、生産の増加率は電力

20) 政策効果の比較に関して政府投資増加が減税より経済拡大効果が大きい理論的根拠を想起されたい。

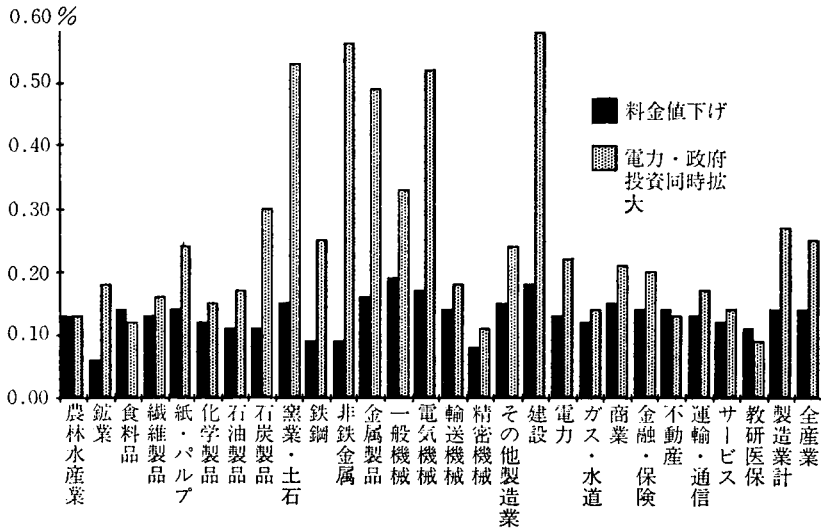


図 8 産業別生産増加の比較 (3年間平均)

表 9 産業別生産額の比較

(単位: %)

業 種	料 金 値 下 げ ⁽¹⁾			電 力 ・ 政 府 投 資 同 時 拡 大 ⁽²⁾		
	1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目
食 料 品	0.24	0.13	0.06	0.22	0.14	0.02
紙・パルプ	0.18	0.18	0.07	0.46	0.24	0.04
化 学 品	0.20	0.12	0.05	0.30	0.15	0.03
窯 業 ・ 土 石	0.17	0.19	0.09	1.20	0.32	0.09
鉄 鋼	0.16	0.04	0.06	0.58	0.11	0.07
非 鉄 金 属	0.17	0.02	0.07	1.57	0.10	0.08
一 般 機 械	0.11	0.33	0.12	0.46	0.47	0.09
電 気 機 械	0.12	0.30	0.10	1.13	0.40	0.06
輸 送 機 械	0.14	0.21	0.07	0.25	0.26	0.04
建 設	0.17	0.24	0.12	1.22	0.44	0.12
電 力	0.21	0.13	0.06	0.45	0.18	0.04
商 業	0.20	0.18	0.07	0.37	0.23	0.04
サ ー ビ ス	0.20	0.11	0.05	0.28	0.14	0.02
製 造 業 計	0.17	0.18	0.08	0.57	0.25	0.05
合 計	0.19	0.16	0.07	0.50	0.22	0.05

(注) (1), (2) 表8と同じ。

のみ大きい、他の産業では総じて小さく、その産業間格差も小さいと言える。しかし、電力・政府投資同時拡大では、非鉄金属、建設などが著しく高く産業間格差が大きい。また、上位グループの中でも格差がみられる。

電力差益還元の影響について要約すると次のようになる。

- ① 産業活動への影響については、産業全体では、実質 GNP に対する還元効果の相対的な大きさを反映して、電力投資拡大による還元のほうが料金値下げより効果が大きい（全産業では3年間平均約2倍の効果）。
- ② その効果を経年別・産業別にみると、電気料金値下げによる還元では、1年目は民間消費を中心とした経済拡大となるため、食料品、紙・パ、化学、商業、サービス、教育などの消費財・サービス財の生産の伸びが相対的に高い。2年目には還元効果が民間設備投資に波及するため、金属、機械（除精密）、建設など投資財、資本財の生産が一段と増加する（表9）。

製造業計では、1年目 0.17%、2年目 0.18% と同程度の伸び（乖離率）を示している。

生産増加の産業間のバラツキは、2年目は機械の伸びが高まるためやや大きくなるが、3年間平均してみると小さい。したがって、電気料金値下げは、各産業に対してほぼ均等に生産拡大効果をもつといえる（3年間平均では最大は一般機械 0.19%、最小は精密機械 0.08% 増、ただし一部産業除外）。

これは、i) 料金値下げによる最終需要の拡大効果が消費と投資にバランスよくで

るため。すなわち消費の生産誘発の高い消費財・サービス財と投資の生産誘発の高い投資財、資本財との増加に大きな格差が生じないこと、ii) 電気料金値下げに伴う相対価格変化の生産への影響が、電力を除く産業では小さいこと、などのためである。

- ③ これに対して、電力・政府投資同時拡大による還元では、1年目は電力投資と政府投資を中心とした経済拡大であるため、これと関連の深い窯業・土石、非鉄金属、金属製品、電気機械、建設といった投資財、資本財の生産が著しく伸びる。しかし、2年目には、これらの産業の伸びは急速に弱まる。反面、還元効果が電力以外の産業の設備投資にも波及してくるため、一般機械や輸送機械などでは2年目も1年目と同程度の伸びとなる。

製造業計では、上記の上位5産業のパターンを反映して、生産の伸びは1年目 0.57%、2年目 0.25% と2年目には1年目より半減している。

生産増加の産業間のバラツキは、1年目は投資先関連産業の生産の増加が著しく、とくに顕著に現れる。2年目にはバラツキの度合はかなり弱まる。すなわち、電力投資による還元では、非鉄金属、建設など資本財、投資財部門の生産増加が相対的に大きく、波及効果の産業間のバラツキが大きい（3年間平均では最大は建設 0.58%、最小は教育等 0.09% 増、ただし一部産業除外）。とくに1年目はこの傾向が顕著である。

これは、投資拡大による最終需要の増加が資本財、投資財に対する生産誘発の大きい電力投資および政府投資に大きく依存し

ているためである。

- ④ 以上より、両還元策の比較として、電気料金値下げによる還元は、波及ラグ(遅れ)などの影響により経済拡大がやや緩やかに進行するが、その効果は全産業に均霑される。一方、投資拡大による還元は、1年目に投資財関連部門を中心とした生産の顕著な増加をもたらすため、景気に対して即効性があるが、波及効果の産業間のバラツキは大きいといえよう。

最後に、産業別価格への影響について付言しておく。電力投資拡大の場合は価格が上昇するが上昇率はごくわずかである。電気料金値下げの場合は価格が全産業で下落し、とくに、電力多消費産業で下落率が大きい(最大は非鉄 0.72%、最小は不動産 0.04%、全産業平均では 0.47% の下落)。

7. 成果と今後の課題

主要な成果は次の通りである。

本分析により電気事業の差益還元のマクロ経済効果が明らかにされた。従来の分析と比べて大幅に改善された点は次の諸点である。

- ① 差益還元の効果について、マクロ経済と産業構造への全体的な影響を分析し、包括的な分析結果を得たこと。
- ② 差益還元効果の波及経路と経年的変化(動学的特性)を明らかにしたこと。
- ③ 二通りの差益還元策をとりあげ、その効果の比較分析を行ったこと。

- ④ マクロ計量モデルと産業連関モデルを齊合的に活用したこと。

- ⑤ マクロ経済と産業活動の連関を通じた乗数(波及効果)を計測したこと。

以上、いずれの点でもわが国では初めての試みである。分析は大幅に改善されたが、今後の課題として残された点も多い。差益還元効果の分析に限らず、産業とマクロ経済の相互依存関係をより詳細に分析するためには、マクロ計量モデルと産業連関モデルとを完全な形でリンクした多部門マクロ計量モデルが必要である。現在、われわれはその開発を進めている。

参考文献

- [1] 矢島 昭「投資の乗数効果」、『電力経済研究 No. 12』, 電力中央研究所, 1977, 9.
- [2] 矢島 昭「電力投資の産業別波及効果は 5.5 兆円」、『電力新報』, 1978, 6.
- [3] 富田輝博, 牧野文夫「低成長下の電力設備投資の波及効果」、『エネルギーフォーラム』, 1982, 6.
- [4] 阿波田禾積『差益還元に関する一試算』, 電力中央研究所内部資料 No. 188, 1979, 1.
- [5] 内田光穂, 服部常晃, 伊藤成康『原油値下がりの日本経済に及ぼす影響』, 電力中央研究所研究報告 No. 582027, 1983, 5
- [6] 金子敬生『経済変動と産業連関』, 新評論, 1967, 9.
- [7] 時子山ひろみ「会話型産業連関分析用プログラムの開発(I)」、『家政経済学論叢 21 号別刷』, 日本女子大学家政経済学会.

(はっとり つねあき
さくらい のりひさ
経済部 経営研究室)

付表 1 電気料金値下げの生産への影響

(単位: 億円 (55 年価格))

業 種	生産額増分				乖離率 (%)			
	1年目	2年目	3年目	合計	1年目	2年目	3年目	平均
1. 農 林 水 産 業	423	180	106	709	0.24	0.10	0.06	0.13
2. 鉱 業	62	-29	13	46	0.25	-0.11	0.05	0.06
3. 食 料 品	670	384	168	1,222	0.24	0.13	0.06	0.14
4. 織 維 製 品	156	142	55	353	0.18	0.16	0.06	0.13
5. 紙 ・ パ ル プ	165	171	66	402	0.18	0.18	0.07	0.14
6. 化 学	450	284	122	856	0.20	0.12	0.05	0.12
7. 石 油 製 品	310	90	81	481	0.22	0.06	0.05	0.11
8. 石 炭 製 品	40	21	19	80	0.17	0.08	0.07	0.11
9. 窯 業 ・ 土 石	132	155	80	367	0.17	0.19	0.09	0.15
10. 鉄 鋼	446	117	195	758	0.16	0.04	0.06	0.09
11. 非 鉄 金 属	125	14	54	193	0.17	0.02	0.07	0.09
12. 金 属 製 品	173	254	112	539	0.16	0.23	0.10	0.16
13. 一 般 機 械	272	864	336	1,472	0.11	0.33	0.12	0.19
14. 電 気 機 械	452	1,173	414	2,039	0.12	0.30	0.10	0.17
15. 輸 送 機 械	365	582	214	1,161	0.14	0.21	0.07	0.14
16. 精 密 機 械	81	-3	23	101	0.20	-0.01	0.05	0.08
17. そ の 他 製 造 業	672	764	280	1,716	0.19	0.21	0.07	0.15
18. 建 設	863	1,255	641	2,759	0.17	0.24	0.12	0.18
19. 電 力	231	151	75	457	0.21	0.13	0.06	0.13
20. ガ ス ・ 水 道	120	51	21	192	0.23	0.10	0.04	0.12
21. 商 業	1,187	1,081	468	2,736	0.20	0.18	0.07	0.15
22. 金 融 ・ 保 険	454	314	150	918	0.21	0.14	0.06	0.14
23. 不 動 産	734	366	184	1,284	0.25	0.12	0.06	0.14
24. 運 輸 ・ 通 信	556	381	172	1,109	0.20	0.13	0.06	0.13
25. サ ー ビ ス	894	528	249	1,671	0.20	0.11	0.05	0.12
26. 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療 ・ 保 健	949	275	98	1,322	0.26	0.07	0.02	0.11
27. 公 務	379	-61	-80	238	0.26	-0.04	-0.05	0.05
28. 事 務 用 品	25	24	10	59	0.18	0.17	0.07	0.14
29. 梱 包	71	65	28	164	0.19	0.17	0.07	0.14
30. 分 類 不 明	148	151	61	360	0.17	0.17	0.07	0.14
製 造 業 計	4,509	5,012	2,219	11,740	0.17	0.18	0.08	0.14
合 計	11,605	9,744	4,415	25,764	0.19	0.16	0.07	0.14

(注) 電気料金8%値下げ(還元総額1兆円)

付表 2 電力・政府投資同時拡大の生産への影響

(単位: 億円 (55 年価格))

業 種	生 産 額 増 分				乖 離 率 (%)			
	1 年目	2 年目	3 年目	合 計	1 年目	2 年目	3 年目	平 均
1. 農 林 水 産 業	428	215	47	690	0.24	0.12	0.02	0.13
2. 鉱 業	140	-13	19	146	0.55	-0.05	0.07	0.18
3. 食 料 品	596	414	46	1,056	0.22	0.14	0.02	0.12
4. 織 維 製 品	253	166	22	441	0.30	0.18	0.02	0.16
5. 紙 ・ パ ル プ	411	222	36	669	0.46	0.24	0.04	0.24
6. 化 学	684	352	62	1,098	0.30	0.15	0.03	0.15
7. 石 油 製 品	533	151	61	745	0.38	0.10	0.04	0.17
8. 石 炭 製 品	166	44	19	229	0.68	0.17	0.07	0.30
9. 窯 業 ・ 土 石	961	269	74	1,304	1.20	0.32	0.09	0.53
10. 鉄 鋼	1,620	323	201	2,144	0.58	0.11	0.07	0.25
11. 非 鉄 金 属	1,131	76	60	1,267	1.57	0.10	0.08	0.56
12. 金 属 製 品	1,173	397	90	1,660	1.08	0.35	0.08	0.49
13. 一 般 機 械	1,140	1,236	231	2,607	0.46	0.47	0.09	0.33
14. 電 気 機 械	4,301	1,603	260	6,164	1.13	0.40	0.06	0.52
15. 輸 送 機 械	654	732	111	1,497	0.25	0.26	0.04	0.18
16. 精 密 機 械	103	13	23	139	0.25	0.03	0.05	0.11
17. そ の 他 製 造 業	1,582	987	144	2,713	0.44	0.26	0.04	0.24
18. 建 設	6,219	2,324	648	9,191	1.22	0.44	0.12	0.58
19. 電 力	504	209	47	760	0.45	0.18	0.04	0.22
20. ガ ス ・ 水 道	139	71	13	223	0.27	0.13	0.02	0.14
21. 商 業	2,140	1,426	255	3,821	0.37	0.23	0.04	0.21
22. 金 融 ・ 保 険	828	411	81	1,320	0.39	0.18	0.04	0.20
23. 不 動 産	723	417	68	1,208	0.25	0.14	0.02	0.13
24. 運 輸 ・ 通 信	896	473	87	1,456	0.32	0.16	0.03	0.17
25. サ ー ビ ス	1,247	661	118	2,026	0.28	0.14	0.02	0.14
26. 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療 ・ 保 健	660	375	60	1,095	0.18	0.10	0.01	0.09
27. 公 務	18	10	2	30	0.01	0.01	0.00	0.01
28. 事 務 用 品	70	34	6	110	0.51	0.24	0.04	0.26
29. 相 包	193	87	16	296	0.53	0.23	0.04	0.26
30. 分 類 不 明	380	196	34	610	0.45	0.22	0.04	0.23
製 造 業 計	15,308	6,985	1,440	23,733	0.57	0.25	0.05	0.27
合 計	29,890	13,881	2,941	46,712	0.50	0.22	0.05	0.25

(注) 投資額合計1兆円(還元総額1兆円)

季時別料金制度の厚生経済分析：展望

キーワード：季時別料金制度，費用・便益分析，消費者余剰

伊 藤 成 康

〔要 旨〕

本稿では、季時別料金制度の費用・便益分析の理論的枠組を概観した後、アメリカ合衆国における最近の実証研究を展望する。

1. はしがき
2. 電力需要・厚生分析の理論的枠組
3. 季時別電力需要モデル推定上の諸問題
4. 季時別料金制の厚生分析
 - 4.1 Acton-Mitchell [5], [6]
 - 4.2 Parks-Weitzel [30]
 - 4.3 Caves-Christensen-Hendricks-Schoech [15]
 - 4.4 Howrey-Varian [23]
 - 4.5 Lillard-Aigner [27]
 - 4.6 Gallant-Koenker [21]
 - 4.7 Park-Acton [29]
5. むすびにかえて

1. はしがき

巷間、為替相場、原油価格動向絡みで電気料金のあり方に関する議論が喧しい。所謂、差益還元論議が、その中心となっていることは周知の通りであるが、この機会に料金制度自体を時代の要請に応えたより適切なものに変えて行こうという動きもある。

手始めに、電灯の三段階料金制度、電力の特別料金制度の見直し等が具体的な検討対象となるが、過去、電気事業審議会料金制度部会において検討課題とされながら時期尚早として見送られて来た時間帯別料金制度の導入についても、再度注目を集めようとしている。新聞報道等で伝えられているように、先ずは料金実験と

ロード・サーベイから着手し、本格的導入の可否の決定はその結果を検討した上でということのようであるが、この過程で多くの貴重な情報が得られることが期待されている。

周知のように、合衆国をはじめ諸外国では、相当数にのぼる料金実験（一部では実施）の経験を持ち、時間帯別料金制度の経済的効果に関するある程度の評価が確立している。この間の事情は、伊藤・大屋[1]（およびその参考文献）等により知ることができるが、最近では、初期の分析手法の不備に基づく諸々のバイアスを取り除く方向で研究が進められている。

本稿では、こうした季時別料金制度の厚生分析を中心とする最近の理論展開を手短に展望することとしたい。

以下、第2節で、電力需要・厚生分析の理論的枠組について概説し、第3節で、季時別料金制の厚生分析における計量経済学的諸問題を概観した後、第4節で合衆国における季時別料金制の厚生分析に関する最近の研究成果を展望する。最後に、わが国における季時別料金実験の結果を評価する際、合衆国等での経験からは非とも何について学んでおけばよいか考えてみたい。

2. 電力需要・厚生分析の理論的枠組

これまでのところ、季時別電気料金制度の電力需要に及ぼす効果の分析に用いられたモデルは、細部の取扱いや対象とするデータの違いを別として、経済理論が提供する先験的情報を最大限利用して価格効果の正確な計測を第一義的に考える立場と、各種の負荷曲線を可能な限り精密に推定しようとする立場に大別されるようである。季時別料金制の費用・便益分析の枠組としては、前者のアプローチが大宗を占めており、いずれも、時間帯別の電力需要、その価格・所得弾力性、代替の弾力性、料金変化に伴う消費者の厚生上の変化を表わす指標、等々の重要変数を新古典派経済学における需要理論に基づいて導出し、近似度の良い関数型をあてはめてそれらを推定するという手続きに従っている。本節の目的は、こうした共通の枠組を概観することである。

まず、電灯にしる電力にしる、電力需要は、家計の予算制約下の効用最大化問題、あるいは企業の利潤最大化問題の解として定式化される訳だが、時間帯別電力需要のデータは、概ね15分から1時間程度の間隔で記録された、時間×家計の次元をもつデータであり、電力以外の財・サービスについてこれと次元をあわせた扱い

を行うことの困難性から、常套的に、電気に対する支出決定を他と切り離して考えるアプローチが採られる。この手続きの正当化のために、需要の背後にある効用関数なり生産関数なりが電気以外の財・サービスに対して相似拡大的分離可能 (homothetically separable) であるというテクニカルな仮定がおかれる。すなわち、電灯需要のケースについて少し形式的に表現すれば、効用関数が

$$(1) \quad u = u(h^e(x^e), x^0), \quad h^e: \text{一次同次}$$

ここに、 x^e : 電灯需要サブ・ベクター¹⁾、 x^0 :

その他財・サービス サブ・ベクター

の如く表されるならば、電灯需要関数は

$$(2) \quad x^e = \xi^e(p^e, m^e)$$

ここに、 p^e : 電灯価格ベクター、 m^e : 電灯への支出

と表される。かくして、一つの消費範疇として電気を他の対象から切り離して考え、あたかも、各時間帯の電灯使用量・支出配分に関する完結した意思決定が行われるかのようにモデルが構成される。

ところで、このとき間接効用関数は

$$(3) \quad v = v(g^e(p^e, p^0, m), \quad g^e: \text{一次同次}$$

ここに、 m : 総支出、 p^0 : その他財・サービス価格ベクター

と表され、Roy の公式

$$(4) \quad x_i = m(\partial v / \partial p_i) / \sum_j (\partial v / \partial p_j) p_j$$

を用いて、電灯需要関数

$$(5) \quad x_i^e = m^e (\partial g^e / \partial p_i^e) / \sum_j (\partial g^e / \partial p_j^e) p_j^e$$

あるいは、電気代の中での各時間帯への支出比

$$(6) \quad w_i^e = p_i^e x_i^e / m^e = \partial \ln g^e / \partial \ln p_i^e$$

が導かれる (Parks et al. [30] 参照)。

ここで、一般的な関数型に対し、解析的な意

1) ここでは有限個の時間帯区分に対応するベクターを考えるが、Gallant-Koenker [21] のように連続時形モデルを扱った研究もある。後出 4.6 参照。

味で良い近似を与える具体的な関数型を g に対して想定すれば、(5) または (6) が統計的推定の対象となる訳である。この関数型の選択についてはいろいろ興味深い問題があり、後段でふれることにするとして、関数型が特定化された後のモデルのパラメーター推定手順について述べておく。

推定方程式の誤差項は、独立同一な多変量正規分布に従うものと想定されることが多いが、推定式自体、需要関数よりもシェア関数を対象とすることが多い。そのほうが、しばしば正規誤差の仮定と整合的な結果が得られやすく、誤差(残差)も小さくなるからである。ここで、シェアは合計すると 1 になるので誤差項にも制約が課され、共分散行列は特異になる。このため、独立でない、いずれか 1 本の式をすてて推定を行うことになるが、最尤法(maximum likelihood method)を適用すれば、どの式を捨てるかということには全く依存しないことが Barten [13] によって証明されている。最尤推定量は、一定の正則性条件の下で、一致、漸近的正規・有効なことが知られているが、小標本で最尤法を適用するのは危険であり、どれくらいサンプル数が必要かの目安が Sargan [31] によって示されている。このためもあってか、非線型三段階最小自乗法、または、Zellner の Seemingly Unrelated Regression 法が用いられることも多い。

ところで、電灯需要が家計の最適化行動の結果として派生するものなら、効用関数に課された制約が需要関数にもなんらかの形で反映されるはずである。所謂、adding-up 条件、Slutsky 行列の対称性と準負値定符号性条件等がそれであり、推定の際、係数制約として考慮される。このうち、準負値定符号性条件は、そう単純で

ない不等式制約の形をとっており、通常、この制約は推定の際考慮せず、事後的にこの制約の充足をチェックするといういき方をとることが多い。しかし、事後的にこのテストで棄却される(統計的テストではないが)モデルがあったとして、それでは不当にこのモデルの適用性を制限していることにはならないかという批判もありえよう。先験情報をフルに使っていないという訳である。この点については、Lau [26]、Gallant-Golub [20] 等により、係数行列の符号条件を先験制約として考慮した推定法が開発されている。

さて、最後に、新料金制度への移行または時間帯別の料金比が変化したことに伴う家計の厚生上の変化をどのように評価すればよいか一瞥しておこう。

まず、ごく簡単な例から議論を進めていこう。図 1 に描かれた右下がりの線はある財の需要曲線を表わす。ここで、 $e^0 = p^0 x^0$ は価格が p^0 、所得が m^0 のときの、消費者のこの財への支出を表わすが、これは OFCB の面積で表わされる。

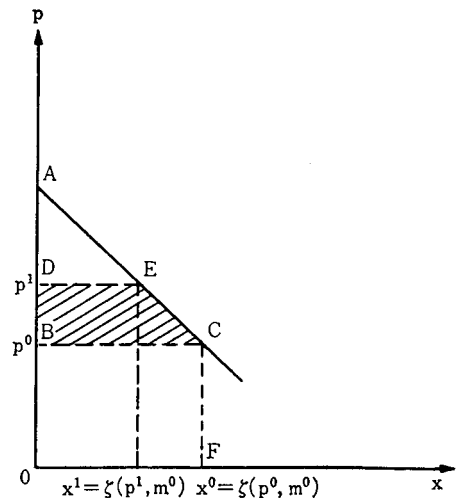


図 1 需要曲線と消費者余剰

しかるに、 $p = \zeta(x)m$ such that $x = \xi(\zeta(x), 1)$ を消費者の需要価格、いわば支払意思 (willingness to pay) 関数とみれば、台形 AOFC $= \int_0^{x^0} \zeta(x) \text{mdx}$ はこの消費者が x^0 の需要に対して最大限支払ってもよいと考える支出を表わすものと解釈できる。したがって、これと実際の支出との差 $\triangle ABC$ を消費者が競争市場で得た潜在的な利得と解釈することは自然である。すなわち、Marshall 自身の言葉によれば、消費者余剰は「それなしですますくらいなら支払ってもよいと考える価格が実際に支払う価格を超過している分」を表わすものである。

これが所謂 Dupuit-Marshall の消費者余剰であるが、いま、 p^0 から p^1 へ価格が変化したときの消費者の厚生変化をこの消費者余剰によって測定することができる。

$$\begin{aligned} \text{価格 } p^0 \text{ のときの消費者余剰} &= \triangle ABC, \\ \text{価格 } p^1 \text{ のときの消費者余剰} &= \triangle ADE \end{aligned}$$

であるから、両者の差

$$\triangle ABC - \triangle ADE = \square BCED$$

が、 $p^0 \rightarrow p^1$ なる価格上昇によりこの家計が被った厚生上の損失である。

こうした考え方を多財のケースに一般化すれば、価格ベクトルが p^0 から p^1 へ変化したときの消費者余剰の変化分 (CS) は、

$$(7) \quad CS = \oint \sum_i \xi_i(p, m) dp_i$$

となる。ここに、 \oint は線積分 (line integral) を表わす記号である。この積分は $p^0 \rightarrow p^1$ なる経路に対して定義される訳だが、(7) が積分経路と独立に正しく定義されるためには、

$$(8) \quad \partial \xi_i / \partial p_j = \partial \xi_j / \partial p_i \text{ for all } i, j$$

の成立が必要である。しかるに、Slutsky 方程式から明らかなように、(8) は

$$(9) \quad (\partial \xi_i / \partial m) / x_i = (\partial \xi_j / \partial m) / x_j \text{ for all } i, j$$

と同値であり、結局、すべての財の所得弾力性が 1 に等しくなければならない。そしてこの条件は効用関数の相似拡大性と同値である。

こうした制約を強すぎると考えるかどうかは各人の判断に委ねられるが、Dupuit-Marshall の CS よりも直観的にわかりよい尺度はないものだろうか。その一つが以下に示す補償変分の概念である。

Hicks は、価格変化が生ずる前の厚生水準 u^0 を保つべく所得補償を行うとすればいくらになるかという所得の変化分

$$(10) \quad CV = e(p^1, u^0) - m^1$$

を、補償変分 (compensating variation) と呼んだ。

逆に、事前に価格変化後の厚生水準 $v(p^1, m^1)$ を達成するために所得補償しておくとなればいくらになるかという額

$$(11) \quad EV = m^0 - e(p^0, u^1)$$

ここに、 $u^1 = v(p^1, m^1)$

を、等価変分 (equivalent variation) と呼び

$$(12) \quad MM = e(p^0, u^1)$$

のことを貨幣的厚生指標 (money metric) と呼ぶ。

これらの尺度は、いずれも直観的な意味付けが明確であるが、 $e(p^1, u^0)$ 、 $e(p^0, u^1)$ が直接観察可能ではないから、このままでは CV、EV、MM を計算することはできない。

しかし、Diewert [18] によれば、支出関数 e がトランスログ関数 (後述) であれば、

$$(13) \quad e(p^1, u^*) / e(p^0, u^*) = \prod_i (p_i^1 / p_i^0)^{(w_i^0 + w_i^1) / 2}$$

ここに $u^* = (u^0 u^1)^{1/2}$

と表わされ、特に $m^0 = m^1$ 、かつ、効用が相似拡大的ならば

$$(14) \quad CV = \{ \prod_i (p_i^1 / p_i^0)^{(w_i^1 + w_i^0)/2} - 1 \} m^0$$

$$(15) \quad EV = \{ 1 - \prod_i (p_i^0 / p_i^1)^{(w_i^0 + w_i^1)/2} \} m^0$$

なる関係式が得られる。また、支出関数が

$$(16) \quad e(p, u) = \lambda(u) e_r(p)$$

$$(17) \quad e_r(p) = \{ \sum_i \sum_j a_{ij} p_i^{r/2} p_j^{r/2} \}^{1/r} \text{ for } r \neq 0$$

と表わされるなら

$$(18) \quad e(p^1, u) / e(p^0, u) = e_r(p^1) / e_r(p^0)$$

$$= \{ \sum_i w_i^0 (p_i^1 / p_i^0)^{r/2} \}^{1/r} \cdot$$

$$\{ \sum_j w_j^1 (p_j^1 / p_j^0)^{r/2} \}^{-1/r}$$

であり、(14)、(15)と同要領で CV, EV, MM などが正確に求められる。

しかも都合のよいことには、トランスログ関数も(17)のような関数も一般的な関数に対する良い局所近似を与えることが知られている。

この方法のメリットはモデルのパラメーターに関する情報を全く必要としない点にあり、きわめて実用的な方法といえるのだが、(14)、(15)などのフォーミュラを用いて消費者余剰を計測した例はまだない。その理由として、効用もしくは間接的効用関数を特定化してしまえば(一定の正則条件の下では)、支出関数が一意に確定するという双対性(duality)が指摘される。すなわち、電灯需要方程式システムの推定を行うために、背後にある効用関数の特定化をすると、支出関数がトランスログ関数なり(16)の関数で表わされると仮定して矛盾しないという保証はないのである。たとえば、CES (constant elasticity of substitution) 関数は、効用関数をこの関数型と想定すれば費用関数も類似の型になり、逆は逆という陽表的な相互誘導可能性をもっているから、このような難はないが、一方では、トランスログ関数などのよう

な近似の良さという点において劣るのである。

それでは需要方程式システムの推定と整合的な消費者余剰の推計法はないものだろうか。実は、補償需要関数 $x^*(p, u)$ を用いて

$$(19) \quad CV = e(p^1, u^0) - m^1$$

$$= \int_{p^0}^{p^1} \sum_j x_j^*(p, u^0) dp_j + m^0 - m^1$$

$$\left(= \int_{p^0}^{p^1} \sum_j (\partial e / \partial p_j) dp_j + m^0 - m^1 \right)$$

と表わされることに注意すれば、価格弾性値が一定との仮定をおくことにより CV を実際に計算することができる (EV についても同様)。Parks らは、この方法により、ウィスコンシン実験における家計の厚生上の得失を推計している[30]。

以上がこれまでによく知られている厚生変化の貨幣的尺度であるが、すべての財が上級財(所得効果が正)であるとの仮定のもとで、

$$(20) \quad CV < CS < EV$$

なる関係式が成立することにも注意しておこう。所得効果が無い場合は、CV, EV, CS は互いに等しくなる。

この他にも、McKenzie-Pearce の方法 [28] を始め、様々の厚生指標の計測法が知られているが、消費者余剰とこれに関連する概念についての優れた展望論文として鈴木 [2] を挙げておく。

ところで、以上は料金変化に伴う家計側の厚生変化の計測に関わる議論であるが、季時別料金制への移行による負荷移動が電気事業者の供給コストに及ぼす効果と計量(メータリング)コストを斟酌しなければ総合的な費用・便益分析はできない。通常、供給サイドの費用・便益指標としては、最も簡明な利潤の変化分を考えることが多い。しかしながら、以下のように、消費者余剰と全く平行に電力会社の費用・

便益指標を考えることができる。すなわち、Hotelling の補題

$$(21) \quad s_i(p) = \partial\pi(p)/\partial p_i$$

ここに、 s_i ：第 i 財供給、 π ：利潤、 p ：生産物価格ベクター

より

$$(22) \quad \pi(p^1) - \pi(p^0) = \int_{p^0}^{p^1} \sum_{i=1}^m s_i dp_i$$

なる関係式が導かれる。この右辺は周知の生産者余剰 (PS) であり、結局、 $-CS$ を改めて CS と書いて、

$$(23) \quad SW = CS + PS = CS + \pi(p^1) - \pi(p^0)$$

は、メータリング・コストを除いた一つの社会的厚生指標となる。pecuniary で集計可能な指標とはいえ、消費者と生産者の貨幣的な厚生指標を合計して社会的厚生尺度と考えることには疑問を呈する向きもあるが、この点に関する Varian の解釈は卓抜である[33]。

まず、補償変分を

$$(24) \quad \begin{aligned} CV &= e(p^1, u^0) - m^1 \\ &= e(p^1, v(p^0, m^0)) - m^1 \\ &= \mu(p^1, p^0, m^0) - m^1 \end{aligned}$$

と書き改め、企業利潤は配当等により究極的には家計に分配されつくすとすれば、 m^0 のかわりに $m^0 + \pi$ とおいて、

$$(25) \quad CV = \mu(p^1, p^0, m^0 + \pi(p^0)) - m^0 - \pi(p^1)$$

$$(26) \quad \begin{aligned} \mu(p^1, p^0, m^0) &= \int_{p^0}^{p^1} \sum_{i=1}^m x_i^*(p, u^0) dp_i \\ &\quad + m^0 + \pi(p^0) \end{aligned}$$

より、

$$(27) \quad \begin{aligned} CV &= \int_{p^0}^{p^1} \sum_{i=1}^m x_i^*(p, u^0) dp_i + \pi(p^0) \\ &\quad - \pi(p^1) \end{aligned}$$

が従う。(27) の両辺に -1 をかけて

$$(28) \quad -CV = CS + PS$$

が導かれる。結局、企業を擬制化して考えたとき、(23) の指標は (28) で規定される意味を持つのである。これからメータリング・コストを控除したものが、季時別料金制への移行による社会的純便益である。

次節では、間接効用関数等の関数型を特定化して、具体的に、 CV 、 EV 、 CS 、或は、社会的純便益を推計する際の問題点を検討しよう。

3. 季時別電力需要モデル推定上の諸問題

前節に述べた通り、家計の間接効用関数がパラメトリックな形で与えられれば、対応する電力需要関数、または、シェア関数が誘導される。加えて誤差項の分布型が特定化されれば、適当な推定法により、なにがしかの望ましい統計的性質をもつパラメーター推定値が得られる。

データの生成に関わる実験計画上の問題やデータ集計上の問題を別にすれば、この過程で最も重要な問題となるのは関数型の選択であろう。ひとことで言うと、未知の一般的な関数に対する良い近似を与えるところの、パラメトリックな関数型をもつ関数族を特定化するのがここでの課題である。このような性質を持つ関数型を *flexible functional form* (略して f^3 と称す) というが、本節では、Diewert の意味での f^3 と Gallant の言う Sobolev ノルムでの f^3 について、簡単に紹介する。

季時別料金制の厚生分析におけるこの他の計量経済学的トピックスについては、最後に関説するにとどめる。

まず、 f^3 の定義であるが、これは、家計の選好等を表わす数学的表現たる関数 $f(x)$ のパラメトリックな近似 $f_0(x)$ で、次の性質を満たすものをいう。

[定義1] (Diewert [17])

任意の f, x^0 に対し, パラメーター・ベクトル $\theta^0 = \theta(x^0)$ が存在して,

$$f_{\theta^0}(x^0) = f(x^0),$$

$$\partial f_{\theta^0} / \partial x |_{x=x^0} = \partial f / \partial x |_{x=x^0},$$

$$\partial^2 f_{\theta^0} / \partial x \partial x' |_{x=x^0} = \partial^2 f / \partial x \partial x' |_{x=x^0}$$

を満たすとき, 関数型 f_{θ} は伸縮的 (flexible), または, f^3 であるといわれる。

換言すれば, 任意の関数の任意に与えられた領域の点における2次までの導関数の値と同一値をとるパラメトリックな関数を f^3 という。パラメトリックという意味は, ここでは, 有限個のパラメーターを指定すれば関数の型が一意に定まる, ということ, 実用上意味があるのはこのような関数のクラスに限られる。これは, Barnett [10] が示しているように,

[定義2]

$$(f_{\theta^0}(x) - f(x)) / (\|x - x^0\|^2) \rightarrow 0 \text{ as } x \rightarrow x^0$$

ここに $\|\cdot\|$ はユークリッドノルム

と同値で, 2次の微係数までの意味での局所近似を与える。この局所近似の選び方はいろいろあるが, 最もポピュラーなのは Taylor の多項式近似であろう。近年 Barnett [9] 等により, Laurent 級数展開による近似も推奨されているが, 近似の剰余項の挙動がデータの散らばり如何により異なって来ることから近似自体の良し悪しも左右されるという訳である。

また, 近似の次数が2次までとされるのは, 大雑把にいうと, 2次までの微係数が与えられれば経済主体の基本的挙動が決まってしまうからである (高次の確率的優越 (Stochastic dominance) など, 勿論, その限りでない問題領域もあるが, 所謂, 序数的性質を扱う限りにおいては十分である)。

実際, Diewert [17] が示したように, f が効用関数, 間接効用関数, 支出関数のいずれを表わすものであるにせよ, 対応するパラメトリック近似 f_{θ} が定義1の条件をみたすならば, 代替の弾力性や需要の価格弾力性, 所得弾力性等は, 近似点において, f と f_{θ} の間で一致し, 一定の滑らかさの仮定の下で, 近似点の近傍でも近い値を取る。

これまで提唱されて来た f^3 の中には, トランスログ関数, 一般化レオンチェフ型関数, 一般化 r 次平均関数, 一般化 Box-Cox 変換関数等があり, 次節に紹介する時間帯別電灯需要の分析においても, 殆ど前二者と, f^3 でない CES 型が用いられている訳だが, すべて2次までの Taylor 近似の意味での f^3 に分類される。すなわち, 変数変換

$$(1) \quad h_i(x) = (x^i - 1) / \lambda_i \quad (\lambda_i \neq 0)$$

$$= \ln x \quad (\lambda_i = 0)$$

を施して f を Taylor 近似し,

$$(2) \quad h_0(f_{\theta}(x)) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i h_i(x_i) + \sum_{i,j} \beta_{ij} h_i(x_i) h_j(x_j)$$

とおけば, トランスログ関数は $\lambda_i = 0$ の ($i = 0, 1, \dots, n$), 一般化レオンチェフ型は

$$\lambda_i = 1/2 \quad (i = 1, \dots, n), \quad \lambda_0 = -1$$

の特殊ケースとなる。

この (1) 式の変換を **Box-Cox 変換** といいますが, 従来提唱されて来た f^3 が, 適当なパラメーターの正規化の下で, すべて Box-Cox 変換の特殊ケースとして捉えることができるのは都合良い。同様に, 母関数 f の近似が Taylor 近似でなく, Laurent 級数展開で与えられている場合にも, Box-Cox 変換を施した後の Laurent 近似を, $\lambda_i = 0$ (for all i) のときに Laurent トランスログ, 先の一般化レオンチェフ型関数に

対応するケースでは Laurent 一般化 レオンチェフ等々と呼ぶ。

この他にも異なる関数近似の考え方があって、たとえば、Gallant [19] で提唱されたように、導関数の近さまで含めた Sobolev ノルムの意味での近似を考えて、適当な次数までの Fourier 級数展開の形でのパラメトリック近似を採用する者も現れている。詳細に立ち入る余裕はないが、Taylor 近似と較べて、表現上は正・余弦級数項が付加された形になっており、パラメーターの数も多く表現も複雑になる。

いずれにせよ、多項式表現の項がトランスログの場合は Fourier トランスログ、一般化レオンチェフ型の場合は Fourier 一般化レオンチェフ等と呼び、近似の型と変数変換の組み合わせで f^3 の特定の型を定める。

このようにみえてくると、パラメトリックな関数型の選択において、伸縮的関数型のクラスの中から選ぶということは諸々の弾性値に不必要な制約を課さないという意味で重要なことであるが、それにしても、どのように変数変換の型と近似の型を決めるかが鍵となる。Taylor 近似に限定して、Box-Cox 変換のパラメータ λ をも統計的に推定し、モデルの良否を尤度基準で決めるという考え方もあるが、数多くのケース・スタディーを通じて、どの特定の f^3 が支持されているという趨勢はないようである。季時別料金制の経済的厚生評価を行う際、推定されたモデルを用いて、サンプルで与えられていない時間帯別料金の組み合わせを評価することがある。このような場合、上に述べたようなモデルの選び方はむしろ危険なアプローチかもしれないのである。というのは、 f^3 のあてはまりの良さは決定的にサンプルに依存していて、シミュレーションを行う場合、関数の大域的挙

動が如何なるものであるかを認識しておくことが重要となるからである。

たとえば、家計の効用関数は、 n 次元ユークリッド空間の適当な部分集合上で定義され、この領域で単調増加的かつ狭義準凹と仮定されるが、これは需要関数が一価で連続となることを保証する、直観的にも受け入れやすい条件として仮定されているものである。効用関数のこの性質に対応する間接効用関数の性質は、後者が単調減少狭義準凸になるというものであるが、このような経済主体の行動を制約条件付最適化行動として形式化するために必要な諸条件を、仮に正則条件と呼ぶことにする。問題は、 f^3 のパラメーターを推定する際、このような正則条件を先験制約として斟酌し得るか否かである。前節でふれたように、定義 1 における近似点 x^0 のような領域内の 1 点における正則条件の充足は、パラメーターの制約として推定の際織り込むことができる (Lau [26], Gallant-Golub [20], 和合 [4])。大雑把にいうと、準負値定符号条件の場合は、2 階の微係数を表わす係数行列を Choleski 分解して別のパラメトリックな表現を与え、符号を規定する対角行列の各要素を他のパラメーターの平方の (-1) 倍とおきかえることによって制約を織り込む、というものである。とはいっても、一般には、領域の到るところで正則条件を充足することを要求すべくパラメーターに制約を課すと、伸縮性が損われる可能性があり、万能な対応策は存在しない (Barnett et al. [12])。

そこで、モンテカルロ実験のように、予めモデルのパラメーターの組み合わせをかなり細かく与えておき、これと価格等のデータから計算される代替弾性行列等が正則条件をみたすデータの範囲を検討する。この正則領域はパラメー

ターの組み合わせ毎に異なるから、ケースのチェックがかなり煩雑になるが、一様に正則領域の広い関数型というものが存在しない以上、依然として有効な手続きである。このような正則領域の態様をチェックするアプローチは、主にトランスログ関数と一般化レオンチェフ関数の比較を目的として、Caves-Christensen [14] によって始められ、Barnett et al. [12] により Laurent 一般化レオンチェフ型関数も含めた比較がなされている。雑な言い方だが、真のモデルがヨリ大きい弾性値を与えるものであればあるほど、データの分散が小さければ小さいほど、トランスログ型の方が一般化レオンチェフ型よりも良好であるが、それゆえ、時間帯別料金実験の結果に基づく分析や応用には後者の方が適しているというのが大方の評価である。Barnett et al. [12] によれば、Laurent 型はデータのレンジが広い場合、ヨリ有効であるという。

以上、季時別料金実験のデータからモデルを推定し、これを用いて当該料金制度の経済厚生に関する評価を行うという分析の流れの中で、まず問題となる関数型の選択について、これまで明らかにされてきた事実の大筋を述べて来た。今のところ季時別料金制の厚生分析に应用されている伸縮的関数型は、Taylor 近似の意味でのトランスログ型と一般化レオンチェフ型のみであるが、他の f^3 の応用は今後の課題であろう。2次の多項式に残余がつくと、補償変分、等価変分、理論生計費指数等の計算が簡単ではないという問題もあろうが、次節で展望する諸論文においても未だ取り上げられていない興味ある方向ではある。

なお、この他にも、実験が任意参加方式である場合や参加報酬が支払われることによるパイ

アス発生の可能性という、社会実験データの処理に特有の問題点がある。

すなわち、任意参加方式の場合、家計は

$$(3) \quad p^1 \cdot x \leq m \quad \text{または} \quad p^0 \cdot x \leq m$$

という予算制約に直面することになるが、顕示選好の議論により、

$$(4) \quad p^1 \cdot x \leq p^0 \cdot x$$

をみたまつ場合に限り、当該家計はこの実験に参加するものと考えられる。推定式がシェア関数なら、 $p_i^0 = \bar{p}$ (for all i) に注意して、

$$(5) \quad 1 \leq \bar{p} \sum_{i=1}^n (w_i / p_i^1)$$

の形に表現した方が便利だが、(5)の成立如何で w_i の密度関数 \tilde{f} は端切れ型 (truncated form) になり、

$$(6) \quad \tilde{f}(w_1, \dots, w_{n-1}) =$$

$$\begin{cases} 0 & \text{if } 1 > \bar{p} \sum_{i=1}^n (w_i / p_i^1) \\ f(w_1, \dots, w_{n-1}) & \\ / P_T \{ 1 \leq \bar{p} \sum_{i=1}^n (w_i / p_i^1) \} & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここに、 f は w_1, \dots, w_{n-1} の元の同時密度関数

となる。よって、(5)の制約を考慮に入れないと推定値にバイアスが生ずる。このような場合の処理については、Aigner-Hausman [8] を参照されたい。

他にも論ずべき問題は数多く存在するが、以上の準備の下に、次節で最近の季時別料金制の厚生分析に関する実証研究の展望を試みる。

4. 季時別料金制の厚生分析

本節では、合衆国における料金実験の結果に基づく季時別料金制の厚生分析に関する最近の成果を展望する。Welfare Econometrics of Peak-Load Pricing for Electricity と題する

Journal of Econometrics 誌の特集号〔7〕では、かつて EPRI の委託研究報告として著された論文の修正版も含めて5件の研究が取り上げられており、また、同書の編者序文において Aigner は、この他に他所で発表された2件の研究を引用している。これまでに行われた季時別料金実験の結果に基づく当該電力需要関数の計測の試みはゆうに50件を超えると思われるが、原則的には、これらすべてに対応する厚生分析が存在して然るべきである。しかし、筆者の知るかぎりでも、Aigner 論文に引用されている7件の研究以外に、明示的に料金制度変更に関する厚生分析を行った論文は今のところ見当たらない。そこで、本節では、この7つの論文を中心とした annotated reference ふうの文献展望を行ってみたい。

以下で取り上げるのは、家庭用について Acton-Mitchell [5], Parks-Weitzel [30], Caves et al. [15], Howrey-Varian [23], Lillard-

Aigner [27], Gallant-Koenker [21] の6編、産業用について Park-Acton [29] の1編である。対象となった料金実験の内容を詳述する余裕はないので、家庭用実験の概要を表1、表2に掲げるにとどめる。詳細については、伊藤・大屋〔1〕、または、Poirier [3] を参照されたい。

4.1 Acton-Mitchell [5], [6]

この研究は、ロスアンジェルス水道・電気局 (LADWP) の料金実験の結果に基づくもので、推定された対数線型の電灯需要関数を線積分する形で消費者余剰を求めている。これに別途推計された生産者余剰を加えて算出された総余剰は、5¢/kWh の均一料金から、6¹/₈¢/kWh (12:00—21:00)、4¹/₈¢/kWh (オフ・ピーク時) という時間帯別料金への移行により、月あたり1セント (200 kWh/月以下の需要家) から同73セント (2,500 kWh/月以上の需要家) になり、同じく9¢/kWh (ピーク時)、3¢/kWh

表 1. 時間帯別料金制度実験の概要

実験地域 ^a	実験期間 (月)	参加方式		使用された料金率の種類			実験の規模 (家庭数)		実験集団 の相対的 な大きさ (%)	料金収入 に対して 中立的か
		強制	謝礼支給	定率料金	季節別 料金	時間帯 別料金	基準集団	実験集団		
アリゾナ	6 ^b	×	○	0	0	28	0	140	19	×
アーカンサス	12	○	×	0	2	1	126	186	—	— ^c
コネチカット	12 ^b	×	○	0	0	1	200	200	29	×
ロサンゼルス	30	×	○	2	4	34	175	1,093	21	×
ノースカロライナI	12	○	×	0	0	1	98	102	87	○
ノースカロライナII	14, 18	○	×	0	0	13	86	514	81	○
オハイオ	18	×	×	0	0	1	60	100	12	○
オクラホマ	12	○	○	2	4	6	90	510	77	— ^c
ブエルトリコ	11	×	○	0	0	10	60	339	56	— ^c
ロードアイランド	13	○	○	0	0	1	130	170	60	×
ウィスコンシン	36 ^b	○	×	1	0	9	92	506	43	○

出典：Poirier [3] を一部修正。

a ノースカロライナI及びIIは、それぞれブルー・リッジ電力及びカロライナ電力を示している。

b 準備期間を除く。

c 不明。

表 2. 時間帯別料金制度実験の概要 (続)

地 域	料金率の種類	季 節	時間帯の長さ			平日の料金比率 (ピーク時/平均)	平日の料金差 (¢/kWh) (ピーク時料金 - 平時料金)	平均 料金	適用日 ¹⁾	測定間隔
			ピーク時	中間時	平時					
ア リゾナ	16	年 間	3	10	11	2.75~12.0	7.0~13.0	×	毎 日	—
	6	"	5	8	11	3.0 ~ 6.0	5.0~10.0	×	"	
	6	"	8	5	11	1.67~ 6.0	3.0~ 7.0	×	"	
アーカンサス	1	夏	8	0	16	6.06	7.04	×	毎 日	—
		冬	8	0	16	1.06	0.07	×	"	
コネチカット	1	夏	4	9	11	16.0	15.0	×	平 日 ²⁾	15分
		冬	4	9	11	16.0	15.0	×	" ²⁾	
ロサンゼルス	11	年 間	3	0	21	2.5~6.5	3.0~11.0	×	毎 日	15分
	11	"	3	0	21	2.5~6.5	3.0~11.0	×	平 日	
	1	"	6	0	18	3.5	5.0	×	毎 日	
	1	"	6	0	18	3.5	5.0	×	平 日	
	2	"	9	0	15	5.0~9.0	4.0~ 8.0	×	毎 日	
	2	"	9	0	15	5.0~9.0	4.0~ 8.0	×	平 日	
	3	"	12	0	12	2.5~9.0	3.0~ 8.0	×	毎 日	
	3	"	12	0	12	2.5~9.0	3.0~ 8.0	×	平 日	
ノースカロライナ I	1	夏	8	0	16	2.1	1.26	×	毎 日	15分
		冬	8	8	8	3.8	3.39	×	"	
ノースカロライナ II	9	夏	10	6	8	2.19~6.19	2.12~5.50	×	平 日 ³⁾	15分
		冬	8	8	8	1.98~5.59	1.74~4.87	×	" ³⁾	
	2	夏	10	6	8	2.69	1.91	○ ⁴⁾	" ³⁾	
		冬	8	8	8	2.66	1.88	○ ⁴⁾	" ³⁾	
	2	春	12	0	12	1.21	0.32	○ ⁴⁾	"	
		夏	12	0	12	1.46	0.70	○ ⁴⁾	"	
2	冬	12	0	12	1.27	1.21	○ ⁴⁾	"		
	1	夏及び冬	6	0	18	22.8	8.7	×	平 日	30分
春及び秋		6	0	18	7.8	2.7	×	"		
オクラホマ	4	年 間	9	0	15	1.7~3.33	1.6~4.2	×	毎 日	—
		夏	9	0	15	3.6, 4.2	4.7, 5.7	×	"	
		冬	9	0	15	1.4, 1.94	0.7, 1.7	×	"	
プエルトリコ	1	年 間	12	0	12	3.5	7.5	×	平 日	—
		"	6	0	18	1.97~6.2	3.88~12.75	×	"	
ロードアイランド	1	夏	9	4	11	1.8	1.53	×	平 日	15分
		冬	13	0	11	1.8	1.53	×	"	
ウィスコンシン	3	夏	6	0	18	2~8	3.10~11.08	×	平 日	15分
		冬	6	0	18	2~8	2.64~ 9.32	×	"	
	3	夏	9	0	15	2~8	2.86~ 8.55	×	"	
		冬	9	0	15	2~8	2.45~ 8.31	×	"	
	3	夏	12	0	12	2~7.6	2.62~ 6.61	×	"	
		冬	12	0	12	2~6.9	2.31~ 5.88	×	"	
1	夏	0	0	24	1.0	0	○	"		
	冬	0	0	24	1.0	0	○	"		

1) 毎日と書かれている以外は、すべて週末(土、日)は、平時とみなす。
 2) コネチカット地域の週末の料金率は、中間時(13時間)及び平時(11時間)が各々、3¢/kWh, 1¢/kWhである。
 3) これらの料金率は、週末においては16時間の中間時及び8時間の平時を含む。
 4) 2種類の料金率のうち、一つは基本料金他に負荷管理選択金をも含む。
 出典: Poirier [3] を一部修正。

(オフ・ピーク時)なる時間帯別料金への移行により、月あたり8セント(200 kWh/月以下の需要家)から同5.78ドル(2,500 kWh/月以上の需要家)にのぼるという(表3参照)。全世帯平均では27¢/月の利得になる。後者は長

表3. 時間帯別料金への移行による利得(ドル/月)

使用量 (kWh/月)	ピーク：オフピーク料金比		
	$6\frac{1}{3} : 4\frac{1}{3}$	9 : 3	9 : 3 ^{a)}
0~ 200	0.01	0.08	—
201~ 400	0.02	0.19	0.43
401~ 500	0.04	0.31	0.71
501~ 600	0.05	0.42	0.90
601~ 700	0.07	0.55	1.11
701~ 800	0.09	0.75	1.31
801~ 900	0.12	1.01	1.51
901~1,000	0.13	1.08	1.70
1,001~1,100	0.17	1.38	1.88
1,101~1,200	0.21	1.72	2.08
1,201~1,300	0.22	1.81	2.26
1,301~1,400	0.26	2.21	2.48
1,401~1,500	0.29	2.38	2.71
1,501~2,000	0.35	2.84	3.19
2,001~2,500	0.49	3.81	4.23
2,500~	0.73	5.78	6.48

a) 自家用プールをもつ需要家対象

期限界費用料金に対応するものであるが、経常メータリング・コストが月1.42ドルと推計されているから(単価150ドルの計量器を15年で償却。割引率8%),月1,100 kWh程度の需要家がクリティカルになる。しかし、自家用プールをもつ需要家については、800 kWh程度でメータリング・コストをカバーするという。著者は、メータリング・コストが100ドル程度に低下し、時間帯別料金適用世帯を効果の大きい需要家にしぼるという形にすれば、月400~600 kWh程度の電力需要で十分純便益が出るだろうと予測している。ちなみに、このLADWPの実験は任意参加の形をとっているため、そのデータを用いた需要関数のパラメー

ター推定値はバイアスを持つ可能性があり、適切な処置を施す必要があるのだが、著者はそのようなことは行っていない。Aignerは、このバイアスが著者らの比較的大きな純便益の推計値をもたらした一因であろうと述べている。

4.2 Parks-Weitzel [30]

この研究では、ウィスコンシンの実験結果に基づく消費者余剰(補償変分)の推計が試みられている。

Acton-Mitchell等のモデルとは異なり、ここでは、一般化レオンチェフ型、および、トランスログ型の間接効用関数から誘導される支出シェア方程式が同時推定の対象となっている。トランスログ・モデルは効用関数の準凹性由来する半負値定符号性をみたまぬとして棄却されている。summary measureとして、この推定結果に基づく代替および価格弾力性の値を表4に掲げておく。

この表から見てとれるように、自己代替弾力性は負値をとるが、絶対値で1を超えるのは昼間の中間時間帯のみで、あまり弾力的とはいえない。特に、代替効果でみたオフ・ピーク時の“値下げ→需要喚起”効果は非常に小さい。交叉効果はいずれもプラスで、時間帯間の代替性が存在するが、オーダーは小さい。価格弾力性はいずれも負符号で、代替効果を上回る所得効果の存在を窺わせる。たとえば、ピーク時料金を1%上げるとオフ・ピーク需要も0.2%下がってしまい、逆に、オフ・ピーク時料金を1%下げるとピーク需要が0.5%増加する。特に、後者の効果はピーク需要の自己価格弾力性より大きく、負荷平準化のためには好ましくない結果となっている。

次に、著者らは、補償需要関数を積分する方法により、時間帯別料金制への移行に伴う補償

表 4. 代替および価格弾力性

時間帯 i	代替弾力性				支出比率 w_i	条件付価格弾力性			
	σ_{i_1}	σ_{i_2}	σ_{i_3}	σ_{i_4}		η_{i_1}	η_{i_2}	η_{i_3}	η_{i_4}
1. オフ・ピーク	-0.064 (0.011)	0.085 (0.025)	0.148 (0.026)	0.057 (0.029)	0.626	-0.666	-0.083	-0.153	-0.097
2. 中間 (昼)		-1.311 (0.136)	0.240 (0.067)	0.225 (0.105)	0.091	-0.573	-0.210	-0.137	-0.080
3. ピーク			-0.774 (0.072)	0.240 (0.071)	0.180	-0.533	-0.069	-0.319	-0.078
4. 中間 (夜)				-0.968 (0.169)	0.103	-0.590	-0.071	-0.137	-0.203

* 均一料金の下で評価した結果である。

表 5. 時間帯別料金制の厚生効果

ケース	ピーク時間・料金比	①電気料金指数 (\$/kWh)	②使用料 (kWh/月)	③補償変分 (損失: \$/月)	④月当り電気代に占める ③の割合 (%)
1	6-hour 8/1	0.0293	974.68	-1.80	7
2	6-hour 4/1	0.0310	948.72	-0.21	1
3	6-hour 2/1	0.0321	932.05	0.85	3
4	9-hour 8/1	0.0293	975.32	-1.83	7
5	9-hour 4/1	0.0307	952.56	-0.44	2
6	9-hour 2/1	0.0318	936.54	0.56	2
7	12-hour 8/1	0.0290	979.47	-2.07	8
8	12-hour 4/1	0.0302	960.26	-0.92	3
9	12-hour 2/1	0.0315	940.38	0.32	1
10	Flat 1/1	0.0312	945.35	0.00	0

* 月平均電気代は 27.30 ドルとして算出。

変分を推計している。その結果は表 5 に掲げる通りである。

この結果によると、ピーク：オフ・ピーク料金比が 2 対 1 のケースでは、時間帯別料金制のメリットは未だ十分でなく、月に 32 セントから 85 セントの損失を蒙るという結果が得られ、逆に、料金比が 8 対 1 の場合、月に 21 セントから 2.07 ドルの便益が得られる。ピーク時間は長い方が相対的に利得が大きいようである。

このように、かなり思いきった料金差をつけた場合に、やっと月平均支出額の 8% 程度の利得が期待されるというわけで、ゼロではないがそれほど顕著でもない厚生上の効果がありそう

だと結論づけることができる。Parks らは、電力サイドの厚生変化を計測していないので、Acton-Mitchell や後出の結果と直接比較可能ではないが、前者と同程度の料金比では月当り 1 ドルにほど遠い利得しか得られず、月 1~2 ドルの計量コストに見合わない。供給サイドのコスト改善効果が何ほどかによって時間帯別料金制の経済性評価が確定しよう。

このような費用面の分析を欠くことと、符号制約をおかずにパラメーター推定を行いトランスログモデルを棄却してしまったこと等が難点といえは難点だが、料金実験のデザインの特性を巧みに利用して 4 時間帯モデルに拡張してい

る点など、見落とせぬ貢献も少なくない手堅い好論文ではある。

4.3 Caves-Christensen-Hendricks-Schoe- ch [15]

この研究では、ウィスコンシンにおける家庭
用料金実験のデータを用いて家計の間接効用関
数のパラメーターを求め、他方、エンジニアリ
ング・モデルを電力供給費用の推計用に用い
て、イリノイ州における4つの電力会社を対象
とした時間帯別料金制への移行の効果を計測し
ている。

ここでの純便益の評価は、等価変分および利
潤変化分の合計からメータリング・コストを控
除した指標に基づいている。家計の間接効用関
数は、電気が他に対して相似拡大的分離可能な
形をとるものと仮定され、価格指数にあたる部
分は一般化レオンチェフ型、2-stage budgeting
の第1段階の集計関数の部分は一般化された
CES型と想定されている。電力需要、電気へ
の支出シェアはRoyの公式を用いて誘導され、
等価変分は、第2節でみたように

$$(1) EV = (1 - \theta)m_0^e$$

$$(2) \theta = \left\{ \frac{\sum_i w_i^0 (p_i^1 / p_i^0)^{1/2}}{\sum_i w_i^1 (p_i^1 / p_i^0)^{1/2}} \right\}$$

と陽表的に求められる。

電力供給費用の推定には、ENTEC社（コン
サルタント会社）のENPROというエンジニア
リング・モデルを用いたというが、詳しい記
述はない。電源別、燃料種別のコスト差、供給
停止確率等を考慮した最適設備計画・運転計画
モデルから導かれるものであるらしい。

メータリング・コストについては、General
Electric社のモデルのリアル・コストを用いて
いる。

さて、間接効用関数のパラメーターはウィス
コンシンのデータに基づいて推定されるが、こ
こで時間帯別料金制の純便益の計測の対象とな
ったのは、イリノイ州の4つの電力会社とその
需要家である。具体的には、Illinois Power
Co. (IP), Central Illinois Public Service Co.
(CIPS), Central Illinois Light Co. (CILCO),
Commonwealth Edison Co. (CECO)がそれ
であり、また、平均年間消費量が13,000 kWh
~15,400 kWhの大口需要家が対象となっている。
パラメーターの推定結果がParks et al.の
ように代替弾力性、乃至は価格弾力性に変換さ
れていないので解釈し辛い。電力消費機器の
保有量が有意かつ体系的に利いていること、所
得階層が上昇するに応じて電気の消費割合が小
さくなること、価格比率の如何によらず季時別
料金の適用を受けているということ自体が電気
の消費を押し下げること、等が示されている。

次に、時間帯別料金制への移行による純便益
の推計に際し、ピーク時間帯の設定は上記各社
の選択に準じ、料金比は、収入に中立的になる
ような料金水準が設定されるとの制約の下、
2:1から8:1まで適当なきざみで変化させる
が、容量コスト等に効果が現われるのが1990
年代以降になることから、1991~2000年の期
間にわたる割引現在価値(1982年)ベースの便
益を求めることにしている。このとき各社の最
大となる純便益を与えるケースの一覧表と純便

表6. 最適時間帯別料金比

会 社	ピーク対オフピーク 料金比	ピーク時間帯
IP	2 : 1	10 a.m. ~ 9 p.m.
CIPS	2 : 1	10 a.m. ~ 10 p.m.
CILCO	4 : 1	8 a.m. ~ 10 p.m.
CECO	2 : 1	9 a.m. ~ 10 p.m.

表 7. 純便益の計算：1982 年現在価値

(10⁶\$)

	IP	CIPS	CILCO	CECO	計
1. 消費者の便益	2.7	1.4	2.5	13.7	20.3
2. 電力会社の利得：					
費用減少分					
{ a. 容 量	0	1.8	1.2	0	3.0
{ b. 発 電	11.5	2.8	6.1	8.4	100.8
c. 合 計 (a + d)	11.5	4.6	7.3	80.4	103.8
d. 収入変化分	-23.9	-10.5	-9.2	-145.3	-188.9
e. 料金構造変化調整分	9.9	5.4	1.1	63.5	79.9
f. 純 利 得 (c + d + e)	-2.5	-0.5	-0.8	-1.4	-5.2
3. メータ費用を除く純便益 (1+2f)	0.2	0.9	1.7	12.3	15.1
4. メータリング・コスト (控除)	-34.0	-11.6	-7.8	-120.7	-174.1
5. 社会的純便益 (3 + 4)	-33.8	-10.7	-6.1	-108.4	-159.0
6. 需要家当り純便益 (\$)	-395	-367	-317	-355	

益の内訳は、それぞれ表 6、表 7 に掲げられている。

表 7 から読みとれるように、時間帯別料金制への移行による消費者便益と電力供給費用の低減効果は予期した通りプラスであるが、収入減少効果はかなり大きく、2f の純利得はマイナスになる。ここで注意すべきことは、時間帯別料金の適用を受けることによる不連続な需要低減効果 2e がかなり大きなオーダーになっていることである。これを無視すると、電力会社の損失を過大推計する。項目 3 の純利得に加えて、時間帯別料金制実施のための前提条件である、負荷計測機器のコストが非常に大きい(4)。Acton-Mitchell の倍以上の単価 400\$ である。

かくして、社会的純便益(損失)は、イリノイの 4 社計で、年間マイナス 1,600 万ドル程度(約 30 億円強)にもものぼる。

最後に、著者らは、等価変分→消費者余剰、利潤変化分→生産者余剰、といった評価指標の変更による純便益評価値の感度分析も行っており、前者の変更についてはさほどでもない

が、供給サイドの利得の評価はかなりセンシティブなことに注意を喚起している。

4.4 Howrey-Varian [23]

著者らは、この研究で、1976 年にアリゾナ・パブリック・サービス社 (APSC) で行われた任意参加の料金実験のデータを用いて Parks らと同様な分析を試みている。そこでは、CES 型効用関数の相似拡大的分離可能性を仮定し、4 種類の均一料金制 (4, 6, 8, 10 セント/kWh) から 16 種類の時間帯別料金制に移行したときの厚生水準一定の電力価格指数を計算している。これは、

$$(3) \quad \pi(p^1, p^0, u) = e(p^1, u) / e(p^0, u)$$

によって表わされる理論生計費指数であり、これが 1 より小ならば価格変化後の状態の方が生計費が少なく済み better off なことを示す。 π は u にも依存するが、著者らは Laspeyres 流に $u = u^0$ で評価し、

$$(4) \quad \begin{aligned} \pi(p^1, p^0, u) &= e(p^1, u^0) / e(p^0, u^0) \\ &= e(p^1, v(p^0, m^0)) / m^0 \\ &= \mu(p^1, p^0, m^0) / m^0 \end{aligned}$$

を厚生変化の一つの評価尺度としている。ここで、間接効用関数が

$$(5) \quad v(p, m) = g(p)m$$

(相似拡大的分離可能)

$$(6) \quad g(p) = (\sum_j \alpha_j p_j^r)^{1/r}$$

(CES: 代替弾力性一定関数)

の形に表わされるならば、

$$(7) \quad v(p, m) = v(p^0, m^0)$$

を m について解き、

$$(8) \quad \mu(p, p^0, m^0) = m^0 (\sum_j \alpha_j p_j^r)^{1/r} / (\sum_j \alpha_j p_j^{0r})^{1/r}$$

または

$$(9) \quad \pi(p, p^0, u^0) = (\sum_j \alpha_j p_j^r)^{1/r} / (\sum_j \alpha_j p_j^{0r})^{1/r}$$

を得る。パラメーター α_j , r は、関係式

$$(10) \quad w_j = \partial \ln v / \partial \ln p_j$$

から、

$$(11) \quad w_j = \alpha_j p_j^r / (\sum_j \alpha_j p_j^r)$$

よって

$$(12) \quad \ln(w_i/w_j) = \ln(\alpha_i/\alpha_j) + r \ln(p_i/p_j)$$

を用いて推定される (一つのパラメーター α_j を 1 に正規化する)。

表題にもあるように、(12) 式の右辺につけ加わる誤差項が、家計間固有の変動 (時間に関し不変) を表わす部分とその他の部分に分解される、所謂、誤差成分 (error components) 型の確率モデルを定式化しているのがこの研究の一つの特徴である。共分散構造を適当に特定化し、係数制約付の反復一般化最小自乗法を適用することによりパラメーターの最尤推定値を得ることができる。

これを用いて、均一料金から時間帯別料金制へ移行した場合の厚生変化を試算することができる。4, 6, 8, 10¢/kWh の均一料金から表 8

表 8. アリゾナ実験の料金表 (¢/kWh)

	時 間 帯		
	ピーク 2 p. m. ~ 5 p. m.	中 間 9 a. m. ~ 2 p. m. 5 p. m. ~ 10 p. m.	オフ・ピーク 10 p. m. ~ 9 a. m.
1	16	5	3
2	15	4	2
3	15	7	4
4	14	4	2
5	14	6	4
6	13	3	3
7	13	4	2
8	13	7	3
9	12	5	1
10	12	6	3
11	11	4	2
12	11	7	4
13	10	4	1
14	10	6	3
15	9	5	2
16	8	4	1

表 9. 時間帯別料金への移行の効果：電力価格指数

TOU 料金	均 一 料 金 (¢/kWh)				PEQ
	4	6	8	10	
1	1.6007	1.0672	0.8004	0.6403	6.40
2	1.3526	0.9018	0.6763	0.5411	5.41
3	1.8823	1.2549	0.9412	0.7529	7.53
4	1.3059	0.8706	0.6530	0.5224	5.22
5	1.7103	1.1402	0.8552	0.6841	6.84
6	1.2114	0.8076	0.6057	0.4846	4.85
7	1.2593	0.8395	0.6297	0.5037	5.04
8	1.7132	1.1421	0.8566	0.6853	6.85
9	1.2630	0.8420	0.6315	0.5052	5.05
10	1.5409	1.0272	0.7704	0.6163	6.16
11	1.1662	0.7775	0.5831	0.4660	4.66
12	1.6981	1.1321	0.8490	0.6792	6.79
13	1.0439	0.6960	0.5220	0.4176	4.18
14	1.4487	0.9658	0.7243	0.5795	5.79
15	1.1996	0.7997	0.5998	0.4798	4.80
16	0.9511	0.6341	0.4756	0.3805	3.80

で与えられる 16 種類の時間帯別料金に移行した、それぞれのケースの価格指数 ((9) 式) 推計値が表 9 に掲げられている。表 9 の最終列 (PEQ) は、各レート・スケジュールと、価格指数が 1 になるという意味で同等になる均一料金を示すものである。たとえば、16 : 5 : 3¢/kWh

の時間帯別料金は 6.40¢/kWh 以上の均一料金よりも上の意味で優れており、8¢/kWh 均一料金と比べると 20% (=0.2÷1-0.8004), 金額ベースで(夏季)月平均 30 ドルもの利得がある (Aigner ed. [7] の序文)。

なお、アリゾナの実験は任意参加の形をとっており、この面でのバイアスに注意する必要があるかもしれない。

4.5 Lillard-Aigner [27]

この研究では、南カリフォルニア・エジソン (SCE) 社の実験データに基づく厚生分析が行われているが、Howrey-Varian と同様、電力価格指数の計測によっている。やはり、相似拡大的分離可能な間接効用関数が仮定され、電力価格集計関数の部分は CES 関数と想定される。誤差項の特定化も、誤差成分型ということによく似ているが、エアコンの保有・使用、その他の電力消費機器全般の使用に影響する気温、等々、予め識別可能な効果は誤差に含めてしまわず、説明変数として取り上げられる。興味深いのは、エアコンの保有やその性能の選択が、気温を始め、このモデルの説明変数に依存する可

能性が大きいということで、そのまま回帰分析を行うとバイアスが生じるため、転換回帰 (switching regression) モデルの形に変えて最尤推定を行っていることである。

ここでは、モデルの詳細やパラメーター推定値を示す代わりに、summary statistics として夏季需要の代替弾力性を示しておく。

まず、被験世帯は 2 種類のピーク時間帯区分 A : 10 a. m. ~ 8 p. m., B : 12 : 00 ~ 10 p. m. 適用グループに分けられ、そのそれぞれから料金比 3 : 1, 5 : 1, 7 : 1, 9 : 1 の時間帯別料金をオファーされるセルが構成されているのだが、代替の弾力性は、SCE 平均で、グループ A : 0.062, グループ B : 0.030, 年間使用量 8,881 kWh 以上の大口需要家平均で、A : 0.153, B : 0.142 と推計された。

Hawrey-Varian の表 9 と対応する電力価格指数の計測結果については、表 10 に掲げる。

表 10 では、ほぼ限界費用差に基づく料金比 2 : 1, 3 : 1 の時間帯別料金と均一料金の比較を行っている訳だが、たとえば、SCE 全体で、均一料金からケース A のピーク時間帯区分の料

表 10. 厚生水準不変な電力価格指数

ピーク時間帯	需要家層	料金比		PEQ	価格指数 (%)						
		ピーク : オフ	均一		全世帯	El Segundo, 64.6°			Palm Springs, 85.0°		
						None	Room Air Only	Central or Both	None	Room Air Only	Central or Both
A (10 A. M. ~ 8 P. M.)	平均	2/1	.710	.753	-3.1	-4.0	-3.1	-4.1	-5.4	-1.3	3.1
		3/1	.546	.580	-5.9	-7.5	-5.5	-7.3	-9.6	-2.7	3.6
	大口	2/1	.710	.728	-2.4	-4.2	-3.3	-4.7	-2.4	4.4	5.0
		3/1	.546	.577	-5.3	-8.2	-4.2	-8.4	-5.2	5.5	6.3
B (12 noon - 10 P. M.)	平均	2/1	.710	.741	-4.2	-5.2	-6.5	-5.0	-5.6	-1.4	9.4
		3/1	.540	.590	-7.4	-9.1	-10.8	-8.5	-9.4	-1.4	13.3
	大口	2/1	.710	.730	-2.8	-4.2	-3.5	-4.1	-3.7	2.5	6.5
		3/1	.546	.579	-5.8	-8.1	-4.1	-7.5	-7.1	2.4	8.9

None : エアコン無し

Room Air Only : 室内冷房のみ

Central or Both : 集中冷房・併用

金比 2 : 1 の時間帯別料金へ移行したとき、3.1% の支出削減をもたらす。これは、月当たり 1.42\$ のメータリング・コストとほぼ同程度であるという。

南加エジソン社の実験については、原則非公開で詳細は不明だが、強制参加（謝礼、年 100 ドルあり）方式をとっている由。

4.6 Gallant-Koenker [21]

この研究では、連続時間形モデルにより、時間帯別料金より一般的な時々刻々変化する時変料金の効果が分析されている。カロライナ電力における 1978 年 7 月のデータを用いて、ある時刻の需要とその他の時刻の需要との交叉価格弾力性を計測し、消費者余剰と供給コストの変化を含む厚生分析を行うという形で分析が進められているが、数値計算により社会的厚生を最大化する最適料金を求めている点がユニークである。

著者らのモデルの概要を示すと以下の如くである。

まず電気以外の財サービスをベクトル x 、その価格を p で表わし電灯需要曲線を $q : [0, T] \rightarrow R_+$ （区間 $[0, T]$ は 1 日の時間を表わす）、その料金を $r(t)$ （for $t \in [0, T]$ ）で表わす。このとき、効用関数を弱分離可能と仮定して、家計は

$$\begin{aligned} & \text{maximize } u(u^0(x), u^e(q)) \\ (13) \quad & \text{sub. to } p \cdot x + \int_0^T r(t)q(t)dt \leq m \end{aligned}$$

をみたすように行動するものと考えられる。

u^e は電力需要に関する効用汎関数である。

上の問題を解く際、まず、所与の $\theta \in [0, 1]$ に対し、

$$\begin{aligned} (14) \quad & \text{max. } u^e(q) \\ & \text{sub. to } \int_0^T r(t)q(t)dt \leq \theta m \end{aligned}$$

および

$$\begin{aligned} (15) \quad & \text{max. } u^0(x) \\ & \text{sub. to } p \cdot x \leq (1-\theta)m \end{aligned}$$

を解いた最適値 $\bar{u}^e(\theta)$ 、 $\bar{u}^0(\theta)$ を求め、次に θ に関して

$$(16) \quad u(u^0(x), u^e(q)) =: \bar{u}(\theta)$$

を最大化する。部分問題 (14) に注目し、 u^e の連続性等を仮定すると、Berge の maximum principle により、間接効用汎関数

$$(17) \quad v(r/m^e) = u^e(q(r/m^e)), \quad m^e = \theta m$$

の存在等が知られるが、 u^e のフレシェ微分可能性、狭義準凹性、単調増加性等を仮定して、 v のフレシェ微分可能性等、対応する性質が導かれる。特に、ここで、 n 次元ユークリッド空間におけるケースと全く同様に、Roy の公式

$$(18) \quad q(t) = (\nabla_z v)(t) / \int_0^T \nabla_z v(z) \cdot z dt$$

（ここに、 $z = r/m^e$ で、 $\nabla_z v$ は v のフレシェ微分を表わす）

が導出される。Gallant-Koenker は、

$$\begin{aligned} (19) \quad & Q_i = (1/\Delta) \int_{t_i}^{t_i+\Delta} q(t) dt, \\ & \text{for } t_1, \dots, t_K \in [0, T], \quad t_1 = 0, \\ & t_K + \Delta = T \end{aligned}$$

に対し、デマンド料金 $d \cdot \max\{Q_i | i=1, 2, \dots, K\}$ が課される基本料金制の下での、拡張された Roy の公式をも導いている。この場合は、

$$\begin{aligned} (20) \quad & \text{max } u^e(q) \\ & \text{sub. to } \int_0^T r(t)q(t)dt + dQ \leq m^e \\ & Q_i \leq Q, \quad i=1, 2, \dots, K \end{aligned}$$

が解かれるべき問題となり、(予算) 制約式を

$$(21) \quad \int_0^T \hat{r}(t)q(t)dt \leq m^e$$

ここに、

$$(22) \quad \hat{r}(t) = r(t) + d\omega(t)/\Delta$$

$$(23) \quad \omega(t) = \sum_{k=1}^K \omega_k I_{[t_k, t_k + \Delta)}(t)$$

$$\omega_k \geq 0, \quad \sum_{k=1}^K \omega_k = 1$$

と変形して、(14)と同型な問題に帰着する。

(23)のウェイト ω_k は、問題(20)における制約式 $Q_i \leq Q$ のラグランジュ乗数 λ_i を用いて(↗)

$$(24) \quad \omega_k = \lambda_k / \sum_{i=1}^K \lambda_i$$

と表わされるもので、最大消費電力を記録する区間 $[t_k, t_k + \Delta)$ に正の値をとるウェイトである。

ともあれ、間接効用関数のスペシフィケーションを与えれば Roy の公式を用いて需要関数が導出される。この研究では(↘)

$$(25) \quad v(z) = \int_0^T \alpha(t) \sqrt{z(t)} dt + \frac{1}{2} \int_0^T \int_0^T \beta(t, s) \sqrt{z(t)z(s)} dt ds$$

なる連続時形の一般化レオンチェフ型関数から、電灯需要

$$(26) \quad g(t) = \frac{z(t)^{-\frac{1}{2}} \left[\alpha(t) + \int_0^T \beta(t, s) \sqrt{z(s)} ds \right]}{\int_0^T \alpha(t) \sqrt{z(t)} dt + \int_0^T \int_0^T \beta(t, s) \sqrt{z(t)z(s)} dt ds}$$

を誘導し、15分間隔に離散近似して、

$$(27) \quad \omega_k(t/4) = \frac{\sqrt{z_k(t/4)} \left[\alpha(t/4) + \frac{1}{4} \sum_{s=1}^{96} \beta(t/4, s/4) \sqrt{z_k(s/4)} \right]}{\sum_{t=1}^{96} \sqrt{z_k(t/4)} \left[\alpha(t/4) + \frac{1}{4} \sum_{s=1}^{96} \beta(t/4, s/4) \sqrt{z_k(s/4)} \right]} + u_k(t/4)$$

なる推定式を特定化している。実際の推定にあたっては、

$$(28) \quad \alpha(t) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{M_a} [\alpha_j \cos(j\delta t) + \alpha_{j+M_a} \sin(j\delta t)], \quad \delta = 2\pi/T$$

とフーリエ級数展開し、また、係数制約から、

$$(29) \quad \beta(t, s) = [\beta(t) + \beta(s)] \gamma(t-s)$$

$$(30) \quad \gamma(t-s) = \frac{1}{2} \{1 + \cos(\delta(t-s))\}$$

および

$$(31) \quad \alpha_0 = 1$$

と仮定してパラメーター推定を行っている。

このモデルを用いると異なる時間帯設定、料金毎に細かく価格弾性値等の推計を行いうるが、著者らがウィスコンシン実験のデータに基づいて自己価格弾性値を推定した結果が表11に掲げられる。

次に、著者らは非常にシンプルな形の容量費用と運転費用に関するエンジニアリング・コスト関数を想定し、先の需要関数と合わせて、11

種の時間帯別料金の費用・便益分析を行っている。これによると、厚生利得最大のケースで月に1.50ドルのメリットがあるということで、Actonらの計量コストの推計値を僅かに上まわる程度にとどまる。

また、料金体系 $r(t)$ を0次から4次までのフーリエ級数として表現したとき、その係数をパラメトリックに摂動すること(マルチ・グリッド)によって社会的厚生を最大にするスケジュール $r(t)$ が求められる。次数を大きくとるほど負荷の態様に細かく適応した料金設計ができるため、厚生は増大する。

たとえば4次のケースでは一日当たり17.7セント、月にして5.31ドルの利得があるという。

表 11. ウィスコンシン実験における自己価格弾力性

ピーク 時間帯	料金比	Gallant-Koenker estimates		Caves-Christensen estimates	
		η_{pp} (ピーク)	η_{oo} (オフ)	η_{pp} (ピーク)	η_{oo} (オフ)
8~12 13~17	8/1	-0.691	-0.693	-0.629	-0.539
	4/1	-0.651	-0.743	-0.510	-0.659
	2/1	-0.611	-0.792	-0.412	-0.769
	1/1	-0.577	-0.837	-0.349	-0.854
8~17	8/1	-0.813	-0.597	-0.739	-0.380
	4/1	-0.763	-0.638	-0.610	-0.500
	2/1	-0.708	-0.689	-0.475	-0.636
	1/1	-0.653	-0.745	-0.361	-0.760
8~20	8/1	-0.913	-0.493	-0.812	-0.303
	4/1	-0.890	-0.506	-0.710	-0.393
	2/1	-0.851	-0.533	-0.574	-0.523
	1/1	-0.804	-0.573	-0.437	-0.662

このように、本論文は非常に興味深い分析枠組を提示しているが、実際問題として、上にみたような連続時形の時変料金を適用することは難しく、ロバストネスという点からも問題があるように思われる。

4.7 Park-Acton [29]

産業用大口需要家を対象とする強制加入ベースの季時別料金制は、10 箇所以上、かつ多くは4年以上にわたり実施されてきているにもかかわらず、その反応についてはあまり分析が進められていない状況である。価格弾力性の計測を主眼とした、Chung-Aigner [16], Hirschberg-Aigner [22] 等の研究が知られているが、Park-Acton は、合衆国各地 10 社の約 4,000 口の産業用需要家の反応を分析している。モデルは、

(32) 相対的ピーク負荷の変化

$$= (aS)(bX) + cZ$$

(33) 相対的ピーク負荷

$$= \frac{\text{ピーク時 kWh} / \text{ピーク時間帯の長さ}}{\text{一日の kWh} / \text{一日の時間}}$$

S : 標準産業分類コードに対応する 16 個のダミー変数のベクトル

X, Z : 価格, 気象条件, 地域, 需要規模, ピーク時間帯の長さ, 等を表わす説明変数のベクトル

a, b, c : 回帰係数ベクトル

の如くに定式化され、非線型最小自乗法等によりパラメーター推定される。

著者らはこの結果に基づき、Turvey [32] の方法を用いて消費者余剰プラス生産者余剰の近似値を推計しているが、控えめな推定値で需要家当たり 900 (\$/年) 以上の厚生利得が得られたという。また分析の対象となった需要家の規模は平均で約 2,000 kWh/h, 最小で 100 kWh/h の大口需要家であるが、これより小口の需要家も同様な振る舞いを示すと仮定すれば、追加的メータリングコストとブレイクイーブンな需要家規模は 30 kWh/h (15,000 kWh/月) であるという。

いずれにせよ、既にみた家庭用需要を対象とする厚生分析と較べた場合、モデルの定式化がアド・ホックすぎて明快な理解を得難い。産業毎にスペシフィックなエンジニアリング・プロセス・モデルを構成し、産業の費用関数を推定することができない訳ではなからうが、考慮す

べき要因が広範・多様すぎて、共通のスペンションを以てのぞむには無理があったかもしれない。今後のこの分野の研究の進展に待つ所以である。

5. むすびにかえて

本稿では、季時別料金制度の厚生分析に関わる理論的枠組を概観した後、合衆国における最近の実証研究を展望した。

おしなべていえることは、ここで紹介しなかったデータの転用可能性に関する研究等も含めて、季時別料金制度の実験・実施による負荷移行の評価と費用・便益分析のためのツールは相当高度な水準まで発展せしめられており、これを用いた実証研究を通して当該料金制度に関する一定のコンセンサスが得られつつある、ということである。季時別料金制度の本格的な実施のために待たれるものは、計量・通信・制御系統機器の低廉・量産化が可能になるという技術的条件とともに、当該制度のコスト・ベネフィットに関する需要家の理解を獲得してゆくことであろう。

冒頭にわが国においても本格的な季時別料金実験が行われることになった旨述べたが、最後に、この結果を評価する際、合衆国等での経験から何を学ぶべきかについての私見を述べてむすびにかえたい。

第一。料金実験には相当多額の費用を必要とする以上、先ず以て実験計画に細心の意を払うべきである。特に、時間帯区分と料金の組み合わせを十分多様に、かつ標本の貼り付けを偏りなく行うことが最重要である。電力消費機器毎の使用記録はさほど詳細にモニターできないかもしれないが、こうした機器の保有状況や家計の属性に関するデータの蒐集はできるだけ正確に

行っておくべきである。

次に、実験結果の分析にあたり、需要家の行動を記述するモデルの選択については、できるだけ多くのオルターナティブを試してみるべきである。特に、使い慣らされている CES, LES, トランスログ, レオンチェフ, 等々といった型のものだけでなく、第3節で紹介した最近の成果をも十二分に取り入れるべきである。良いモデルを手にし得たならば、費用・便益分析等は片手間でもできるといっても過言ではない。

最後に、将来のことになるかもしれないが、季時別料金制が実施に移された場合、実験のように、時間帯区分と料金の組み合わせをコントロールして顧客に提供するという訳にはいかなくなる。そのような場合、定期的に機器保有・利用状況のサーベイや需要家の属性調査を行っておくことは非常に重要となる。その際 Jorgenson-Lau-Stoker [24] 等が開発した分析枠組が有用となるであろうし、Jorgenson-Slesnik [25] 等のように分配面の評価も含めた分析も可能となることであろう。

以上、本稿の実際の効用を問われたら自ら躊躇を禁じ得ぬ著者ではあるが、関連方面に関心を持つ読者への適当な文献案内とでもなれば幸甚である。

参考文献

- [1] 伊藤成康・大屋隆生(昭和59年)『アメリカ合衆国における時間帯別電気料金制度実験について』電力中央研究所, 内部資料 No. 255
- [2] 鈴木興太郎(昭和60年)「消費者余剰と厚生評価」経済研究 36-1, 53-66.
- [3] Poirier, D. J., (昭和58年)「家庭用電力の時間帯別電気料金制度の経済性—北アメリカと日本の比較研究」佐和隆光ほか『エネルギー需給の計量分析』経済企画庁経済研究所, 研究シリーズ第40号所収

- [4] 和合 肇 (昭和 58 年) 「シェア・モデルにおける推定と検定」竹内 啓編『計量経済学の新展開』東大出版会, 第 8 章
- [5] Acton, Jan Paul and B. M. Mitchell, "Evaluating Time-of-Day Electricity Rates for Residential Customers," in *Regulated Industries and Public Enterprise: European and United States Perspectives*, ed. by B. M. Mitchell and P. R. Kleindorfer, Lexington, 1980.
- [6] Acton, Jan Paul and B. M. Mitchell, "Welfare Analysis of Electricity Rate Changes," in *Innovative Electric Rates: Issues in Cost-Benefit Analysis*, ed. by S. V. Berg, Ballinger, Ch. 12, 1983.
- [7] Aigner, D. J. ed., *Welfare Econometrics of Peak-Load Pricing for Electricity*, *Journal of Econometrics*, 26 (1984), 1-252.
- [8] Aigner, D. J. and J. A. Hausman, "Correcting for Truncation Bias in the Analysis of Experiments in Time-of-Day Pricing of Electricity," *Bell Journal of Economics*, 11 (1980), 131-142.
- [9] Barnett, W. A., "The Flexible Laurent Demand System," *American Economic Review*, Proc. of the 1982 AEA Meetings, (1982), 82-89.
- [10] Barnett, W. A., "Definitions of 'Second Order Approximation' and of 'Flexible Functional Form'," *Economic Letters*, 12 (1983), 31-35.
- [11] Barnett, W. A., "The Minflex-Laurent Translog Flexible Functional Form," *Journal of Econometrics*, 30 (1985), 33-44.
- [12] Barnett, W. A., V. W. Lee and M. D. Wolfe, "The Three-Dimensional Global Properties of the Minflex Laurent, Generalized Leontief, and Translog Flexible Functional Forms," *Journal of Econometrics*, 30 (1985), 3-31.
- [13] Barten, A. P., "Maximum Likelihood Estimation of a Complete System of Demand Equations," *European Economic Review*, 1 (1969), 7-73.
- [14] Caves, D. W. and L. R. Christensen, "Global Properties of Flexible Functional Forms," *American Economic Review*, 70 (1980), 422-432.
- [15] Caves, D. W., L. R. Christensen, P. E. Schoech and W. Hendricks, "A Comparison of Different Methodologies in a Case Study of Residential Time-of-Use Electricity Pricing: Cost-Benefit Analysis," in [7], (1984), 17-34.
- [16] Chung, C. and D. J. Aigner, "Industrial and Commercial Demand for Electricity by Time-of-Day: A California Case Study," *Energy Journal*, 2 (1981), 91-110.
- [17] Diewert, W. E., "An Application of the Shephard Theorem: A Generalized Leontief Production Function," *Journal of Political Economy*, 79 (1971), 461-507.
- [18] Diewert, W. E., "Exact and Superlative Index Numbers," *Journal of Econometrics*, 4 (1976), 115-145.
- [19] Gallant, A. R., "On the Bias in Flexible Functional Forms and an Essentially Unbiased Form," *Journal of Econometrics*, 15 (1981), 211-245.
- [20] Gallant, A. R. and G. H. Golub, "Imposing Curvature Restrictions on Flexible Functional Forms," *Journal of Econometrics*, 26 (1984), 295-321.
- [21] Gallant, A. R. and R. W. Koenker, "Some Welfare Econometrics of Peak-Load Pricing of Electricity: A Continuous-Time Approach," in [7], (1984), 83-113.
- [22] Hirschberg, J. G. and D. J. Aigner, "An Analysis of Commercial and Industrial Customer Response to Time-of-Use Rates," *Energy Journal*, 4 (1983), 103-126.
- [23] Howrey, E. P. and H. R. Varian, "Estimating the Distributional Impact of Time-of-Day Pricing of Electricity," in [7], (1984), 65-82.
- [24] Jorgenson, D. W., L. J. Lau and T. M. Stoker, "Welfare Comparison under Exact Aggregation," *American Economic Review*, 70 (1980), 268-272.
- [25] Jorgenson, D. W. and D. T. Slesnick,

- “Aggregate Consumer Behaviour and the Measurement of Inequality,” *Review of Economic Studies*, 51 (1984), 369-392.
- [26] Lau, L. J., “Testing Imposing Monotonicity, Convexity, and Quasi-Concavity,” in *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, ed. by M. A. Fuss and D. McFadden, North-Holland, 1978, 409-445.
- [27] Lillard, L. A. and D. J. Aigner, “Time-of-Day Electricity Consumption Response to Temperature and the Ownership of Air Conditioning Appliances,” *Journal of Business & Economic Statistics*, 2 (1984), 40-53.
- [28] McKenzie, G. W., *Measuring Economic Welfare: New Methods*, Cambridge UP, 1982.
- [29] Park, R. E. and J. P. Acton, “Large Business Customers Response to Time-of-Day Electricity Rates,” in [7], (1984), 229-252.
- [30] Parks, R. W. and D. Weitzel, “Measuring the Consumer Welfare Effects of Time-Differentiated Electricity Prices,” in [7], (1984), 35-64.
- [31] Sargan, J. D., “Asymptotic Theory and Large Models,” *International Economic Review*, 16 (1975), 75-91.
- [32] Turvey, R., “How to judge when price change will improve resource allocation,” *Economic Journal* (1976), 825-832.
- [33] Varian, H., “Measures of Economic Welfare,” in *Analysis of Residential Response to Time-of-Day Prices*, EPRI EA-2380, May, 1982.

(いとう なりやす)
 経済部
 経営研究室)

負荷研究の方法とロードマネジメント 評価への適用事例

キーワード：ロードマネジメント，負荷研究，負荷曲線，サンプリング

小 野 賢 治

〔要 旨〕

本報告は、今後日本において行われるロードマネジメントのための負荷研究の手引きとするために、米国における負荷研究の手法、負荷データ分析のための情報システム、及び負荷研究の適用事例を広い範囲にわたって調査した結果を集約したものである。特に、

- ・ブートストラップ法を用いたサンプリング計画の評価法
- ・負荷研究情報システムに特有の機能
- ・末端機器の負荷曲線推定のための種々のモデル（工学モデルの利用など）

が有用なものとして挙げられる。

- はじめに
- サンプリング計画の方法と評価
 - サンプリング計画の方法
 - ブートストラップ法を用いた比較方法
- 負荷研究情報システム構築の要点
- 負荷曲線の分析・予測モデル、手法について
- 負荷曲線の調査
- 負荷研究のロードマネジメント評価への適用
 - 商業用需要家の分類
 - 省エネルギー計画の評価
- 今後の課題

1. はじめに

近年日本においては、冷暖房機器が急速に普及してきたために、電力の平均的な負荷とピーク負荷との比率（負荷率）が次第に低下してきている。そのため、需要家に積極的に働きかけて負荷を平準化するなど、設備の有効利用のために望ましい需要特性を誘導しようとするロードマネジメントに、高い関心が持たれるようになってきた。

ロードマネジメントの評価を行うためには、種類、層別、末端利用別などさまざまなレベルの負荷の測定・分析・予測を行うことが必要で

ある。本報告は、今後日本において行われるロードマネジメントのための負荷研究の手引きとするために、米国における負荷研究の手法、負荷データ分析のための情報システム、及び負荷研究の適用事例を広い範囲にわたって調査した結果を集約したものである。

2. サンプリング計画の方法と評価

負荷研究では特にメータの設置に多大な費用を必要とする。そこで、できるだけ少ないサンプル数でできるだけ正確な推定を行うことが非常に重要になる。そのためには、統計理論に基づいたサンプリング計画を立てることが必要で

表 2.1 サンプル計画の方法

サンプリング計画	母集団の全ての個体は正の選択確率を持つか	超母集団の仮定の利用/モデル			ランダム選択の性質を用いるか	分類	負荷研究での利用
		利用タイプ	利用法	選択確率			
単純ランダムサンプリング	○	なし	適用できない	全ての P_i が等しい	○	確率に基づく	限定
比例割当での層別サンプリング	○	暗黙	<ul style="list-style-type: none"> X_i による群分けは Y_i の群内分散ができるだけ小さくなるようになされると仮定 	全ての P_i が等しい	○	確率に基づく	限定
ジャッジメンタル割当での層別サンプリング	○	暗黙	<ul style="list-style-type: none"> X_i による群分けは Y_i の群内分散が小さくなるようになされると仮定 サンプルのジャッジメンタルな層への割当がある意味で最良のサンプルを与える」と仮定 	<ul style="list-style-type: none"> P_i は層内で等しい P_i は層間で変化する P_i はジャッジメンタルな割当に支配される 	○	確率に基づく	普通
最適割当での層別サンプリング	○	暗黙	<ul style="list-style-type: none"> X_i による群分けは Y_i の群内分散ができるだけ小さくなるようになされると仮定 X_i と Y_i との相関が強いと仮定 X_i についてはほぼ最適な計画は Y_i についても最良と仮定 	<ul style="list-style-type: none"> P_i は層内で等しい P_i は層間で変化する どの層の P_i も層内の N と X_i の分散に依存する 	○	確率に基づく	普通
モデルに基づく層別サンプリング (MBSS)	○	明示的	<ul style="list-style-type: none"> Y_i を誤差項 e_i をつけて X_i と関連づける主モデルを推定 Y_i の標準偏差を X_i で説明する副モデルを推定 副方程式を用いて層の境界と割当を決定 	<ul style="list-style-type: none"> P_i は層内で等しい P_i は層間で変化する どの層の P_i もモデルで決まる割当に依存する 	○	モデルに基づく	限定
モデル依存	×	明示的	<ul style="list-style-type: none"> モデルが選択する個体の特定化に用いられる 	<ul style="list-style-type: none"> 全ての P_i が等しいとは限らない $P_i=0$ もある 他の P_i はモデルで決まる 	×	モデル依存	なし

注) Y_i : 第 i 需要家の負荷の値
 X_i : 第 i 需要家の補助変量 (電力使用量など) の値
 P_i : 第 i 需要家がサンプルに選ばれる確率
 N : (部分) 母集団の大きさ

ある。

2.1 サンプル計画の方法と適用状況

〔4〕

表 2.1 は、種々のサンプリング計画の特徴をまとめたものである。尚、サンプリング調査の基礎的な理論は〔8〕を、また、表 2.1 にあるサンプリング計画のうち、「単純ランダムサンプリング」「最適割当ての層別サンプリング」「モデルに基づく層別サンプリング (MBSS)」の詳細については〔1〕,〔2〕あるいは〔10〕を参照願いたい。

現在米国で用いられているサンプリング計画は、大部分が層別ランダムサンプリングである。層別化に用いられる変数は、大部分が kWh である。モデルに基づく単純/層別ランダムサ

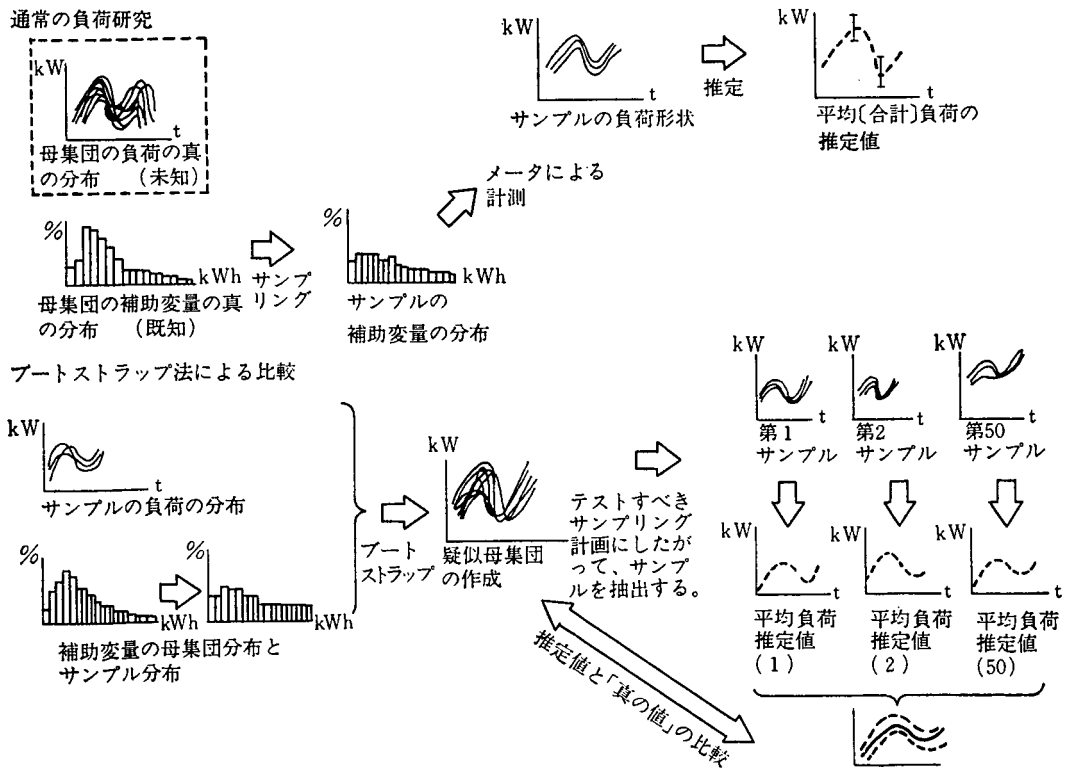
ンプリング (表 2.1 の MBSS とは限らない) が多く用いられている。

2.2 ブートストラップ法を用いた比較方法

本節では、〔5〕で提案されたブートストラップ法によるサンプリング計画の比較方法について述べる。

ブートストラップ法とは、ある観測値に基づく統計量の分布を求める際に、その観測値がしたがる (真の) 分布を用いる代わりに、その近似としてサンプルの経験分布を用いる方法である (〔7〕,〔11〕)。この方法は、仮定した分布が真の分布と大きく食い違っている時や、ある特定の理論分布を仮定することが適切でない場合に有効な方法である。

図 2.1 は、このブートストラップ法を用いた



(*) サンプルの負荷の経験分布をもとに、補助変数の分布を用いて重みづけを行う。テストすべきサンプリング計画による推定値の分布

図 2.1 ブートストラップ法によるサンプリング計画の比較

比較方法を、通常の負荷研究における方法と対比して、図示したものである。

適用例

表 2.2, 2.3 は、住宅用、商業用のそれぞれの負荷研究データについて、要求される精度をみたすために必要なサンプル数を、従来の方法（層別サンプリング、単位当たり平均による拡張）と MBSS による方法について推定した結果である。いずれの場合においても、MBSS のほうが必要とするサンプルサイズは少ない。その差は、MBSS で2つの補助情報を用いている商業用のほうが大きくなっている。

ただし、これらの結果から、MBSS が従来の方法よりも普遍的に優れているということはいできない。サンプリング計画の評価結果は、状況によって変化するので、個々の場合について行うべきである。

3. 負荷研究情報システム構築の要点

米国においては、負荷研究に対するニーズが非常に大きいことから、負荷研究を行うための情報システムも発展しており、数多くのシステムが開発されている。これらのシステムは大別して、

- ①電力会社内で開発した専用システム
- ②ソフトウェア会社やシンクタンクが開発した汎用システム

がある。

ここでは、米国の負荷研究情報システムに関するレポートから要点を抜き出し、KJ 法（〔9〕）によってまとめを行い、負荷研究情報システムを構築するにあたって重要な点や問題となる点を探った。

表 2.2 ブートストラップ法で評価したサンプリング計画の精度の比較（住宅用）

計画された精度を満たすために必要なサンプル数¹⁾

サンプリング計画	計画年の 系統ピーク時	実験年の 系統ピーク時	計 画 年		
			全時間の50%	全時間の75%	全時間の95%
従来の方法 ²⁾	211	225	154	187	270
MBSS ³⁾	195	215	146	182	240

1) 相対誤差の絶対値が 10% 以内に入る確率が 90% 以上であること。

2) 層別化の場合の単位当たり平均による拡張法（層の数は4）。

3) 以下の MBSS モデルを用い、比推定法で拡張する。

〔主方程式〕 $\mu = E(kW) = \beta \text{ kWh}$ (E は平均を表わす)

〔副方程式〕 $\sigma = SD(kW) = \sigma_0 \text{ kWh } \tau$ (SD は標準偏差を表わす)

表 2.3 ブートストラップ法で評価したサンプリング計画の精度の比較（商業用）

計画された精度を満たすために必要なサンプル数¹⁾

サンプリング計画	計画年の 系統ピーク時	計 画 年		
		全時間の50%	全時間の75%	全時間の95%
従来の方法 ²⁾	96	165	220	270
MBSS ³⁾	90.75	73	94	120

1) 相対誤差の絶対値が 10% 以内に入る確率が 90% 以上であること。

2) 層別化の場合の単位当たり平均による拡張法（層の数は3）。

3) 以下の MBSS モデルを用い、回帰推定法で拡張する。

〔主方程式〕 $\mu = E(kW) = \beta_0 + \beta_1 \text{ kWh} + \beta_2 \text{ max kW}$ (E は平均を表わす)

〔副方程式〕 $\sigma = SD(kW) = \sigma_0 \text{ max kW } \tau$ (SD は標準偏差を表わす)

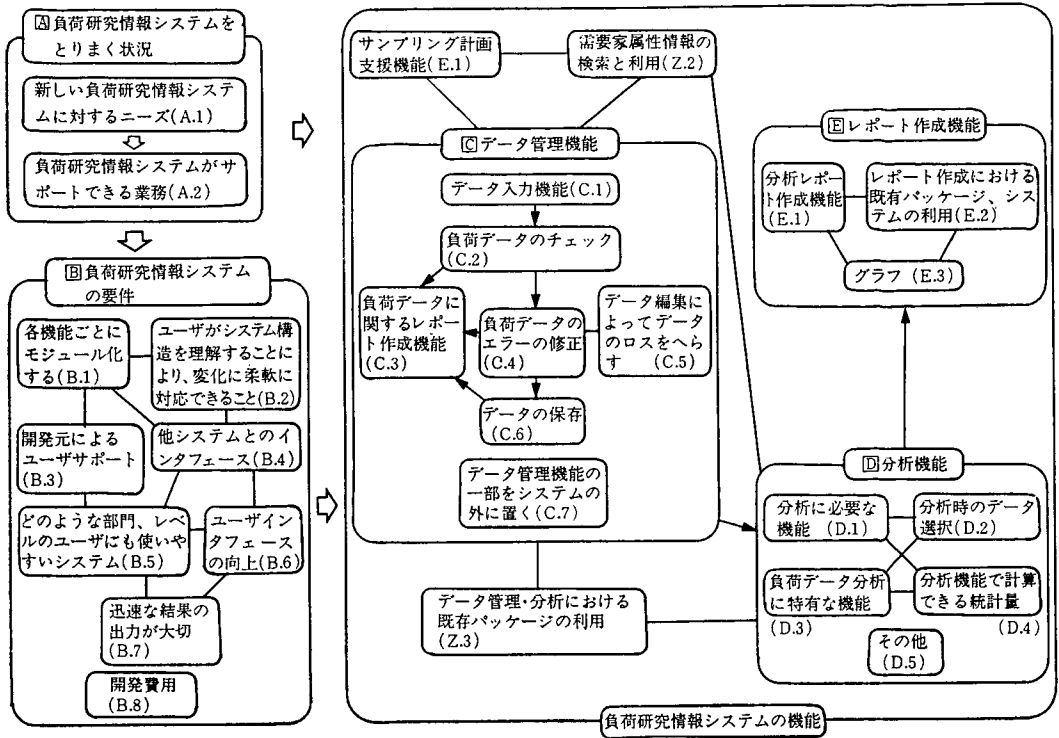


図 3.1 負荷研究情報システム構築の要点

主な調査結果

図 3.1 は、KJ 法によるまとめを行った結果である。

負荷研究情報システムにおいて特に重要な点として、以下の事が挙げられる。

- (1) 負荷データのチェック及び修正は、データのロスを減らし、推定の精度を上げるために非常に重要である。この機能を強力にサポートするシステムが望まれる。
- (2) 負荷データの分析に特有の機能(曜日・時間帯ごとの分析、自動的に識別したピーク時刻における分析等)が充実している事が重要である。
- (3) 分析結果のレポート作成機能(定型レポート、特殊レポート)が充実している事が重要である。

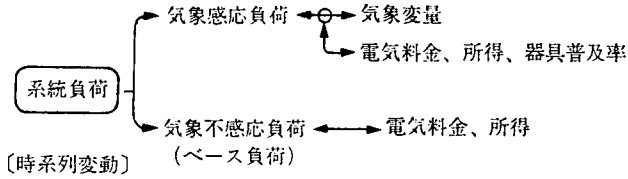
4. 負荷曲線の分析・予測モデル、手法についての調査

負荷の変動要因を分析し、種々のレベルの負荷曲線の推定・予測を行うことは、負荷研究において最も重要な課題である。ここでは、主に EPRI から発行された、負荷曲線の推定・予測に関する 7 件の報告を調査した結果を紹介する。

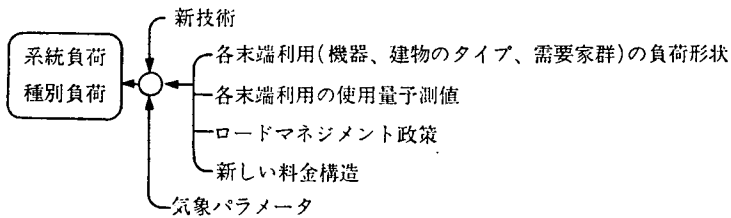
図 4.1 は、これらの報告で述べられているモデルの構造を模式的に表わしたものである。全体的な特徴を概観すると、以下の通りである。

- ・推定・予測する負荷曲線は、系統/種別負荷が 3 件、末端機器の負荷が 4 件であった。
- ・系統/種別負荷曲線の予測では、末端利用・積上型が 2 件、計量経済・集計型が 1

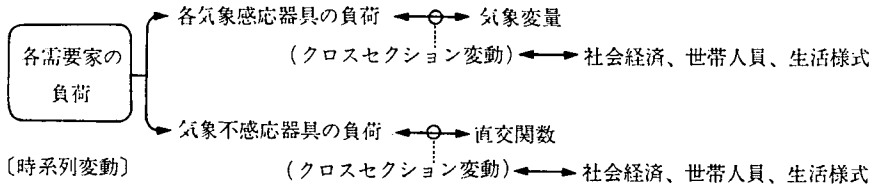
モデルA ([1])



モデルB ([3])



モデルC ([1])



モデルC ([13] で紹介)

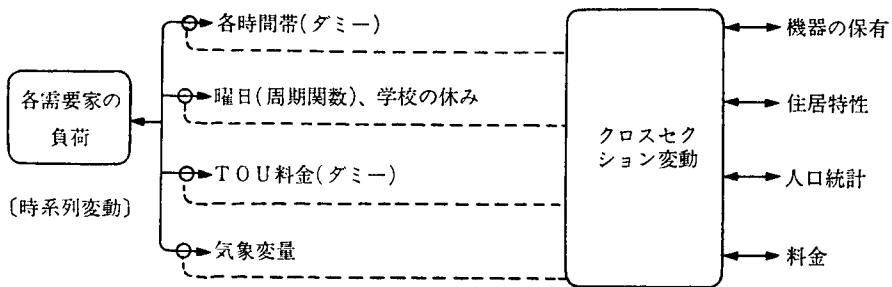
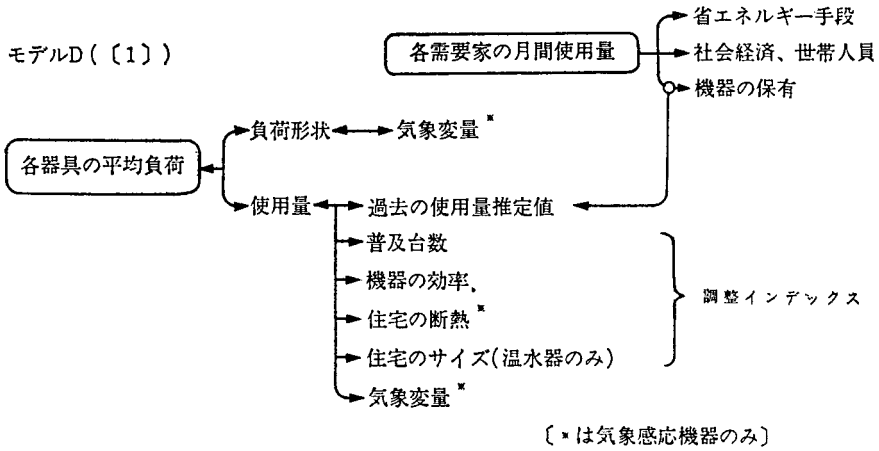
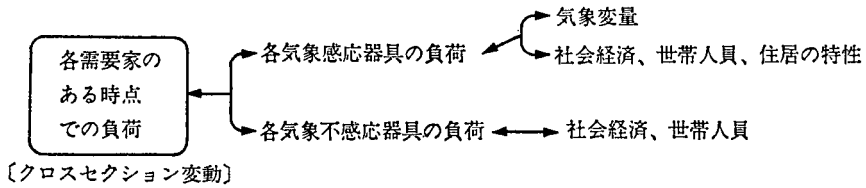


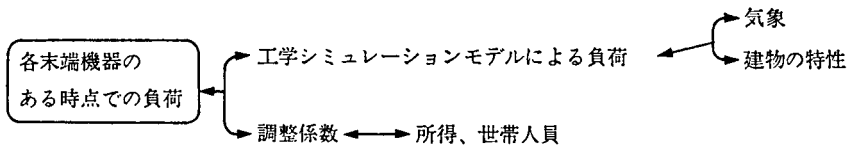
図 4.1 負荷曲線の分析・予測モデルの構造



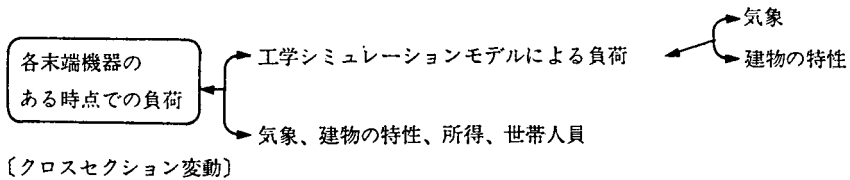
モデルE ([1])、[6])



モデルF ([6])



モデルG ([6])



(注) →は分析を、←は予測をそれぞれ表わす。

件あった。

- ・分析に用いられる気象変数としては、気温、冷房／暖房デグリーデイ、湿度があった。
- ・分析に用いられる気象以外の変数としては、ミクロなレベルでは世帯人員、機器の所有、家の広さ、収入、生活様式（詳細は不明）があった。また、マクロなレベルでは器具普及率、料金、平均所得があった。

各モデル、手法及び適用結果の概要は以下の通りである。

モデルA（〔1〕,〔10〕で紹介）

ここでのモデルは2つの方程式群からなる。第1段階では、負荷を1時間ごとのダミー変数（ベース負荷）、現在の気象、過去24時間の気象（冷房・暖房デグリーアワー）で説明する。過去の気象の影響は現在の気象よりもかなり大きかった。第2段階では、第1段階で求めた1時間ごとのダミー変数についての係数を月のダミー、電気料金、個人の平均所得等で説明し、また気象についての係数を先にあげた独立変数と空調機の普及率で説明する。この結果、所得についての係数は朝の時間帯に大きく、電気料金についての係数の絶対値は午後および夜間に大きい特徴が見られた。これらの推定の結果得られたモデルを用い、他のマクロ経済モデルによる経済変数の予測値を代入して、平均的気象、ピーク日の気象の場合の負荷曲線の予測を行った。その結果、夏は朝の時間帯の伸びが大きく、冬はピークが晩から朝に、しかも次第に早い時刻に移っていくと予測された。尚、このモデルでは、負荷の気象感応度の時間帯変化を考慮していないことが問題である。また、第2段階の方程式は産業用需要の割合が大きい日本の電力会社には不適切である。

モデルB（〔3〕）

このモデルは、HELM (The Hourly Electric Load Model) と呼ばれるものである。このモデルは、長期にわたっての1時間ごとの負荷形状（種別負荷あるいは系統負荷の予測）を行うためのものである。エネルギー管理プログラム、エネルギー利用の新技术、気象等の要因が負荷形状に与える影響をシミュレートできる。

モデルC（〔1〕）

ここでのモデルは2段階のレベルからなる。

〔レベルA〕 各需要家について、その需要家の負荷を気象感応負荷と気象不感応負荷に分ける。具体的には以下のモデルを仮定する：

$$\begin{aligned} & (\text{需要家 } J \text{ の } T \text{ 時における負荷}) \\ & = \sum (\text{電気器具の利用状況} ([0, 1]) \\ & \quad \times (\text{その器具の消費電力}) \\ & \quad + (\text{誤差項 [ARIMA モデル]}) \end{aligned}$$

「電気器具の利用状況」はさらに器具の気象感応のタイプによって3種類のモデルで表わし、気象変数等で説明する。器具の消費電力は負荷研究データ等の事前情報を用いる。このモデルの推定にはベイジアン等の高度な手法を用いる。

〔レベルB〕 Aのモデルのパラメータ（気象感応度、設定温度、ARIMAのパラメータ等）の推定値と負荷データの需要家間の変動を、社会経済、人員、生活様式（夫人が昼間働きにできるかどうか等）などで説明する。手法としては、回帰分析とクラスタリングを並行して行なう。

モデルC（〔13〕で紹介）

このモデルでは、まず第1段階で、各需要家の負荷の時系列的変動を、時間ダミー、曜日（平日ダミー及び終末のみ周期関数の値をとるダミー）、TOU料金のダミー、学校の休日に

についてのダミー、気象変量（湿度を考慮した気温、風速）で説明する。第2段階では、第1段階の推定で得られた回帰係数の需要家間の変動を、機器の保有、家族の年齢構成、住居の特性（建築後年数、居住面積、構造物）、料金で説明する。

モデルD（〔1〕）

ここでは、各器具の平均負荷を、各器具の負荷形状及び使用量の推定値から構成する。各器具の負荷形状は、気象不感応器具についてはコンサルタント会社から借りたデータを用い、気象感応器具（石油ファンヒータを含む）の負荷形状は、測定された負荷データと気象データから、その関係を分析し、気象の影響を除いて構成する。各器具の使用量推定値は、過去の（1台当りの）使用量推定値（各需要家の月間使用量を分析するモデルのパラメータ推定値）、普及台数、機器の効率・住宅の断熱・住宅のサイズ（温水器のみ）に関する調整インデックス、気象変量（気象感応器具のみ）から推定する。

モデルE（〔1〕,〔10〕で紹介）

ここでは原理的には、ある電気器具を持っているかないかを除いては他の重要な特性が同じである2世帯を比較することによって、その器具の負荷を推定する。モデル推定には見かけ上無関係な回帰を用いる。モデル化にあたっては単純化のためにパラメータに制約をおく。分析の第二段階では、全体の負荷から気象不感応負荷を除き、気象感応負荷を求める。そして、その気象感応負荷を気温、湿度、家の容積で説明するモデルをつくり分析する。ここで用いた気象変量は、

$$\Sigma(\text{温度の多項式}) \times (\text{湿度}) \\ \times (\text{部屋の容積の平方})$$

である。以上の分析結果をもとにして、各時間

帯ごとの全体の負荷の予測を行っている。全体の負荷は、

$$(\text{各時間} \cdot \text{各器具の負荷}) \times (\text{普及率}) \\ + (\text{気象感応負荷})$$

で与えられる。エアコンをもつ家庭について計算を行ったところ、平均的な気温の日、高気温の日とも予測値は実績値とよく適合した。

モデルE（〔6〕のモデル）

一日を9時間帯に分け、各時間帯の各機器の負荷を、気象、住居の広さ、世帯人員、所得で説明する。

モデルF（〔6〕）

各需要家の気象、住居の特性のデータをもとに、工学モデルによるシュミレーションの結果得られた負荷曲線で、実際の負荷を説明し、調整係数を求める。調整係数は、1. 機器ごとに一定、2. 需要家間で変動、3. 時間帯で変動、4. 需要家間及び時間帯で変動、4のつの場合がある。

モデルG（〔6〕）

モデルEと工学データを組み合わせ、混合推定を行う。工学データに対する信頼度を事前分布に反映させる。

5. 負荷研究のロードマネジメント評価への適用

ここでは、EPRI から出されたいくつかのレポートから、負荷研究の結果をロードマネジメントの評価に適用した事例を紹介する。

5.1 商業用需要家の分類

商業用需要家を、産業分類コードをもとに同質な負荷形状をもつと考えられるグループに分類し、各グループについての日負荷曲線の形状を分析して、マーケティングやロードマネジメントの計画に役立てる研究が〔1〕にある。

負荷(夏季ピーク=100)

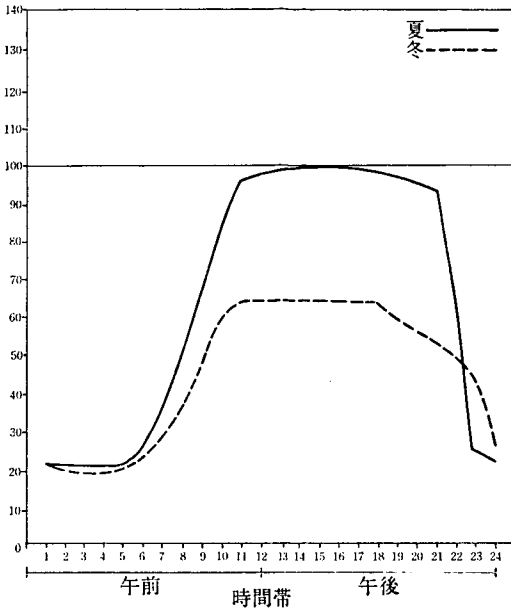


図 5.1 一般小売店舗の平均的負荷曲線

負荷(夏季ピーク=100)

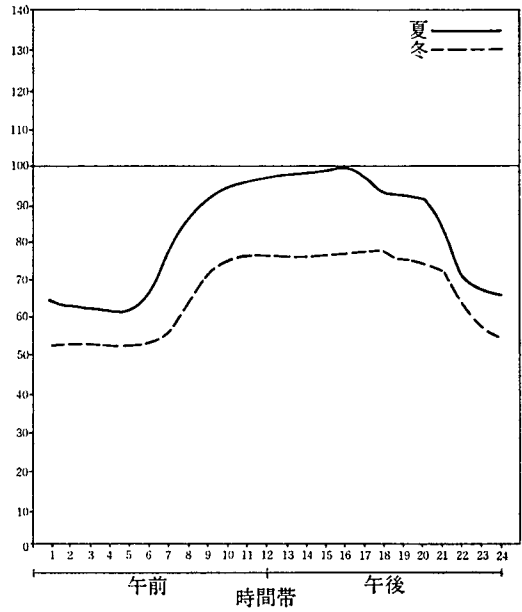


図 5.2 食料品店の平均的負荷曲線

負荷(夏季ピーク=100)

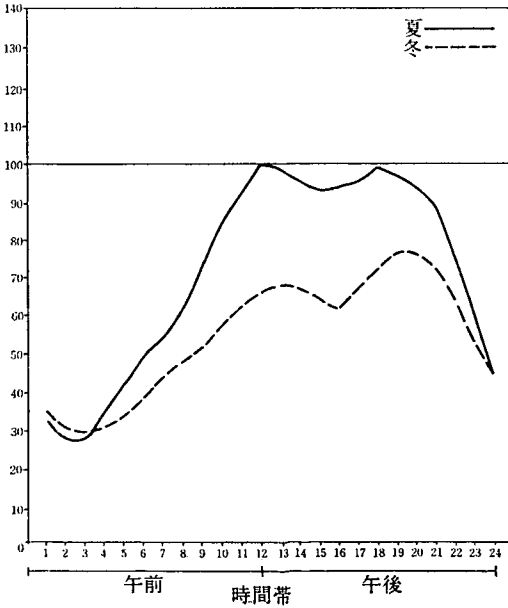


図 5.3 飲食店の平均的負荷曲線

負荷(夏季ピーク=100)

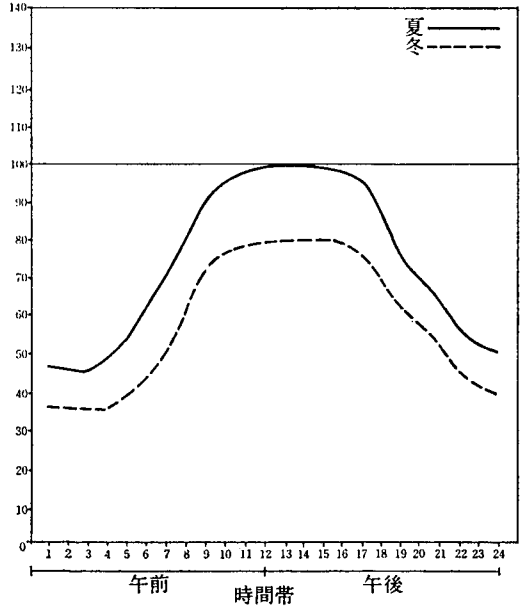


図 5.4 オフィスビルの平均的負荷曲線

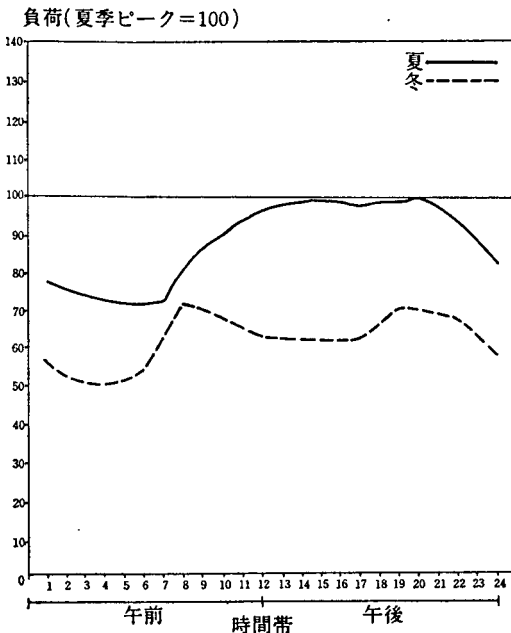


図 5.5 ホテルの平均的負荷曲線

ここでは商業用需要家から7つのグループを構成した。図 5.1~5.5 はそのうちの5つのグループに属する需要家の平均負荷を图示したものである。各グループの負荷曲線の特徴と、考えられるロードマネジメント戦略は以下の通りである。

【一般小売店舗】 このグループの電力消費は主にデパートで占められている。ピークが長く持続する。

【食料品店】 主にスーパーマーケットとコンビニエンスストアである。昼前から夕方にかけてピークがあり、夜おそくに中間的な需要（外部照明のためと考えられる）がある。ピークとオフピークの比は小さい。

【飲食店】 主に食堂である。負荷の形は店内の客数を反映している。負荷率は低い。ピーク持続時間が短いので、小容量の蓄冷設備に向い

ている。冷房・換気のピーク時に湯を多く使うので、温水器と HVAC の統合システムが向いている。皿洗いの負荷もコントロールできる。

【オフィスビル】 SIC コードでは種類が多く特定できない。実際に電気代を払っているのは、「非住居用ビルの管理者」（不動産の中の一分類）が多い。大きなオフィスビルは建物内の負荷が支配的で、夏ピーク型である。負荷形状は人がいる状態を反映しているが、夜間活動のレベルが大きくデパートよりも高負荷率である。オフィスビルのピーク負荷の主要素は、冷房と照明である。照明のコントロールによってピーク負荷を大きく削減できる。ピークの時間帯が予測可能なので、蓄冷設備が使える。

【ホテル・旅館】 負荷率が高いので、ピーク削減は主に効率化に向けられる。ピークの発生する日中は、会議室や食堂などの共通の場所での利用が多いので、この部分のエネルギー管理システムが考えられる。

以上のグループに属する需要家が商業用需要の大部分を占めている。この分類による各グループはそれぞれ異なった特徴を持つ負荷形状を示しており、需要家サービス等に有用である。SICに基づく分類を用いることにより、他の統計との比較等に便利である。

コメント

商業用電力の場合は負荷形状が業種の性質に依存すると考えられるので、このような分類による負荷形状の分析は有用である。各業種の負荷形状は日本でもそれほど大きく変わらないのではないかと考えられる。

5.2 省エネルギー計画の評価

南カリフォルニアエジソン社で実施しようとする住宅用の2つの省エネプログラムについて、それらが末端機器負荷曲線へ及ぼす影響を

評価する2つのモデルにおいて、負荷研究の情報をいかに用いるかについてが〔1〕に述べられている。

ここで取上げたモデルは以下の2つである。

(1) 住宅用末端利用消費モデル

効率のよいエアコン購入にインセンティブを与えるプログラムの評価に用いる。機器購入の意思決定が陽にモデル化される。機器のライフサイクルでのコストが最小になるような技術が選ばれる。このモデルによる推定結果は、平均kW見積りに用いられる。

(2) 住宅用ピーク日モデル

このモデルは、以下の式で表わされる。

$$\begin{aligned} & (\text{ピーク日の1時間ごとの負荷}) \\ & = (\text{kW デマンド}) \\ & \quad \times (\text{機器ごとの負荷形状係数}) \end{aligned}$$

ここで、

負荷研究の方法とロードマネジメント評価への適用事例

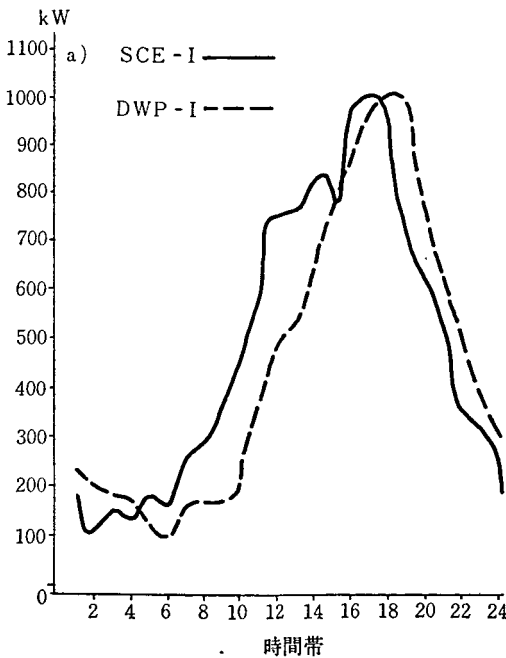
$$\begin{aligned} (\text{kW デマンド}) &= (\text{機器ストックの推定値}) \\ & \quad \times (\text{平均 kW デマンド係数}) \\ & \quad \times (\text{同期率} [\text{個々の機器がピーク日に動いている確率}]) \end{aligned}$$

負荷形状係数は、機器の保有などの調査情報とメータの測定データを用い、個々の時間帯の条件付デマンドモデルから求める。エアコンのサイクリング運転の影響が、同期率と負荷形状係数の変化に反映される。図5.6は、エアコンのサイクリング運転を行わない場合と行った場合の、エアコンの負荷形状を表わしたものである。

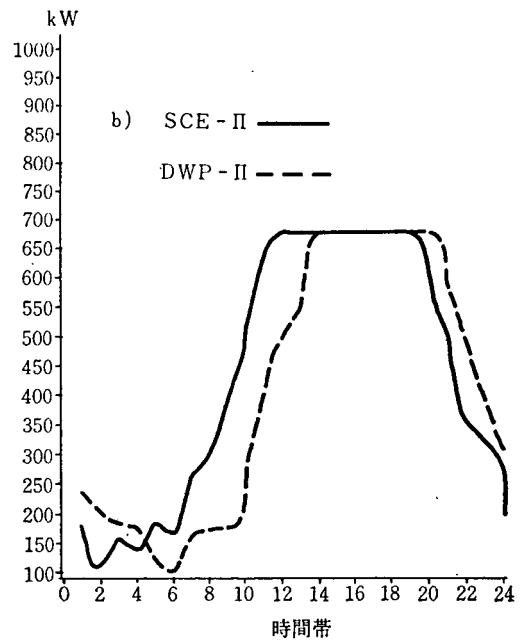
これらの分析によって、機器購入プログラムのピーク日の売上への影響はサイクリング運転に比べるとごく小さいことがわかった。

コメント

南カリフォルニアエジソン社のロードマネジメント政策はかなり進んだものであり（詳細は



①サイクリング運転なし



②サイクリング運転あり

図 5.6 セントラルエアコンの負荷の予測値

[12] 参照), 分析手法もかなり発展していると思われる。特に, 負荷形状数推定のためのモデルは興味あるところである。

6. 今後の課題

本調査の結果を踏まえて, 昭和 61 年度から行われる季時別料金実験の分析において, 米国において有効であった方法を適用するとともに, 日本の状況に適応した分析方法を開発し, 適用していくことが必要である。特に, 季時別料金が種別負荷や末端機器の負荷に及ぼす影響を正確に推定する方法の開発が大きな課題である。

参考文献

A. EPRI レポート

- [1] Electric Power Research Institute, *Proceedings: EPRI Load Research Symposium*, EA-3389, Palo Alto, CA, 1984.
- [2] Roger, L. Wright and Associates, *Model-Based Statistical Sampling for Electric Utility Load Research*. EA-3286, November 1983.
- [3] ICF Incorporated, *The Hourly Electric Load Model (HELM)*. EA-3698, January 1985.
- [4] Applied Management Sciences, Inc., *Sample Design for Load Research: Current Practice and Methods*. EA-3994, April 1985.
- [5] Applied Management Sciences, Inc., *Sample Design for Load Research: The Bootstrap Comparison Procedure*. EA-4232, September 1985.
- [6] Cambridge Systematics, Inc., *Combining Engineering and Statistical Approaches to Estimates End-Use Load Shapes*. EA-4310, October 1985.

B. その他の文献

- [7] Efron, B., *The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1982.
- [8] コ克蘭著, 鈴木達三, 高橋宏一, 脇本和昌共訳「サンプリングの理論と方法」東京図書, 1972.
- [9] 日本能率協会編「経営のための KJ 法入門」日本能率協会, 1978.
- [10] 小野賢治「ロードマネジメントのための負荷研究—米国における研究動向の現状」電力中央研究所調査報告, No. 584010, 1985.
- [11] 小野賢治, 大屋隆生「電力需要分析のための新しいデータ解析手法とその適用例」電力中央研究所研究報告, No. 584005, 1985.
- [12] 山地憲治, 浅野浩志「ロードマネジメントとその費用便益分析—米国における実施状況と研究の現状」電力中央研究所調査報告, No. 584004, 1985.
- [13] 浅賀幸平「二段階回帰分析手法による米国電力需要の想定」海外電力, 第 27 巻, No. 7, 1985.

(おの けんじ
情報システム部
経営情報研究室)

原子炉における燃料資源利用効率の考察

キーワード：原子炉，燃料サイクル，天然ウラン，プルトニウム，劣化ウラン，燃料燃焼度

山 地 憲 治

〔要 旨〕

14 種類の原子炉（ウラン燃料装荷転換炉 9 種，プルトニウム燃料装荷転換炉 3 種，高速増殖炉 2 種）の平衡サイクル特性を前提として，いくつかの原子炉システムについて燃料資源利用効率の解析を行なった。資源利用効率は，原子炉システムにおいて消費される天然ウランの潜在エネルギーに対するシステムのエネルギー生産量の比率として定義した。

まず，ウラン燃料装荷転換炉について，取出燃料中の未燃焼ウランやプルトニウムの再利用を行なう場合と行わない場合の燃料資源利用効率を比較した。残存燃料の再利用を行わない場合の効率（ワンスルー効率）は在来型軽水炉で 0.57% 程度であり，燃料の燃焼度を高めることで 1～2 割上昇すること等がわかった。回収燃料中の核分裂性物質の全量リサイクルを行なうと効率は軽水炉においても 1% 程度まで上昇するが，燃料リサイクルによる効率向上度合は，高燃焼度化軽水炉や新型軽水炉のようにワンスルー効率を高めた転換炉では小さくなる傾向があることがわかった。

次に増殖炉の燃料資源利用効率を親物質のフローに着目して評価した。増殖炉システムにおいては，親物質のリサイクル中に燃料サイクル工程でのロスとして失われる量が利用効率の上限を定める。ロス率 2% という仮定で評価して増殖炉の燃料資源利用効率として 67～80% という値を得た。

最後に，ウラン燃料装荷転換炉（プルトニウム生産炉）で生産したプルトニウムをプルトニウム燃料装荷転換炉（プルトニウムリサイクル炉）へ供給する原子炉システムについて燃料資源利用効率を評価した。プルトニウム生産炉 7 種とリサイクル炉 3 種を組み合わせ，21 ケースについて検討した。その結果，軽水炉をプルトニウム生産炉とし，高転換炉（HCR）をプルトニウムリサイクル炉として組み合わせれば，全体として 2% を越える燃料資源利用効率を達成することも可能であるが，リサイクル炉として軽水炉プルサーマルや新型転換炉（ATR）を使う場合には，1.5% 程度が限度であること等がわかった。ただし，リサイクル炉の取出燃料は再利用せず，プルトニウムのリサイクルは 1 回だけとした場合には，HCR へのプルトニウムリサイクルによる効率向上は非常に小さいものとなり，この場合には ATR へリサイクルする組合せにおいて最も効率向上度合が大きくなる。その他回収ウランの再濃縮リサイクルによる効果や濃縮プロセスの廃棄分も含めて ^{235}U の完全利用が実現した場合の効果も評価された。

1. 緒言
 2. 燃料資源利用効率解析の基本式
 - 2.1 ワンスルー効率
 - 2.2 転換炉における燃料リサイクル効果
 - 2.3 増殖炉における燃料資源利用効率
 3. 転換炉におけるプルトニウム利用
 - 3.1 原子炉内でのプルトニウム燃焼
 - 3.2 プルトニウムリサイクルによる効率向上
 4. ^{235}U 損失の回収
 - 4.1 減損ウランリサイクルによる効率向上
 - 4.2 ^{235}U の完全利用の効果
 5. 結語
- 参考文献

1. 緒言

原子力の特長は燃料重量あたりのエネルギー集約度が極めて高く、かつ燃料の自己再生産を行うことである。原子力の燃料であるウランやトリウムはそのすべてが核分裂してエネルギー生産を行えば重量あたりにして石油の約 200 万倍のエネルギーを発生する。後で解析するように、現在実用化されている軽水炉での利用においても、天然ウランから同重量の石油の 1 万倍程度のエネルギー発生を実現しており、発生エネルギーの 1/3 強は自己生産したプルトニウムにより生じている。また、増殖型原子炉がその燃料サイクルを含めて実用化されれば、燃料の拡大再生産が可能となり、理論的には、燃料資源利用効率の上限である石油の約 200 万倍のエネルギー集約度に近い効率を達成できることが示される。

エネルギー集約度が高く、しかもその集約度が技術に強く依存するということは、エネルギーコストが燃料資源の価格にほとんど依存せず、エネルギーを生産する技術のコストによって主に決められることを意味する。つまり、原子力という特殊なエネルギーにおいては、それを発生する技術（原子炉と燃料サイクル）によってコストも資源の利用効率も決定的な変化をうけるのである。本稿では、いくつかの種類の原子炉、より正確には、燃料資源と原子炉群の

組合せである原子炉システムについてその燃料資源利用効率の解析を行なう。

ここで考察の対象とする原子炉システムは、システム規模が一定で定常状態にあるものとする。つまり、原子炉の装荷燃料および取出燃料の構成が各々一定になる平衡燃料サイクルにおける原子炉システムの特性を前提とする。具体的には、原子力長期戦略検討にしばしば用いられているデータを収集して、表 1、表 2 のような平衡サイクル特性を前提とした。なお、規模変化を伴う原子炉システムを扱うには初装荷燃料インベントリと寿命後の廃止炉心、更により厳密に扱うには過渡サイクルの特性も含めて考察せねばならない。このような燃料サイクルを介した原子炉システムの動学的な特性の検討については、参考文献 [3, 6, 7, 8] 等を参照されたい。

2. 燃料資源利用効率解析の基本式

原子力における燃料資源利用効率は、燃料が発生するエネルギー量を、その原料として消費された天然ウラン（あるいはトリウムも考えられるが、以下天然ウランについてのみに言及する）の持つ最大潜在エネルギー量に対する比率として表現することで示される。天然ウランの持つ最大潜在エネルギー量とはそのすべてが核分裂した場合に発生するエネルギー量である。天然ウラン中の原子核 1 個が核分裂すると約 200

表 1 前提としたウラン燃料装荷原子炉の平衡サイクルの特性 (原子炉出力 1,000 MWe あたり)

炉型	BWR (在来の沸騰 水型軽水炉)	PWR (在来の加圧 水型軽水炉)	BWR(HB) (在来型BWR) (の高燃焼度化)	PWR(HB) (在来型PWR) (の高燃焼度化)	ABWR (新型BWR)	APWR (新型PWR)	ATR(U) (濃縮ウラン装 荷新型転換炉)	CANDU (天然ウラン 装荷重水炉)	GCR (天然ウラン装 荷重鉛減速炉) (ス冷却炉)
諸元									
平衡装荷燃料	重ウラン濃縮度 (%) 28.37	25.4	25.5	18.0	20.3	17.2	27.472	171.0	300.0
	28.37	25.4	25.5	18.0	20.3	17.2	27.472	171.0	300.0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.0	3.20	3.4	4.7	4.0	4.0	2.320	0.71	0.71
平衡取出燃料	重ウラン濃縮度 (%) 27.41	24.5	24.4	17.1	19.3	16.3	26.522	170.0	298.0
	27.17	24.3	24.2	16.9	19.1	16.1	26.318	170.0	298.0
	0.160	0.17	0.15	0.11	0.12	0.12	0.108	0.470	0.600
	0.90	0.90	0.78	1.06	0.73	0.56	0.208	0.23	0.40
取出平均燃焼度 (MWd/t)	29,500	31,900	38,000	49,700	45,000	51,200	32,000	7,300	4,500
備考	12ヶ月運転3ヶ月定検	3ヶ月定検	15ヶ月運転2ヶ月定検	15ヶ月運転3ヶ月定検	18ヶ月運転2ヶ月定検	15ヶ月運転3ヶ月定検	設備利用率76%	設備利用率100%	
データ出所	参考文献〔2〕による			ヒアリングによる			参考文献〔2〕による		参考文献〔4〕による。 但し、平衡取出燃料の重金 原量は燃焼度が小さいので ウラン量と同じとした。

表 2 前提としたプルトニウム燃料装荷原子炉の平衡サイクルの特性 (LWR(Pu) を除いて原子炉出力 1,000 MWe)

諸元	炉型	LWR(Pu) (軽水炉プルサーマル中MOX燃料 分約310MWe) 相当	ATR(Pu) (プルトニウム装荷 新型転換炉)	HCR (プルトニウム装荷 高転換炉)	FBR(1) (高速増殖炉)		FBR(2) (高燃焼度化した高速増殖炉)	
					炉心	ブランケット	炉心	ブランケット
平衡装荷燃料	重金屬	7.99	27.506	21.3	9.075	17.945	5.2	6.9
	ウラン	7.46	26.795	18.7	7.472	17.945	4.1	6.9
	分裂性プルトニウム	0.30	0.512	1.8	1.154	—	0.76	—
	ウラン濃縮度 (%)	0.71	0.711	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
平衡取出燃料	重金屬	7.67	26.558	20.2	8.357	17.898	4.5	6.9
	ウラン	7.28	26.097	17.8	6.809	17.599	3.5	6.6
	分裂性プルトニウム	0.21	0.176	1.7	1.050	0.287	0.65	0.27
	ウラン濃縮度 (%)	0.44	0.140	0.07	0.167	0.260	0.1	0.2
取出平均燃焼度 (MWd/t)		31,900	32,000	42,000	74,000 (炉心)	150,000 (炉心)		
備考	炉型毎に運転パターン(が異なるので年間電力生産量は一定ではない)	設備利用率 76%		設備利用率 80%	設備利用率 80%			
データの出处	参考文献〔2〕による 但し LWR(Pu) は PWR(Pu-SGR) のプルトニウム装荷燃料集合体に関する特性とした。 ヒアリングによる							

MeV のエネルギーが発生するので、すべて核分裂するとすれば重量あたりで表現して、天然ウラン1グラムあたり約 0.95 MWd となる¹⁾。この最大潜在エネルギー量との比率で燃料資源利用効率を定義する。

2.1 ワンスルー効率

まず、天然ウランをそのまま或いは濃縮して燃料に加工し、平衡サイクルの原子炉に装荷して1回だけ炉内で利用し、取出燃料中に含まれる未燃焼のウランや生産されたプルトニウムの再利用は考えないケースを考える。この場合の燃料資源利用効率をワンスルー効率と呼ぶことにする。

ワンスルー効率は燃料の単位重量あたりの発生エネルギーで定められる燃焼度 (MWd/t という単位が用いられる) と濃縮プロセスにおけるウラン損失で決定される²⁾。

ウラン濃縮プロセスにおける物質バランスから次式が成立する³⁾。

$$\frac{F}{P} = \frac{e_p - e_t}{e_f - e_t} \quad (1)$$

ここに

P : ウラン燃料装荷量 (t/年)

F : P を生産するに要する天然ウラン量 (t/年)

e_p : ウラン燃料の濃縮度 (%)

e_t : 濃縮プロセスにおける廃棄ウラン濃度 (%)

e_f : 天然ウランの濃縮度 (0.71%)

一方、燃焼度を B (MWd/t) とすると、平衡サイクルにおけるエネルギー発生量は BP (MWd/年) となるので、天然ウラン 1g の最大潜在エネルギー量が 0.95 MWd であることを考慮して、ワンスルー効率 E_1 は次式で与えられる。

$$E_1 = \frac{BP}{0.95 \times 10^6 F} = \frac{B}{0.95 \times 10^6} \cdot \frac{0.71 - e_t}{e_p - e_t} \quad (2)$$

表1に示すウラン燃料装荷原子炉の特性を用いて E_1 を算出することができる。 $e_t=0.2\%$ の場合の結果が表5の第一行に、 $e_t=0$ の場合の結果が表11の第一行に各々示されている。

表5からわかるように、現行の軽水炉のワンスルー効率は 0.57% 程度であるが、高燃焼度化或いは新型軽水炉の導入によりこれが1~2割増大し APWR では 0.72% 程度まで高ま

- 1) 核分裂反応が定常状態で継続されている場合 (つまり核分裂連鎖反応が維持され核分裂生成物の崩壊連鎖が平衡に達している時)、核分裂あたり放出されるエネルギーはほぼ下表のように分配される (出所 [1])。

(単位: MeV)	
核分裂片の運動エネルギー	167
中性子の運動エネルギー	5
即発γ線のエネルギー	7
余分の中性子の吸収からのエネルギー†	3-12
小計	182-191
核分裂生成物からのγ線のエネルギー	6
核分裂生成物からのβ線のエネルギー	8
中性微子のエネルギー	(12)
小計 (回収可能なエネルギー)	14
合計 (回収可能なエネルギー)	196-205

† 余分の中性子が何個どのように吸収されるかによる。

- 核爆発時や原子炉出力急上昇時のように、瞬間的に発生するエネルギーは上表の上4項の和 (182~191 MeV) になる。また中性微子のエネルギーは利用できない。したがって、上表より定常運転の原子炉で利用可能なエネルギーは核分裂あたり約 200 MeV と考えることができる。これは、核分裂する原子核の重さを ^{235}U で代表して考えると、1g の燃料がすべて核分裂すると約 0.95 MWd のエネルギーが発生することを意味する (なお $1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$, $1 \text{ MWd} = 8.64 \times 10^{10} \text{ J}$)。
- 2) ウラン濃縮プロセス以外の燃料サイクル工程でのウラン損失は、転換比が1に近い高転換炉で燃料をリサイクル利用する場合の効率を求める場合を除けば、転換炉の燃料資源利用効率算定においては重要でない。ただし、2.3で述べるように、増殖炉における資源利用効率算定では燃料サイクル工程のロス率が重要な因子となる。
- 3) ウラン濃縮工程での、ウラン重量 ($^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$) バランスと ^{235}U 重量バランスを表わす下の2式より導出される。

$$F = P + T, \quad e_f F = e_p P + e_t T$$

ここで T は廃棄ウラン量

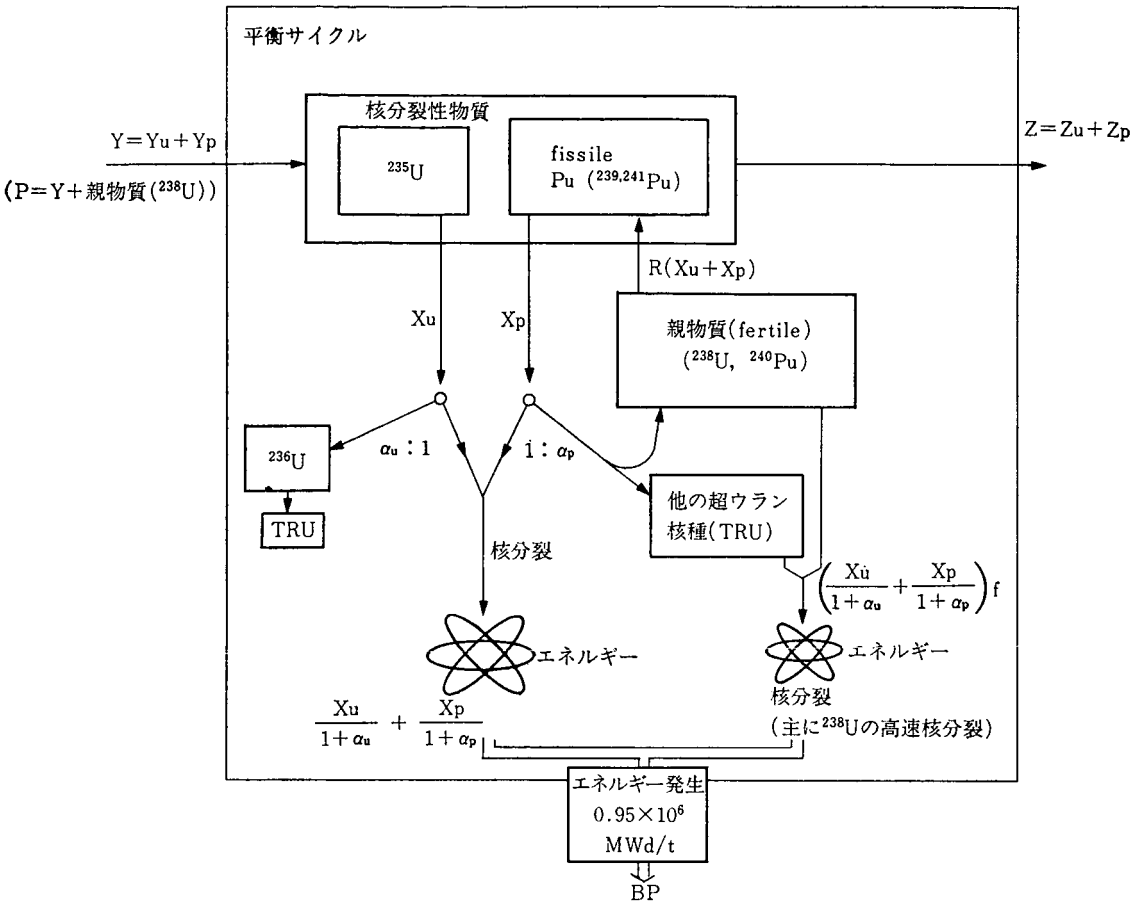


図 1 平衡サイクルにおける核分裂性物質のバランスとエネルギー発生

る見通しである。重水炉である ATR(U) と CANDU のワンスルー効率は 0.8% 程度と高いが、天然ウラン使用 GCR はワンスルー効率は 0.5% 以下で最も低い。また表 5 と表 11 を比較して、濃縮廃棄濃度をゼロとすればワンスルー効率は 3 割程度増大することがわかる。

2.2 転換炉における燃料リサイクル効果

ワンスルー効率においては取出燃料中に残存する未燃焼ウランやプルトニウムの燃料としての価値が無視されている。これらの少なくとも一部は回収して原子炉にリサイクルすることでエネルギー発生に寄与することができる。

(1) 核分裂性物質フロー

この燃料リサイクルの効果を解析するために、原子炉における燃料の燃焼過程を図 1 に示す簡略化されたモデル⁴⁾ で表現する。

まず平衡サイクルにおける ^{235}U と核分裂性プルトニウムの物質バランスから各々以下の (3), (4) 式が成立する。

4) 簡略化のための主要な条件は、核反応特性を表わすパラメータである R, α_i, f を平衡サイクル期間中一定と考えたことである。実際には、燃焼に伴う核種構成と中性子束の変化によって、これらの値は少しずつ変化する。また、核分裂性プルトニウムには ^{239}Pu と ^{241}Pu の 2 核種があるが 1 変数で代表させた。ただし既報 [6, 8] では ^{238}U も含めて核分裂性物質をひとまとめにモデル化しており、それよりは改善されている。

$$Y_u - X_u = Z_u \quad (3)$$

$$Y_p - X_p + R(X_u + X_p) = Z_p \quad (4)$$

ここに

X_i : 中性子との核反応で消滅した量(燃焼量)
(t/年)

Y_i : 装荷量 (t/年)

Z_i : 取出量 (t/年)

$i = u$: ^{235}U , p : 核分裂性プルトニウム

R : 転換比(核分裂性物質の消滅速度に対する生産速度の比, これが1より大きいと増殖比と呼ぶ)⁵⁾

一方, エネルギー生産のバランスから次式が成立する。

$$BP = 0.95 \times 10^6 \left(\frac{X_u}{1 + \alpha_u} + \frac{X_p}{1 + \alpha_p} \right) (1 + f) \quad (5)$$

ここに

α_i : 物質 i について核分裂反応に対する捕獲反応の比

f : 核分裂性物質の核分裂に対するその他の核種の核分裂(主として ^{238}U の高速核分裂)の比

前提とした平衡サイクル特性から Y_i, Z_i, B, P は与えられるので, X_u は(3)式より定まり, 残りの未知数 $X_p, R, \alpha_u, \alpha_p, f$ のうち3変数に値を設定すれば, 他の2変数は(4), (5)式より導ける。これら未知数のうち, 転換炉において原子炉の種類にそれほど大きく依存しないと思われるものは α_i と f であるので, これらを以下のように設定した⁶⁾。

HCR を除くすべての転換炉について

$$\alpha_u = 0.2, \alpha_p = 0.5, f = 0.05$$

HCR について

$$\alpha_u = 0.2, \alpha_p = 0.3, f = 0.1$$

以上の条件下で各転換炉での燃焼過程の核分

裂性物質バランスを算出した。結果を表3と表4に示す。この結果を用いてプルトニウムリサイクルの効果と未燃焼ウランのリサイクルの効果を分離して解析することが可能であるが, これについては後述する。ここでは ^{235}U と核分裂性プルトニウムを区別せず, 一括して核分裂性物質として扱い燃料リサイクル効果の基本特性を説明する。

(2) 転換比と核分裂性物質残存率

今, 平衡サイクルにおける核分裂性物質の燃焼量, 装荷量および取出量を各々 X, Y, Z とすれば

$$X = X_u + X_p : Y = Y_u + Y_p : Z = Z_u + Z_p \quad (6)$$

であり, (3), (4), (6)式より次式が導かれる。

$$Y - (1 - R)X = Z \quad (7)$$

ここで, 平衡サイクルにおける核分裂性物質残存率 β を次のように定義すれば,

$$\beta = \frac{(\text{平衡サイクル核分裂性物質取出量})}{(\text{平衡サイクル核分裂性物質装荷量})} = \frac{Z}{Y} \quad (8)$$

5) R の値は, 核分裂性物質に吸収される1個の中性子について, 核反応や炉外へのモレを考慮した中性子バランスを解析することで求められるが, ここでは, 前提とした平衡サイクルにおける積分量としての物質バランスから逆算する。

6) 参考文献[1]ではPWRにおける熱中性子に対する核種の実効特性値として次の α 値が示されている。

	α
^{235}U	0.2398
^{239}Pu	0.5430
^{241}Pu	0.3765

また, HCR では中性子スペクトルが硬いので核分裂性プルトニウムの α 値が小さくなる。これらを参考にして α の設定を行なった。また, 同参考文献ではPWRにおける高速核分裂係数として1.0476が示されている。これを参考に, 通常の転換炉については $f=0.05$ とした。ただしHCRでは高速核分裂効果が増えるので2倍の値を設定した。

表 3 平衡サイクルにおける核分裂性物質バランスと導出された平均炉物理パラメータ（ウラン燃料装荷原子炉について）

諸 元		炉 型		BWR	PWR	BWR (HB)	PWR (HB)	ABWR	APWR	ATR (U)	CANDU	GCR
装 荷 量 (Y)	^{235}U (t/年)	0.8511	0.8128	0.867	0.846	0.812	0.688	0.6374	1.2141	2.13		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	合 計 (t/年)	0.8511	0.8128	0.867	0.846	0.812	0.688	0.6374	1.2141	2.13		
燃 焼 量 (X)	^{235}U (t/年)	0.6066	0.5941	0.6782	0.6669	0.6726	0.5978	0.5826	0.8231	0.938		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	0.5003	0.4758	0.6093	0.5117	0.5330	0.5770	0.5937	0.8483	0.8576		
	合 計 (t/年)	1.1069	1.0699	1.2876	1.1786	1.2055	1.1748	1.1763	1.6714	1.7956		
取 出 量 (Z)	^{235}U (t/年)	0.2445	0.2187	0.1888	0.1791	0.1394	0.0902	0.0547	0.391	1.192		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	0.16	0.17	0.15	0.11	0.12	0.12	0.108	0.47	0.6		
	合 計 (t/年)	0.4045	0.3887	0.3388	0.2891	0.2594	0.2102	0.1627	0.861	1.792		
核分裂性物質残存率 ($\beta=Z/Y$)		0.4753	0.4782	0.3907	0.3418	0.3195	0.3055	0.2553	0.7092	0.8413		
サイクル平均転換比 (R)		0.5965	0.6036	0.5897	0.5275	0.5416	0.5933	0.5965	0.7887	0.8118		
サイクル平均 $\alpha(\sigma_c/\sigma_f)$ (核分裂性物質の中性子捕獲/核分裂比)		0.3193	0.3172	0.3255	0.3141	0.3164	0.3307	0.3347	0.3356	0.3267		

表 4 平衡サイクルにおける核分裂性物質バランスと導出された平均炉物理パラメータ（プルトニウム燃料装荷転換炉について）

諸 元		炉 型		LWR(Pu)	ATR(Pu)	HCR
装 荷 量 (Y)	^{235}U (t/年)	0.0530	0.1905	0.0374		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	0.3	0.512	1.8		
	合 計 (t/年)	0.3530	0.7025	1.8374		
燃 焼 量 (X)	^{235}U (t/年)	0.0209	0.1540	0.0249		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	0.3571	1.1311	1.0859		
	合 計 (t/年)	0.3780	1.2851	1.1108		
取 出 量 (Z)	^{235}U (t/年)	0.0320	0.0365	0.0125		
	核分裂性プルトニウム (t/年)	0.21	0.176	1.7		
	合 計 (t/年)	0.2420	0.2125	1.7125		
核分裂性物質残存率 ($\beta=Z/Y$)		0.6857	0.3025	0.9320		
サイクル平均転換比 (R)		0.7066	0.6187	0.8875		
サイクル平均 $\alpha(\sigma_c/\sigma_f)$ (核分裂性物質の中性子捕獲/核分裂比)		0.4795	0.4564	0.2976		

β と転換比 R との間に次の関係式が導ける。

$$1-\beta=(1-R)\frac{X}{Y} \quad (9)$$

各転換炉の平衡サイクルにおける β の値は表 3, 表 4 に示されている。

核分裂性物質残存率 β は転換率と呼ばれる場合もあるので、転換比 R と混同しないよう注意が必要である。原子炉の炉心特性である転換比 R は、厳密には各瞬間における核分裂性物質の消滅速度と生成速度の比であり、時間的に変化し得るものであるが、ここでは一定と仮定している。一方、核分裂性物質残存率 β は平衡サイクルでの核分裂性物質バランスを積分したもので平衡サイクルに対し一意に決まるが、転換比 R が一定であっても平衡サイクルにおける核分裂性物質の燃焼量が違えば変化する。(9) 式より明らかのように、転換炉においては装荷量 (Y) より燃焼量 (X) が多ければ β は R より小さくなる。表 3, 表 4 にみられるように、 X と Y の大小には原子炉の種類により様々な場合があり、軽水炉では、燃焼量 (X) が装荷量 (Y) より大きく、残存率 β は転換比 R より小さくなっている。燃料リサイクルによる資源利用効率向上の具体的な数値の算出において重要な役割をはたすのは核分裂性物質残存率 β の方であるが、利用効率を一般的に論じる理論的検討においては原子炉炉心特性から一意的に決まる転換比 R を用いるのが適切である。

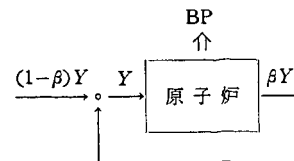
(3) 1 回リサイクル効率と無限回リサイクル効率

核分裂性物質残存率 β を用いて燃料のリサイクルによる資源利用効率の向上効果を算出する手順を示す。まず、原子炉 A_1 の使用済燃料から回収される核分裂性物質 βY を同じ原子炉 A_1 へ 1 回だけリサイクルする場合の効果を考える。この効果を表現する手段として、 βY

を A_1 と全く同じ平衡サイクル特性を持つ別の原子炉 A_2 への装荷燃料とすると考える。原子炉 A_2 の平衡サイクルにおける発生エネルギーは装荷する核分裂性物質の量に比例して A_1 より小さくなるので、 βPB である。原子炉 A_1 自身への 1 回のリサイクルでも βPB に相当する追加的なエネルギー発生があると考えられる。そして原子炉 A_2 の平衡サイクル取出燃料中の核分裂性物質 $\beta^2 Y$ を更に全く同じ平衡サイクル特性を持つ原子炉 A_3 に装荷し、以下これを続けるとすると、発生エネルギー量は $BP + \beta BP + \beta^2 BP + \dots = BP / (1 - \beta)$ に増大する(図 2 参照)。これは原子炉 A_1 で無限回のリサイクルを行なった場合に相当する⁷⁾。このような燃料リサイクルによるエネルギー増分は核分裂性物質 Y を源泉として、それ自身も燃焼し、かつ親物質である ^{238}U の一部をプルトニウムに変じて燃焼することで達成されている。転換炉の場合、リサイクル毎に必要な親物質質量も減少していくので、親物質の補給は取出し燃料からの回収でまかなうことができる。

ここで、源泉となる核分裂性物質 Y を天然ウラン中の ^{235}U を用いて供給すると考えれば(つまり、前提とした平衡サイクル特性のうち、ウラン燃料装荷原子炉について具体的に考えるとすれば)、原子炉 A_1 の平衡サイクルで必要

7) 無限回リサイクルは下図のように燃料リサイクルによるフィードバックの定常状態を想定したことと同等である。つまり、燃料リサイクル時の平衡サイクルにおける核分裂性物質の正味消費量あたりのエネルギー発生量は、図 2 のように特定の核分裂性物質に着目して考えると無限回リサイクル後に達成できるエネルギー量なのである。



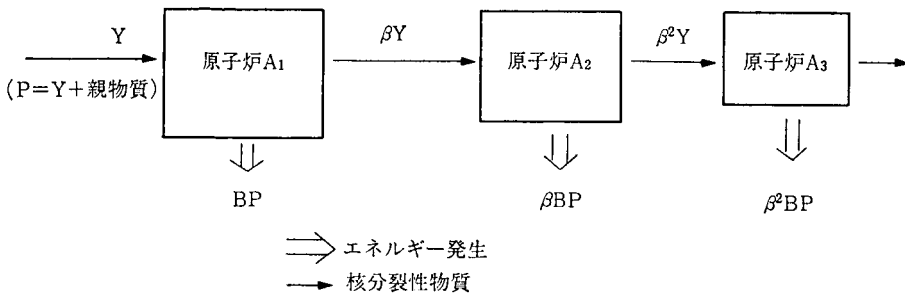


図 2 転換炉における燃料リサイクル効果

とする天然ウラン量は (1) 式で求められる F で与えられるのであるから、燃料を 1 回リサイクルする場合の効率 E_2 および無限回リサイクルする場合の効率 E_3 は以下の式で与えられることになる。

$$E_2 = \frac{BP + \beta BP}{0.95 \times 10^6 F} = E_1(1 + \beta) \quad (10)$$

$$E_3 = \frac{BP / (1 - \beta)}{0.95 \times 10^6 F} = \frac{E_1}{1 - \beta} \quad (11)$$

ウラン濃縮プロセスの廃棄濃度 (e_t) を 0.2% とした場合の 1 回リサイクル効率 (E_2) と無限回リサイクル効率 (E_3) の値を表 5 に示す。同表からわかるように、軽水炉高燃焼度化および新型軽水炉では、ワンスルー効率 (E_1) の向上は実現されるが、燃料リサイクルによる利用効率の向上は乏しく、1 回リサイクル効率と比較するとほぼ同等となり、無限回リサイクル効

率ではむしろ悪化することになる。

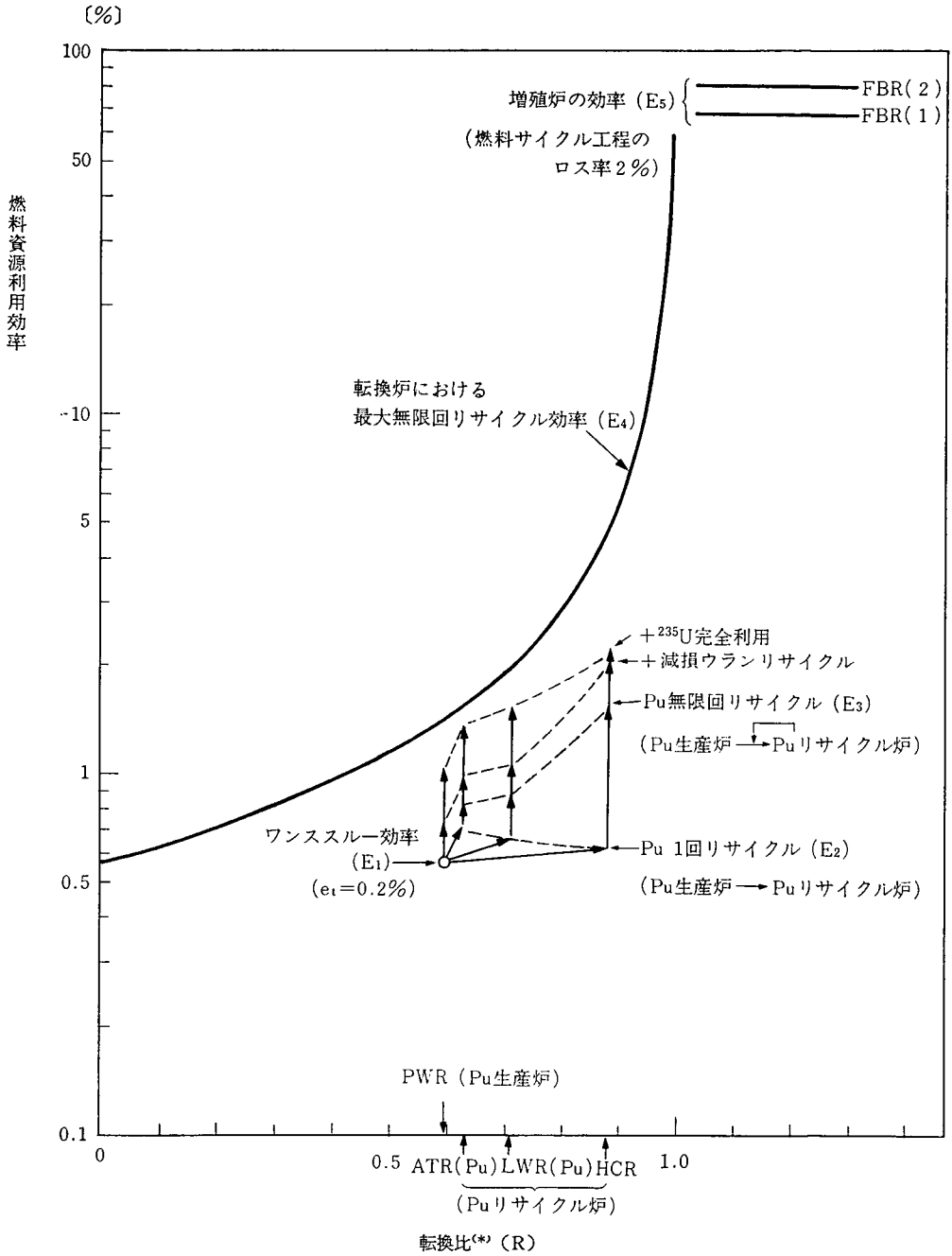
ただし、表 5 に示す転換炉における燃料リサイクル効果は、簡略化された基本式を適用するためのいくつかの条件下で算出されることに留意する必要がある。まず、ここでは ^{235}U 、 ^{239}Pu および ^{241}Pu という核分裂性核種間の特性の差は考慮されていない。現実には、原子炉の平衡サイクル特性は同一炉心でもリサイクルされる核分裂性物質の特性によって変化する。また、燃料リサイクルを考えるにあたって使用済燃料中の核分裂性物質はすべて回収・再利用されると仮定している。実際には、回収された ^{235}U を再利用する場合には再濃縮に伴うロスが発生するし、CANDU 炉や GCR の使用済燃料中の劣化ウランのように、天然ウランより低い濃縮度の回収ウランから ^{235}U を抽出して再利用するのは少なくとも現在の条件下では経済的

表 5 ウラン燃料装荷原子炉における燃料資源利用効率(*)

資源利用効率	炉 型									
	BWR	PWR	BWR(HB)	PWR(HB)	ABWR	APWR	ATR(U)	CANDU	GCR	
ワンスルー効率 (E_1) (%)	0.5656	0.5708	0.6375	0.5929	0.6357	0.7233	0.8103	0.7684	0.4737	
1 回リサイクル効率(**) (E_2) (%)	0.8344	0.8438	0.8866	0.7956	0.8388	0.9443	1.0172	1.3134	0.8722	
無限回リサイクル効率(***) (E_3) (%)	1.0780	1.0940	1.0463	0.9008	0.9342	1.0415	1.0882	2.6421	2.9851	

(*) ウラン濃縮プロセスの廃棄ウラン濃度 (e_t) が 0.2% の場合。

(**) 使用済燃料中のすべての核分裂性物質が回収され、リサイクルにおいてもワンスルー燃料サイクルの燃焼時と同じ炉物理パラメータで燃焼すると仮定する。



(*) 1 以上の場合は増殖比

図 3 原子炉における燃料資源利用効率

でない。後述するプルトニウム生産炉とプルトニウムリサイクル炉の組合せを考慮した検討および減損ウランの再濃縮リサイクルによる効果の解析によりここで述べた基本的考察の限界が補われるものと考えられる。

(4) 最大無限回リサイクル効率

燃料リサイクルを考慮した転換炉における燃料資源利用効率の基本検討の最後として、原子炉の炉心特性だけから定まる一般的表現を導く。

ウラン濃縮での ^{235}U 損失ゼロ、つまり $e_t=0$ の場合に実現される無限回リサイクル効率 E_4 を考える。 E_4 は転換炉が実現できる燃料資源利用効率の最高値である。(2)式と(11)式より

$$E_4 = \frac{e_f B}{0.95 \times 10^6 (1-\beta) e_p} = \frac{e_f B P}{0.95 \times 10^6 (1-\beta) Y} \quad (12)$$

となる。また、平衡サイクル平均の α (核分裂性物質の核分裂反応に対する捕獲反応の比) は次のように定義される。

$$\frac{X}{1+\alpha} = \frac{X_u}{1+\alpha_u} + \frac{X_p}{1+\alpha_p} \quad (13)$$

最大無限回リサイクル効率 E_4 は(5),(9),(12),(13)の各式を用いて次のように書き換えられる。

$$E_4 = \frac{e_f(1+f)}{(1-R)(1+\alpha)} \quad (14)$$

(14)式は転換炉における最大無限回リサイクル効率が、定数である天然ウランの ^{235}U 濃縮度 ($e_f=0.71\%$) と、原子炉の炉心特性を表わすパラメータ、 R 、 f 、 α だけから決まることを示している。転換炉の炉心特性の代表値として $f=0.05$ 、 $\alpha=0.3$ (α については表3、

表4に示す各炉についての算定値参照)と設定すると、 $E_4=0.57/(1-R)$ となる。このように、燃料資源利用効率は転換比 R のみの関数として表わされる事が多い(たとえば、参考文献[5])。これが燃料資源利用効率の基本式であるといつてよいであろう。ここで導いた基本式の形を図3に示す。

2.3 増殖炉における燃料資源利用効率

図1に示す核分裂性物質のバランスにおいて、核分裂性物質が燃焼して消滅する量より生成する量の方が大きい場合、つまり $R>1$ の場合を増殖と呼び、これを実現できる原子炉を増殖炉という。またこの時 R は増殖比と呼ばれる。

増殖炉における資源利用効率は核分裂性物質の量に制約されない。最初に核分裂連鎖反応を持続できるだけの核分裂性物質⁸⁾が与えられれば、消滅する量より多い核分裂性物質を親物質から生産することができる。天然に存在する親物質である ^{238}U (他に ^{232}Th もあるが本稿では扱わない)が、原子炉の中で行なう主な反応は核分裂性物質である ^{239}Pu に変わるか高速核分裂してエネルギー生産に寄与するかであり、その他の反応はほとんど行わず、大部分は未反応のまま取出される。したがって未反応の ^{238}U を回収して増殖炉へ装荷するというリサ

8) 核分裂連鎖反応を維持するための臨界量に加えて、それを次の燃料交換時まで維持するための余剰反応度分が必要である。これを炉内インベントリーという。また、増殖炉の場合のように、取替用の燃料は自己の増殖利得でまかなえる場合でも、燃料をとり出して再処理・再加工して再び装荷するまでに遅れが伴うので、その燃料サイクルの遅れに対応する初期取替燃料分の核分裂性物質を確保せねばならない。これを炉外インベントリーという。つまり、増殖炉の場合にも、原子炉を継続的に運転するためには、初期に炉内および炉外インベントリー用の核分裂性物質を確保せねばならない。原子炉システムが成長している時には、この初期インベントリー用の核分裂性物質需要が大きくなり、その需給バランスによってシステムの成長特性が制約される場合がある。

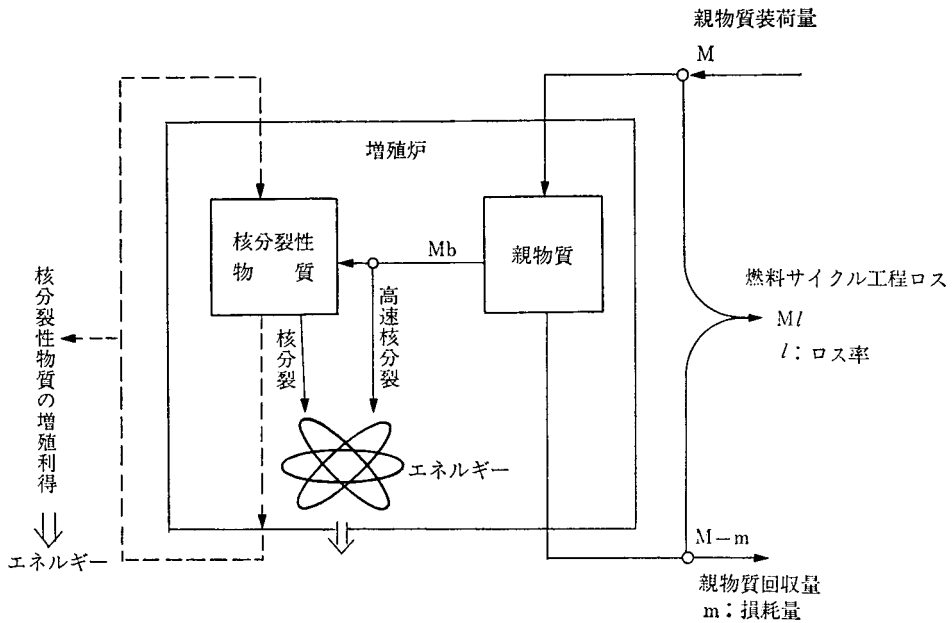


図 4 増殖炉の平衡サイクルにおける親物質バランス

イクルを繰り返せば、最終的には、高速核分裂でエネルギー生産するもの以外の ^{238}U のほとんどすべてを ^{239}Pu に変えることができる。生産された ^{239}Pu のうちには核分裂せずに ^{240}Pu になるもの（この比率が α_p ）もあるが、 ^{240}Pu は人工の親物質でこれも高速核分裂でエネルギー発生するもの以外はほとんどが核分裂性である ^{241}Pu に変わる。 ^{241}Pu のうち核分裂しないものは ^{242}Pu となり、最終的には超ウラン元素 (TRU) 廃棄物となる。但し TRU 廃棄物からもある程度の核分裂エネルギーを発生させることができる。このような親物質 ^{238}U の原子炉内での一連の反応を考慮すれば、増殖炉を用いることによって最終的には ^{238}U のほとんどすべてを核分裂させてエネルギー生産に寄与させることができる。高速増殖炉での反応条件を用いて ^{242}Pu までの連鎖を考慮した検討 [6] によれば ^{238}U の約 98% がエネルギー生産に寄与すると評価されている⁹⁾。

このような 100% 近い増殖炉における高い燃料資源利用効率は、燃料サイクル工程における燃料のロスを見逃して得られた理論値である。増殖炉の場合のように、何回も燃料リサイクルを行なうことで最終的に極めて高い燃料利用効率を実現される場合には、リサイクルを行なう燃料サイクル工程でのロス率の積み重なりが利用効率の上限を定めることになる。

今、図 4 のような増殖炉における親物質のバランスを考える。ここで、増殖炉内で反応した親物質は最終的にはすべて核分裂してエネルギー生産をすることを考える。つまり、燃料サイクル

9) より厳密に取扱うには、 ^{241}Pu の β 崩壊（半減期約 15 年）に関する考慮が必要である。半減期から算出すると、 ^{241}Pu は年間約 5% ずつ β 崩壊により核分裂性でない ^{241}Am に変化する。 ^{241}Am は、その後原子炉内でエネルギー生産に寄与する可能性もある。しかし、これを無視するとすれば、 ^{241}Pu の β 崩壊による燃料資源利用効率の損失は、 ^{241}Pu が生成してから中性子と反応して利用されるまでの期間が長くなる（たとえば、使用済燃料やプルトニウムの貯蔵などで）につれて増大し、最大では ^{238}U が ^{241}Pu になる割合（約 20% と概算される）にまで達し得ることになる。

工程中のロスを見捨てた理論効率は 100% と考
える。この場合、増殖炉における燃料資源利用
効率 E_s は、親物質損耗量 (m) に対する親物
質反応量 (M_b) の比率で与えられる。図 4 に
示す親物質バランスを考慮して結局次式を得
る。

$$E_s = \frac{M_b}{m} = \frac{M_b}{M_b + Ml} = \frac{\frac{M_b}{M}}{\frac{M_b}{M} + l} \quad (15)$$

ここに

M : 親物質装荷量

M_b : 親物質反応量

l : 燃料サイクル工程ロス率

m : 親物質損耗量 ($= M_b + Ml$)

(15) 式は、増殖炉における燃料資源利用効
率は燃料サイクル工程ロス率と、原子炉内での
親物質の反応率 (M_b/M) (これは親物質をす
べて反応させるために必要なリサイクル回数
の逆数である) によって決まることを示してい
る。表 2 に示す高速増殖炉の平衡サイクル特性
から算出すると炉心とブランケットを合計した
親物質の反応率は表 6 のように算出される。こ
こで、燃料サイクル工程におけるロス率 l を 2
% と仮定すると (15) 式から増殖炉における燃
料資源利用効率 E_s が求まる。表 6 に示した 2

表 6 増殖炉における親物質バランスと燃料資源
利用効率

炉型 諸元	FBR(1)	FBR(2)
^{238}U 装荷量 (t/年)	25.341	10.967
^{238}U 取出量 (t/年)	24.351	10.083
^{238}U 反応量 (t/年)	1.010	0.884
^{238}U 反応率 (%)	3.99	8.06
燃料資源利用効率(*) (E_s) [%]	67	80

(*) 燃料サイクル工程での ^{238}U ロス率を 2% と仮定

種の高速増殖炉 FBR(1) と FBR(2) について
各々 67% と 80% になる。

3. 転換炉におけるプルトニウム利用

転換炉におけるプルトニウム利用についてや
や詳しく検討する。まず、平衡サイクルで原子
炉が生産するエネルギーに占めるプルトニウム
燃焼によるもの分担比率を解析する。ウラン
燃料装荷の原子炉においても発生エネルギーの
かなりの割合が、原子炉内で ^{238}U から生産さ
れたプルトニウムの燃焼によって分担されてい
ることがわかる。次に、ウラン燃料装荷の原子
炉から回収されたプルトニウムをプルトニウム
燃料装荷の転換炉へ供給するシステムについ
て、プルトニウム回収再利用による燃料資源利
用効率向上の効果を評価する。前節の基本検
討では無視されていた ^{235}U と核分裂性プルトニ
ウムの特性の違いがここでは考慮される。

3.1 原子炉内でのプルトニウム燃焼

表 3 と表 4 とに示されている ^{235}U と核分裂
性プルトニウムの燃焼量から、それぞれが発生
したエネルギー量を算出できる。パラメータ
を用いて核分裂性物質以外の核種によるエネ
ルギー生産も算出して各転換炉における発生エ
ネルギー分担比率を求めた。結果を表 7 と表 8 に
示す。

表 7 より、現行のウラン燃料の軽水炉におい
てもプルトニウムがエネルギー生産の 1/3 強を
分担していることがわかる。在来型軽水炉での
燃料の取出平均燃焼度約 30,000 MWd/t を、
40,000~50,000 MWd/t の水準に引き上げる高
燃焼度化軽水炉や新型軽水炉ではプルトニウム
のエネルギー生産分担比率の向上が期待される
(参考文献 [9] 参照) のであるが、表 7 では
BWR(HB) と APWR において 40% 程度へ

表 7 ワンスルー燃料サイクルでの核種別発生エネルギー分担比率（ウラン燃料装荷原子炉について）

炉 型	BWR	PWR	BWR(HB)	PWR(HB)	ABWR	APWR	ATR(U)	CANDU	GCR
エネルギー発生源									
²³⁵ U の核分裂 (%)	57.4	58.0	55.4	59.0	58.3	53.7	52.5	52.2	55.0
核分裂性プルトニウムの核分裂 (²³⁹ Pu, ²⁴¹ Pu) (%)	37.9	37.2	39.8	36.2	37.0	41.5	42.8	43.0	40.2
その他の核種の核分裂 (主に ²³⁸ U の高速核分裂) (%)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

表 8 ワンスルー燃料サイクルでの核種別発生エネルギー分担比率（プルトニウム燃料装荷原子炉について）

炉 型	LWR(Pu)	ATR(Pu)	HCR
エネルギー発生源			
²³⁵ U の核分裂 (%)	6.5	13.8	2.2
核分裂性プルトニウムの核分裂 (²³⁹ Pu, ²⁴¹ Pu) (%)	88.7	81.4	88.7
その他の核種の核分裂 (主に ²³⁸ U の高速核分裂) (%)	4.8	4.8	9.1

の上昇がみられるだけで、傾向的な変化はみられない。これは表 1 の備考欄に示すように高燃焼度化と同時に長期サイクル運転を行なうという前提で平衡サイクル特性が与えられているためである。長期サイクル運転を行なうには、取出平均燃焼度が同一でも装荷燃料のウラン濃縮度を高める必要があり、その分 ²³⁵U のエネルギー分担比率が高まるのである。なお、重水炉とガス炉ではウラン燃料装荷の場合でもプルトニウムのエネルギー分担比率が 4 割を越えている。また、当然のことながらプルトニウム燃料装荷炉ではプルトニウム分担比率は高く 8 割を越える。中速中性子炉である高転換炉 (HCR) では ²³⁸U の高速核分裂の寄与の増大も期待できる。

3.2 プルトニウムリサイクルによる効率向上

ウラン燃料装荷の転換炉（プルトニウム生産炉）から回収されたプルトニウムをプルトニウム燃料装荷の転換炉（プルトニウムリサイクル

炉）へ供給する図 5 のような原子炉システムを考える。プルトニウム 1 回りサイクルケースにおいては、プルトニウムはプルトニウムリサイクル炉で 1 回使用されるだけでリサイクル炉の使用済燃料からのプルトニウム回収は行なわない。プルトニウム無限回りサイクルケースではリサイクル炉の使用済燃料中のプルトニウムも回収再利用する。そして、プルトニウム生産炉とプルトニウムリサイクル炉の相対規模は核分裂性プルトニウムの供給と需要が丁度バランスするような比率に設定する。このような原子炉システムに対して平衡サイクルにおける発生エネルギー量を、システムが所要する天然ウラン量の持つ潜在エネルギーで除して、燃料資源利用効率を求めた。

プルトニウム生産炉としては、CANDU と GCR を除いた 7 種のウラン燃料装荷転換炉を考慮し、3 種のプルトニウム燃料装荷転換炉 (LWR(Pu), ATR(Pu), HCR) とのすべての組合せについて燃料資源利用効率を算出し

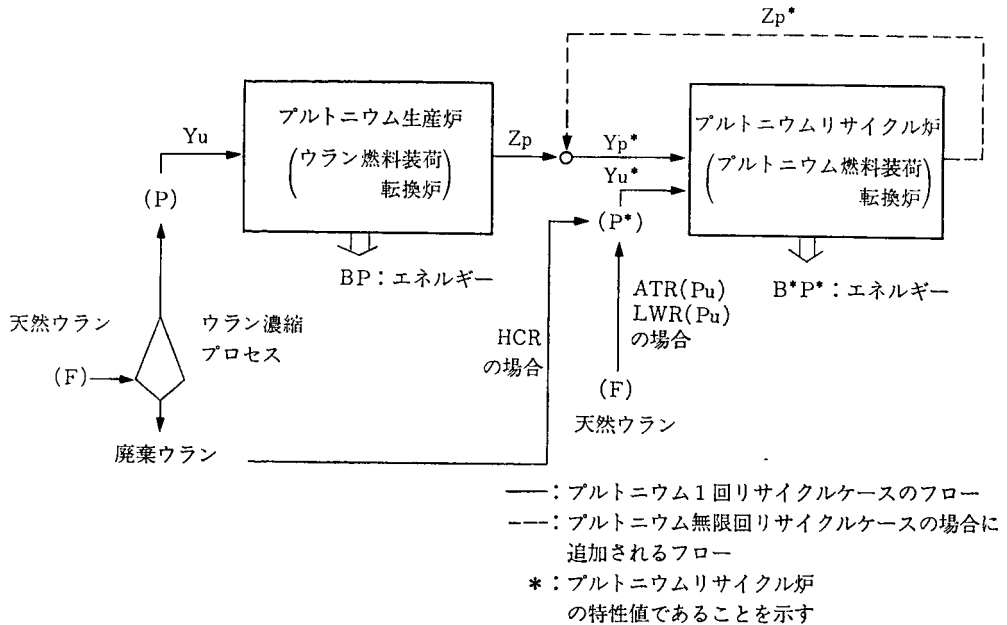


図5 プルトニウム生産炉とリサイクル炉とからなる原子炉システムにおける核分裂性物質のフロー

表9 ウラン燃料装荷原子炉から回収されたプルトニウムをプルトニウム燃料装荷原子炉へリサイクルする場合の燃料資源利用効率(*) (単位: %)

リサイクル方式	Pu 生産炉							
	Pu リサイクル炉	BWR	PWR	BWR(HB)	PWR(HB)	ABWR	APWR	ATR(U)
ワンスルー効率	—	(0.5656)	(0.5708)	(0.6375)	(0.5929)	(0.6357)	(0.7233)	(0.8103)
プルトニウム1回リサイクル(**) (プルトニウムリサイクル炉の使用済燃料中のプルトニウムは回収再利用しない)	LWR(Pu)	0.6411	0.6541	0.7049	0.6438	0.6930	0.7887	0.8743
	ATR(Pu)	0.7132	0.7331	0.7694	0.6931	0.7482	0.8511	0.9352
	HCR	0.6193	0.6304	0.6865	0.6291	0.6772	0.7723	0.8598
プルトニウム無限回リサイクル(**) (プルトニウムリサイクル炉から回収されるプルトニウムもリサイクルする)	LWR(Pu)	0.8034	0.8360	0.8509	0.7560	0.8184	0.9303	1.0129
	ATR(Pu)	0.7846	0.8110	0.8337	0.7429	0.8037	0.9133	0.9960
	HCR	1.5329	1.6423	1.5203	1.2451	1.3828	1.6051	1.7009

(*) ウラン濃縮プロセスの廃棄ウラン濃度が0.2%の場合。

(**) 回収されたウランのリサイクル効果は考慮していない。

た。結果を表9に示す。なお、ここでは使用済燃料中のウランの回収・再利用の効果は考慮していない。濃縮プロセスの廃棄ウラン濃度は0.2%とした。

表9から以下の傾向が観測される。

ウラン燃料装荷軽水炉で生産したプルトニウムを軽水炉へリサイクルすると燃料資源利用効率は1回リサイクルで10~15%向上して0.65~0.8%の水準となり、無限回リサイクルでは30~45%向上して0.75~0.9%の水準になる。

ワンスルー効率を高めた転換炉をプルトニウム生産炉として用いるとプルトニウムリサイクルによる効率改善度合は減る。これは前節の基本的検討における傾向と一致している。

新型転換炉 ATR(Pu) をプルトニウムリサイクル炉として用いると1回リサイクルでの効率は軽水炉ヘリサイクルする場合より良くなるが、無限回リサイクルケースでは軽水炉リサイクルより劣る。これは ATR(Pu) では、転換比 R に較べて核分裂性物質残存率 β が半分程度に小さくなっていることから推察されるように、1回のリサイクルだけでプルトニウムを十分に燃焼させているからである。

高転換炉 (HCR) をプルトニウムリサイクル炉として用いる場合は、1回リサイクルケースの効率は3種のリサイクル炉の中で最も悪いが、無限回リサイクルケースでは最高の利用率となり 1.2~1.7% という水準の燃料資源効率を達成する。これは HCR は転換比は高いが、装荷プルトニウム量が多く残存率も高いことから、その使用済燃料中の核分裂性物質を回収・再利用しなければ、潜在的な高い効率を実現できないためである。

4. ^{235}U 損失の回収

プルトニウムリサイクルの効果を検討した図5に示すような原子炉システムについて、更に使用済燃料中の ^{235}U も回収再利用する場合の燃料資源利用効率を検討する。まず、 ^{235}U 濃縮度が天然ウラン (0.71%) より高い減損ウランのみを回収再利用する場合を解析し、次いでウラン濃縮プロセスの廃棄ウラン中の ^{235}U を含めてすべての ^{235}U を完全回収再利用する場合を考える。

4.1 減損ウランリサイクルによる効率向上

使用済燃料中に残る未燃焼のウランの ^{235}U 濃縮度が天然ウラン (0.71%) より高い場合 (このようなウランを減損ウランということにする)、天然ウランの代わりにこれを再濃縮して再使用すれば天然ウランの節約になるだけでなく濃縮役務量の節約にもなる。プルトニウムリサイクルとらんで減損ウランの再濃縮・リサイクルも現実的な燃料リサイクル方式として興味を持たれている。

減損ウランが発生するのはウラン燃料装荷転換炉のうち BWR, PWR, BWR(HB), PWR(HB), ABWR の5種である。これら5種をプルトニウム生産炉とし、LWR(Pu), ATR(Pu), HCR の3種をプルトニウムリサイクル炉とする原子炉システムにおいて、減損ウラン再濃縮・リサイクルをプルトニウムリサイクルに合わせて行なう場合について燃料資源利用効率を算出した結果を表10に示す。なお、濃縮プロセスの廃棄濃度は0.2%とした。

表10よりわかるように、減損ウランリサイクルを行えばプルトニウムリサイクルを行わずとも0.7%を越える燃料資源利用効率を達成できる。これはプルトニウムの1回リサイクルの場合よりは良い値である。また、在来型軽水炉をプルトニウム生産炉としてプルトニウム無限回リサイクルと組合せると、LWR(Pu), ATR(Pu) をリサイクル炉として用いる場合で1%程度、HCR を用いる場合には2%程度の資源利用効率を達成することができる。しかし、ワンスルー効率を高めた高燃焼度化と新型軽水炉は一般的に効率向上の度合が小さい。

4.2 ^{235}U の完全利用の効果

レーザー法などウラン濃縮分野で今後大きな技術革新が行なわれる可能性がある。その場

表 10 プルトニウムリサイクルおよび減損ウランリサイクル^(*)を実施する場合の燃料資源利用効率
(単位：%)

リサイクル方式	Pu 生産炉		BWR	PWR	BWR(HB)	PWR(HB)	ABWR
	Pu リサ イクル炉						
減損ウランリサイクル ^(**)	—		0.7437	0.7349	0.7699	0.7226	0.7318
プルトニウム 1 回リサイクル ^(***) (プルトニウムリサイク ル炉の使用済燃料中の プルトニウムは回収・ 再利用ない)	LWR(Pu)		0.8363	0.8355	0.8473	0.7816	0.7954
	ATR(Pu)		0.9228	0.9288	0.9203	0.8383	0.8561
	HCR		0.8143	0.8115	0.8292	0.7667	0.7795
プルトニウム 無限回リサイクル ^(***) (プルトニウムリサイク ル炉から回収されるプ ルトニウムもリサイク ルする)	LWR(Pu)		1.0309	1.0447	1.0125	0.9105	0.9333
	ATR(Pu)		1.0076	1.0197	0.9925	0.8951	0.9168
	HCR		2.0155	2.1143	1.8361	1.5174	1.5917

(*) 濃縮プロセスの廃棄ウラン濃度は0.2%とし、回収ウランのうち濃縮度が天然ウラン(0.71%)より高いもののみ再濃縮して Pu 生産炉にリサイクルすると考える。

(**) プルトニウムリサイクルなし (***) Pu 生産炉のウランリサイクルも同時に行なう

合、濃縮役務費用が大幅に低下し、天然ウラン以下の濃度の劣化ウランも、現行濃縮プロセスの廃棄ウランまでも含めて再濃縮して再利用することが経済的に成立するかも知れない。このようなケースを想定して、濃縮プロセスでのロス分も含めて ²³⁵U が完全回収再利用される場

合の燃料資源利用効率を算定した。結果を表 11 に示す。

表 11 より ²³⁵U の完全利用の効果を以下のよう述べることができる。

²³⁵U の完全利用が可能になると、ワンスルー効率でみても、在来型軽水炉の効率が 0.7

表 11 プルトニウムリサイクルおよび ²³⁵U の完全利用^(*)を実施する場合の燃料資源利用効率
(単位：%)

リサイクル方式	Pu 生産炉		BWR	PWR	BWR(HB)	PWR(HB)	ABWR	APWR	ATR(U)
	Pu リサ イクル炉								
ワンスルー効率	—		0.7349	0.7450	0.8353	0.7903	0.8408	0.9566	1.0309
回収 ²³⁵ U 完全リサイクル ^(**)	—		1.0312	1.0193	1.0678	1.0026	1.0151	1.1009	1.1277
プルトニウム 1 回リサイクル ^(***) (プルトニウムリサ イクル炉の使用済 燃料中のプルトニ ウムは回収・再利 用しない)	LWR(Pu)		1.1770	1.1775	1.1898	1.0947	1.1145	1.2114	1.2295
	ATR(Pu)		1.2696	1.2772	1.2677	1.1572	1.1811	1.2816	1.2939
	HCR		1.1096	1.1045	1.1332	1.0523	1.0686	1.1599	1.1819
プルトニウム 無限回リサイクル ^(***) (プルトニウムリサ イクル炉から回収 されるプルトニウ ムもリサイクルす る)	LWR(Pu)		1.4976	1.5235	1.4607	1.3018	1.3372	1.4577	1.4572
	ATR(Pu)		1.3810	1.3967	1.3629	1.2325	1.2615	1.3682	1.3741
	HCR		2.1215	2.1815	2.0113	1.7568	1.8178	1.9677	1.9355

(*) 濃縮プロセスの廃棄ウラン濃度をゼロ(つまり ²³⁵U の損失なし)とし、リサイクルケースでは Pu 生産炉および Pu リサイクル炉からの回収ウラン中の ²³⁵U はすべて再濃縮して Pu 生産炉へリサイクルすると考える。

(**) プルトニウムリサイクルなし (***) ウランリサイクルも同時に行なう

% を越え、高燃焼度化で 0.8% 程度になり、新型軽水炉や新型転換炉 ATR(U) では 1% 近くの値になる。また、使用済燃料中の未燃焼ウランの回収を考慮すれば、プルトニウムリサイクルなしでも効率ほどの転換炉においても 1% を越える。プルトニウムリサイクルの効果を重ね合わせれば、更に燃料資源利用効率の向上が可能で、HCR でのプルトニウム無限回リサイクルと組合せることで最大の効率となり 1.8~2.2% の水準を達成することができる。

5. 結 語

原子炉および燃料サイクルにおける核分裂性物質の生成と消滅およびロスを表わす基本的な特性に基づいて燃料資源利用効率の考察を行なった。本報告で算定した燃料資源利用効率は次のようなものである。燃料リサイクルの効果を考えないワンスルー効率、転換炉での燃料リサイクル効果の基本特性、増殖炉での燃料資源利用効率、プルトニウム生産炉とプルトニウムリサイクル炉を組合せたシステムにおけるプルトニウム利用や未燃焼ウラン回収再利用の効果。

図 3 に以上の諸効率の算定結果の一部がまとめて示されている。同図から分かるように、現在のウラン燃料の軽水炉では、天然ウランの潜在エネルギーの 0.5~0.6% しか利用されていない(ワンスルー効率)。しかし、燃料サイクルの開発を行なって ^{235}U の完全回収利用をはかれば、1% 程度までに利用効率を向上させることが可能であり、更にプルトニウムを回収して再利用すれば転換炉の範囲内でも、2% 程度まで利用効率を高めることができる。天然ウランの潜在エネルギーは同重量の石油の約 200 万倍であるから、現在の軽水炉でのワンスルー

利用では天然ウランは同重量の石油の約 1 万倍程度の価値であるが、燃料サイクルの確立によってプルトニウムと燃え残りのウランを回収して徹底利用する技術が実用化すれば、転換炉の範囲でも天然ウランに石油の約 4 万倍のエネルギー価値を付与することができるのである。このように、技術の水準によって資源の価値が変化するという原子力の特徴は、増殖炉について最も明瞭に現われる。図 3 に示されているように、増殖炉技術がその燃料サイクルも含めて実用化されれば、燃料資源利用効率は現在の軽水炉でワンスルー利用する場合の 100 倍以上の 70~80% の水準となる。つまり増殖炉の実用化によって天然ウランのエネルギー価値が 100 倍以上に高まるのである。

本報告では、このような、技術によってエネルギーを創り出すという原子力の特徴を、システム規模が一定の定常状態条件(平衡サイクル特性)を仮定して簡略化モデルにより具体的数値を算出して示した。結果を現実の原子力利用における資源利用効率評価に適用するには留意が必要である。まず、現実の原子力システムには規模の変化がある。システム規模の変化がある場合に、新たに考慮せねばならない最も重要な因子は、原子炉と燃料サイクルの初期インベントリーである。特にシステム規模が急速に拡大している場合には、初期インベントリー用の燃料所要量が大きくなり、定常状態の特性を隠してしまう。また、ここで用いた燃料バランスを表現するモデルは ^{235}U と核分裂性プルトニウムのフローを基本とする極めて簡略化されたものである。平衡サイクルにおける積分量としての物質バランスは前提とした特性に一致しているが、高速核分裂効果や α など中性子反応に関する炉心特性は有効数字 1 桁程度の粗い推

定値を設定している。したがって燃料資源利用効率について厳密な値が必要な場合には、別途精密なモデルで再計算すべきである。なお、本報告のモデルでは、プルトニウムについて同位体組成の違いを考慮せず、核分裂性プルトニウム量のみに着目している。燃料資源利用効率が高まるにつれて原子力のエネルギー生産に占めるプルトニウムの役割は増大していく。したがって、同位体組成も考慮してプルトニウムのエネルギー生産における役割をより精緻に評価することは、今後の重要な課題であると考えられる。

参考文献

- [1] Benedict, M. et al., "Nuclear Chemical Engineering", 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc. (1981) (清瀬量平訳, 「原子力化学工学(第I分冊)核燃料サイクルの化学工学」日刊工業新聞社(1983))
- [2] 花房啓一, 「原子力開発の長期戦略(2)―核燃料サイクル諸量の計算結果―」, 原子力工業, 31, 2 (1985)
- [3] Klumpp, P., "Analysis of the Macro- and Microeconomic Aspects of Advanced Pressurized Water Reactors", Nuclear Technology, 71 (Oct. 1985)
- [4] OECD, Nuclear Energy Agency, "Nuclear Energy and Its Fuel Cycle, Prospects to 2025" (1982)
- [5] Oldekop, W. et al., "General Features of Advanced Pressurized Water Reactors with Improved Fuel Utilization", Nuclear Technology, 59 (Nov. 1982)
- [6] 山地憲治, 「原子炉システムにおける核燃料資源利用効率の分析」, 電力中央研究所報告 研究報告 577003 (1977)
- [7] 山地憲治, 「核燃料サイクルからみた原子力長期戦略の分析」, 電力中央研究所報告 研究報告 578002 (1979)
- [8] 山地憲治, 「核燃料サイクルの動特性について」, 電力経済研究 15, (1980)
- [9] 山地, 松村「軽水炉燃料高燃焼度化の経済性評価」電力経済研究, 18 (1985)

(やまじ けんじ
経済部
エネルギー研究室)

経済研究所既刊 論文・資料

電力経済研究

No. 1	<p>電研マクロ・モデル：1958. I ~ 1968. II</p> <p>電力需要予測モデル</p> <p>電気事業の企業モデル</p> <p>大規模広域利水計画</p> <p>(文献紹介) ラルフ・ターベイ：「電力供給の最適価格形成と最適投資」</p> <p>(資料紹介) 池島晃：「世界エネルギー需給予測図表および日本エネルギー需給予測図表」</p>	<p>内田・建元</p> <p>大澤・内田・斎藤(観)</p> <p>大澤・内田・富田</p> <p>本間・高橋(和)・瀬尾</p> <p>川崎和男</p> <p>星野正三</p>	47. 8.
No. 2	<p>エネルギーと原子力 その1</p> <p>人間環境システムの一般理論をめざして</p> <p>数理計画法最近の話題</p> <p>過疎化過程の分析</p> <p>(研究ノート) アメリカ国際収支動向(1950~69)に関する研究ノート</p> <p>(文献紹介) セルジュ・クリストフ・コルム：最適公共料金</p> <p>米国「環境の質に関する委員会」第3回年次報告</p>	<p>高橋 實</p> <p>天野博正</p> <p>今野 浩</p> <p>根本・荒井・直井</p> <p>斎藤隆義</p> <p>斎藤雄志</p>	47. 12.
No. 3	<p>エネルギーと原子力 その2</p> <p>電研マクロ・モデル 1972</p> <p>全国四地域計量モデル</p> <p>あいまいな量の計測と処理をめぐって</p> <p>混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成</p> <p>(研究ノート) 電気事業の企業モデルによるシミュレーション</p> <p>公益事業における価格形成と所得分配の公正</p> <p>(文献資料紹介) 発電所温排水の都市利用</p> <p>ベトナム共和国電力事情調査団報告書</p>	<p>資料室</p> <p>高橋 實</p> <p>矢島 昭</p> <p>斎藤(観)・熊倉・阿波田</p> <p>斎藤雄志</p> <p>小川・大山</p> <p>富田輝博</p> <p>富田輝博</p> <p>根本和泰</p> <p>川崎・三浦</p>	48. 7.
No. 4	<p>エネルギーと原子力 その3</p> <p>電力労働者の意識構造一判別分析による</p> <p>最適経済成長と環境問題</p> <p>過疎集落住民の「残留」と「移動」の意識構造</p> <p>(研究ノート) 企業の社会監査と外部報告</p> <p>公共経済学に関する若干の論文の検討</p> <p>(文献資料紹介) ロナルド・エル・ミック：新しい電気の卸供給料金</p>	<p>高橋 實</p> <p>大澤・小田島</p> <p>西野義彦</p> <p>根本和泰</p> <p>廿日出芳郎</p> <p>荒井泰男</p> <p>矢島正之</p>	48. 12.

No. 5	<p>特集 電源立地問題</p> <p>電源立地システムの設計方法—モデルビルディングの試み</p> <p>電源立地反対運動とその論理構造—内容分析と一対比較法による分析—</p> <p>(研究ノート) 電源立地のための新しい地点選定の方法</p> <p>広域環境調査についてのリモートセンシングの適用</p> <p>米国電気事業と電源立地問題—アンケート調査に関連して</p> <p>(文献資料紹介) D. H. マークス, G. H. ジルカ: 発電立地のためのスクリーニング・モデル—環境基準と立地点選定モデル</p> <p>S. シュナイダー: [i] 航空機と宇宙衛星からの環境のコントロール</p> <p>A. H. アルドレッド: [ii] 宇宙からの遠隔探査の世界参画</p> <p>W. A. フィッシャー: [iii] 遠隔探査の現状</p>	<p>天野 博 正</p> <p>三辺・根本・斎藤(雄)</p> <p>根 本 和 泰</p> <p>水 無 瀬 綱 一</p> <p>高 橋 眞 砂 子</p> <p>根 本 和 泰</p> <p>水 無 瀬 綱 一</p>	49. 3.
No. 6	<p>エネルギーと原子力 その4</p> <p>大規模企業の経営理念—日独両国の電気事業経営者の経営理念</p> <p>投資の最適地域配分—関西地域におけるケース・スタディー—</p> <p>Determinants of Wage Inflation—A Disaggregated Model for UK: 1964-1971</p> <p>(研究ノート) 企業合併の評価モデル</p> <p>電源立地のパブリック・アクセプタンス—発電所イメージ調査結果</p> <p>(文献資料紹介) 米国「環境問題諮問委員会」第4回年次報告</p> <p>米国「環境問題諮問委員会」: エネルギーと環境—電力を中心として</p>	<p>高 橋 實</p> <p>斎藤(統)・大森・廿日出</p> <p>大澤・斎藤(観)・阿波田</p> <p>内 田 光 穂</p> <p>廿 日 出 芳 郎</p> <p>根 本 和 泰</p> <p>資 料 室</p> <p>大 島 英 雄</p>	49. 9.
No. 7	<p>特集 エネルギー問題</p> <p>エネルギーと原子力 その5</p> <p>原油資源支配構造の変動と International Majors の新動向</p> <p>発電所熱利用システムの調査</p> <p>(文献資料紹介) N地域大型エネルギー基地計画調査—昭和47年度調査報告—</p> <p>N地域大型エネルギー基地計画調査—昭和48年度調査報告—</p>	<p>高 橋 實</p> <p>山田・廿日出・松井・古閑</p> <p>水無瀬・平野</p> <p>水 無 瀬 綱 一</p> <p>平 野 陸 弘</p>	50. 3.
No. 8	<p>特集 電気料金問題</p> <p>「電気料金問題特集号」に寄せて</p> <p>電気料金理論の新展開</p> <p>負荷曲線と電気料金</p> <p>新しい電気料金制度をめぐる諸問題</p>	<p>外 山 茂</p> <p>西 野 義 彦</p> <p>大澤悦治・佐久間孝</p> <p>大 澤 悦 治</p>	50. 7.

	<p>電気料金改定の波及効果 (研究ノート) 従量電灯におけるブロック料金算定モデルとシミュレーション (研究ノート) 電力需要の価格分析 (研究ノート) 電気事業個別原価計算の推移 (会議報告) ユニベデ電気料金会議 (1975年4月) (文献資料紹介) 電力需要の価格分析:サーベイ (文献資料紹介) 最近のフランスの電気料金制度について</p>	<p>富田輝博 森清堯 斎藤観之助 植木滋之 矢島昭 斎藤観之助 荒井泰男</p>	
No. 9	<p>エネルギーと原子力 その6 2水槽式波力発電とその経済性 企業の価格政策と管理価格インフレーション (研究ノート) 電研マクロ・モデル改訂についての作業メモ (研究ノート) 環境権に関する覚書——環境権論の社会的背景の一側面—— (文献資料紹介) N地域大型エネルギー基地計画調査 (文献資料紹介) 電気事業関連年表</p>	<p>高橋 實 本間 尚雄 富田輝博 矢島 昭 三 辺 夏雄 水無瀬綱一・天野博正 高橋 和 助</p>	50. 9.
No. 10	<p>特集 電力需要問題 「電力需要問題特集号」に寄せて 第1章 作業全般についての子備的考察 第2章 中期モデルとシミュレーション分析 第3章 産業モデルによる電力需要の分析 第4章 大口電力需要の産業別分析 第5章 電力需要の短期・長期の弾力性について 第6章 電灯需要の分析 第7章 従量電灯使用量分布に関する二、三の考察 第8章 アンケート調査および使用電力量調査の設計と実施 第9章 電灯需要のアンケート調査と使用量調査 第10章 小口電力アンケート調査:需要変動要因の分析 第11章 大口電力需要アンケート調査</p>	<p>大澤悦治 矢島 昭 内田光穂 熊倉修・浜田宗雄 富田輝博 西野義彦 阿波田禾積 服部常晃 森清堯 荒井泰男 荒井泰男 植木滋之・横内靖博 阿波田禾積 植木滋之・横内靖博</p>	51. 10.
No. 11	<p>社会的紛争の基本的性質について 家庭用エネルギー需要の所得階層別分析 戦前の国際石油産業の構造と運営 送電線ルート選定モデル 電気料金変化の動学的波及分析 (海外出張報告) 主要先進国における原子力開発の最近の動向とパブリック・アクセプタンス</p>	<p>斎藤雄志 服部常晃 廿日出芳郎 天野博正・水無瀬綱一 西野義彦・富田輝博 根本和泰</p>	52. 3.

No. 12	<p>(文献資料紹介) 電気・ガス料金と低所得者層——英国の「電気・ガス料金作業部会」報告要旨——</p> <p>日本の電気事業における原子力発電の発電原価と火力発電の発電原価の考察</p> <p>新聞記事および雑誌論文における原子力発電の安全性論争の内容分析</p> <p>(研究ノート) 投資の乗数効果</p> <p>(研究抄録) Carter 大統領の「新エネルギー政策」の国際的側面</p> <p>組み合わせ理論における一問題一部分ラテン方格の拡張可能性について</p> <p>原子炉システムにおける核燃料資源利用効率の分析</p>	<p>小倉 静雄</p> <p>高橋 實</p> <p>根本 和泰</p> <p>矢島 昭</p> <p>山田恒彦・廿日出芳郎・白石エリ子</p> <p>大山 達雄</p> <p>山地 憲治</p>	52. 9.
No. 13	<p>紙・パルプ産業におけるエネルギー消費</p> <p>化学工業と電力——需要価格効果をめぐって——</p> <p>(研究ノート) 電研マクロ・モデルによるシミュレーション分析</p> <p>スペース・ミラー (仮称) による大量エネルギー取得の可能性——リチウム・ロケットの技術について——</p> <p>(海外出張報告) 最近における電気料金制度の動向</p> <p>長期エネルギー需給の展望</p> <p>(研究抄録) 電源立地計画案作成手法の開発——必要性と妥当性に基づく優先順位決定手法——</p> <p>電力会社の従業員の仕事意識——日独両国の比較——</p> <p>沿岸漁業の構造変化—愛知県南知多町師崎の調査報告—</p>	<p>熊倉 修</p> <p>浜田 宗雄</p> <p>矢島 正之</p> <p>高橋 實</p> <p>大澤 悦治</p> <p>小川 洋</p> <p>天野 博正</p> <p>斎藤 統・大森賢二野原 誠</p> <p>熊倉修・朝倉タツ子</p> <p>西野義彦・富田輝博</p> <p>大山達雄</p>	53. 10.
No. 14	<p>長期限界費用の計測と電気料金問題</p> <p>電力施設のための景観アセスメント手法</p> <p>(研究ノート) ドイツ・オーストリアにおける公企業研究の展開</p> <p>(研究抄録) 琵琶湖疏水ならびに蹴上発電所の技術について</p> <p>核燃料サイクルからみた原子力長期戦略の分析</p> <p>西ドイツの原子力発電訴訟</p> <p>日本経済の長期成長モデル</p> <p>環境アセスメントの評価項目の特定方法について</p> <p>評価関数の開発と評価システムの設計</p> <p>評価手法の信頼性に関する研究</p>	<p>若谷 佳史</p> <p>矢島 正之</p> <p>本間 尚雄</p> <p>山地 憲治</p> <p>斎藤 統</p> <p>阿波田 禾積</p> <p>天野 博正</p> <p>天野博正・若谷佳史</p> <p>若谷 佳史</p>	54. 11.
No. 15	<p>核燃料サイクルの動特性について</p> <p>石油価格モデル —その1—</p> <p>沖合漁業における漁業労働関係の実態</p> <p>賦課金・補助金制度による水質保全——フランスの流域金融公社について——</p> <p>地域経済の長期分析——手法としての投資の最適地域配分論——</p>	<p>山地 憲治</p> <p>佐和隆光・荒井泰男</p> <p>三 辺 夏 雄</p> <p>熊倉 修</p> <p>斎藤 観之助</p>	55. 5.

No. 16	<p>発電所の景観評価</p> <p>発電所立地と地元への対応策 —地元漁協との立地交渉に関するモデル分析—</p> <p>発電所立地に伴う地域社会経済の変化</p> <p>電力需要変動の要因分析</p> <p>(文献紹介) 新発電システムの比較研究と評価(要約)</p> <p>(文献紹介) 現代経済の病理を考える —L. C. サロー『ゼロ・サム社会』(岸本重陳訳)を読んで—</p>	<p>若谷佳史・山本公夫 若谷佳史・山中芳朗 荒井泰男・斎藤観之助 植木滋之・牧野文夫 内山洋司 伊藤成康</p>	57. 5.
No. 17	<p>特集 エネルギー問題</p> <p>長期エネルギー需給展望の方法</p> <p>新エネルギー技術評価手法の体系化 —経済性評価手法の開発と石炭新発電方式への試算例—</p> <p>国際石油市場のモデル分析</p> <p>原油値下がりへの日本経済に及ぼす影響 (海外情勢) 国際石油市場における OPEC</p> <p>(新モデル紹介) 原子力発電コストモデル</p> <p>(研究ノート) 停電コスト評価—最適供給信頼度レベルの決定—</p> <p>(研究ノート) 自然独占の理論と電気事業—火力発電の費用関数—</p>	<p>斎藤雄志 内山洋司・斎藤雄志 熊倉修 服部常晃・伊藤成康 廿日出芳郎 矢島正之・牧野文夫 西野義彦・植木滋之 牧野文夫</p>	58. 7.
No. 18	<p>所得階層別電灯需要の分析</p> <p>夏季電力需要の気象要因分析</p> <p>発電所立地の社会経済影響予測</p> <p>米国電気事業における公衆参加</p> <p>新発電技術の総合評価 —微粉炭火力と石炭ガス化複合発電の比較評価—</p> <p>軽水炉燃料高燃焼度化の経済性評価</p> <p>電力需要動向と電源構成</p> <p><新モデル紹介></p> <p>電研中期多部門計量経済モデルの構想</p>	<p>服部常晃・桜井紀久 小野賢治・森清堯 大河原透・中馬正博 高橋真砂子 内山洋司 山地憲治・松村哲夫 斎藤雄志・大庭靖男 七原俊也・伊藤浩吉</p>	60. 1.
No. 19	<p>フランスの電気料金 —最近の料金制度改訂を中心として—</p> <p>ロードマネジメントとその費用便益分析</p> <p>主成分分析による財務指標総合化の試み —アメリカ電気事業への適用—</p> <p>発電所の景観設計手法</p> <p>電力需要分析のための新しいデータ解析手法</p> <p>河川景観の評価</p>	<p>井澤裕司 熊倉修 浅野浩志 関口博正 山本公夫・若谷佳史 小野賢治・大屋隆生 若谷佳史・山本公夫 山中芳朗</p>	60. 7.

No. 20	<p>電気事業の設備投資と資金調達</p> <p><新モデル紹介></p> <p>中期電力需要予測モデル</p> <p>情報化と産業構造の変化</p> <p>経済性、セキュリティ、リスクからみた我が国の最適電源構成の検討</p> <p>水資源のエネルギー利用と河川環境管理</p> <p>地域計量経済モデルの開発</p>	<p>富田輝博・牧野文夫</p> <p>阿波田禾積・服部常晃 桜井紀久</p> <p>阿波田 禾 積</p> <p>内山洋司・高橋圭子 斎藤雄志</p> <p>若谷佳史・山本公夫 山中芳朗</p> <p>中 馬 正 博</p>	61. 1.
No. 21	<p><海外事情紹介></p> <p>経営面からみたアメリカ原子力発電不振の原因</p> <p>本 号</p>	<p>廿日出芳郎・関口博 正</p>	61. 7.

電力需要指標

四半期毎に発行 最新号 61年3月31日 発行 No. 98

情報処理研究 (昭和56年3月~昭和61年1月)

No. 10	<p>講演：環境問題と数学モデル</p> <p>生態系の数理モデル</p> <p>プランクトン拡散とパッチネス形成 (16mm 映画)</p> <p>動弾性波伝播の数値解法</p> <p>流れの場の拡散現象の数値解析</p> <p>文献紹介：Kuhn-Tucker 点の感度分析</p>	<p>近 藤 次 郎</p> <p>三 村 昌 泰</p> <p>池 田 勉 他</p> <p>田 口 友 康</p> <p>池 田 勉</p> <p>茂 原 一 洋</p>	56. 3.
No. 11	<p>特集 メンテナンス・サポート・システム 電気事業情報処理システムのメンテナンス—中国電力におけるメンテナンス・サポート・システムの開発—</p> <p>(研究報告)</p> <p>意思決定支援システムの計算機技術</p> <p>テスト分析・選択システムの提案</p> <p>原子力発電所におけるオンライン放射線被曝管理システムの性能予測評価</p>	<p>鈴木道夫・坂内広蔵 寺野隆雄</p> <p>鈴 木 道 夫</p> <p>坂内広蔵・正木和子</p> <p>寺 野 隆 雄</p>	57. 5.
No. 12	<p>(調査報告)</p> <p>システム監査に関する調査報告</p> <p>特集 オフィスオートメーション</p> <p>オフィスオートメーションとその問題点</p> <p>電気事業のオフィスオートメーション</p> <p>1. はじめに</p> <p>2. OAの果たす役割</p>	<p>伊藤祐次郎・若林剛</p> <p>寺 野 寿 郎</p> <p>若林 剛・森清 堯 鈴木道夫・原田 実</p>	59. 2.

No. 13	3. わが国のOA事例の現状		
	4. わが国OA技術の動向		
	5. 電気事業OAの現状と見通し		
	6. OA推進上の課題		
	付 電力各社のOA化機器類導入概況		
	研究報告		
	技術計算サポートシステム	高橋 誠・松井正一	
	ソフトウェア仕様書体系の調査・評価	原 田 実	
	コンピュータ・システムの性能評価とチューニング方法について	松井正一・高橋 誠 森清 堯	
	研究報告		60. 3.
	経営経済データベース・分析システムの開発	高橋 誠・森清 堯 松井正一・小野賢治 大屋隆生	
	知識処理に基づくプラントの予防保全支援システムの開発	寺 野 隆 雄	
	大規模技術計算プログラムの品質管理	松井正一・高橋 誠	
	プログラム自動生成システム ARIES/I の開発	原田 実・篠原靖志 鈴木道夫	

電力中央研究所報告

576001	送電線ルート選定手法の開発 ——リモート・センシング技術の応用——	天 野 博 正 水 無 瀬 綱 一 他	51. 11.
576002	電気料金変化の動学的波及分析	西 野 義 彦 富 田 輝 博 他	51. 11.
577001	Carter 大統領の「新エネルギー政策」の国際的側面	山田恒彦・廿日出芳 郎・白石エリ子	52. 6.
577002	組み合わせ理論における一問題 ——部分ラテン方格の拡張可能性について——	大 山 達 雄	52. 5.
577003	原子炉システムにおける核燃料資源利用効率の分析	山 地 憲 治	52. 7.
577004	電源立地計画作成手法の開発 ——必要性和妥当性に基づく優先順位決定手法——	天 野 博 正	52. 10.
577005	電力会社の従業員の仕事意識——日独両国の比較——	斎 藤 統	53. 3.
577006	沿岸漁業の構造変化 ——愛知県南知多町師崎の調査報告——	熊 倉 修 朝 倉 タ ッ 子	53. 3.
578001	琵琶湖疏水ならびに蹴上発電所の技術について	本 間 尚 雄	53. 9.
578002	核燃料サイクルからみた原子力長期戦略の分析	山 地 憲 治	54. 3.
578003	環境アセスメントの評価項目の特定方法について	天 野 博 正	54. 3.
578004	評価関数の開発と評価システムの設計——環境総合評価システム開発の試み——	天野博正・若谷佳史	54. 3.
578005	電力施設のための景観アセスメント手法	若 谷 佳 史	54. 3.

578006	評価関数の信頼性に関する研究——環境評価への適用を 目ざして——	若 谷 佳 史	54. 3.
578007	日本経済の長期成長モデル——2部門成長モデル——	阿 波 田 禾 積	54. 6.
579001	電気事業における長期限界費用の計測	西野義彦・富田輝博 大山達雄	54. 7.
579002	西ドイツの原子力発電訴訟	斎 藤 統	54. 6.
579003	フランスの原子力発電行政	斎 藤 統	55. 3.
579004	Majors の米国における石炭支配の現状と展開	山田恒彦・廿日出芳郎 白石エリ子	55. 3.
579005	電研マクロモデル1980の構成	内田光穂・阿波田禾積 服部常晃	55. 3.
580001	エネルギー問題のモデル分析	大 山 達 雄	55. 6.
580002	トリウムサイクルの核燃料サイクル解析	山 地 憲 治	55. 7.
580003	電研マクロモデル1980の動学的特性	内田光穂・阿波田禾積 服部常晃・武藤博道	55. 12.
580004	Translog 型生産関数理論の電気事業への適用	熊倉 修・大山達雄	56. 3.
580005	核融合エネルギー技術の社会的評価——米国社会にお けるエネルギー・システムとしての有用性の検討——	根 本 和 泰	56. 3.
580006	一変量時系列モデルによる電力需要分析	浜田宗雄・山田泰江	56. 3.
580007	国際石油市場のモデル分析 第I編：石油市場モデルの理論とモデルの構成	佐和隆光・荒井泰男 斎藤観之助	56. 3.
580008	供給ショックの経済学：展望	伊 藤 成 康	56. 3.
580010	国際石油市場のモデル分析 第II編：原油輸入国のエネ ルギー需要構造と原油価格——原油需要モデルと原油 価格シミュレーション——	佐和隆光・荒井泰男 斎藤観之助	56. 3.
580011	電気事業資金問題の長期展望 中間報告(1)	富 田 輝 博	56. 3.
581001	原子力施設のデコミッションングに関する法規制と資金 調達 一西ドイツ一	矢 島 正 之	56. 4.
581002	原子力施設のデコミッションングに関する法規制と資金 調達 一フランス一	熊 倉 修	56. 4.
581003	為替レート決定に関する実証分析：展望	服 部 常 晃	56. 4.
依頼581504	高速増殖炉の役割と実用化への課題	山 地 憲 治	56. 4.
依頼581505	原子力発電所放射線管理システムの動作解析 ——FLD/ID ステーションのシミュレーション——	寺 野 隆 雄	56. 7.
581006	地域経済の長期分析 第II編：地域配分モデルの体系とパラメータの推定	斎 藤 観 之 助	56. 9.
依頼581507	MSF プロジェクト報告書 第1分冊 大規模事務処理ソフトウェアのための保守管理支援シ ステム—MSF	坂内広蔵・寺野隆雄 鈴木道夫	56. 11.
依頼581508	MSF プロジェクト報告書 第2分冊 データネーム統一化システム DNUS	寺野隆雄・坂内広蔵 鈴木道夫	56. 11.
581009	デジジョン・サポート・システムの概念と先駆的研究の かすかす	鈴 木 道 夫	56. 11.
581010	昭和55年度電力需要停滞の分析	植木滋之・牧野文夫	56. 12.
581011	エネルギー収支分析の有効性	斎 藤 雄 志	57. 3.

	581012	ソフトウェア仕様書体系の調査・評価——設計管理システムの要件分析——	原 田 実	57. 3.
	581013	長期エネルギー経済モデル ETA-MACRO の構成	斎藤雄志・阿波田禾積 内山洋司・長田絃一 伊藤浩吉	57. 3.
	581014	国際石油市場とメジャーズの収益性の動向——1960年代を中心に——	廿日 出 芳 郎	57. 3.
	581015	原子力分野における多国間事業の組織	矢 島 正 之	57. 3.
	581016	国際石油市場のモデル分析 第三編：OPEC 諸国の原油供給構造分析	斎藤鶴之助・佐和隆光 荒井泰男	57. 3.
	581017	コンピュータ・システムの性能評価とチューニング方法について	松井正一・原田 実 高橋 誠・森清 堯 若林 剛	57. 3.
調査	581018	ヨーロッパ電気事業における情報処理の動向	森清 堯・原田 孜	57. 3.
	581019	水生微生物エコシステムにおける非線形拡散現象の数理と映像化—共同研究報告書—	赤崎俊夫・池田 勉 石井仁司・宇敷重広 川崎広吉・黒住祥祐 佐久間絃一・高橋誠 田口友康・西浦廉政 藤井 宏・細野雄三 三村昌泰・山口昌哉 米川和彦	57. 3.
依頼	581520	河川維持流量の算定手法に関する研究—景観評価手法(その1)—	若谷佳史・山本公夫 山中芳朗	57. 3.
	581021	日本経済の短期予測モデルの構成	内田光穂・服部常晃 伊藤成康	57. 3.
	582001	政策効果と原油価格上昇効果の分析—マクロ・モデルによるシミュレーション実験—	内田光穂・服部常晃 伊藤成康	57. 8.
	582002	日本の火力発電の規模の経済性について	井 澤 裕 司	57. 7.
	582003	欧米主要国及び国際原子力機関 (IAEA) における原子力施設の廃炉に関する調査研究—法規制と資金調達を中心に—	平 島 鹿 蔵	58. 1.
	582004	アメリカ合衆国における減価償却制度の研究	”	58. 7.
	582005	新エネルギー技術評価手法の体系化 I 新エネルギー技術の発電効率と建設費の推定方法—石炭新発電プラントへの試算例—	内山洋司・斎藤雄志	57.10.
調査	582006	原子力における国際協力と共同開発事業	内 山 洋 司	57.11.
	582007	わが国における停電コストの評価	西野義彦・植木滋之 牧野文夫	57.12.
	582008	業務別カナ漢字変換辞書の簡便な作成法—効率的な日本語データ処理のために—	寺 野 隆 雄	58. 5.
	582009	移流拡散方程式のための有限要素法パッケージの開発	寺野隆雄・池田 勉 松井正一	58. 6.
	582010	自然風景地における送電線の景観的影響の評価	若 谷 佳 史	58. 7.
	582011	発電所の景観評価手法—定量的評価について—	若谷佳史・山本公夫 樋口忠彦	58. 7.
	582012	発電所の景観デザイン手法—境界とアプローチのデザイン—	樋口忠彦・若谷佳史 山本公夫	58. 7.
	582013	発電所立地と地元への対応策—地元漁協との立地交渉に関するモデル分析— 第 I 編 立地交渉の事例分析	若谷佳史・山中芳朗	58. 8.

582014	分散型電源と電気事業—燃料電池導入の電気事業への影響—	西野義彦・阿波田禾積 三辺夏雄・牧野文夫	58. 7.
582015	計量経済モデルによる発電所立地の地域経済への影響分析	大河原 透	58. 5.
582016	技術計算サポートシステムの設計	高橋 誠・松井正一	58. 7.
582017	大型計算機網を利用したオフィスコンピュータの連系	坂内広蔵・森清 堯 高橋 誠・鈴木道夫	58. 7.
582018	データ管理を基礎とした業務処理システムの構築—ある管理システムの構築・活用を例に—	坂内広蔵・鈴木道夫	58. 7.
582019	発電所立地と地元への対応策—地元漁協との立地交渉に関するモデル分析— 第Ⅱ編 ゲーミングシミュレーションモデルの構築と適用例	若谷佳史・山中芳朗	58. 7.
582020	環境総合評価手法の開発（その1）—環境パラメータの測定方法とその地域代表性について—	若谷佳史・天野博正	58. 7.
582021	環境総合評価手法の開発（その2）—地域特性による個別評価の修正—	山中芳朗・天野博正	58. 7.
582022	環境総合評価手法の開発（その3）—評価項目評価視点の重要度算定—	若谷佳史・天野博正 山中芳朗	58. 7.
582023	環境総合評価手法の開発（その4）—総合評価基準の設定についての考察—	山本公夫・天野博正	58. 7.
582024	電気料金の国際比較	内田光穂・伊藤成康	58. 5.
582025	発電所のレイアウト景観の評価	若谷佳史・山本公夫	58. 7.
582026	新エネルギー技術評価手法の体系化Ⅱ 新エネルギー技術の発電コストと経済的開発価値—石炭新発電方式への試算例—	内山洋司・斉藤雄志	58. 7.
582027	原油値下がりへの日本経済に及ぼす影響	内田光穂・服部常晃 伊藤成康	58. 5.
582028	欠 番		
582029	電力需要の分析と予測—変量時系列モデルによる接近—	浜田宗雄・山田泰江 近藤裕之	58. 7.
583001	国際石油市場のモデル分析 第Ⅳ編：モデルの改良と原油需給構造分析	佐和隆光・久保雄志 斎藤観之助・荒井泰男 熊倉 修・谷口公一郎	58. 10.
調査583002	知識処理技術の動向	寺野隆雄・松井正一 原田 実・大屋隆生 鈴木道夫	59. 2.
583003	夏季電力需要と気象要因	小野賢治・森清 堯	59. 4.
583004	技術計算プログラムの動特性改善手法	松 井 正 一	59. 4.
583005	OAのための業務分析—ある電力所の分析を例に—	鈴木道夫・森清 堯 松村健治・田中庸平 岩井昭二・水野秀昭 中野敏生・村山 始	59. 4.
583006	河川景観の評価	若谷佳史・山本公夫	59. 8.
調査583007	諸外国における原子力発電所の許認可手続き合理化に関する調査	矢 島 正 之	59. 4.

583008	KEO-電研モデルの構成 —経済・エネルギーの相互依存分析—	尾崎 巖・黒田昌裕 吉岡完治・桜本 光 赤林由雄・大澤悦治 斎藤雄志・阿波田禾積 中村二郎・井澤裕司 伊藤浩吉・木村 繁	59. 4.
調査583009	世界のエネルギー需給バランス—第 12 回世界エネルギー —会議コンサベーション委員会報告—	内 山 洋 司	59. 4.
583010	核燃料サイクルコスト評価のための資金計画モデル	高橋 誠・矢島正之	59. 4.
583011	大規模技術計算プログラムの品質管理	高橋 誠・松井正一 寺野隆雄・森清 堯	59. 4.
583012	経営経済データベース・分析システムの開発	高橋 誠・森清 堯 松井正一・小野賢治 大屋隆生	59. 4.
調査583013	高度情報化社会の進展と電気事業の課題	古 川 裕 康	59. 3.
583014	国際石油産業の変貌とその影響	廿日出芳郎・奥村皓一 松井和夫	59. 4.
583015	原子力発電所の予防保全支援システムに対する知識処理 技術の適用	寺野隆雄・西山琢也 横尾 健	59. 5.
583016	発電所立地と地元への対応策—地元漁協との立地交渉に 関するモデル分析— 第IV編 ゲームング・シミュレ ーション・システムの改良	若谷佳史・山中芳朗	59. 8.
583017	発電所の景観設計手法 —景観対策の効果と海岸イメージ—	若谷佳史・山本公夫	59. 9.
583018	部品合成によるプログラム自動生成へのアプローチ	原 田 実	59. 5.
583019	電源立地の経済社会環境影響評価モデルの開発	信国真載・福地崇生 竹中 治・小口登良 斎藤観之助・山岸忠雄 山口 誠・大河原透 中馬正博・山中芳朗	59. 7.
583020	国際石油市場の構造分析	佐和隆光・久保雄志 熊倉 修	59. 5.
583021	フランスにおける原子力開発体制の形成	熊 倉 修	59. 6.
584001	生産性の計測と国際比較の方法	内田光穂・伊藤成康 関口博正	59. 5.
584002	エネルギー需要構造の変化要因分析—石油危機後の停滞 要因の解明—	服 部 常 晃	59. 8.
584003	カラーイメージデータ圧縮法の開発	松 井 正 一	60. 4.
調査854004	ロードマネジメントとその費用便益分析 —米国における実施状況と研究の現状—	山地憲治・浅野浩志	60. 7.
584005	電力需要分析のための新しいデータ解析手法とその適用 例	小野賢治・大屋隆生	60. 4.
584006	パターン指向型プログラム開発技法	原 田 実	60. 5.
調査584007	超高速計算システムの現状と利用方法	大屋隆生・高橋 誠 松井正一	60. 4.
584008	機械翻訳システムの評価とその利用方式	寺 野 隆 雄	60. 6.
584009	モジュール型原子炉の経済性	山 地 憲 治	60. 5.
調査584010	ロードマネジメントのための負荷研究 —米国における研究動向の現状—	小 野 賢 治	60. 5.

584011	高度経営情報システム DEMANDS の開発 (I) —設計 の基本方針とシステム構成—	鈴木道夫・森清 堯 高橋 誠・松井正一 大屋隆生・篠原靖志	60. 5.
584012	高度経営情報システム DEMANDS の開発 (II) —経営 経済情報提供システム—	森清 堯・鈴木道夫 高橋 誠・松井正一 大屋隆生・篠原靖志	60. 5.
584013	夏季における電力負荷と気象	小野賢治・森清 堯	60. 4.
調査585001	フランスの電気料金 —最近の料金制度改訂を中心として—	熊 倉 修	60. 6.
調査585002	韓国電力公社の現状と将来について	西 浦 幸 次	60. 6.
585003	地域経済データの開発 その1 製造業資本ストック・社会資本ストックの推計	大河原透・松浦良紀 中馬正博	60. 8.
585004	地域計量経済モデルの構築 〔中国地域計量経済モデル (バージョン I) の構成〕	中馬正博・松浦良紀	60. 9.
585005	地域計量経済モデルの構築 〔中国地域計量経済モデル (バージョン I) による予 測シミュレーション〕	松 浦 良 紀	60. 7.
585006	世界エネルギー需給モデル I モデルの構成	熊 倉 修	60. 8.
585007	地域経済データの開発 その2 産業別就業者数の推計	大河原 透・上田 廣	61. 1.
585008	電力施設の環境設計	若谷佳史・山本公夫	61. 1.
調査585009	米国、カナダ、オーストラリアのエネルギー政策 その1 —米国、カナダのエネルギー政策—	廿日出 芳 郎	61. 4.
調査585010	米国、カナダ、オーストラリアのエネルギー政策 その2 —オーストラリアのエネルギー政策およびウラニウム 資源開発・輸出政策—	高 橋 真砂子	61. 4.
585011	自動プログラミング・システム SPACE の開発	原田 実・高橋光裕	61. 4.
585012	生活者の意識構造の分析手法 —多様化する需要化ニーズ把握のために—	小 野 賢 治	61. 4.
585016	経営情報システムにおけるローカルエリアネットワーク の活用	篠原靖志・高橋 誠	61. 4.
585017	高度経営情報システム (DEMANDS) 用ワークステーシ ョンの開発	松井正一・篠原靖志	61. 4.
585018	ARIES/I におけるプログラム生成法 —日本語要求仕様からの自動生成—	篠原靖志・原田 実	61. 4.
調査585020	負荷研究の方法とロードマネジメント評価への適用事例	小 野 賢 治	61. 5.
Z 83002	地域経済の長期展望	超長期エネルギー戦 略研究会経済専門部 会	59. 5.
Z 83005	電力需要構造と電力シフト	超長期エネルギー戦 略研究会エネルギー 専門部会	59. 8.

CRIEPI REPORT

E 576001	Dynamic Effects of the Change in Electricity Rates on Price System	Yoshihiko Nishino Teruhiro Tomita	52. 1.
E 577001	Residential Demand Modeling for Electricity	Tsuneaki Hattori	52. 9.
E 578001	An Analysis of the Fuel Utilization Efficiencies in Nuclear Reactor Systems	Kenji Yamaji	53. 9.
E 581001	Toward Realization of a Decision Support System —A Survey Note on the Concepts and Relating Researches—	Michio Suzuki	56. 9.
E 582001	Organization of Multinational Undertakings in the Field of Nuclear Fuel Cycle	Masayuki Yajima	58. 3.
E 583001	A Total Approach to a Solution for the Maintenance Problems through System Configuration Management —Maintenance Support Facility MSF—	Kozo Bannai Michio Suzuki Takao Terano	59. 2.
E 584001	KEO-DENKEN Model: An Analysis of Energy-Economy Interactions in Japan	Hiroshi Izawa	59. 12.
E 584002	Electric Power Demand and Electrification in Japan	Takeshi Saitoh Nariyasu Itoh	59. 12.
E 584003	A Multilateral Comparison of Total Factor Productivity among Japanese Utilities for 1964-1982	Nariyasu Itoh	59. 12.
E 584004	Load Leveling Efforts in Japanese Electric Utilities	Kenji Yamaji	59. 12.
E 584005	Applications of the Over/Under Model to a Japanese Electric Utility	Kenji Yamaji	59. 12.
E 585001	Potential Attractiveness of Modular Reactors	Kenji Yamaji	60. 12.

電力経済研究 No.21

1986年7月1日 印刷発行

発行所 財団 電力中央研究所
法人 経済研究所

東京都千代田区大手町1-6-1
大手町ビル

電話 東京(03)201-6601

1200 印刷：藤本総合印刷株式会社

差益還元のマクロ経済効果の計測
—マクロ・産業連関モデルの適用—

服部 常晃……………(1)
桜井 紀久

季時別料金制度の厚生経済分析：展望

伊藤 成康……………(27)

負荷研究の方法とロードマネジメント評価への
適用事例

小野 賢治……………(51)

原子炉における燃料資源利用効率の考察

山地 憲治……………(65)