

電力経済研究

No. 3

1973. 7.

-
- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| エネルギーと原子力 その2 | 高橋 実……………(1) |
| 電研マクロ・モデル1972 | 矢島 昭……………(29) |
| 全国四地域計量モデル | 齋藤 観之助
熊倉 修
阿波田 禾積……………(61) |
| あいまいな量の計測と処理をめぐって | 齋藤 雄志……………(77) |
| 混合型整数計画法による発電所
の最適建設計画の作成 | 小川 洋
大山 達雄……………(93) |

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 | 富田 輝博……………(111) |
| 公益事業における価格形成と所得分配の公正 | 富田 輝博……………(119) |

文献資料紹介

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| 発電所温排水の都市利用 | 根本 和泰……………(129) |
| ベトナム共和国電力事情調査団報告書 | 川崎 和男
三浦 義文……………(133) |

編集委員

小川	洋	富田	輝博
大沢	悦治	廿日出	芳郎
加藤	芳夫	水無瀬	綱一
鷺山	謙三		

エネルギーと原子力 その2

高 橋 実

VII 流体化石燃料時代	1
VII-1 1969年の(世界の)エネルギー消費	1
VII-2 総エネルギーと GNP: アメリカの際立った特徴	5
VII-3 約10年前の石油エネルギーに関する予測	7
VII-4 大陸棚えの考え方	7
VII-5 微々たるものであった時代の流体燃料の考え方	8
VII-6 石油の確認埋蔵量と、推定埋蔵量えの仮設	10
VII-7 資源論と石油の仮設(的)埋蔵量	11
VII-8 大陸棚仮設(石油)えの若干の検討	12
VII-9 1980年代の“30年天下”の数値	15
VII-10 減少の前に増加率調節の期間が必要	23
VII-11 石油の頂点—2010年頃(?) 140億トン/年(石炭換算)	25

VII. 流体化石燃料時代

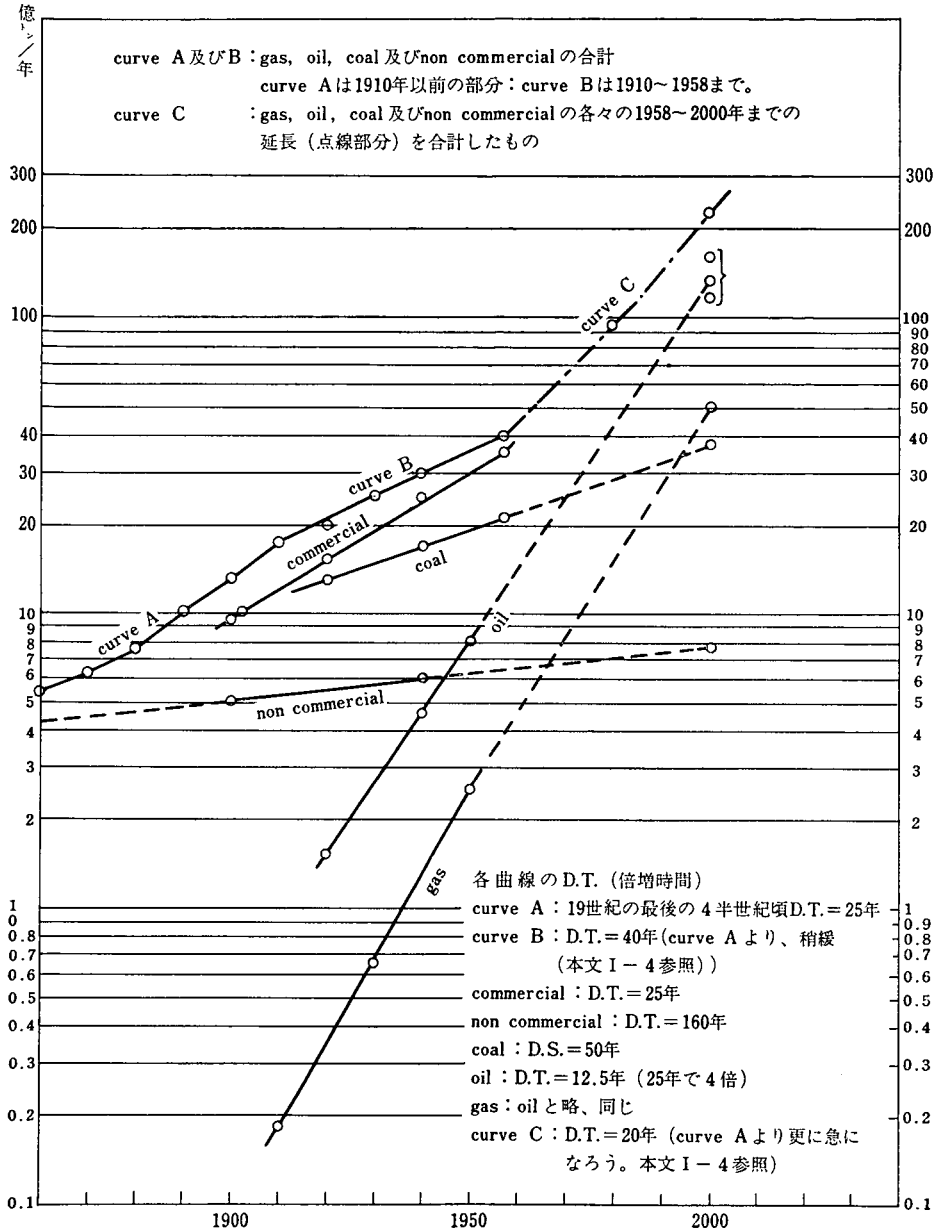
原子力を考察する論文で流体化石燃料の王朝的出現を説くのは矛盾のように見えるであろう。しかし、尨大な化石燃料消費の世紀とくに流体燃料(石油と天然ガス)の世紀は始まったばかりであるかに見えるのであり、しかもそれは、驚いたことに約10年前に(筆者らが)予測したコースを、殆んど違わないほどの正確な足どりで、たどっている。原子力時代との間には、ギャップ(エネルギー・ギャップ)ではなくヴァレー(谷)が出来そうである。

VII-1: 1969年の(世界の)エネルギー消費

第VII-1図は1969年度の世界の主要国の総エネルギー消費量および世界の総エネルギー消費量を、棒グラフで示したものである。世界統計の作成されるまでの時間遅れがあるので、いま

のところ、1969年のものを示し得るに過ぎないのは、いささか残念ではある。しかし、後の分析のためには、世界各国のGNPやその他の統計的数値が揃っていることも必要であり、それらのものも最近のものはなかなかまとまらないので、いたしかたないことである。

ここに総エネルギーと言うのは、非構造的な概念なのであって、すべての種類のエネルギーは、種類の如何にかかわらず何等かの実効的な価値規準に基き、単一の種類のエネルギーに統一換算できるという考え方によって、任意の撰択された種類のエネルギーに換算して合計したものである。これに対して、構造的な概念では、エネルギーの種類というものが、産業構造やあるいはもっと大きく文明というものの形態にまで影響するであろうという考え方も、あるのである。このことは後節で吟味してみたい。



第 VII-2 図

第 VII-1 図に総エネルギーを示した理由は、第1にこの総エネルギーの中味が何であるか(どんな種類のエネルギーでもって、まかなわれているか)第2に、そのエネルギーが今後も永く供給され得るのか否か、を、検討するための、出発点の数値を知るためである。で、改め

て言うまでもないが、図に示された1969年の世界の総エネルギーは、6,848 kcal/kgの石炭(後述参照)に換算して64億トン/年になっている。

なお、エネルギーの換算に当っては、その時点で最も消費量の多い種類のエネルギーを規準

第 VII-1 表 エネルギー（年間需要）単位換算表

[6,845 kcal-kg 石炭]

		石炭換算
BD	[バレル/日] 1バレル=158.984 リットル, BD=58,029 リットル/年 原油=9,400 キロカロリー/リットル=1.3733 kg(石炭)/リットル ∴ BD=79.6912 トン(石炭)/年 【例】 300万 BD..... 2,000万 BD.....	79.6912 トン/年 [6,845 kcal/kg] 2億 39,073,000 トン 15億 3,820 万トン
KW キロワット	原子力発電の建設出力（運転中）を、年間エネルギー供給量から、1次エネルギー相当量に換算する。(1,000 KWH=0.125 トン石炭) 1 KW (負荷率 63.927% ; 5,600 KWH/年)=0.7 トン 1次エネルギー換算 (熱効率=0.4)=1.75 トン 【例】 1億キロワット (の原子力発電設備の増加は、右の量の1次エネルギー増に等) 10億キロワット (の原子力発電設備を持っていることは、右の量の1次エネルギー供給力を持つことと、ほぼ等しい)	1.75 トン/年 [6,845 kcal/kg] 1.75 億トン/年 [6,845 kcal/kg] 17.5 億トン/年 [6,845 kcal/kg]
BTU/年	[ブリティッシュ・サーマル・ユニット] 1 BTU=0.252 [kcal] 【例】 10 ⁸ BTU..... 10 ¹⁰ BTU	3.6,815 トン/年 3億 6,815 万トン/年
kl/年	[キロリットル/年] 1 kl (原油)=9,600 kcal	1.3733 kg/年

に選んで、他の種類のエネルギーを実効的に、それに等しくなるように換算してゆくのが、普通のやり方である。換算の方法については技術的には可なり煩雑な問題を含んでいるが、エネルギーの構成（種類別の比率）によって、あるいはその比重の配分のされ方によって、上述の問題が表面に出ない場合もある（どれか1つの種類のエネルギーが極端に多いと、比重の少ない他のエネルギーは、多少の換算上の問題があっても、誤差論の範囲内に止めうる）。しかし、2種類あるいは3種類以上の、極端に性格の違ったエネルギーが混在してくると、可なり話が違ってくるようで、この点は、後の節で詳しく調べる。

第 VII-1 表には、上述のようなエネルギー構成の内容の問題とは別に、エネルギーの単位それ自身にも各種各様の単位が用いられるので、

とくに重要なものを抽出して示す。中でも、石油エネルギーの比重が大きくなってきた現在では、バレルが石油については多く用いられるようになってきている。バレルは容積の単位で、キロリットルも同じく容積の単位であるが、キロリットルよりもバレルの方が、呼称の上では便利だと感ずる人が多いのであろう。

物理的にエネルギー量を正確に表示する目的では、kcal（キロカロリー）と Btu（ブリティッシュ・サーマル・ユニット）とが多く用いられるようである。

過去の統計との関連では、古い統計が殆んどすべて石炭換算であったことからして、それらの統計との比較論などを行う場合には、石炭換算の方が便利である。国連エネルギー統計は石炭換算を用いている。

石炭換算に用いられる単位は重量（トン）で、

石油換算に用いられる単位は重量(トン)または容積(キロリットルなど)であるが、いづれにしてもそのままではエネルギー量を示さないで、換算のときには必ずトン当りまたはキロリットル当りのカロリー量を指定(仮定)しなければならない。この数値は、便宜上のもので、6,000 kcal/kg, 7,000 kcal/kg などのように整数が用いられることもあるが、国連の統計に出てくる 6,848 kcal/kg は、実は kW (キロワット)との換算において、 $1,000 \text{ kcal} = 0.125 \text{ トン}$ (石炭換算) $= \frac{1}{8} \text{ トン}$ (石炭)としたことから来ている。

さて VII-1 図の主要国の総エネルギー値から、我々は 2~3 の重要な分析を行うことになるが、逐次述べてゆく。

VII-2: 総エネルギーと GNP, アメリカの際立った特徴

第 VII-1 図を見て、読者は恐らく、2つの異なった方向に、特別な注意を向けられることであろう。一つは、大いに“その通り”または“かねて思っていた通り”と納得できる方向と、いま一つは“これは一体どうしたことか?”と不審を起す方向とである。そうして、この両方向のいづれも、注目点は1つであって、それは(第 VII-1 図の中での)アメリカの異常とまで見える総エネルギー消費量の大きさである。

或る見方(をす人)によっては、上述のことはむしろ当然として納得されるであろう。アメリカの総エネルギーは世界の総エネルギーのほぼ 1/3 を占めていることが第 VII-1 図でも判るし、この比率は既にこの報告書でも、既に第 IV 章「アメリカの奮起(?)」において述べたところと、ほぼ一致する傾向にもある。

ところが、いま一方の注目点は、この表に現れた日本の総エネルギーの小ささに、注がれるで

あろう。此の感覚は、やはり、アメリカとの比較から来るのである。この第 VII-1 図を示された数人の人は、一様に“ほう。日本がバカに少いね”という第 1 印象を口にした。

なぜ、日本の総エネルギーが、アメリカの総エネルギーに比して、異様に少いという印象を受けるのであろうか? これには世間にくまなく行きわたっているところの、日本の経済力とくに GNP の大きさと、それをアメリカの GNP と比較した場合の評価に関する常識的な感覚との喰い違いから来るのである。1例をあげると、“(日本の)1人当りの GNP は、数年以内に(アメリカを)追いつくことになる”という分析がある^註。このような分析が存在し得るほどに日本の GNP は大きいという常識的感覚からすれば、第 VII-1 図に見る日本の総エネルギーはアメリカに比べて異様に小さく(約 8 分の 1 と言ってよいほど、少い)、何かの間違ったのではないか?と思われるほどなのである。

(注:“(日本の)1人当りの GNP が、数年以内にアメリカを追いつくことになる”という分析については、ここでは、それを、日本の GNP の大きさについて言われていることの 1 例として、引用したに過ぎないが、この引用の趣旨とは別に、上に指摘したことは可なり重要な問題だとして、注目される読者もあるかと思われるので、後に改めて触れてみたい)

上述した異様な評価の分裂は、いったい、何を暗示しているのか。

- (i) それは、アメリカのエネルギー消費構造が“浪費型”になっているからなのであろうか。(アメリカの主力エネルギーである石油や天然ガスは、浪費型なのか?)
- (ii) それとも日本のエネルギー消費構造が、“省資源型”になっているからなのであろうか。(少量のエネルギーで、多くの価値を生産しているのか?)

第 VII-2 表 GNP とエネルギーとの関係ならびに石油エネルギーの生産性⁽⁴⁾

[1969 年]

	G N P 〔億ドル〕 ⁽¹⁾	総 エネルギー 〔石炭換算〕 ⁽²⁾ 〔億トン〕	総エネルギー の 生産性 〔億ドル/mY〕 ⁽³⁾	石油消費量 〔石炭換算〕 ⁽³⁾ 〔億トン〕	石油/総エネルギー 〔%〕
アメリカ	9,291	21.89 (内、固体燃料 4.46 億トン; 20.37%)	7.23	8.87 天然ガス 8.02	(油+ガス) 74.87 38.23 (ガス) 36.64
イギリス	1,207	2.86 (内、固体燃料 1.59 億トン; 55.59%)	9.28	1.11 天然ガス 0.08	(油+ガス) 41.61 38.81 (ガス) 2.80
西ドイツ	1,870	2.95 (内、固体燃料 1.35 億トン; 45.76%)	13.91	1.41 天然ガス 0.16	(油+ガス) 53.22 47.80 (ガス) 5.42
日 本	1,675 [1\$=] [360円]	2.89 (内、固体燃料 0.86 億トン; 29.75%)	12.69	1.90	(油+ガス) 66.92 65.74
	1,945 [1\$=] [310円]				
備 考	(1) 1\$=0.383772 ポンド=3.2225 マルク=360 円〔但し、\$=310円の場合も計算〕 (2) この石炭換算に用いたのは、6,845 kcal/kg〔国連統計; 1,000 KWH=1/8 トン〕 (3) mY=250 万トン〔標準石炭〕; 6,000 kcal/kg (4) 石油エネルギーは、とくにアメリカにおいては、軍事・航空機・自動車に大量に使われ、非生産的 ((あるいは、ストックにならない使い方という意味で消費的)) ⁽⁴⁾ であるので、〔石油/総エネルギー〕の大きさは、 総エネルギー ⁽⁴⁾ の生産性に反映すると考える。				

(iii) ドルや円の評価方式に、何かの偏差か、傾斜のようなものがあるのであろうか。(GNP とエネルギーとの相関評価において)。

このような疑問が即座に湧き起ってくるころである。第 VII-2 表は上述のような疑問に答えるために取りあえず参考として、アメリカとイギリスおよび西ドイツと日本に就いて、総エネルギーと GNP、および石油・天然ガスなどの消費構造との関係を示したものである。この表は後でエネルギーと産業構造との関係を述べる時、再び引用する。この表でイギリス・西独・日本の3ヶ国は、GNP が略々等しい。そうしてアメリカの石油と天然ガスの消費が飛び抜けて大きく、一見して石油エネルギーの生産性が(他のエネルギーよりも)低いというようなことを示しているようにも思える^注。

(注: 総エネルギーに対して GNP の生産性が、アメリカは極端に低いと見て)

しかしながら、これはなかなか単純に答え得る問題でなさそうである。たとえば、1つの仮定の話であるが、後に出てくるように、今後の世界のエネルギーの増加分は殆んど石油と天然ガスによって占められそうであるが、そういう傾向が今後の予想であるとして、さてその石油のウェイトの高い国が“浪費型”で、使っていない国が“節約型”だと、単純にキメツケられるものなのか、どうか? 日本も負けず劣らず高いウェイトで石油に頼っていて、しかも相当に効率の高い生産力をもっているのであるから、上述のような浪費型論は簡単には成立しそうにない。何よりも、上述の諸問題が、すべて石油(及び天然ガス)から淵源する問題だとして、簡単に是非を論じようとするのは、危険だと思われる。とくに警戒しなければならないのは、上述のような問題が、此所え来て(今になって)急に突如として現れて来た問題だというように

受け取り、そういう受け取り方からして、それへの対策もまた急拠それに応ずるべきだとか、あるいは、応ずることが不可能だとか、そう言う性急な議論に走ることである。資源問題は古くて新しくてそうして永遠の問題であるが、とくに石油（および天然ガス）は背後に何か巨大な仮設を（その埋蔵量に関して）背負っているようで、筆者自身の感覚では、石油の巨大な運命に対する現実的な実証の過程が、いま漸く始まったばかりなのではないか？ という気がしている。そのことを、先づ次項以下の数項で見て貰っておいた方がよいと思われるので、順序として次項以下の考察を、暫くの間、追跡して頂きたい。

VII-3：約 10 年前の石油エネルギーに関する 予測

第 VII-2 図に示すのは、今から約 9 年前の 1964 年（昭和 39 年）に行われた世界のエネルギー供給に関する試算である。（「原子力発電と増殖炉——我々は、かく考える」昭和 39 年 9 月 30 日 電力中央研究所・原子力発電資料調査委員会）。この図では 2000 年時点での総エネルギーを約 230 億トン/年 [7,000 kcal/kg 石炭換算] と予測し、そのうち石油が約 130 億トン/年 [7,000 kcal/kg 石炭換算] で、全エネルギーの約 57%；天然ガスが 50 億トン/年 [7,000 kcal/kg 石炭換算] で全エネルギーの約 22%；したがって流体化石燃料（石油+天然ガス）が全体の約 79% を占めることを予測（試算）している。石炭は（2000 年時点で）約 37 億トン/年で全体の約 16% 強である。化石燃料の合計（固計+流体）は全体の 95% に達する計算になる。当時（1964 年）原子力発電は世界全体で総エネルギーの 0.5% 以下しか発生していなかった。

VII-4：大陸棚えの考え方

前項第 VII-2 図の石油に関する予測は、予測というよりは、むしろ多分に仮定という意味の方が多いのであるが、それでも仮定を採用する前提には、1つの仮設的な考え方があったのである。その仮設は大陸棚に存在する石油（および天然ガス）の埋蔵量の考え方に関するものである。この仮設は更にそのもう 1 つ以前に、いわゆる大陸棚なるものの成因に関する考え方が潜んでいる。

（注：大陸棚の成因が判明してくれば——成因という用語が適切かどうかは別として——石油の起源となった有機物質が、その大陸棚の中に埋蔵されるに至った経過に対しても、仮設が組み立てられるようになる。そうなった暁には、大陸棚の中の石油の埋蔵量にも、次第に、少しずつ、量的な推定の理論が組み立てられるようになるのである）。

この、大規模な仮設——大陸棚の成因に関する仮設——は、現在でも勿論まだまだ仮設以前の領域にあるのであり、まして当時（1964 年）としては、そのような仮設が在り得るということが、ひそかに考えられ始めた出発点の頃であったから、本当にまだ何も確かには言い得るものでなかった。そういう時点で、出来る限り石油の（地質学的な）専門家の意見を聞きながら、当時の報告書として採用し得る限度に近いような推定埋蔵量（むしろ、仮設埋蔵量）を考えたのである（後述）。この仮設を背景にして、石油の驚くべき成長過程を示してみた（試算した）のが前掲図である。それは、何と言っても多少は“オッカナビックリ”のものであった注。

（注：誤解のないように注釈しておくとして、ここで問題になるのは、このような石油需要の成長と供給力の成長とを、——とくにその傾向線を、2000 年という時点まで継続するという考え方をした点にあるのである。成長の速度そのものは、当時としても常識的なものであったが、それを 2000 年まで続けるとすると、それ以後の動向と同時に埋蔵量の枯渇が大問題になる。したがって、ここでオッカナビックリであったことの中心問題は石油の埋蔵量に対する考え方であっ

たのであり、そのことは別項で述べるのである。ここでこの図に表面的に示されていることは、統計的な根拠として、過去の統計に現われた趨勢をそのまま、2000年時点まで伸ばしたという計算なのである。）

統計学的な推計が、マクロな動向を、可なり程度にまで正確に示すものなのかも知れないという感想を、1973年の現在において——つまり約10年をへだてて——第Ⅶ-2図を再検討してみたときに、得たのである。その点があるので、第Ⅶ-2図の検討にしばらくの頁を割いておく価値があると思われる。

上述の点について、2～3のポイントをチェックして見よう。第Ⅶ-1表に示された1969年の世界の総エネルギーは6,848 kcal/kgの石炭換算で約64億トン/年であるが、第Ⅶ-2図でこの数値をチェックしてみると、第Ⅶ-2図でも略63億トン/年ぐらいに読みとれる。但し、第Ⅶ-2図の石炭換算は（前掲資料「原子力発電と増殖炉」により）7,000 kcal/kgで行われているので、これを6,848 kcal/kgに換算しなおすと64億トン/年強になる。偶然ではあろうが、合い過ぎる程に合致している。

石油について、同様の照合をしてみると、第Ⅶ-2図では1969年時点の読み取り値が約23億トン/年〔石炭換算〕であるが、実績値を国連統計に求めてみると1969年の石油（原油）世界生産は27.4億トン/年（石炭換算）である。国連の方は6,848 kcal/kgの石炭に換算しており、第Ⅶ-2図は7,000 kcal/kgの石炭に換算しているが、カロリーで示すと前者（国連統計）は 1.876×10^{18} [kcal]、後（第Ⅶ-2図）は 1.61×10^{18} [kcal]を意味する。石油のエネルギーは従って、第Ⅶ-2図の予想よりも実績（1969年）の方が16.5%がた上廻っている。

天然ガスについては、どうであろうか？

第Ⅶ-2図1969年の天然ガスは約8.5億ト

ン〔石炭換算7,000 kg/kcal〕であるが、実績値は国連統計ではこれを約50%がた上回った13億トン〔石炭換算6,848 kg/kcal〕という数値を示している。

化石燃料は実際、10年前の“オッカナビックリ”の予測を、それ以上に上廻るような速度で、成長しているわけである。

Ⅶ-5：徴々たるものであった時代の流体燃料の考え方——或る仮設の存在

第Ⅶ-2図を参照しながら、石油が総エネルギーの中において、徴々たる位置しか占めていなかった時代のことを、いま暫らく振りかえっておきたい。この石油（および天然ガス）という人類の今後数十年の将来にとって決定的な意味を持つことになりそうな資源について、その初期の姿と、それが次第に大きくなっていった途中での、いろいろな段階での論議の在り方などを考えておくことは、後に原子力エネルギーのこと（それと人類との関係のようなもの）を考えるのにも、役立つからである。原子力も、今は徴々たるものである。しかし、数世紀の後には圧倒的に大きなものになっていると考えられる。

いま、総エネルギーの中での宗主的な位置を占めている石油（および天然ガス）も、昔は、量的に言って、徴々たるものであった。1880年（明治13年）に、石油の世界生産は3,000万バレル/年の線にあったのであり、それは7,000 kcal/kgの石炭に換算して約640万トン/年である。1920年（大正9年）に、石油は約1.4億トン/年（7,000 kcal 石炭換算）になったが、それでも当時の石炭（約13億トン/年；7,000 kcal/kg）の1/9程度のものであった。石油消費の成長速度は早かったが、誰もまだ、それが石炭を追い抜くとは考えもしなかった。

1940年に、石油は4.5億トン/年、石炭は16億トン/年（いずれも7,000 kcal/kgの石炭換算）で、石油は石炭の1/4を超え、1/3に近づいてきた。

1950年には、石油は8億トン/年、石炭は19億トン/年（いずれも7,000 kcal/kgの石炭換算）となり、石油は石炭のほぼ1/2にまで追い迫ってきた。

1954年、この年に石油は石炭の1/2になった（石油10億トン/年；石炭20億トン/年；総エネルギーは38億トン/年；いずれも7,000 kcal/kg石炭換算）。

（注：ついでに、石油が石炭を追い抜いた日付は1967年の或る時点であり、1967年中で石油22,75億トン（7,000 kcal/kg石炭換算）、石炭21,56億トン（7,000 kcal/kg換算）となっている。なおまた、今後の推測に属することであるが、石油が石炭の2倍になるのは1980年かまたは1981年頃になりそうであり、3倍になるのが1988年か9年頃で、2000年は石油は石炭の5倍にもなりそうである。但しこれは、それ程の勢いで伸びているという現在のスウ勢を言ったものであって、遠い将来のことは勿論確かではない。しかし、いちばん近い将来の2倍になる時点は、可なり確かなものと考えてもよさそうである。そうして、2倍になる時点を気にするというのは、興味本位の計算を言っているのではなくて、このような特別の時点は、世間的にも広く大きな関心と呼び起す時点なのである。それは恐らく、石油に関して第3回目の根本的な考え方の整理が地球的な規模で行われる時点となるであろう。第3回目というのは、第1回目を石油が石炭の1/2にまでなった時点とし、第2回目を石油が石炭と等しくなった時点としての、そういう数え方によるものである。そうして、石油が石炭の2倍にまでなったときというのは、疑いもなく、石油が、殆んど全人類の運命を一身に背負うような形になっていることを意味する。このような場合、石油の確認埋蔵量の問題はもとより、推定埋蔵量に対する仮設の理論や、更には枯渇理論などにしても、単に1つの業界や1つの国の問題であることを遙かに超えて、世界経済の問題になっている筈である。筆者の感覚としては、1981年～1983年頃に、上述のような重要な観点に立つての石油に関するレポートが、こんどはニクソン大統領のエネルギー教書のような1つの国にだけ関したものでなくて、地球的な規模で、提出されてくるのではないかと、予想される。ともあれ、そういう将来のことは別章にゆづるとして、そのような“epoch”を画する時が、やがて到来するであろう——とい

う意味を、“石油が石炭の2倍になる時”として指摘したわけである。）

石油が石炭の1/2という線に実際に上ってきたとき（実績統計として出て来たとき）、エネルギー問題として、あるいは資源問題として、石油のことは徹底的に考えて見るべき第1回目の時は来たわけである。が、実を言うと、ここでいう第1回目のチャンスにおいて為されたことは、表面上は、石油のことよりもむしろ原子力の方に、世界中の話題が集中して移って行ってしまったのである。資源問題の主役はそのとき、本当は石油であったのであるが、資源問題を扱ったのは原子力の研究者達であった。それで石油自身のことは、あまり注目されず、原子力の方が注目された。実際にはこの第1回目のチャンスの時には、原子力はまだ石炭換算で1,500万トン/年くらいに当るエネルギーしか、寄与していなかったのである。

第1回目の分析（既述の注に述べた第1回目）が、主として原子力の研究者達によって為され、多くの報告書もまた原子力の分野からの発言によって書かれた——と言う表現を見れば、第2回目の分析に相当するところの1973年のニクソン大統領のエネルギー教書が、主として、こんどは石油の研究者達によって為された分析を主軸にして書かれているということの意味（あるいは意義）が判るであろう。要するに第1回目も、第2回目も、そうして今後（1981～3年頃）に考えられる第3回目の分析も、中心の議題は石油なのであり、そうして第3回目の分析に当るのは、恐らく原子力の研究者でもなく、石油の研究者でもなく、多分、国際経済の研究者達であろう。石油の研究者は、その時まで、今よりもっと明確な形で石油の推定埋蔵量に関する理論を、実証された事実をバ

ックにしながら提出していることであろう。

VII-6：石油の確認埋蔵量と、推定埋蔵量への仮設

第 VII-2 図が書かれた頃に、石油の確認埋蔵量や推定埋蔵量や、あるいは石油の成因などに関する仮設の如きものなどが、いったいどのように扱われ、また、どのように世間に受けとめられていたのかを、更に追跡しておきたい。

既述のように、いわゆる第1回目の検討期には、石油自身を含めた全エネルギー問題を、原子力の専門家が、取りあつかった形になっている。石油の専門家は、当時、言ってみれば、まだ“黙して語らず”の態度をとっていた。とくに、公表されたレポートにも殆んど書かれたことがなく、また世間でも、はっきりとは認識していなかったのが、大陸棚の石油であった。この語られていない部分に、実は、可なり巨大な仮設が潜んでいると思われたのである。

(注：石油の専門家が“黙して語らなかった”のは仮設に関する部分である。確認埋蔵量については極めて多くのことが語られている。後述諸項参照。)

上述した巨大な仮設というのは、大陸棚の成因に関するものであり、同時にそれは大陸棚の中に在る石油の埋蔵量の規模を推定することのできる仮設なのでもあった。もし、大陸棚が、この地球上に生物が発生してから以後の地殻表層部に起ってきたいろいろな変化や変動によって出来ているものだすると、石油の専門家としては、この大陸棚の内部には大量の有機物質(石油や天然ガス)が埋蔵されていると考えられるように当然なってくるのである。

では、その埋蔵量は果して、どれほどあると(仮設的に)考え得るのかと言うと、その考え方は当時(1964年)も今(1973年)も変わらないくらいに漠然とした表現しかできないのであ

る。ただ、それは現在の陸地に存在している石油(および天然ガス)よりは、遙かに多いに違いないと考えられた。そう考える理由は、地殻表層の堆積物の量において、大陸棚の方が現在の陸地よりも遙かに多いからである。

既掲の第 VII-2 図を記載した資料「原子力発電と増殖炉」では、上述した仮設的埋蔵量に対して正面から取り組むことは勿論できないので、当時の石油(の需要および生産)の伸び率が、同じようなスウ勢で2000年まで継続されるとして、どれだけの石油埋蔵量があればこのスウ勢に堪えられるのか——?という逆算の形式を採った。

第 VII-3 表に示すのは、上述のような計算の結果について、「原子力発電と増殖炉」に掲げられたところを、再掲したものである(上記資料の52頁)。

第 VII-3 表 石油の見方(考え方)*

*(1964年「原子力発電と増殖炉」による)

	case-1	case-2
1960年の年間消費量 (7,000 kcal/kg 石炭換算)	15 億トン	15 億トン
1980年までの増加率	10年毎に2倍	10年毎に2.4倍
1980年から2000年までの増加率	20年で2倍	20年で2倍
2000年時点での年消費量	120 億トン/年	170 億トン
1960年から2000年までの累積消費量 (7,000 kcal/kg)	2,476 億トン	3,370 億トン

すなわち、case-1もcase-2も、共にその当時の確認埋蔵量約400億トン^注を6~7倍から10倍近くにまで上廻るような値の累積消費量になる。この累積消費量は1960年と2000年との間の累積として試算したものなのである。

(注：統計と出ているのでは、此の年度のものには360億トンといった数字がある。)

ところで、2000年の時点で120億トン/年(case-1)とか170億トン/年(case-2)とかに達した石油の消費量が、翌年から突然にゼロ生

産になるわけではないから、2000年時点以降において、増加はしないと仮りに仮定しても、それでも年産を1定に保つ程度の巨大な生産は更に続けられるわけである。従って第Ⅶ-3表に掲げられた累積値だけが、石油にとって必要な埋蔵量になるのではない。

既に引用した資料（「原子力発電と増殖炉」）では上述のところを、“2000年時点でなお6000億トン（石炭換算）程度を少くも（可採埋蔵量として）残し得ているのでなければ、2000年以降の連続性が保てない、としている。これを既述の累積消費量と合算すれば、約1兆トン（石炭換算）になるわけである。つまり、大陸棚仮設と呼ぶべきものが成立する（将来）ものとするなら、この仮設はどんなに少く見ても1兆トンくらいの石油の存在は仮定として暗黙のうちに持っているのである。それ（仮設）を持っているのでなければ、第Ⅶ-2図のような論議は出来ない——と言った方がよいであろう。しかし現在ではまだ真正面からこの仮設的埋蔵量に関する数字を出せないで、逆に必要量の如きものから逆算した形になっているのである。

VII-7：資源論と石油の仮設（的）埋蔵量

石油の確認埋蔵量は最初の段階では企業的な数字であったものが、次第に世界経済的な数字に成長してきたものであると言えよう。成長して来たとは言え、それでもこの数字（埋蔵量）が決定的な意味を持つのは、現在でも専ら企業レベルの問題に対してなのであって、世界経済的には、まだまだそれに対する評価を定め得るところに行っていない。確定埋蔵量なるものが（石油の場合）一体どこまで将来大きくなってゆくのか、その見当を確かにつける理論が殆んどないからである。

一方、資源論の方では（石油の埋蔵量に関し

て）重大な、或る種の困惑を、常に感じ続けて来た。資源論としては、石油の将来を見積るのに、たった1つの方法しか持ち合わせがなかった。そのたった1つの方法というのが、確認埋蔵量なのである（確認埋蔵量と仮設埋蔵量との間には10倍ないし数10倍の違いがある。後節参照）。

このたった1つの方法によると、石油の将来はいつの時代に評価してみても、30年くらいの短い寿命しかなかった。いわば、いつも“30年天下”^注のものだと思われてきた。この経過は、数量的に検討してみると、実際に人々が“まさか”と思っていたようなことも、次第に現実化してゆくかもしれないと思わせるような、驚くべき数値に充ち満ちている（後述；“1980年時点での「30年天下」”）わけである。（注：“3月天下”などと同じ言い方）

石油の生産量が1億トン/年くらいの時（1910年頃）それ（埋蔵量）は単なる発見物語の対象話題に過ぎなかった。

石油の生産量が10億トン/年くらいになって（1954年頃。但し石炭換算量で述べる）、それは経済ポリシーの対象になって来たが、確認埋蔵量はいつも現在消費量の数十年分のものであった。この時代の前後に、枯渇概念がボツボツ検討され始めたが、同時に油田発見のための地質学的な理論も大きく進歩し、かつ実際に実証されていった。確認埋蔵量もそのため急速にふえることができて、1時は生産量に対して100年以上の確認埋蔵量が記録された。しかし、消費量が年々急激に増加するので、確認量の増加が停滞すれば、すぐに枯渇懸念が表面化して来る。

資源論では、とくに、現在の確認埋蔵量を将来の（増加した）需要で割ることになるから、枯渇までの年限（見掛け上の数値）は、一層切

迫して来る。

“このままの消費量でゆくと、石油は、あと、10年も保たない。”

という表現は、決して計算の上ではウソではなく、しかも屢々使われる表現であるが、これは前提なのであって結論ではないのである。上記の表現（前提）のあとには、次の結論が続くのである。

“故に、もっと急速に全力をあげて、確認埋蔵量をふやさなければならない。”（これを仮りに結論Aの方向としておく）。

後に分析するニクソン大統領の（1973年の）エネルギー教書は、明らかに上記の結論Aの方向を採っている。またこの結論の方向を採るには、背後に石油の埋蔵量に関する、確かな仮説を持っていなければならない——とも言えるところである。

上記の方向に対し、いま1つの結論の方向は、

“故に石油の消費を抑えるか（資源温存）または、急速に代替手段を開発しなければならない”（これを仮りに結論Bの方向としておく）

欧州や日本には上記の結論Bの方向を採る向きが割合に多く、特に日本では欧州と似た方向（Bの方向）をとりながら、更に欧州よりも一層屈折度の多い理論を採用することになる傾向が強いようである^註。また、消費抑制と資源温存との2つの考え方の間にも、何か、多少の相違がありそうである。消費抑制の方は、比較的に近い将来での需給バランスを保とうとする考えが強いと見られるが、資源温存の方にはエネルギーの種類を保とうとする理論（たとえ何千年或は何万年の後までも、石油は必要）が芽生えて来そうである。後者（資源温存）の場合は、どんなに石油の埋蔵量が多くても、それを温存

すべきだとする考え方であり、エネルギーの種類によって、代替不可能の用途があるという考え方である。このような例を見ると、同じ資源論の中にも多くの屈折の方向があることが判る。大陸棚仮設（そこに大量の石油があるとする仮設）によるなら、資源は充分に多いので、消費抑制をしなくても、おのずから資源は温存されてゆくことになり（高コストのため、採り残しになる）。何百年、何千年を経た後でも、人類はなお海の底（大陸棚）から採った石油で天空を飛び廻っている——と想定することができる（航空機主導型の産業構造の継続）。枯渇論のイメージだと、石油は数十年後とは言わないまでも、数世紀後にはなくなってしまう、人類はそのとき既に産業構造を徹底的に転換してしまっており、輸送および交通手段にも根本的な変革がなされているだろう。

（注：対外関係もあるので、表現の段階でも屈折がある。）

以上のように、結論Aの方向とBの方向には、非常に大きなへだたりがあり、その根底にあって岐路を左右しているものは大陸棚仮設への信任か不信任かの選択なのである、と言えよう。

VII-8：大陸棚仮設（石油）への若干の検討—1980年代の“30年天下”の数値

大陸棚の石油が、一時は人類への巨大な希望を支えるかに見えながら、しかも最近、一部では、外見上あだかも大陸棚を見捨てたかに見えるような考え方とも現れているので、この点への解析をも含めて、全体的に大陸棚仮設（石油）の位置を整理しておこう。

この総合報告の第1回掲載の中でも、ちょっと触れたことであるが、英国の北海（North Sea）の大陸棚石油に対する考え方の中に、それが相当に高価につくものだという再検討論が現

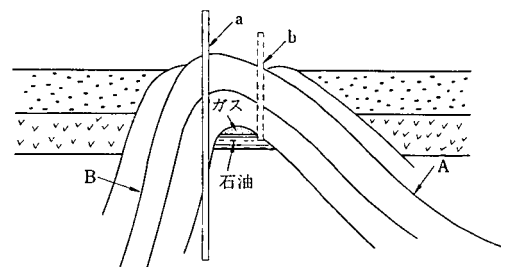
われている。また、英国は、石炭（その流体化）に再検討を加えはじめてもいる。石炭（それを流体化して使う場合）のことは日本の石炭専門家の間でも既に検討が始まっており、少数の人数ではあるが石炭専門の科学者の中にはこの方向への強い志向を持った人々も現れている。筆者自身も大陸棚の石油について、今世紀中は大規模には開発されず、むしろ 21 世紀以降のために残すように考えられつつあるのではないかという感想を持っている。筆者の考え方の根拠は、コスト論から来ているので、英国の考え方に近いものである。そうして、外見上は資源温存の理論のように見えるが、根本は、その費用比較にある。その他の考え方（石炭の流体化など）にしても、問題は全部、コストにあるのかもしれない。石炭の流体化も、結局は、大陸棚の石油など、今後開発されるべき石油が、高価格になる見通しがあってこそ成立する。石炭採掘の費用は、嘗つて石油採掘の費用よりも高かった（そういう時代もあった）のであり、特に英国では一時、完全に石炭を見捨てて国策転換をしていたほどである。しかし、石油システムに再び高価格時代が訪れて来たので、石炭システムの再検討が、一部において、始められているわけである。

大陸棚の石油が、多いとは予想されながら、しかし後述するような難問題があるので、そう急には進みそうにない状態にあるということが、逆に陸上の石油——すなわち、アラスカのノース・スロープやシベリアの油田など（それに中国大陸も含めて）陸上にある所の、残された大油田（未開発）に最後の注目が集まることにもなったのであろう^註。

（注：大陸棚よりも、やはり陸上の油田の方が安い。大陸棚は後廻し——の意。）

大陸棚の石油を開発することの基本的な困難さが、一体どこにあるのかについては、逆に陸上において油田を開発するのに用いられている基本的な手法を反省してみるのがよいであろう。ここに「開発」と言ったのは、実は「探索」のこと——もっと具体的に言えば、ボーリングによって石油の溜り場所を掘り当てること——なのである。石油が存在する地帯のことを油田と言っているが、どうも、炭田の概念の丸写しであって、石油には不適當なのではないかと思われるところもある。と言うのは、石油は石炭のような形では存在していない。石油は或る地域に広く拡がって存在しているのでなく、「トラップ」（石油が集って来て、そこに捕獲された形になっているので、ワナと呼ばれる地層の形）の中に在るのだと言うことが、次第に実証されて来たので、それは開発されると言うよりも、むしろ探索されると言った方がよいのである。（石炭のように、地帯に拡がっているのなら、それは探索ではなく開発であろう。）

図 VII-3 に示すのは、「トラップ」の存在を示す地表の小高くなっている地形の中心の a 点を掘進しながら、僅かの差で石油に遭遇し得ない理由を、地層の A 側の傾斜と B 側の傾斜の違いによって説明している図である。トラップは傾斜のゆるやかな A 側に寄った位置にあり、この傾斜を考えて、b 点を掘進すればうまく石油の



第 VII-3 図

噴出を見ることができる。このように、トラップの正しい位置、ならびに油の層にうまく油井の先端を突き当てるべきその位置を、選定するのは、地上にあってさえ難かしいもので、成功率は10:1くらいのもと言われていた。しかし、成功しなかった9つのボーリングが全く無駄であったかと言うと、そうではなくて、失敗した9つのボーリングによって、始めて図Ⅶ-2のA面の傾斜とB面の傾斜とが判明するのだ——とも言える。

さて、大陸棚の油田では、図Ⅶ-3に示したトラップ発見の理論が、いったい、どういうことになるのか？ その、陸上油田に比較しての基本的な困難の理由を2つばかりあげてみたい。

第1は図Ⅶ-3に示された「トラップ」の位置を暗示する露頭のような小高い構造が、地表ではその上の堆積物が剥ぎ取られ（水の侵蝕）で露出しているのに反して、大陸棚（海底）では逆に堆積物がその上に積もっているのである。堆積物は元来は陸上を掩っていたものであるから、その掩いを陸上から剥ぎ取って（侵蝕作用で河水が海に運んで）大陸棚の油田に被せたような結果になっている。陸上では時が経つほど（と言っても、何千年も何億年もの時間であるが）地質構造が表面に露出してくるのに、大陸棚では逆に時が経つほど深く覆いかぶさった結果になっている。

第2に指適しておくべき点は、図Ⅶ-3に示したような地質構造の傾斜（同図中のA面およびB面）を示唆することの出来るような、過去のボーリング（10のボーリングの中の、失敗した9つのボーリング）が、大陸棚では、まだ殆んどない——という点である。これらの（失敗した）ボーリングは、実は正しいボーリングの

位置を示すための座標の役目をしているのであるが、大陸棚にはこの座標の蓄積がない。従って大陸棚を開発するにはまづこの座標づくりから始めなければならない。そのコストは、陸上油田の数倍とは言いが、数倍というのはむしろ控え目の方であって、初期の間は十倍、数十倍の数のボーリングをしなければならぬであろう。ただ、地下（海底・大陸棚）の状態が詳しく判ってくれば、無駄なボーリングの数も逐次に減って陸上並みに10:1くらいにはなるであろう。大陸棚の油田開発費が、陸上の数倍と言うのは、これら初期のボーリングと、その後のボーリングとを平均した倍数と見ておけばよい。

以上2つの点について、大陸棚の石油開発における困難の真の理由が判明してくると、“大陸棚には多量の石油がある筈”とした原理的判断は正しいにしても、それが直ちに大量の油田の発見につながるものではない、という事情が呑み込めるはずである。

それのみでなく、上記第2のポイントで指摘したところを再吟味してみれば、いま1つ重大なことに気がつく。それは、陸上の油田であろうと海上の油田であろうとを問わずに成立することであるが、既成の大油田地帯には、失敗したボーリングの蓄積——それを、観点を変えて言えば、地下の地層を正確に示す座標の蓄積になるのであるが——があり、それが実は巨大な陰の財産になっていることである。既成の大油田地帯は、上記の理由により、それだけで、他の新しい新地域（たとえ、そこが、理論的に大量の石油を蔵していると判っていても）よりもなお遙かに安全に確実に、新規の確認埋蔵量をふやしてゆく可能性があると言える。

ここまで推論してくると、新地域や処女地

(大陸棚)に大規模な投資をするよりも、少くも当面の間は、OPEC(石油輸出国機構)の諸国のような、現実に大油田を持ち、現実に大量の石油を生産している地域から、石油の供給を仰ぎとするのが当面の石油経済政策としては揺るぎのない(議論の余地のない)大道であることが判るのである。OPECの諸国は石油を売ることがを商売にしようとしているのでもある。ただ、将来における世界最大の石油輸入国(となると予想されている)アメリカにとって、上記の大道に不安ありとすれば、それは安全保障の問題だけである。それさえなければ、アメリカと雖も(アメリカほど大量に輸入するとしても)、確認埋蔵量の点から、そんなに輸入政策に不安があるとは思えないのである。

しかるに、1973年のニクソン米大統領のエネルギー教書(米連邦議会宛の教書)では、1980年代の米国の石油輸入分の、OPEC諸国への依存はこれを半(なか)ばに止め、他の半(なか)ばは、やはり米国内とは限定しないが米国の資本によるところの、新しい油田地域の開発——換言すれば、国内または準国内供給力の開発を示唆し、それに国費を投ずるべしという考え方を採用している。聞くところによると、この教書の作成の準備段階の検討で、一番問題になったのは、OPECが将来の米国の全輸入量を供給することができるし、それを輸入するのが最も経済的であるという見解に対して、果してそのように、米国の石油をOPECにだけ頼ってよいのかという疑問が出されたときであったという。結果として採られた決定は、上述のように、全面的OPEC依存と全面的国内開発との中間であると言われているが、この決定はこのVII-8項で分析したところに従えば次の2点を指向していると言えよう。

すなわち第1点はOPECからの輸入が(石油経済政策としては)経済的には本筋であり(たとえOPECが石油の値上げを要求してくることが確実であるとしても)OPECから輸入することが最も安価な石油を米国民に供給する道である——ということ。

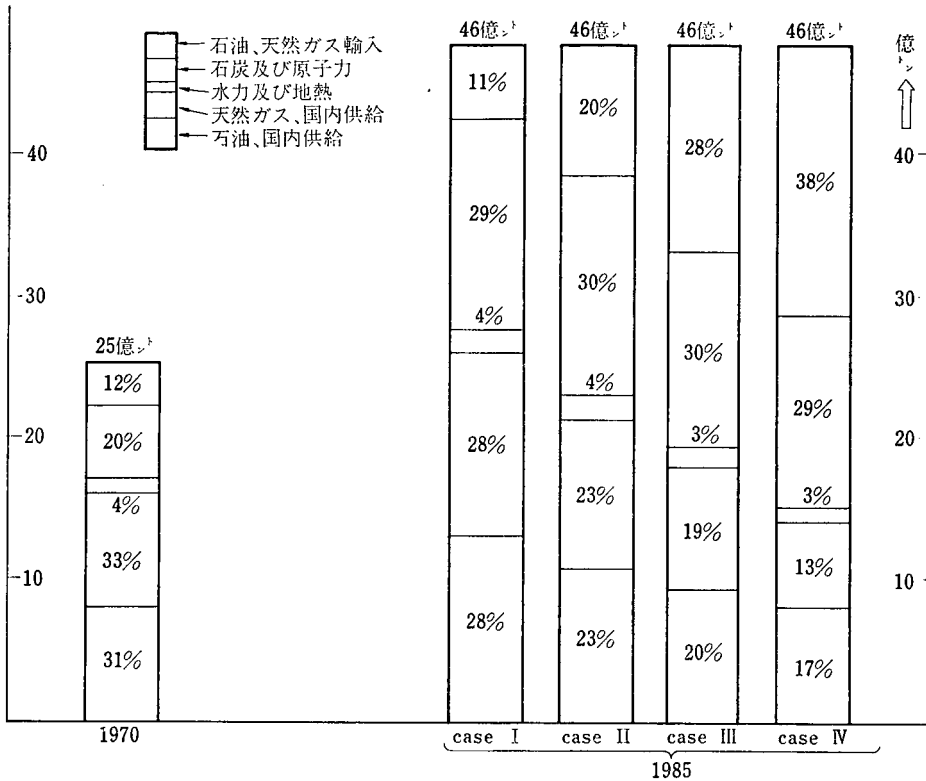
(注：将来の価格体系の中で)

第2点は、新規の油田開発がたとえ大きな資金を要し、また、採掘費は高くなるにしても、OPECの石油が永遠に続くわけではなく、いづれにしてもOPECにも枯渇問題があることをも併せ考えれば、新規油田の開発は、いつかは国の資金を援助するか、或は税制その他による国の力を貸すか等のことにより、実施してゆかなければならぬところである。即ち、(新規開発は)高価であるけれどもやらねばならぬこととして、その実行へと着手する決定がなされたこと。即ち真の意味での次期石油政策が、ここで発せられたこと——これが第2のポイントである(この第2のポイントは、“安全保障”の観点を強調することによって、議会の承諾を得ようとしているように、筆者には思はれる)。

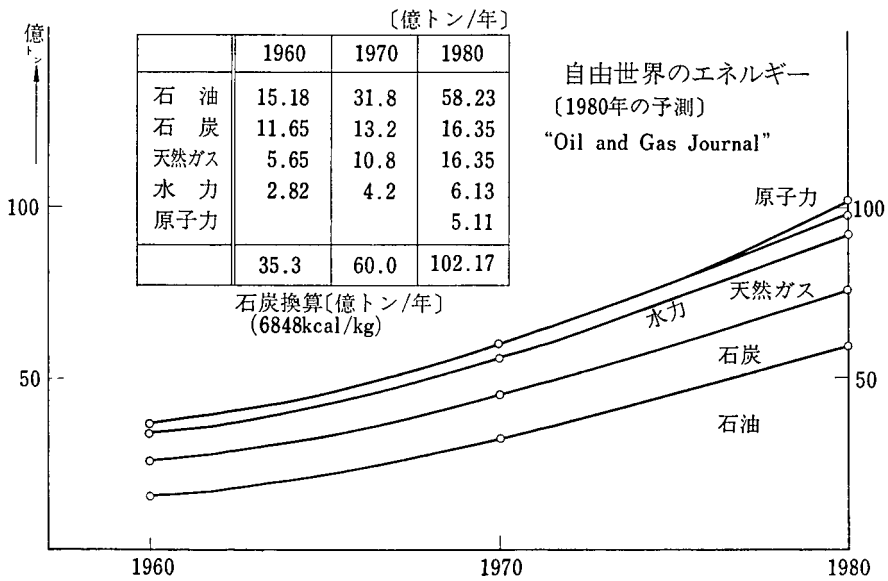
上記の第2のポイントとして決定されたことは、恐らく既述第VII-5項の註にあるところの1981~1983年頃の、第3回目の石油ポリシーの大検討の時期までには、石油の新しい姿として多くの実績を示し、そうしてそれらの実績は第3回目の検討の基礎を提供することになるのだと思われる。

VII-9：1980年代の“30年天下”の数値

さきに石油の(過去の時点における)各種の考え方の発達してきた経過を述べたとき、その確認埋蔵量が殆んどいつも30年くらいの寿命(であるかの如く)に見做されてきたことを述べた。



第 VII-4 図



第 VII-5 図 自由世界のエネルギー “Oil and Gas Journal”

そうして、そのような評価を受けながらも、石油は、石炭の1/2の消費量に達した1954年の第1の曲り角を過ぎ、更に石炭と1:1の消費量に達した1967年の第2の曲り角をも過ぎ、そうして更に1980年か、もしくは1981年に、第3の曲り角として石油の消費量が石炭の消費量の2倍になるという、極めて重要な曲り角を迎えるであろうことを、VII-5節の註に述べた。

石油のことだけに着眼していると、上述の意味は単なる石油産業の盛衰を論じているに過ぎないように受け取られるであろう。しかし、総エネルギーとGNPとの深い関連に着意し、総エネルギーの盛衰が民族や国家や、更に広く言えば世界の経済全体の盛衰と深く関わり合っていることを考えるなら、石油というエネルギー資源が“30年天下”の性格を〔年産量と埋蔵量との関係において〕持っているということ、しかもそれ（石油）が総エネルギーの中の宗主たる位置を占めるということは、重大極まりないことであると言わねばならない。その重大さ（人類や世界経済にとっての重大さ）は、とりもなおさず、将来（2000年頃）の総エネルギーそれ自体が30年天下の性格を帯びてくると言う点にあるのである。このような考え方が最初に表面に出てくるのが、前述の第3回目の曲り角、石油が石炭の2倍になった時である。この時から以降、石油は恐らく10年毎くらいに、上記の考え方をもっともっと突き詰めたような、深刻きわまる大きな問題を、世界の経済界に投げかけ投げかけしながら進んでゆくようになってゆくであろう。それは既に資源の問題ではなく経済の問題になっており、1つの国の問題ではなく人類の問題になっているのである。このことは別項で更に分析するとして、この項では最初の重大な時点——1980年か1981年頃

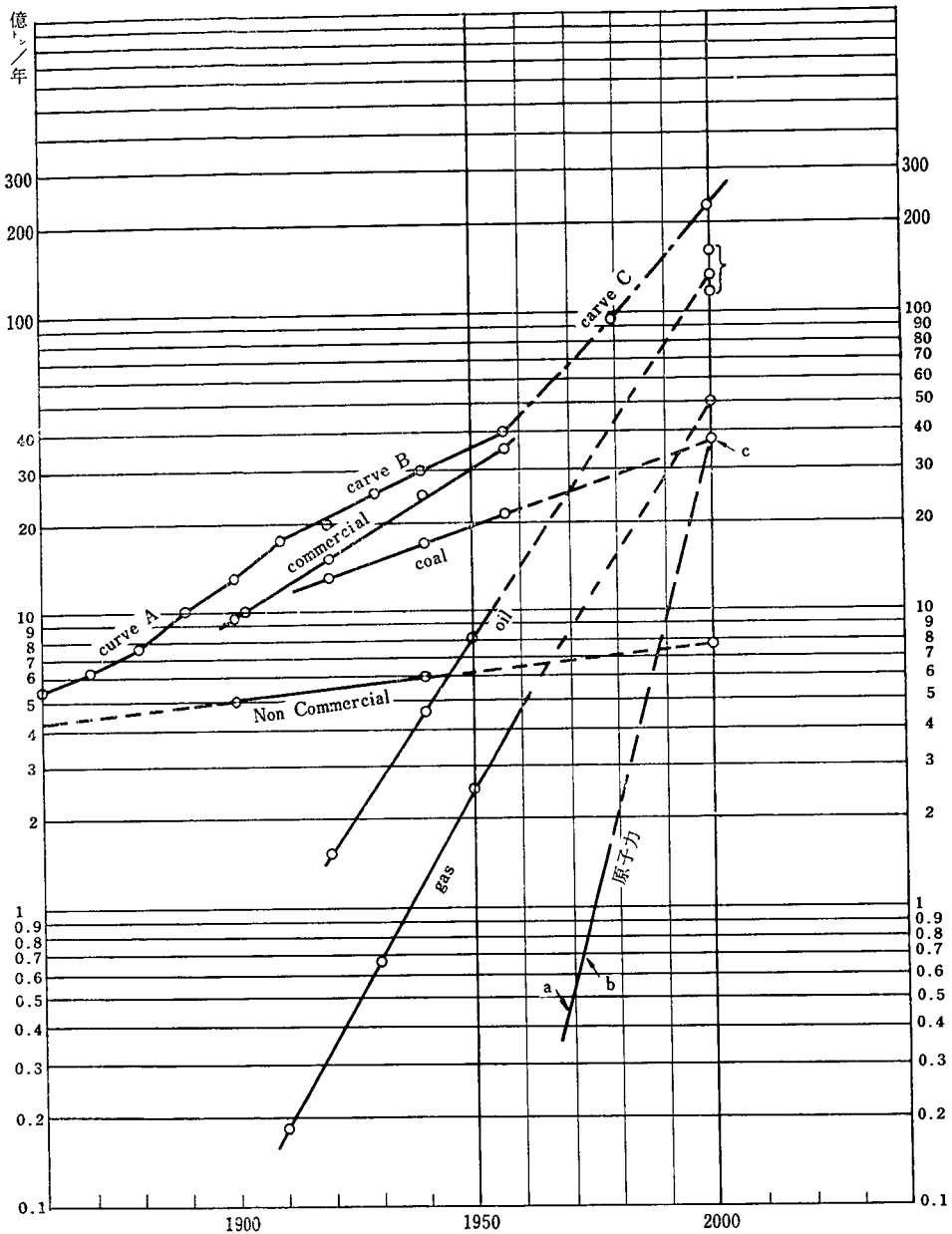
の情況に——について述べておこう。

我々は、もう第VII-2図を離れてもよいのであるが、もう1度このVII-2図を参照しながら、それに最近の新しい試算をも加えて、1980年代の石油問題を考えよう。

第VII-4図と第VII-5図とは、アメリカおよび“自由世界”（ソ連圏・中国を除く）について、1980年代のエネルギー構成を予測したものであるが、両国とも石油（および天然ガス）の引き続きの成長を示している。

第VII-4図はニクソン大統領のエネルギー教書の基礎になったNPC（National Petroleum Committee）の1985年度に対する総エネルギー試算（case-1からcase-4まで）を、石炭換算（6,848 kcal/kg）で示したものである。また、1970年度の実績も一緒に示してある。石炭換算は、この図では、6,848 kcal/kgで行ってある（国連統計と同じ方式）。此の図は、ニクソン教書（1973年）での焦点の問題であった石油の（OPECからの）輸入と、国産（米国産）との選択問題を分析するため、輸入量を変えての4つのcaseが示してあるが、総エネルギーは4caseとも、46億トン（1985年米国）である。そうして、輸入と国産とを合せれば、石油と天然ガスは総エネルギーの68%を占め、石炭と原子力の約30%に対し、その約2.3倍になっている。

第VII-5図はOil and Gas Journal誌によるもので、1980年に対し、自由世界の総エネルギー102.17億トン/年のうち、石油と天然ガスが76億トン/年で、ほぼ75%（3/4）を占め、石炭は約18億トンで、ほぼ18%弱を占めている。また此の図（VII-5図）では原子力が（2000年時点で）約5%の比重を総エネルギーの中で保っていることが予想してある。原子力につい



第 VII-6 図

ては、いづれ第3回分載の諸章で分析するので、いま、ここでは、原子力の比重がまだまだ微々たるものであることに注目しておいてもらえばよい。また此の図での原子力は、後章で筆者が提唱することになる“ニュー・ニュークレオニクス”（第1回分載の序文参照）ではな

いので現在一般に広く使われている原子力（その85%は軽水炉型の原子炉を用いている）が、此の図では示されているのである。

上述の2図は、アメリカと自由世界とに関するもので、世界全体を見ることはできないが、しかし石油および天然ガスへの強大な需要の成

長予測(ならびにそれから起る巨大な資源問題)の一端をうかがうことはできる。

世界全体については、したがって、やはり既掲の図 VII-2 を参考とし、筆者がそれに新しく原子力の予測を加えた所の第 VII-6 によって、今後の検討を進める。この VII-6 図に示した原子力は、設置された(または、将来設置されるであろう)発電所の出力(キロワット)から換算したものである。周知のように、キロワットはエネルギーの単位ではないわけであるので、上述の換算は稼働率を仮定してエネルギーを計算するという便宜的なものであるが、ここでは、既掲の第 VII-1 表に示した換算方法によった(1キロワットの発電所は1年に1.75 トン石炭換算の電力エネルギーを出すとしたもの)。同図 a 点は 1969 年の世界計 23,497 MW, b 点は 1972 年の 39,672 MW(同じく世界計、ソ聯も含む。)を示している。c 点(2000 年)の値は、その時に予想される運転中の原子力発電所を、世界計で 20 億キロワットと仮定したものである。原子力については、今後種々のケースが考えられるので、ここに示した 20 億キロワットという数値は、単なるその 1 例であるとして見て頂きたい。最後に、此の図の総エネルギーを示す曲線は、前出の VII-2 図を踏襲したもので、此の図(VII-6 図)で示された部分エネルギーの数値を合計したものではない。しかし仮りに、部分エネルギーの合計がそのまま総エネルギーになるとするなら、2000 年時点で原子力と石炭とが併せて約 70 億トン、Non commercial energy が 7.5 億トン、天然ガスが 50 億トン、石油が 130 億トン；以上の合計としての総エネルギーは 257.5 億トン(2000 年：石炭換算：6,848 kcal/kg)となり、その 13.6% が 2000 年時点の原子力である——ということ、

此の図の原子力の曲線は示しているわけである。

1980 年の時点では(第 VII-6 図により)原子力は 2.4 億トン(石炭換算)で、総エネルギー(約 100 億トン)の 2.4% に当るわけである。

第 VII-6 図に示した原子力エネルギーは、これも必ずしも筆者の言う“ニュー・ニュークレオニックス”を入れたものではないが、原子力界の主張として、今世紀末にせめて 20 億キロワットくらいを導入するの でなければ、(20 世紀末での総エネルギーに対する寄与として)どうにもならない、という必死の願望をこめた数値であるとも言えるものである。そうして、図に見るように、嘗ての石油や天然ガスの成長速度よりも更に一層急な傾斜をもった成長速度を仮定している。このような急な傾斜の成長速度が、果して可能なのか、どうかというのが、今後の各章での分析の主題である。核燃料の供給(調達、ないしは生産)の可能な速度や、発電所の建設速度なども検討の対象になる。それらの内部的諸因子が果して第 VII-6 図のような原子力についての急成長を可能にし得るか否か？それから、1 つ重要な注意事項は、原子力は電力需要の中で成長しているものであり、全体需要の中で成長しているのではないということ、総エネルギーの理論としては、重大なことに考えておかねばならない。電力需要は総エネルギー需要の中の 1 部に過ぎない。また、GNP に深く関わっているのは総エネルギーの方であって、電力需要の方ではない。したがって、原子力が仮りにすべての電力需要を原子力によってまかなったにしても、原子力は、そのままでは、GNP など(のような)マクロな指標に対しては、わづかの寄与しか、なし得ない。原子力が上述の GNP のようなマクロな指標に大きく寄

参考表：30年間で30億トン/年〔石炭換算〕のエネルギー・フローを設定してゆくための費用（但し、油田のライフ=30年）

【石油】

〔油田の開発から、フローへ〕

投資（油田開発）	フロー（石炭換算）	火力発電所建設量	火力発電所建設費	火力発電燃料代金（30年分）
125 億ドル/年	1 億トン/年	$\frac{4}{7}$ 億 KW	$\frac{1,000}{7}$ 億ドル	30 億ドル×30 年
↑ 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓
125 億ドル/年	1 億トン/年	$\frac{4}{7}$ 億 KW	$\frac{1,000}{7}$ 億ドル	50 億ドル×30 年
30年間累計、油田開発費 3,750 億ドル	30年後のエネルギー・フロー（石炭換算） 30 億トン/年	30年後の火力発電所出力 $\frac{120}{7}$ 億 KW (17 億 1,430 万 KW)	火力発電所建設費総額 $\frac{3}{7}$ 兆ドル =0.4333 兆ドル	燃料代金 30 年分 =4.5 兆ドル 燃料代金 30 年間に支払う分 =上記の約 1/2 =2.25 兆ドル

【原子力】

〔原子力発電のメーカー投資からフローへ〕

メーカー投資	フロー（石炭換算）	原子力（電源セット）発電所建設量	原子力（電源セット）発電所建設費	原子力発電（電源セット）燃料代金
$\frac{9,000}{7}$ 億ドル				(増殖炉であるので) 燃料代金は ≈0
↑ メーカー先行投資 ↓				
	1 億トン/年	$\frac{4}{7}$ 億 KW/年	$\frac{3,000}{7}$ 億ドル	≈0
	↑ 30 年 ↓	↑ (0.57142 億 KW) 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓	↑ 30 年 ↓
	1 億トン/年	$\frac{4}{7}$ 億 KW/年	$\frac{3,000}{7}$ 億ドル	≈0
30年間累計メーカー投資 1,833 億ドル	30年後のエネルギー・フロー（石炭換算） 30 億トン/年	30年後の原子力発電所出力 $\frac{120}{7}$ 億 KW (17 億 1,430 万 KW)	原子力発電所建設費総額 $\frac{9}{7}$ 兆ドル (1 兆 2,758 億ドル)	燃料代金 30 年分 0

◎ 1次エネルギーのフローを設定するのに、石油と原子力とでは、上記の如く、資金の使い方が異なる。

石油系の産業構造では、始めに資金が少く、後で巨額の燃料代金を支払う。燃料の枯渇問題を起す。原子力（電源セット）は始めに（メーカーが）資本を投下し、次いで原子力発電所への直接投資も火力より多いが、燃料費は殆んで要らない。完全防護型の増殖型電源セットからは、清潔な電力が限りなく得られる。原材料物質（トリウム；ウラン-238）は無限に近くあるので、枯渇問題は起らない。

与できるようになるのは、産業構造が変わって行った後のことである。更に第2の重要な注意事項は、第 VII-6 図に示され2つの種類のエネルギー（石油と原子力）において、やはりその生長速度に関することであるが、石油の方には強大な需要の索引力がある（とくに、電力とし

てでなく、一般エネルギー需要として）のに対して、原子力には、それが無い。にも拘らず、此の第 VII-6 図のような急速な成長を（原子力に）期待するに就いては、経済界としてもそれ相当の分析に基いた新しい考え方（産業資金の使い方についての考え方）を導入しなければならない

い。放っておいても第 VII-6 図のようになる一とは、期待してはならないところである。これが第 2 の重要な注意事項であるが、第 2 の注意事項について、では、どのような考え方があのか？ という質問に対して、取りあえず別に参考表を掲げておく。この参考表は、同じ石炭換算で 30 億トン/年というエネルギー・フローの増分を、30 年間で設定する（開設する）ための、石油システムと原子力システムの各々における費用比較をしたものである。後章でさらに電源セットの説明のときに使用する分析であるが、とりあえずここに細部説明なしで掲げておく。とくにその中の初期投資と累積投資の在り方を参考として見ておいて頂きたい。

（注：上記参考表の考え方の要点は、次のとおりである。石油システムでは、30 年間に累積投資が、油田部門だけで 3,750 億ドルであるが、原子力システムではメーカー投資（製造および建造部門）が 1,333 億ドルになっている。前者は 30 年にわけて毎年一定額づつ投資するが、後者は 1 度に先行的に投資されることになる。後者の方法は巨大な資本を持つ先進国では可能であり有利であるが、資本の少ない後進国では、投資を小出しに行なうことのできる石油システムの方を、経済戦略として選ぶことになる。）

以上は第 VII-6 図に関することで、多少寄り道の記述を加えたが、要するに 1980 年時点での事態を考える参考の 1 つとして、2000 年までの世界についてのエネルギー需要の考え方を示したのである。

さて、次に、1980 年（頃）において、どのような議論が石油を中心とした総エネルギーについて、為される（べき）であろうかを考察する、その資料として、石油の確認埋蔵量と推定埋蔵量に関するデータおよび考え方を、次に整理しておく。

(i) 1971 年現在での石油の確認埋蔵量は 5,695 億 バレル (1242.8 億トン [6,848 kcal/kg 石炭換算]) である。

(ii) 1971 年の石油の年間消費量は約 27 億トンであるが 1980 年には約 45 億トン（石炭換算, 6,848 kcal/kg）になっているであろう（第 VII-6 図）。同じく 2000 年時点での消費予想は約 130 億トン（第 VII-6 図）。

(iii) 石油の埋蔵量に関する推定は、1971 年までに発表された見解としては、次のものがある。

Weeks …経済的に取り出し得る分として約 2 兆バレル (4,364 億トン [石炭換算])
T. A. Hendriks (1965 年) ……地下にある石油は約 10 兆バレル (2 兆 1,823 億トン [石炭換算])

以上、石炭換算はいずれも 6,848 kcal/kg の国連方式である。

1980 年代の、石油に関しての、埋蔵量対年産量の比例は、どのようになっているであろうか？

これには、まづ確認埋蔵量がどの程度に増加しているかを、大体想像してみる必要があるが、VII-7 節の考察に従ってみると、およそ 3 つの方向に対して石油業界ならびに各国政府の努力が続けられるであろうことが予測される。

- ① 既存の大油田地帯での今後の追加発見
- ② シベリヤ、中国などの大陸での新しい油田の開発
- ③ 大陸棚の石油の漸進的な開発

現在 (1973 年) から 1980 年初頭までの僅か 10 年足らずの間に上記の努力が、どの程度の成果を挙げるのか？ 恐らく、今後のエネルギー問題の中で最大の関心事となるであろうが、数字的には全く予測できない。②と③の新しい油田の開発には相当に資金がかかるであろうという予想は VII-7 に述べた。また、そのような

開発資金の必要性に対しても、積局的に対処してゆこうという姿勢を示したのが 1973 年のニクソン教書の趣旨であることも、指摘したところである。これはアメリカという巨大な石油消費国にとって、当然のことと思われるのである。と言うのは、アメリカ以外の諸国は、ソ聯を別として、まだ、アメリカほど切迫した考え方を必要としていない——とも言えるからである。1 つには、現在 (1971 年) の確認埋蔵量が年産量または年消費量に比べて可なり大きいので、一種の安堵感が支配している時であり、中小の石油消費国には、殆んど危機感が無いであろう。

過去の約 10 年間に、石油の確認埋蔵量は、1 年に約 80 億トン〔石炭換算〕の割合いで増加してきた、と言える。そこでもし、此の程度の発見速度 (確認速度) が今後の 10 年間も続くと仮定すると、1980 年には 2,000 億トン〔石炭換算〕くらいには、控え目に見てもなっているであろう。そこで、もし此の程度まで確認されているなら、1980 年での予想される年産量: 確認埋蔵量の比率は、45 億/2,000 億トンとして 1:44.44 (約 44 年分) である。この数字は、企業レベルの判断としては、まだ可なりの安堵領域にある数字である。しかし、国のレベルまたは国際経済のレベルでは、常に将来の動向を加えた分析が行なわれるので、この点は次のべるような別の観点から検討しなければならない。

既述の安堵感は、むしろ、多くの場合、消費を促進する効果 (結果) を持つ。この意味では 1980 年代は、むしろ需要が強勢となり、石油の生産者にとって最大の、鼻息の荒い時代となるであろう。しかし、同時にそのような動向は直ちに、将来に向っての危機分析をも呼び起すも

のと思われる (将来の需要予測が大きくなるので)。そうして、そのような観点からは 1980 年という時点は世界のエネルギー問題にとって、基本的な分析態度を改めることを要求されるような、2 つつの考え方の転機が、現実に到来する時期である。

その 1 つは既に VII-5 節で述べたように、石油が石炭の 2 倍になる時機である。

他の 1 つは、石油が総エネルギーの 1/2 を超える時機である——ということである〔VII-6 図参照〕。

特に世界全体の資源問題から考えて重要なのは、2 番目の考え方であって、此の考え方は、石油に対する人類的な検討の立場を呼び起すキッカケとなるに充分なものであろう。

(注: 石油消費国——いわゆる経済先進国——では、石油が各々の国の総エネルギーの 1/2 を超えたのは、とっくの昔のことである。それで、1/2 という数字が、そんなに深刻にひびかないかもしれない。しかし、世界の総エネルギーに対して 1/2 の位置を占めるということは、石油の輸出とか輸入とかを超えた問題になることを意味する。)

枯渇問題に対しても、増分 (または変化分) の考え方が重要である。

石油が (世界の) 総エネルギー消費量の 1/2 を超えてくると、石油が何年後に無くなるとか、1 年に何億トンづつ (年産量が) 増すとか減るとか言った問題は、すべて、世界の GNP に直接にひびいてくる。つまり、世界全体の経済戦略にとっての、いちばん基本的な問題になる。

石油の比重が小さいのならば、たとえば全体の 1/5 ならば、それが 30 年後に無くなると言っても、世界の GNP の 20% の問題である。

しかし、石油の比重が 1/2 以上の段階で、それが仮りに 30 年後に無くなると言うことは、世界の GNP が 30 年後に半分に減るような、

そういう事態と同じくらいの意味を持ってくる（エネルギーはすべての生産の基本になるので）。

したがって、同じく石油の枯渇とは言っても、その総エネルギーに対する比重で問題がちがって来る。

たとえば 21 世紀に入ると、石油の年間消費量が毎年毎年落ち（減少し）てゆく過程を経験するであろうことは、恐らく不可避なものではないかと考えられているが、その過程での 1 年間の変化量も、比率でなくて絶対量で考えれば、巨大なものになる。

石油（の年産）が例えば 150 億トン〔石炭換算〕を頂点とするような、そういうレベルからの枯渇による（年産の）減少を単純に想定してみると、それは次のようなものになる。

地下に残っている石油の可採埋蔵量を、1971 年時点で 4,364 億トン〔石炭換算〕と仮定し（既述 Weeks の数値）、頂点生産年度に達するまでに仮りに 3,000 億トン程度を消費してしまうと、残りは 1,364 億トンである。このような条件の組合せの場合、石油の減少過程は極めて急激である（年消費が大で残量が少）。そこで半減期を 10 年（年減少率約 7.2%）くらいに見るとすると、最大の年間減少量（年産の減少量）は $150 \text{ 億トン/年} \times 0.072 \approx 10.8 \text{ 億トン/年}$ という激しい変化量になる。

上述のようなことは、本当は、あり得ないことであり、在らせてはいけないこと（世界経済の大動乱になるであろうから）なのであるが、いちおう、10.8 億トン/年という 1 年間の減少分を、何か別のもの（仮りに原子力）で補うとすれば、それはどのような数値になるのかを、次に換算で示しておく。10.8 億トン/年〔石炭換算〕は、6.17 億 KW の原子力発電所に換算

される（表 VII-1）。したがって、石油の年間生産量が 1 年間に 10.8 億トン減るというのは、それを補うのに 6.17 億 KW を 1 年間で増設しなければならないことを意味する。

石油の年産量が減ることは、石油を使っているすべての産業が影響をうけることでもある。石油の消費量が減る前に、実は石油を使う産業の方が変化していなければならない（産業構造の変化）。たとえば石油を使っている輸送手段（船・トラック・航空機など）が、1 年に 1% ずつくらい、その手段を変えてゆく（電力による輸送手段に切り換える）が如きことである。このような産業構造の変化は、1 年に何% ずつというような大きな速度（変化率）で起り得るものではない。輸送に使われるエネルギーはまた、全エネルギー消費の中の 1 部に過ぎないから、輸送手段だけが変っても、石油の全体的な消費量はその何分の 1 かしか変らない。暖房の方式も変り、生産の方式や手段も、同じように変ってゆかねばならない。それらの諸方式に対して、設備や機器を供給する産業もまた、変ってゆく。このような構造的な変化は、全体の経済サイズが大きくなった段階では、その 1% と雖も、大変に巨大なものである。

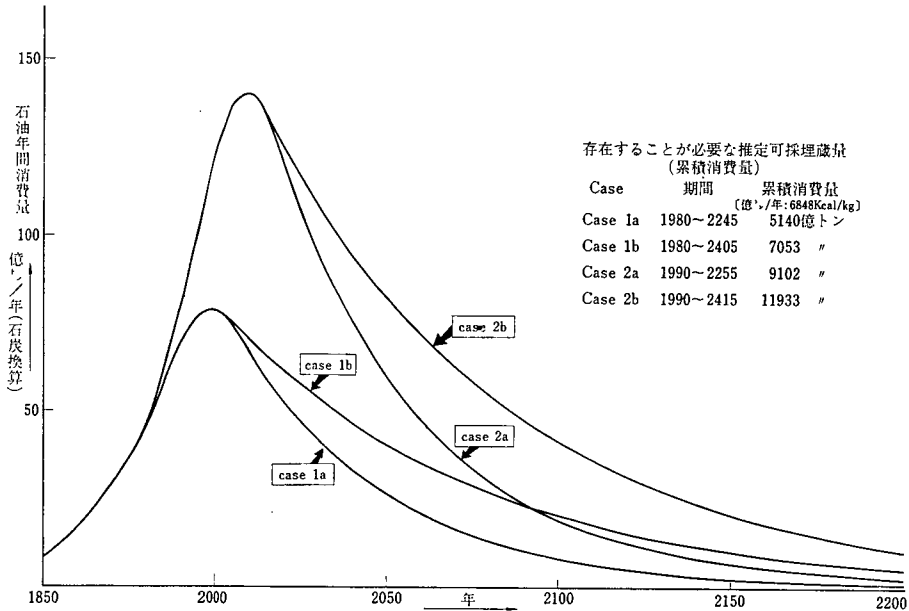
（註：3 兆ドルの GNP を持つ経済体が、その 1% の産業構造を 1 年間で変えると予想して見よ。1 年に 300 億ドル相当の、生産方式や消費手段が、変ってゆくことになる。）

以上のようなことがあるので、石油の消費予測を石油の可採埋蔵量や石油の推定埋蔵量などだけから、単純な計算で、これこれの量に減る——というようには言えないのである。

（注：再び繰り返すが、石油が全エネルギーの中の小さな部分であった時には、それがどう減ろうが、大きな経済の問題ではない。）

VII-10：減少の前に増加率調節の期間が必要

第 VII-7 図は、現在ほぼ年率 6% で増加して



第 VII-7 図

いる石油の消費量（第 VII-6 図の速度に相当）に対して、或る時点から増加率の減速（後述）を生起させてゆくとして（産業構造の変化を前提として）、それがどのような値の頂点値（極大値）に達し、また、それから、どのような速度で減少して行くと想定した場合に、（最後の結論として）どれだけの石油の推定可採埋蔵量があればよいのか——を検討するために、数個のケースを例として石油の生産量の推定変化を示したものである。

各ケースに就いて（それが成立するためには）必要な推定可採埋蔵量がいくらあればよいのかを見るために、第 VII-5 表に、各ケースの累積消費量を、各ケースの計算の条件説明等と一緒に示してある。

この表および第 VII-7 図で判るように、もしも石油の生産量が減少しはじめる前に 20 年（この数字はすぐ次に説明する）の調節的期間が必要なのであるなら、1980 年は case 1 に従って調節を開始すべきか、それとも case 2 が可能

であるとして更に 10 年を伸ばして、1990 年から開始すべきか、重大な判断の岐路に立っている年であることが判る。この判断は推定可採埋蔵量に基礎をおいている。その基礎が、しかし、本当のところは正確には判らない。判らなくても、或る種の判定を下さねばならない。それも、僅か 10 年の差（1980 年に調節を始めるか 1990 年に始めるかの差）が、必要な推定可採埋蔵量に巨大な差（後述）をもたらすような、そういう課題に対してである。その“steering”に失敗すれば、世界の経済界には巨大な動乱と言ってもよいほどの混乱が起って来るはずである。この意味を更に詳しく理解するための参考として、次に第 VII-7 図の曲線のつくり方を説明しておくので、読者はそのつくり方を逆に“steering”の方法論として眺めるように留意しながら、最終的には石油の推定可採埋蔵量なるものの意味を汲み取って頂くようお願いしたい。次にのべるのは、そのつくり方である。

第 VII-5 表 確認埋蔵量ならびに推定埋蔵量と石油資源政策の考え方

とくに頂点以後の消費管の考え方頂点に達するまで及び頂点后、とくに5年間まで「年増加率加速度」を $-0.3\%/年$ とする (20 年間で頂点に達し、あと5年間このマイナス加速度でもって下る)。

	case 1	case 2
年増加率加速度 $-3\%/年$ 開始年度 [A]	1981 年	1991 年
[A] の年度の年間石油消費量 (仮定) [B] 〔億トン/年 6,848 kcal/kg 石炭換算〕	45 億トン/年	80 億トン/年
頂点 (制限最大産出量) に達する年度 [C]	2000 年	2010 年
頂点における制限最大産出量 [D] 〔億トン/年: 6,848 kcal/kg 石炭換算〕	78.716 億トン/年	139.3401 億トン/年
-3% 年開始年度から頂点まで (20 年間) の 累積生産量 [E]	1,346.4 億トン	2,393.4 億トン
頂点以後5年間 ($-3\%/年$ 継続) の累積生産 量 [億トン] [F]	885.4 億トン	685.1 億トン
半減期直前 [case 1 では 2105 年] [case 2 では 2115 年] の年度における年間生産量 [G]	75.2338 億トン/年	
半減期中の累積生産量 [億トン] [H]	3408	5321
第 1 半減期	1700	2670
第 2 "	850	1335
第 3 "	425	668
第 4 "	223	334
第 5 "	112	167
第 6 "	56	84
第 7 "	28	42
第 8 =	14	21
半減期計算の最終年度 [I]	2345 年	2515 年
上記最終年度の年産量 [J]	0.290 億トン/年	0.294 億トン/年
累積生産量 [E+F+H]	5140 億トン	7053 億トン
	6023	9454
	3022	4744
	1511	2372
	756	1186
	378	593
	189	297
	95	149
	48	75
	24	38
	2345 年	2515 年
	0.523 億トン/年	0.523 億トン/年
	9102 億トン	11933 億トン

VII-11: 石油の頂点——2010 年頃 (?) 140 億
トン/年 [石炭換算]

第 VII-7 図の中で、先づ最初の時期に石油は年増加率 6% で伸びている——としてある。これは第 VII-6 図に示した石油の年増加率とほぼ等しい。

case-1 については 1980 年から、そうして case-2 については 1990 年から、次に説明する増加率の減速が起きてくるとしてある。

年増加率の減速率を $-0.3\%/年$ と仮定する (これよりも減速率を大きくするには、産業構造の变革速度も大きく見積らねばならない。これよりも減速率を少くすると、減速を完了するまでの年月が伸び、その間に石油の年産量はなお伸びる。そうして、それは、必要な推定埋蔵量

の一層の増加につながる。)。 $-0.3\%/年$ の意味は、年増加率そのものが 1 年毎に 0.3% ずつ減ることなのである。従って、年増加率 6% であった産業は、次の年には 5.7% の年増加率になり、更に次の年には 5.4% になる。かくして 20 年たつと、年増加率ゼロの年が来る。その次の年には、年増加率が -0.3% ——即ち、前年度よりも生産量の絶対値が減少——になるので、年増加率ゼロの年は生産量の絶対値が最大になる年である。最大値が出現するのは、減速を始めてから 20 年後である。

前項の最大年度から、更に5年間、同様の減速率 ($-0.3\%/年$) を継続する (これは、曲線の連続性を保つため近似的にはあるが)。

$-0.3\%/年$ の減速率が終ったあと、case 1a と

case 2a (a-case) では 30 年の半減期で減少し、case 1b と case 2b (b-case) では 50 年を半減期とする減少過程が続くものとする。

半減期 30 年の減少過程は、年率 2.33%

半減期 50 年の減少過程は、年率 1.396% であり、この減少率は半減期を通じて常に 1 定である。絶対値での最大の年間減少量は、case -a (30 年半減期) では極大値の年から数えて 6 年目に起る。というのは、5 年間は (既述のように) -0.3% の減少率加速率で減少しており、5 年目には 1.5% の対前年比減少率になっているからである。 1.5% よりも、半減期減少率 2.22% の方が大きい。case-b (50 年半減期) では、5 年目の対前年比減少率 1.5% の方が、半減期減少率 1.396% よりも大きいので、5 年目に最大の (絶対値での) 減少量が見られる。case-2a の 2016 年度の対前年減少量が、すべての case を通じて、最も大きく、1 年間に 1.7787 億トン [$6,848$ kcal/kg 石炭換算] となる。これは、第 VII-1 表の換算方法によると、1 年に約 1 億キロワットの原子力発電所が減少したのに相当する。原子力の方では、この分だけ余分に見込んでおかないと、全体エネルギーの増分が計画どおりには出て来ないわけである。が、石油の方としては、既にのべた“在り得てはいけない”としたところの、1 年に 10.8 億トン [石炭換算] もの減少に比較すれば、遙かに少ないものであり、世界経済へのショックにはならないと思われる量である。

上述のように、半減期 30 年という減り方は、産業構造の変わり方から考えても、穏健な速度と思われるが、それ以上に早めることは、難かしくなると考えられる。と言うのは、各産業のサブ・システムとしての企業の平均寿命を約 30 年と見るならば、そのような企業群の中から平

均して 1 年に $1/30$ の寿命終了の企業が出るわけである。寿命は、ここでは、企業にとっての投資・償却・利益および企業転換に必要な自己資金蓄積などのサイクルを終るまでの期間と見ているわけであるので、 $1/30$ すなわち約 3.33% の年率で産業構造の変革が進むことは、一応期待できるが、しかし、可なり厳しい限度でもある。そこで、半減期 30 年の時の年減少率 2.33% というのは、上記の限度と考えられる値 3.33% よりもなお 1% がた余裕があり、企業の平均寿命を約 43 年にとったことと大体等しい。これは、各企業にとっても、約 10 年の準備期間 (転換のための) が与えられることになるので、十分に産業資金政策や税制その他の一般的な制禦手段によって、円滑にガイドしてゆくことが可能となる数値であろう。

年増加率減速率 $-0.3\%/年$ を開始する時点での年産量は、case-1 では 45 億トンとしてあり、case-2 では 80 億トンとしてある。case-1 の 45 億トンが、そのまま年率 6% の成長を 10 年続けると 80 億トン/年になる。case-2 は従って、平均的な成長の傾向を 1990 年まで続けても、なお十分な埋蔵量があると見た場合にとられる選択だと解釈してもよいであろう。1 つの注意事項は、もし石炭の流体化 (液化・ガス化) に十分な見込があれば、此の場合には産業構造そのものまでも変革する必要の度合は、可なり減ってくるので、石炭の流体化は、1980 年での資源問題を判定するにも、極めて重要なものであると言える。それはその時点での需給問題に対して重要だと言うよりも、むしろ石油の推定可採埋蔵量に代置されるもの (そのような考え方) として重要であるわけである。但し、全面的に石油に代るというわけにはゆかない面々出て来るであろうし、輸出や輸入に関与

する産業の国際的な構造も、石油と同じではない（例えばアメリカが、流体化石炭の大輸出国になるが如きこと）。これらのことは別途検討する必要がある重要事項であろう（なお、本章末尾の註を参照のこと）。

石油年産量の極大値は case 1 では 78.7 億トン〔石炭換算〕、case 2 では約 140 億トン〔石炭換算〕となっている。

さて、上記のような諸条件の総結論として、第 VII-7 図の各ケースは、夫々に組合わされる必要な可採埋蔵量として次の数値を示すことになる（但し、累積消費量の計算は各ケースとも半減期の 8 周期までとった。30 年 HL なら 240 年；50 年 HL なら 400 年）。

case	存在することが必要な推定可採埋蔵量 (石炭換算 6,848 kcal/kg)
	<u>石炭換算</u>
{ case 1a	5,140 億トン
{ case 1b	7,053 億トン
{ case 2a	9,102 億トン
{ case 2b	1 兆 1,933 億トン

〔注A〕本章の終り数個のバラグラフの記述は、1 言で言えば、石油および石油によって成立している産業や GNP のダ性 (inertia) のようなものを述べているのである。同時に、それは、この大きなダ性に均衡することの出来る新しいエネルギー（例えば原子力）が、どのような速度で伸び

てゆけばよいのか？を論議するときの目安になる。新しいエネルギーの伸びは同時に新しい産業の伸び——産業構造の変革の速度——と均り合っていないなければならない。第 3 回の分載では、これらの新産業やニュー・ニュークレオニクスについて、徹底的な分析を加えてゆくことになる。これらの新しい産業や新しいエネルギーに要求される規模や速度もまた、相当に巨大なものである。それの創造の努力に失敗すれば、第 VII-7 図に示した石油の“山”と、新しいエネルギーの“山”との間には、“谷”が出来ることになる。

〔注B〕 石炭の流体化の重要性について

世界全体としては、(石炭の流体化は) 石油の枯渇問題を大きく緩和する。産業構造が(石油と)似ているので、産業構造を殆んどそのままとして石油に代り得る。従って石油を中心とした産業の大きなダイナミクスに対して、極めて重要な補完者の役目をする。しかし(世界全体でなく)個々の国として考える場合には、先づ OPEC などの今の石油輸出国としては、枯渇問題が残ること、もとの通りである。次に日本としては、石油枯渇問題に対して、その代替を原子力に求めるのは 1 半の手段として、その他に石炭の流体化技術を開発することが、むしろ原子力以上に重要である(石油の枯渇対策あるいは、枯渇を見越しての世界の石油争奪競争の対策として)とも言える。石炭は日本国内にも若干は残っており、これを現在の需要に対応することを主目的として使用するのではなく、むしろ 21 世紀に使用するような心積りで流体化技術を開発してゆく。また、日本の隣接大陸にも石炭は多いので、それを流体化して輸入するように交渉する道もある。これらのことからして、石油戦略と併行して、石炭の流体化技術を開発することは、緊急の大事でもある。その結果は、本章にのべた 1980 年頃の、世界のエネルギー問題総検討の時機に間に合うように提出されることが望ましい。

(たかはし みのる・高橋研究室)

電研マクロ・モデル 1972

矢 島 昭

はじめに

1. モデルの「安定性の吟味」
 - 1.1 モデルの解, 収束プロセス
 - 1.2 全体テスト, 最終テスト
 - 1.3 政府投資増加に対する反応
 - 1.4 モデルの線型化と固有値の計算(準備作業)
2. いくつかの変数についての自己批判的コメント
 - 2.1 潜在 GNP および需給ギャップについて
 - 2.2 民間企業の投資について
 - 2.3 対外取引について
 - 2.4 金融・労働セクターについて

付録

電研モデル 1972: 構造方程式と定義式
変数記号表

はじめに

当研究所で継続的に行なわれている計量モデルによる日本経済の分析に関する研究の一環として、本誌第1号に、電研マクロ・モデル1970年版の方程式体系が掲載された¹⁾。本報告では、そのあとを受けて、昭和46年夏以降、われわれが使用してきた、電研モデル1972年版を提示し、そのパフォーマンスについて検討する。

モデルの基本的な考え方としては、70年版と72年版とで大きなちがいはない。ただ、72年版では、労働・金融セクターが縮小されているし、また、いくつかの関数の形が多少変っている。標本期間は70年版が1958~1968、72年版

は1958~1970年度で、52個の季節調整前四半期標本によって推定されている。モデルは構造方程式42本と定義式47本によって構成され、内生変数89個と外生変数43個を含んでいる。(付録参照)

モデルは1972年夏に推定された関係上、使用した統計は、主として昭和47年版国民所得統計年報からとられており、したがって、昭和45年国勢調査の結果による改訂を含まない旧推計ベースである。

本報告では、モデルの枠組みや個々の方程式についての説明は省略し、モデル全体を運転する段階で観察された特徴的な諸点だけをのべる。また、モデルによる予測に関しては、別途刊行されている「短期経済動向分析」を参照していただくこととし、ここでは予測作業の過程で出会ったいくつかの問題点について、関連する関数に簡単なコメントをつけておく。

共同研究者としての植木滋之氏をはじめとする当研究所の研究員諸氏、定差方程式的接近について協力をいただいた情報処理研究センターの森清 堯氏、そして絶えず適切な示唆を与えて下さった大阪大学建元正弘・渡部経彦両教授に深甚なる謝意を表したい。ただし、本報告の中にいいかげんな点や誤りがあれば、それは筆

1) 内田光穂・建元正弘「電研マクロ・モデル:1958 I~1968 IV, 中間報告資料」「電力経済研究」No. 1

者だけの責任である。

1. モデルの「安定性」の吟味

本節では、電研モデル 72 年版の安定性について、若干の事後的なテストを試みた結果について述べる。ここで「安定性」という言葉は、あまり厳密な定義を与えることなく、以下のような諸点に関してモデルが一応もってもらいたい動きを示すかどうか、という程度の意味で使われている。

- a. モデルの解は一義的であるか（収束計算過程の安定性）
- b. 同時従属変数間で誤差が増幅するか（全体テストの安定性）
- c. 時間とともに誤差が累積するか（最終テストの安定性）
- d. 外生変数の変化に対してどう反応するか（動学乗数の安定性）
- e. 固有値の大きさと分布（定差方程式体系としての安定性）

1.1 モデルの解、収束プロセス

このモデルは、内生変数と内生変数、および内生変数と外生変数の間の乗除算や自然対数形を含むという意味で非線型であり、したがって線型モデルの場合の誘導形のような一義的な解はえられない。また、各期の観測値はたった1箇のサンプルであるし、しかもパラメータが推定誤差を含むことから、自然科学分野の数値計算とちがって、理論値と比較するという形で近似解の精度を判定することもできない。たとえば、解の集合が、星雲のようにひろがっている（あるいはまとまっている）と仮定したとき、その星雲がどんな大きさや形をもつか、あるいはある計算手法を適用することによってその中のどの星をつかまえてきたか、われわれにはほと

んどわからない。経済学や実生活についての知識からして、えられた結果が一応もってもらいければ、それを正しい解として受けとらざるをえない。

実際問題としては、しかし、モデルが確実に収束すること、および収束計算をスタートする際に採用される初期値が多少変わっても、答えはほぼ同じに出ること、が保証されていなければ困る。もちろん、外生変数にとんでもない値を与えたり、初期値に負の大きな値を入れたりすることは、前にいった「もってもらしさ」の範囲を逸脱するわけで、これによる混乱はむしろ分析者の愚かさの証明であると割り切っておく。

非線型の連立方程式を解く方法としては、ニュートン・ラプソム法や2次計画法など各種のアルゴリズムが開発されているが、われわれが使ったのは、ガウス・ザイデル法をそのままモデルに適用するという、最も単純な手続きである²⁾。別の考え方として、われわれが嘗て行ったように、モデルをいくつかの線型ブロックに分割して、各グループを一次連立方程式として解きながら、特定のリンク変数の収束条件を調べて行く、という手順もある。このやり方は、諸変数間の因果関係がはっきり理解できるという教育的な利点はあるけれども、計算プログラムの作成に際して、方程式の並べ方をいちいちよく考えなければならないという点では、かなり厄介であるし、また、大容量の計算機が利用できる場合には、ガウス・ザイデル法の方が計

2) 前の2つの方法が、ひとつは線型近似を繰り返す、ひとつはグラディエントを求めて収束させていくのに対して、ガウス・ザイデル法はもっと直接的である。この方法はもともと非線型体系に特有の方法なのではなく、嘗て大容量のコンピュータがなかった時代には、線型体系である産業連関表などもこの方式で解いていた。

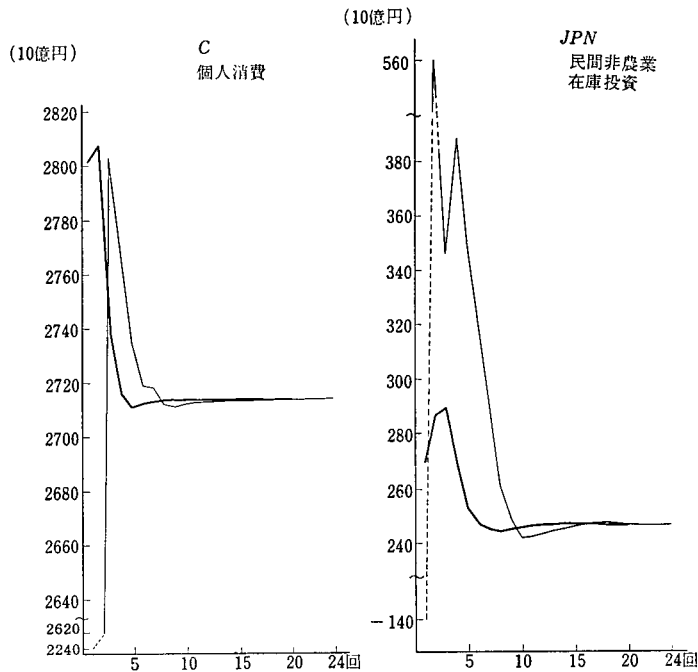


図 1 モデルの収束過程

表 1 モデルの収束過程 (昭 37. 4~6 月期)

繰返し回数	個人消費 (10 億円)		民間非農業在庫投資 (10 億円)	
	計算用初期値		計算用初期値	
	実績値	実績値の 80%	実績値	実績値の 80%
1	2801.301	2241.041	269.691	-142.136
2	807.404	628.183	86.499	532.665
3	737.904	799.520	88.989	346.758
4	15.276	15.355	69.117	383.475
5	1.736	34.001	52.994	319.163
6	2.378	19.385	47.815	321.001
7	3.137	8.244	5.137	287.252
8	162	1.991	4.451	60.061
9	372	1.859	4.992	47.629
10	465	2.246	5.459	2.744
11	475	2.834	5.821	2.056
12	.196	3.183	6.105	3.171
13	506	425	247	4.455
14	502	492	301	5.385
15	498	521	317	5.973
16	95	525	310	6.261
17	92	515	297	363
18	91	506	88	375
19	91	498	81	351
20	2713.491	94	246.278	322
21		91		299
22		90		85
23		90		78
24		2713.490		246.276

算時間が短いということもある³⁾。

72 年版モデルは、収束過程での誤差率の判定規準を 1 万分の 1 (0.0001) とした場合、ほと

んど 20 回以下の繰返しで収束条件を満足している。図 1 の実線は、1962 年 4~6 月期について、収束の形を示したものである。最初の数回で初期の攪乱が吸収され、それ以降は 6~8 回ごとに符号が変るゆるやかな減衰振動となる。他の諸変数も類似のパターンを辿って収束している。

この計算では、初期値として各変数の実績値を使った。これと比較するために、同じ 1962 年 4~6 月期について、実績値の 80% という小さな値を初期値にとって同様な計算を行った結果が図 1 の点線である。また表 1 はこれらふたつの場合を数字で比較したものである。初期値

3) ブロックワイズに解いた例としては、中期経済計画計量小委員会報告「計量経済モデルによる日本経済分析」1965、および内田忠夫ほか「経済予測と計量モデル」日経新聞社、昭和 41 年などを参照。ガウス・ザイデル法の方が速いといっても、モデルによっては方程式の順序が繰返しの回数に非常に影響することがある。現在の「中期マクロモデル」による実験では、式の並べ方いかんで 200 回の繰返しを要することもあることがたしかめられている。

がはなれると、あきらかに初期攪乱は大きくなり、繰り返しの回数も僅かながら増えているが、収束水準は前と同じであり、このかぎりでは解の一義性が保証されている。

シミュレーションの段階で、外生変数やパラメータの値を変化させた場合でも、モデルはほとんど同じ収束経路を辿ることが確かめられており、したがってこの点に関するモデルの安定性は非常に高いといえる。

1.2 全体テスト、最終テスト

計量モデルの説明力を云々する場合、まず各構造方程式の適合度を示す「部分テスト」の結果を提出するのがふつうであるが、本報告ではこれを省略する。各関数の適合度は、末尾の構造方程式一覧表に掲げられているいくつかのおなじみの統計量から判断していただくことにする。もちろん、最終的に採用された関数の背景には、その十倍ないし数十倍の使われなかった推定式がある。これらの使われなかった式の推定過程は、それ自体このモデルの歴史の一部である。

個別方程式の統計的適合度をあげることは、たしかにモデル全体の説明力を向上するために必要なことではある。しかし、各方程式の精度にはどうしても差があるから、場合によっては、ある方程式の適合度を落とすという犠牲を払っても特定の（説明しにくい）変数をその方程式から除いた方が、モデル全体として安定性を増すことがある。また、各方程式の誤差のフェイズが一致するとき、恒等式を通じてある変数の誤差率が非常に大きくなる場合がある。したがって、最終的に採用された構造方程式体系は、必ずしも個々にいって最も精度のよい方程式の単純な組み合わせではない。選択の規準となるのは全体テストおよび最終テスト段階にお

けるモデルの「安定性」であって、ここに若干のフィードバック機構が介在する。

モデルの内挿テストの結果を示す最も単純でかつ最良の方法は、グラフを使うことである⁴⁾。グラフの描き方はいろいろ考えられるが、ここでは最もポピュラーな描き方を用いる。すなわち横軸に期間をとり、縦軸に実績値と推定値および残差をプロットする方法で、これは各時系列の形、特定の期間ないし景気局面における誤差の出かた、系列相関の程度、残差の拡大傾向などを見るのに便利である。全変数についてグラフを掲げることは紙数の制約上ゆるされない。まず実質 GNP・個人消費・設備投資・在庫投資について、昭和 33 年 4～6 月期を出発点とする最終テストの推定値を図 2 に示しておこう。これは全観測期間ぶっとおしの最終テストであり、モデルは中間に少くとも 2 回の景気停滞期を含む 52 四半期をフォローしなければならない。全体的なフィットとしては、図 2 の各系列とも、長期の傾向と短期のサイクルとを比較的うまく追跡していると言える。誤差が一時的に拡大しても、そのまま発散的にかたよった方向へ走り出すといったこともなく、この意味でモデルは安定した説明力をもつ。

しかし、そうは言うものの、図 2 の昭和 41～43 年度の誤差はいかにも大きいように見える。そこで、残差を拡大したスケールでプロットしたのが図 3-1 である。実線は上記最終テストの残差、点線は全体テストの残差を示す。一見してあきらかなように、41～43 年度のところで、両者の差は極端にひろがっており、GNP にして 1 兆円（10%）前後の過大推定が続く。そして、その大半は、設備投資の誤差の拡大によっ

4) 回帰計算のアウトプットとしても、グラフの効用をもっと重視すべきである。細かい数字のリストをプリントして紙屑の量を増やすのが能ではない。

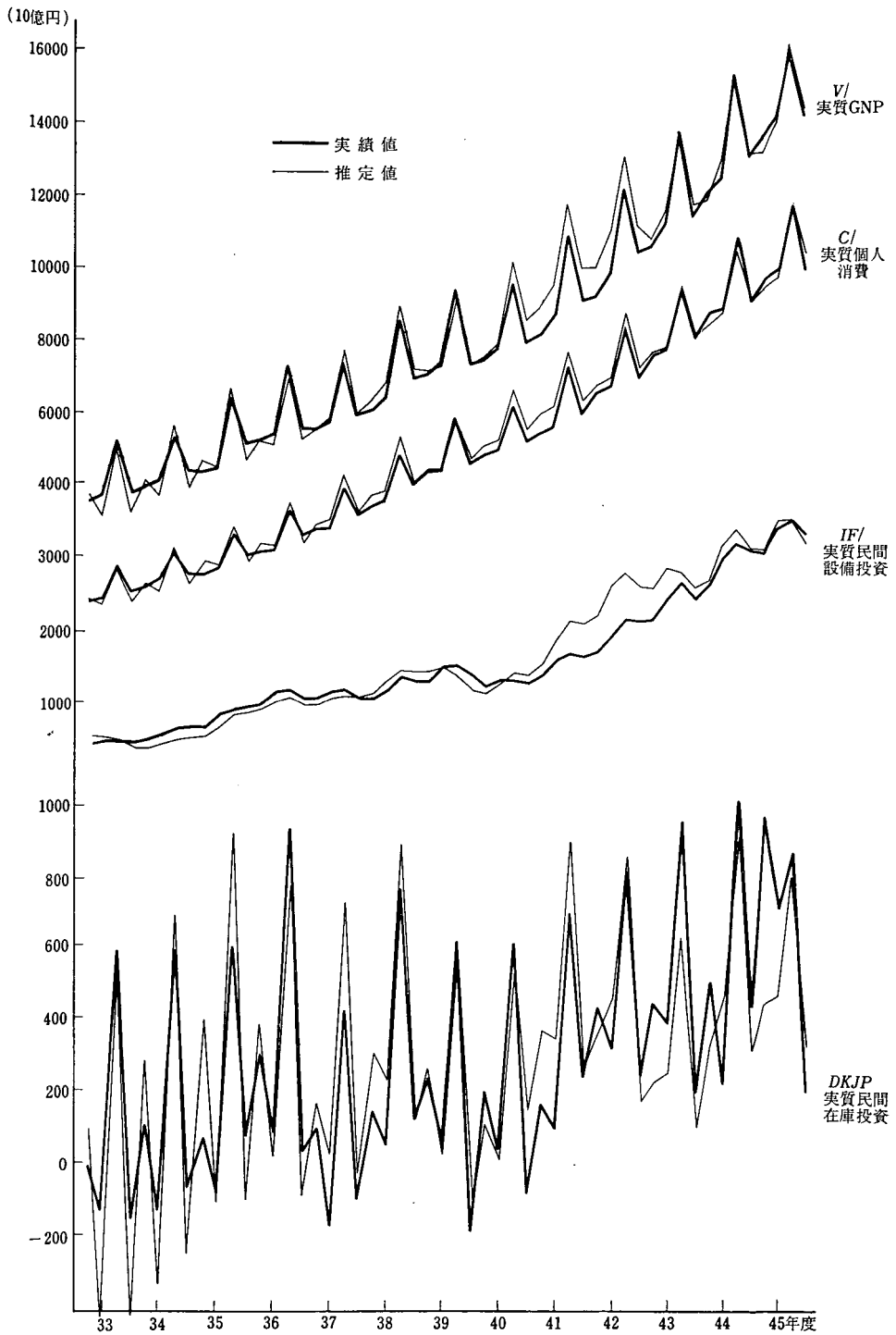


図2 最終テスト

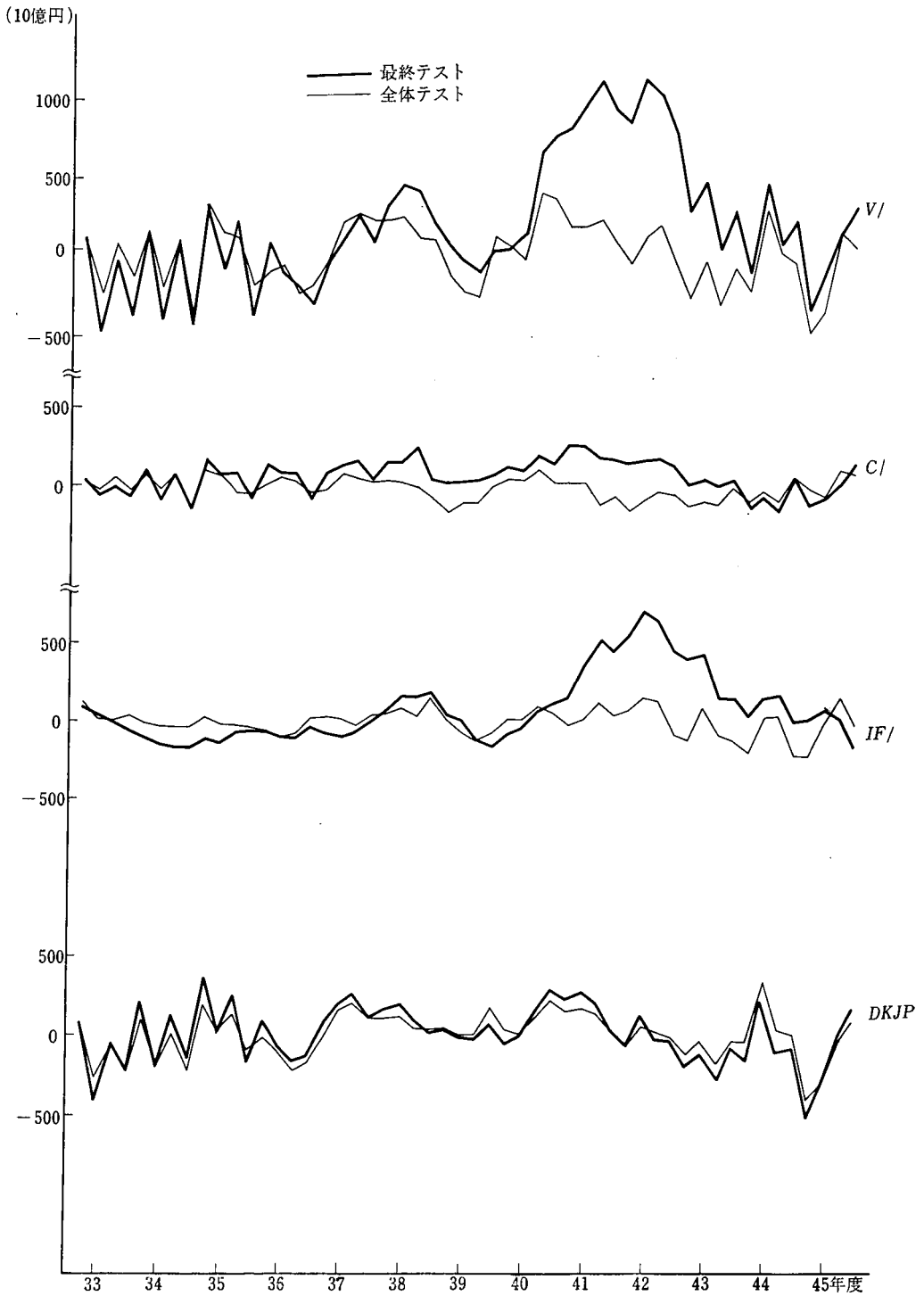


図 3-1 最終テスト・全体テストの残差

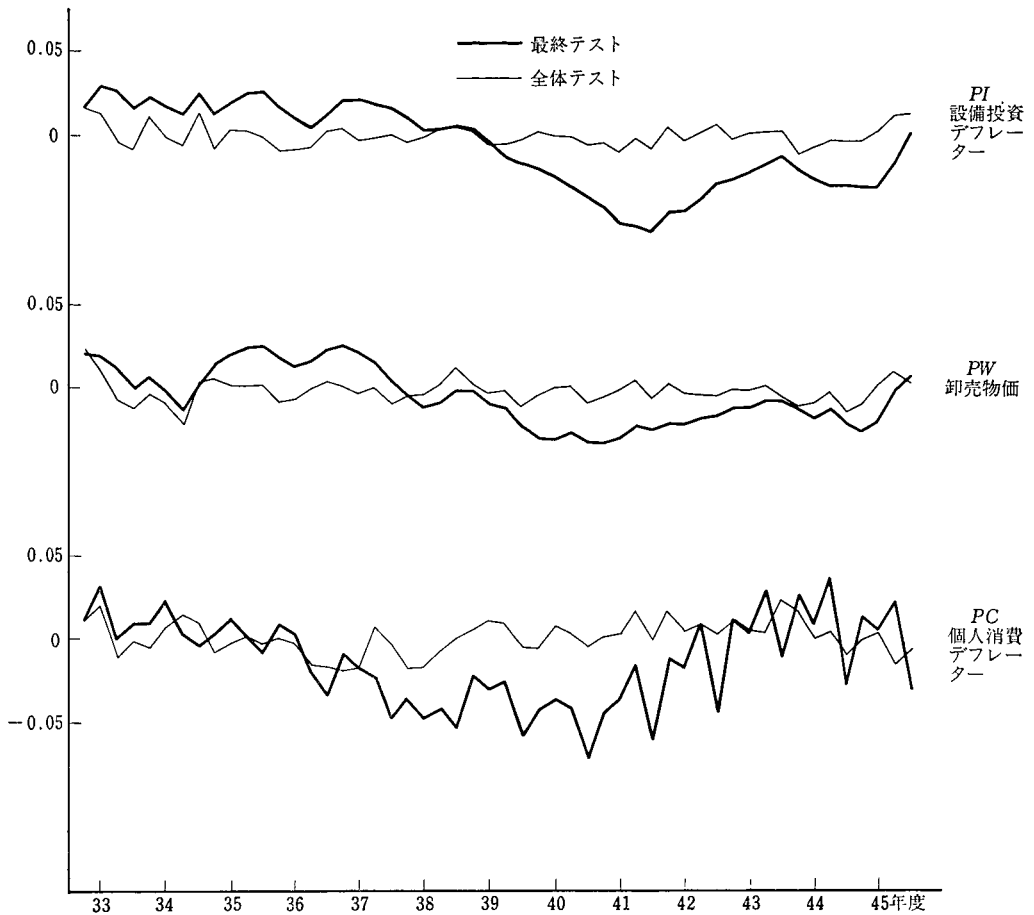


図 3-2 最終テスト・全体テストの残差

て起っている。もっとも、設備投資関数の説明変数にはすべてタイム・ラグがついており、したがって全体テストの残差は部分テストの残差に一致すること、およびこの関数が対数線型で推定されているため、誤差の絶対値はもともと後期へ行くにしたがって若干拡大していることを考えると、全体テストと最終テストとの差が設備投資について相対的に大きくなることは、あらかじめ予想されることではある。(他の諸変数について全体テストの結果を部分テストの結果と比べたとき、一般的にいて誤差の増幅はあまり強くなっていないことをつけ加えておく。)

設備投資の説明変数のうち、利潤率 PAI は

主として法人所得と粗資本ストックによって決定されるが、前者は設備投資と直接相互依存関係にあるし、また、粗資本ストックによる調整過程はそれほど急速に作用する訳ではない。したがって、これら兩年度にかぎって設備投資に大幅な過大推定が生ずるとするのは、こうした実物面の変数よりも、むしろ価格の過少推定がここで起っているためではないかという疑念が湧く。事実その通りなので、図 3-2 に示したように、物価関数の最終テストはあまりよくないし、とくに投資デフレーターは、40~43 年度に過少推定が著しくなっている。このモデルの物価関数はほとんどコスト決定型であり、価格に

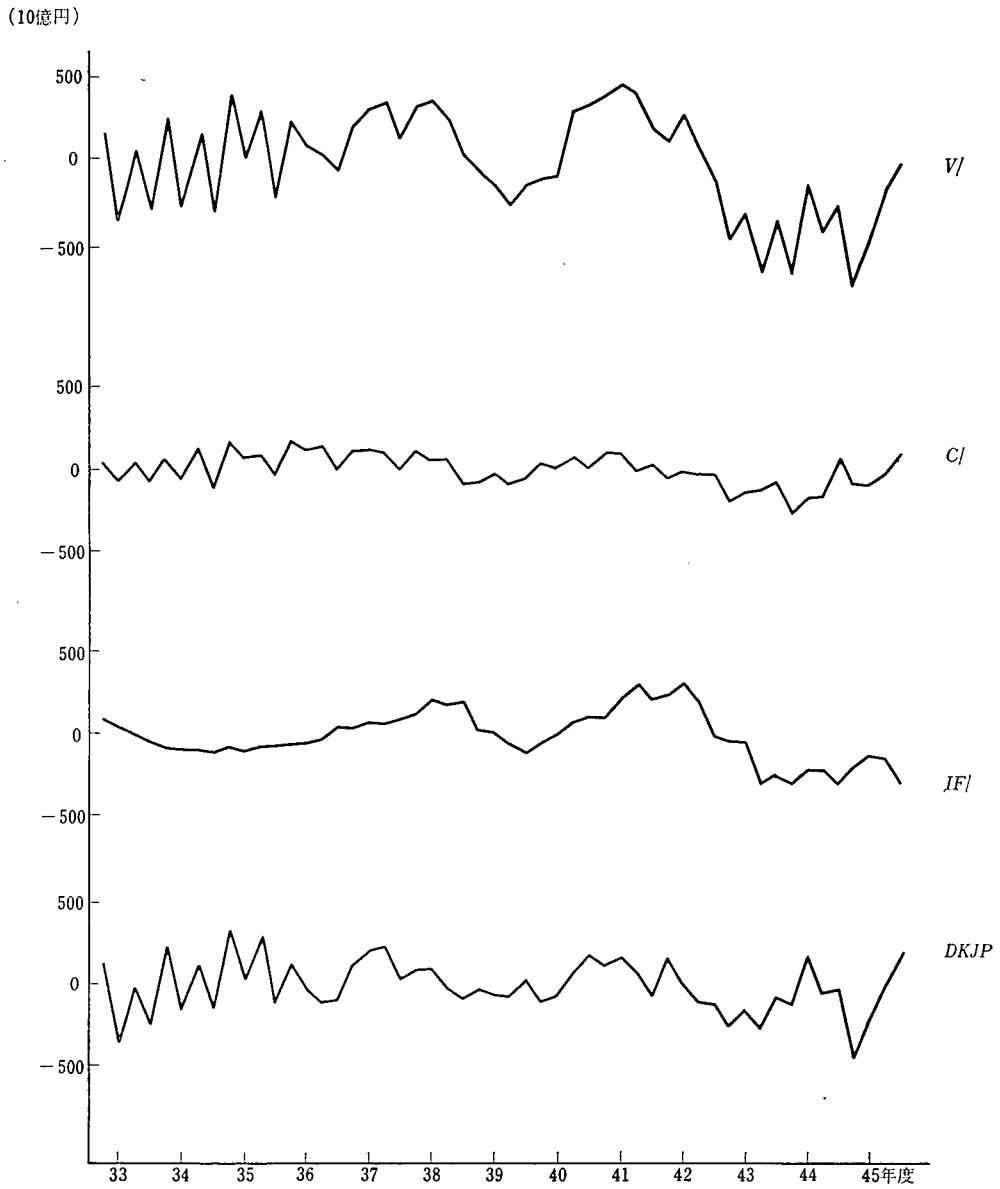


図4 価格・賃金を外生化した場合の最終テストの残差

対する実物変数の影響はかなり間接的である。また、多くの価格関数は非常に自己回帰的な性質の強い推定式になっている。ラグつき従属変数を含む場合にあらわれるパラメータの推定の偏りが、最終テストの段階で表面に出てきていることは十分考えられる。

価格の誤差が実質支出にどう影響しているかははっきりさせる目的で、価格・賃金面の変数を外生化し、支出・分配面の変数だけを内生とする一種のブロックワイズ・テストを行った結果は、図4に示した通りである。30年代については、前掲図3-1とほとんど変わらず、41、42年度の過大推定は半減している。その反面、全体テストの段階で観察された44、45年度の過少推定（とくに設備投資と在庫投資）が拡大し、特定の四半期をとるとGNPの残差がかなり大きくなっている。まさに、あちらたてればこちらがたたず、というところである。しかし、モデルの適合度というようなことは、所詮、程度の問題である。残差のうち、計量経済学的な知識によって取り除ける部分は、モデルの改善作業の対象となる。しかし、どうしても説明できない部分は必ず残る。これはある種の（統計）技術的な手法を援用しながら、モデルを運転する段階で補正せざるをえない。たとえば常数項の修正を何等かのルールにもとづいて行うといったやり方である。

長期内挿テストにおけるモデルのパフォーマンスは、だいたい上に掲げたいくつかのグラフによって評価できたと思う。

最終テストの総合点という意味で、主な内生変数の平均誤差率を表2にまとめておく。

次に、モデルを短期の予測に使う場合を考えて、昭和37年度以降の各年について、8期（2年間）きざみの最終テストを行った結果を図示

表2 最終テストの平均誤差率

(1958~1970, 単位パーセント)

変数	(a)	(b)	変数	(a)	(b)
C/	2.9	2.7	V	3.2	3.9
IH/	16.2	16.3	PC	3.0	2.6
IF/	13.9	12.6	PH	9.3	8.7
IG/	6.9	5.8	PI	2.5	2.3
DKJP	41.2	96.7	PIG	6.4	5.9
E/	4.3	4.4	PJPN	1.5	1.3
M/	6.9	7.5	PE	3.2	2.6
V/	5.3	4.5	PW	1.9	1.6
C	2.0	2.2	P	2.7	2.2
IH	6.2	8.4	YW	5.5	3.8
IF	11.4	11.3	YC	13.7	16.6
JP	42.5	76.2	Y	3.8	4.9
E	3.6	3.7	YD	3.6	5.0
M	6.8	7.5			

注) 記号は付録参照。

誤差率の計算は次式による。Aを実績値、Eを推定値として

$$(a) \text{ 不等度} = \sqrt{\sum(E-A)^2 / \sum A^2} \times 100$$

$$(b) \text{ 平均絶対誤差率} = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{E-A}{E} \right| \times 100$$

しておこう⁵⁾。図5を図3-1の全体テストの残差と比較してみると、40年度、41年度スタートの場合だけ、2年目ですでに残差が拡大しているけれども、その他の8期予測については、ほとんど全体テストの残差と変わらない大きさとどまっている。したがって、各時点でモデルを適当に調整することを前提とすれば、2年間程度の予測はかなりの精度が保証されると見てよいと思われる。

1.3 政府投資増加に対する反応

外生変数の変化に対する内生変数の感応度は、線型体系では誘導形係数行列によってあらわされる。動学モデルの場合、誘導形係数行列のうち、先決内生変数に対応する部分をB、外生変数に対応する部分をCとすれば、外生変数zと内生変数の計算値yの関係は、

5) この計算および1.3節図7の計算は、1973年の六甲コンファレンスのプログラムのひとつである。日本のいくつかの計量モデルのパフォーマンスの比較研究に、電研モデルを参加させるために行われた。上述の誤差の補正方法についても、その機会に議論されるはずである。

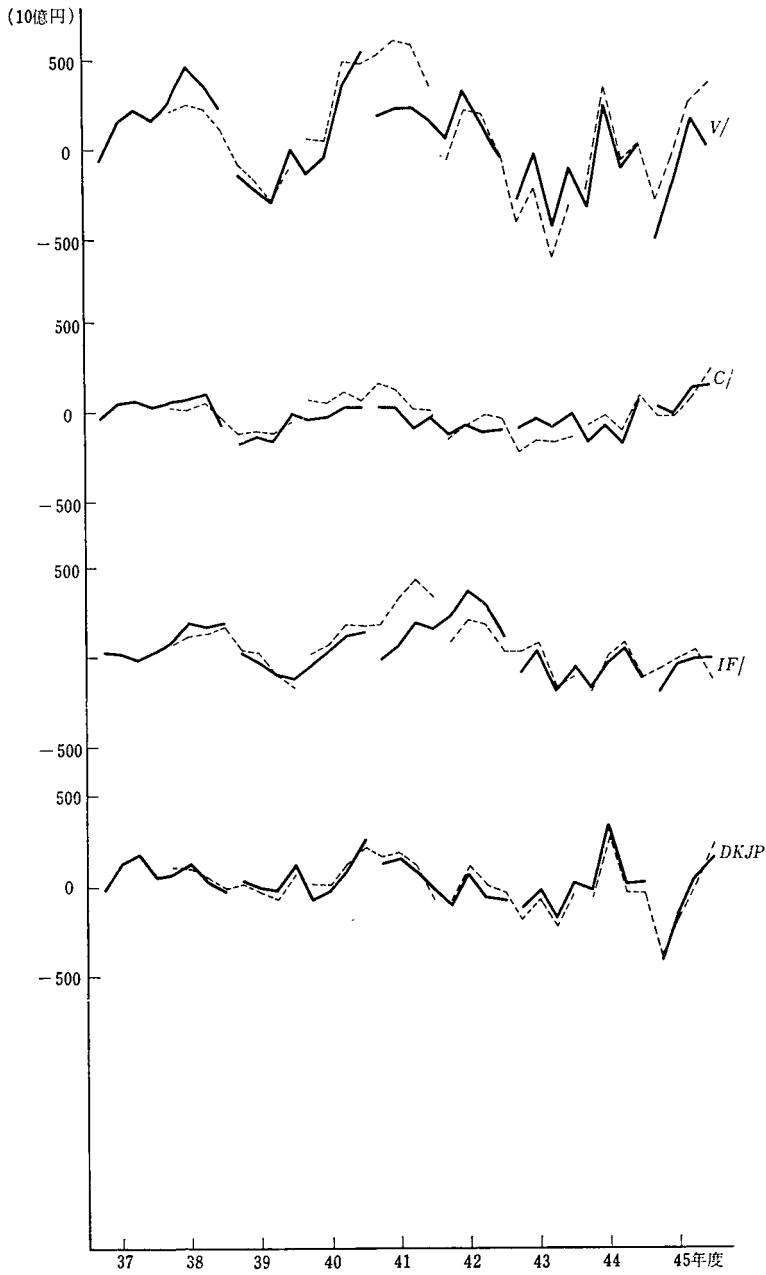


図 5 8 四半期さざみの最終テストの残差

$$y_t = By_{t-1} + Cz_t$$

$$= B^{t-1}y_0 + \sum_{i=0}^{t-1} B^i Cz_{t-i} \quad (1)$$

となり、 $B^n \rightarrow 0$ ならば体系は安定的である。したがって、ある期における外生変数の1回かぎりの単位変化に対する y の変化は、当期が C 、 p 期後が $B^p C$ であり、外生変数の持続的な単位変化に対する p 期後の y の変化は $\sum_{i=0}^p B^i C$ である。

非線型体系の場合には、これらの乗数を直接計算するわけにはいかない（この点については次節でのべる）ので、基準となる外生変数のセットと、特定の外生変数だけを単位変化させたセットとを用意して、モデルを別々に2回解き、両計算値の差をとって、これをその外生変数に対応する動学乗数と定義するのがふつうの手順である。外生変数の数だけこれを繰り返すと、線型モデルの場合の乗数行列に対応するものがえられるが、線型モデルとちがって、複数の外生変数を同時に変化させた場合に単純な加法性は成立しないから、いわゆるポリシー・ミックス実験などを行なおうとすれば、非常に多くのケースを計算しなければならなくなる。

本節では、昭和37年度をスタートとする最終テストを基準解として、まず名目政府投資⁶⁾を各期1,000億円増加させた場合の影響を、例によってグラフで示す。図6の縦軸は、内生変数の変化分を1,000億円単位にとって、政府投資の増分に関してノーマライズしてあるので、そのまま乗数の値と読むことが出来る。このモデルでは、季節ダミー変数が内生変数にかかっている形があるので、乗数にも季節性があらわれている（周期4期のサイクル）。名目GNPで見ると、7期目にピークに達したあと、ストック調整がはたらきはじめて反転し、4年目が谷

になり、その後再び上昇している。GNP乗数の形をきめる上で支配的なのは設備投資であり、個人消費の増加はそれよりおかれてあらわれている。在庫投資は最初の2年間増加したあと、わずかながらマイナスに転ずる。

乗数の大きさや波の形は、モデルによってちがうし⁷⁾、図6も最初の6年間ほどをとれば、格別おかしいわけではない。いやらしいのはそのあとの形である。まるで富士の裾野のように、海拔ゼロメートルへ向って下降して行くように見える。これは、われわれのエコノメトリック美学からいって、たしかにいやな形である。収斂しないLPモデルのような、矩形の一隅を切りとったIBMカードみたいな紙切れを“wicked shape”だと見たカトリック神父ブラウンは即座にその謎を解いたのだが、もし政府投資の持続的増加のGNPに対する効果が究極的にゼロに近く収束するとすれば、われわれの常識では説明できそうもない。線型モデル(1)式を借りて考えると、右辺第1項が一定期間振動したのちゼロに収束したあと、均衡水準として残るのは第2項で、最も簡単なモデルの場合にはその係数は消費性向を c として $1/(1-c)$ にほかならない。図6ではそれが1以下の水準へ向っているように見える。

親愛なるブラウン神父の解は「引用符」だっ

6) 乗数分析の概念はもともと実質表示である、という観点からすれば、実質政府投資に対する実質GNPの感応度を計算すべきである。名目政府投資をとったのは、それがモデルの外生変数だからである。しかし、実際には、実質政府投資を外生変数とするようにプログラムを修正し、実質GNPとの関係をたしかめる計算も行ってみて、実質—実質と名目—名目とで大きな差がないことを明らかにしてある。

7) 経済企画庁「短期経済予測パイロットモデル」『経済分析』No. 21, 昭和42年, 同「短期経済予測マスター・モデルの研究」昭和45年, および日銀モデル（『日本銀行計量経済モデル』「調査月報」昭和47年9月号および江口英一, 四方浩「日本銀行統計局計量経済モデルの構成とシミュレーション」昭和47年7月, 謄写刷）などに掲げられた政府投資乗数と比較された。

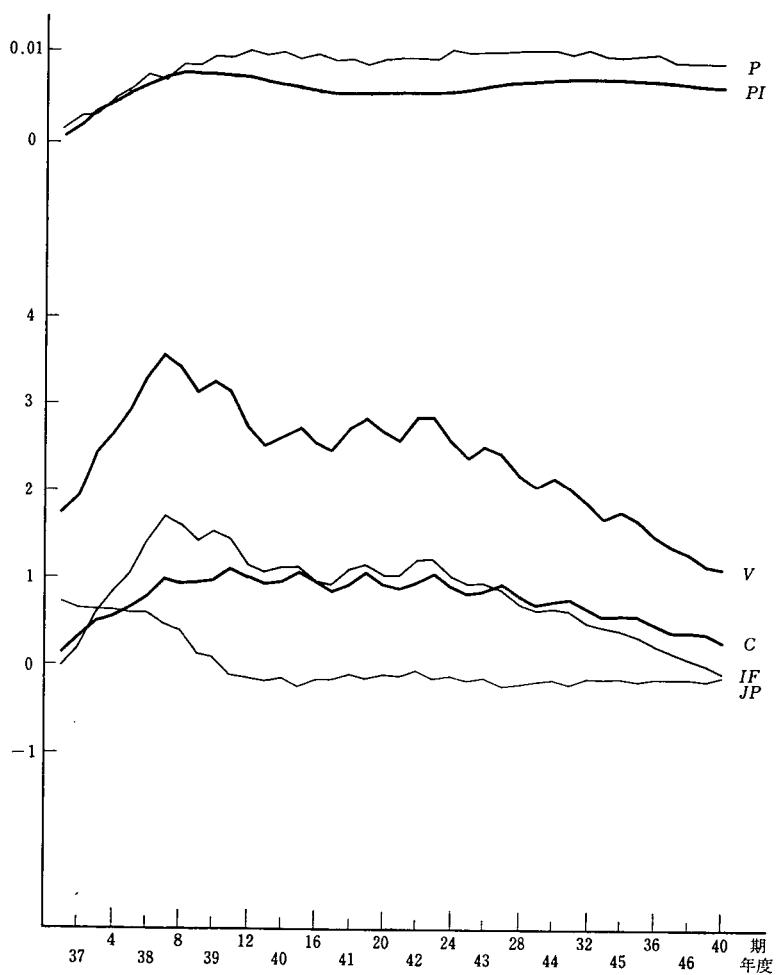


図 6 政府投資 (1,000 億円増加) の長期乗数

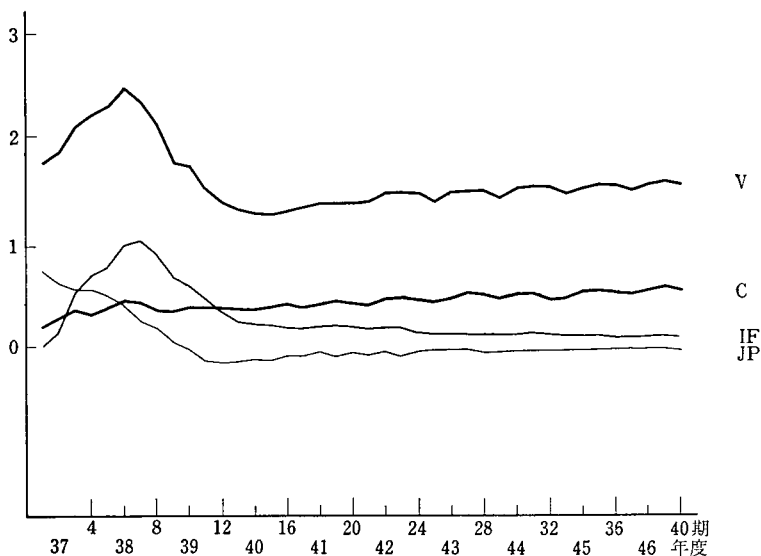


図 7 政府投資 (250 億円) 増加の長期乗数 (価格, 賃金外生化の場合)

たが、われわれの手がかりは、どうやらここでも「価格」の効果のようである。図 6 の上段に示したように、設備投資デフレーターと GNP デフレーターは最初の 3 年間上昇を続けたあと、上ったきりで下らない。前にのべたように、われわれのモデルは実質需要の価格に対する影響はかなり間接的であり、また一たん価格系が変化しだすと、その自己回帰性の強い性質から、かなり長い期間にわたって同方向に変化しつづける。つまり、最初の数年間は右辺第一項の効果が強く、価格は上昇するが、それ以降は価格の自律性の方が強くなって、高水準で安定してしまう。

ところで、設備投資関数 (付録 (3) 式) の係数からあきらかなように、他の条件を一定とすれば、投資デフレーターと GNP デフレーターがともに 1% 上昇すると、実質設備投資は約 1.7% 減少する。価格に関する実質需要の弾力性が 1 より大きければ、価格が上がったとき名目需要は減少する。

以上の推論をたしかめるために、次に同じ 37 年度をスタートとして、価格・賃金系をすべて外生扱いとして乗数を計算してみる。モデルの非線型性を考慮して、今度は政府投資を各期 250 億円増加させて図 6 と同様の計算を行い⁸⁾、そのあと価格・賃金系を外生化してもう一度計算する。2 回目の計算においては、1 回目の基準解の価格・賃金の計算値を外生変数として与えることにする。

その結果は、図 7 の通りである。大きな振動があるのは最初の 3 年間だけで、あとはほとんど非常に短い循環だけになり、後半の下降トレンドがなくなって、GNP で 1.5 くらい水準に下方から接近していくようである。

暫定的な結論としては、したがって、われわれのモデルの支出・分配ブロックの動学的性質としては、絶対値が比較的小さく、かつ周期が比較的小さいような複素根を含む固有値をもつ定

8) 政府投資の増加が 1/4 になったとき内生変数の変化分も 1/4 になるかどうかという意味である。結果的には、ノーマライズした乗数の値はほとんど変らなかった。

差系のそれであり、図6で観察されたものは、価格・賃金系のもつ一種の偏りであったと言ってよいように思われる（推定法が最小2乗法であることがどう影響しているのか、という点は、今のところ明らかではない）。この意味では、モデルの動学乗数は支出・分配については安定的でも、モデル全体としては完全に安定的とはいえないであろう。

1.4 モデルの線型化と固有値の計算（準備作業）

モデルの動学的性質をもう少し解析的に調べるため、連立定差方程式としてのモデルの解を求めることを考える⁹⁾。モデルは非線型であり、かつ長いタイム・ラグをとまなっているから、実際には、まずモデルを線型化し、さらに1階の定差型に変換することが必要になる。個人税、1人当たり雇用者所得、輸出価格などの式には、最大8期までのタイム・ラグが含まれるが、これらを適当な代替関数でおきかえれば、モデルは最大4期のラグをもつ線型体系として近似できる。つまり、前節の記号を使って一般的に書けば、

$$y = f(y, y_{-1}, y_{-2}, y_{-3}, y_{-4}, z) \quad (2)$$

で、関数 f の非線型性の内容は、自然対数、内生変数と内生変数、および内生変数と外生変数との間の乗除算である。これらを、たとえば

$$\log y = \log y_0 + (y - y_0) \frac{1}{y_0}$$

のようにある時点についてテーラー展開し、線型化されたモデルを

$$A(t)y(t) = B_1(t)y(t-1) + B_2(t)y(t-2) + B_3(t)y(t-3) + B_4(t)y(t-4) + C(t) \quad (3)$$

と書きなおす。ここで $C(t)$ は、外生変数の非線型結合である。当期の内生変数のパラメータ行列 A と、先決内生変数のパラメータ行列 B の

値は、テーラー展開の時点によって異なる。さらに、差分の階数をへらすために

$$x_i(t) = y(t-i), \quad i=1, 2, 3$$

とおき

$$y^*(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ y(t-1) \\ y(t-2) \\ y(t-3) \end{bmatrix}$$

$$y^*(t-1) = \begin{bmatrix} y(t-1) \\ y(t-2) \\ y(t-3) \\ y(t-4) \end{bmatrix}$$

と変換すれば、モデルは結局、次のような1階の連立定差方程式となる。

$$A^*(t)y^*(t) = B^*(t)y^*(t-1) + C^*(t) \quad (4)$$

ただし

$$A^*(t) = \begin{bmatrix} A(t) & & & 0 \\ & I & & \\ 0 & & I & \\ & & & I \end{bmatrix}$$

$$B^*(t) = \begin{bmatrix} B_1(t) & B_2(t) & B_3(t) & B_4(t) \\ I & & & 0 \\ & I & & \\ 0 & & I & 0 \end{bmatrix}$$

$$C^*(t) = \begin{bmatrix} C(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A^* の逆行列を D^* 、 D^*B^* を G^* と書くと、解は次のようになる。

$$\begin{aligned} y^*(t) &= G^*(t)y^*(t-1) + D^*(t)C^*(t) \\ &= G^*(t)G^*(t-1)y^*(t-2) \\ &\quad + G^*(t)D^*(t-1)C^*(t-1) \\ &\quad + D^*(t)C^*(t) \end{aligned}$$

9) わが国における計算例としては、経済企画庁における森ロユニットの「マクロ・モデルの動学的性質」[経済分析] No. 24, 昭和42年。この研究では、年次、半年、四半期モデルの固有値が吟味され、いずれもかなり長い周期の波が検出されている。

$$\begin{aligned}
 & \vdots \\
 & = \prod_{k=1}^t G^*(k)y(0) \\
 & \quad + \sum_{i=1}^{t-1} \prod_{k=0}^{i-1} G^*(t-k)D^*(t-i)C^*(t-i)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

さて、ふつうの線型モデル

$$y = By_{-1} + C$$

の同次解を求めることは

$$By = \lambda y$$

であらわされる B の固有値 λ を求めることと同値である。同様に、 t 時点について(4)式と同次解を求めることは $G^*(t)$ の固有値を求めること、すなわち

$$Ay = \lambda By$$

という形であらわされる λ を求めることに帰着する。好都合なことに、われわれの手もとにある固有値計算のプログラム・ライブラリの中にちょうどこの形に対応するルーチンがあり、かなりの精度が保証されているので、直ちにこれを利用することができる¹⁰⁾。

問題は、 G^* が時間と独立でないため、ある時点について計算される固有値の最大絶対値が 1 以下であっても、それだけで体系が安定的だとはいえない、という点である。(1)式で B の固有値が絶対値で 1 より小ならば、第 1 項はかならずゼロに収束することはいえても、(5)式第 1 項については必ずしも同じことは言えない。 A_i の固有値がすべての i について 1 より小であっても、 $\prod_{i=1}^n A_i$ がゼロに収束するとは限らないからである。しかし、消極的なチェックとしては、全部の期間について、 A 、 B 行列に影響する外生変数の値にもとづいて係数を計算し、それからえられる固有値の分布を見ることによって、モデルの安定性についてある程度見

当をつけることはできるであろう。

もうひとつの問題は、線型化の初期値として何をとるか、である。もし、テーラー展開の第 2 次項以下を無視しないとすれば、その線型化モデルを解いてえられる答は、もとの非線型モデルの解と厳密に一致しなければならない。線型化の過程であらわれる変数の実績値を初期値として使えば、当然この条件は満足されず、したがって、線型化モデルの固有値は、もとのモデルの性質を完全にはあらわさないことになる。この難点を回避するためには、もとのモデルの計算値を初期値として用いればよい。

以上のように考えると、われわれの行うべき計算は、もとのモデルを解く収束計算、パラメータ用初期値の選択、テーラー展開、および固有値計算の 4 つのルーチンを、期毎に繰り返せるような一連のプロセスによって行うのがよいことがわかる。

しかし、このような計算をすべて実行することは、実際問題として到底できない。もとのモデルを縮約して、内生変数を 30 箇にしぼったとしても、4 期のタイム・ラグを含む体系を 1 階の定差系に変換すれば (120×120) の行列となる。大ざっぱな見積りではあるが、この固有値計算は IBM 370 で約 10 分を要するから、上の計算をすべてコマーシャル・ベースで行うとなると、当研究所の計算費を全部使っても追いつかない。

現在までのところ、テスト計算として、構造方程式のうち、個人消費、住宅投資、設備投資、在庫投資、鉱工業生産、法人所得、潜在 GNP だけをとりだし、これに定義式として、実質 GNP、国民所得、個人可処分所得および資本金

10) C. B. Moler & G. W. Stewart, *An Algorithm for the Generalized Matrix Eigenvalue Problem* $Ax = \lambda Bx$, 1971. Stanford University

潤率を加えたミニ・モデルを使って、いくつかの時点についてこれを線型化し、固有値を求める作業を行ったにすぎない。その結果に関しては、今後実施するより大きな計算の結果と合わせて別途報告する予定であるが、特徴的な点を2つだけあげておくと、昭和33, 35, 37, 40, 41年度第1四半期について、実績値を初期値として展開しての計算では、固有値の絶対値はすべて1より小（おおむね0.9前後）であること、また複素根から計算される周期は3, 4, 6期という短いものが大部分であり、しかも急速に減衰すること、があげられる。このかぎりにおいては、内生変数のつくりだす波は大きなものではないし、また期間によってその構造が大きく変化していることもないと考えてよい（表3）。前節でのべた政府投資を1単位増加させた場合の効果は、(5)式に $4y(t)$ を代入して

$$4y^*(t) = \prod_{k=1}^t G^*(k) 4y^*(0) + \sum_{i=1}^{t-1} \prod_{k=0}^{i-1} G^*(t-k) D^*(t-i) C^* \quad (6)$$

となる。ここで C^* はコンスタントである。政府投資は G^* および D^* には影響しないから、政府投資の乗数の形は固有値から計算される周期と振幅とにほぼ対応するはずである¹¹⁾。

このミニ・モデルの動学的性質は、おそらく前節で用いたブロック・モデルのそれに近いであろうから、表3の結果は図7とほぼ対応していると考えてよいであろう。この点については別途報告にゆずる。

また、固有値の誤差についても今後の検討課題とする。係数行列 A, B は、当然推定誤差をとまっているから、これから計算される固有値も誤差を含むことになる。パラメータの分散共分散行列にもとづいて固有値の漸近的標準偏

表3 ミニ・モデルの固有値 (*印は実根)

絶対値	周期	絶対値	周期	絶対値	周期
(昭 33. 4~6)					
1	0.901*	0.920*		0.893*	
2	-0.852*	-0.852*		-0.851*	
3	0.851	3.97	0.851	3.97	0.851 3.97
4	0.753*		0.755*		0.738*
5	0.657*		0.654*		0.641*
6	0.416	6.22	0.433	6.13	0.435 6.23
7	0.383	2.99	0.396	2.98	0.377 3.00
(昭 35. 7~9)					
1	0.899*	0.862*		0.862*	
2	0.852	3.97	0.852	3.97	0.851 3.97
3	-0.851*		-0.851*		-0.851*
4	0.751*		0.708*		0.707*
5	0.654*		0.540*		0.519*
6	0.429	6.18	0.437	6.52	0.447 6.53
7	0.392	3.10	0.320	3.03	0.315 3.04
(昭 42. 4~6)					
1	0.859*				
2	0.851	3.97			
3	-0.851*				
4	0.704*				
5	0.495*				
6	0.446	6.61			
7	0.303	3.04			

差を計算する作業は、 A, B 行列が大きくなると共分散行列は急速に大きくなるため、かなり厄介である。この点については、モデルが同時推定法により再推定された後に、改めて検討することとする。

2. いくつかの変数についての自己批判的コメント

電研モデル 72 年版の性質に関するこれまでの検討から、どうも価格系がモデルの弱点らしいことがわかってきた。しかし、価格系以外の諸関数についても、問題がないわけではない。以下では、72 年版の推定および運転の段階においてわれわれのグループ内で議論の対象とな

11) 体系全体の動きは、おおまかに言えば、支配的な固有関数の線型結合としてあらわされる。GNP をひとつの総合指標と考え、支配的な固有値の与える周期の最小公倍数をとるという最も単純な方法で、これらの周期を合成してみる。3, 4, 6 期の場合、これは 12 期である。

った諸問題のうち、いくつかの点について簡単にのべておこう。悪いことを承知しているなら、なぜ改めないのか、というお叱りは重々ごもっともである。しかし、なかなか言う通りにはならないもので、改良したつもりが結果的には改悪だったり、拡充したつもりが誤差の拡大だけに終わったりで、思うようにはかどらない。「結論」がなくて、いつでも「今後の課題」ばかりが報告の終りに登場するゆえんである。

2.1 潜在 GNP, および需給ギャップについて

潜在 GNP (V^*) の計測は、70年版と同様の手順による。まず集計の生産関数を

$$\log V = a + b \log \rho K_f^* + (1-b) \log hL + \lambda t \quad (7)$$

と定式化し、推定されたパラメータに資本および労働の潜在的なアヴェイラビリティを示す ρ^* 、 h^* および L^* をそれぞれ代入する。ただし、 ρ は総合稼働率で、いわば Wharton Index の日本版であり、 $\rho^* = 1.0$ である。 h^* および L^* は、失業率の観測期間中の最低水準 (0.908%) を u^* として、

$$h^* = \alpha_0 - \alpha_1 t - \alpha_2 u^*$$

$L^* = (1 - u^*) N_L$ (ただし N_L は労働力人口) により計算する。潜在 GNP は、したがって、

$$\log V^* = a + b \log \rho^* K_f^* + (1-b) \log h^* L^* + \lambda t \quad (8)$$

により、また需給ギャップは

$$GAP = (V) / (V^*)$$

と定義される (付録 (41) 式)。

この手順について、もう少し立ち入って考えてみよう。

稼働率 ρ について：ここで使われているのは、産業別生産指数のピークを結んでえられる一種の完全操業生産指数と実績との開離を加重

平均した結果としてあらわされる資源の総合稼働率であり、これを資本設備の利用率と読みかえるためには、資本と労働の代替関係について、ある仮定をおかなければならない。その仮定は、ここで想定している事後的なコブ・ダグラス型生産関数についての仮定と矛盾しないかどうか。更に、この生産関数が第一次、第三次産業を含むという点を別にすれば、ワートン指数型の稼働率による方法と、生産関数による方法とは、総合的な資源利用率という同一概念に対するちがったアプローチにすぎず、したがって両者を併用することは結局トートロジーにすぎないのではない。

正直に言ってこうした疑問を十分解明しえないまま、今回の 72 年版でも同じ方式を踏襲している。資本稼働率をよりよく表現する適当な指標がまだ見つかっていない。電力統計はひとつの可能性である¹²⁾。産業別の契約最大電力に対する実績負荷率、とくに大口電力の深夜負荷曲線は、装置型産業を主として、資本稼働率のかなりよい代理変数となりうるであろうと考えられる。しかし、こうした電力統計の利用に当たっても、自家発をどう取り扱うか、機械工業などでどの程度有効かなど、技術的に困難な問題がいくつか残る。

需給ギャップの計算について：単純化のために、実質 GNP を y 、説明変数の線型結合を $f(z)$ と書いて、上述の生産関数を最小 2 乗法によって推定する場合を考える。

$$y = f(z) + \varepsilon$$

これに説明変数の潜在水準 $f(z^*)$ を代入して

12) 英国について電力統計を利用した例として、D. F. Heathfield, "The Measurement of Capital Usage Using Electricity Consumption Data for the U. K.", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, vol. 135 Part 2, 1972.

$$y^* = f(z^*) + \varepsilon$$

を得る。ここで、 y と y^* はどちらも供給側の指標と考えられていることはいうまでもない。ところで、需給ギャップというのは、そもそも事前的な概念であり、期首に存在する供給能力と期中に顕在化すると予想される需要との差である。しかし、現在われわれが観測しうるのは、国民総支出と国民総生産であり、両者は恒等的に等しく、したがって、上述の手順から計算される y と y^* の差として定義されるものは、事後的な意味でのギャップである。

生産関数による推定値 \hat{y} は供給側の指標であるが、 y は上の恒等関係から、観測期間については需要と読みかえてもよい。これはやや言葉のトリックという感じであるが、 $(y - y^*)$ を需給ギャップと呼ぶためには、この変換が必要になる。誤差項 ε は共通だから、これを推定値間の差

$$GAP = \hat{y} - y^*$$

と書いても同じことである。需要として GNP の実績値をとり、 $(y - y^*)$ を計算するのでは、誤差項 ε が相殺されず、したがって、生産関数の特定化の誤差までギャップに含まれてしまうことになる。

以上は単一方程式段階の問題である。次に、モデルを解く段階になると、また別の問題が生ずる。総需要 y は、消費、投資その他の個別需要項目の合計であり、したがって y の推定誤差は各方程式の誤差の合計である。ところで、各方程式は、国民総支出恒等式を制約条件として推定されており、したがってモデルを解いてえられる GNP の期待値は当然 y であって、生産関数からの推定値 \hat{y} ではない。つまり、モデルを解く段階で計算されるギャップは必然的に $(y - y^*)$ に近いものになる。いくつかの方程式

が、先に $(\hat{y} - y^*)$ と定義されたギャップを説明変数のひとつとして推定されているならば、全体テストおよび最終テストにおけるこれらの変数の誤差は、そのために大きくなる。

70 年版と同様、今回のモデルでも、第二段階の誤差を重視しているため、先の $(y - y^*)$ をもって需給ギャップと呼ぶことにしているが、これはあまり正確な名称とはいえない。

GNP ベースの生産関数を推定し、それから計算される能力利用度を連立方程式体系に組み込もうとすれば、どうしても以上のようなディレンマに逢着する。そしてこれは、モデルを同時推定法によって推定すれば解決するという筋合いのものではない、ということが問題なのである。

この難点を回避するひとつの方法は、事後的な生産関数を明示的にモデルに導入することをやめ、何等かの形で生産能力を直接定義することである。たとえば、生産関数が putty-clay タイプであると仮定すれば、期首の資本ストックの全部利用によってえられる産出高が、能力産出水準となる。資本の全部利用の尺度としては、利潤極大化の前提から、望ましい資本・産出比率を適当に導き、それを期首の資本ストックにかけるなど、いろいろ工夫できよう¹³⁾。

2.2 民間企業の投資について

民間の設備投資・在庫投資関数に関して、今回、実際上いちばん大きな問題となったのは、銀行貸出を説明変数として使うことの是非であった。実際上、という意味は、関数の適合度ということとは別に、モデルを 46 年度以降の予

13) この方式を使っているものとしてトロント大学モデルの 1972 年版がある。G. V. Jump, "The University of Toronto Quarterly Econometric Forecasting Model: A Description of Its Real Sector" University of Toronto Report Series No. 4, April 1972

測に使う場合にどんな結果になるか、を予め考えたということである。

常識的な議論からすれば、昭和30年代には、利率が政策的な意図から均衡水準以下のところに固定され、設備投資に対する潜在的な超過需要が常に存在していた。一方、国際収支は赤字基調であり、いわば自動的な通貨供給増加要因がなかったこと、また企業の内部資金依存度が低かったことなどから、設備投資関数において、直接的な外部資金のアヴェイラビリティを示す変数が支配的な役割りを演じていたと考えられる。ところが昭和40年代に入ると、以上の諸要因がすべて逆になり、資金供給の設備投資に対する影響は相対的に弱まったであろうと類推できる。さらに、昭和46年夏からの大量の外貨流入が引き金となって生じた民間信用の膨張にいたっては、潜在的な投資需要の顕在化とほとんど関係ないのではないか¹⁴⁾。

きわめて大ざっぱにいうと以上のような観点から、われわれは設備投資と銀行貸出の関係について、何等かの構造変化を検出しようと試みたわけである。推定区間の分割、景気局面別の推定、金融の引締めと緩和との非対称性、パラメータの趨勢的減衰の仮定など、各種のテストを行なったが、少なくとも昭和45年度までの統計を使うかぎり有意な結果はえられなかった。その代りに（というのも変だが）、労働代替的投資を説明すると考えられる実質賃金率について、昭和39年度を境として有意な変化が計測された。失業率が30年代に低下を続け、39年度あたりで底に達して、以後低水準で横這いを続けていることに示される労働需給の逼迫、30年代後半から続いている（40年度の落ち込みを除いて）高い賃金上昇率、賃金の規模別格差の縮小などから判断して、39年度前後

から労働代替投資の増加が加速化されたと考える根拠は十分あるし、また、投資関数の適合度からいっても、70年版では十分に説明できなかった40年度の落ち込みをうまく追跡するようになった点を評価して、72年版には実質賃金率のパラメータに関するダミー変数を導入することとした（付録(3)式）。

粗資本利潤率と利率（外部資金コスト）との比率として示される最初の変数¹⁵⁾は、短期的な投資の変化を説明する上で非常に有力であり、かつ推定期間を変えてもパラメータの値は0.8前後に安定していることが確かめられている。なお、70年版には、以上の諸変数のほかに前出の需給ギャップが導入されており、今回も同様に有意な結果がえられたけれども、推定された弾力性が1をかなり超え、したがって最終テストの段階でのGAPの誤差によって設備投資により大きな誤差を生ずることが確認されたため、今回は採用しなかった。

民間非農業在庫投資は、70年版ではGNPと期首在庫ストック、利率、およびGAPによって説明されていた。つまり、在庫投資は、ストック調整原理によって決定される部分、金融要因によって規定される部分、および需給ギャップの変動に対応して動く部分、に分けて考え

14) 47年度以降の予測に当って、この点をどう処理したかについては、当研究所の「短期経済動向分析」No.2 1973年3月を参照されたい。

15) この変数は、それを構成するメンバーからいって、ジョルゲンソンを代表とする資本コスト一族の貧しい遠縁とみることでもできる。わが国のマクロ・モデルの中では、経済企画庁のマスター・モデルが簡略化した形で、また日銀モデルが最もきりびやかな形で、新古典派的なデザインを使っている。日銀モデルでは、均衡状態において資本係数は資本費用と生産物価格との比に等しいと、まず望ましい資本・産出比率を定義し、それを、ストック調整、資金のアヴェイラビリティ、および企業利潤率などによって定式化される投資実現関数の中にもちこんでいる。理論的精密さからいえば、われわれの72年版の投資関数は、日銀モデルのおそらく1/5以下の精度であろう。しかし最終テストの誤差率という意味での精度はまず1/2というところであろうか。

られていた。はじめのふたつの部分については説明の要もないであろうが、最後のギャップ変数の複雑な入れ方について若干ふえんしておこう。

今期の稼働率を R 、最近1年間の平均稼働率を R_L とし、 R が R_L を超過する分（短期的な稼働率の上昇）を R_S とし、これらが

$$R = R_L + R_S$$

の関係にあるとする。そして企業は R_L の上昇に応じて在庫を積み増し、 R_S の上昇には在庫のとりくづしで対応すると考える。在庫投資を J とし、この部分だけをとりだせば

$$J = aR_L + bR_S, \quad a > 0, \quad b < 0 \quad (9)$$

が要求される。一方、70年版の推定式は

$$J = a'R + b'R_S, \quad a' > 0, \quad b' < 0 \quad (10)$$

で、これらのパラメータの間の関係は、($R_L = R - R_S$ であるから)

$$a' = a, \quad b' = b - a$$

したがって、推定された絶対値で b' が a' より大きければ、 $a > 0, b < 0$ を満足する。しかし、70年版の推定結果では、 a' と b' は絶対値でほぼ等しく、したがって R_L と R_S とに対する反応の大きさのちがいで符号のちがいは検出されなかった。

今回の72年版(付録(4)式)では、これと同じ定式化によってよりよい結果を導きだすことを期待したが、実際には有意な推定値がえられず、また利子率についても符号条件がみたされなかったため、金融変数として銀行貸出を代用せざるをえなかった(結果的には、これが設備投資についてのべたと同じ困難を予測段階でうみだすことになった)。

2.3 対外取引について

貿易・貿易外取引に関する諸関数は、商品輸出関数の相対価格項にディスクリットなウエイ

トをつけたおくれを導入した¹⁶⁾ほかは、70年版とほぼ同じである。最も問題があるのはアメリカ向け商品輸出関数(付録(5)式)で、相対価格に関する弾力性の推定値が相変わらず非常に大きいし、最近時点、とくに45年度以降に関数は大幅な過少推定を示している。2番目の点は、1970年にGMストライキ等により、アメリカの製造業生産指数が低下したにも拘らず、アメリカの輸入総額、および日本からの輸入は伸びつづけたという事実と直接対応するが、この過少推定傾向は46年度以降も続いており、むしろこの輸出関数の定式化の誤りが前面にあらわれてきたのではないかと考えられる。

一般に、 i 国の j 国への輸出 X_{ij} は

$$X_{ij} = X_{ij}(M_j, PX_{ij}, PX_{kj}) \quad (11)$$

とあらわすことができる。ここで M_j は j 国の輸入総額、 PX_{ij} は i 国の j 国向け輸出価格、 PX_{kj} は j 国市場における競争諸国の平均輸出価格である。つまり、 j 国の輸入総額中の i 国のシェアが価格競争力によって決定されると考えるわけである¹⁷⁾。一方、 j 国の輸入が、総需要 Y 、輸入価格 PM 、国内価格 PD により

$$M_j = M_j(Y_j, PM_j, PD_j) \quad (12)$$

16) 輸出入価格のタイム・ラグについては、少なくともふたつの問題がある。ひとつは、価格効果のラグはもっと長いはずだという、若干感覚的な議論。もうひとつは、国民所得統計の輸出入デフレーター(つまり日銀の輸出入物価指数)が契約価格であるため、通関ベースの商品輸出入との間に数カ月のラグがあるという、統計上の事実。経済企画庁における天野ユニットの詳細な研究では、第2の点を考慮して推定した加工価格系列を用い、かつアーモン型の分布を導入することによって、かなり長いラグを計測している。「国際収支セクターの計量モデルとシミュレーション」『経済分析』No. 42, 昭和48年1月

17) これを j について統合すれば、 i 国の輸出総額になる。ここで $PX_{ij} = PX_i$ とおいて i 国の輸出関数を推定した例が、DECDのTrade Modelである。F. G. Adams, H. Eguchi & Meyer z. S, *An Econometric Analysis of International Trade*, 1969; Meyer z. S. & A. Yajima, "OECD Trade Model: 1970 Version", *OECD Economic Outlook, Occasional Studies*, Dec. 1970

という一本の式で決まるものとして、これを前式に代入すれば、誘導形は

$$X_{ij} = X_{ij}(Y_j, PM_j, PD_j, PX_{ij}, PX_{kj}) \quad (13)$$

となる。われわれの対米輸出関数は、アメリカの生産指数と卸売物価、および日本の輸出価格だけを含み、あきらかに変数が2つ抜けている。

実際問題としては、いまのところ、 PX を除いて、上の諸式の右辺の変数はすべて外生変数として扱うわけであるから、べつに誘導形を推定する必要はなく、最初の(11)式を直接特定化すればよい。問題は競争国の平均輸出価格(アメリカの輸出総額中の各国のシェアをウェイトする)であって、予測段階ではこれらを想定するために使える情報が、アメリカの諸指標についての Wharton School の予測値のようなものほど十分にえられないという点である。しかし、考えようによっては、その他地域向け輸出関数(付録(6)式)に、世界の工業製品輸出価格が使われており、予測段階ではこれを適当に想定しなければならないのだから、OECD見通しなどを参考として、これを主要国に分解する作業の増分コストは、それほど大きいものではないかもしれない。いずれにせよ、現在の商品輸出関数は、通貨調整効果の分析にあたって決定的な役割りを果たす関数にしては誤差率も大きく、早急に改善する必要があるだろう。

2.4 金融・労働セクターについて

70年版モデルは、6個の行動方程式と3個の定義式からなる小さい金融セクターをもち、そこで銀行貸出および貸付利率を決定していた。今回も同様な推定を行なったが、統計的な適合度に若干の難点があったため、とりあえず金融セクターは削除し、上記2変数を外生化した。

金融セクターに対して要求されることは、安定歩合など日銀のもつ政策変数の効果のみならず、外貨の増減が通貨供給の変化を通じて国内諸変数(実物、価格両面の)に及ぼす影響、国債の発行と消化などの諸問題をも含んでいる。70年版では市銀の資産負債バランスの枠内での説明に限定されていたが、上のような要求をみたすためには、どうしてもマネー・サプライの統合勘定を明示しなければならない。70年版では、時間的制約のために、金融セクターを再構成するに至らなかったが、今回の改訂時には再び小型の金融ブロックを組み込む予定である。

また、70年版では5つの産業グループに分割されていた労働・賃金セクターは、今回は農林水産業とその他の2部門に統合されている。その理由は、統計の非連続性と、モデル作成者間の情報伝達の悲しむべき不完全さがその最たるものである。この点に関連して、統計データの管理(収集、保管およびアップデイト)とモデルの推定および運転(たとえば、モデルによる予測の計算など)を、どのように体系化してコンピュータ・ルーチンにのせるかという問題にちょっと触れておきたい。

同じ人間が継続的にこうした作業を行なっている場合には、問題はさほどクリティカルではないが、これを組織として行なう段階になると、担当者の交替という事態が当然起こってくる。そのとき、必要とされる一連の情報が体系的に管理されていないと、理解の不足や誤解にもとづく混乱、作業の重複による非効率、結果の非斉合的な発表といった失敗を繰り返す可能性が非常に強い。

この点についての反省から、われわれは現在、当研究所内で利用する経済・社会情報の総合的管理システムの一環として、まず計量経済

モデルによる分析についての全情報を機能的に処理できるようなファイリング・システムの研究を行なっている。もちろん、計量モデルの作成と運転には、時系列データに代表される数値情報以外に、社会制度・政策についての知識を含めたいろいろな非数値情報が関係してくる。これらの雑多な情報をどのように処理するかに

についての手法も、まだ十分に開発されているとはいえないので、われわれの研究も、まずはパイロット・モデルという性格のものとなろう。48年度下期に導入予定のミニ・コンピュータ・システムと関連して、別の機会にこの問題を詳しく述べたいと思う。

(電力経済研究部)

付 録

電研モデル 1972：構造方程式と定義式

標本期間 昭和 33 年 4～6 月から昭和 46 年 1～3 月までの 52 箇の季節調整前四半期系列

推定方法 直接最小 2 乗法

表記方法 1) 係数の下の () 内は t -値

2) S : 式の標準誤差 (または誤差率)

\bar{R}^2 : 自由度修正済決定係数

DW : ダービン・ワトソン統計量

3) $\dot{X} = (X - X_{-4}) / X_{-4}$

$\sum_i^j X$: X_{-i} から X_j までの合計

4) w_i : ラグのウェイト (0.4, 0.3, 0.2, 0.1)

5) 対数は自然対数

構造方程式

(1) 個人消費支出

$$C/ = 0.0193 + 0.3964 \sum_0^3 w_i YD/PC + 0.5486 C/_{-4} + 0.0957 Q_2 + 0.1135 Q_3 + 0.1254 Q_4$$

(0.6) (4.9) (5.0) (3.1) (3.5) (3.3)

$$S = 0.0659 \quad \bar{R}^2 = 0.998 \quad DW = 1.236$$

(2) 民間住宅投資

$$IH/ = -0.0710 + 0.0433 YD/PH + 0.6955 IH_{-1} + 0.0204 Q_3 - 0.0736 Q_4$$

(-7.5) (8.9) (18.9) (2.9) (-5.9)

$$S = 0.0188 \quad \bar{R}^2 = 0.994 \quad DW = 2.381$$

(3) 民間企業設備投資

$$\log IF = 4.8164 + 0.8705 \log \sum_1^2 PAI/RI + 0.3002 \log \sum_1^4 DLB + 0.7102 \log \sum_1^4 W/P$$

(7.7) (7.6) (4.4) (5.9)

$$+ 0.1484 D_1 \log \sum_1^4 W/P + 0.1129 Q_3 + 0.1136 Q_4$$

(4.0) (5.3) (5.4)

$$S = 0.0621 \quad \bar{R}^2 = 0.988 \quad DW = 1.119$$

(4) 民間非農業在庫投資

$$DKJPN = -1.2891 + 0.2056 V - 0.1597 KJPN_{-1} + 1.0863 GAP + 0.0814 \sum_0^3 DLB$$

$$\begin{matrix} (-3.4) & (4.9) & (-4.4) & (2.5) & (2.3) \end{matrix}$$

$$+ 0.1723 Q_2 - 0.0694 Q_3 - 0.3039 Q_4$$

$$\begin{matrix} (4.2) & (-1.7) & (-3.3) \end{matrix}$$

$$S=0.0997 \quad \bar{R}^2=0.810 \quad DW=1.201$$

(5) アメリカ向け通関輸出

$$\log EC^{*/US} = -15.8565 + 3.0673 \log O^{US} - 4.3930 \log \sum_0^3 w_i (PE/PW^{US}) \cdot (EX + SUR)$$

$$\begin{matrix} (-27.8) & (30.0) & (-3.0) \end{matrix}$$

$$+ 0.7291 \log (KF^*/V)_{-1} - 0.1121 Q_2$$

$$\begin{matrix} (4.1) & (-2.4) \end{matrix}$$

$$S=0.1356 \quad \bar{R}^2=0.956 \quad DW=0.450$$

(6) その他域向け通関輸出

$$\log EC^{*/OTHER} = 6.1940 + 1.8482 \log TW - 2.0335 \log \sum_0^3 w_i (PE/PE^W) \cdot EX$$

$$\begin{matrix} (57.2) & (55.1) & (-2.9) \end{matrix}$$

$$+ 0.1093 Q_3 + 0.0727 Q_4$$

$$\begin{matrix} (5.8) & (3.8) \end{matrix}$$

$$S=0.0558 \quad \bar{R}^2=0.991 \quad DW=1.322$$

(7) 貨物運賃保険受取り

$$EO_1 = 0.0123 + 0.3387 (SH/SHW) \cdot EC$$

$$\begin{matrix} (35.3) & (99.1) \end{matrix}$$

$$S=0.0017 \quad \bar{R}^2=0.995 \quad DW=1.323$$

(8) その他運輸受取り

$$EO_2 = -0.0019 + 0.0111 (EC + MC_{01}) + 0.5042 EO_{2-1}$$

$$\begin{matrix} (-2.5) & (5.1) & (5.0) \end{matrix}$$

$$S=0.0023 \quad \bar{R}^2=0.985 \quad DW=1.445$$

(9) 投資所得受取り

$$EO_3 = -0.0040 + 0.0050 (B/EX)_{-1} + 0.0064 (AS/EX)_{-1} - 0.0031 Q_2 - 0.0040 Q_4$$

$$\begin{matrix} (-1.9) & (3.4) & (4.4) & (12.6) & (-2.8) & (-3.6) \end{matrix}$$

$$S=0.0032 \quad \bar{R}^2=0.971 \quad DW=1.864$$

(10) 商品輸出

$$EC = 0.0311 + 0.3372 EC^* + 0.0069 Q_4$$

$$\begin{matrix} (15.9) & (419.0) & (3.0) \end{matrix}$$

$$S=0.0071 \quad \bar{R}^2=0.999 \quad DW=0.922$$

(11) 原材料通関輸入

$$MC^*M = 0.3118 + 0.0030 O + 0.0028 (O - O_{-1}) - 3.0165 (KJPN_{-1}) / O$$

$$\begin{matrix} (2.7) & (4.4) & (1.4) & (-2.2) \end{matrix}$$

$$+ 0.5244 MC^*M_{-1} + 0.0582 Q_2$$

$$\begin{matrix} (5.0) & (4.6) \end{matrix}$$

$$S=0.0384 \quad \bar{R}^2=0.989 \quad DW=1.823$$

(12) 燃料通関輸入

$$MC*OIL/ = -0.0696 + 0.0024 O + 0.5511 MC*OIL/_{-1} + 0.0288 Q_4$$

(-5.6) (5.3) (6.0) (4.7)

$$S=0.0163 \quad \bar{R}^2=0.997 \quad DW=2.407$$

(13) 食料・飼料通関輸入

$$MC*F/ = -0.0644 + 0.0565 C/ + 0.4936 MC*F/_{-1} - 0.0284 Q_3 - 0.0411 Q_4$$

(-3.5) (4.8) (4.5) (-3.5) (-3.6)

$$S=0.0235 \quad \bar{R}^2=0.979 \quad DW=2.162$$

(14) その他商品通関輸入

$$MC*O/ = -0.6128 + 0.2368 IF/ + 0.0336(V/ - IF/) + 0.4716(PW/PMCO*)$$

(-3.4) (4.0) (2.1) (3.7)

$$+ 0.2674 MC*O/_{-1} - 0.0456 Q_3 - 0.1022 Q_4$$

(2.4) (-3.3) (-3.7)

$$S=0.0373 \quad \bar{R}^2=0.988 \quad DW=1.969$$

(15) 商品輸入

$$MC_{01}/ = 0.0191 + 0.2974 MC*/$$

(3.9) (151.4)

$$S=0.0160 \quad \bar{R}^2=0.998 \quad DW=1.227$$

(16) その他運輸支払い

$$MO_2 = -0.0052 + 0.0062(EC + MC_{01}) + 0.9112 MO_{2-1} + 0.0041 Q_2$$

(-4.4) (2.3) (12.1) (3.1)

$$+ 0.0049 Q_3 + 0.0029 Q_4$$

(3.8) (2.2)

$$S=0.0031 \quad \bar{R}^2=0.991 \quad DW=1.800$$

(17) 投資所得支払い

$$MO_3 = -0.0136 + 0.0347 MC_{01} + 0.0078(DE/EX)_{-1} - 0.0029 Q_2 - 0.0033 Q_4$$

(-7.8) (6.6) (5.8) (-2.2) (-2.4)

$$S=0.0039 \quad \bar{R}^2=0.975 \quad DW=2.238$$

(18) その他貿易外支払い

$$MO_4 = -0.0064 + 0.0106 V - 0.0276 Q_4$$

(-2.9) (45.4) (-10.6)

$$S=0.0080 \quad \bar{R}^2=0.976 \quad DW=1.871$$

(19) 鉱工業生産指数

$$O = 0.1420 + 24.5170(IF/ + IG/ + EC/ + DKJPN + IH/)$$

(0.1) (21.8)

$$+ 3.9289(C/ + CG/ + DKJPA + JG/ + EO/) + 2.1497 Q_2 - 12.7087 Q_4$$

(3.1) (2.4) (-7.0)

$$S=2.6264 \quad \bar{R}^2=0.998 \quad DW=1.871$$

(20) 民間企業減価償却

$$DF/ = -0.1653 + 0.0227 KF_{-1} + 0.0031 D_2 \cdot KF_{-1} + 0.0041 O_{-1} + 0.0563 Q_4$$

(-5.1) (3.9) (2.9) (4.4) (4.4)

$$S=0.0392 \quad \bar{R}^2=0.993 \quad DW=1.930$$

(21) 民間住宅減価償却

$$DH/ = -0.0139 + 0.0104 KH_{-1} + 0.0073 Q_3 + 0.0093 Q_4$$

$$\begin{matrix} (-8.9) & (83.9) & (5.0) & (6.4) \end{matrix}$$

$$S=0.0043 \quad \bar{R}^2=0.993 \quad DW=1.665$$

(22) 個人利子・賃貸料所得 (除消費者負債利子)

$$YR^* = 0.0069 + 0.0057 SSP_{-1} + 0.8219 YR^*_{-1}$$

$$\begin{matrix} (4.1) & (5.6) & (20.9) \end{matrix}$$

$$S=0.0054 \quad \bar{R}^2=0.999 \quad DW=2.195$$

(23) 個人配当

$$DI^* = -0.0011 + 0.0058(YC + YC_{-1}) + 0.9535 DI^*_{-2} + 0.0235 Q_2 - 0.0091 Q_3$$

$$\begin{matrix} (-0.4) & (4.3) & (45.3) & (7.2) & (-2.7) \end{matrix}$$

$$S=0.0091 \quad \bar{R}^2=0.990 \quad DW=2.215$$

(24) 法人所得

$$YC = -0.2471 + 0.1088(Y + Y_{-1}) + 0.5268 \sum_0^1 (IF//V/) + 0.3427 \left(GAP - \frac{1}{4} \sum_1^4 GAP \right)$$

$$\begin{matrix} (-3.1) & (4.6) & (2.0) & (1.3) \end{matrix}$$

$$+ 0.5091 YC_{-1} - 0.0056 RI \cdot LB + 0.0260 Q_2 \cdot (Y + Y_{-1})$$

$$\begin{matrix} (5.0) & (-4.0) & (7.4) \end{matrix}$$

$$+ 0.0047 Q_3(Y + Y_{-1}) - 0.0064 Q_4(Y + Y_{-1})$$

$$\begin{matrix} (1.7) & (-4.0) \end{matrix}$$

$$S=0.0504 \quad \bar{R}^2=0.993 \quad DW=1.807$$

(25) 間接税マイナス補助金

$$TI^* = 0.1273 + 0.0291(V + V_{-1}) - 0.0787 Q_4$$

$$\begin{matrix} (7.2) & (31.4) & (-3.9) \end{matrix}$$

$$S=0.0626 \quad \bar{R}^2=0.951 \quad DW=2.382$$

(26) 法人税及び税外負担

$$TC = 0.4437 + 1.0577 \frac{1}{4} R_1 \sum_1^4 (YC - D_3 \cdot DI^*) + 1.7308 \frac{1}{4} R_2 \sum_1^4 DI^* - 0.0593 RI$$

$$\begin{matrix} (1.9) & (16.3) & (2.2) & (-2.0) \end{matrix}$$

$$+ 0.1030 Q_2 + 0.0843 Q_4$$

$$\begin{matrix} (7.4) & (6.1) \end{matrix}$$

$$S=0.0407 \quad \bar{R}^2=0.966 \quad DW=3.172$$

(27) 個人税プラス個人から政府へのその他移転

$$TP^* = -0.1717 + 0.0393 \sum_0^1 (YW + YR^* + DI^*) + 0.0613 Q_1 \sum_1^4 YF + 0.0371 Q_3 \sum_3^6 YF$$

$$\begin{matrix} (-13.7) & (33.3) & (20.8) & (11.9) \end{matrix}$$

$$+ 0.0090 Q_4 \sum_4^7 YF + 0.1608 Q_2 + 0.0862 Q_3 + 0.1370 Q_4$$

$$\begin{matrix} (2.6) & (9.0) & (4.9) & (7.8) \end{matrix}$$

$$S=0.0181 \quad \bar{R}^2=0.996 \quad DW=1.547$$

(28) 農林水産業非雇用者数

$$LFA = 8.8738 - 4.9576 \sum_1^2 (W - WFA) - 4.549 \sum_1^2 (LW/NL) + 0.5092 LFA_{-1}$$

$$\begin{matrix} (3.1) & (-4.1) & (-3.0) & (4.5) \end{matrix}$$

$$+4.1076 Q_2 + 2.6795 Q_3 + 1.8527 Q_4$$

(20.2) (11.0) (9.3)

$$S=0.2612 \quad \bar{R}^2=0.982 \quad DW=2.727$$

(29) 雇用者数

$$\log LW = -0.0351 + 0.0799 \log V_{-1} - 0.0814 \log(W/PC) + 0.9026 \log LW_{-1}$$

(-0.1) (1.7) (-1.3) (15.3)

$$+ 0.0461 Q_2 + 0.0376 Q_3 + 0.0510 Q_4$$

(2.6) (2.0) (1.7)

$$S=0.0095 \quad \bar{R}^2=0.995 \quad DW=2.317$$

(30) 完全失業者数

$$U = 1.9738 + 0.0649 NL - 0.1010 LW - 0.1257 LFA - 0.5902 GAP$$

(7.8) (2.3) (-3.5) (-5.8) (-2.2)

$$+ 0.5057 U_{-1} - 0.0626 Q_2 - 0.1002 Q_4$$

(4.0) (-2.3) (-5.6)

$$S=0.0498 \quad \bar{R}^2=0.901 \quad DW=1.696$$

(31) 潜在労働時間指数

$$H^* = 117.31 - 0.2379 TIME - 4.8447 RU^*$$

(79.8) (-13.4) (-7.3)

$$S=1.5138 \quad \bar{R}^2=0.778 \quad DW=1.240$$

(32) 1人当り農林水産業非雇用者所得

$$\log WFA = -0.2528 + 0.3118 \log W + 0.6863 \log WFA_{-4} - 0.2933 Q_2 + 0.3068 Q_4$$

(-1.6) (3.0) (6.6) (-3.3) (2.8)

$$S=0.1170 \quad \bar{R}^2=0.982 \quad DW=1.722$$

(33) 1人当り雇用者所得

$$\dot{W} = -0.0055 + 0.7633 \sum_0^3 w_i \dot{PC} + 0.0944 \sum_0^3 w_i 1/RU + 0.1576 \sum_0^3 w_i (O/\dot{LW})$$

(-0.4) (3.9) (3.3) (4.3)

$$S=0.0184 \quad \bar{R}^2=0.751 \quad DW=1.315$$

(34) 民間企業設備投資デフレーター

$$PI = -0.0755 + 0.3051 PW + 0.7703 PI_{-1} + 0.0046 Q_2$$

(-3.7) (4.6) (14.0) (2.4)

$$S=0.0059 \quad \bar{R}^2=0.990 \quad DW=1.542$$

(35) 民間住宅投資デフレーター

$$PH = -0.5908 + 0.7847 PI + 0.8053 PH_{-1} + 0.0111 Q_2 + 0.0104 Q_4$$

(-4.8) (4.8) (18.0) (2.4) (2.3)

$$S=0.0132 \quad \bar{R}^2=0.996 \quad DW=1.766$$

(36) 民間非農業在庫デフレーター

$$PJPN = 0.1357 + 0.5064 PW + 0.3634 PJPN_{-1}$$

(5.5) (9.3) (5.0)

$$S=0.0046 \quad \bar{R}^2=0.984 \quad DW=0.591$$

(37) 政府投資デフレーター

$$PIG = -0.2872 + 0.4886 PI + 0.7962 PIG_{-1} + 0.0083 Q_2$$

(-4.6) (4.6) (16.8) (3.0)

$$S = 0.0084 \quad \bar{R}^2 = 0.996 \quad DW = 1.129$$

(38) 輸出等デフレーター

$$\dot{P}E = 0.0078 + 0.9164 \dot{P}W - 0.0380 \dot{I}F_{-4}$$

$$S = 0.0147 \quad \bar{R}^2 = 0.750 \quad DW = 0.588$$

(39) 卸売物価指数

$$PW = 0.1263 + 0.1407 PM + 0.0915(W/ETA) - 1.093(KJPN/O) + 0.7679 PW_{-1}$$

(2.6) (2.3) (3.2) (-3.9) (10.3)

$$-0.0154 Q_2 - 0.0114 Q_3 - 0.0069 Q_4$$

(-3.7) (-2.9) (-1.9)

$$S = 0.0067 \quad \bar{R}^2 = 0.980 \quad DW = 1.192$$

(40) 個人消費支出デフレーター

$$\dot{P}C = 0.0079 + 0.3073 \dot{W} - 0.0936(O/\dot{L}W) + 0.2849 \dot{P}CP + 0.3827 \dot{P}W$$

(1.2) (5.2) (-2.8) (2.7) (3.5)

$$S = 0.0111 \quad \bar{R}^2 = 0.767 \quad DW = 1.462$$

(41) 潜在 GNP

$$\log V^* = -2.375 + 0.3282 \log RHO^* \cdot KF^* + 0.67177 \log H^* \cdot L^* / 100 + 0.015294 TIME$$

(-29.9) (5.1) (8.8)

$$-0.079100 Q_2 - 0.054753 Q_3 + 0.17946 Q_4$$

(-6.0) (-4.2) (14.3)

$$S = 0.0283 \quad \bar{R}^2 = 0.995 \quad DW = 2.164$$

(42) 民間企業設備純除却

$$RF = -0.0246 + 0.0079 KF^*_{-1} - 0.0900 Q_2 - 0.0677 Q_4$$

(-1.4) (22.8) (-6.1) (-4.6)

$$S = 0.0435 \quad \bar{R}^2 = 0.919 \quad DW = 1.723$$

(参考式) 統計上の不突合

$$EPS/V = -0.1411 + 0.2091(EPS/V)_{-4} + 0.1915 GAP - 0.0432 Q_2 - 0.0782 Q_3 - 0.0336 Q_4$$

(-2.6) (2.1) (3.2) (-5.8) (-7.5) (-4.7)

$$S = 0.0164 \quad \bar{R}^2 = 0.807 \quad DW = 1.561$$

注) モデルを外挿する場合、統計上の不突合の推定が困難なため、この参考式を準備してある。

定 義 式

(43) 名目個人消費 $JPN = DKJPN \cdot (PJPN + PJPN_{-1}) / 2.0$

$C = PC \cdot C/$ (47) 名目輸出等

(44) 名目民間住宅投資 $E = PE \cdot E/$

$IH = PH \cdot IH/$ (48) 名目輸入等

(45) 名目民間企業設備投資 $M = PM \cdot M/$

$IF = PI \cdot IF/$ (49) 名目商品輸出

(46) 名目民間非農業在庫投資 $EC = PE \cdot EC/$

- (50) 名目商品輸入
 $MCO_1 = PM \cdot MCO_1 /$
- (51) 名目民間企業資本減耗引当
 $DF = PI \cdot DF /$
- (52) 名目民間住宅資本減耗引当
 $DH = PH \cdot DH /$
- (53) 雇用者所得
 $YW = W \cdot LW$
- (54) 農林水産業非雇用者所得
 $YFA = WFA \cdot LFA$
- (55) 政府財貨サービス経常購入
 $CG/ = CG/PCG$
- (56) 政府投資
 $IG/ = IG/PIG$
- (57) 総合稼働率
 $GAP = (V/) / V^*$
- (58) 実質貿易外収入
 $EO/ = (EO_1 + EO_2 + EO_3 + EO_4) / PE$
- (59) 国民総支出デフレーター
 $P = V / (V/)$
- (60) 労働生産性
 $ETA = (V/) / L$
- (61) 失業率
 $RU = (U/NL) \cdot 100.0$
- (62) 潜在失業者
 $L^* = (1 - RU^* / 100) \cdot NL$
- (63) 最低失業率
 $RU^* = 0.908$
- (64) 資本利潤率
 $PAI = ((YC - TC + DF) / PI) / KF^*_{-1}$
- (65) 実質民間在庫投資
 $DKJP = DKJPN + DKJPA$
- (66) 輸出と海外からの所得
 $E/ = EC/ + EO/$
- (67) 輸入と海外への所得
 $M/ = MCO_1 / + (MO_2 + MO_3 + MO_4) / PM$
- (68) 実質国民総支出
 $V/ = C/ + CG/ + IH/ + IF/ + IG/ + DKJP + JG/ + E/ - M/$
- (69) 名目国民総支出
 $V = C + CG + IH + IF + IG + JPN + JPA + JG + E - M$
- (70) 貿易外収入
 $EO = EO_1 + EO_2 + EO_3 + EO_4$
- (71) 国民所得
 $Y = V - DF - DH - DG - TI^* - EPS$
- (72) 個人業主所得
 $YF = Y - YW - YR^* - YC - YG^*$
- (73) 非農林水産業個人業主所得
 $YFNA = YF - YFA$
- (74) 法人貯蓄
 $SC = YC - DI^* - TC$
- (75) 個人所得
 $YP = YW + YF + YR^* + DI^* + TR + FP^*$
- (76) 個人可処分所得
 $YD = YP - TP^* - SI$
- (77) 海外バランス
 $BF = E - M + FP^* + FG^*$
- (78) 個人貯蓄
 $SP = YD - C$
- (79) 個人貯蓄累積額
 $SSP = SSP_{-1} + SP$
- (80) 政府貯蓄
 $SG = (TI^* + TC + TP^* + SI + YG^* + FG^*) - (CG + TR)$
- (81) 政府バランス
 $BG = SG + DG - (IG + JG)$
- (82) 商品通関輸出
 $EC^* / = EC^* / US + EC^* / O$
- (83) 商品通関輸入

$$MC^*/ = MC^*M/ + MC^*F/ + MC^*OIL/ + MC^*O/$$

(84) 民間企業設備純ストック $KF = KF_{-1} + IF/ - DF/$

(85) 民間企業設備粗ストック $KF^* = KF^*_{-1} + IF/ - RF/$

(86) 民間非農業在庫ストック $LFNA = L - LW - LFA$

$$KJPN = KJPN_{-1} + DKJPN$$

(87) 民間住宅ストック $KH = KH_{-1} + IH/ - DH/$

(88) 就業者数 $L = NL - U$

(89) 非農林水産業非雇用者数

変数記号表

1) 左側に○を付したものは外生変数。 2) 単位は、特記しないかぎり1兆円。

	記号	変数	単位	デフレーター	出所等
1	○ AS	対外資本勘定長期資産残高	10 億ドル		昭 43/1/23 日経新聞, 41 年残高をベンチマークとし, 日銀経済統計年報より作成
2	○ B	外貨準備	"		日銀経済統計年報
3	BF	海外バランス			国民所得統計年報
4	BG	政府バランス			"
5	C	個人消費支出			"
6	C/	同 (40 年価格)		PC	"
7	○ CG	政府経常購入			"
8	CG/	同 (40 年価格)		PCG	"
9	○ D ₁	ダミー変数 昭 33~38 年度=0 昭 39~45 年度=1			
10	○ D ₂	ダミー変数 昭 33~38 年度=0 昭 39~45 年度=1			償却税制変更ダミー
11	○ D ₃	ダミー変数 昭 33~35 年度=0 昭 36~45 年度=1			配当軽減税率ダミー
12	○ DE	対外資本勘定長期負債残高	10 億ドル		AS に同じ
13	DF	民間企業減価償却			経済企画庁経済研究所国民所得部内部資料
14	DF/	同 (40 年価格)		PI	"
15	○ DG	政府減価償却			国民所得統計年報
16	DH	民間住宅減価償却			経済企画庁経済研究所国民所得部内部資料
17	DH/	同 (40 年価格)		PH	"
18	DI*	個人配当プラス法人から個人のその他の移転			国民所得統計年報
19	DKJP	民間在庫投資 (40 年価格)			"
20	○ DKJPA	民間農業在庫投資 (40 年価格)			改訂国民所得統計推計資料集より作成
21	DKIPN	民間非農業在庫投資 (40 年価格)			"
22	○ DLB	銀行貸出増減			日銀経済統計年報, マネタリ・サーベイ, 銀行対民間貸出
23	E	輸出と海外からの所得			国民所得統計年報
24	E/	同 (40 年価格)		PE	"
25	EC	商品輸出			"
26	EC/	同 (40 年価格)		PE	"
27	EC*/	通関輸出 (40 年価格)	10 億ドル	(PEC*)	外国貿易概況
28	EC*/US	アメリカ向け通関輸出 (40 年価格)	"	(PEC*US)	"
29	EC*/OTHER	その他地域向け通関輸出 (40 年価格)	"		"
30	EO	貿易外受取			国民所得統計年報
31	EO/	同 (40 年価格)		PE	"
32	EO ₁	貨物運賃保険受取			"

	記号	変数	単位	デフレーター	出所等
33		<i>EO</i> ₂ その他運輸受取			国民所得統計年報
34		<i>EO</i> ₃ 投資所得受取			"
35	○	<i>EO</i> ₄ その他貿易外受取			"
36	○	<i>EPS</i> 統計上の不突合			"
37		<i>ETA</i> 労働生産性	100 万円/人		
38	○	<i>EX</i> 為替レート	1 ドル=360 円を 1.0		
39	○	<i>FG</i> * 海外から政府への純移転			国民所得統計年報
40	○	<i>FP</i> * 海外から個人への純移転			"
41		<i>GAP</i> 需給ギャップ			モデルより計算
42		<i>H</i> * 潜在労働時間指数	40 =100		労働省「労働統計調査月報」全 産業常用労働者労働時間により モデルから計算
43		<i>IF</i> 民間設備投資			国民所得統計年報
44		<i>IF/</i> 同 (40 年価格)		<i>PI</i>	"
45		<i>IG</i> 政府固定資本形成			"
46	○	<i>IG/</i> 同 (40 年価格)		<i>PIG</i>	"
47		<i>IH</i> 民間住宅投資			"
48		<i>IH/</i> 同 (40 年価格)		<i>PH</i>	"
49	○	<i>JG</i> 政府在庫投資			"
50	○	<i>JG/</i> 同 (40 年価格)			"
51	○	<i>JPA</i> 民間農業在庫投資			改訂国民所得統計推計資料集よ り作成
52		<i>JPN</i> 民間非農業在庫投資			"
53		<i>KF</i> 民間資本純ストック (40 年価格)			経済企画庁経済研究所
54		<i>KF</i> * 民間資本粗ストック (40 年価格)			"
55		<i>KH</i> 民間住宅ストック (40 年価格)			"
56		<i>KJPN</i> 民間非農業在庫ストック (40 年価格)		<i>PJPN</i>	改訂国民所得統計推計資料集よ り作成
57		<i>L</i> 就業者	100 万人		労働力調査報告
58		<i>L</i> * 潜在就業者	"		モデルより作成
59	○	<i>LB</i> 銀行貸出残高			<i>DLB</i> と同じ
60		<i>LFA</i> 農林水産業非雇用就業者	100 万人		労働力調査報告
61		<i>LFNA</i> 非農林水産業非雇用就業者	"		"
62		<i>LW</i> 雇用者	"		"
63		<i>M</i> 輸入と海外への所得			国民所得統計年報
64		<i>M/</i> 同 (40 年価格)		<i>PM</i>	"
65		<i>MC</i> ₀₁ 商品輸入			"
66		<i>MC</i> _{01/} 同 (40 年価格)		<i>PM</i>	"
67		<i>MC</i> */ 商品通関輸入 (40 年価格)	10 億ドル		外国貿易概況
68		<i>MC</i> *F/ 食料・飼料通関輸入	"	(<i>PMC</i> *F)	"
69		<i>MC</i> *M/ 原材料通関輸入	"	(<i>PMC</i> *M)	"
70		<i>MC</i> *O/ その他商品通関輸入	"	<i>PMC</i> *O	"
71		<i>MC</i> *OIL/ 燃料通関輸入	"	(<i>PMC</i> *OIL)	"
72		<i>MO</i> ₂ その他運輸支払い			国民所得統計年報
73		<i>MO</i> ₃ 投資所得支払い			"
74		<i>MO</i> ₄ その他貿易外支払い			"
75	○	<i>NL</i> 労働力人口	100 万人		労働力調査報告
76		<i>O</i> 鉱工業生産指数 (付加価値ウェイト)	40 年=100		通産統計月報
77	○	<i>Ovs</i> アメリカ製造業生産指数	40 年=100		<i>SCB</i> "industrial production, manufacturing" より作成
78		<i>PAI</i> 資本利潤率	比率		モデルより計算
79		<i>P</i> GNP デフレーター	40 年=1.00		国民所得統計年報
80		<i>PC</i> 個人消費支出デフレーター	"		"
81	○	<i>PCCG</i> 政府財貨サービス経常購入デフレーター	"		"

	記号	変数	単位	デフレーター	出所等
82	○ PCP	公共料金指数	40年=1.00		総理府統計局「消費者物価指数」より作成
83	PE	輸出等デフレーター	"		国民所得統計年報
84	○ PE ^w	世界工業製品輸出価格指数	"		MBS, "Special Table; World exports, price index, manufactured goods" より作成
85	PH	民間住宅投資デフレーター	"		国民所得統計年報
86	PI	民間設備投資デフレーター	"		"
87	PIG	政府投資デフレーター	"		"
88	PJPN	民間非農業在庫デフレーター	"		改訂国民所得統計推計資料集より作成
89	○ PM	輸入等デフレーター	"		国民所得統計年報
90	○ PMCO*	その他商品輸入価格指数	"		外国貿易概況より作成
91	PW	卸売物価指数	"		経済統計月報より作成
92	○ PW ^{us}	アメリカ卸売物価指数	"		SCS, "Wholesale Prices, industrial commodities" より作成
93	○ Q ₁	季節ダミー	1~3月=1		
94	○ Q ₂	"	4~6月=1		
95	○ Q ₃	"	7~9月=1		
96	○ Q ₄	"	10~12月=1		
97	○ R ₁	法人一般税率	比率		経済企画庁研究シリーズ No. 10「財政モデルの研究」
98	○ R ₂	法人配当軽減税率	"		"
99	○ RHO*	民間企業設備純除却(40年価格) RHOはワートン指数の日本版	1.0	PI	経済企画庁経済研究所 日経センター
100	○ RI	全国銀行貸付平均金利	年率 %		日銀経済統計年報
101	RU	失業率	%		労働力調査報告
102	RU*	最低失業率(0.908%)	"		労働力調査報告
103	SC	法人貯蓄			"
104	SG	政府貯蓄			国民所得統計年報
105	○ SH	本邦船腹保有量	100万GT		"
106	○ SHW	世界船腹保有量	"		ロイド統計による毎年6月末の 計数を四半期補間
107	○ SI	社会保険負担			"
108	SP	個人貯蓄			国民所得統計年報
109	SSP	個人貯蓄累積額			"
110	○ SUR	アメリカの輸入課徴金率	%		モデルより計算
111	TC	法人税及び税外負担			
112	TI*	間接税マイナス補助金			国民所得統計年報
113	○ TIME	タイム・トレンド	30年1~3月=1		"
114	TP*	個人税プラス個人から政府へのその他の移転			"
115	○ TR	政府から個人への移転			"
116	○ TW/	世界輸出(40年価格)	10億ドル	(PTW)	MBS, "External Trade" より作成
117	U	完全失業者	100万人		労働力調査報告
118	V	国民総生産		P	国民所得統計年報
119	V/	同(40年価格)		P	"
120	V*/	潜在GNP			モデルより計算
121	W	1人当り雇業者所得	100万円/人		労働力調査報告及び国民所得統計年報
122	WFA	1人当り農林水産業非雇業者所得	"		"
123	Y	国民所得			国民所得統計年報
124	YC	法人所得			"
125	YD	個人可処分所得			"
126	YF	個人業主所得			"

	諸号	変数	単位	デフレーター	出所等
12L	YFA	農林水産業非雇用者所得			国民所得統計年報
128	YFNA	非農林水産業個人業主所得			"
129	○ YG*	政府の事業所得及び財産所得 (除: 政府負債利子)			"
130	YP	個人所得			"
131	YR*	個人利子・賃貸料所得 (除: 消費者負債利子)			"
132	YW	雇用者所得			"

デフレーターに関する注記

() 内のデフレーターは、モデルに明示的に現われない、それらの算定方式は以下の通り。

PEC* ; 外国貿易概況「総合輸出価格指数」より作成。

PEC*_{US} ; 「価格指数」から品別輸出価格をとり、次に「主要国別品別輸出額」から品別対米輸出額を求め、これをウェイトにして加重平均。

PMC*_F, PMC*_M, PMC*_{OIL}, PMC*_O ; 次の品目の価格指数を四半期で平均したもの。「食料品」, 「繊維及び同製品・金属及び同製品・その他原料品」, 「鉱物性燃料」, 「化学製品・機械機器・雑品」。

PTW ; *Monthly Bulletin of Statistics* "Special Table, world exports, price index, all commodities" より作成。

(やじま あきら・電力経済研究部)

全国四地域計量モデル

齋藤観之助 熊倉 修 阿波田禾積

- (1) 序
 - (1)-1 研究の目的
 - (1)-2 研究のフレームワーク
 - (1)-3 使用データについて
- (2) モデルの概要
 - (2)-1 準備上の諸区分
 - (2)-2 モデルの基本的体系
 - (2)-3 推定上の仮定
- (3) 実証モデル
 - (3)-1 変数の説明
 - (3)-2 モデル
- (4) むすび

(1) 序

(1)-1 研究の目的

昭和 30 年代の重化学工業を中心とした日本経済の高度成長は、全国レベルで見て、1 人当り国民所得の大幅な増加をもたらしたが、その反面、地域経済活動に即して見れば、生産性や所得の地域間の格差拡大を惹き起こした。また、この間の地域間人口移動の急激な変化に対して適切な政策の遂行がたち遅れたために、社会間接資本 (social overhead capital) が地域的に不足したり、あるいは地域間でアンバランスが生じ、社会の厚生水準を圧迫する結果を招いた¹⁾。これらの問題に対して、かなり以前から、適切な経済政策による解決が要請されている。とくに、最近では経済活動に伴って、大気汚染、水質汚濁の形で地域的に現われる外部不経

済効果が社会厚生に及ぼす影響が強く認識されている。

この研究の目的は、現在の混合経済体制を前提として、つぎの分析を行なうことにある。すなわち、昭和 30 年代に見られた、年間に生産される財貨サービスを表わす生産所得、あるいはその分配所得の成長率にウェイトをおいた政策目標 (経済成長指向型) から、経済的厚生を規定する所得以外の諸要因のうち社会がそれ迄に蓄積してきた財貨ストック²⁾から得られるサービスの拡充にウェイトをおいた政策目標 (福祉指向型) に転換した場合の、地域間の資源配分の問題、とりわけ政策手段としての公共投資の地域間の配分問題を解くための地域経済モデルを作成し、政策シミュレーション実験を行なうことである。

これらの問題に関して、ここ数年の間に多くの実証分析が試みられ、いくつかの具体的な政策提言がなされている。しかし、これらの先行業績は特定地域の経済開発についての実証分析が多く、例外を除いては、全国を対象とした地

1) これらの問題は福地、信国によって「内部経済バランス」、[外部経済バランス]の形で理論的な把握が試みられている。文献 [1], [2], [3] を参照。

2) 具体的には交通基盤施設、産業基盤施設といった主に生産者向けのものや、住宅施設、生活環境施設のように主に消費者向けのものがある。これらの実証分析は、前記の文献の他に経済企画庁の「全国 9 地域マスターモデル」[4] においても試みられている。

域経済の分析はほとんどない³⁾。

全国を対象とした地域経済分析が、その必要性に比較して、多くはなされなかった理由はつぎの点に負うところが大きい。第1は、地域別に、また長期間にわたって斉合性を保った型で統計資料を収集することがきわめて困難であること。第2は、分析に際して操作性に富んだモデルビルディング——特に地域別の経済構造の把握とその地域を斉合的に全国ベースに総合すること——が困難であること⁴⁾。これらのことがら、全国ベースの地域経済分析の実証作業量を龐大にし、操作を複雑にすると考えられる。

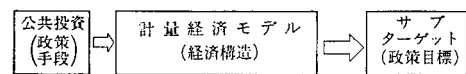
この研究では、上記の2点を考慮した上で、全国を対象とした地域経済分析を試みた。全国ベースの分析を試みた理由はつぎの2点に拠る。第1点、地域経済の活動は自地域内で自律的に決定する部分と他地域の経済活動と相互依存関係をもつ部分があり、それを無視することはできない。第2点は地域的に有限な資源を考慮する時、その配分の問題は全国ベースで見た資源利用を無視して分析するわけにはいかない。以上2点は勿論、この研究の目的に照らし、重要な点であることは明らかである。

(1)—2 研究のフレームワーク

この研究の課題に対して解答を導出するには、つぎの3つの道具だてが必要となる。すなわち、(1)地域の経済構造を把握するモデル、(2)計画主体(公共部門)が操作可能と考える政策手段、(3)政策目標を用意した上で、これらの間の関係を示し、その帰結を明確にすることである。(1)については、われわれは計量経済学的手法を用いて、地域経済構造の把握を試みている。(2)については、計画主体を中央政府と地方公共体の2つと考え、これら計画主体

が実際に行なっている公共投資を政策手段としている。われわれは政策手段として、(a)産業基盤投資、(b)運輸通信投資、(c)住宅投資、(d)生活環境基盤投資の4つを考えている⁵⁾。(3)の政策目標については、経済体制、あるいは社会の価値判断が反映されなければならない、一義的に設定することはきわめて困難であるが、われわれは、実証作業の操作性に鑑み、貨幣表示で近似できると考えられるつぎの項目をサブターゲットとして選んだ。(a)消費額(生計費、雑費、住居費)、(b)民間住宅ストック、(c)社会資本ストック、(d)政府経常支出、および参考指標として消費者物価指数をとり大別して5項目となる⁶⁾。

以上3つの道具だてを準備した上で、この研究は、つぎの第1図で示されるようなフレーム



第1図 研究のフレームワーク

ワークにしたがって分析をすすめる。すなわち、計画主体が計画実行上、feasible と考える公共投資を行なった時、経済活動にいかなる効果を生み出し、政策目標がどの程度実現されたかを見るには、図中の矢印で示されるフローにしたがってシミュレーション実験を行なえばよいことになる。

ところで、政策目標を設定し、その目標の実

3) 例外としての、全国ベースのモデルは文献[4]に挙げた経済企画庁の「全国9地域マスターモデル」であり、地域モデル分析の先行業績としてきわめて評価の高いものである。

4) われわれのモデルも、実際にモデルを解く段階で、地域間の斉合性を保った形の操作に、かなりの努力を必要とした。

5) 計画主体の変数としては、後で述べるように、経常支出や、公債なども含まれているので、これらの変数を政策的に変えることも可能である。

6) 社会資本ストックは前述の如く4分類であり、経常支出は中央と地方の2つに分かれている。

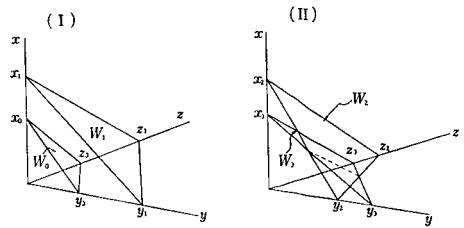
現の程度を測り、各政策についての評価を行なう時、実証分析のうえではつぎに示される問題が存在する。経済政策の目標は最終的には社会の厚生水準を増加させるように資源を配分することであるが、社会厚生を規定するものは、前述のように、その社会の価値判断、あるいは経済体制によって異なり、設定は困難である。いま、厚生水準が前記のサブターゲットによって、ほぼ近似できると考えると、社会厚生水準はつぎの関数で与えられる。

$$W = W(x_1, \dots, x_n) \quad (1)^7$$

ただし、 $x_i (i=1, \dots, n)$ はサブターゲットを示す。ここで、計画主体によってある政策が行なわれ、その結果、 x_i がそれぞれ変化した場合を考える。この政策によって、社会の厚生水準が増加し、政策目標が果たされたか否かを知るには、(1)式を微分した

$$dW = \frac{\partial W}{\partial x_1} dx_1 + \dots + \frac{\partial W}{\partial x_n} dx_n \quad (2)$$

の dW (社会厚生の変化分) を計測すれば分かる。ところが、実証分析においては各種の政策シミュレーションによって(2)式の各サブターゲットの変化 $dx_i (i=1, \dots, n)$ は知ることができても、各サブターゲットが社会厚生に占めるウェイト $\partial W/\partial x_i (i=1, \dots, n)$ は、それぞれの近傍において異なり、アプリオリに情報を得ることは、きわめて難しい。したがって、このウェイトが与えられない限り、全てのサブターゲットが社会厚生水準を増加させる方向に変化する政策は簡単に認めることができても、それぞれのサブターゲットが社会厚生に対して逆の方向に変化する、すなわち、資源配分の上でトレードオフの問題が生じる政策の評価は不可能である。このことは、つぎの第2図の(I),(II)を見ればさらに明らかになる。第2図は便宜



第2図 社会厚生曲面

上、サブターゲットが3つ (x, y, z) の場合が表わされている。いま、経済活動が x_0, y_0, z_0 の状態にあり、社会厚生水準は W_0 で示されている。(I)図は、ある政策が行なわれ、サブターゲットがそれぞれ x_1, y_1, z_1 に変化した場合である。この場合は政策実行後の社会厚生水準は W_1 となり、明らかに $W_0 < W_1$ であり、政策目標が果たされたことが分かる。一方、(II)図は政策実行後、各サブターゲットは x_2, y_2, z_2 に変化し、社会厚生水準は W_2 となった。この場合には W_0 と W_2 は交わり、各サブターゲットのウェイト $\partial W/\partial x_i (i=1, \dots, n)$ が与えられない限り、社会厚生水準を比較することはできず、したがって、この政策に対する評価は不可能になる。

以上述べた問題について、この研究では、さしあたって、ウェイトを求めることは避け、各種政策シミュレーションを行ない⁸⁾、それぞれについて、各サブターゲットの変化を求め、これを「政策メニュー」として提示し、その選択はメニューを受け取った計画主体に委ねるという方法を取る。この方法によって、この研究の目的は一応満たされると考えられるが、われわれは長期の課題として、何らかの実証分析で上

7) 社会厚生関数が(1)式のように与えられるには、個人の効用関数や個人の社会的重要度について、衆知の暗黙の仮定がおかれている。

8) 政策シミュレーションはつぎの2つに分類できる。すなわち、投資項目を変える政策と投資対象地域を変える政策である。

記のウェイトを求め、社会厚生水準を最大にする最適公共投資配分の問題を解くことを試みる積りである。

ところで、分析上注意しなければならない、いま1つの事柄は、政策実行にともなう費用負担の構造把握の問題である。社会厚生水準を上げるための政策の裏側には、その実行にともなう費用が要り、それは一般には、各種税金、公債などの形で、各個人が負担しているのである。この費用負担の構造把握を無視した分析では、政策の評価に関する情報は十分であるとはいえない。この点を考慮して、われわれの分析においては、政策主体に関する歳出と歳入の構造——とくに歳入の詳細な分析を試みることにする。

(1)一3 使用したデータについて

前述のように、地域経済の実証分析についての1つの難関はその使用するデータの収集にある。われわれの分析においても、データの収集にはかなりの時間を投入した。衆知のように、地域別のデータは存在しないものもあり、また存在してもオーバertimeには斉合的に収集することが困難なものもある。これらのデータについては、適宜加工したり、推定を行なって補完した。その詳細な手続き、方法については別途に述べることにするが（「地域計量経済モデルのためのデータ解説」近刊を参照していただきたい。）ここでは、簡単にデータについて触れておく。

収集したデータは基本的には、都道府県別のものである⁹⁾（ただし、電力事業に関するデータと民間資本ストックに関するデータは都道府県別には得られていない）。これらを、後に述べるように、4地域に積み上げている。データの期間は昭和35年度から昭和45年度までの

11年間である。

(2) モデルの概要

(2)一1 準備上の諸区分

モデルビルディングに際し、われわれは分析の目的および収集したデータの使用可能性を考慮して、地域区分、産業分類などのモデルの性格を規定する諸因子をつぎのように区分した。

(a) 地域区分

地域区分は、その相対的な統計量の大きさによって、推定上の誤差の大きさが左右され、地域区分の意味がなくなることがあるので、注意しなければならない。たとえば、統計量が極端に異なる地域区分を行なった時に、統計量の小さい地域の理論値が、統計量の大きい地域の推定値の誤差（理論値－実績値）の範囲の中に含まれてしまうことがあり、モデル全体として説明力が損なわれる可能性がある。この点も考慮して、この分析ではつぎの4地域に区分した。すなわち(i)東日本、(ii)首都圏、(iii)中日本、(iv)西日本の4区分であり、その中に含まれる都道府県は、第1表に示される通りである。

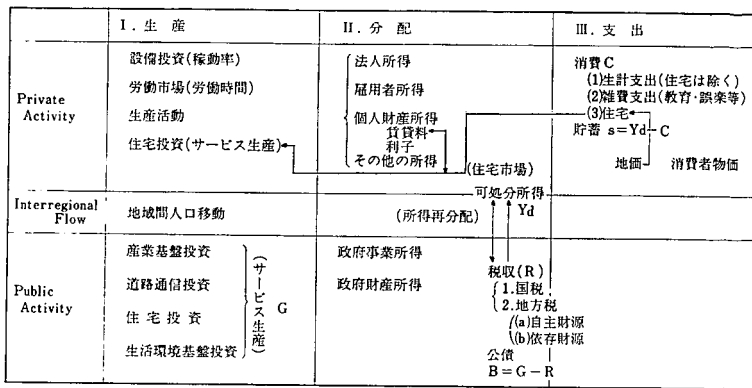
第1表

東日本	北海道、青森、秋田、岩手、山形、福島、新潟、宮城(8)
首都圏	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、長野(9)
中日本	富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山(13)
西日本	鳥取、岡山、島根、広島、山口、徳島、高知、香川、愛媛、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島(16)

(b) 産業分類

産業分類は基本的には3分類、すなわち、第1次産業、第2次産業および第3次産業であるが、第3次産業のうち、公益事業としてのガス事業と電気事業を取り出し、ガス電気事業と

9) 沖縄県は対象からはずしている。これは、各データが沖縄県について収集できないからである。



第3図 モデルの基本的体系

し、計4分類にしている。

(c) 財政上の分類

前述のように、この研究は計画当局の構造に關して詳細な分析を試みることになる。したがって財政上の分類をつぎのように区分した。まず、歳出については、投資は前記のように、産業基盤投資、運輸通信投資、住宅投資および生活環境投資の4分類であり、これらは中央政府と地方公共体の合計値を扱っている。さらに、經常支出は中央政府と地方公共体に区分している。また、歳入については、国税収納額、そのうちの中央政府への実質的配分額、地方公共体の自主財源および依存財源、公債(国債および地方債)、その他税外収入に区分している。

(d) 消費部門の分類

先に述べたように、われわれの分析では、消費は社会厚生水準を構成するコンポーネントとしてサブターゲットに選んでいる。ところで、消費総額を形成する食費、衣料費、光熱費あるいは娯楽費、住居費などは、所得水準によってその構成比も異なり、また、それらの社会厚生に対する効果も異なる。たとえば、所得水準の上昇に伴って、食費、衣料費といった生活必

要項目から、娯楽費や教養費などの“生活を楽しむ”項目へウェイトが移っていくと考えられる。このことを考えて、この分析では消費を、(i)生計費(食費、衣料費、光熱費)、(ii)雑費(娯楽教養費、その他)、(iii)住居費の3つに区分している。

(2)-2 モデルの基本的体系

われわれのモデルは大別して、つぎに示されるように8つのブロックから構成されている。すなわち、(i)人口部門、(ii)雇用部門、(iii)投資部門、(iv)生産部門、(v)公共部門、(vi)分配部門、(vii)支出部門、(viii)価格部門であり、上記の第3図に表わされるような体系となっている。地域間の依存関係は、地域間人口移動によって示されている。なお、他の地域間移動、たとえば財貨や資金の移動についてはデータの制約上、この分析では扱っていない¹⁰⁾。

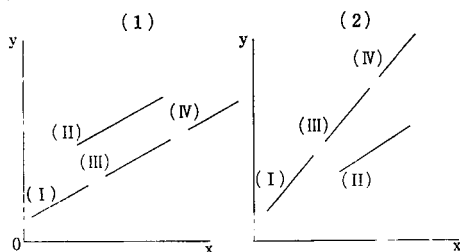
(2)-3 推定における仮定

モデルの各構造方程式を推定するにあつ

10) 財貨移動のデータでは、「地域間貨物流動調査」(運輸省)に詳しい調査結果があるが、これらは物品別に物的表示されたものであり、目的に応じて、貨幣表示に推計することは、その作業量および結果の妥当性を考慮するときわめて困難であると考えられる。

て、われわれは直接最小二乗法、二段階最小二乗法を用いた。観察期間は昭和 36 年から昭和 45 年の 10 年間である。(昭和 35 年は必要な先決変数として使用されている)

ところで、推定上われわれは地域経済構造について、つぎのような仮定を設け、4 地域のデータをプールして——プーリングデータを用いて——推定を行なっている。すなわち、基本的には 4 地域の経済行動原則は等しいという仮定である。経済要因以外の地理的、あるいは制度的な要因によって、ある地域の活動の水準が異なったり、あるいは調整スピードが異なることが明らかな場合には、ダミー変数を用いて、定数項、あるいは調整パラメータをソフトさせて処理している。このことは、つぎの簡単な例によって第 4 図のように示すことができる。い



第 4 図 ダミー変数の使用例

ま、もっとも簡単な関数、 $y=f(x)$ のパラメータを推定するとする。(1)の場合には第(II)地域の y の活動水準が高く、この場合には定数項ダミーによって解決する。(2)の場合には第(II)地域の y の x に対する調整速度が異なるのでパラメータ・ダミーによって調整する¹¹⁾。

11) この点については、別の機会に、われわれの行なった具体的な推定結果を用いて、さらに詳しく述べるつもりである。

(3) 実証モデル

以上述べてきた作業仮設、あるいは理論的な準備にしたがって、われわれは実証作業を行ない、つぎに示されるような結果を得た。

(3)-1 変数の説明

(変数の右下にある小文字の添字 i, j は地域を示しており、それぞれ $i=1, \dots, 4, j=1, \dots, 4$ である。また大文字 J は全国計の値である。)

(a) 内生変数	N_{0j} : 地域間人口移動
N_{i0} : 地域間人口移動	N_J : 全国人口
N_i : 地域住民人口	$E1_i$: 第 1 次産業就業者数
L_i : 労働力人口	$E3_i$: 第 3 次産業就業者数
$E2_i$: 第 2 次産業就業者数	$4K2J$: 第 2 次産業全国投資額
$E4_i$: 電気ガス事業就業者数	$4K3J$: 第 3 次産業全国投資額
$K2J$: 第 2 次産業資本ストック (全国計)	$K2_i$: 第 2 次産業資本ストック
$K3J$: 第 3 次産業資本ストック (全国計)	$4K4_i$: 電気ガス事業投資額
$K3_i$: 第 3 次産業資本ストック	LB_i : 銀行貸出残高
$K4_i$: 電気・ガス事業資本ストック	$O2^*_i$: 第 2 次産業潜在生産力
$O1_i$: 第 1 次産業生産所得	$O3_i$: 第 3 次産業生産所得
$O2_i$: 第 2 次産業生産所得	$O4_i$: 電気・ガス事業生産所得

- $4GI_i$: 産業基盤公共投資
 $4GW_i$: 生活基盤公共投資
 GI_i : 産業基盤社会資本ストック
 GT_i : 運輸通信社会資本ストック
 GW_i : 生活基盤社会資本ストック
 GH_i : 住宅社会資本ストック
 CGS : 中央政府経常支出
 RS_i : 国税収納額
 $RR2_i$: 地方依存財源
 RS' : 中央政府への国税実質分配分
 $C1_i$: 消費支出 (生計費)
 $C2_i$: 消費支出 (雑費)
 $4HP_i$: 民間住宅投資
 $C3_i$: 消費支出 (住居費)
 PLF_i : 農地価格
 PLC_i : 市街地価格
 $W3_i$: 第3次産業賃金率
 Y_i : 分配所得
 YP_i : 個人財産所得
 Yd_i : 可処分所得
 OJ : 生産所得 (全国計)
- (b) 外生変数
- TOJ : 労働時間
 PrJ : 生産者米価
 M_i : 地域面積
 WGC : 中央政府人件費
 WGL_i : 地方政府人件費
 LF_i : 農地面積
 TOJ^* : 最適労働時間
 $RR3_i$: 税外収入
 ROH : 稼働率
 RIC : 間接税率指数
- $4GT_i$: 運輸通信公共投資
 $4GH_i$: 住宅公共投資
 GI_J : 産業基盤社会資本ストック (全国計)
 GT_J : 運輸通信社会資本ストック (全国計)
 GW_J : 生活基盤社会資本ストック (全国計)
 GH_J : 住宅社会資本ストック (全国計)
 CGL_i : 地方政府経常支出
 $RR1_i$: 地方自主財源
 R_i : 地方政府歳入総額
 BS : 国債
 PC_i : 消費者物価指数
 S_i : 預貯金残高
 HP_i : 民間住宅資本ストック
 PLW_i : 山林地価格
 LH_i : 市街地面積
 $W2_i$: 第2次産業賃金率
 $W4_i$: 電気ガス事業賃金率
 YC_i : 法人所得
 YE_i : 雇用者所得
 YcJ : 法人所得 (全国計)
 G_i : 社会資本ストック計
- PWJ : 木材卸売価格
 T : 時間
 MJ : 地域面積 (全国計)
 IJ : 利子率
 $K1_i$: 第1次産業資本ストック
 ROH^* : 最適稼働率
 B_i : 公債
 $RS3$: 中央政府税外収入
 YM_i : その他分配所得

(3)-2 実証モデル

S^2 : 分散 \bar{R}^2 : 決定係数 (): T -値

(I) 人口部門

(1) 人口移動関数

$$\begin{aligned} \log N_{i0} = & 5.78442 + \left\{ \begin{array}{l} -0.0141763 \text{ } D1 \\ (-1.4) \end{array} \right. + \begin{array}{l} 0.0709949 \text{ } D2 \\ (3.9) \end{array} + \begin{array}{l} 0.0785319 \text{ } D3 \\ (3.9) \end{array} \\ & + 0.118010 \left(\frac{Y_0}{N_0} \right)_{-1} / \left(\frac{Y_i}{N_i} \right)_{-1} \\ & + 0.0983645 \left(\frac{GW_0 + GH_0 + GT_0}{N_0} \right)_{-1} / \left(\frac{GW_i + GH_i + GT_i}{N_i} \right)_{-1} \log(N_i \cdot N_0)_{-1} \\ & S^2 = 0.0012 \quad \bar{R}^2 = 0.920 \end{aligned}$$

(2) 人口移動関数

$$\begin{aligned} \log N_{0i} = & 12.5966 + \left\{ \begin{array}{l} -0.0409455 \text{ } D1 \\ (-7.1) \end{array} \right. + \begin{array}{l} 0.00758287 \text{ } D2 \\ (0.6) \end{array} - \begin{array}{l} 0.0500723 \left(\frac{Y_0}{N_i} \right)_{-1} / \left(\frac{Y_i}{N_{i-1}} \right)_{-1} \\ (-5.0) \end{array} \\ & - 0.044292 \left(\frac{GW_0 - GH_0 + GT_0}{N_0} \right) / \left(\frac{GW_i + GH_i - GT_i}{N_i} \right)_{-1} \log(N_0 \cdot N_i)_{-1} \\ & S^2 = 0.016 \quad \bar{R}^2 = 0.961 \end{aligned}$$

(3) 住民人口関数

$$\begin{aligned} (N - (N_{0i} - N_{i0})) = & -128.227 + \begin{array}{l} 1.01577 \text{ } N_{-1} \\ (104.2) \end{array} \\ & S^2 = 0.00000011 \quad \bar{R}^2 = 0.996 \end{aligned}$$

(4) 労働人口決定式

$$\begin{aligned} \log L = & -1.30183 + \begin{array}{l} 1.09691 \text{ } \log N \\ (13.4872) \end{array} + \begin{array}{l} 0.010882 \text{ } D1 \\ (0.3367) \end{array} + \begin{array}{l} 0.00727110 \text{ } D2 \\ (0.2577) \end{array} + \begin{array}{l} 0.0316932 \text{ } D3 \\ (1.9127) \end{array} \\ & S^2 = 0.00094961 \quad \bar{R}^2 = 0.987 \quad D - W = 0.571 \end{aligned}$$

(II) 雇用部門

(5) 第一次産業就業者関数

$$\begin{aligned} \log E1 = & 5.64491 + \begin{array}{l} 0.639169 \text{ } \log L \\ (16.1) \end{array} - \begin{array}{l} 0.0959451 \text{ } \log(K1/E1)_{-1} \\ (-1.4) \end{array} - \begin{array}{l} 0.361304 \text{ } \log WM_{-1} \\ (-5.4) \end{array} \\ & - 0.399434 \text{ } D2 - 0.689082 \text{ } D3 \\ & \quad \quad \quad (-17.9) \quad \quad \quad (-41.1) \\ & S^2 = 0.00084 \quad \bar{R}^2 = 0.986 \end{aligned}$$

(6) 第2次産業労働供給関数

$$\begin{aligned} \log E2 S = & 1.50336 + \begin{array}{l} 0.226956 \text{ } \log WM \\ (16.4) \end{array} + \begin{array}{l} 0.416072 \text{ } \log L \\ (5.9) \end{array} - \begin{array}{l} 0.459364 \text{ } D1 \\ (-17.8) \end{array} \\ & + 0.584723 \text{ } D2 + 0.582012 \text{ } D3 \\ & \quad \quad \quad (24.1) \quad \quad \quad (43.0) \\ & S^2 = 0.00024 \quad \bar{R}^2 = 0.999 \end{aligned}$$

(7) 第2次産業労働需要関数

$$\log E2D = 10.6155 - 1.2826 \log WW + 1.11159 \log O2_{-1}$$

(-33.6) (65.2)

$$S^2 = 0.0026 \quad \bar{R}^2 = 0.992$$

(8) 第2次産業労働需給均衡式

$$E2D = E2S = E2$$

(9) 第3次産業労働供給関数

$$\log E3S = 1.07930 + 0.275731 \log WW + 0.465682 \log L - 0.337112 D1$$

(23.1) (7.2) (-14.3)

$$+ 0.255985 D2 + 0.009725 D3$$

(11.9) (8.3)

$$S^2 = 0.00021 \quad \bar{R}^2 = 0.999$$

(10) 第3次産業労働需要関数

$$\log E3D = 9.34633 - 1.41571 \log WW + 1.36801 \log O3_{-1} - 0.00179877 * T * \log O3_{-1}$$

(-7.3) (24.3) (-1.4)

$$S^2 = 0.0023 \quad \bar{R}^2 = 0.985$$

(11) 第3次産業労働需給均衡式

$$E3D = E3S = E3$$

(12) 電気ガス就業者関数

$$\log EEG = 8.04392 + 0.0403683 \log O4_{-1} - 0.482392 D1 + 0.130256 D2 + 0.385025 D3$$

(2.4) (-27.4) (6.7) (18.0)

$$S^2 = 0.00136 \quad \bar{R}^2 = 0.988$$

(13) 電気ガス事業賃金関数

$$\log W4 = 13.9045 + 0.922976 \log(O4/E4)_{-1} - 0.232211 D1$$

(28.2) (-7.5)

$$- 0.387732 D2 - 0.335156 D3$$

(-11.1) (-10.1)

$$S^2 = 0.00465 \quad \bar{R}^2 = 0.955$$

(Ⅲ) 民間投資部門

(14) 第2次産業投資関数

$$\log 4K2J = -0.430562 + 1.69296 \log(YCJ/K2J)_{-1} + 0.248186 \log LBJ_{-1}$$

(11.14) (1.69)

$$+ 0.548086 \log GIJ_{-1}$$

(0.84)

$$S^2 = 0.00883 \quad \bar{R}^2 = 0.937$$

(15) 第2次産業資本ストック定義式

$$K2J = K2J_{-1} + 4K2J$$

(16) 第3次産業投資関数

$$\log 4K3J = 0.386794 + 0.56947 \log((YCJ/K3J)_{-1}) + 0.611385 \log LBJ_{-1}$$

(1.97) (6.9)

$$\begin{array}{cc} -2.38529 DZ1 & -1.36280 DZ2 \\ (-24.9) & (-14.8) \end{array}$$

$$S^2=0.157 \quad \bar{R}^2=0.975$$

(17) 第3次産業資本ストック定義式

$$K3_J = K3_{J-1} + \Delta K3_J$$

(18) 第2次産業資本ストック地域配分式

$$\log K2_i / K2_J = -1.50168 + 0.112847 \log((O2_i / O2_J)_{-1}) - 0.743618 D1$$

$$\begin{array}{cc} (1.2) & (-14.3) \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} +0.602681 D2 & +0.628714 D3 \\ (7.3) & (8.8) \end{array}$$

$$S^2=0.020908 \quad \bar{R}^2=0.999$$

(19) 第3次産業資本ストック地域配分式

$$\log K3_i / K3_J = -0.160749 + 0.928321 \log((O3_i / O3_J)_{-1}) - 0.118476 D1$$

$$\begin{array}{cc} (3.7) & (-1.3) \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} +0.122163 D2 & +0.115878 D3 \\ (0.7) & (1.1) \end{array}$$

$$S^2=0.029942 \quad \bar{R}^2=0.996 \quad D-W=2.199$$

(20) 電気ガス事業投資関数

$$\Delta K4_i = 23.7586 + 26.4435(YC_i / K4_i)_{-1} + 0.00967613 LB_{i-1}$$

$$\begin{array}{cc} (1.81) & (4.83) \end{array}$$

$$S^2=28.85 \quad \bar{R}^2=0.782$$

(21) 電気ガス事業資本ストック定義式

$$K4_i = K4_{i-1} + \Delta K4_i$$

(22) 貸付残高決定式

$$LB = 8.78906 + 1.02567(LB_{-1}) + 0.0444269 YC + 0.0259884 S$$

$$\begin{array}{ccc} (32.7) & (2.2) & (1.7) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} +70.6764 D1 & +506.399 D2 & +192.240 D3 \\ (0.7) & (3.7) & (1.8) \end{array}$$

$$S^2=191.96 \quad \bar{R}^2=0.999$$

(Ⅳ) 生産部門

(23) 第1次産業生産関数

$$O1 = -71.0313 + 0.944144 K1 + 0.477295 E1 + 0.657190 LF + 662.869 T$$

$$\begin{array}{cccc} (2.2) & (1.5) & (1.1) & (6.4) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} -1.65183 D1T & -230.905 D2T & -240.596 D3T \\ (0.3) & (-4.8) & (-2.9) \end{array}$$

$$S^2=467.70 \quad \bar{R}^2=0.960 \quad D-W=0.531$$

(24) 第2次産業潜在生産関数

$$\log O2^* = -1.92211 + 0.0274637 D1 + 0.235074 D2 + 0.170672 D3$$

$$\begin{array}{ccc} (0.3) & (2.3) & (1.9) \end{array}$$

- (32) 産業基盤社会資本ストック定義式

$$GI = GI_{-1} + \Delta GI$$

- (33) 運輸通信社会資本ストック定義式

$$GT = GT_{-1} + \Delta GT$$

- (34) 生活環境社会資本ストック定義式

$$GW = GW_{-1} + \Delta GW$$

- (35) 住宅社会資本ストック定義式

$$GH = GH_{-1} + \Delta GH$$

- (36) 中央政府経常支出

$$(CGN - WGC) = -1043.31 + 12.2618 PCJ_{-1} + 0.187947 RS'$$

(2.32) (17.07)

$$S^2 = 180.81 \quad \bar{R}^2 = 0.984$$

- (37) 地方政府経常支出

$$(CGI - WGL) = -718.093 + 14.2469(PC_{-1}) + 0.0177256 R$$

(4.48) (2.06)

$$-154.133 D1 - 319.564 D2 - 248.496 D3$$

(-3.69) (-7.06) (-6.90)

$$S^2 = 70.562 \quad \bar{R}^2 = 0.953$$

- (38) 国税収納額決定式

$$\log RS = -3.20866 + 0.606418 \log Y + 0.30949 \log RIC * C_{-1} - 0.135485 D1$$

(3.33) (1.68) (-4.49)

$$+ 0.823274 D2 + 0.715281 D3$$

(19.03) (17.79)

$$S^2 = 0.059098 \quad \bar{R}^2 = 0.996$$

- (39) 地方政府自主財源

$$\log RL1 = -0.637318 + 0.393598 \log(Y_{-1}) + 0.463735 \log C + 0.0472789 D1$$

(1.44) (1.73) (1.55)

$$+ 0.203250 D2 + 0.0473793 D3$$

(4.23) (1.08)

$$S^2 = 0.055040 \quad \bar{R}^2 = 0.991$$

- (40) 地方政府依存財源

$$\log RL2 = -4.44270 + 0.121629 \log(N/MI)_{-1} - 0.321830 \log(RL1/G_{-1})$$

(1.84) (-1.70)

$$+ 1.24704 \log RSJ - 0.291093 D1 - 0.196736 D2 - 0.126395 D3$$

(16.27) (-5.77) (-1.37) (-1.77)

$$S^2 = 0.073858 \quad \bar{R}^2 = 0.977 \quad D-W = 0.698$$

- (41) 地方歳入総額定義式

$$R_i = RR1_i + RR2_i + RR3_i + B_i$$

- (42) 中央政府への国税の実質的配分

$$RS' = \sum RS_i - \sum RR2_i$$

(43) 公債定義式 (地方債, 國債)

$$\sum_i B_i + B_S = \sum_i (\Delta G_{Li} + \Delta G_{Ti} + \Delta G_{Wi} + \Delta G_{Hi} + C_{Gi}) + CGS - (\sum_i R_i + RS + RS3)$$

(VI) 分配部門

(44) 法人所得

$$\log YC = -8.40794 + 0.991577 \log(O - OI) + 1.35162 \log(ROH)$$

(27.0) (3.3)

$$-0.130520 D1 + 0.614957 D2 + 0.478600 D3$$

(-2.5) (10.8) (9.0)

$$R^2 = 0.012 \quad \bar{R}^2 = 0.986 \quad D-W = 1.130$$

(45) 雇用者所得

$$\log YE = -9.33600 + 0.658999 \log(E - EI) + 1.29362 \log \bar{W}$$

(17.8) (21.9)

$$S^2 = 0.01 \quad \bar{R}^2 = 0.973 \quad D-W = 1.877$$

(46) 個人財產所得

$$\log YP = -4.44106 + 0.00616285 \log S_{-1} + 1.26227 \log(PLC + PLW + PLF2)$$

(1.05) (9.1)

$$+ 1.45911 \log PCR2$$

(12.1)

$$S^2 = 0.117031 \quad \bar{R}^2 = 0.981$$

(47) 可処分所得

$$\log Yd = 0.242715 + 1.18553 \log Y - 0.281819 \log(RS + PL1)$$

(15.9) (-3.6)

$$S^2 = 0.003 \quad \bar{R}^2 = 0.992 \quad D-W = 1.103$$

(48) 分配所得定義式

$$Y_i = Y_{Ci} + Y_{Ei} + Y_{Pi} + \bar{Y}_{Mi}$$

(VII) 消費部門

(49) 消費関数 (生計費)

$$\log C1/PC = -0.189474 + 0.0330757 D1 + 0.0021285 D2 + 0.0166299 D3$$

(2.2) (0.1) (1.1)

$$+ 0.478449 \log YD/PC + 0.469542 \log(C1/PC)_{-1}$$

(7.2) (5.8)

$$S^2 = 0.0009 \quad \bar{R}^2 = 0.994$$

(50) 消費関数 (雑費)

$$\log C2/PC = 6.11891 + 1.00319 \log YD/PC + 0.622003 \log((YD/PC)/(YDJ/PCJ))_{-1}$$

(15.53) (1.67)

$$-1.40491 TOJ + 0.0356608 D1 * TOJ - 0.0894161 D2 * TOJ$$

(-1.51) (1.30) (-1.76)

$$-0.0502664 D3 * TOJ$$

(-1.61)

$$S^2=0.00299 \quad \bar{R}^2=0.986$$

(51) 消費関数 (住居費)

$$\log C3/PC=0.777633+0.492112 \log YD/PC+0.738626 \log(C3/PC)_{-1}-0.306105 \log H_{-1}$$

(3.7) (10.7) (-2.6)

$$S^2=0.003 \quad \bar{R}^2=0.992$$

(52) 預貯金残高定義式

$$S_i=Yd_i-(C1_i+C2_i+C3_i)$$

(53) 民間住宅投資

$$DHP=-340.557-0.0419881(HP_{-1})+0.0180371 S+0.0230457 LB+480.812 LF2$$

(-2.4) (4.2) (4.4) (1.0)

$$S^2=5.8116 \quad \bar{R}^2=0.915$$

(54) 民間住宅ストック定義式

$$H_{Pi}=H_{Pi-1}+\Delta H_{Pi}$$

(55) 山林地価格決定式

$$\log PLW=1.55397+0.158781 \log PWW/PC+0.528691 \log PLC-0.162798 D1$$

(1.1) (14.4) (-6.2)

$$+0.122500 D2-0.199177 D3$$

(2.6) (-5.0)

$$S^2=0.003 \quad \bar{R}^2=0.974$$

(56) 田畑地価格決定式

$$\log PLF=3.62710+0.210866 \log(PR/PC)/LF+0.619409 \log PLC$$

(6.6) (18.9)

$$S^2=0.01 \quad \bar{R}^2=0.940$$

(57) 市街地価格決定式

$$\log PLC=3.38292+0.759074 \log PLC_{-1}-2.25320 \log LH+0.815655 \log YD$$

(5.4) (-2.3) (3.0)

$$-0.233117 D1+0.370866 D2-0.221801 D3$$

(-1.6) (2.1) (-1.4)

$$S^2=0.0074355 \quad \bar{R}^2=0.978 \quad D-W=0.008$$

(58) 市街地供給量決定式

$$\log LH=-0.653104+0.168418 \log FL+0.622241 \log GW$$

(7.0) (16.2)

$$S^2=0.006 \quad \bar{R}^2=0.871$$

(59) 消費者物価指数

$$\log PC=0.242884+0.959069 \log PC_{-1}+0.173277 \log W2//W2_{-1}$$

(-4.2) (0.6)

$$-0.174983 \log\left(\frac{O2}{E2}\right) \Big/ \left(\frac{O2}{E2}\right)_{-1} + 0.0115599 \log PC/PC_{-1}$$

(-4.2) (0.6)

$$S^2=0.00009 \quad \bar{R}^2=0.995$$

(4) む す び

以上、われわれの行ってきた「全国4地域モデル」の基本的な考え方ならびに実証結果について述べてきた。しかしながら、時間的な制約、紙数の制約などによって、モデルの詳細な説明、モデルの説明力および動学的な性質、あるいは各種シミュレーションの結果について述べることができず、この点では、われわれの研究の中間報告書となってしまった。

さいごに、このモデルの特徴および今後の課題について簡単に述べ、この「中間報告書」のむすびとしたい。

まず、本モデルの特徴について4点を挙げておく。第1は人口移動関数である。人口移動のみにかかわらず、地域間のフローの実証分析には、従来グラヴィティモデルがよく採用され¹²⁾、その統計的な説明力の高さはよく知られている。われわれのモデルではグラヴィティモデルの応用として、両地域の住民人口を説明変数に加えている。ただ、地域間の距離が入っていないのは、われわれの分析は地域区分が大きく、距離の定義が難しく、たとえ定義できたとしてもその意味が曖昧であると考えたからである。これに加えて、つぎのような消費者の経済行動原理を陽表的にモデルに入れた。すなわち、各消費者は、各々の効用水準が高くなるように居住地を選択するということである。効用水準の追跡変数 (surrogate variable) として、ここでは、1人当り生産所得と1人当り社会間接資本を用いている¹³⁾。

第2点は、第2次産業の生産部門である。この部門はモデルで示すとつぎのようになる。

- (i) $O^* = f(\rho^* K, \tau^* L, T)$ 潜在生産力関数
 (ii) $O = f(O^*, G)$ 生産決定式

ただし、 O は生産所得、 K は資本ストック、 L は雇用者数、 T は時間、 G は産業基盤社会資本ストック、また ρ は資本設備稼働率、 τ は労働時間を表しており、変数の右上の*はその最適値あるいは潜在能力を示している¹⁴⁾。このモデルの意味するところは、各生産要素の最適稼働条件によって規定される潜在的な生産力によって、生産は実現されるが、その時、産業向けの社会資本ストックの外部経済効果によって、その実現値が上昇するということである。(i)式はマクロ分析ではしばしば応用されるが、地域分析に適用した例は多くはないであろう。

第3点は公共部門についての分析である。前の(2)で述べたように、この部門は、われわれの分析の主要ブロックの1つである。従来の地域経済分析においても、公共投資関数については、きわめて詳細な分析が試みられているが、中央政府および地方公共体の経常支出関数を分析し、他の経済活動への影響を地域別に分析した例は少ない。さらに歳入項目についても、収納された国税の割り振りを明示的に把握することを試みた。

第4点は、消費関数についての分析である。実証分析に即した形での消費行動に関する先行業績はきわめて多いが¹⁵⁾、地域分析において、項目別の消費関数を計量経済モデルに取り入れたものは比較的少ない。とくに、実証モデルの雑費の消費関数に見られるように、労働時間と

12) グラヴィティモデルについての参考文献には、Isard [5]、鈴木 [6] を挙げておく。

13) この点に関しては、この研究グループのうち斎藤が別の分析において詳細な説明を試みている。内部資料「首都圏南部の計量経済学的分析」(1970年70003電力経済No. 3)を参照されたい。

14) ρ^* は Wharton School 流の“peak to peak”を用い、 τ^* は100%稼働を用いている。

15) これらの解説書としては、Evans [7]、篠原 [8] が参考になろう。

余暇の代替関係をイクスプリシットにモデルで分析した点はユニークなものであると考えられる。

最後に、この研究の今後の課題を箇条書きにして終りとする。

(a) モデルの内挿期間についての説明力についての各種チェック

(b) モデルの予測能力あるいは予測の射定距離に関する動学的な性質の把握

(c) 主計画主体に関する政策シミュレーション実験とその評価

(d) 政策評価の分析手法の開発(サブターゲット間のウェイトの把握)と最適解の導出

<参考文献>

- [1] 福地崇生, 宮沢健一他「地域経済の基礎構造」春秋社, 1967
- [2] 福地崇生, 信国真載“人口移動の経済学”『行動科学研究』Vol. 3 No. 1 1967
- [3] 福地崇生, 信国真載“日本地域経済の計量経済学的模型”『季刊理論経済学』Vol. 19 No. 2 1968
- [4] 経済企画庁編「全国地域計量モデルの研究」経済研究所, 1968
- [5] W. Isard “Methods of Regional Analysis, an Introduction to Regional Science”, *MIT Press*, 1960
- [6] 鈴木啓祐「地域間貨物輸送量の計測と予測」交通日本社, 1967
- [7] M. K. Evans 『Macroeconomic Activity; Theory, Forecasting and Control』*Harper and Row, Publishers*, 1969
- [8] 篠原三代平「消費関数」勁草書房, 1958
(さいとうかんのすけ, くまくらおさむ)
(あわたほずみ・電力経済研究部)
- [1] 福地崇生, 宮沢健一他「地域経済の基礎構

あいまいな量の計測と処理をめぐって

齋 藤 雄 志

1. まえがき
 2. あいまいさの概念
 3. あいまいなシステムのシミュレーション
 - 3.1 システム・ダイナミクスについて
 - 3.2 あいまいなシステムにおけるシミュレーションにおける計算結果の信頼性
 - 3.3 確率的有限オートマトンによるシステムダイナミクス
 4. あいまいなシステムの最適化
 - 4.1 最適化と人間の直観
 - 4.2 あいまいなシステムの最適化問題
 5. ソフト・テクノロジーにおけるあいまいな量の計測と処理
 6. あとがき
- 参考文献

1. ま え が き

社会システム、経済システム、エコロジー・システムなどの複雑、大規模なシステムの構造をとらえようとすると、ほとんどといってよいくらい各種の不確定性に出会う^{*}。このような不確定性は単に対象とするシステムの構造についての情報が不十分であることのみによるのではない。また、ランダム性のみでもない。このようなシステムは内部に人間の活動が含まれており、その意思決定プロセスは明確にとらえられない場合が多い。また、しばしば我々の諸システムに対する理解は抽象的である。たとえば、システムを構成している変数が操作的に定義可能な量でなかったり、本来、多変数で表現

されるべき変数がスカラー変数で定義されていることもある。このような不確定性がシステムに含まれていれば、そのシステムのモデルが作られ、シミュレーションが行なわれ、あるいは最適化が行なわれても、それらがどれほどの信頼性を有するのか、その分析からどれほどの有益な結果が導びき出せるのか不明確である場合が多い。

ところで、このような不確定性はランダム性とあいまいさに分けて考えることができる。この2つの概念の区別は必ずしも明確ではないが、たとえば、サイコロをふる場合はそれぞれの目が出る頻度あるいは確率が知られていても、実際にサイコロをふったときどの目が出るかはわからない。このような不確定性をランダム性という。一方、文字が判読できないとき、その文字はあいまいであるといわれる。システムの中に含まれている不確定性がランダム性ならば確率的アプローチが可能である。しかし、あいまいさの場合は時系列データを利用できない。社会システムなどはこのようなあいまいさを含んでおり、ここにその構造把握のむずかしさがある。このようなあいまいさは計量的に処理することが容易でないので、しばしばモデル構築があきらめられたり、逆に粗雑なアプ

^{*} 本稿では不確定性はあいまいさ、ランダム性などのすべての不明確性を総称することばとして使用される。

ローチによって信頼性の低いモデルが作られたりする。

あいまいさに関する諸研究が目的とするものは、このようなシステムの中に含まれているあいまいな量をより適切に表現し、可能ならばあいまいさを低減させ、あるいはあいまいさの程度を計量化し、システムの中に含まれているあいまいさによって生ずる影響を明らかにするための技術を開発することである。

しかし、あいまいさにはランダム性と異なり、このようなあいまいさに対する努力がなされたとしても、つねにあいまいさが残るところにその一つの特徴がある。たとえば、あるあいまいな概念を Fuzzy 集合 [11] によって表わしたとしてもそのメンバーシップ関数にあいまいさが残る。つまり、あいまいさは完全に克服されることがない。あいまいな量に関する情報は人間の知識の中に含まれているが、それを記述的に表現しただけでは十分でないが、あいまいな量を処理する計量的手法も本質的に完全な信頼性を有しない。それゆえ、あいまいな量の処理技術がめざすものは、記述的アプローチの補助であって、データの数学的処理によって未知の情報を作り出すことではないであろう。近年ソフト・サイエンスのようなあいまいな量の処理技術がしだいに発達しはじめ、Fuzzy 集合のようなあいまいな量の表現方法が現われてきたが、これらはこのような限界を有しているといえよう。

本稿の目的はこのようなあいまいさ処理技術のもつ有効性と限界を明らかにすることである。以下では、まず、あいまいさの概念自身を明らかにし、あいまいなシステムのシュミレーションにおける問題点、システム・ダイナミクスの有効性と限界、あいまいなシステムの最適

化における直観の利用、あいまいなシステムの数学的最適化問題、ソフト・テクノロジーにおけるあいまいな量の計測と処理などについて論ずる。あいまいさは広範な領域にわたる問題であり、本稿で論ずるのはそのほんの一部にすぎない。また、本稿はあいまいさに関する諸研究のサーベイでもなく、特定の研究でもない。むしろ、筆者が予定しているあいまいさに関する研究の序章にすぎない。

2. あいまいさの概念

あいまいさをめぐる諸問題を論ずる第一ステップとして、あいまいさの概念を明らかにすることには意義があろう。あいまいさと確率論で取扱われているランダム性の間にはどのようなちがいがいいのか、そして、あいまいさにはどのような種類があるのかという問題がある。

まず、ランダム性をあいまいさを有する事象や現象の例をあげてみると、サイコロの目が出るときの不確定性、ノイズのもつ不確定性、素粒子の衝突における散乱の不確定性、窓口へ到着する客の時間間隔の不確定性、伝染病の伝播における不確定性などいずれもランダム性であると考えられる。一方、美人という概念の不確定性、文字判読における不確定性、歴史的イベントにおける不確定性、複数の評価基準をアグリゲイトするときのウェイトの不確定性、システムの構造の不確定性、価値の不確定性などいずれもあいまいさとよんでよいであろう。もちろん、ランダム性とあいまいさを定義の上で明瞭に分離したとしても、現実には両者が混合しているから、上の例は必ずしも純粋な意味におけるランダム性とあいまいさの例ではない。しかし、これらの例からわかるように、ランダム性は不確定性が時間に強く関連し、多くの場合、

時系列データが存在するが、あいまいさは Fuzzy 集合で表わされることからわかるように静的であり空間的である。

本稿ではランダム性とあいまいさをつぎのように分離する。まず、生起性という概念を定義する。サイコロをふる場合、たとえば、「6の目が出る」という事象はサイコロをふる前は定まっていないが、サイコロをふることによって一つの目が定まり、事象は確定する。このように事象が未定から確定へ移行することを生起といい、この性質を生起性という。そして、生起性を有する不確定性をランダム性と定義する。さらに、ランダム性以外の不確定性をあいまいさと定義する。これがここで採用するあいまいさとランダム性の定義である。先にあげたランダム性の例はいずれも生起性を有している。ランダム性にはくりかえし生起するものと唯一回しか生起しないものがあるが、前者の場合は、それより時系列データを得て、頻度もしくは確率分布を計算することができる。また、同じく先にあげたあいまいさの例はいずれも生起性を有していない。そして、あいまいさは情報不足によるあいまいさと抽象性によるあいまいさに分けることができる。歴史的イベントにおけるあいまいさ、システムの構造におけるあいまいさなどは多くの場合、対象のことがらについての情報が不足していることからくるあいまいさである。一方、ランダム性の方は生起によって情報を得たとしても（つまり、その結果として確率分布が得られるわけであるが）、つぎの生起においてふたたび同じランダム性が生ずるといった性質がある。システムのパラメータが未知であることは、ここの定義によればあいまいさになる。パラメータの値はすでにきまっている（それゆえ、生起性を持たない）が情報が不足して

いるからあいまいであると考えるのである。

あいまいさの例としてあげた美人という概念のあいまいさ、ウェイトの値のあいまいさなどは、情報不足にあいまいさの原因があるのではなく、対象としている概念が操作的に定義されていない所にその原因がある。このようなあいまいさを抽象性によるあいまいさとよぶ。

あいまいさは対象概念が操作的に定義されているかないか、計測がされているかないかによって、図 2.1 のように考えることができる。

	計測されている	計測されていない
対象概念が操作的に定義されている	あいまいさなし	情報不足によるあいまいさ
定義されていない		抽象性によるあいまいさ

図 2.1 あいまいさの分類

さて、このようなあいまいさを持つ量の処理に対するアプローチは大きくわけて2つの考え方がある。定量的アプローチと定性的アプローチがそれである。前者はあいまいな量を連続的、定量的表現でとらえる方法であり、Fuzzy 集合におけるメンバーシップ関数はその一例である。後者はあいまいな事象の中に含まれている変数や関係を離散的に表現し、計測し、処理することである。ある変数の概念の定義に操作性がない場合には、しばしばそれを連続的な値をとる量でなく、有限個の離散的な値もしくはカテゴリーをとる量としてとらえる。アンケートの質問は、通常、カテゴリー化した回答形式を採用していることが多いが、これは質問自身に抽象性によるあいまいさがあり、回答者自身も質問内容に十分な情報を持っていないことによる。

あいまいな量を定量的に表現する場合には一つ

の問題点がある。たとえば、あいまいな概念をメンバーシップ関数による Fuzzy 集合として表わした場合に、やはり、そのメンバーシップ関数にあいまいさがあるということである。あいまいな量の処理技術に対する信頼性の低さの一因はここにある。しかし、このことはあいまいさを処理技術の有効性の否定にはつながらない。一つの技術を適用した場合を適用しなかった場合と比較して、より多くの情報が抽出できるならば、その技術は有効といえるのである。

あいまいな量の処理にはいくつかの原則が必要であり、このような原則を守ることによってあいまいさ処理技術の有効性が高まることになる。あいまいな量を処理する際には、まず、第一にあいまいさを他の情報をへらすことなしに低減させる必要がある。対象とするあいまいさが情報不足によるあいまいさであるならば、情報の収集が可能なかぎりなされねばならない。また、対象とするあいまいさが抽象性にもとづくあいまいさであれば、表現方法に注意が必要である。第二には対象とするあいまいな量のあいまいさの程度を明らかにする必要がある。これには Fuzzy 集合が利用できる。第三にはあいまいな量の処理をめぐって情報をゆがめないことや情報を散逸させないことが必要である。第四には、入力データのあいまいさが計算結果のあいまいさにどのような影響を与えるかを明確にすることが必要である。

3. あいまいなシステムのシミュレーション

ここでは、あいまいなシステムという言葉をつぎの意味に用いる。あいまいなシステムとはそれを構成している変数間の結合構造やパラメータなどにあいまいさがあり、それを統計的に

決定するためのデータが存在しないために、計量モデル*が構築できないようなシステムを考えよう。

このようなあいまいなシステムのシミュレーションがはたして可能なのか、モデルを作りシミュレーションを行なうことによって何か有効な情報が得られるのかという素朴な疑問が主要な問題点である。現在 SD (システム・ダイナミックス) という名前でよばれているシミュレーションに対する一つの考え方はまさにこのようなあいまいなシステムのシミュレーションが目的であり、現在ある程度の注目がなされていることも事実である。そこで、まず、SD から考えてみる。

3.1 システム・ダイナミックスについて

SD をどのようなものとするか、その有効性がどこにあるのかということについてはかなり議論が分かれるが、社会システムのようなその構造についての情報や概念が不明確であいまいさがあるダイナミック・システムのシミュレーションを SD と考えてよいであろう。ここでいう社会システムとは単にその構成要素が人間のみである狭義の社会システムでなく、内部に人間活動を含むすべてのシステムをさす。通常、シミュレーションがなされる目的ないし理由は、対象とするシステムの各部の構造について、モデルを作れるだけの知識が存在するが、その全体的行動が人間の直観では把握できないとき計算機などでそれを分析することであり、また、最適化がシステムの非線形な構造のために自動的に行なえないときそれをくりかえしのシミュレーションによって求めることであろう。しかし、現実には、必ずしも十分なデータ

*) ここでは計量モデルとは統計的なデータより最小二乗法などの統計的手法を用いて作成されたモデルのことを意味する。

が存在せず、対象とするシステムについての知識は人間の経験、知識、直観という形でのみ存在する場合が多いのである。SD はこのような場合についてもシミュレーションを拡大したものであってつぎのような特徴を持っているものと考えられる。

(1) SD は科学的方法ではない。[12]人間の主観、主張、直観などのソフト・データを整合性ある形で統合し、モデル化し、シミュレーションを行ない、その結果を表示することがSD の一つの目的である。しかし、モデルの中に「科学的な部分」が含まれていてよいことは当然である。というより“科学的”な部分＝統計的データより計量的に決定された部分が多い方が好ましいのは当然である。対象とするシステムについて計量モデルが作成できるとき、SD モデルは不要と考えてよいであろう。それゆえ、そのような場合には計量モデルとSD モデルは競合するのではない。SD は計量モデル作成者たちがその作成をあきらめた領域に対する、よくいえば大胆な、悪くいえば粗雑なアプローチである。

(2) SD の有効性は証明されていない。個人、もしくは複数の人間の知識、直観、経験を単に言葉で記述的に表現する場合にくらべて、それらをSD モデルとして表現し、シミュレーションを行なうのならば、新しい未発見の情報が得られるかどうかは不明確である。人間の知識の大部分は非数量的な、つまり、定量的でなく定性的な情報としてたくわえられており、またそれらの間の整合性も十分でない。そして、その知識からモデルを作成しようとするれば、ほとんどといってよいくらい欠けた部分が存在する。この中からモデルを作成し、有効な情報を得ることがSD の主目的の一つであるが、逆に

当然のことながら、大胆な仮説を大量に導入しなければならず、もとの知識の中に含まれている情報が「大胆な仮説」によって散逸してしまう可能性がある。

SD が有効であった例とされる世界モデル [6] については、人間の知識や直観というソフト・データから新しい情報を抽出したというより、「ドラスティックな事柄のコンピュータによるデモンストレーション」に大きな意義があったといえよう。世界モデルによる大きな反響は世界モデルによる計算結果を、人々が信頼性ある予測として受けとったことによるともいえるが、SD に対する正当な理解がなされなければ、素朴な意味で科学性、信頼性に対する疑問が生じ、デモンストレーションとしての意義はしだいに低下するであろう。

(3) SD は非線形微分方程式であらわされる動的なシステムのシミュレーションであり、計算に際しては計算機言語 DYNAMO が使用される。DYNAMO はSD で用いられるフロー・チャートとともに便利な用具である。しばしば、システムのフィード・バック構造によるシステムの動的なモードをとらえることがSD の重要な目的といわれるが、現実には明確なモードが存在しないことやフィード・バック構造を十分正確にとらえられないために、得られたモードも必ずしも信頼性のおけるものではない。また、多くの社会システムにおいてはモードだけの情報では十分でない。社会システムのようなその構造について十分な情報がないシステムを微分方程式でとらえることにも多くの問題がある。より定性的なシステムの構造に注目したSD 手法の開発が必要とおもわれる。たとえば、その例としてシステムを有限オートマトン、ペトリ・ネット、グラフなどでモデル化

することが考えられる。

SD と DYNAMŌ は別のものである。DYNAMŌ が便利であることは明確なことであって、そのフロー・チャートとともに計量モデルでも一つの道具として利用できる。

(4) SD は手法でなくシミュレーションに対する一つの態度である。SD の有効性が判明しないのは SD を補助する手法なしに常識的アプローチによってモデルが作られることにも一因がある。SD をモデル作りに対する大胆なアプローチと考えるのではなく、システムに含まれているあいまいな量を Fuzzy 集合などを用いて計量化した上でシミュレーションが行なわれる必要がある。デルファイ法と SD の結合も考えられる。

(5) SD の技術にはあまり蓄積がない。これは SD を補助する手法が存在しないことによる。SD モデルはよいモデルが作られたにしても名人芸に終る危険性がある。

3.2 あいまいなシステムにおけるシミュレーションにおける計算結果の信頼性

一般に、モデルの構造を客観的なハード・データのみによって決定することは困難であって、多かれ少なかれあいまいな部分が存在し、その部分は主張、主観、想定などの仮設で補われる。意思決定プロセスなどは、特にあいまいさとランダム性を有するので、逆に適当な仮設を組込んでシミュレーションを行なう。モデル作りの目的には、単に客観的データによる予測だけではなく、このような仮設のテストも含まれる。

SD が対象とするようなシステムにおいては仮設の部分が多いが、逆にそれらをモデルに整合性ある形でとり入れようというのが SD の特徴になっている。

しかし、一旦、モデルが作られ、ランされ、アウト・プットが印刷されるとその結果はしばしば客観的にみえる。これは多数の仮設と多数の計算結果の間の関係を直観的に把握できないために、視点が計算結果に集まることも原因であるが、同時に計算機や印刷されたグラフ、数字に対する素朴な信頼感が作用していることも否めない。計算結果はハード・データと仮設の集合によって作り出されたものであるが後者がしばしば忘れられたり、無視されたりして、シミュレーションにおける計算結果の偽の客観性の危険性が生ずるのである。SD においてはこのような危険性がとくに強い。そしての誤った利用により、このような危険性が強調され、反対に SD の有効性、もしくはその可能性が忘れられることもあろう。

このような危険性を回避するためにはいくつかの方法が考えられるが、いずれにしても仮設やシステムの構造のあいまいさを明示することが重要である。このための方法として通常最も一般的になされる方法は Case 1, Case 2, …… という形で仮設と計算結果をペアで並べることである。しかし、この方法ではシステムの構造に関する仮設のうち、パラメータに関する仮設のみがとりあげられ、構造に関する仮設が無視されることが多い。また、多くの Case をならべた場合、その一部の結果のみに不平等な注目がなされることが多い。

仮設のパラメータの一部もしくは全部を適当な軌跡にそってうごかして、それに対応する出力の軌跡を描くのも一つの方法である。この方法で計算結果を表示すれば、すべての仮設を平等にとりあつかうことができる。パラメータの軌跡と出力の軌跡の対応関係、あるいはそれらのトポロジー的な構造も興味ある問題である。

上の第一の方法は計算結果を点で表現し、第二の方法は線で表現するのに対し、原理的には「面」として表現する方が正確である。つまり、モデルの中に含まれているパラメータのすべてのとりうる値に対して出力のとりうる値の範囲を示すことが考えられる。実際上の問題としてはこの範囲を求めるためにはパラメータを操作変数とし、出力変数のそれぞれを目的関数にした最大最小化問題をとかねばならない。これは一般に非線形最適化問題となり、対象のモデルが動的モデルの場合はきわめて長い計算時間を必要とする。通常は適当にパラメータを動かしてみても出力変数のとりうる値をきめることになるが、重要なモデルのときにはこのような最適化問題を解くことも必要であろう。

このような微少でないパラメータ変化に対する感度解析問題の困難性もさることながら、あいまいなシステムにおいては、仮説と事実との差が明瞭でないことである。厳密に考えればモデル全体が仮設になってしまうおそれがある。それゆえに、確率分布やメンバーシップ関数などを利用して仮設にその仮設の程度を表わすウェイトをつけておく必要がある。

あいまいなシステム、とくに動的なシステムシミュレーションには多くの問題があり、それらは理論的にも多くの困難な点を有しており、十分満足のいく解決は事実上不可能とみられるが、これらの問題の解決はSDのようなあいまいなシステムに対するシミュレーションの有効性を保証する手段としてぜひ必要である。

3.3 確率的有限オートマトンによるシステム・ダイナミクス

あいまいな情報の一つの表現方法は、それを定量的にでなく、定性的に表現することである。このことは我々が言語という定性的表現を

用いていることに強く関連がある。我々は社会現象を含めて世界を言語によって理解している。なのであって、それを微分方程式のような連続な値をとる変数をもつ表現に変換すれば、モデル化に際して当然に情報の不足が生ずる。我々が言語によって世界を理解しているということは、我々がもともと世界に対する十分な情報を有していないことにその理由がある。定性的表現はみかけ上のあいまいさをへらすことができるのである。連続な値をとる変数をもつシステムを連続な値をとる変数をもつモデルによって表現し、不足した情報を仮設によって補なおうとすれば、それによってもともと所有していた情報をも散逸する可能性があるといえる。

そこで、社会システムのようなあいまいなシステムのモデルの一つとして考えられるのが確率的有限オートマトンである。社会システムの記述方式としてマルコフ・チェインなどを利用することは従来から行なわれているが[7]、それらは必ずしもあいまいな量の処理をめざしたのでない。たとえば、父の職業と子供の職業の関係はマルコフ・チェインで表現することができるが、この場合、職業という変数はもともと離散的な値をもつ変数であるにすぎない。消費者行動分析におけるマルコフ・チェインの利用は[8]、消費者の行動が情報の意味でも概念の意味でもあいまいであるためにそれをカテゴリー化しているので、ここで考えている利用法の一つであると考えられる。

しかし、有限な状態空間をもつ確率的有限オートマトンをこのような使い方に限定せず、人間の主観、知識、経験を確率的有限オートマトン・モデルによって統合し、それらに整合性を与え、不足する情報を指摘し、仮設を導入し、シミュレーションを行なうことが考えら

れる。別のいい方をすれば、確率的有限オートマトンによるシステム・ダイナミクスであり、これをあいまい有限システム・ダイナミクス (FFSD=Fuzzy Finite System Dynamics) とよぶことにする。FFSDの中には動的なモデルだけでなく、静的なモデルによるFFSDも含めることにする。静的モデルによるFFSDとはシステムを構成する変数が離散的な値をとるが、時間に依存しない場合で、離散的連立方程式として与えられ、諸変数の間の論理構造を調べることになる。これは問題の構造の分析などに利用できるものとみられる。

FFSDを実際に行なえるためには、そのための計算機言語とフロー・チャートが必要である。従来SDで用いられているフロー・チャートやDYNAMOをそのまま利用することはできないが、フロー・チャートの方は若干修正すれば十分である。このFFSDについてはその応用例とともに別の機会に述べる予定である。

4. あいまいなシステムの最適化

システムのあいまいさには構造のあいまいさと評価基準のあいまいさに関する問題がある。後者はよりあいまいさの水準の高い問題であって、Metersky, Turbanによるウェイトづけの方法[11]などもその一つの方法である。以下では、あいまいなシステムの最適化をめぐる諸問題のうち、最適化における人間の直観の利用とあいまいさがFuzzy集合で表現されるシステムの最適化問題について述べる。

4.1 最適化と人間の直観

一般に計算時間、計算費、計算機の容量などの制約のもとで解ける可能性がある問題として定式化された最適化問題は現実の問題をかなり近似化、簡略している場合が多く、その定式化

あいまいな量の計測と処理をめぐる

された最適化問題を完全に解いたとしてもその解が実際の問題の解を一致することはあまり期待できない。それゆえ、最適点の探索に多大の時間をかけるより、専門家の知識、経験、直観を利用して、準最適解の集合を得る方が望ましい場合が多いであろう。その準最適解の集合よりより高度な判断、意思決定を行なう方が現実的である。

Schneider[1]は7×7のメッシュに分割された仮空の都市に5カ所の救急センターを配置する問題について、人間の直観と計算機の比較を行なっている。事故は与えられた分布に従って各地点に発生し、各センターから事故発生地点までの所用時間の総和によって最適性の水準をあらわすものとする。計算機と人間の直観による最適点探索の比較は図4.1のようになる。縦軸は所用時間の総和、横軸は縦軸の最適性の水準に対応する、計算機によってテストされたセンター配置方式の度数をあらわす。この図によれば、たしかに計算機による一番すぐれた解の方が人間の直観による一番すぐれた解よ

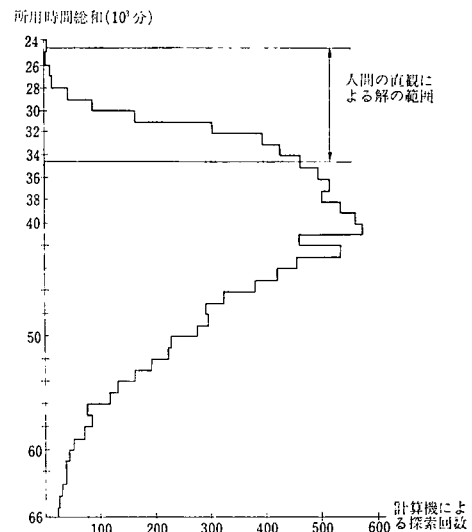


図 4.1 人間の直観と計算機の比較 (出所 文献[1])

りもわずかに最適性の水準が高いことが示されているが、同時に人間の直観による解はある程度最適性が高いことがわかる。この実験では経験や知識のある人々の解はそうでない人々の解よりすぐれていることが示され、その最もすぐれたものは計算機による最もすぐれた解ときわめて類似していることが示された。もちろん、これは特殊な問題における人間の直観と計算機の能力の比較であって、問題の性質、規模に影響されることは当然であり、上記の結論はつねに成立することではないがかなり一般性があることは容易に予想できる。

問題が複雑になると計算時間は急速に増大し、一方、人間の直観は問題を処理できなくなる。しかし、両者の長所を総合すれば、最適探索の効率を上げることが可能である。与えられた問題について専門家の経験、知識、直観を利用し、準最適点の集合をもとめ、それを計算機でもってより最適性の高い解へ修正することが考えられる。このようにして得られた解は必ずしも最適解ではないが、前述のごとくいつも最適解を求めることに意義がさるわけでないからこのようなアプローチも有効である。このように一つの方法としてつぎのような手順が考えられる。

(S₁) 複数の専門家に問題の検討用の基礎資料をわたし、専門家の直観的判断による準最適点の集合 X_a をデルファイ法によって決定する。

(S₂) すべての $x \in X_a$ なる値を初期値として計算機による最適化を行ない、目的関数に極値を与える点の集合 X_b を求める。

(S₃) X_b の中から最適性の水準が相対的に低い x を適当な基準でとりのぞき、残りを X_c とする。たとえば、最適性の水準が平均以下の

ものを除くのも一つの方法である。

(S₄) X_b , X_c および関連する諸計算結果を専門家に提示し、 X_c 以外に直観的判断で準最適と思われる点の集合 X_d をモデルファイ法で決定する。

(S₅) X_d について $S_2 \sim S_4$ のプロセスを再びくりかえす (あるいは2回以上くりかえしてもよい)。このプロセスで得られるすべての X_c の合併集合を X_e とする。

(S₆) X_e の中から適当な基準で最適性の高い点をえらび出し、それを最終的な準最適解の集合とする。

このようなアルゴリズムの一つのメリットは、計算機によって計算された諸データが単に専門家に提示されるだけでなく、フィード・バックを行なう手順の中で、専門家が自分の知識を修正して最適性に対するより正確な判断が行なえるようになることである。

4.2 あいまいなシステムの最適化問題

あいまいなシステムの最適化をめぐるもう一つの興味ある問題はシステムのパラメータがあいまいさをもつとき、そのときのあいまい最適化問題を解くことである。このとき生ずる問題はパラメータのあいまいさをいかに表現するかということと、最適性をいかに定義するかということである。定義が問題になる理由はいまいきがあるときは最適性の定義に恣意性が生ずることである。

あいまいなシステムの最適化問題に対しては、パラメータのあいまいさを区間、確率分布で表わしたり、システムの目標や制約条件を Fuzzy 集合などで表わして、その諸性質や最適解を求めることがなされる[2], [3]。

しかし、あいまいさには計量化してもあいまいさが残るといった特徴があり、あいまい最適

題は重要ではあるが単に理論的に精密にするだけでは意義がない。以下、簡単にあいまい最適化問題の定式化をみてみよう。

多段決定プロセスの最適化問題の中には、その最適化の目標が目的関数という形式で表現されていても、それが直接的にコストなどを表わすのではなく、システムの状態変数や出力変数がある軌跡にそって動かすことを目的とした追従制御形式の問題があるが、まずこのようなタイプのあいまい最適化問題を考える[2]。

簡単のため静的な最適化問題のみを考える。 X を入力(あるいは操作)変数の値の集合、その任意の値を $x \in X$ とする。 x に対するシステムの出力(あるいは状態)変数を $y \in Y$ とする。 Y は \mathcal{Y} の値の集合である。あいまい最適化問題はあいまい制約、あいまい目標、あいまい解の3つの概念より成り立つ。まず、あいまい制約は X 上の Fuzzy 集合 C として定義される。つまり、入力変数 x は Fuzzy 集合 C によって制約を受けるものとし、このことを形式的に $x \in C$ とかく。あいまい目標はつぎのように定義される。システムの構造を表わす集合 X から集合 Y への写像 $y = g(x)$ が与えられているものとし、 Y 上の Fuzzy 集合 G としてあいまい目標は与えられ、 $x \in C$ なる制約のもとで x をうごかして $y \in G$ とすることがシステムの目標である。この関係をみたす x をあいまい解という。あいまい解はより正確に言えば、つぎのように定義される。集合 Y 上の Fuzzy 集合 G は関数 g によって集合 X 上の Fuzzy 集合 \bar{G} に逆写像されるものとする。 G のメンバーシップ関数を $\mu_G(y)$ とすると、 \bar{G} のメンバーシップ関数 $\mu_{\bar{G}}(x)$ は

$$\mu_{\bar{G}}(x) = \mu_G(g(x)) \quad x \in X \quad (4.1)$$

で与えられる。あいまい解 D とはあいまい制約

あいまいな量の計測と処理をめぐって

C と X 上のあいまい目標 \bar{G} の共通部分のことであり

$$D = C \cap \bar{G} \quad (4.2)$$

である。 D のメンバーシップ関数 $\mu_D(x)$ は

$$\mu_D(x) = \min(\mu_C(x), \mu_{\bar{G}}(g(x))) \quad x \in X \quad (4.3)$$

によって与えられる。 $\mu_C(x)$ は Fuzzy 集合 C のメンバーシップ関数である。

$\mu_D(x) > l$ ($0 \leq l \leq 1$) なる x の集合(これは Fuzzy 集合ではない)を D^l であらわし、有意レベル l の解ということにする。最大の l (必ずしも 1 とはかぎらない)に対応する D^l を最適解という。このような考え方を動的システムに適用すれば、ダイナミック・プログラミングを用いて解を求めることができる[2]。

上のあいまい最適化問題の表現は制約や目標におけるあいまいさを X や Y 上の Fuzzy 集合によって表現しているわけであるが、通常最適化問題により近い形で、制約条件や目的関数の中にあるパラメータにあいまいさがあるという形式で定式化することが可能である。

ここでも静的な最適化問題を考え、目的関数と制約条件を

$$z = f(x, \alpha) \rightarrow \max \quad x \in X \quad (4.4)$$

$$h(x, \beta) \leq 0 \quad (4.5)$$

とする。 α と β があいまいなパラメータである。あいまいなパラメータの表現方法としてはメンバーシップ関数によるものと確率分布関数によるものの2つが考えられるが、ここでは後者であいまいさが与えられるものとする。そして、 α, β のあいまいさを X へ写像するという考え方をとる。 z の変域を Z とし、 α を固定して考えたとき $k \in Z$ に対応して

$$f(x, \alpha) \geq k \quad (4.6)$$

を満たす $x \in X$ の集合を $B(\alpha, k)$ とする。 k

を最適性の水準という。 $B(\alpha, k)$ の特性関数を $\mu_{B(\alpha, k)}(x)$ とする。つまり

$$\mu_{B(\alpha, k)}(x) = \begin{cases} 1 & x \in B(\alpha, k) \\ 0 & x \notin B(\alpha, k) \end{cases} \quad (4.7)$$

である。 α のあいまいさを確率密度関数 $p(\alpha)$ であらわす。 α があいまいであることによって集合 $B(\alpha, k)$ の境界はぼけ、Fuzzy 集合となる。その Fuzzy 集合を $B(k)$ とすると、そのメンバーシップ関数 $\mu_{B(k)}(x)$ とすると

$$\mu_{B(k)}(x) = \int \mu_{B(\alpha, k)}(x) p(\alpha) d\alpha \quad (4.8)$$

$B(k)$ を最適性の水準 k の X 上のあいまい目標という。

一方、与えられた β に対し (4.5) を満たす $x \in X$ の集合を $C(\beta)$ とし、その特性関数を $\mu_{C(\beta)}(x)$ とする。すると、あいまい制約 C のメンバーシップ関数 $\mu_C(x)$ は

$$\mu_C(x) = \int \mu_{C(\beta)}(x) p(\beta) d\beta \quad (4.9)$$

であらわすことができる。よって、上記のあいまい最適化問題と同じ立場に立てば、最適性の水準 k に対応するあいまい解 $F(k)$ は

$$F(k) = C \cap B(k) \quad (4.10)$$

で与えられる。これから最適解の定義の仕方はいろいろ考えられるが、一つの方法として $F(k)$ が芯のある Fuzzy 集合^{*}である最大の k を k_m とするとき、 $F(k_m)$ をあいまい最適解とよぶ。

以上、あいまい最適化問題に対する2つの考え方を示したが、これらはいずれも恣意性を含んでおり、(4.4)、(4.5)の最適化問題は $p(\alpha)$ 、 $p(\beta)$ を通常確率分布と考えて、 x の平均値を最大にするという考え方も一つの方法である。

5. ソフト・テクノロジーにおけるあいまいな量の計測と処理

ソフト・テクノロジーは近年急速な発展によって注目されている分野であり、広く解釈すれば、ソフト・テクノロジーはすべてのあいまいな量の計測と処理が、その目的といえる。通常、情報処理が主としてハード、データの処理を役目としているのに対し、ソフト・データの処理がその仕事であろう。一般にソフト・テクノロジーあるいはソフト・サイエンスといわれるときは、社会学、行動科学、社会生態学、安全工学、交通工学、生体工学、教育工学、システム制御工学、サイバネクス、OR、応用数学などの分野を基礎分野とし、つぎのような基礎的手法、および総合手法が含まれるといわれる[4]。

(1) 技術予測の手法

a. 直観的方法

- ① ブレーン・ストーミング
- ② デルファイ法
- ③ Probe I, II
- ④ SEER
- ⑤ SF

b. 探索的方法

- ① 時系列外挿法
- ② 全体の中の位置関係の見取図による手法
- ③ 形態的研究による方法

c. 規模的方法

- ① マトリクス手法
- ④ 水平方向の決定マトリクス
- ⑤ 垂直方向のマトリクス

^{*} メンバーシップ関数が1となる点を有する Fuzzy 集合を芯のある Fuzzy 集合という。

- MIRAGE 80
 QUEST
 RDE
- ② 関連樹木による手法
- ① PATTERN
 ② PPBS
 ③ PROFILE
 ④ その他
 OST 関連樹木
 SCORE 関連樹木
 PPP 方式
- ③ ネットワーク手法
- ① PERT
 ② CPM
 ③ FAME
- ④ フィードバック手法
- ① TENIS
 ② TOSS
- ⑤ その他
 SCAIR
- (2) 多変量解析
- ① 主成分分析
 ② 判別分析
 ③ 正準相関分析
 ④ 数量化理論
- (3) プロジェクト計画予算と支出の管理
- ① 消費比率対比法
 ② 予算費用対比法
 ③ 再評価対比法
- (4) 政治、社会等関連情報の分析法
- a. 内容分析法
- ① 頻度分析
 ② 評価主張分析
 ③ 索連分析
- b. 成分分析法
- c. 因子分析法
 d. 数量分析法
 e. 正準分析法
 f. グループ・セントロイド法
 g. バリマックス法
 h. 因果分析法
- 5) 行動選択基準の原理
- ① ゲームの理論
 ② ミニマックスの原理
 ③ ラプラスの原理
 ④ リグレットの原理
 ⑤ マキシマックの原理
- 6) シミュレーション
- ① IMS
 ② FICS
 ③ AIR SYSTEM
 ④ SD
 ⑤ PNC-DMS
- (7) 感度分析
 (8) 習熟曲線
 (9) 価値分析
 (10) 創造手法
- ① ブレーン・ストーミング
 ② ゴードン法
 ③ KJ 法
 ④ 等価変換理論
 ⑤ その他
 NM 法, 自由連想法など
- (11) 数理計画法
- ① LP
 ② DP
 ③ その他
 二次計画法, NLP など
- (12) PERT
- ① PERT/TIME

- ② PERT/COST
- ③ PERT/LOAD
- ④ RAMPS
- ⑤ LESS
- ⑥ PACT
- ⑦ SPECTRO
- ⑧ SCANS
- ⑨ PERT/MAN-POWER

これらはソフト・テクノロジーと考えられる手法の一部を列挙したにすぎないのであってこのほかにも数多くの手法が存在する。このような広範な手法について、あいまいな量の計測と処理技術のもつ特徴を考えることは困難なので、以下では、ソフト・テクノロジーの典型的例であるデルファイ法を取りあげて、ソフト・テクノロジーのもつ2つの問題点を考えてみよう。

(1) ソフト・テクノロジーには信頼性が低いといわれることが多い。

ソフト・テクノロジーにおける信頼性の低さは本質的なことであって、手法そのものにも改良の余地があることは当然であるが、あいまいさをもつ基本的特徴であるといえる。デルファイ法でいえば、データ収集過程における回答者の回答態度や対象となっている問題の中に含まれている問題の困難性やあいまいさがその信頼性の低さの原因である。一般に、ソフト・テクノロジーを適用して抽出できる情報の量 I とその中に含まれているあいまいさ F は $I/F \leq \text{const.}$ の関係が成り立つようである。つまり、情報を増そうとすれば、それに対応してあいまいさも増大し、あいまいさを、たとえば、あいまいな量のカテゴリー化などの定性的アプローチによってへらそうとすれば、抽出できる情報もへってしまう。記述的分析をこえて潜在的な

情報を抽出できれば、そのソフト・テクノロジーは有効といえるが、いつも有効である保証がない所にソフト・テクノロジーの問題点がある。

(2) ソフト・テクノロジーが対象としているあいまいな量には時系列データがないことが多いがそれをどのようにして補うか。

評価基準のアグリゲーションにおけるウェイトはあいまいな量であるが、その決定に対する Turban と Metersky[11]による方法でこのことをみてみよう。この考え方の基本は多重な視点から計測を行ない、信頼性を向上させることである。

ウェイトの測定を専門家にゆだねるにしても、各回答者は必ずしも各人の真の意見を反映した回答を行なうとはかぎらないのでこのことを何らかの方法でチェックしてやらねばならない。

今、システムの評価基準として n 個の基準 M_1, M_2, \dots, M_n があり、

$$M = \sum_{i=1}^n w_i M_i \quad (5.1)$$

の形に重要度 $\{w_i; \sum w_i = 1\}$ をつける問題を考える。Turban & Metersky の方法はデルファイ法そのものではないが、 $\{w_i\}$ をアンケートによって専門家に推定してもらい、 $\{w_i\}$ の間の整合性をインタビューによってチェックする方法である。 $\{w_i\}$ の推定は図 5.1 のように5つのステップより成る。ここでは、この方法自身を説明することが目的でないのでステップ I, II のみ簡単に述べよう。最終的に $\{w_i\}$ を決定するにはすべての専門家が各人の意見を正しく回答していても、各人の意見に大きな開きがあれば、平均をとって $\{w_i\}$ を求めることができない。ステップ III 以下はその検定と修正の

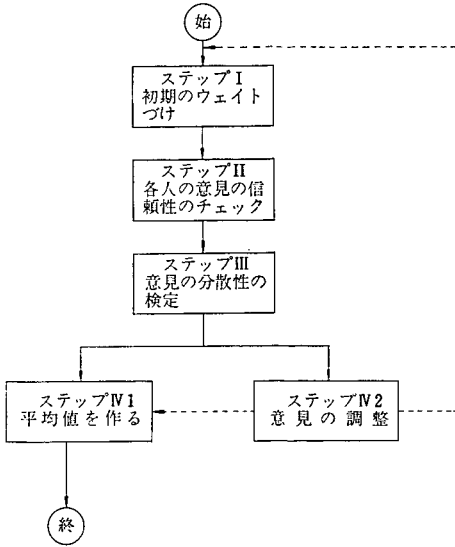


図 5.1 Turban-Metersky 法によるウェイトづけのプロセス

プロセスである。

ステップⅠ (初期のウェイトづけ)

専門家 (以下, 判定者とよぶ) にアンケートを送り, $\{M_i\}$ のウェイト $\{w_i\}$ をつけてもらう。ウェイトは $\sum w_i=1$ をみたすようにつける。

ステップⅡ (各判定者の意見の信頼性の検定)

アンケートからしばらく期間をおいて, 各判定者にインタビューを行ない, 各判定者の意見をつぎの手続きでチェックする。まず, w_1, w_2, \dots, w_n を大きい順にならべる。今は便宜上, $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ とする。

- (1) (1.1) M_1 と $M_1 \& M_2 \& \dots \& M_n$ を比較する。 $M_1 \geq M_2 \& M_3 \& \dots \& M_n$ ならば(2)へとぶ ($M_1 \& M_2$ は M_1 と M_2 を統合した価値あるい効用を表わす。 $M_1 \geq M_2$ は $w_1 \geq w_2$ を意味するものとする。)
- (1.2) M_1 と $M_2 \& M_3 \& \dots \& M_{n-1}$ を比較する。 $M_1 \geq M_2 \& M_3 \& \dots \& M_{n-1}$ ならば(2)へとぶ。

- ⋮
- (1.n3) M_1 と $M_2 \& M_3$ を比較する。
- (2) (2.1) M_2 と $M_3 \& M_4 \& \dots \& M_n$ を比較する。 $M_2 \geq M_3 \& M_4 \& \dots \& M_n$ ならば(3)へとぶ。
- (2.2) M_2 と $M_3 \& M_4 \& \dots \& M_{n-1}$ を比較する。 $M_2 \geq M_3 \& M_4 \& \dots \& M_{n-1}$ ならばcへとぶ。
- ⋮
- (3)
- ⋮
- (n-2) M_{n-2} と $M_{n-1} \& M_n$ を比較する。

上記のプロセスにステップⅠで得た $\{w_i\}$ の値を代入すれば, $w_1 < w_2 + w_3 + \dots + w_n$ のような一連の不等式を得る。これらの不等式は矛盾しているものとそうでないものがあるが, 矛盾した不等式がもし存在すれば, それがなくなるように $\{w_i\}$ を最小限変更し, この結果をもって, 各判定者の最終結果とする。以上が各判定者の意見のチェックの手續である。

このようなプロセスを実行できるためには M_1, M_2, \dots, M_n の重要度が比較できることや $\&$ の記号で表わされた統合可能性などの仮定が必要である。

この意見検定プロセスはあいまいな量の計測における信頼性を向上させるための一つの方法にすぎないが, このようなプロセスはあいまいなデータの計測・処理過程に含まれていることが望ましい。

6. あとがき

あいまいな量の計測と処理は広範な分野にまたがる問題であり, 各分野で種々の手法が開発されているが, あいまいな量の処理技術の基礎となるべき理論が存在しないために, これらの技術はしばしば低い評価をうける。また, 実際

にそのように評価をうける理由が存在する。ここにあいまいさ処理技術の問題点があり、これを克服するには、その有効性と同時に限界も明らかにすを必要がある。

本稿で述べてきた事柄はあいまいさをめぐる問題のきわめて一部であり、上の意味においても十分な議論が展開できたわけではない。今後、種々の機会をかりてこの点を明らかにしていく予定である。

参考文献

- [1] Jerry B. Schneider; Solving Urban Location Problems: *Human Intuition Versus the Computer*, *AIP Journal*, Vol. XXXVII, No. 2, pp. 95~99 (March, 1971)
- [2] R. E. Bellman & L. A. Zodeh; *Decision-Making in a Fuzzy Environment*, *Management Science*, Vol. 17, No. 4, pp. B-141~B-161 (1970)
- [3] Seldon S. L. Chang; Fuzzy Dynamic Programming and Approximate Optimization of Partially Known Systems, *Proceedings of the Second Hawaii International Conference on System Science*, pp. 123~126, (January, 1969)
- [4] 科学技術庁計画局; 科学技術調査 (1968~1971. 6), pp. 33~54
- [5] システム・ダイナミクスの意義と限界, *Engineers* No. 289 pp. 19~23 (October, 1971)
- [6] デニス・L・メドウス; 成長の限界, *ダイヤモンド社* (1972)
- [7] 安田三郎; 社会統計学, 丸善 (1969)
- [8] 田村正紀; 消費者行動分析, 白桃書房 (1972)
- [7] 玄地宏; 文字認識装置におけるあいまいさとその処理, システムにおけるあいまいさの概念とその処理シンポジウム (計測自動制御学会, システム工学会) pp. 40~46 (December, 1971)
- [10] E. Turban & M. L. Metersky; Utility Theory Applied to Multivariable System Effectiveness Evaluation, *Management Science*, Vol. 17, No. 12, pp. B-817~B-828 (1971)
- [11] 水本雅晴; Fuzzy 代数とその応用, 数理科学 1970 年 4 月号より連載
- [12] Jeffrey W. Young, William F. Arnold III & John W. Brewer; Parameter Identification and Dynamic Models of Socioeconomic Phenomena, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 2, No. 4 pp. 460~467 (1972)
- (さいとう たけし・技術経済研究部)

混合型整数計画法による 発電所の最適建設計画の作成

小川 洋 大山 達雄

はじめに

1. 問題の定式化と解法の概略
 - 1.1 計算の目的
 - 1.2 定式化モデルの概略
 - 1.2.1 未知数の内訳
 - 1.2.2 制約条件の内訳
 - 1.2.3 目的関数の内訳
 - 1.3 解法の概略
 2. モデルの応用例
 - 2.1 概要
 - 2.2 計算結果
 - 2.2.1 標準ケースの計算結果
 - 2.2.2 諸ケースの設定
 - 2.3 計算結果に対する考察
 3. モデル使用のための開発プログラム
 - 3.1 入力データジェネレータ
 - 3.1.1 プログラムの目的
 - 3.1.2 プログラムの概略
 - 3.2 レポートジェネレータ
 - 3.2.1 プログラムの目的
 - 3.2.2 プログラムの概略
- 参考文献

はじめに

電源の最適建設計画の作成に関しては、フランスの EDF の数理計画法の適用に関する研究があり、これについては、当経済研究所で、一昨年（1971 年）翻訳双書 No. 5 “フランス電力公社の Investment '85 モデル” としてその概要を翻訳紹介した。

この EDF のモデルは、線形の制約条件と非線形の目的関数をもった数理計画モデルであり、変数の合計は 160 個程度で、もちろん連続変数（整数変数ではない）のみである。しかし、実際の系統では、電源の建設地点やそのユニット容量は、あらかじめ教多くの候補が与えられており、その中から各種の制約条件を考慮しつつ長期的な経済性を最大にする（コストを最小にする）ことを目標に、最適なユニットを順次選んで建設していくという過程をとるので、ある建設地点のある容量のユニットについてみれば、それがあある期に建設されるか、されないかの二者択一の決定となる。したがって、最適な電源の建設計画作成モデルとしては、0-1 型の整数変数を含んだ混合型整数計画モデルが望ましい。従来このようなかなり大規模な混合型整数計画モデルを解くよいプログラムがなかったが、幸い最近 IBM で、MPSX・MIP という混合型整数計画モデルを解く非常によいプログラムが開発され、それがアベラブルとなったのを機会に、ここでご報告するようなモデルの作成を意図したのである。

このモデルを始めて作成したのは、一昨年（1971 年）で、このときは全計算期間 15 年を 5 年づつ 3 期にわけ、建設地点と容量が与えられたある発電ユニットを、3 期のうちのどの期

に建設するのが最適であるかを選択するという形のモデルとした。そして、候補発電ユニット数 50 個のある実規模系統に適用してかなりの好結果を得た。しかし、このモデルは5年をまとめて1期としたため、多少無理な面があったので、今回は、1年を1期とするモデルに変更するとともに、それにとまって若干の制約条件の修正を行なった。

なお、このモデルは先に述べたように、IBM の MPSX・MIP というプログラムを用いて解くのであるが、この MPSX 用のインプットデータの作成には相当の手数がかかるので、これをごく簡単なインプットデータから、MPSX 用のインプットデータに変換する入力データジェネレータと MPSX のアウトプットを見易い形に変換するレポートジェネレータの作成を合わせて行なったので、これについても簡単にご報告する。

1. 問題の定式化と解法の概略

1.1 計算の目的

火力、原子力、水力などの種々の型式の発電所建設のための、将来の長期にわたる設備投資計画を作成するに際して、0-1 タイプの混合型整数計画法の適用を考える。1.2.1 に述べる種々の変数に関して、kW および kWh に関する需要制約条件、0-1 タイプの整数変数に関する制約条件などを充足し、資本費と燃料費の総和としての発電コストの現在価値換算値を最小化することを目的とするモデルを作成すると、線型計画法の一種である混合型整数計画法の問題となる。ここでは、発電コストの現在価値で表わされる目的関数を最小化するような意味での、経済的な運転計画を考慮した発電所の最適建設計画を作成することを目的としている。

1.2 定式化モデルの概略

1.2.1 未知数の内訳

(a) 0-1 型整数変数

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 : i \text{ 発電所内の } j \text{ ユニットが } k \text{ 期} \\ \quad \text{に建設されている。} \\ 0 : i \text{ 発電所内の } j \text{ ユニットが } k \text{ 期} \\ \quad \text{に建設されていない。} \end{cases}$$

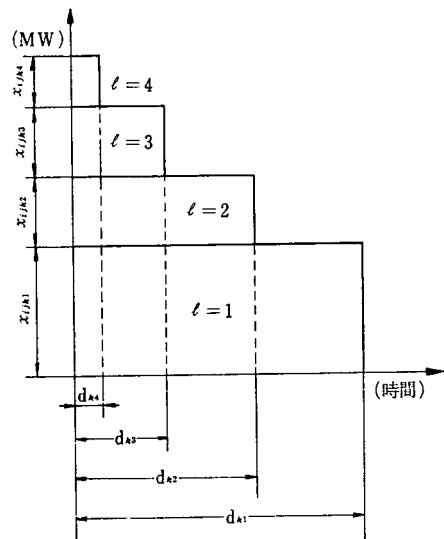
$$(i=1, 2, \dots, S \quad j=1, 2, \dots, u_i)$$

$$(k=1, 2, \dots, K)$$

- S : 発電所の数
- u_i : i 発電所内のユニットの数
- K : 考慮の対象となる期の数

(b) 実数変数

x_{ijkl} : i 発電所の j ユニットの k 期の第 l 負荷領域における運転出力を表わす。 k 期における i 発電所内の j ユニットが、 $l=1 \sim 4$ なる4負荷領域で運転するとした場合の年間の運転計画図は、たとえば図 1.2.1 のようになり、実数変数としての x_{ijkl} は図にあるように負荷領域別運転出力を表わす。



d_{kl} : k 期第 l 負荷領域の継続時間

図 1.2.1 ユニットの年間運転計画

y_{ijk} : i 発電所内の j ユニットの k 期における建設時期を表わす。

y_{ijk} は、 k 期 (たとえば期間1年) に、 i 発電所内の j ユニットが建設されていない状態から建設されているという状態に変わる場合、その k 期のうちの最適建設時期がいつであるかを示す実数変数である。図 1.2.2 にあるように期間の全体の長さ 1.0 をとして、それに対する値 ($0 \leq y_{ijk} \leq 1$) で期首からの建設遅れを表わす変数である。

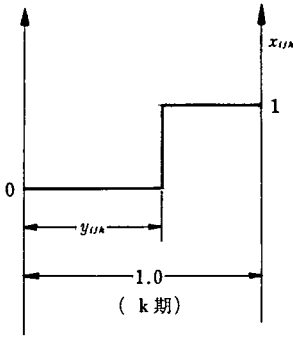


図 1.2.2 最適建設時期の表示

z_{mkl} : 第 m 発電型式の既設設備の k 期の第 l 負荷領域における運転出力を表わす。前述の x_{ijkl} がユニットの運転出力を表わすのに対して、 z_{mkl} は既設設備の発電型式ごとの負荷領域別運転出力を表わすものである。したがって、意味するところは図 1.2.1 にある x_{ijkl} と同一である。

1.2.2 制約条件の内訳

ここでは、1.2.1 に述べた未知数について設定した制約条件に関して、それぞれの式の形を明示し説明を加えることにする。なお、負荷領域、負荷時間帯などは、図 1.2.3 の近似負荷曲線の概略の図中に示してあるとおりである。

(a) 時間帯別、ユニット別、kW バランス (新設ユニット分)

$$(C1) \sum_{l=1}^t x_{ijkl} \leq \xi_{it} H_{ij} (X_{ijk} - y_{ijk})$$

($i=1, \dots, S; j=1, \dots, u_i; k=1, \dots, K;$

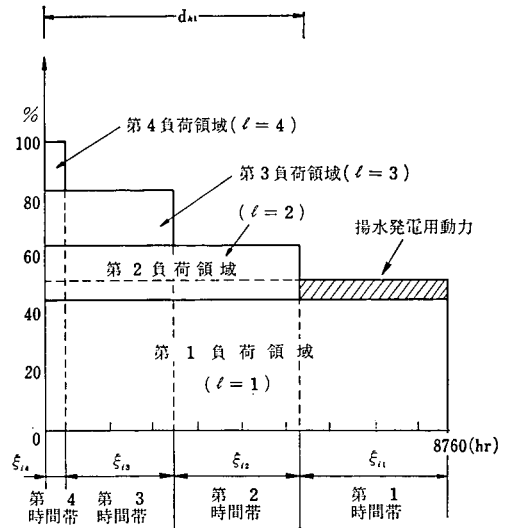


図 1.2.3 近似負荷曲線の概略

$t=1, \dots, L$

L : 負荷継続曲線の分割数(負荷領域の数)

ξ_{it} : 第 t 負荷時間帯における i 発電所のユニットの利用可能率

H_{ij} : i 発電所内の j ユニットの設備出力

i 発電所内の j ユニットが近似負荷曲線におけるいくつかの負荷領域で運転するとした場合、その各々の負荷領域での運転出力の合計は、そのユニットの設備出力に利用可能率を乗じたもの(平均運転出力)より小でなければならないことを示す制約式である。

(b) 時間帯別、発電型式別、kW バランス (既設分)

$$(C2) \sum_{l=1}^t z_{mkl} \leq \xi'_{mt} H_m$$

($m=1, \dots, M; k=1, \dots, K; t=1, \dots, L$)

ξ'_{mt} : 第 t 負荷時間帯における第 m 発電型式の既設設備の利用可能率

(M : 発電型式の総数)

H_m : 第 m 発電型式の既設設備の設備出力の総和

第 m 発電型式の既設設備が、近似負荷曲線に

おけるいくつかの負荷領域で運転するとした場合、その各々の負荷領域での運転出力の合計は、その発電型式の既設設備の総設備出力に利用可能率を乗じたもの（平均運転出力）より小でなければならないことを示す制約式である。

(c) kW に関する需要充足条件（夏期最大ピーク時の需要充足条件）

$$(C3) \quad \sum_i \sum_j \theta_{ij} H_{ij} (X_{ijk} - y_{ijk}) + \sum_m \theta'_m H_m \geq (1 + \delta) D_k \\ (k=1, \dots, K)$$

θ_{ij}, θ'_m : i 発電所のユニット j あるいは第 m 発電型式の既設設備の事故率、定期補修率を考慮した夏期ピーク時の利用可能率

δ : 供給予備率

D_k : k 期における夏期ピーク時の最大需要電力

新設ユニットおよび既設設備の設備出力に夏期最大ピーク時の利用可能率を乗じたものの合計が、夏期最大ピーク時の最大需要電力に供給予備力を考慮したものより大でなければならないことを示す制約式である。

(d) kWh に関する需要充足条件（年間の近似負荷継続曲線に対する需要充足条件）

$$(C4) \quad \sum_i \sum_j x_{ijkl} + \sum_m z_{mkl} \geq P_{kl} + \mu_{kl} \\ (k=1, \dots, K; l=1, \dots, L)$$

P_{kl} : k 期、第 l 負荷領域における需要電力値

μ_{kl} : 揚水発電動力としての電力

$$(\mu_{k2} = -\mu_{k1}, \mu_{k3} = \mu_{k4} = \dots = \mu_{kL} = 0)$$

負荷継続曲線をいくつかの矩形領域に分割して近似した場合、各々の負荷領域ごとに、新設ユニットおよび既設設備の運転出力の合計が、その負荷領域の需要電力値よりも大でなければならないことを示す制約式である。なお μ_{kl} は

混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成

図 1.2.3 の斜線部分に相当する揚水発電用電力を第 1 負荷領域に含めて考慮することを示したものである。

(e) 厳密な最適建設時期を示す未知数に関する制約

$$(C5) \quad y_{ijk} \leq X_{ijk} - X_{ijk-1}$$

ユニットが建設される期（たとえば 1 年）のうちの最適な建設時期を示す変数としての y_{ijk} は、整数変数 X_{ijk} が 0 から 1 に変わった場合にのみ意味を有するもので、その他の場合は 0 でなければならない。このことを示す制約式である。

(f) 揚水発電のための動力用電力に関する制約

$$(C6) \quad \mu_{k1} = \left(\sum_i \sum_j \sum_l x_{ijkl} d_{kl} + \sum_l z_{1kl} d_{kl} \right) / \{ \eta (d_{k1} - d_{k2}) \} \leq P_{k2}$$

d_{kl} : k 期第 1 負荷領域の継続時間

η : 揚水発電効率

揚水発電のための動力用電力（図 1.2.3 の斜線部分）が、第 2 負荷領域の需要電力値よりも小でなければならないことを示す制約式である。

(g) 発電所内の建設時期の順序性保持のための制約

$$(C7) \quad y_{ijk} - X_{ijk} \leq y_{ij+1k} - X_{ij+1k} \\ (i=1, \dots, S; j=1, \dots, u_i-1; k=1, \dots, K)$$

同一発電所内で複数個のユニットが同一時期に建設される場合、厳密な最適建設時期を示す未知数 y_{ijk} に関してもユニットの建設の順番が保たれねばならないことを示す制約式である。

(h) ユニットの建設の継続性を示すための制約

$$(D1) \quad X_{ijk} - X_{ijk+1} \leq 0$$

$$(i=1, \dots, S; j=1, \dots, u_i; k=1, \dots, K-1)$$

あるユニットがある期に建設されたとする
と、そのユニットは次の期以後は建設されてい
る状態になければならないことを示す制約式で
ある。

(i) 発電所内のユニットの建設順序と、同
一発電所の3個以上のユニットが同一時期
に建設されることがないことを示すための
制約

$$(D2) \quad X_{ijk} - X_{ij+1k+1} \geq 0$$

$$(i=1, \dots, S; j=1, \dots, u_i-1; k=1, \dots, K-1)$$

同一発電所内に複数個のユニットがある場
合、それらの間での建設の順序を定め、さらに
3個以上のユニットが同一時期に建設されるこ
とがないことを示すための制約式である。

1.2.3 目的関数の内訳

$$F(X_{ijk}, y_{ijk}, x_{ijkl}, z_{mkl})$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k \frac{1}{(1+r)^k} \{C_{ij}(X_{ijk} - y_{ijk})$$

$$+ \sum_l d_{kl}(\eta_{ijl}x_{ijkl} + \eta_{ml} \sum_m z_{mkl})\}$$

C_{ij} : i 発電所内の j ユニットの1年当り資
本費

r : 利子率

η_{ijl}, η'_{ml} : i 発電所内の j ユニットあるい
は第 m 発電型式の既設設備の第 l 負荷
領域における 1MWh 当り燃料費。

各期における資本費と燃料費の総和の現在価
値換算値を目的関数としてとり、これを最小化
することを目的とする。

1.3 解法の概略

1.1, 1.2 に述べたように、この定式化モデ
ルは、実数変数および整数変数に対して、線型
の制約条件と線型の目的関数を有する混合型整

数計画モデルである。したがって、ここでの解
法の計算手順のフローチャートは、図 1.3.1 の
ように表わすことができる。

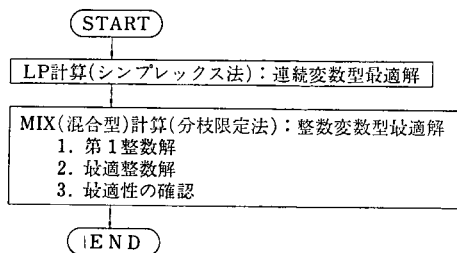


図 1.3.1 計算手順のフローチャート

このフローチャートにおける LP 計算 (シン
プレックス法) の部分は、変数のうちの一部分が
整数変数であるという制約を考慮せずに、これ
らの変数を他と同様に連続変数とみなして、一
般の線型計画法の解法としてのシンプレックス
法で解く部分である。シンプレックス法は非常
によく知られた解法であるので、ここではその
説明を省略する。このようにして連続変数型の
最適解が得られるが、これには一部の変数 (こ
のモデルでは X_{ijk}) が整数であるという条件
を満足するものではない。したがって、これら
の変数が整数となるような解を求めることが必
要となる。ここで用いられる解法が Branch
and Bound 法 (分枝限定法) と呼ばれる手法
である。ここでは分枝限定法に関して、その計
算手順の概略を記述する。この手法の主要部分
(基本操作) のフローチャートは図 1.3.3 のよ
うになる。以下に、シンプレックス法によって
連続変数型最適解が得られた後の手順 (図 1.
3.3 の中の②—③—④) について記述する。

いま x が 整数変数で $0 \leq x \leq P$ (P は 整数)
なる制約がある時、連続変数型解として $x=c$

と得られたとする。②にあるように x を Branching 変数として $n+1, n+2$ なる2つの小問題を設定するという事は、 $0 \leq x \leq p$ なる問題 n の制約を、 $0 \leq x \leq [c]$ (小問題 $n+1, [c]$ はガウス記号で c を越えない最大の整数を表わす) と $[c]+1 \leq x \leq p$ (小問題 $n+2$) という2種の制約 (Bounding 操作) に分けて、2つの小問題を設定するという事である (Branching 操作, 図 1.3.2 参照)。

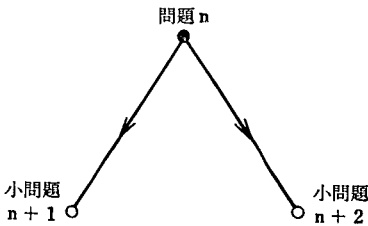


図 1.3.2 Branching 操作

次に、図 1.3.3 にある“節点除去”, “節点待機”なる用語について記述する。まず“節点除去”とは、その小問題で得られた連続変数型最適解が、他に得られている整数解よりも目的関数の値が悪い場合には、その節点に対応する小問題の解を記憶保存する必要がないから除去することをいう。“節点待機”とは、そこで得られた連続変数型最適解が、今までに得られた整数解よりも目的関数の値が良く、この小問題の解にさらに分枝操作 (Branching 操作) を行なうことによって今までよりも望ましい整数解が得られる可能性が残されている場合に、その節点に対応する小問題の解を記憶保存しておくことをいう。

以上が分枝限定法の基本操作の概略である。この基本操作を反復することによって最適整数解を求めるのが Branch and Bound 法 (分枝限定法) である。

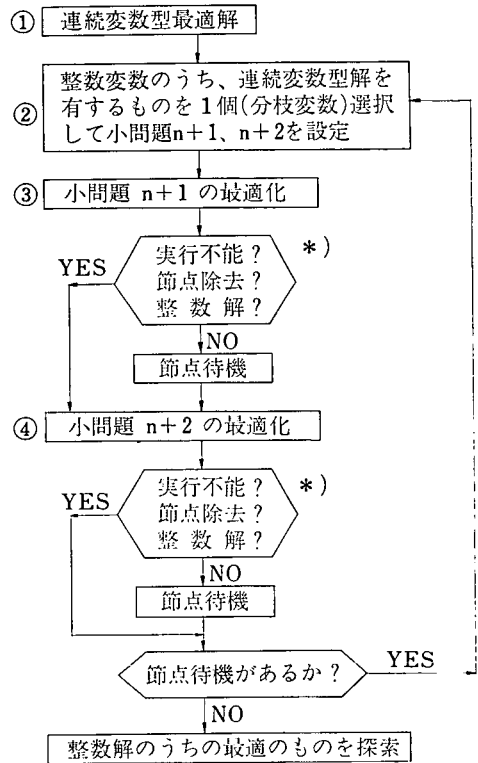


図 1.3.3 分枝限定法の基本操作のフローチャート

*) 3ケースのうちのいずれかが成立すれば YES とする。すべてが成立しない場合は NO とする。

2. モデルの応用例

2.1 概要

ここでは、現在計画の中のある地域における“将来の原子力、火力、水力 (揚水を主とする) 発電所の建設計画”に対して、この定式化モデルを適用して、経済的な運転計画を考慮した最適建設計画を作成することを試みた。考察の対象となる期間は、昭和 50 年度から昭和 60 年年度までの 11 年間とし、この期間を1年ごとの 11 期に分けることにした。発電所およびユニットに関しては、火力が5発電所、12ユニット、原子力が5発電所、21ユニット、揚水が5発電所、5ユニットで、総計 15 発電所、38 ユニットとなっている。0-1 タイプの整数変数に

関しては、各ユニットに対して 11 期中の 3 期を未知数としてとり、残りの 8 期は 0 あるいは 1 を前もって与えることにしたので、38 ユニットに対しては総計 114 個を整数変数としてとっていることになる。

この例における未知数、制約条件の数は以下のようなものである。

未知数：853 個

- 連続変数：739 個
- x_{ijkl} ：496 個
- y_{ijk} ：144 個
- z_{mkl} ：99 個
- 整数変数：114 個

制約条件：1,001 本

- $C1$ ：496 本, $C2$ ：99 本
- $C3$ ：11 本, $C4$ ：44 本
- $C5$ ：144 本, $C6$ ：11 本
- $C7$ ：70 本, $D1$ ：76 本
- $D2$ ：50 本

各発電所の各ユニットに関する未知数の内訳は表 2.1.1 に示してある。* 印の記入されている所が 0-1 タイプの整数変数である。

この例で用いた種々のインプットデータに関して述べる。各発電所、各ユニットの設備出力、建設費は表 2.1.1 のとおりである。なお、建設費に対する年当り資本費率は、火力ユニットに対しては 16.93%、原子力ユニットに対しては 16.51%、揚水ユニットに対しては 12.77% とした。また、新設および既設設備に対する負荷領域別の燃料費は、表 2.1.2 のような値を用いた。火力設備に関しては、既設設備に対しては設備出力 600 MW およびそれ以下のものをミドル火力、それ以上のものをベース火力とし、新設ユニットに対しては、設備出力 700 MW およびそれ以下のものをミドル火力、その他のものをベース火力とした。年間負荷継続曲線に対して、それを近似して 4 負荷領域に分

表 2.1.1 ユニット別未知数の内訳と建設費

型	ユニット名	設備出力	工事費	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
火	TA1	1,200	65.0	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TA2	600	18.9	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TB1	700	34.7	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TC1	1,000	33.9	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TC2	1,000	32.732	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TC3	1,000	29.5	0	0	*	*	*	*	1	1	1	1	1	
	TD1	1,000	66.5	0	0	*	*	*	*	1	1	1	1	1	
	TD2	1,000	40.5	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	1	
	TD3	1,000	28.7	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	
	TD4	1,000	30.3	0	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	
力	TE1	1,500	71.0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	1	
	TE2	1,500	37.1	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	
	原	NA1	784	59.36	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1
		NA2	784	50.95	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1
		NA3	1,100	92.50	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1
		NB1	1,100	99.4	0	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1
NB2		1,100	74.96	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	1	
NB3		1,100	76.97	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	1	
NB4		1,100	74.61	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	1	
NC1		1,100	107.42	0	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	
NC2		1,100	75.13	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	
NC3		1,100	79.16	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	
子	NC4	1,100	75.69	0	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	
	NC5	1,500	115.12	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	1	
	NC6	1,500	95.78	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	
	NC7	1,500	98.64	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
	NC8	1,500	95.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	
	ND1	1,500	144.26	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	
	ND2	1,500	99.45	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	
	ND3	1,500	97.68	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
	ND4	1,500	94.5	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
	NE1	1,500	121.0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
水	NE2	1,500	99.45	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
	PA1	1,280	75.1	0	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	
	PB1	1,300	59.0	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	
	PC1	900	43.0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	1	
	PD1	640	31.0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	
PE1	900	42.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*		

(単位：MW, 10⁹ 円)

割した近似負荷曲線の概略は図 2.1.1 に示されている。この例では、設備の運転に関しては、原子力ユニットは新設、既設とも $l=1, 2$ の 2 領域で運転するものとし、火力ユニットは新設ベース火力が $l=1, 2$ の 2 領域、既設ベース火力が $l=1, 2, 3$ の 3 領域、新設ミドル火力が $l=2, 3$ の 2 領域、既設ミドル火力が $l=2, 3, 4$

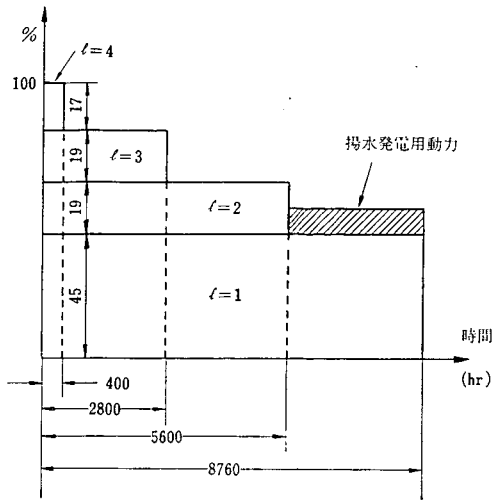


図 2.1.1 近似負荷曲線の概略

表 2.1.2 負荷領域別燃料費 (円/kWh)

型	新 設	既 設
ベース火力	1.55($l=1$)	1.59($l=1$)
	1.62($l=2$)	1.63($l=2$)
		1.67($l=3$)
ミドル火力	1.67($l=2$)	1.72($l=2$)
	1.77($l=3$)	1.91($l=3$)
		2.39($l=4$)
原子力	0.75($l=1,2$)	0.75($l=1,2$)

の3領域で運転するものとした。また揚水ユニットは、新設、既設とも $l=4$ の領域で運転するものとし、揚水発電用動力は第1負荷領域でまかなうものとした。既設の一般水力設備（揚水を除く）は過去の年間運転実績を参考にして、4負荷領域に運転出力を振りわけることにした。

2.2 計算結果

2.2.1 標準ケースの計算結果

以下のような前提条件を満すものをここでは標準ケースとして採用した。

(a) 昭和 49 年度末の設備を既設設備とみなし、昭和 50 年度から昭和 60 年度までの需

混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成要の年平均増加率は 8.86% とする。

(b) 燃料費は表 2.1.2 のとおりとし、そのエスカレーションは考えないものとする。

この標準ケースの場合の最適建設計画および最適運転計画は、3.2 で述べるレポートジェネレーターによって、新設ユニットごと、あるいは既設発電型式ごとに得られる。ここでは表の形にして、それぞれの計画の概略のみを掲げることにする。最適建設計画におけるユニットの期別の増設状況は表 2.2.1 のようになる。また最適運転計画における負荷領域ごとの型式別運転出力の推移は、表 2.2.2 から表 2.2.5 のようになる。

計算に際しては、コンピュータは IBM システム/370 モデル 165、プログラムは IBM 社の開発による LP (Linear Programming) 解法のプログラムである MPSX・MIP (Mathematical Programming System Extended・Mixed Integer Programming) を用いた。計算時間は、連続型 LP の解を求める部分で 1.27 分（シンプレックス法の反復回数は 1,209 回）、混合型 LP の解を求める部分で 2.66 分（最適整数解を求めるのに 0.85 分、最適性の確認終了までの所要時間が 2.66 分）を要した。

2.2.2 諸ケースの設定と計算結果

ここでは 2.2.1 に述べた標準ケースに対して、以下のように需要に関して3ケース、燃料費のエスカレーションに関して2ケースを設定し、それらのすべての組み合わせを行ない、合計6ケースの計算を実行した。

<需要に関するケース>

(a) (b)に対して2%減の場合

(b) 需要の年平均増加率が 8.86% の場合

(c) (b)に対して3%増の場合

(a), (c)のケースを年平均増加率に換算す

表 2.2.1 最適建設計画

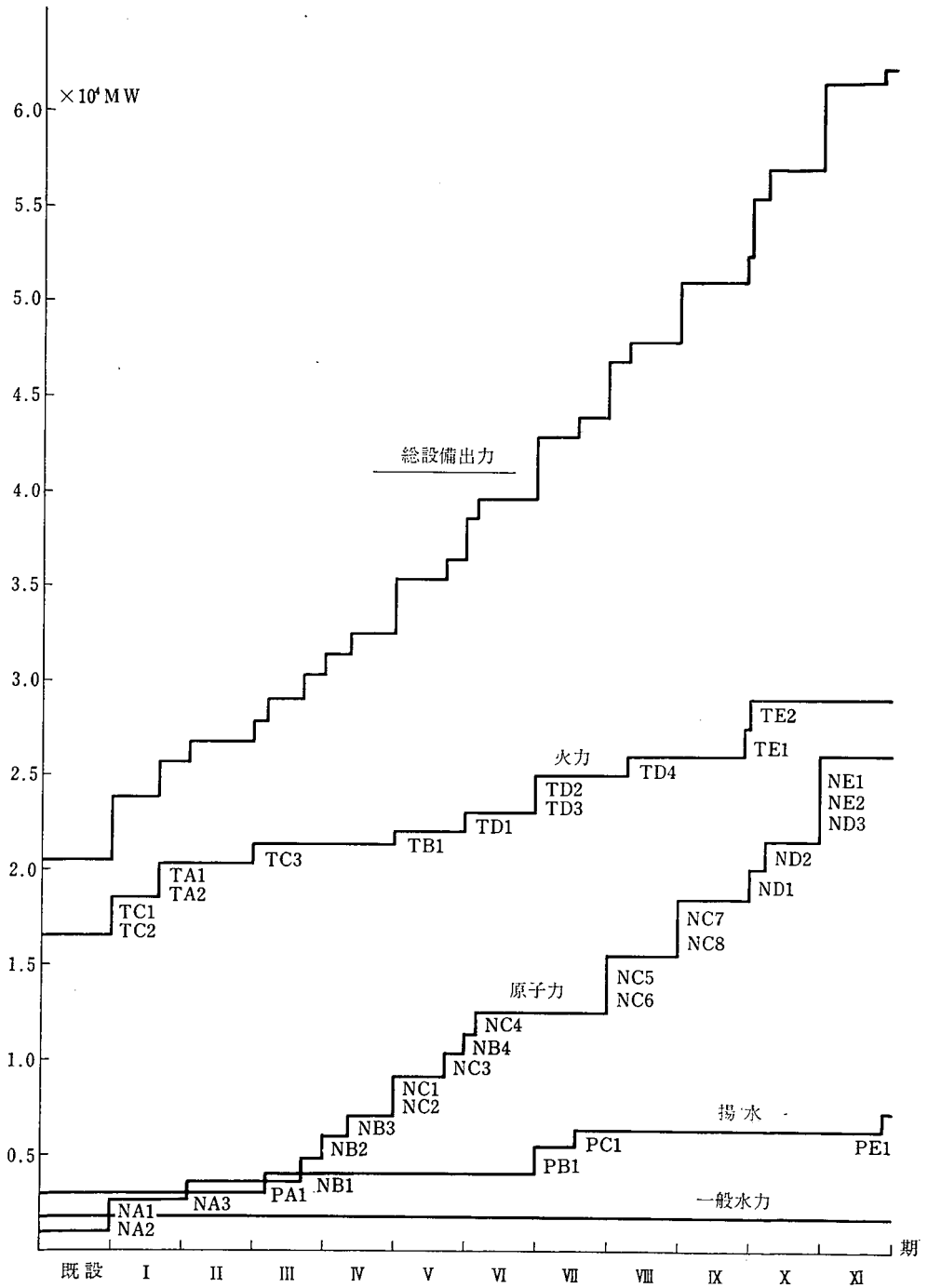


表 2.2.2 型式別期別運転出力
(第1 負荷領域)

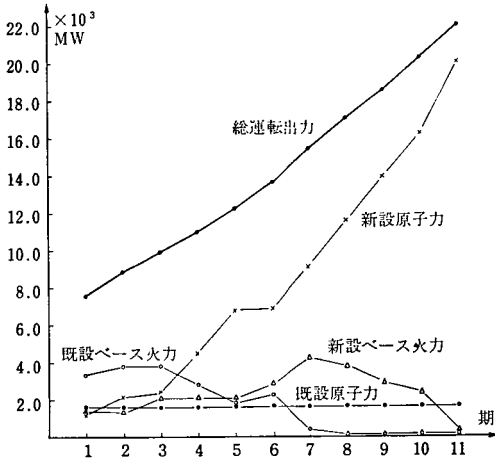


表 2.2.3 型式別期別運転出力
(第2 負荷領域)

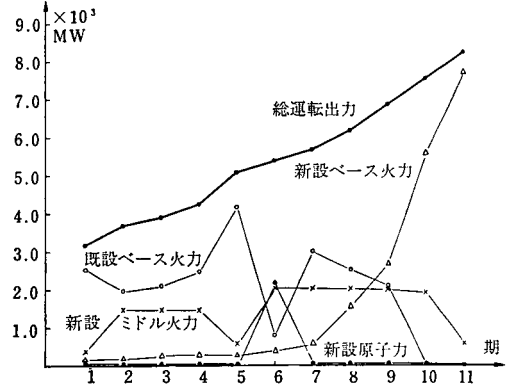


表 2.2.4 型式別期別運転出力
(第3 負荷領域)

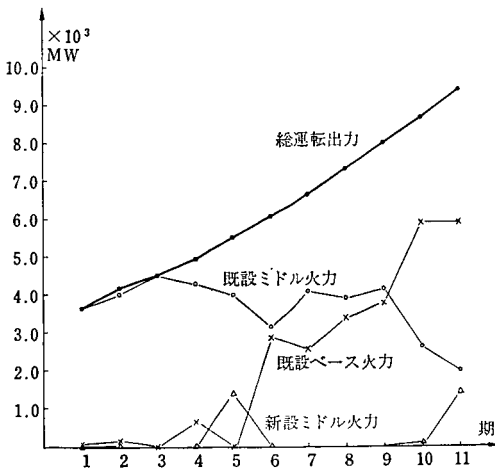
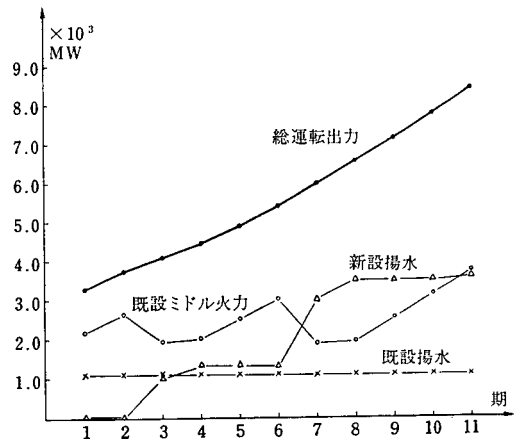


表 2.2.5 型式別期別運転出力
(第4 負荷領域)



ると、(a)は 6.68%、(c)は 12.13% に相当する。

<燃料費のエスカレーションに関するケース>

- (1) エスカレーションを考慮しない場合
- (2) エスカレーション(第1期から第11期にかけて、火力の燃料費が2.2倍、原子力の核燃料費が1.9倍になる)を考慮した場合

これらのケースごとの計算結果に関してはここでは紙面の都合で省略する。

2.3 計算結果に対する考察

標準ケースおよび諸ケースの計算結果に対する分析、考察としていくつか記述する。

(1) 表 2.2.1 の発電所の最適建設計画では、火力、原子力、揚水という型式ごとに増設状況の内訳(下に記入してあるのが新設ユニット名)を示している。この標準ケースでは、原子力ユニットの ND4、揚水ユニットの PD1 は最終期までには建設しない方が経済的であるという解が得られている。また、火力、原子力、揚水という型式ごとに、ほぼ一定した増設勾配を有しているのがわかる。

(2) kW に関する需要充足条件 (C3) における δ は供給予備率(平均 8.2%)を表わしているが、標準ケースの解によれば、既設ミドル火力が供給予備力としての役割を果していることがわかる。

(3) 表 2.2.2 から表 2.2.5 に将来の最適運転計画を掲げてある。これによれば、第5期頃までは、第1負荷領域は既設ベース火力、原子力、第2負荷領域は既設ベース火力、新設ミドル火力、第3負荷領域は既設ミドル火力、第4負荷領域は既設ミドル火力、既設揚水という運転パターンを有しているが、第5、6期頃を境としてそれ以後は、第1負荷領域は新設原子

力、第2負荷領域は新設ベース火力、第3負荷領域は既設ベース火力、第4負荷領域は既設ミドル火力、新設揚水という運転パターンを有しているのがわかる。したがって、このような意味で第5、6期頃は、運転パターンの1つの変革期といえるのではないだろうか。

(4) (3)にも述べたことであるが、既設ベース火力および既設ミドル火力の運転出力は、将来にいくほど負荷領域の上部に推移するのみみられる。これは、出力の大きな設備(1,000 MW 以上ユニットおよび原子力ユニット)が建設されるようになると、これらの設備の方が燃料費が安価なために負荷領域のベースで運転した方が経済的になり、既設ベース火力および既設ミドル火力の運転領域は、第3負荷領域あるいは第4負荷領域におしあげられることになるからであろう。

連続変数型の LP 解、および分枝限定法を用いた後の MIP 解におけるシャドコスト(限界価値)、レデューストコストに関する分析を行なうことにする。

(5) 標準ケース(b)-(1)、需要低ケース(a)-(1)、需要高ケース(c)-(1)に対する各期別の kW に関する需要制約条件 (C3) のシャドウコストの現価換算値および実際値は表 2.3.1 のようになる。ここで現価換算値とは、割引率 $1/(1+r)^k$ (利率 r は 10% とした) を考慮して昭和 50 年度期首に現価換算した値である。実際値とは割引率を乗じない値である。表 2.3.1 において、第1期あるいは第2期でシャドウコストが 0.0 となっているのは、この期の制約条件式 (C3) で等号が成立していないことによるものである。これらのシャドウコストは、各期(この例では各年)における 1 MW の需要増加(設備出力の増加、つまり制

表 2.3.1 制約条件 (C3) に関するシャドウコスト (単位: 10⁶ 円)

ケース	(b) — (1) (D-N, E-N)		(a) — (1) (D-L, E-N)		(c) — (1) (D-H, E-N)	
	現 価 換算値	実 際 値	現 価 換算値	実 際 値	現 価 換算値	実 際 値
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	6.68	8.09	0.0	0.0	6.14	7.43
3	5.58	7.43	6.91	9.19	6.91	9.19
4	3.78	5.54	5.90	8.64	7.17	10.50
5	3.60	5.80	3.65	5.88	3.60	5.80
6	3.00	5.31	2.91	5.15	3.00	5.31
7	3.09	6.02	2.89	5.64	3.47	6.75
8	2.25	4.82	2.25	4.82	2.76	5.91
9	3.39	7.99	2.44	5.76	2.05	4.84
10	1.98	5.14	1.47	3.82	2.22	5.75
11	2.01	5.73	2.07	5.91	1.80	5.15

約条件 (C3) の右辺における $(1+\delta)D_k - \sum_m \theta'_m H_m$ の 1MW の増加) に対して、設備に関する年当りコスト (つまり年当り資本費) がどの程度増加するかを示すものである。したがってこのことから、表 2.3.1 において 3 ケースが大体同程度の値を有していること、あるいは 11 期中の前半の期に対応する値が後半の期に対応する値より概して大であることの理由が理解される。

また別の見方をすれば、この値は次のようにも考えられる。つまり、火力設備、原子力設備の kW 当り建設費をそれぞれ約 35.0×10^8 円、約 80.0×10^8 円とし、それらの設備の年当り資本費率を 17.0% とすると、火力設備、原子力設備の MW 当り年当り資本費はそれぞれ 5.95×10^6 円、 13.6×10^6 円となる。表 2.3.1 の数値は、火力、原子力の組み合わせによって得られることから、ほとんどがこれらの 2 つの数値の間に存していることが確認される。

(6) 次には、kWh に関する需要制約条件 (C4) のシャドウコストについて考えてみる。標準ケース (b) — (1) に対する各期、各負荷領域別のシャドウコストの現価換算値、実際値は表 2.3.2 のようになる。これらのシャドウ

表 2.3.2 制約条件 (C4) に関するシャドウコスト (単位: 10⁶ 円)

期	領域	現 価 換算値		期	領域	現 価 換算値	
		現 価 換算値	実 際 値			現 価 換算値	実 際 値
1	1	21.60	23.76	7	1	7.49	14.60
	2	17.24	18.96		2	5.02	9.78
	3	4.86	5.35		3	2.74	5.34
	4	0.87	0.96		4	0.49	0.95
2	1	12.07	14.61	8	1	6.68	14.32
	2	8.10	9.80		2	4.58	9.82
	3	4.42	5.35		3	2.50	5.36
	4	0.79	0.96		4	0.45	0.96
3	1	12.51	16.65	9	1	6.07	14.31
	2	8.90	11.84		2	4.16	9.81
	3	4.02	5.35		3	2.27	5.35
	4	0.72	0.96		4	0.41	0.96
4	1	9.98	14.61	10	1	5.51	14.29
	2	6.71	9.82		2	3.77	9.78
	3	3.66	5.36		3	2.07	5.37
	4	0.66	0.96		4	0.37	0.96
5	1	9.13	14.70	11	1	5.00	14.27
	2	6.05	9.74		2	3.42	9.76
	3	3.32	5.35		3	1.88	5.36
	4	0.59	0.96		4	0.34	0.96
6	1	8.24	14.60				
	2	5.53	9.80				
	3	3.02	5.35				
	4	0.54	0.96				

コストは、各期、各負荷領域において 1MW の需要増加 (運転出力の増加) があつた場合に、燃料費に関するコストがどの程度増加するかを示すものである。この表によれば、第 2 期以降の領域別コスト増加額の実際値はほとんど一定しているのが確認される。またこれらの数値をケースごとに比較してみると、2.2.2 に述べた需要に関するケース間での差異はほとんどなく、エスカレーションを考慮した場合と考慮しない場合とで数値がほとんど一定の値を有しているのが確認される。そこで、これらの数値をもとにして各期、各負荷領域別の 1kWh の需要増加に対するコスト増加額の実際値をこの標準ケースについて計算すると、表 2.3.3 のようになる。つまり表 2.3.3 は、期別領域別の燃料費

表 2.3.3 1 kWh の需要増加に対する 期別負荷領域別コスト増加額の実際値
(単位: 円/kWh)

期	領域	実際値	期	領域	実際値	期	領域	実際値
1	1	2.71	5	1	1.68	9	1	1.63
	2	3.39		2	1.74		2	1.75
	3	1.91		3	1.91		3	1.91
	4	2.39		4	2.39		4	2.39
2	1	1.67	6	1	1.67	10	1	1.63
	2	1.75		2	1.75		2	1.75
	3	1.91		3	1.91		3	1.92
	4	2.39		4	2.39		4	2.39
3	1	1.90	7	1	1.67	11	1	1.63
	2	2.11		2	1.75		2	1.74
	3	1.91		3	1.91		3	1.92
	4	2.40		4	2.39		4	2.39
4	1	1.67	8	1	1.63			
	2	1.75		2	1.75			
	3	1.91		3	1.91			
	4	2.39		4	2.40			

を表わしているということができる。これは、負荷曲線が図 2.1.1 のような形を有する場合の燃料費に相当するものであることから、表 2.1.2 に示した燃料費よりも少し高い値を有するものと思われる。

表 2.3.3 によると、第 4 負荷領域の燃料費は 2.39 円/kWh となっており、表 2.1.2 にある既設ミドル火力の第 4 負荷領域の燃料費と一致している。したがってこの運転時間 400 時間を有する第 4 負荷領域は、既設ミドル火力と揚水設備でまかなっていることから揚水設備の燃料費も理論的にはほぼ 2.39 円/kWh と考えることができる。つまり、揚水発電の効率を 65% とすると、揚水用動力として利用している第 1 負荷領域の燃料費は、 $2.39 \times 0.65 = 1.55$ 円/kWh となり、表 2.1.2 における新設ベース火力の燃料費に一致しているのがわかる。これは、第 1 負荷領域が既設、新設のベース火力と原子力でまかなわれているから、既設ベース火力と原子力の燃料費の中間の値になるものと思われる。

そこで燃料費のみを安くすることを考えるならば、第 1 負荷領域を原子力のみでまかなうことにすれば、つまり揚水発電用動力として原子力を用いることにすれば、揚水発電の kWh 当り燃料費は理論的には $0.75/0.65 = 1.15$ 円/kWh まで下げることができると言えるであろう。

(7) 次には、レデューストコストに関する分析を行なってみる。まず X_{ijk} に関するレデューストコストを R_X とすると、 R_X の意味するところは、以下のようなものとなるであろう。

(イ) $X_{ijk} = 0$ の時: R_X が正ならば、 $X_{ijk} = 1$ とすると目的関数が R_X だけ増加する。

(不利益になる)

(ロ) $X_{ijk} = 1$ の時: R_X が正ならば、 $X_{ijk} = 0$ とすると目的関数が R_X だけ減少する。

(コストが減少する)

また y_{ijk} に関しては、レデューストコストを R_y とすると、これは、 y_{ijk} を $4y$ だけ減少すると $R_y 4y$ だけ目的関数が増加する(不利益になる)ことを意味する。したがって以上のことを考慮すると、需要制約条件(需要想定値)が増加方向へ変化した場合の解としての X_{ijk} , y_{ijk} の変化のプロセスは、次のようになると推定できる。またこのことは、実際の各ケースの結果からもほぼ確認された。

(a) $X_{ijk} = 1$ の時、それに対応する y_{ijk} は、 $R_y (\geq 0)$ の小さいものから減少の方向へ向かう。

(b) 連続型 LP のもとの基底解 X_{ijk} は、 $R_y (\geq 0)$ の小さいものから、 $X_{ijk} = 0$ の時は $0 < X_{ijk} < 1$ となり、 $0 < X_{ijk} < 1$ の時は $X_{ijk} = 1$ となる。

(c) 連続型 LP の非基底解が $X_{ijk} = 0$ の時は、 $R_X (\geq 0)$ の小さいものから $X_{ijk} = 1$ の方向へ向かう。

ただこのモデルでは、各期ごとにユニットの選択の方法が独立でないから、つまりある期に1という解が得られるとそれ以後はずっと1でなければならないという制約があることから、必ずしも厳密に上の3つのプロセスに分類はされえないであろう。しかしながら、需要想定値が変化した場合に解がどう変化するかという方向づけの推定の役割は、十分に果すことができるものと思われる。したがって、ここでの需要高(低)ケースよりもさらに需要が増加(減少)した場合のこのモデルの解の変化に関しては、変数が与えられた条件下で有する相対的価値ともいべきレデューストコストを分析することによって推定できることになる。

3. モデル使用のための開発プログラム

1で述べた発電所の最適建設計画作成のための定式化モデルを、ここでは“OCPEPS”(Optimal Construction Program of Electric Power Station)と呼ぶことにする。当モデル“OCPEPS”を使用するに際して、計算の手間の省略化、手順の簡略化、分析の容易化などをはかることを目的として、「入力データジェネ

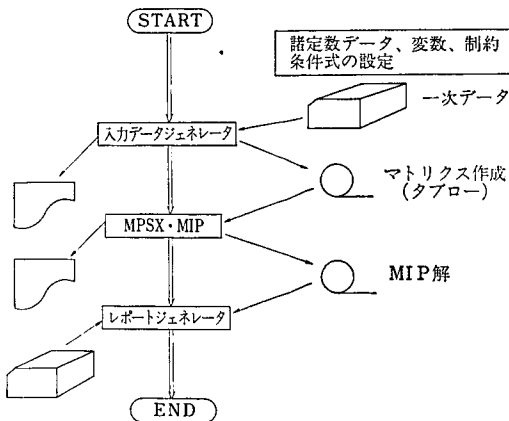


図 3.1 モデル“OCPEPS”の分析手順のフローチャート

混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成レータ」と「レポートジェネレータ」という2つのプログラムを開発した。ここでは、これらのプログラムに関して作成目的、概略を記述することにする。使用方法、使用例に関しては紙面の都合で割愛する。「入力データジェネレータ」と「レポートジェネレータ」という2つの開発プログラムを使用した場合の当モデル“OCPEPS”の分析手順の概略のフローチャートは図3.1のようになる。

3.1 入力データジェネレータ

3.1.1 プログラムの目的

1に述べてあるように、発電所建設のための将来の長期にわたる設備投資計画を作成するに際して、0-1タイプの混合型整数計画法の適用を考え、このためのMIP(Mixed Integer Programming)モデルとして“OCPEPS”を作成した。これによれば、2の応用例からもわかるように、15発電所38ユニットに対して期間11期を対象とすると、各ユニットに対して11期中の3期のみを選択の対象としたとしても、未知数853個、制約条件1,001本という非常に大きなモデルとなる。これらの入力データをもとにしてMPSX(Mathematical Programming System Extended, IBM Program Number 5734-XM4)用のインプットデータを作成するわけであるが、これはユニットあるいは期の数が多くなると、非常に大きなタブローを作成することになり、膨大な手間を必要とする。この主要な原因は、制約条件式なるものが、タブローにおいて行ごとであるのに対して、MPSX用のインプットデータは変数(タブローにおける列)ごとに入力しなければならないことにある。そこで、行ごとに入力を行なうのに対して、列ごとの出力を有するようなプログラムができれば、かなりの手間がはぶけることにな

る。ここで作成したプログラムは、行ごとに読み込み、しかも制約条件式ごとに式の中の変数 x_{ijkl} , y_{ijk} , z_{mkl} , X_{ijk} の添字 i, j, k, l, m の最初と最後だけを読み込むことによって自動的に MPSX 用のインプットデータをジェネレートすることを目的とするものである。

3.1.2 プログラムの概略

ここでは、このプログラムの入力および出力に関して、その概略を記述する。まず入力に関しては、大まかにわけると以下の6個の部分から成る。

- ① モデル“OCPEPS”に固有な定数の読み込み (変数, 制約条件式の数, ユニット数, 期間数, その他)
- ② 変数名, 制約条件式名の読み込み
- ③ 積々の定数データの読み込み (ユニットごとの発電型式, 設備出力, 利用可能率, 需要想定値, その他)
- ④ 既定解の読み込み (0を設定する最終の期と1を設定する最初の期)
- ⑤ 目的関数の係数の読み込み
- ⑥ 制約条件式の読み込み

このプログラムの入力の概略は以上のようなものである。これらの入力に対して MPSX 用の完全なインプットデータを磁気テープ上に書き込むことにした。

このプログラムの最も主要な部分についてその計算の概要を記述する。つまり、目的関数あるいは制約条件式に対して、変数あるいは変数の添字と係数の値をインプットした場合に、それをいかにしてタブローにおける非零要素として記憶するかの概略を示すことにする。まず当モデル“OCPEPS”では、変数名のコンピュータ内における表示方法を以下のように規定している (ここでは変数のうちの x_{ijkl} のみを例

として掲げる。他の y_{ijk} , z_{mkl} , X_{ijk} はすべてこれに準じて、Y0111, Z0114, B0111 のようになる)。

$$\begin{array}{cccccc} X & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ \hline \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & \end{array}$$

- ① : 連続変数 x に相当
- ② : 発電所番号, i に相当
- ③ : ユニット番号, j に相当
- ④ : 期番号, k に相当
- ⑤ : 負荷領域番号, l に相当

上のような計算機内部における変数名を、①, ②, ③, ④, ⑤の変数の構成要素に分けることを変数名の分解と呼ぶことにする。目的関数の読み込みの場合、変数名と係数の値がインプットされた時の処理のフローチャートは図 3.1.1 のようになる。また制約条件式の読み込みの場合、変数の添字と係数の値がインプットされた時の処理のフローチャートは図 3.1.2 の

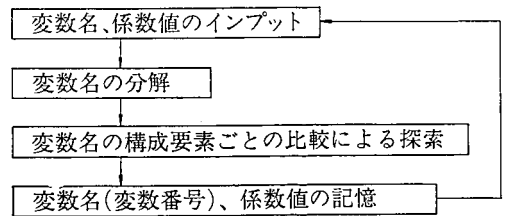


図 3.1.1 目的関数の処理のフローチャート

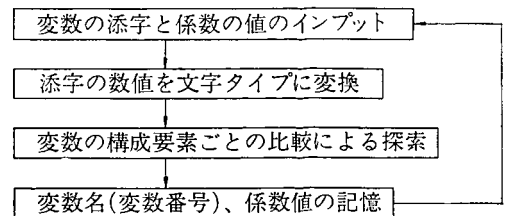


図 3.1.2 制約条件の処理のフローチャート

ようになっている。

なおこのプログラムは、6個のサブルーチン
を有し、全部で1,170本のステートメントから
成っている。6個のサブルーチンの内訳は次の
ようなものである。

- ① 読み込み処理を容易にするためのサブ
ルーチン
- ② 数値を文字タイプに変換するためのサー
ブルチン
- ③ 文字タイプから変数の構成要素を作成す
るためのサブルーチン
- ④ 変数名の構成要素ごとの比較による探索
(変数探索)のためのサブルーチン
- ⑤ 変数探索の高速化のためのサブルーチン
- ⑥ 変数名、係数値の記憶処理のためのサブ
ルーチン

3.2 レポートジェネレータ

3.2.1 プログラムの目的

当モデル“OCPEPS”は、混合型整数計画
法を用いて将来の長期にわたる発電所の運転計
画を考慮した最適建設計画を作成することを目
的としている。応用例にあるような現実のモデル
化を行ない、変数、制約条件式を設定し、混
合型整数計画問題の解法プログラムとしての
MPSX・MIPを利用して解くわけであるが、
MPSX・MIPの解では変数や制約条件式の数
が多い場合には、それを解として解釈するのに
非常に煩雑である。そこで磁気テープ上に記憶
されたMPSX・MIPの解を実際の最適建設計
画、最適運転計画として現実にわかりやすい形
に表示し、さらにはkWおよびkWhに関する
需要制約条件のシャドウコストを現価換算値
と実際値の形で表示することによって解の解
釈、分析に役立たせようというのがこのプロ
グラムの目的である。

混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成

3.2.2 プログラムの概略

このプログラムは、磁気テープ上に記憶され
たMPSX・MIPによる解のうちの最適解に関
してレポートを作成するものである。このプロ
グラムの入力と出力に関してその概略を述べる
ことにする。まず、入力部分の概略は次のよう
に記述できる。

- ① 発電設備型式ごとの運転領域指定デー
タの読み込み
 - ② タブローの行の数、列の数の読み込み
 - ③ シャドウコストを印刷する行(制約条件
式)番号の読み込み
 - ④ ユニットに関するデータの読み込み
- また出力部分の概略は次のように記述できる。

- ① 目的関数の値の印刷
- ② 既設設備の期別負荷領域別運転出力の印
刷
- ③ ユニットごとの建設計画、運転計画の印
刷
- ④ kWおよびkWhに関する需要制約条件
のシャドウコストの現価換算値と実際値の
印刷

上のような入、出力部分を連結するこのプロ
グラムの計算手順のフローチャートは図3.2.1

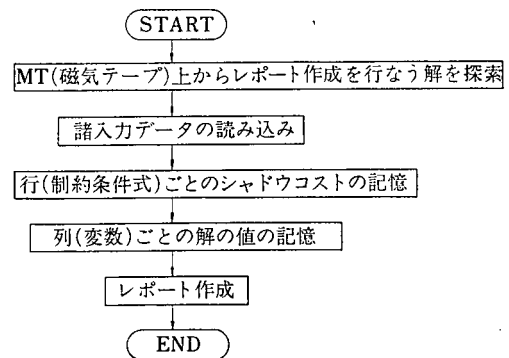


図 3.2.1 レポートジェネレータプログラムのフ
ローチャート

のようになる。

このプログラムの最も主要な部分をなしているのは、図 3.2.1 のフローチャートにおける列ごとの解の値の記憶とレポート作成をリンクする部分である。つまり当モデル“OCPEPS”では 3.1.2 に述べたような計算機内部の変数表示を行なっているのに対し、レポートとして見やすい形にするためには、ユニットごとに建設時期、建設遅れ、負荷領域ごとの運転出力をまとめて表現することが必要となるので、変数 X_{ijk} , x_{ijkl} , y_{ijk} , z_{mkl} に対しては、 i, j, k が対応するものを同一箇所印刷しなければならぬ。したがって表示された変数名を分解して、変数の先頭の文字および添字の i, j, k, l, m 等を識別するようなプログラムが必要となり、これがこのプログラムの最も主要な部分をなしている。この部分のフローチャートの概略は、図 3.2.2 のように表わすことができるが、内容的には IBM システム 370 の文字の内部表現のコード変換表を用いてプログラムを作成した。

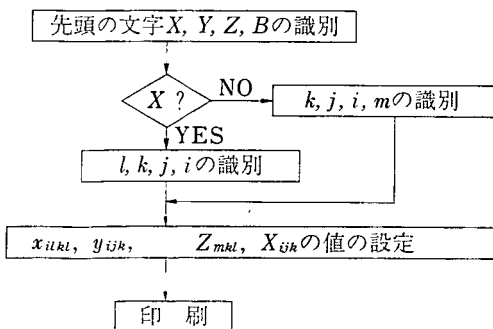


図 3.2.2 レポートジェネレータ主要部分のフローチャート

謝 辞

一昨年（1971 年）、筆者らが混合型整数計画法を、電源建設計画問題へ適用することを考えていたとき、その機会を与えて下さった当時の科学技術庁原子力局原子力エネルギー経済研究会（主査吉本秀幸氏）に対し深甚の謝意を表する。

また、今回、レポートジェネレータの作成および計算の実行にご協力いただいた三菱総合研究所の大嶋光雄氏に心からお礼を申しあげる次第である。

参考文献

- [1] 森口繁一，“線型計画法入門”日科技連，1958
- [2] 小野勝章，“計算を中心とした線型計画法”，日科技連，1967
- [3] S. I. Gass, “Linear Programming, Methods and Applications”, McGraw-Hill, 1958
- [4] L. C. Mitten, “Branch and Bound Method: General Formulation and Properties”, *Operations Research*, Vol. 18, No. 1, 1970
- [5] Program Product, “Mathematical Programming System Extended (MPSX) Linear and Separable Programming Program Description, Program Number 5733-XM4, IBM, 1971
- [6] Program Product, “Mathematical Programming System Extended (MPSX) Mixed Integer Programming (MIP) Program Description, Program Number 5734-XM4, IBM, 1971
- [7] System/370 Reference Summary, GX20-1850-1, IBM, Technical Publication Department

（おがわひろし，おおやまたつを・技術経済研究部）

〈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

富田 輝 博

1. はじめに
2. シミュレーションの結果と分析

1. はじめに

先頃発表された「電気事業の現状」(47年版)によると、現在の電気事業が当面している問題として、次の4点を挙げている。第1に、電源立地難、第2に、公害防止等環境保全問題、第3に、コスト増による経理の圧迫、第4に、省資源化の推進。そして、これらの問題を解決するためには、産業構造の知識集約型への転換を推進するとともに、電気エネルギーの利用効率の向上が必要と述べられている¹⁾。

最近急速に高まっている企業行動に対する批判も、産業構造の知識集約化の進展と密接な関係がある。産業構造の知識集約化の担い手である企業の側でも、社会的責任に対する要請に答えるために、積極的に、社会的貢献を示そうという動きがみられるようになった。

経済同友会が提言した「社会と企業の相互信頼の確立を求めて」がそれである。

その先鞭として、東京電力では「環境指標」を設定し、これを外部に公表するとともに実践するというので、注目を集めている²⁾。

しかしながら、環境指標の設定から一歩進んで、これまで外部不経済とされてきた環境・公

害を経済のメカニズムに組み入れて、環境モデルとも言うべき一種の計量モデルを開発することはかなり困難である。企業が環境に関する目標値を掲げ、計量モデルによる「実験経営」(シミュレーション)を試みることは、同友会提言を生かす礎となるものであろう。

米国においても、社会監査(social audit)という名の下に、多くの企業や研究所でその開発が進められているが、まだその歴史は浅く、いまやっと端緒についたばかりである³⁾。

われわれは、さきに「電気事業の企業モデル」(電力経済研究, No. 1, 1972年8月)を発表したが、この企業モデルには環境セクターは含まれていない。環境セクターをリンクさせることは可能であるが、それは今後に残された課題であろう。

本稿では、この企業モデルを用いて若干のシミュレーション実験を行なった結果について報告する。

電気事業は、従来までは、革新技術による火

- 1) 電力産業自体の知識集約化については、筆者らの共同研究による「基盤的産業の知識集約化に関する研究」(内部資料, 48年3月)を参照されたい。
- 2) 前述の「基盤的産業の知識集約化」においても、環境を始めとして、種々の要因について指標化の試みがなされている。
- 3) 社会監査については R. Bauer and D. Fenn, Jr, "What is a corporate social audit." HBR, Jan-Feb 73 を参照。同論文には米国のシンクタンク Abt 社の社会監査が唯一の事例として紹介されている。

力発電所の熱効率の向上、送電損失率の低下、電力設備の自動化、事務の機械化等、生産性の向上によるコスト節減効果と輸入原油の値下りによる発電用燃料価格の低下によって、経営の合理化を進め、電気料金の長期安定をはかってきた。

以下のシミュレーション分析の目的は、このような電気事業経営の長期安定化に貢献した要因および経営戦略上の要因を抽出し、これらの要因をモデル上現実と異なる方向に変化させた場合、電気事業経営にどのような影響を与えるか、シミュレーション実験によって数量的に分析するのがねらいである。

2. シミュレーションの結果と分析

企業モデルにおいて外生変数をその性格によって分類すると、与件変数と政策変数とに分類することができる。与件変数は電気事業のコントロール外にある変数である。これに対して、政策変数は電気事業のコントロール下にある変数である。以下に述べるシミュレーション実験のうちケース1からケース3までは与件変数を動かしたシミュレーションであり、ケース4からケース5までは政策シミュレーションである。シミュレーション・ケースの内容は次のとおりである。

与件変数シミュレーション

ケース1：消費者物価

1—1：消費者物価 実績値の10%増

1—2：消費者物価 35年度水準固定

2：燃料単価 35年度水準固定

3：他社購入電力量 実績値の10%減

政策シミュレーション

ケース4：火力発電設備投資平均規模 実績値の10%減

5：資金調達

5—1：増資 実績値の10%増

5—2：開銀借入金 36年度以降なし

以下では実験の説明はすべて(1)スタンダード・ケース(外生変数に実績値を与えた場合)と、(2)シミュレーション・ケース(外生変数を上記のように変更した場合)と比較したものである。(1)と(2)の偏差(3)は、外生変数の変化が主要内生変数に与える直接、間接効果を示すものである。

なお、シミュレーション実験の期間は、昭和36年度から昭和45年度までの10年間である。

シミュレーション・ケース1：消費者物価シミュレーション

消費者物価指数は40年度を100として、35年度の75.8から45年度の131.9へと大巾な上昇を示している。シミュレーション・ケース1では、消費者物価を36年度以降実績値の10%増加した値をとった場合(ケース1—1)と35年度水準に固定した場合(ケース1—2)の2通り実験を行なった。このシミュレーションのねらいは、消費者物価を動かすことによって、賃金およびその他の内生変数にどのような影響を与えるかを数量的にとらえることである。

まずケース1—1についてみよう。消費者物価を36年度以降実績値の10%増とすると、その直接的影響は賃金に表われる。われわれのモデルの賃金決定式では消費者物価の係数が1,465であるから、他の条件が一定であれば消費者物価が10%増えたとすると、賃金は15%増加する。他方、賃金上昇の結果従業員数は削減する方向に変化する。表1からわかるように45年度においては、従業員はスタンダードケ

表 1 ケース 1-1 消費者物価・実績値の 10% 増

年度 変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
人件費 (1) (10億円) (2) (3)	94.546 106.661 12.116	106.836 118.462 11.626	128.068 141.968 13.900	135.589 148.835 13.245	152.852 167.708 14.846	167.053 182.193 15.139	181.981 197.899 15.918	201.672 219.010 17.338	224.358 243.117 18.759	255.333 276.410 21.077
従業員総数 (1) (千人) (2) (3)	133.996 132.452 -1.544	131.716 128.770 -2.946	137.180 133.037 -4.143	134.393 129.207 -5.185	133.052 127.301 -5.751	132.407 125.932 -6.475	131.827 124.664 -7.163	134.620 127.013 -7.607	136.174 128.084 -8.091	135.576 127.134 -8.343
総設備投資額 (1) (着工ベース) (2) (10億円) (3)	194.687 178.442 -16.245	359.027 381.475 22.448	317.094 309.050 -8.044	402.643 415.380 12.737	265.173 259.412 -5.761	361.280 370.877 9.596	291.577 290.436 -1.142	450.973 455.853 4.880	592.723 595.019 2.296	641.308 645.110 3.802
総費用 (1) (10億円) (2) (3)	551.462 570.847 19.384	645.217 655.565 10.348	788.290 807.848 19.558	823.674 837.291 13.617	936.978 957.772 20.794	1,038.491 1,056.075 17.584	1,176.327 1,197.751 21.424	1,308.243 1,330.521 22.279	1,436.258 1,461.379 25.121	1,812.898 1,641.502 28.603
料金単価 (1) (円) (2) (3)	5.341 5.535 0.194	5.903 6.001 0.098	6.339 6.502 0.163	5.891 5.992 0.101	6.320 6.465 0.145	6.248 6.357 0.109	6.216 6.333 0.116	6.265 6.374 0.109	6.024 6.132 0.108	6.018 6.127 0.109
消費者物価指数 実績値 35年度 75.8	80.7	85.1	90.7	95.1	101.3	106.1	110.2	115.7	122.3	131.9

表 2 ケース 1-2 消費者物価 35 年度水準固定

年度 変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
人件費 (1) (10億円) (2) (3)	94.546 87.458 -7.088	106.836 93.559 -13.277	128.068 104.762 -23.306	135.589 106.669 -28.920	152.852 112.759 -40.093	167.053 119.500 -47.553	181.981 127.255 -54.726	201.672 135.622 -66.050	224.358 144.623 -79.735	255.333 154.302 -104.031
従業員総数 (1) (千人) (2) (3)	133.996 135.051 1.055	131.716 134.644 2.927	137.180 143.060 5.880	134.393 143.885 9.492	133.052 146.457 13.405	132.407 150.845 18.438	131.827 156.045 24.218	134.620 164.788 30.168	136.174 173.771 37.597	135.476 181.261 45.784
総設備投資額 (1) (着工ベース) (2) (10億円) (3)	194.687 204.176 9.489	359.027 355.236 -3.791	317.094 322.147 5.053	402.643 389.006 -13.637	265.173 271.379 6.206	361.280 340.537 -20.743	291.577 285.713 -5.864	450.973 440.893 -10.080	592.723 581.596 -11.127	641.308 631.710 -9.598
総費用 (1) (10億円) (2) (3)	551.462 540.150 -11.313	645.217 628.375 -16.843	788.290 756.340 -31.950	823.674 789.049 -34.625	936.978 881.565 -55.413	1,038.491 979.418 -59.073	1,176.327 1,104.089 -72.238	1,308.243 1,220.459 -87.783	1,436.258 1,329.109 -107.149	1,812.898 1,472.790 -140.109
料金単価 (1) (円) (2) (3)	5.341 5.228 -0.113	5.903 5.743 -0.159	6.339 6.075 -0.266	5.891 5.635 -0.256	6.320 5.934 -0.386	6.248 5.882 -0.366	6.216 5.824 -0.393	6.265 5.833 -0.432	6.024 5.563 -0.462	6.018 5.481 -0.537
消費者物価指数 実績値 35年度 75.8	80.7	85.1	90.7	95.1	101.3	106.1	110.2	115.7	122.3	131.9

ースに比べて8,300人減少している。これは従業員数の約6%に相当する。しかし従業員数の減少にもかかわらず、人件費についてみると、45年度で210億円の増加となっている。このような人件費の上昇は電気事業の省力化投資を促進させ、36年度から45年度までの10年間の累積で総設備投資額（着工ベース）がスタンダード・ケースに比べて、250億円の増加となっている。また、総設備投資額の増加は固定資産の増加による減価償却費の増加を誘発している。従って、総費用でみると、45年度で286億円の増加となる。これだけのコスト増を収入で回収するには料金単価で11銭の引き上げが必要とする。ただし、このモデルでは、電力需要を外生変数としているため電力需要減少の効果はシミュレートできなかった。

ケース1-2はケース1-1の逆の結果が示されている。消費者物価を35年度水準に固定するという非常に極端な仮定をおいたが、その結果、賃金は引き下げられ、従業員の増加にもかかわらず、大巾な人件費の節約そして総費用の節約となる。ちなみに、45年度ではスタンダードケースに比べて、総費用の節減額は1,400

億円という巨額に達している。

シミュレーション・ケース2：燃料単価35年度水準固定

電気事業が、これまで電気料金の高騰を抑制しつつ、電力供給の責務を果たしてきたのは、技術革新をとり入れた生産性上昇によるコスト削減等、電気事業自体の企業努力に負うところも大きい。が、所要の発電用燃料を低廉かつ安定的に確保することができたことがもう一つの大きな要因となっている。これを燃料単価（石炭換算トン当り）でみると、35年度実績値が4,044円に対して45年度には3,325円と18%の低下を示している。シミュレーションのケース2では、燃料単価を35年度水準という高価格に固定することにより、電気事業経営にどのような効果を与えるかについて分析したものである。

燃料価格が変化すると直接的には燃料費が変化する。45年度でみると、スタンダード・ケースに比べて560億円の燃料費の増加となっており、この増加分がほぼそのまま総費用の増加に反映されている。このような発電原価の高騰により、料金単価は40年

表3

ケース2 燃料単価35年度水準固定

変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
燃料費(1)	101.992	107.330	124.997	125.340	137.630	155.581	182.466	217.862	236.561	261.230
(10億円)(2)	110.416	121.192	143.063	149.381	164.399	183.858	216.695	265.266	292.197	317.708
(3)	8.424	13.862	18.066	24.441	26.769	28.278	34.229	47.405	55.635	56.478
総費用(1)	551.462	645.217	788.290	823.674	936.978	1,038.491	1,176.327	1,308.243	1,436.258	1,612.898
(10億円)(2)	559.381	659.493	807.562	850.528	967.738	1,071.137	1,215.897	1,362.358	1,499.783	1,679.483
(3)	7.918	14.276	19.272	26.854	30.760	32.646	39.570	54.115	63.525	66.585
料金単価(1)	5.341	5.903	6.339	5.891	6.320	6.248	6.216	6.265	6.024	6.018
(円)(2)	5.421	6.038	6.499	6.090	6.535	6.451	6.432	6.532	6.299	6.275
(3)	0.079	0.135	0.160	0.199	0.215	0.203	0.216	0.267	0.275	0.257
燃料単価 実績値 35年度 4,044 (円)	3,735	3,581	3,533	3,384	3,385	3,422	3,405	3,321	3,274	3,325

度以降毎年 20 銭以上の引き上げとなっている。従って、燃料単価が低下してきたことが、最近までの電気事業経営に著しく有利に動いてきたといえることができる。

シミュレーション・ケース 3 : 他社購入電力量 実績値の 10% 減

他社購入電力量は電力 9 社の発電電力とともに、電力の供給を決定する。他社購入電力量の実績値は 36 年度の 126 億 kWh から 45 年度の 417 億 kWh へと 10 年間で約 3.3 倍の増加を示した。シミュレーション実験 3 においては、他社購入電力量を 36 年度以降、実績値より 10% 削減したとしたら、電気事業の経営にどのような影響を与えるかをみるのが目的である。

電気事業においては、価格調整のスピードが非常に遅いので、短期的には数量調整を行なう。すなわち、他社購入電力量の削減によって減少した供給量は火力発電電力量でまかなわれ

なければならないが、短期的には、火力発電設備の稼働率で調整されることになる。表 4 にみるように、稼働率は毎年スタンダード・ケースより 1% 以上上昇する。さらに、稼働率の変動は、タイム・ラグを伴って、設備投資に影響を与えるから、長期的には設備調整が行なわれる。このように稼働率の上昇と、火力発電設備の増加により、燃料消費量は増加し、従って燃料費がスタンダード・ケースに比べて毎年 2% 程増加している。そこで、電気事業にとっては、燃料費等の費用増加と、他社購入電力量の減少との比較が問題になる。総費用でみるとスタンダード・ケースより減少しており、費用節約効果の方が大きいことがわかる。ただし、われわれのモデルではピーク需要を考慮していないから、厳密にはどちらが費用節約的であるかは断定できないが、少なくとも、需要がフラットに伸びている場合、コスト的には、電力会社が自社で発電した方が安くなるといえよう。

表 4 ケース 3 他社購入電力量 実績値の 10% 減

変数・単位	年度	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
火力発電設備投資 (百万 kW)	(1)	0.945	2.155	4.141	2.163	1.547	2.103	2.611	1.999	2.819	4.365
	(2)	0.945	2.173	4.138	2.169	1.549	2.107	2.614	2.000	2.823	4.371
	(3)	0.0	0.018	-0.003	0.006	0.002	0.004	0.002	0.001	0.004	0.006
火力発電電力量 (10 億 kWh)	(1)	54.611	62.779	72.654	85.658	89.330	105.439	130.274	144.818	167.132	188.486
	(2)	55.873	64.067	74.205	87.450	91.370	107.632	132.758	147.785	170.628	192.656
	(3)	1.262	1.283	1.551	1.791	2.040	2.193	2.484	2.967	3.496	4.170
燃料費 (10 億円)	(1)	101.992	107.330	124.997	125.340	137.630	155.581	182.466	217.862	236.561	261.230
	(2)	104.090	109.306	127.361	127.679	140.432	158.485	185.575	221.856	240.993	266.409
	(3)	2.097	1.976	2.364	2.339	2.801	2.904	3.108	3.995	4.432	5.179
火力設備稼働率 (%)	(1)	65.755	61.590	52.424	54.506	52.331	55.752	61.283	63.100	65.747	64.453
	(2)	67.275	62.756	53.493	55.582	53.463	56.840	62.376	64.318	67.044	65.800
	(3)	1.520	1.166	1.096	1.075	1.132	1.088	1.093	1.218	1.297	1.347
総費用 (10 億円)	(1)	551.462	645.217	788.290	823.674	936.978	1,038.491	1,176.327	1,308.243	1,436.258	1,612.898
	(2)	549.332	642.240	784.502	818.840	931.443	1,032.572	1,168.781	1,300.351	1,426.902	1,602.532
	(3)	-2.130	-2.977	-3.788	-4.834	-5.534	-5.918	-7.546	-7.892	-9.356	-10.367
他社購入電力量 実績値 35年度 8.724 (10 億 kWh)		12.616	12.882	15.563	17.934	20.417	21.926	24.861	29.678	34.971	41.712

シミュレーション・ケース4：火力発電設備平均規模 実績値の10%減

発電用燃料価格の低落によるコスト削減効果とともに、電気事業の発展、経営の安定化の原動力となったのは技術革新による生産性の向上であり、技術革新の効果が最も顕著であったのは火力発電設備である。火力発電設備の平均規模は36年度の13.5万kWから45年度には33.3万kWと2.5倍以上に拡大した。シミュレーション・ケース4はこのような規模の経済と革新技術を享受した火力設備についてその平均規模を36年度以降、実績値の10%減とし

た場合、どのような効果を与えるかをみようとしたものである。

火力設備の規模の変化は、直接的には熱効率、ロス率、火力設備建設単価および火力部門従業員数に影響を与える。そして、これらの変数の変化によって総設備投資額（着工ベース）、電気事業固定資産などが変化し、さらに人件費、減価償却費、修繕費などの費用面も波及的に影響をうける。

表5から読みとれることは、第1に、従業員数は平均規模の変化と逆方向に変化することである。スタンダード・ケースに比べて、従業員

表5 ケース4 火力発電設備投資平均規模 実績値の10%減

年度 変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
総設備投資額 (1) (着工ベース) (2) (10億円) (3)	194.687 192.494 -2.193	359.027 363.983 4.956	317.094 322.479 5.385	402.643 408.102 5.458	265.173 267.731 2.558	361.280 365.481 4.201	291.572 93.563 1.985	450.973 454.265 3.292	592.723 596.994 4.271	641.358 644.805 3.497
電気事業固定 資産 (1) (10億円) (2) (3)	1,530.144 1,531.989 1.844	1,717.372 1,723.152 5.780	2,012.432 2,024.431 11.999	2,131.220 2,144.924 13.704	2,224.334 2,238.792 14.458	2,350.989 2,366.841 15.853	2,490.826 2,508.573 17.747	2,624.283 2,642.972 18.689	2,838.543 2,858.888 20.344	3,113.701 3,136.185 22.484
従業員総数 (1) (千人) (2) (3)	133.996 134.986 0.990	131.716 133.236 1.519	137.180 139.378 2.198	134.393 136.460 2.067	133.052 135.396 2.343	132.407 134.746 2.339	131.827 134.149 2.332	134.620 137.438 2.818	136.174 139.155 2.981	135.476 138.518 3.041
人件費 (1) (10億円) (2) (3)	94.546 95.040 0.494	106.836 107.759 0.923	128.068 129.685 1.617	135.589 137.317 1.727	152.852 155.069 2.217	167.053 169.431 2.378	181.981 184.593 2.612	201.672 205.030 3.358	224.358 228.215 3.857	255.333 259.853 4.520
減価償却費 (1) (10億円) (2) (3)	89.335 89.426 0.091	105.576 105.923 0.348	130.393 131.263 0.870	178.913 150.238 1.325	167.390 169.017 1.627	182.366 184.054 1.688	202.140 204.061 1.921	220.610 222.847 2.237	240.618 243.027 2.409	270.476 273.245 2.769
修繕費 (1) (10億円) (2) (3)	50.570 50.757 0.187	67.814 68.217 0.404	91.592 92.480 0.888	57.334 58.142 0.808	78.882 79.940 1.058	92.298 93.012 0.714	133.610 134.653 1.043	136.579 137.824 1.245	146.153 147.245 1.092	154.094 155.565 1.471
料金単価 (1) (円) (2) (3)	5.341 5.375 0.034	5.903 5.947 0.044	6.339 6.401 0.062	5.891 5.953 0.062	6.320 6.391 0.071	6.248 6.314 0.066	6.216 6.287 0.070	6.265 6.337 0.073	6.024 6.093 0.069	6.018 6.088 0.070
総費用 (1) (10億円) (2) (3)	551.462 554.893 3.431	645.217 650.004 4.787	788.290 795.911 7.621	823.674 832.256 8.582	936.978 947.386 10.408	1,038.491 1,049.431 10.941	1,176.327 1,189.562 13.235	1,308.243 1,323.344 15.101	1,436.258 1,452.610 16.352	1,612.898 1,631.675 18.776
火力設備平均規模 実績値 35年度 14.5 (万kW)	13.5	17.6	17.7	27.1	21.7	27.8	36.3	23.4	28.2	33.3

数は毎年2%程増加している。そして、従業員数の増加は人件費の高騰となってあらわれている。

第2に、火力設備建設単価の上昇により、火力設備投資額も増加する。さらに設備投資や電気事業固定資産の増加に伴って、減価償却費および修繕費が増加する。これらの諸費用の増加をトータルとしてみると、スタンダード・ケースに比べて毎年ほぼ1%程度の費用増となっていることがわかる。従って、料金単価も39年度以降は1%以上の引き上げが必要とされる。

参考までに、火力設備の平均規模を35年度水準に固定した場合のシミュレーションの結果をつけ加えておく、平均規模を35年度水準に固定することによって影響をうける内生変数とその変化の方向は実績値の10%減のケースと同じである。しかしながら、数量的な効果は当然異なってくる。総費用で両ケースの45年度を比較すると、35年度固定の場合、1,420億円の費用増であるのに対して、実績値の10%減の場合では190億円の費用増となっている。料金単価について同じ比較を行なうと、35年度固定の場合、54銭の引き上げに対して、10%減の場合、7銭の引き上げが必要となっている。

以上みたように、シミュレーション・ケース4の実験による結論として、火力発電設備の規模の拡大は、電気事業経営の安定化に大きく貢献したということがいえよう。

シミュレーション・ケース5：資金調達シミュレーション

電気事業の資金調達は、自己資金と外部借入によって達成されてきたが、電気事業はその建設資金が長期間にわたり固定化し、しかも回転が遅いという性格から、長期かつ低利の良質な資金の調達が特に問題となってくる。以下では

資金調達源のうち、自己資金から増資を、外部資金から開銀資金をとりあげて実験を行なって結果について検討する。

最初に、増資を36年度以降、実績値の10%増とした場合に主要内生変数がどのように変化するかを調べる(ケース5-1)。

増資の変化によって、直接影響をうけるのは長期借入金純増である。すなわち、増資が増えると、ほぼそれに相当する額だけ長期借入金純増が減少する。それに伴って支払利息も減少する。他方、増資の増加によって、配当→総利益→法人税と波及的にプラス(増加)の効果を与えていく。最終的に、費用を合計すると、表6にみるように、スタンダード・ケースに比べて毎年3~4%コスト増となっている。

ケース5-2は、資金調達源として外部資金から開銀資金を選んでシミュレーションを行なったものである。開銀資金は昭和30年代においてはかなり大きなウェイトを占めていたが、ケース5-2では、「開銀借入金純増が36年度以降なかったとしたら」という想定のもとに実験を行なった。開銀借入金が増えると、増資の場合と同じく、長期借入金純増が変化する。つまり、開銀借入金純増が0となることによって、より資本コストの高い長期借入金が増える。従って、支払利息が増加し、総費用も増える。資本コストの差による総費用の増加額は36~45年度の10年間累計で78億円となる。

表 6 ケース 5-1 増 資 実績値の 10% 増

年度 変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
長期借入金純増 (1) (10億円)	-50.974	73.850	71.051	134,215	-58.321	46.263	-52.477	53.343	116.206	145.487
(2)	-58.708	68.426	69.855	131,547	-62.036	38.738	-53.213	42.284	113.933	134.801
(3)	-7.735	-5.425	-1.196	-2,667	-3.715	-7.524	-0.736	-11.059	-2.272	-10.686
支 払 利 息 (1) (10億円)	74.434	81.794	96.497	112,809	121.592	126.932	132.111	137.996	152.999	173.450
(2)	74.116	80.935	95.366	111,519	120.039	124.917	129.757	135.147	149.612	169.530
(3)	-0.318	-0.859	-1.131	-1,290	-1.553	-2.015	-2.354	-2.839	-3.387	-3.920
配 当 額 (1) (10億円)	27.197	33.378	41.046	43,899	46.904	53.209	56.579	62.132	66.614	74.336
(2)	27.738	34.439	42.299	45,330	48.595	55.406	58.972	65.040	69.858	78.165
(3)	0.542	1.061	1.253	1,431	1.691	2.197	2.393	2.908	3.245	3.829
法 人 税 (1) (10億円)	19.904	27.464	33.234	31,560	33.088	38.359	38.052	43.312	47.240	58.930
(2)	20.387	28.485	34.394	32,729	34.430	40.112	39.829	45.522	49.734	62.196
(3)	0.483	1.020	1.161	1,169	1.342	1.753	1.776	2.209	2.494	3.265
総 利 益 (1) (10億円)	52.009	67.101	78.603	83,184	90.803	106.110	109.377	162.238	134.933	149.874
(2)	53.271	69.594	81.349	86,265	94.584	110.859	114.483	132.677	142.058	158.178
(3)	1.262	2.493	2.745	3,081	3.682	4.850	5.106	6.439	7.124	8.304
総 費 用 (1) (10億円)	551.462	645.217	788.290	823,674	936.678	1,038.491	1,176.327	1,308.243	1,436.258	1,612.898
(2)	553.396	647.635	790.395	826,348	940.175	1,042.969	1,179.729	1,314.376	1,440.877	1,620.229
(3)	1.933	2.418	2.105	2,674	3.198	4.478	3.402	6.133	4.620	7.330
増 資 実績値 35年度 28.241 (10億円)	59.852	58.401	42.001	15.930	28.478	55.411	12.163	63.244	32.507	55.964

表 7 ケース 5-2 開銀借入金純増 36 年度以降なし

年度 変数・単位	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
総 費 用 (1) (10億円)	551.462	645.217	788.290	823.674	936.978	1,038.491	1,176.327	1,308.243	1,436.258	1,612.898
(2)	551.595	645.664	788.966	824.428	937.827	1,039.401	1,177.256	1,309.161	1,437.146	1,614.218
(3)	0.133	0.447	0.676	0.754	0.849	0.910	0.928	0.918	0.888	1.320
長期借入金 (1) (10億円)	251.800	325.650	396.701	530.916	472.595	518.858	466.381	519.724	635.929	781.416
(2)	260.648	350.070	430.662	567.482	513.835	563.184	512.042	564.699	680.693	828.778
(3)	8.848	24.419	33.961	36.567	41.240	44.326	45.662	44.976	44.764	47.362
開銀借入金純増 実績値35年度 10.105 (10億円)	8.984	15.819	9.608	2.539	4.747	3.158	1.412	-0.620	-0.120	2.608

(とみた てるひろ・電力経済研究部)

〈研究ノート〉

公益事業における価格形成と所得分配の公正

富 田 輝 博

まえがき

1. 公益事業の価格形成における効率と公正
2. 最適価格モデル
3. 最適でない価格形成による厚生損失
4. 実証分析
 - 4.1 米国の住宅用電気料金
 - 4.2 日本の電灯料金

まえがき

本研究ノートはつぎの2つの目的をもっている。

第1は、公益事業の価格政策を所得分配の公正との関係で検討することである。公益事業の価格形成原理については多くの議論がなされているが、資源配分の効率性の規準だけでなく、従来価値判断の問題として回避される傾向にあった所得分配に関する公正の規準をも明示的に導入しようという考え方が最近強くなってきた。本ノートで紹介するフェルドスタイン・モデルはその代表例である¹⁾。

第2は、フェルドスタイン・モデルの応用として、わが国の電灯料金について実証分析を試みることである。

1. 公益事業の価格形成における効率と公正

鉄道、水道、ガス、電気事業などのサービス

財の供給には、巨大な固定資本設備が必要である。したがって間接費が大きく、規模の経済が作用するので、これらのサービスは多数の企業により競争的に供給することが困難であり、放任すれば競争が制限されて独占が成立する。そうなると、独占企業は供給を制限して価格を自由に操作して、莫大な独占利潤を獲得しようとする。そこで、このような競争均衡の成立しない産業は免許制による独占企業とし、価格を政府が規制する必要がある。このように、規模の経済が大きい、すなわち費用逓減の傾向が著しいために、制度的に独占を認められるが、政府によって価格を統制される産業を、公益事業と呼ぶことにする²⁾。

公益事業料金の決定原理としては、2つの考え方があり、フルコスト原理（あるいは平均費用の原理）と限界費用価格形成原理である。

フルコスト原理 (full cost principle) は、単位当りの主要費用（原料費、賃金費用などの直接費）を基礎として、それに一定比率を乗じた

1) M. S. Feldstein, [1] "Equity and Efficiency in Public Sector Pricing: The Optimal Two-Part Tariff," *Q. J. Econ.* May 1972. なお、関連論文として、同一著者による [2] "Distributional Equity and the Optimal Structure of Public Prices," *A. E. R.*, March 1972 および [3] "The Pricing of Public Intermediate Goods," *J. Publ. Econ.*, April 1972 も参照されたい。

2) 今井・宇沢・小宮・根岸・村上, 『価格理論Ⅱ』, 46年, pp. 150~151

金額で共通費用（減価償却費、地代、利子などの間接費）をカバーし、さらに利潤のためにある慣例的な比率（適正報酬率）をかけて、それらを合計したフルコストと価格とを一致させるように生産量をきめる、という考え方である。

これに対して、ホテリングによる「限界費用価格形成原理」(marginal cost pricing principle)³⁾は、公益事業以外の産業が競争的であり、価格が限界費用に等しいとすると、公益事業でも価格が限界費用に等しく決められるとき資源配分は最適（パレーと最適）となるという考え方である。

いま、費用通減傾向の著しいある公益事業をとりあげる。図1の DD は、当該サービス財の需要曲線、 AC 、 MC 、 MR は各々、この企業のアverage費用曲線、限界費用曲線、限界収入曲線を示す。このような費用通減産業の均衡解は3種類存在する⁴⁾。

1. 私的独占の場合

独占企業は利潤最大化行動をとるから、限界収入と限界費用とが等しくなる水準で生産する。従って、産出量は Q_1 、価格は P_1 であり、このときには $MABP_1$ だけの独占利潤が発生する。

2. 独立採算制の場合

政府の規制により、平均費用に価格が等しくなるように価格を決めるから、価格と平均費用とが等しくなる Q_2 が産出量で、価格は P_2 となる。

3. 限界費用価格形成原理の場合

限界費用曲線と需要曲線とが交わる点 H によって与えられる産出量 Q_3 、価格 P_3 が最適であることを主張するものである。

効率性の基準からすれば、第三の解が正当である。すなわち、独占のときの総余剰は、独占

公益事業における価格形成と所得分配の公正

利潤 ($MABP_1$ の部分) と価格 P_1 に対応する消費者余剰の和に等しい。これに対して、独立採算制の場合の総余剰は、価格と限界費用の差を Q_1 から Q_2 まで積分した MISR の面積の分だけ増大する。限界費用原理の場合は、総余剰はさらに IHS の面積だけ増加する。従って、第三の均衡解の総余剰が最も大きい。

しかしながら、限界費用価格形成の場合、価格 P_3 は平均費用以下となるので、 EHP_3F だけの損失（赤字）が生じる。これは限界費用価格形成原理による料金政策の重要な問題点である⁵⁾。

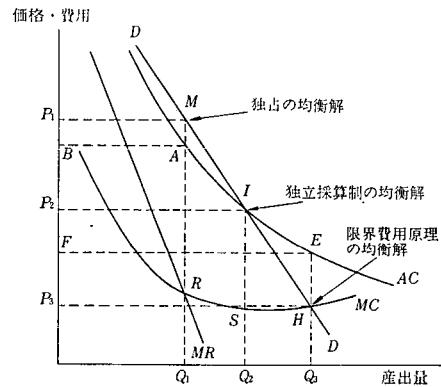


図1 費用通減産業の均衡解

ホテリングによる解法は、使用量単位当り料金と使用量と関係しない固定料金から或る二部料金制を作り、単位当り料金を限界費用に等しく設定することによって生ずる赤字は、固定料

3) H. Hotelling, "The General Welfare in relation to problem of Taxation and of Railway and Utility Rates," *Econometrica*, July 1938

4) 今井他 (前掲書), pp. 151

5) 限界費用価格形成原理のもう一つの問題点は、いわゆる「次善問題」(second-best problem)が発生することである。すなわち、公益事業以外の他産業で競争が不完全なため価格と限界費用とが分離している場合には、公益事業において限界費用に等しく価格を定めることが望ましいことは必ずしもいえないことである。これについて詳しくは、R. Rees, "Second-Best Rules for Public Enterprise Pricing," *Economica*, Aug. 1968 および R. Turvey, *Economic Analysis and Public Enterprise*, 1971, Chap 3 を見よ。

金として、政府の一括固定額税 (lump sum tax) を財源とする補助金によって回収すべきであるというものである。

このような解法は、論理的には疑いようがないが、受益者負担の原則が崩れ、所得分配に変化が生じる。なぜなら、当該財を消費しない人が租税を負担することがありうるし、消費したとしても消費によって得られる消費者余剰と異なる租税を支払う人が出てきて、所得分配について中立的となりえないからである。

厚生経済学では、資源配分と所得分配の問題についてどのように考えているのだろうか⁶⁾。新厚生経済学によると、規範的分析の手続を次の2つに段階に分ける。第1は、パレート最適点を探し出す、あるいは、問題の状態がパレート最適であるか否かを確める、という段階である。この段階は「資源配分の効率性の分析」と呼ばれる。

第二の段階は、無数のパレート最適な状態を相互に比較する、という段階である。この段階を「所得分配の分析」と呼んでいる。

公益事業の料金決定、公害対策など具体的な政策提案にあたっては、ホテリングの解法で指摘したように、結局のところ、資源配分上の解決と所得分配上の解決との両方を含んでいなければならない。新厚生経済学での二分法は解法上の二分法ではなく、概念を整理する上での二分法である。このように区別したことの意味は、パレート最適という資源配分に関する比較的受け入れやすい価値判断と所得分配に関する受け入れ難い価値判断とを区別し、たとえば、後者については複数個の候補を用意して前者と組み合わせ、それぞれの組合せあるいはメニューについて分析を試みることができる、という点にあるのである。

以下に提示するフェルドスタイン・モデルはこのような考え方を背景としたものである。すなわち、従来の効率性基準にのみ依拠する価格政策から一步進んで、所得分配に関する公正の規準も明示的に考慮した価格決定モデルである。さらに、フェルドスタイン・モデルのもう一つの特色として、実証分析を意図したオペレーショナルな価格形成ルールを導出した点を挙げるができる。

2. 最適価格モデル

今、所得 y の家計が価格 π のときに消費する量を $q(\pi, y)$ 、その場合の消費者余剰を $s(\pi, y)$ であらわす。そして家計所得の分布は相対密度関数 $f(y)$ であらわされるとする。総家計数を N とすると、所得が y の近傍の家計数は $Nf(y_0)dy_0$ である。したがって、価格が π のときの純消費量は

$$(1) \quad Q = N \int_0^{\infty} q(\pi, y) f(y) dy$$

となる。そして $C(Q)$ を Q を供給するための総費用とすると、各家計毎の年当りの固定費用は、

$$(2) \quad A = \frac{C(Q) - \pi Q}{N}$$

である。価格 π で購入するために、固定費用を支払う家計の純消費者余剰は

$$s(\pi, y) - A = s(\pi, y) - \frac{C(Q) - \pi Q}{N}$$

である。

この純消費者余剰の値は金額で測定されており、消費者余剰の集計のためには、消費者余剰のウェイトづけを行わなければならない。そこで、今、所得 y の家計にさらに一円の所得の増加が生じた場合にその一円のもつ限界社会的

6) 今井他 (前掲書), pp. 223~226

効用 $u'(y)$ を考えよう。これは、家計所得の限界増加に対応する社会的厚生関数 ω の限界増加とも解釈できる⁷⁾。この $u'(y)$ でウェイトづけすると、消費者余剰の集計値は、

$$(3) \quad V = N \int_0^{\infty} f(y) u'(y) \left\{ s(\pi, y) - \frac{C(Q) - \pi Q}{N} \right\} dy$$

となる。

さて、 π に関して V の最大値を求めるため、一階の条件を導出すると次のようになる。

$$(4) \quad N \int_0^{\infty} f(y) u'(y) \left[\frac{\partial s(\pi, y)}{\partial \pi} \right] dy = \left[\left(\frac{\partial C}{\partial Q} - \pi \right) \frac{\partial Q}{\partial \pi} - Q \right] \int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy$$

$\frac{\partial s(\pi, y)}{\partial \pi} = -q(\pi, y)$ を用いて⁸⁾、(1) 式の Q を (4) 式に代入すれば、

$$(5) \quad \int_0^{\infty} f(y) u'(y) q(\pi, y) dy = \left[\left(\pi - \frac{\partial C}{\partial Q} \right) \frac{\partial Q}{\partial \pi} \frac{1}{Q} + 1 \right] \int_0^{\infty} f(y) q(\pi, y) dy \int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy$$

すなわち、

$$(6) \quad \left[\frac{\pi - \partial C / \partial Q}{\pi} \right] \left(\frac{\partial Q}{\partial \pi} \frac{\pi}{Q} \right) = \frac{\int_0^{\infty} f(y) u'(y) q(\pi, y) dy - \int_0^{\infty} f(y) q(\pi, y) dy \int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy}{\int_0^{\infty} f(y) q(\pi, y) dy \int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy}$$

となる。

(6) 式の左辺は、①最適価格が限界費用を超過する分を最適価格で割ったものと、②最適価格で評価した需要の価格弾力性との積である。価格弾力性は負であるから、最適価格が限界費用を超えるのは、右辺が負の場合に限られる。右辺の分母の2つの積分値は両方共正であるから、分母は明らかに正である。分子は、消費量 $q(\pi, y)$ と限界社会的効用 $u'(y)$ との共分散である。普通財（すなわち所得の増加と共に、需要が増加する財）で、通常の経済厚生上の仮定（限界社会的効用は所得が上るにつれて下る）の下では、共分散は負である。従って、最適価格は限界費用を超過する。この論理の意味するところは、限界費用以上の料金を課すことによって、高所得家計により大きな固定費を分担させるということである。そして限界費用価格によらないため生ずる非効率性は、分配上の公正における利得によって相殺される。

明示的でオペレーショナルな最適価格のルー

ルを求めるために、家計の需要を、次のように容易に推定できる関数であらわすことにしよう。

$$(7) \quad q = \alpha y^\alpha p^\beta$$

ここで、 α 、 β は各々、需要の所得弾力性、価格弾力性である。また、総費用関数は次のようにあらわそう。

$$(8) \quad C(Q) = F + mQ$$

m は限界費用である。(7)、(8) 式を (6) 式に代入すると、

$$(9) \quad \left[\frac{\pi - m}{\pi} \right] \beta = \frac{\int_0^{\infty} f(y) u'(y) y^\alpha dy}{\int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy \int_0^{\infty} f(y) y^\alpha dy} - 1$$

となる。 $\frac{\int_0^{\infty} f(y) u'(y) y^\alpha dy}{\int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy \int_0^{\infty} f(y) dy} = D$ とお

7) $u'(y) = \left(\frac{\partial w}{\partial u} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$

8) J. R. Hicks, *Value and Capital*, 2nd ed. 1946, Chap 3 を見よ。

くと、 D は価格決定問題における分配パラメータである⁹⁾。(6)式を π に関して解くと、

$$(10) \quad \pi = \frac{\beta}{\beta - (D-1)} m$$

となる。最適価格は限界費用に比例する。上に述べたように、普通財では、 $D-1$ は負である。 β も負であるから、最適価格は限界費用を超過する。相対的に最適価格が限界費用を超過する分 $\left(\frac{\pi}{m}\right)$ は、需要が弾力的でなくなるに従って、増加する。なぜなら、 π/m を β で微分すると、

$$(11) \quad \frac{\partial(\pi/m)}{\partial\beta} = \frac{-(D-1)}{[\beta - (D-1)]^2} < 0$$

となるからである。同様に、 $D-1$ が0より小さくなるに従って、すなわち、需要の所得弾力性が増加するか、限界社会的効用が減少するに従って、 π/m は増加する。なぜなら、

$$(12) \quad \frac{\partial(\pi/m)}{\partial D} = \frac{\beta}{[\beta - (D-1)]^2} < 0$$

だからである。

そこで、次に、オペレーショナルな π を求めるには、 D を特定のパラメータで評価する必要がある。そのためには、 $u'(y)$ と $f(y)$ を特定化しなければならない。

限界効用関数の弾力性が一定、すなわち、 $u'(y) = y^{-\eta}$ というパラメータが1個の関数形は、政府の規範的な判断をあらわすには便利であり、直感的にも自然である¹⁰⁾。この弾力性 η が大きいほど、低所得家計の消費者余剰に対するウェイトは大きくなる。

そうすると、分配パラメータは次のように書くことができる。

$$(13) \quad D = \frac{\int_0^{\infty} f(y)y^{\alpha-\eta} dy}{\int_0^{\infty} f(y)y^{\alpha} dy \int_0^{\infty} f(y)y^{-\eta} dy}$$

$y^{\alpha-\eta} = \exp[(\alpha-\eta)\log y]$ と書き換えると、 D

の分子は、ダミーのパラメータ $\alpha-\eta$ をもつ $\log y$ の積率母関数に等しい。同様に、分母の各積分はそれぞれ、ダミーのパラメータ α 、 $-\eta$ をもつ $\log y$ の積率母関数である。

所得の分布を近似するには、対数正規分布がこの場合特に適切である。 y が対数正規分布すると、

$$(14) \quad \int_0^{\infty} f(y)e^{\alpha \log y} dy = \exp\left[\alpha Y + \frac{1}{2} \alpha^2 \sigma_Y^2\right]$$

ここで、 Y および σ_Y^2 は $\log y$ の平均と分散である。(13)式の他の項もこのようにあらわして整理すると、

$$(15) \quad D = \exp[-\alpha\eta\sigma_Y^2]$$

ところで、 $\log y$ は対数正規分布するから、 y は平均 $\mu = \exp\left[Y + \frac{1}{2}\sigma_Y^2\right]$ 、分散 $\sigma_y^2 = \exp[2Y + \sigma_Y^2]\{\exp[\sigma_Y^2] - 1\}$ となる。従って、 σ_Y^2 を μ と σ_y^2 であらわすと、

$$(16) \quad \exp[\sigma_Y^2] = 1 + \frac{\sigma_y^2}{\mu^2}$$

となる。所得 y の相対分散 $\frac{\sigma_y^2}{\mu^2}$ を rv とおくと、 D は次のように書きあらわされる。

$$(17) \quad D = (1+rv)^{-\alpha\eta}$$

それゆえ、最適価格は

$$(18) \quad \pi = \frac{\beta}{[\beta + 1 - (1+rv)^{-\alpha\eta}]} m$$

となる。(18)式によって、最適価格と限界費

9) 分配パラメータ D は、フェルドスタイン [2] における分配特性 R と密接な関係がある。すなわち、

$$D = \frac{R}{\int_0^{\infty} f(y)u'(y)dy}$$

ここで

$$R = -\frac{N}{Q} \int_0^{\infty} q(\pi, y)u'(y)f(y)dy$$

である。分配特性 R は各家計の限界社会的効用 $u'(y)$ の、各家計の消費量をウェイトとする加重平均である。
10) このような関数型の特定化は、最適成長の研究においてよく用いられる。例えば、宇沢弘文、「最適経済成長理論の再検討：解説」、理論経済学、Aug 1969を見よ。

用との比率を、規範的パラメータ η 、推定可能な需要パラメータ α および β 、さらに所得分布の相対分散の関数として計算するためのオペレーショナルな定式化が与えられたことになる。(18)式から、所得の相対分散、需要の所得弾力性および限界効用の弾力性の絶対値が上昇すると、最適価格は増加する。これらのパラメータは各々、固定料金を下げるために、どの程度まで効率性を犠牲にしてもよいかを示す尺度である。なぜなら、価格が限界費用とかい離する程、効率は下るからである。

3. 最適でない価格形成による厚生損失

誤った価格形成から生ずる厚生損失を計測するメリットは2つある。第1に、意思決定者が(18)式の最適価格を規定するパラメータに関する不確実性を評価することができる。第2に、現行の価格によって生ずる厚生損失が、価格変更に要する管理的、政治的費用を上回るか否かがわかる点である。

(3)式は価格 π のときの消費者余剰をウェイトづけによって集計したものである。今、 π を最適価格、 p_0 をそれ以外の価格としよう。そうすると、 p_0 のときの厚生損失は次のようにあらわされる。

$$(19) \quad L = N \int_0^{\infty} f(y) u'(y) \{s(\pi, y) - s(p_0, y) - \frac{1}{N} [C(Q(\pi)) - \pi Q(\pi) - C(Q(p_0)) + p_0 Q(p_0)]\} dy$$

ここで、 $Q(\pi)$ および $Q(p_0)$ は価格 π および p_0 での総需要量である。(7)、(8)式を用いて、(19)式を書き換えると、

$$(20) \quad L = N \int_0^{\infty} f(y) u'(y)$$

$$\left\{ \int_0^{\infty} ay^{\alpha} p^{\beta} dp - (m - \pi) \int_0^{\infty} f(y) ay^{\alpha} \pi^{\beta} dx + (m - p_0) \int_0^{\infty} f(y) ay^{\alpha} p_0^{\beta} dy \right\} dy$$

すなわち、

$$(21) \quad L = aN \left(\int_0^{\infty} f(y) u'(y) y^{\alpha} dy \right) \left(\frac{1}{\beta+1} \right) [p_0^{\beta+1} - \pi^{\beta+1}] - aN \int_0^{\infty} f(y) u'(y) dy \int_0^{\infty} f(y) y^{\alpha} dy [(m - \pi) \pi^{\beta} - (m - p_0) p_0^{\beta}]$$

(21)式は金額表示でなくて効用で表わされているから、解釈するのに困難である。分配上の観点を失わずに、厚生損失を金額に変換するために $\int_0^{\infty} u'(y) f(y) dy$ というニューメレータを用いる。そうすると、 $Q(p_0)$ ではかったときの単位当り厚生損失額は、

$$(22) \quad \lambda_1 = \frac{L}{Q(p_0) \int_0^{\infty} u'(y) f(y) dy} = \frac{D}{\beta+1} \left[1 - \left(\frac{\pi}{p_0} \right)^{\beta+1} \right] p_0 - \left[(m - \pi) \left(\frac{\pi}{p_0} \right)^{\beta} - (m - p_0) \right]$$

であり、 $Q(\pi)$ ではかったときの単位当り厚生損失額は、

$$(23) \quad \lambda_2 = \lambda_1 \left[\frac{Q(p_0)}{Q(\pi)} \right] = \lambda_1 \left[\frac{p_0}{\pi} \right]^{\beta}$$

となる。従って、 $\pi < p_0$ なら $\lambda_2 > \lambda_1$ となる。すなわち、最適価格が実際の価格を超える場合、最適需要量は実際の需要量より少なくなり、単位当り厚生損失は大きくなる。

4. 実証分析

4.1 米国の住宅用電気料金

本節では、最適価格形成ルールを住宅用電気料金に適用した例を示す。この例によって、短

期限界費用および長期限界費用の役割についての議論も行なう¹¹⁾。

電気の供給コストには次の3つの要素がある：短期限界費用，長期限界発電費用，総費用。短期限界費用はすべて燃料費である。運転保守の労務費は発電電力量によっては変わらない。長期限界発電費用には，燃料費，労務費，資本費が含まれる，総費用には，配電システムの資本費，運転・保守費が含まれる¹²⁾。

短期限界費用は長期限界発電費用よりはるかに少ない。National Power Survey¹³⁾の推定によると，汽力発電所の長期限界発電費用は0.56セント/kWhである。そのうち，燃料費が0.15セント，労務費が0.04セント，資本費が0.37セント（いずれもkWh当り）となっている。いくつかの計量経済学的研究によると，発電部門で規模に関する収穫逓減が認められているが¹⁴⁾，配電費用がかなりかかるので，長期限界費用は長期平均費用よりはるかに少ない。1964年のマサチューセッツ州におけるkWh当り平均総費用は2.59セントであった¹⁵⁾。従って，長期限界費用0.56セントは平均費用の21%であり，短期限界費用0.15セントは平均費用の6%にすぎない。

次に，住宅用電力の需要関数については，フィッシャーとカイセンが1946年から1957年までの時系列データを用いて，州毎に推定している。マサチューセッツ州については，価格弾力性は-0.345，所得弾力性は0.387である¹⁶⁾。

家計の可処分所得の分布のパラメータについては，1970年の米国の平均値は8,168ドル，標準偏差は6,070ドルである¹⁷⁾。従って，相対分散は0.55となる。

以上で，(18)式より，最適価格 π と限界費用 m との比を限界効用の弾力性 η の関数とし

て表わすことができる。すなわち，効率性と公正に関する組合せ，ないしは政策メニューの提示が可能となったわけである。

$$(24) \quad \frac{\pi}{m} = \frac{\beta}{\beta + 1 - (1 + rv)^{-\alpha\eta}}$$

$$= \frac{-0.345}{0.655 - (1.55)^{-0.387\eta}}$$

これを図にあらわすと，図2のようになる。

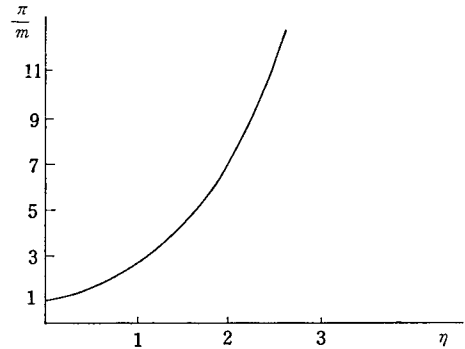


図2 $\frac{\pi}{m}$ と η の関係

m の値としては，発電設備が完全に稼働していなければ，短期限界費用が適切である。 η が

- 11) 本分析では，ピークロードの価格形成については考察しない。
- 12) 長期限界配電費用はゼロと仮定する。
- 13) Federal Power Commission, "Conventional Steam-Electric Generating Stations," *National Power Survey*, part I, 1964
- 14) たとえば，M. Galatin, *Economies of Scale and Technological Change in Thermal Power Generation*, 1968 に多くのサーベイが挙げられている。
- 15) マサチューセッツ州では，1964年の電力販売量は152億5,300万kWh，収入は3億9,550万ドルであった。これはkWh当り2.593セントに相当する。電気事業は規制産業であるから，平均収入を平均総費用の推定値とみなすことにする。
- 16) F. M. Fisher and C. Kaysen, *A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States*, 1962
 需要関数の推定結果は次のとおりである (Fisher-Kaysen, op cit p. 30)

$$d(\log q) = 0.0655 + 0.3865d(\log y) - 0.3451d(\log p)$$

$$(0.1083) \qquad (0.1340)$$

$$R^2 = 0.6268$$
- 17) U. S. Bureau of the Census, "Current Population Reports: Consumer Income," July 1970

0から2までの間の値をとると、最適価格は kWh 当り 0.15 セントから 0.92 セントまでの間の値をとる。これは平均費用 2.59 セントにくらべてかなり小さい値である。

m を短期限界費用としたときの最適価格で需要の超過が生じた場合、需要と設備能力が等しくなるまで、価格を上げねばならない。長期的には、設備能力は長期限界費用をベースとする最適価格での需要に調整される。長期限界費用は kWh 当り 0.56 セントであるから、(24) 式による最適価格は、 η が 1.86 以下の場合、平均費用より小さく、 η が 1.86 の時平均費用に等しい。

次に、最適でない価格形成による厚生損失を (22)、(23) 式より算出すると、表 I のようになる。

表 I 限界費用価格による厚生損失

η	π	λ_1	λ_2
0.00	0.56	0.000	0.000
0.25	0.94	0.002	0.002
0.50	0.73	0.006	0.007
0.75	0.86	0.014	0.017
1.00	1.01	0.027	0.033
1.25	1.25	0.044	0.059
1.50	1.60	0.068	0.098
1.75	2.19	0.101	0.162
1.86	2.59	0.120	0.203

表 I において、 $\eta=1.5$ の場合についてみてみよう。最適価格は限界費用の 2.9 倍、すなわち kWh 当り 1.60 セントである。限界費用価格による厚生損失は kWh 当り 0.068 セント ($=\lambda_1$) または 0.098 セント ($=\lambda_2$) である。マサチューセッツ州の 1964 年の住宅用電力販売量は 51 億 kWh であるから、厚生損失の総額は 350 万ドル ($=\lambda_1$) または 500 万ドル ($=\lambda_2$) である。

マサチューセッツ州の家計は、1964 年に住宅用

電力に 6,600 万ドル費しているから、損失額は相対的には少ないが、料金変更のための管理的、政治的費用をまかなうには十分の額であるといえるかもしれない。

4.2 日本の電灯料金

次に、フェルドスタイン・モデルをわが国の電灯料金に適用しよう。

①長期限界発電費用

「電源開発の現状」によると、わが国の汽力発電所の長期限界費用は、kWh 当り燃料費 1.37 円、労務費 0.13 円、資本費 0.83 円、合計 2.33 円となっている¹⁸⁾。

②長期平均総費用

長期平均総費用としては平均収入、すなわち電灯電力総合単価で代用する。電気事業便覧によると、45 年度は 6.35 円である。

③需要関数

電灯の需要関数の推定結果は次のとおりである。

$$A(\log q) = 0.063 + 0.5385 A(\log y) \quad (1.30)$$

$$-0.5592 A(\log p) \quad (2.23)$$

$$S = 0.026 \quad \bar{R}^2 = 0.248 \quad () \text{ は } t \text{ 値}$$

ここで、 q : 電灯使用電力量

y : 1 人当り可処分所得

p : 電灯料金単価

y と p については消費者物価指数でデフレートされている。データ期間は昭和 31 年度から昭和 45 年度までの 15 年間である。

推定結果より、所得弾力性は 0.539、価格弾力性は -0.559 といずれもわが国の方が米国よりも弾力性は大きい。

④家計所得

18) 通産省公益事業局編「工事中火力発電所発電原価表」『電源開発の概要』45 年版より、東電電力平均

家計当りの年間所得は就業構造基本調査によると、平均 122.3 万円、標準偏差 81.1 万円である。従って、相対分散は 0.44 となる¹⁹⁾。

以上で必要とするパラメータの値がすべて得られたので、各々に対応する最適価格と厚生損失を求めると、表 II のようになる。

表 II によると、わが国では、限界効用の弾性値が 2.23 以下では、最適価格は平均費用より小さく、2.23 で平均費用と等しくなるという結果が得られた。

$\eta=1.5$ のときの厚生損失は、kWh 当り

表 II 限界費用価格による厚生損失 (日本)

η	π	λ_1	λ_2
0	2.33	0.0	0.0
0.5	2.80	0.017	0.019
1.0	3.42	0.078	0.097
1.5	4.28	0.177	0.249
2.0	5.54	0.298	0.483
2.23	6.35	0.397	0.695

0.177 円 ($=\lambda_1$) または 0.249 円 ($=\lambda_2$) である。45 年の電灯需要は 517 億 3,400 万 kWh であるから、総損失額は 92 億円 ($=\lambda_1$) または 129 億円 ($=\lambda_2$) となる。

19) 労働省編『就業構造基本調査』46 年版。米国との比較のためには、可処分所得が必要であるが、所得階層別の個人税率が不明のため、実収入をとった。参考までに 45 年度の勤労者世帯の可処分所得は 127.5 万円、農業世帯の可処分所得は 144.9 万円である。また、最近の勤労者世帯の所得格差についてみると、表 III のとおりである。

表 III 勤労者世帯の所得格差の動向

	実収入のジニ係数	可処分所得のジニ係数
40年	0.1980	0.1836
41	0.2024	0.1865
42	0.2061	0.1906
43	0.1931	0.1796
44	0.1792	0.1670
45	0.1786	0.1668
46	0.1777	0.1660

出所：『国民生活白書』(47 年版) p. 9

(とみた てるひろ・電力経済研究部)

<文献資料紹介>

発電所温排水の都市利用

Use of Steam-Electric Power Plants to Provide Thermal Energy to Urban Areas, Oak Ridge National Laboratory, 1972

根 本 和 泰

本報告書は、合衆国住宅都市開発省の委託調査であり、発電所の排熱利用に関する技術的、経済的評価を行なうことがその目的である。それは次のような5つの部分からなる。

- (1) 排熱利用のための熱併給発電システム（火力および原子力）の設計。
- (2) 発電所の排熱利用の可能性、すなわちグリーンハウスの暖冷房、下水処理、融雪、工業用プロセス熱、空間暖房、温水供給、エアコンディショニングなど、排熱利用の技術的経済的可能性の評価。
- (3) 熱源としての発電所の立地と信頼性、およびその熱生産コストの分析。
- (4) 高温水輸送システムの設計とその輸送コストの分析。
- (5) 熱負荷地としてのモデル都市の設計とその都市の熱需給バランスの検討、およびモデル都市のエネルギーセンターにおける熱生産コストと需要地（住宅地区、商業地区、工業番区など）への熱輸送コストの分析。

通常、発電所の大量の冷却水は、冷却器を通過した後、100°F以下の温度で河川や海洋に放棄されてしまう。しかしこのような多量の排熱の有効な利用方法を考えることによって、貴重な資源（化石燃料）が節約できるだけでなく、

生態系の熱汚染も回避できるのではないかと——といったことが、このような調査の発想されるにいたった契機となっている。

そこで以下において本報告書の概要を紹介しておこう。

熱併給発電プラントからの排熱の利用方式は2つある。そのひとつは、温度95°Fの通常の温排水（冷却水）を利用する場合であり、他のひとつは、蒸気の抽出である。高温の蒸気をタービンから抽出するということは、もちろん発電プラントの発電効率をかなり低下させるが、そのためエネルギー利用全体の効率性は高められるとして、後者の方式をも大胆にとり入れている。かくして熱併給発電方式について、その効率性とか熱放出の特性などが最初に調査されている。

次にいくつかの分野における熱需要についてかなり詳細に検討がなされている。まず代表的な熱需要の項目としては、空間暖房、家庭用温水供給、エア・コンディショニングなど、建築物へのサービスを目的とした温水利用があるが、その負荷は熱輸送コストの低下と発電所のコンデンサーから取り出される熱の減少をいかにトレード・オフするかによって決定されるという。このような建築物へのサービスの他に、熱利用の可能な領域として、工業用プロセス

熱, グリーンハウスの暖冷房, 下水の蒸留, 融雪などもあげられている。特に合衆国の 1980 年代のプロセス熱の需要は約 67.6×10^{14} Btu と推定されており, 熱多消費産業として化学工業 (39%), 石油精製 (22%), 製紙 (18%) および食品加工 (13%) などがあげられている。またグリーンハウスなどの制御された環境の構造物をエーカー暖房するには 100 MW(e) のリアクターが必要であるという。

これらの熱需要に対して, 熱を併給する発電所 (特に原子力発電所) の立地やその信頼性などが検討され, それを前提にして熱生産コストが計算されている。熱生産コストは, 入力を一定とすれば, 熱抽出による出力低減分のコストに等しく, また出力一定とすれば, 増分燃料のコストに等しい。結局, 熱生産の平均コストは 400~1,000 MW(e) の発電所の場合, 30~40 ¢/MBtu であるという。また熱併給のための発電所の規模は, それを利用する都市の年間の電力需要の関数である, としている。しかしこれはまたいくつかの都市に対して大型の発電所を 1 箇所だけ考える場合と, 各都市の近傍に小型の発電所をそれぞれ設置する場合とで異ってくる。

次に温度 300~400°F の高温水を 400 psig の圧力で輸送する場合の, その熱輸送システムの配管設計およびその輸送コストなどが検討されている。特に熱輸送コストについては, 既存の都市における建設費 (実績) にもとづいて, 1 マイル当りの建設費とパイプの直径との関係, あるいは建設費の項目別構成比などが推計されている。

かくして最後に, 架空のモデル都市を考え, そのモデル都市の需要に従って熱と電力を併給する軽水炉のエネルギーセンターを仮定して総

<文献資料紹介> 発電所温排水の都市利用

合的なシミュレーションを行なっている。

このモデル都市において利用される熱の総コストは, 1968 年の合衆国主要 43 都市の熱需給バランスを用いて, 単純に人口規模で比例配分して算出されている。すなわちその平均コストは 142 ¢/MBtu であり, そのうち, 熱生産コストが 36 ¢/MBtu, 熱輸送コストが 106 ¢/MBtu であるという。

なお, 原著の目次は次のようになっている。ただし未翻訳の章節は, (欠) と表示してある。

摘 要

1. 序

2. 熱併給発電システム (欠)

2.1 復水タービン

2.2 背圧タービン

2.3 抽気タービン

2.4 概念の整理

2.5 閉サイクル・ガス・タービン

3. 熱エネルギー利用

3.1 U. S. A. 統計 (欠)

3.1.1 エネルギー統計

3.1.2 電気事業統計

3.1.3 地域暖房会社の統計

3.2 グリーンハウスの暖冷房用排熱および

その他の農業利用 (欠)

3.2.1 排熱の温度条件

3.2.2 排熱の農業生産への影響

3.2.3 デンバー地区におけるグリーンハウス暖房の経済性

3.2.4 フィラデルフィアの気候をもつモデル都市に関する経済計算上の将来予測

3.3 再循環水を得るための蒸留による下水の脱塩 (欠)

3.4 高温水の都市交通への利用 (欠)

- 3.4.1 運転性能の分析
- 3.4.2 他のエネルギー源との比較
- 3.4.3 交通機関の性能
- 3.5 融雪
- 3.6 工業用プロセス蒸気の需要予測
 - 3.6.1 1980年のプロセス蒸気の予測
 - 3.6.2 必要とされる蒸気圧力の評価
- 3.7 空間暖房, 温水供給およびエア・コンディショニング
 - 3.7.1 エアコンディショニング・システムの熱利用条件
 - 3.7.2 建築物の熱エネルギー利用
- 3.8 温度条件と供給熱媒
- 3.9 現在の熱のコスト
- 4. エネルギーセンター (欠)
 - 4.1 原子炉立地
 - 4.1.1 米国および諸外国の立地慣行とその動向の分析
 - 4.1.2 地下または海底立地の可能性
 - 4.1.3 新型リアクターの立地効果
 - 4.1.4 立地とエネルギーセンター
 - 4.2 熱源の信頼性
 - 4.3 エネルギーセンターの概念設計, 排出熱の減少およびそのコスト
 - 4.3.1 設計
 - 4.3.2 排出熱
 - 4.3.3 コスト
 - 4.3.4 比較と結論
- 5. 高温水システムの配管設計とコスト
- 6. モデル都市
 - 6.1 一般的な設計
 - 6.2 地域の熱需要
 - 6.3 地域熱配分システム
 - 6.3.1 輸送システムの設計
 - 6.3.2 供給システムの設計
 - 6.4 エネルギーセンター
 - 6.4.1 設計と負荷
 - 6.4.2 熱生産コスト
 - 6.5 地域熱配分システムのコスト
 - 6.6 他の都市への適用
 - 6.6.1 モデル都市の半分の規模の都市
 - 6.6.2 小都市
 - 6.6.3 1975年都市
 - 6.6.4 人口密度の低い都市
 - 6.6.5 一戸建住宅
 - 6.6.6 居住空間
 - 6.6.7 暖房期間
- 7. 結論と提言

参 照

(ねもと かずやす・電力経済研究部)

<文献資料紹介>

ベトナム共和国電力事情調査団報告書

National Power Survey of the Republic of Vietnam, 1972,
pp. XV+219

川崎 和男 三浦 義文

この報告書は、米国国際開発局 (The United States Agency for International Development) の委託により、米国のベトナム共和国電力事情調査団が実施した調査結果に基づいて同調査団が作成したもので、プロジェクト・ディレクターたるデトロイト・エジソン社の H. Tauber ならびに同社の W. L. Cisler 会長の監修を経て、同会長から、1972年2月15日に米国国際開発局に提出されたものである。

この調査の目的は、発展途上国としてのベトナム共和国の経済的、社会的発展の基盤をなす電気事業の増強計画について、合理的な明確な見通しを樹てるとともに、1986年に至る15年間の電気事業の順当な発展過程を描くことであり、調査団は、電気事業の諸分野における技術、経済の問題を専門とするコンサルタント11人で構成されている。

この報告書の本文は、(1)梗概、結論および勧告、(2)経済事情、(3)エネルギー資源、(4)電気事業の歴史、(5)電力負荷、(6)供給系統の開発、(7)会計、(8)財務管理、(9)料金、(10)ベトナム電気事業委員会 (National Utilities Commission)、(11)経営組織の11章に分かれている。

以下、調査結果の要点となっている、結論および勧告に関する部分を中心としてその概要を

紹介する。

ベトナム共和国の経済事情 (とくに電気事業関係): 電気料金、とくに工業用の料金が高く、工業発展を奨励する点において、現在重大問題になっている。諸工業につき調査した結果、既存の電気事業者から供給を受けるよりも自家発電をする方が経済的であることが判った。

工業に対する明確な計画が欠けているので、将来の工業用電力販売量の推定は、極めて大まかなものとならざるを得ない。ベトナム電力会社 (Vietnam Power Company—VPC) は、その5カ年計画において、1975年の工業用電力を総販売量の50~60%と推定している。適正な工業用料金を設定することとして、工業用電力の割合は1986年には60~70%に増加するものと想定され、1975年の工業用電力需要約30万kWは1987年には156万kWに増加するであろう。

変圧器、碍子および計器に対するVPCの需要の増加率は、これら製品の国内における組立および製造の事業を支えて外貨の有力な節減をもたらすようになるほど、非常に大きいものとなるであろう。そこでVPCはまず、これら諸事業の確立を支援するにふさわしい措置を講ずべきであることを勧告する。更に今後の調査に

よって、VPC の支援が得られる、これら以外の電気に関連する製造および組立の諸工業が現われて来るであろう。

ベトナム経済の将来に関して Development and Resources Corp., N. Y. の共同開発グループがまとめた報告では、ベトナムは外国への継続的依存と外国からの援助なしに経済的独立を達成し得ると結論しており、これは戦乱終了後 10 年以内に達成され、また、この 10 年間に、政府の政策と決断次第で、GNP が年 7% 増加すると想定することは合理的であると言っている。

当初計画として、GNP 7% 増加を基礎とする負荷想定を用いたが、今後 15 年間毎年これに再検討を加え、事情が変わったり新しい情報が正当化された場合には修正されるべきであることを勧告する。GNP 7% の増加で進むと、1986 年のピーク負荷は 268 万 kW と推定され、そのうち 170 万 kW がサイゴン地域、98 万 kW は他の各省の分である。1986 年から 2000 年までの間に、全負荷は 4 倍の 1,100 万 kW に近くなるものと推定することは合理的である。

エネルギー資源：ベトナム共和国には、化石燃料資源は殆ど存在しない。唯一カ所石炭砒があるが埋蔵量は小さく炭質は劣っており、以前ベトナムで使っていた北ベトナム産の無煙炭とは比べるべくもない。石油もガスもまだ発見されておらず、ウラニウムその他の核燃料資源の探査もまだ行なわれていない。

ベトナム共和国は水資源には恵まれており、予備調査の結果包蔵水力は 400 万 kW を超えているので、これを最大限開発することを勧告する。

<文献資料紹介> ベトナム共和国電力事情調査団報告書

包蔵水力地点については十分な水文学的な調査情報が欠けているので、流量測定所と気象記録所を、水力発電の可能性を持つすべての河川とその流域に設置して観測調査を実施することが非常に重要である。

発電目的のための河川の水と貯水の利用可能性を適正に評価するために、灌漑、洪水防御、水流調節、塩水対策その他水のあらゆる用途に関し考慮を加えることが必要である。

はげしい洪水期に河川の沈殿物が流下するのを最小にし、かつ、貯水池の寿命を長持ちさせるために、流域の森林と自然表土の保護をはかるための適切な手段を講ずべきである。

地図による机上調査のほかに、実地調査がなされていない多くの水力地点につき、事情が許すならば踏査を行なうべきであり、これによりさらに詳細に調査すべき有望地点の選択が可能になるであろう。

有望地点については、治安状態がよくなり次第、開発実施可能性の調査を行なうべきである。

長い乾季における渇水とけわしい山間地に大きい貯水池のないために、VPC の必要とする電力は水資源だけですべてを賄うことはできない。水力開発が進めば、平水時には、ベトナムでは負荷の大部分は水力で賄われるが、長い乾季には火力からの応援が必要であろう。

カンボジアにおけるメコン河貯水計画による Sambor プロジェクトのように、ベトナムが乾季の間そこから電力を得、ベトナムの流量が平水以上になった期間に、適当な条件によりベトナムから電力を返戻するという方法の可能性につき研究することを勧告する。

メコン河へ流れ込む支流のいくつかはベトナム国内から発しているので、メコン河に対して貢献しているこれらの水はベトナムの一種の資

産と考えられるべきである。

メコン河開発により計画されている送電系統と連系することにより得られる利益とその機会を十分考慮すべきである。これにより大量の低コストの電力が得られることとなる。

多くの場合、電力以外の便益として灌漑、レクリエーション、洪水防御などが可能となり、これによりベトナムの資源を開発し、大きい雇用の機会を提供することになる。

水力開発の初期においては、治安状態が不安定のために現地調査に長期間を要するという問題がある。火力発電所は水力よりはるかに短期間に建設することができるので、初期においては、たまっている潜在需要にできるだけ早く応ずるためには、水力に代わる唯一のものである。

大火力発電所の地点の選択には、広範な調査が必要であり、負荷の中心に近く、冷却用水の便および大気と水の汚染のことも考えて立地をきめなければならない。

VPC が使用した石油の価格は、棧橋渡し、国内の税なしで、1971 年年央で、0.36 米ドル/100 万 Btu であった。石油価格はその後上昇しており、その影響で、水力計画が経済的により魅力あるものとなっている。

VPC が使うために ベトナム政府に提供される米国の援助資金については、VPC は、政府に約 6% の利子を払う必要がある。3% の利子で VPC が利用して来た資金もいくらかあった。外国銀行は、6% またはそれ以下で貸付を行なっている。VPC には外国為替を扱う権限がないので、外貨の交換はすべてベトナム政府によってなされる。政府が元利の支払を保証しているが、これが 15 年間あるいは VPC の収益力が増して信用状態がよくなるまで続くもの

と仮定する。したがって、水火力の発電、送電、配電等の設備の建設用資金のコストとしては 6% を使用した。また、VPC が株式の発行に代えて借入れをする場合は、市場の金利 18% を用いて計算した。

次の水力開発計画は、経済的と思われるものであり、15 年間の発電計画において、治安状態がよくなり現地調査が可能になった場合に再検討するという条件つきで、以下の順序により進められるべきものである。

水力開発計画	発電設備容量 万 kW
Drayling	1.2
Da Nhim (増設)	10.6
Da Quayon 1 (第 1 期)	27.0
Da Quayon 1 (第 2 期)	27.0
Da Quayon 2	10.0
Tri An	24.0
La Naga (第 1 期)	9.0
Song Ba	15.0
Yali Falls	20.0

電力負荷：ベトナムにおける全発電設備の運転可能総出力は、1970 年で 760,900 kW であり、内訳は VPC 272,900 kW, Societe Indochinoise pour les Eaux et l'Electricite en Annam 25,700 kW, 自家発 106,000 kW, 米軍 325,000 kW およびその他 31,300 kW である。1970 年のサイゴン都市地域のピーク負荷は 187,000 kW で、これが 1971 年の始めには 199,700 kW になったが、設備の不足が原因で同年中の増加はほんの僅かなものである。ベトナムにおいては、電力需要が 1970 年現在、これまでにたまっている供給未達の潜在需要を含め、サイゴン都市地域に 300,000 kW,

その他の各省に 156,000 kW, 合計 456,000 kW あるが、これに対し実際に供給されたのは 246,000 kW に過ぎない。そのうえ、需要家に対するサービスは、極めて劣悪である。

現在供給している電力に比べて、これまでにたまっている供給未達の潜在需要が大きいために、外挿法を用いての負荷の想定は不可能である。そこで、人口、1人あたり収入、および GNP 計画に基づいての計算方法を用いた。GNP 年増加 8%, 7% および 5% を基にして負荷曲線を作り、これを韓国、台湾、タイのような発展途上国の実績負荷曲線と比較してみたところ、7% による負荷曲線がいい相関を示していた。

将来の負荷想定に利用し得る多くの資料を得るために、住宅につき 3, 4 種のタイプ別の使用 kWh, ならびに大小の商業施設および揚水、灌漑、公共建物、街路灯など政府の様々な使用分の kWh に関する情報を収集することを勧告する。また、既存の、および計画中の工業活動ならびに人口趨勢に関する資料も、他の関係ある情報と同様集めなければならない。これらは継続して行なうべき仕事であり、系統の計画、運転およびその他の電力会社の活動のために役立てるために、すべてのデータを継続的に分析しなければならない。

供給系統の開発：今回の調査では 2 つの計画を考察し、さらにその中間に位する第 3 の計画を作った。それらはそれぞれ B 案、C 案、A 案と称することとしたが、第 3 の A 案が、投資資金が余り大きくないので、当初の計画として勧告するものである。しかし、今後さらに資金が許すことになれば、C 案に向かって移行することを勧告する。A 案では 15 年間に必要とする

資金調達額は、発電、送電、配電の諸設備の開発用に 12 億 7,700 万米ドルである。この総額の 70% 8 億 9,500 万米ドルは外資により、30% の 3 億 8,200 万米ドルは国内資金で賄うものとする。A 案は総額において、B 案より 1 億 8,000 万米ドル (16%) 所要額が大きく、C 案より 1 億 800 万米ドル (8%) 小さくなっている。

この長期計画は、今後 15 年間毎年再検討のうえ望ましい修正を加えることが何よりも必要であることを勧告する。この案は、将来に亘る青写真と考えるべきではなく、むしろ新しい資料や技術開発に照らして常に作り直していくべき試作車のようなものである。

諸工業における使用時間の改善により不等率を高めることとし、これにより、1972 年の年負荷率 60% は、1986 年には 65% に高まるものと仮定する。

発電設備の開発計画において用いた基本的な判断基準は、包蔵水力を最も有効に利用することであった。今回の計画においては、濁水で水力発電所の発電力が低下する期間の供給用として、火力発電所を計画することも勧告する。

現在サイゴン都市地域で暫定的に使用中の GM 製ディーゼル発電設備は、Da Nang 地区に逐次移す計画とし、同地に経済的な新発電所の開発を見るまでの間当座の供給用として使用することを勧告する。各省の小さい僻地の負荷用としてのディーゼル発電設備は、現在設置されているものも、建設中のものもかなりあり、これは今後 15 年間についても使うこととする。

米軍で使っていた多数の 60 サイクルのディーゼル発電機は処分することを勧告する。軍と相談したところ、その大部分は米国へ送り返す計画であることが判明した。

水力と火力の発電所からの発生電力を輸送するために大きい送電系統の開発が必要であり、既存の 230 kV 送電線 257 km は、1,375 km に拡大されることになるが、それには 1986 年までに 9,200 万米ドルを要する。15 年で、この 230 kV 系統は、計画されている二次送電線と相俟って、ベトナム全負荷の 97% 以上を受持つこととなる。二次線系統の概算コストは、木柱送電線 2,000 km の増強と配電用変電所 47 カ所の建設を合わせ 5,500 万米ドルである。

送電系統は、逐次経済的に連系させていくこととして、当初はベトナム国内を 4 地域（サイゴン都市地域、Da Nang-Hue 地域、Dalat-Cam Ranh-Phan Rang 地域、Can Tho 地域）に分けて建設を進めることができる。

サイゴン都市地域への適正な配電のために同地域をとりまく 230 kV のループ送電線を作ることを勧告する。

各省の負荷中心地域は現在高いコストのディーゼル発電により局地的に供給を受けているが、中央の系統から供給を受け得る時期が来たらしうすべきである。

配電設備の状態は多くの場合不十分であるが、配電線に直接接続しているディーゼル発電の量が大きいため、変電所の容量には全体としてはゆとりがある。低圧の配電線はすべて三相であるが、その延長が長く、電線が細い結果、各所で電圧低下を起こしている。なお、変圧器を柱上に置かず地上に大きい変圧器を収納する変圧器室を設ける方式 (cabine structure) が行なわれているので、十分な負荷を集めるために配電線の延長が長くなる結果を来たしており、この方式をとり止めることを勧告する。

省の中心部や市の外側の、治安状態のよくな

い田園地域における緊急問題として、1 人当たりの収入が少なく、多くの人びとは自己の土地と収入能力とをとり戻さない限り、電気を使うことができないということがある。

配電の長期計画においては、電気を安全な信頼度の高い経済的な方法で、二次送電系統から最終の消費者まで送るということを最終の目標とし、供給設備は建設し過ぎるということはないことを考え、積極的に建設を進めるべきである。1980 年代およびその後の需要を賄うため必要な設備および投資に比べ、現在の施設は非常に小さく、また、配電方式に関しても改善すべきものが多々ある（配電方式に関する細かい勧告事項省略）。

正規の契約をした需要家が、メーターを通じて供給を受けた電力の一部を第 2 の需要家に不法に転売したり、配電線からメーターを通さずに不法に引込んで電気を擅用する慣習をなくするため積極的な計画が必要である。

環境問題に関連し、火力発電所においては高煙突その他大気汚染防止の措置を講ずるとともに、特にサイゴン地域の将来の大きい火力発電所は、すでにかなり汚染されている地域に汚染の上積みをするにならないよう、立地の選定に留意しなければならない。

また、各国の電気事業は、架空配電線の構造が外観上公共の大きい関心事になっていることを理解して来ており、これも留意に値するところである。

会計：会計業務については、タイムリーに正確な会計データを確実に提供するという観点から、会計手続（特に、減価償却と建設中利子の会計処理）および会計記録について検討した。

調査の結果、VPCの現行の会計制度によって、詳細な会計データを入手することができる。しかし、予算関係については、正式に会計手続が定められておらず、このため、会計情報は十分に活用されていない。料金を適正に定めるには、特に、固定資産記録が不可欠なので、工事命令制度の導入を勧告する。

固定資産の現行の償却率は、平均して年率10%である。既設設備については、今後共この償却率でよいが、1972年以降の新設分については、平均年3.5%の償却率の適用を勧める。

また、建設中利子は費用勘定に直接計上しているが、電気事業会計では、固定資産原価への算入が一般的な会計処理である。VPCにおいても、今後の設備増加にかんがみ、これからは建設費に計上するよう建設中利子の会計処理を改めることが望ましい。

財務管理：財務計画を立案するため、まず、今後15年間の収入、費用および利益を分析・予測し、所要建設資金を設備別に推定した。留保利益を除いた調達所要額は、約13億米ドル（開発計画A案）であり、次いでその調達方法を検討した。VPCは自由世界の各国から設備資金の融資が受けられるようにするため、資本構成の適正化（目標値：自己資本40%、負債60%）に努め、財務内容の充実を図らなければならない。こうした財務政策に基づいて、財務計画の提案を行なった。その際、代替的な資金調達方式による財務計画を併せて提示した。

財務関係のデータ処理に関連して、現有の電子計算機設備および計算業務を調査した。現在の機種（IBM 360/20）は不十分であり、計算センターのスペースおよびその他の諸設備も適切ではない。計算業務も改善すべき点が多く、

計算機要員の増強を図らなければならない。そこで、新しい機種（IBM 370/135）の導入および計算業務の改善を勧告する。

料 金：VPCの現行の電気料金は、均一従量料金であり、これに諸税および諸種の賦課金が課せられている。料金は、電灯、低圧電力および中圧電力の3つの種別に大別される。単価は、低圧電力が電灯の0.9倍、中圧電力は電灯の0.8倍である。

将来、VPCはブロック料金を採用することを勧告する。しかし、いま直ちにこのような料金体系に移すべきではない。開発計画A案によれば、VPCの料金は、全般的にみて、今後15年間にかなり低下する（1972年の3.4米セントから1986年の1.9米セント）。料金制度の改正は、料金水準がある程度まで低下した時点で行なうことが望ましい。新しい制度では、供給種別は、(i)低圧電灯・電力および(ii)工業用電力に大別されるであろう。低圧電灯・電力は、更に、住宅用と商業用に細分されるかも知れない。VPCは、このような料金制度の改正を行なうため、それに先立って、必要なデータを十分整備することが肝要である。

工業用負荷は、現在、その大部分が自家発によって賄われている。VPCは、まず工業用の電気料金を改訂し、自家発よりも安く良質の電気を供給するようにしなければならない。

電気事業委員会：ベトナム電気事業委員会（NUC）は、1968年9月に法令によって設立された。そこで、委員会の人事、職務および財務などを規定した法令ならびに委員会の活動状況を調査した。NUCは公共事業省の一機関であり、委員は3名で、総理大臣が任命する。

NUC は、創設以来、電気事業の事業経営ならびに事業計画を調査および審査し、電気事業に関する諸問題について事業規制を行なってきた。このうち、当委員会の主たる活動分野は料金規制を行なうことである。

NUC は、そもそも電気事業の経営から独立した規制機関であるが、執行的な業務を一部担当している。このような業務は、できるだけ速やかにしかるべき他の機関に移すことを勧告する。

ベトナム共和国全土に亘って電気事業の監理を行なうためには、経験を十分積んだ有能な専門スタッフが必要である。しかし、現状では、これらのスタッフは著しく不足しており、また、NUC の現在の財政事情からみても、これらのスタッフの採用は困難である。一般的にみて、NUC は財政的に余裕がない。

NUC の活動はまだ初期の段階にあり、今後とも助言・勧告し、委員会活動を援助することが必要である。

経営組織：VPC は、1970年1月に、サイゴン電力とベトナム電力との合併によって新設された。したがって、設立後まだ日が浅く、経営組織および人事管理についても、改善すべき点がある。

合理的な経営組織を形成するには、責任と権限の明確化によって組織の秩序を維持すると共に、各人に対して単一の専門化した活動のみを担当させることが必要である。そこで、VPC の経営組織の沿革（合併前を含む）および現在の組織運営の状況を調べ、組織形成に関するこれらの基本原則に基づき、新しい経営組織の提案を行なった。この新しい組織の提案に当たっては、供給系統、財務および人事に関するプランニング・グループの専門化ということを重視した。VPC は、今後急速に設備の拡充を行なわなければならないので、このことは特に重要なことである。

VPC は、系統設備の増強、新鋭機器の導入に照応して、建設、運転および保守の要員の確保ならびに訓練に更に努力しなければならない。これと同じことが、コンピューターおよび料金の分野についてもいえる。また、ミドル・マネジメントに関する訓練計画を策定することが必要である。

モチベーション、昇進、賃金・給料の管理および人事に関するその他の諸問題は、勤労意欲に大きな影響を及ぼすので、人事管理を再検討する必要がある。

(かわさき かずお、みうら よしふみ・資料室)

経済研究所既刊 論文・資料

電力経済研究

No. 1	電研マクロ・モデル：1958.Ⅰ～1968.Ⅳ 電力需要予測モデル 電気事業の企業モデル 大規模広域利水計画 (文献紹介) ラフル・ターベイ：「電力供給の最適価格形成と最適投資」 (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」	内田・建元 大沢・内田・斎藤(観) 大沢・内田・富田 本間・高橋(和)・瀬尾 川崎 和 男 星野 正 三	47. 8.
No. 2	エネルギーと原子力 人間環境システムの一般理論をめざして 数理計画法最近の話題 過疎化過程の分析 (研究ノート) アメリカの国際収支動向(1950～69)に関する研究ノート (文献紹介) セルジュ＝クリストフ・コルム：最適公共料金 米国「環境の質に関する委員会」第3回年次報告	高橋 実 天野 博 正 今野 浩 根本・荒井・直井 斎藤 隆 義 斎藤 雄 志	47. 12.
No. 3	本 号	資 料 室	48. 7.

経済研究所研究報告

No. 70001	日本経済の成長と外国貿易 —モデルと予測—	矢島(昭)・内田	45. 10.
70002	燃料油の低硫黄化対策とその経済的効果	大沢・小川・内田・斎藤(観)	46. 1.
72001	双線型計画法：第一部 双線型計画アルゴリズム	今野 浩	47. 3.
72002	双線型計画法：第二部 双線型計画法の応用	今野 浩	47. 3.
72003	過疎化過程の分析	根本・荒井・直井	47. 7.

電力需要指標

四半期刊

短期経済動向分析

四半期刊

翻訳双書

No. 1	ユニベデ第15回大会報告集 第1分冊	経済研究所・ 技術第一研究所・ 情報処理研究センター	46. 2.
2	” ” 第2分冊		
3	” ” 第3分冊		
4	” ” 第4分冊		
5	フランス電力公社の“Investment '85”モデル		

6	溶融塩炉論文特集	高橋研究室	46. 9.
7	環境の質に関する報告書「環境の質に関する委員会」第2回年次報告	経済研究所	46.10.
8	2000年に至る間のエネルギー事情の変化	荒井泰男	47. 6.
9	電力供給の最適価格形成と最適投資	経済研究所	47. 6.
10	最適公共料金	山崎・荒井	47. 7.
11	環境の質に関する報告書「環境の質に関する委員会」第3回年次報告第1分冊	資料室	47.10
12	ピークロードの価格形成と最適設備能力	川崎和男	47.11
13	環境の質に関する報告書「環境の質に関する委員会」第3回年次報告第2分冊	資料室	47.12

内部資料

No.	1	産業構造と公害に関するメモ	小川洋	46. 4.
	2	バツテル研究所における経済技術予測について（抄訳）	小川・斉藤(雄)	46. 4.
	3	自由企業の在り方	斉藤統	46. 4.
	4	大規模企業の経営理念アンケート案およびこれの経過報告	斉藤統	46. 4.
	5	利根川下流部の運河化による水総合開発計画	本間尚雄	46. 4.
	6	未開発水力地点の調査	山口定一	46. 4.
	7	DENKEN マクロ・モデルの構成	内田・大久保・植木	46. 4.
	8	技術進歩と産業立地	水無瀬綱一	46. 4.
	9	環境問題文献目録	資料室	46. 3.
	10	低硫黄原油の新供給源としてのアラスカおよび北極圏地域の将来	星野正三	46. 5.
	11	西独経済社会発展の要因と将来への展望	天野博正	46. 6.
	12	四国における過疎化過程	直井・根本・佐久間・荒井	46. 6.
	13	同時推定法プログラムⅡ	大久保泰江	46. 7.
	14	世界一次エネルギー需給予測図表	池島晃	46. 8.
	15	日本エネルギー需給予測図表	池島晃	46. 8.
	16	大気汚染と人間の健康	服部恒明	46. 8.
	17	組織の理論と組織のイノベーション	斉藤(統)・大森	46. 9.
	18	戦後における電気事業発展の計量分析	電力経済研究部	46. 9.
	19	江戸時代の庶民の金銭、財産観についての一考察	斉藤研究室	46.10.
	20	環境条件に関する経済学（翻訳）	服部恒明	46.10.
	21	地域別の電灯電力需要構造	植木滋之	46.10.
	22	貧困と環境汚染に関する6つの命題（翻訳）	服部恒明	46.12.
	23	2000年に至る間のエネルギー事情の変化（翻訳）	荒井泰男	46.12.
	24	人類破滅の危機迫る一すべての成長曲線は崩壊に終わる（翻訳）	三浦義文	47. 1.
	25	関東地方における水資源の広域利用	高橋和助	47. 1.
	26	わが国における公益事業政策の生成過程にみる公益事業統制方式の特質と問題点	矢島正之	47. 1.

27	人口危機を解決する3つの途 (翻訳)	三浦 義文	47. 2.
28	環境問題のための評価方法について	天野 博正	47. 2.
29	環境問題の解決に資する原子力 (翻訳)	石垣 用大	47. 3.
30	過疎化過程の分析	根本・荒井・直井	47. 3.
31	環境問題の基本的な考え方	三浦 義文	47. 3.
32	経 済 見 通 し	内 田・植 木	47. 5.
33	過疎化過程の分析	根 本・荒 井	47. 5.
34	大規模システム最適化と特殊構造をもつ数理計画問題	今 野 浩	47. 6.
35	南イタリヤに対する開発政策 (翻訳)	矢 島 正 之	47. 6.
36	環境問題におけるデータについて	天 野 博 正	47. 6.
37	アメリカの国際収支動向に関する研究ノート・信用論の方法	斉 藤 隆 義	47. 6.
38	欧州諸国における電気事業の組織 (翻訳)	大島・鷺山・川崎・ 高橋(真)・三浦	47. 6.
39	環境分野における米国電気事業のPR活動 (翻訳)	三 浦 義 文	47. 7.
40	原子力と産業・広域融雪	高 橋 実	47. 7.
41	電力施設に伴う放送受信障害に係る損失補償について	三 辺 夏 雄	47. 7.
42	電力会社の財産形成に関する意識調査(中間報告)	浅 野 友 子	47. 8.
43	東京瓦斯の料金値上げをめぐる	川崎・高橋(真)・ 森田	47. 8.
44	日本経済の課題	大 沢 悦 治	47. 8.
45	四日市判決について (資料)	大 島・三 浦	47. 8.
46	西ドイツの電気供給事業の20年	斉 藤 統	47. 9.
47	海水淡水化と自然水との競合関係	熊 倉 修	47. 10.
48	ピークロードの価格形成と最適設備能力	川 崎 和 男	47. 10.
49	オーストラリアの計量モデル —「日本経済の国際化」中間報告1—	服 部 恒 明	47. 10.
50	減価償却と生産費の計算	斉藤(統)・廿日出	47. 9.
51	組織のイノベーション序説	大 森 賢 二	47. 9.
52	情報理論的接近による多変量予算統制のシステム設計	竹 森 一 正	47. 11.
53	短期経済動向分析	矢 島 昭・植 木	47. 11.
54	人類はその所有する諸機構をコントロールできるか	技術経済研究部	47. 12.
55	発電所温排水の都市利用	経 済 研 究 所	48. 3.
56	企業合併における評価の問題	廿 日 出 芳 郎	48. 3.
57	基盤の産業の知識集約化に関する研究	経 済 研 究 所	48. 3.
58	電力原価変動要因の分析	大 沢・矢 島(正)	48. 4.
59	西ドイツの補助電力および予備電力の価格規定の作成の基礎	斎 藤 統	48. 4.
60	産業組織と資源保全	今 井 賢 一	48. 4.
61	環境基準と発電所の立地	根 本 和 泰	48. 4.
62	電源立地の環境科学的考察について	経 済 研 究 所	48. 4.

63	電気事業の企業モデルによるシミュレーション	富田輝博	48. 4.
64	公共性の概念	斎藤統	48. 5.
65	電源立地の環境科学的考察 中間報告1	水無瀬綱一	48. 5.
66	電気事業関連年表(明治以前一大正3年)	本間・小野沢・ 高橋(和)	48. 7.
67	実態調査からみた日本およびアメリカの企業合併	廿日出芳郎	48. 6.
68	過疎化過程の分析 第1部	荒井・熊倉	48. 7.
	同 第2部	根本和泰	48. 7.
69	企業の社会監査と外部報告	廿日出芳郎	48. 7.
70	ヨーロッパの電気料金の構造	斎藤統	48. 7.
71	電力労働者の意識構造	大沢・小田島	48. 7.

エネルギーと原子力（その2）

高橋 実

電力経済研究 No.3 (1973.7) p.1~27

1980年か1981年頃、石油の消費量（世界）は石炭の2倍となり、またすべてのエネルギーを合計した総エネルギーの1/2に達するであろう。この石油資源に枯渇問題があることは、世界経済それ自身に枯渇問題があることを意味する。産業構造の考え方からすると、石油エネルギー主導型の産業構造を原子力エネルギーで置換しうる範囲は、現在の技術では限定されたものであり、原子力は主として電力として供給されるので、電力需要の範囲内だけしか、総エネルギーおよび総生産に対するの寄与を期待し得ないことになる。この範囲を超えて原子力エネルギーの寄与を拡大するには、産業構造を漸次転換してゆくとともに、原子力エネルギーを石油型産業構造に適した燃料（例えば水素燃料）に転換する方法も開発されねばならない。これらの巨大な構造的変化が、石油エネルギーの枯渇にもし間に合わないときには、石炭のガス化などがそのギャップを埋めることになる。

電力中央研究所

全国四地域計量モデル

斎藤観之助・熊倉 修・阿波田永積

電力経済研究 No.3 (1973.7) p.61~76

この論文は、地域間の公共投資の配分問題を解くために、シミュレーション実験用を開発した「全国四地域計量モデル」の基本的な考え方およびその推定結果について述べたものである。地域区分は東日本、首都圏、中日本および西日本の四地域となっており、各地域の経済活動は、他地域との相互依存関係を保ちながら、モデルの中で同時に決定されるようになっている。このモデルは定義式を含めて214本から成る非線型連立方程式体系となっている。なお観察期間は昭和35年度から昭和45年度までの11年間である。

電力中央研究所

電研マクロ・モデル 1972

矢島 昭

電力経済研究 No.3 (1973.7) p.29~60

本報告は、昭和46年以降、当研究所で日本経済の分析に使用してきた、電研モデル1972年版を提示し、そのパフォーマンスを検討する。まず、第1節で、モデルの安定性を、解の一義性、最終テストの追跡力、動学乗数および固有値にそくして吟味する。第2節ではこのモデルに関するいくつかの問題点について若干のコメントをのべる。付録にはモデルの方程式体系と変数表を一括しておく。

電力中央研究所

あいまいな量の計測と処理をめぐって

斎藤 雄志

電力経済研究 No.3 (1973.7) p.77~91

社会システムのような複雑、大規模なシステムの構造をとらえようすると各種のあいまいな量の計測と処理が問題になる。本稿の目的はあいまいな量の計測・処理技術のもつ有効性と限界を論ずることである。まず最初に、あいまいさの概念とランダム性の概念の違いを明らかにし、あいまいさのもつ基本的性質について述べている。つぎに、あいまいなシステム、つまり、十分な統計的データが存在しないために計量モデルが構築できないようなシステムのシミュレーションのもつ問題点を明らかにする。とくに、近年話題になっているシステムダイナミックスのもつ問題点やあいまいなシステムのシミュレーションにおける計算結果の偽の信頼性の問題、確率的有限オートマトンによるあいまいなシステムのシミュレーションなどについて述べている。さらに、あいまいなシステムの最適化における人間の直観の利用、Fuzzy集合を用いたあいまいなシステム最適化問題、ソフト・サイエンスにおけるあいまいな量の処理などについて論じている。

電力中央研究所

混合型整数計画法による発電所の最適建設計画の作成

小川 洋・大山達雄

電力経済研究 No. 3 (1973. 7) p. 93~109

この論文は、発電所建設のための将来の長期にわたる設備投資計画を作成するに際して 0-1 タイプの混合型整数計画法を適用した場合の研究結果をまとめたものである。

需要制約条件、整数に関する制約条件を充足し、資本費と燃料費の総和としての発電コストの現在価値を最少化することを目的とする定式化モデルに関する説明、およびこのモデルを現実の問題に応用した場合の計算結果は、1、2章に述べてある。3章では、このモデルを使用するに際して手間の省略化、手順の簡略化、分析の容易化などをはかることを目的として開発したプログラムに関して、その作成の目的、概略、使用方法、使用例を述べてある。

電力中央研究所



公益事業における価格形成と所得分配の公正

富田 輝 博

電力経済研究 No. 3 (1973. 7) p. 119~127

この研究ノートの目的は2つある。第1は、公益事業における価格形成問題を所得分配の公正との関係で検討することである。公益事業の価格形成原理については多くの議論がなされているが、資源配分の効率性の規準だけでなく、従来価値判断の問題として回避される傾向にあった所得分配に関する公正の規準をも明示的に考慮しようという考え方が最近強くなってきた。本ノートでは、このような考え方に基づくフェルドスタイン・モデルを提示し検討する。

第2は、フェルドスタイン・モデルの応用として、わが国の電灯料金について実証分析を試みることである。

電力中央研究所



電気事業の企業モデルによるシミュレーション

富田 輝 博

電力経済研究 No. 3 (1973. 7) p. 111~118

さきに「電気事業の企業モデル」(電力経済研究, No. 1, 1972年8月)を発表したが、本研究ノートは、この企業モデルを用いて若干のシミュレーション実験を行った結果についての分析である。

シミュレーション分析は、与件変数に関して3ケース(消費者物価、燃料単価、他社購入電力量)、政策変数に関して2ケース(火力発電設備投資、資金調達)の合計5ケース行なった。

シミュレーション実験の期間は昭和36年度から昭和45年度までの10年間である。

電力中央研究所



電力経済研究 No.3

1973年7月25日 印刷発行

発行所 財団法人 電力中央研究所
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

印刷：藤本総合印刷株式会社

ECONOMICS & PUBLIC UTILITIES

No. 3

Jul 1973

- Energy and Nuclear Power (2) *Minoru Takahashi*(1)
- DENKEN Macro-econometric Model: 1972 Version
Akira Yajima(29)
- A Multi-regional Econometric Model of the Japanese Economy
Kannosuke Saito, Osamu Kumakura
Hozumi Awata.....(61)
- On Measurement and Treatment of Fuzzy Quantities
Takeshi Saito.....(77)
- Generation Planning Programs by Mixed Integer Programming
Hiroshi Ogawa, Tatsuo Oyama.....(93)

NOTES

- Simulations with An Econometric Model of Electric Power Industry
Teruhiro Tomita(111)
- Efficiency and Equity in Public Utility Pricing
Teruhiro Tomita(119)

COMMENTS

- Use of Steam-Electric Power Plants to Provide Thermal Energy
to Urban Areas *Kazuyasu Nemoto*(129)
- Report of the National Power Survey Team on the Republic of Vietnam
Kazuo Kawasaki, Yoshifumi Miura(133)
-

ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE (ERI)
CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY (CRIEPI)
6-1, 1-chome, Otemachi, Chiyodaku, Tokyo, Japan