Group Method of Structural Modeling による計量経済モデル[†]

両 部 實*・榎 木 義 一**

The Econometric Model by Group Method of Structural Modeling

Minoru RYOBU* and Yoshikazu SAWARAGI**

Since their first publication, A. G. Ivakhnenko and his group have shown the usefulness and applicability of the basic GMDH (Group Method of Data Handling) in the construction of most complex models. But those models are often criticized as being based on a vulnerable and insufficient theory. And so the basic GMDH is not made full use of, though this new method has many advantages for the analysis of a complex system.

In this paper we propose GSM (Group method of Structural Modeling) including the basic GMDH method in it. This is a process which is structured by "Control Matrix" imposing some restrictions on the GMDH calculation, "ISM" (The Interpretive Structural Modeling; this was originated by J. N. Warfield to understand easily total relations among variables of a complex system) and "Man's Judgement" by a theory of a researching object by accumulated experience.

In the following a modeling process by GSM for "The Business Forecasting of Kyoto City" supported by economic judgement is introduced. In this process, the comparatively short time required and the ingenious and easy combination of calculation and economic judgement show the practicality of GSM.

1. はじめに

現在、環境問題、交通問題、資源問題、経済問題などのシステム分析には多くの変数が必要であり、かつそれらの相互間の関係は不明な部分が多く、非線形的

で複雑である。最近では制御理論、情報理論、O・R、統計分析やコンピュータ理論などで、相当な程度までそれらを分析することができる。しかし、対象のシステムの構造が十分に知られていないシステムのモデリングを行うことは、一般には非常に困難である。

1968年にA. G. Ivakhnenkoらによって提唱されたGMDM (Group Method of Data Handling)^{1)~4)}は、構造が不明で複雑な非線形的なシステムの解析をすることが自動的に可能な手法であり、提唱後も、精度や基礎関数などの点での改良がなされ続けてきた。しかし一方では「GMDH法によって作られたモデルは精度は良いが、black-boxタイプのモデル作りで、かつ対象分野の専門的な知識を無視したものである。すなわち理論的背景をもたぬため実際に適用しにくい」などとこの手法に対して各分野から批判がよせられ、注目すべき利点をもったすばらしい手法であるにもかかわらず、その適用範囲は限られている。

当論文では、対象分野の理論、経験の積み重ねから得られた「人の判断」をGMDH的手法に取り入れて、発見的自己組織 (Heuristic Self-Organization) と人間との対話による試行錯誤の繰り返しを適用して、複雑なシステムのモデリングを行うGSM (Group Method of Structural Modeling) を提示して、かつ実例計算に「京都市の経済予測」を取りあげた。実例が示すとおり、GSMの手順による多変数の複雑なシステムの分析は、GMDHの本来の思想である「データの中にのみ真実がある」からは少しそれるが、能率的で実用的である。

従来の計量経済モデル・アプローチとしては、実測データやシステム変数間の因果関係を分析して、第一にモデルの構造を想定したうえで、モデル式を決定し、これを予測などに利用することが多い。分析しなければならぬ経済システムの変数が非常に多い場合、モデルの構造を想定するのは難しい仕事であり、また分析のための時間や費用も多くかかる。このため変化

[†] 第18回自動制御連合講演会で発表 (昭50・11)

* 大阪府立北野高等学校 大阪市淀川区新北野2-5-13

** 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町

* Kitano Prefectural High School in Osaka, Osaka

** Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto
(Received September 10, 1979)

(Revised June 17, 1980)

の激しい多変数を含む経済システムに対応する経済モデルを、変化に即して絶えず作成し、実際の経済活動に利用することは不可能に近い。当論文は、このような困難を打破することを目的としたものである。あらかじめ、さまざまな判断基準をコンピュータに記憶させておき、これによりデータの分析・モデル作成を自動化する一種の人工頭脳を作り、実際の経済活動に手軽に適用できる手法を提示しようとしたものである。

2. GMSM

GMSM はコンピュータによる自動分析の部分と、人が積み重ねや経験によってする判断の部分から成り立つ広義の頭脳と考えられる。前者は GMDH 計算を制御するコントロール・マトリクス、GMDH 計算、システム変数の因果関係を視覚に訴えやすくする ISM 計算、データの 前処理計算のブロックから成り立っており、後者は対象の研究にたずさわる人達の集団である。

2.1 GMDH

GMDH については広く熟知されていることと思われるので、ここでは説明を省略するが、参考文献 1~4, 8 などを参照していただきたい。

2.2 ISM (Interpretive Structural Modeling)

ISM は J. N. Warfield^{(5)~(7)} らによって、社会開発

Table 1 Matrix B' , T , T' and T''

direct matrix B'							reachability matrix T						
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6		s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
$B' = s_1$	0	0	0	0	0	0	$T = s_1$	1	0	0	0	0	0
s_2	0	0	1	0	0	0	s_2	1	1	1	0	0	0
s_3	1	1	0	0	0	0	s_3	1	1	1	0	0	0
s_4	0	1	1	0	1	1	s_4	1	1	1	1	1	1
s_5	0	0	0	0	0	0	s_5	0	0	0	0	1	0
s_6	0	0	0	1	1	0	s_6	1	1	1	1	1	1
matrix T'							matrix T''						
	H_1	H_2	H_3	H_4				H_1	H_2	H_3	H_4		
$T' = H_1$	1	0	0	0		$T'' = H_1$	1	0	0	0			
H_2	1	1	0	0		H_2	1	1	0	0			
H_3	1	1	1	1		H_3	0	1	1	1			
H_4	0	0	0	1		H_4	0	0	0	1			

システムの概念設計を前提としたモデル技法として提案された。社会システムを構成している要素間の関係を矢印で示し、複雑なシステムの要素間の関係を総合的に理解することを可能にする手法である。

当論文では少しアレンジして使用しており下記において、例を上げ実際の運用方法の概要を説明する。

2.2.1 集合 $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ の要素間の関係 R をつぎのように定義する。

$$(s_i R s_j) = \begin{cases} 1 & (s_i \text{ が } s_j \text{ の原因となっている}) \\ 0 & (s_i \text{ と } s_j \text{ の因果関係がない}) \end{cases} \quad (1)$$

2.2.2 s_i と s_j の因果関係を示す 2 値行列 (binary matrix) である direct matrix B' を作る。 $(s_i R s_j) = 1$ ならば i 行 j 列の要素は $B'_{ij} = 1$, $(s_i R s_j) = 0$ ならば $B'_{ij} = 0$ とする。

2.2.3 reachability matrix

集合 S から導いた binary matrix T が

$$T + E = T = T^2 \quad (2)$$

(E は単位行列で、Boolean 演算を用い、square matrix を用いる)

を満たすならば、これを reachability matrix という。

集合 S から導いた square binary matrix B' が Boolean 方程式

$$(B' + F)^{n-1} = (B' + E)^n = (B' + E)^{n+1} = T \quad (3)$$

(n は S の元の数より小さい正の整数とする)

を満たす square binary matrix T はただ一つ存在する。以上より matrix B' に対して reachability matrix T はただ一つ存在する。このような matrix T は集合 S の要素間の総合的な因果関係を示し、matrix T を求める計算を下記に示す。

B' の行の要素の和の最大値の逆数を λ として

$$B = \lambda B' \quad (4)$$

Fig. 1 Flow chart of GMSM

Fig. 2 Di-graph

matrix B を導く.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} B^n = 0 \quad (5)$$

ならば

$$B + B^2 + B^3 + \dots = B(E - B)^{-1} \quad (6)$$

matrix $[E + B(E - B)^{-1}]$ の要素が 0 でなければ 1, 0 ならば 0 とおいて matrix T を作る (Table 1).

2.2.4 S の要素で s_2 と s_3 , s_4 と s_6 タイプ (Fig. 2 (a)) のものを同一性質の要素とする (Fig. 2 (b)).

$$\{s_1\} = H_1, \{s_2, s_3\} = H_2, \{s_4, s_6\} = H_3, \{s_5\} = H_4 \quad (7)$$

とおくと

$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} \\ = \{H_1, H_2, H_3, H_4\} \quad (8)$$

となる. matrix T も簡略化して matrix T' とする (Table 1).

2.2.5 集合 S の要素間の因果関係で Fig. 2 (c) タイプのものは Fig. 2 (d) タイプとみなす. matrix T'' は Fig. 2 (c) タイプ $\rightarrow$ Fig. 2 (d) タイプにより対応する T' の要素を 1 $\rightarrow$ 0 と置き換えて導いたもの

である.

2.2.6 T'' から Table 2 (A) を導く. $R(H_i)$ の要素と $R(H_i) \cap A(H_i)$ の要素で等しいものを level-1 の要素とする (1 と 4). Table 2 (A) から level-1 の要素を除き Table 2 (B) を導き同様な手順を繰り返す.

2.2.7 各 level の要素をもとに矢印で示す (Fig. 2 (e) と (f)).

2.3 人間の判断

2.3.1 control matrix をつぎのように定義する.

$$C_{ij} = \begin{cases} 0 & (s_i \bar{R} s_j: s_i \text{ と } s_j \text{ の因果関係なし}) \\ 1 & (s_i \bar{R} s_j: \text{関係 } \bar{R} \text{ 以外の場合}) \end{cases} \quad (9)$$

ここで C_{ij} は matrix C の i 行 j 列の要素とする. matrix C は $C_{ij} = 0$ なる部分に対応する GMDH 計算をカットして, GMDH 計算に制限を加えながら人間の判断を結果に反映させていく.

2.3.2 必要が生じれば, データ変換, 正規化, トレンド除去, フィルタリングなどによる前処理をデータに施す.

2.4 GMSM による手順

(matrix C の要素をすべて 1 とおく) $\rightarrow$ (GMDH 法によるシステム分析) これによりシステムの構変数間の因果関係を求め, この因果関係は研究者達の積み重ねや経験による判断によりチェックされ修正される. すなわち matrix C の要素を必要に応じて 1 $\rightarrow$ 0 と置きなおして, 判断基準に合格するまで計算を繰り返す. また必要と判断されれば, データに前処理を施さねばならない. 判断基準は研究者達により定められなければならない. 後述の経済モデルの例では, 第 1 回目の計算で純生産の成長率が 12.3 (%) (= (54 年生産金額 - 53 年生産金額) / (53 年生産金額) $\times$ 100) となった. しかし京都における二大産業 (繊維・機械金属) などの状態から, 7 (%) $\sim$ 10 (%) を判断基準として計算を繰り返した. この基準が適正であるかどうかを当論文で論ずることはさけたいと思う.

2.5 精度の検討

GMSM の適用にあたり, 重回帰分析法との比較を考慮して, 基礎関数に

$$z = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_j \quad (10)$$

を用いた. サンプル・データとして正規乱数から取り出した数を説明変数 $x_2 \sim x_6$ とし, x_2 から x_6 までの和に別の正規乱数を加えて従属変数 x_1 を作った. このサンプル・データに対して基礎関数 (10) 式を用いた GMDH による推定式, および重回帰分析変数増減法を用いた推定式は, つぎのとおりとなった.

Table 2 Reachability set, antecedent set and level

	element H_i	reachability set $R(H_i)$	antecedent set $A(H_i)$	$R(H_i) \cap A(H_i)$
A	1	1	1, 2	1
	2	1, 2	2, 3	2
	3	2, 3, 4	3	3
	4	4	3, 4	4
B	2	2	2, 3	2
	3	2, 3	3	3
C	3	3	3	3

Table 3 The variables for the business forecasting of Kyoto city

I. The population in Kyoto City	
1. LA	the little age (age: 0-14)
2. PA	the productive age (age: 15-64)
3. OA	the old age (age: 65-)
4. BI	the birth
5. DP1	the daytime population of the primary industry
6. DP2	the daytime population of the secondary industry
7. DP3	the daytime population of the tertiary industry
8. UP1	the usual population of the primary industry
9. UP2	the usual population of the secondary industry
10. UP3	the usual population of the tertiary industry
II. The population within Kyoto zone (except Kyoto City)	
11. LAOU	the little age out of Kyoto City (age: 0-14)
12. PAOU	the productive age out of Kyoto City (age: 15-64)
13. OAOU	the old age out of Kyoto City (age: 65-)
14. BLOU	the birth out of Kyoto City
15. DPOU1	the daytime population of the primary industry out of Kyoto City
16. DPOU2	the daytime population of the secondary industry out of Kyoto City
17. DPOU3	the daytime population of the tertiary industry out of Kyoto City
18. UPOU1	the usual population of the primary industry out of Kyoto City
19. UPOU2	the usual population of the secondary industry out of Kyoto City
20. UPOU3	the usual population of the tertiary industry out of Kyoto City
III. The industries (primary industry)	
21. P1	the primary industry
(secondary industry)	
22. CON	the construction industry
23. TEX	the textile industry
24. MAC	the machine and metalworking industry
25. OTSE	the others industry
26. MIN	the mining industry
(tertiary industry)	
27. WHO	the wholesale trade
28. RET	the retail trade
29. SER	the service
30. PUB	the public service
31. OTER	the others
IV. The size of land	
32. COL	the commercial
33. INL	the industry
34. HOUL	the housing
35. OTL	the others
V. The others	
36. CIN	the civil income
37. GAP	the general accounts of Kyoto prefecture
38. SAP	the special accounts of Kyoto prefecture
39. GAC	the general accounts
40. SAC	the special accounts
41. SIGH	the sightseer
42. ROAR	the road area

$$\text{GMSM} \quad x_{1(1)} = 22.567 + 1.9262x_4 + 1.4376x_5 + 0.38201x_6 \quad (11)$$

$$\text{重回帰} \quad x_{1(2)} = 23.397 + 1.1667x_2 + 1.4482x_4 + 1.0176x_5 \quad (12)$$

実現値 x_1 と各推定値 $x_{1(1)}, x_{1(2)}$ との相関係数について、その有意差検定を行ったところ、二つの相関係数は有意水準5%でも有意差があるとは言えない、という結論がえられた。

3. 京都市の経済予測

京都・地域経済研究所の庄林氏とその研究グループの協力を得て、1979年の京都市の経済予測を行った。以下に、その過程と結果を発表し、主な機関の国内経済見通しと比較して、GMSMが実用に値するものであることを示す。

3.1 全体の手順

3.1.1 研究グループにより計算に必要なシステムの変数を決定して (Table 3), そのデータを1960年から1976年の17年間集める。隣接地域は京都市経済に少なからず影響を与えているため、その人口動態 (Table 3-II) を変数に加えた。注目すべき変数としてあげられている変数 (23) TEX (繊維) は西陣という伝統産業を背景にもったものであり、保護、養成、販買などといったいろいろな問題を含んでいる。また同様に変数 (41) SIGH (観光者消費額) は京都という地域特性を示すものである。

データ X は42変数の17年間分であるから、 $42 \times$

Table 4 The formulas for the business forecasting of Kyoto city

1. LA = -0.460321 + 0.750137(LA) ₋₁ + 0.136006(DP1) ₋₂ + 0.565979(DP3) ₋₁	22. CON = -4.5731 - 1.72813) ₋₂ + 0.586 027(CON) ₋₁ + 12.0519(INL) ₋₂ - 5.08452(INL) ₋₁
2. PA = 0.455078 + 0.490479(PA) ₋₁ + 0.0646973(DP2) ₋₂	23. TEX = -0.641519 + 5.83656(UPOU3) ₋₁ + 0.208492(PAOU) ₋₁ + 0.0157344(UPOU3) ₋₂ - 2.61416(DPOU3) ₋₁ + 0.290068(TEX) ₋₁
3. OA = -0.0653687 + 0.954590(OA) ₋₁ + 0.148438(DP3) ₋₁	24. MAC = -3.38131 + 2.98584(INL) ₋₂ + 0.278650(INL) ₋₁ + 0.0209794(ROAR) ₋₂ + 0.277223(CON) ₋₁ + 0.967020(ROAR) ₋₁
4. BI = -0.0117798 + 0.893036(BI) ₋₁ + 0.124649(DP1) ₋₂	25. OTSE = 0.110632 + 0.08028(CIN) ₋₁ - 1.45012(CIN) ₋₂ + 0.114502(OTSE) ₋₁ + 0.122552(CON) ₋₂
5. DP1 = 0.00537109 + 1.46484(DP1) ₋₁ - 0.492188(UP1) ₋₂	26. MIN = -6.92443 - 7.59864(DP2) ₋₁ + 0.577821(MIN) ₋₁ + 14.8971(UP2) ₋₂
6. DP2 = 0.207474 + 0.797165(UP2) ₋₁ + 0.00456619(GAP) ₋₁	27. WHO = 0.151350 + 0.589197(SAP) ₋₂ + 0.351465(RET) ₋₁ + 0.0641516(CIN) ₋₂ + 0.0658454(RET) ₋₁ + 0.0183573(CIN) ₋₁
7. DP3 = 0.104248 + 0.921875(DP3) ₋₁ - 0.00390625(ROAR) ₋₁	28. RET = -1.69987 + 2.39763(HOUL) ₋₂ + 0.50630(RET) ₋₁
8. UP1 = -0.00903320 + 1.61719(DP1) ₋₁ - 0.621094(UP1) ₋₂	29. SER = -1.72988 - 1.65825(OA) ₋₂ + 4.18354(OA) ₋₁ + 0.292727(OTER) ₋₂
9. UP2 = 1.07667 - 0.0422655(GAP) ₋₁ - 0.051965(GAC) ₋₁ - 0.00169063(SAP) ₋₂ + 0.0378968(SAC) ₋₁	30. PUB = -0.0160874 + 0.428544(RET) ₋₂ + 0.334578(WHO) ₋₁ + 0.0254198(GAP) ₋₁ + 0.44056(WHO) ₋₁ + 0.0165938(OTER) ₋₁
10. UP3 = 0.178467 + 0.801270(UP3) ₋₁ + 0.0385742(OA) ₋₁	31. OTER = 0.100058 + 0.289743(OTER) ₋₁ + 0.543753(SAC) ₋₂ + 0.0292922(SAP) ₋₁ + 0.304423(CIN) ₋₁
11. LAOU = 0.296184 - 0.240297(DPOU1) ₋₁ + 0.616115(LAOU) ₋₁ + 0.0374030(UPOU1) ₋₂ + 0.100250(PAOU) ₋₂ + 0.236115(DPOU3) ₋₂	32. COL = 0.494873 + 0.505571(COL) ₋₂ + 0.0129395(UP3) ₋₁
12. PAOU = 0.345779 + 0.674072(UPOU3) ₋₁ + 0.0136719(BLOU) ₋₂	33. INL = 0.0529785 + 1.63672(INL) ₋₁ - 0.683594(INL) ₋₂
13. OAOU = 0.0273437 + 0.667969(OAOU) ₋₁ + 0.347656(DPOU3) ₋₁	34. HOUL = -0.313309 + 0.575195(HOUL) ₋₁ + 0.358998(DP3) ₋₁ + 0.419678(DP3) ₋₂
14. BLOU = 0.0700426 + 1.09143(BLOU) ₋₁ + 0.0960083(UPOU2) ₋₂ - 0.210526(DPOU2) ₋₂	35. OTL = 0.950012 + 0.044677(OTER) ₋₁ + 0.0393066(CIN) ₋₁
15. DPOU1 = 0.858920 + 0.443163(DPOU1) ₋₁ - 0.111560(SAP) ₋₁ - 0.239069(PAOU) ₋₁	36. CON = 0.0648302 + 1.44246(CIN) ₋₁ - 0.355682(CIN) ₋₂ - 0.0599213(PAOU) ₋₂
16. DPOU2 = -0.323072 + 1.51254(UPOU2) ₋₁ - 0.00922108(DPOU2) ₋₁ + 1.7003(DPOU2) ₋₂ - 1.86411(DPOU2) ₋₂	37. GAP = -0.0173321 + 0.584961(GAP) ₋₁ + 0.589798(GAP) ₋₂
17. DPOU3 = -0.0434494 + 0.582275(UPOU3) ₋₁ - 0.054931(DPOU3) ₋₂ + 0.284348(DP3) ₋₁ + 0.107880(DPOU3) ₋₂ + 0.176941(ROAR) ₋₂	38. SAP = -0.359615 + 1.27078(TEX) ₋₁ + 0.102639(CON) ₋₁ + 0.116595(PAOU) ₋₂
18. UPOU1 = 0.581299 - 1.00616(DPOU1) ₋₁ + 1.71057(UPOU1) ₋₁ - 0.694236(DPOU3) ₋₂ + 0.295105(DPOU3) ₋₁	39. GAC = -0.145159 + 0.922852(GAP) ₋₁ + 0.459717(RET) ₋₁
19. UPOU2 = -0.230925 + 3.77673(UPOU2) ₋₁ - 1.97576(DPOU2) ₋₁ - 0.561806(UPOU2) ₋₂ - 0.000145674(BLOU) ₋₁	40. SAC = -0.185509 + 0.168028(SAC) ₋₁ - 0.0419462(GAP) ₋₂ + 0.642196(GAP) ₋₁ + 0.728703(PUP) ₋₁
20. UPOU3 = 0.0869141 + 1.24609(UPOU3) ₋₁ - 0.281250(OAOU) ₋₁	41. SIGH = -0.129195 + 0.799786(SER) ₋₂ + 0.380014(SER) ₋₁ + 0.154561(SIGH) ₋₁
21. P1 = 0.352590 + 0.425671(GAP) ₋₁ + 0.316010(P1) ₋₁ - 0.283922(GAP) ₋₂ - 0.242233(GAC) ₋₁	42. ROAR = 0.281250 + 0.742188(DP3) ₋₂ + 0.0117187(DP1) ₋₂

Table 5 Control matrix C

1.LA	11100	00000	00000	00000	00000	00001	00011	00000	00
2.PA	11111	11111	00000	00000	00000	01111	11111	11111	11
3.OA	00101	11111	00000	00000	00000	01111	11111	11111	11
4.BI	11010	00000	00000	00000	00000	00000	00001	00000	00
5.DP1	11111	00100	00000	00000	10100	00111	11011	00000	11
6.DP2	11110	10010	00000	00000	01111	10111	11111	11111	11
7.DP3	11110	01001	00000	00000	00100	01111	11011	11111	11
8.UP1	11111	00100	00000	00000	10100	00111	11011	00000	11
9.UP2	11110	10010	00000	00000	01111	10111	11111	11111	11
10.UP3	11110	01001	00000	00000	00100	01111	11011	11111	11
11.LAOU	00000	00000	11100	00111	00000	00000	00000	00000	00
12.PAOU	00001	11000	11111	10111	00101	00000	01111	11111	11
13.OAOU	00000	00000	00100	01111	00000	00000	00000	00000	00
14.BIOU	00000	00000	11010	00111	00000	00000	00000	00000	00
15.DPOU1	00000	00000	11111	00111	00100	00000	00000	00000	00
16.DPOU2	00000	00000	11110	10111	00101	00000	00000	00000	00
17.DPOU3	00000	00000	11110	01111	00100	00000	00000	00000	00
18.UFOU1	00000	00000	11111	00111	00100	00000	00000	00000	00
19.UFOU2	00000	00000	11110	10111	00100	00000	00000	00000	00
20.UFOU3	00000	00000	11110	01111	00100	00000	00000	00000	00
21.PI	00001	00100	00000	00000	10000	00000	00011	11111	01
22.CON	00000	10010	00000	00000	01011	10001	11011	11111	01
23.TEX	00000	10010	00000	00000	00100	01001	11111	11111	01
24.MAC	00000	10010	00000	00000	00011	10001	11111	11111	01
25.OTSE	00000	10010	00000	00000	00011	10001	11111	11111	01
26.MIN	00000	10010	00000	00000	00000	10001	10011	11111	01
27.WHO	00000	01001	00000	00000	00100	01111	11011	11111	01
28.RET	00000	01001	00000	00000	00100	01111	11011	11111	11
29.SER	00000	01001	00000	00000	00100	01111	11011	11111	11
30.FUB	00000	01001	00000	00000	00000	00011	11011	11111	01
31.OYER	00000	01001	00000	00000	00000	01111	11011	11111	01
32.COL	00000	00000	00000	00000	01000	01101	11011	00000	11
33.INL	00000	00000	00000	00000	01011	01101	10111	00000	11
34.HOUL	00000	00000	00000	00000	11000	00101	10111	00000	01
35.OTL	00000	00000	00000	00000	01000	00101	11011	00000	01
36.CIN	00001	11111	00000	00000	11111	11111	11111	11111	01
37.GAP	00001	11111	00001	11111	11111	11001	11111	11111	11
38.SAP	00001	11111	00001	11111	11111	11001	11111	11111	11
39.GAC	00001	11111	00000	00000	11111	11001	11111	11111	11
40.SAC	00001	11111	00000	00000	11111	11001	11111	11111	11
41.SIGH	00001	11111	00000	11111	00000	00111	11111	11111	11
42.ROAR	00001	11111	00001	11111	11111	11111	11111	11111	11

Fig. 3 Di-graph (the satisfying result)

に不都合な状態が現われていないかどうか重点を置いて計算した。また主な機関の国内経済見通し Table 7 も比較の対照とした。

Table 8 で示す分析に要した時間の短さを評価すべきものであると考えられる。一般に大規模なシステ

17 matrix となり control matrix C は 42×42 matrix となる。

3.1.2 matrix X と C を用いて, GMDH 法と ISM 法によりモデル式と要素間の関係を矢印で示したグラフを作成する。

3.1.3 研究グループによって (3.1.2) の結果についてのディスカッションがなされ, matrix の要素を 1→0 と変更しながら, 純生産の成長率が 7(%)~10(%) になるまでこの手順を繰り返し, 9.7(%) (Table 6) をえた。

最終結果のモデル式 (Table 4) は, 入力数値として各変数の 17 年間平均値で, その変数値を割ったものを用いているため, モデル式 (Table 4) で求めた数値に, その変数の平均値を掛けて Table 6 を導いた。また Table 4 中の (LA)₋₁ や (DP1)₋₂ などの -1 や -2 は前年, 前々年の数値を示している。

最終結果のモデル式を求めた control matrix C は Table 5 で, 矢印で示した要素間の関係は Fig. 3 となった。

3.2 結果について

経済見通しの明確な評価基準はなく, 今回は研究グループによって提示された成長率 7(%)~10(%) なる数値と, 変数間の因果関係 (Fig. 3)

Table 6 The past records and the forecast for the pure production of Kyoto city

Rate of Growth(%) Year	(Past Records)		(Forecast)		
	1975	1976	1977	1978	1979
Pure Production	4.2	10.9	3.3	8.9	9.7
Primary Industry	7.4	7.9	11.2	9.4	7.2
Secondary Industry	-4.1	7.2	2.4	6.6	7.4
Manufacturing	-6.2	8.3	6.5	7.6	8.3
TEX	0.9	7.1	6.7	8.0	8.2
MAC	-16.3	9.6	1.5	4.2	5.2
OTSE	3.6	8.3	10.2	9.8	10.4
CON	7.3	2.3	-18.0	0.2	1.0
MIN	-19.8	-41.1	-91.3		
Tertial Industry	9.2	12.8	3.7	10.0	10.9
WHO	9.6	6.5	2.1	7.3	11.4
RET	10.6	10.9	2.1	6.1	7.1
SER	8.7	16.6	4.8	11.9	11.3
Component Ratio(%) year	(Past Records)		(Forecast)		
	1975	1976	1977	1978	1979
Pure Production	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Primary Industry	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4
Secondary Industry	34.6	33.4	33.1	32.5	31.8
Manufacturing	28.6	27.9	28.8	28.4	28.1
TEX	8.8	8.5	8.8	8.7	8.6
MAC	8.6	8.5	8.3	8.0	7.7
OTSE	11.2	10.9	11.6	11.7	11.8
CON	6.0	5.5	4.4	4.0	3.7
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tertial Industry	65.0	66.1	66.4	67.0	67.8
WHO	20.3	19.5	19.3	19.0	19.3
RET	6.9	6.9	6.8	6.6	6.5
SER	37.8	39.7	40.3	41.4	42.0
Amount(10 ⁶ yen) year	(Past Records)		(Forecast)		
	1975	1976	1977	1978	1979
Pure Production	1,918,107	2,126,707	2,197,521	2,392,499	2,625,625
Primary Industry	8,417	9,056	10,068	11,011	11,808
Secondary Industry	663,081	711,011	728,381	776,711	834,032
Manufacturing	548,163	593,648	632,308	650,458	736,796
TEX	163,793	180,770	192,944	208,333	225,416
MAC	164,957	180,770	183,467	191,211	201,154
OTSE	214,415	232,108	255,897	280,914	310,226
CON	114,529	117,134	97,053	96,293	97,236
MIN	389	229	20		
Tertial Industry	1,246,609	1,406,640	1,459,072	1,604,777	1,779,785
WHO	389,376	414,708	423,313	454,329	506,132
RET	132,349	146,743	149,794	158,989	170,289
SER	724,884	845,189	885,965	991,459	1,103,364

ムのモデルを作成してしまうと、その結果を大きく変更する必要が生じても、用する費用と時間のため、モデルの再作成が不可能となり、妥協が余儀なくされて徹底した分析がなされずに終わってしまう場合が多いからである。

視覚的にとらえた経済構造 (Fig. 3) や予測値および成長率 (Table 6) から京都市経済に対するさまざまな各業種への警告や意見が導かれたが、これは当論文の目標からややそれるので別の機会にまわしたいと思う。

4. おわりに

GMDH 計算法を利用しながら、その思想とは非常にかけはなれた手順となっているので、あえて GSM によることとした。GSM により、研究グループの判断が、モデル式や予測にいかにかすみやかに反映されるかという点を重視した。そのため精度の検討は 2.5 節での GMDH の一般的な検討にとどまった。すなわち明確な評価基準のない経済見通しなどの人間の経験、判断にウェイトをおく予測に有用な手順を示したのである。

今後の課題として、GMDH 法の特徴である非線形性を発揮させるため、基礎関数に非線形な式を用いて、実測値に対するモデル式による内挿値の精度を高めていきたい。

同じ手順により 1980 年の純生産の成長率を予測して 10.2(%) なる数値をえたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) A. G. Ivakhnenko: The Group Method of Data Handling—A Rival of the Method of Stochastic Approximation, Soviet Automatic Control, **13-3**, 43/55 (1968)
- 2) A. G. Ivakhnenko, YU V. Koppa, I. K. Tymchenko and N. O. Ivakhnenko: Group Handling of Data in Identification of the Static Characteristic of a Multi-Extremal Plant, Soviet Automatic Control, **14-2**, 30/37 (1969)
- 3) A. G. Ivakhnenko: Heuristic Self-Organization in Problems of Engineering Cybernetics, Automatica, **6**, 207/219 (1970)

Table 7 The forecasting of the gross national expenditure (normal expenditure)

(research facilities)	(growth rates) = $\frac{\text{(expenditure in 1979)}}{\text{(expenditure in 1978)}}$
The government	9.5%
Asahi life insurance company	11.5%
Nikko research center	11.1%
National economic research institute	8.9%
Daiwa securities company	10.9%
Mitsubishi trust bank	9.8%
Yamaichi securities company	9.1%
Nomura overall research institute	8.7%
Japanese economic research center	9.2%
Sumitomo trust bank	9.0%
Mitsubishi overall research institute	7.4%

Table 8 The time which the example required for

(1) The first discussion. (determining the variables and assembling)	about 4 hours
The first calculation. (punching cards)	about 30 minutes
The time the computer was used.	about 1 minutes
(2) The second discussion. (discussing whether the variables were proper for the system and amending the elements of the control matrix)	about 2.5 hours
The second calculation. (punching cards)	about 1 minute
The time the computer was used.	about 1 minute
(3) The third discussion.	about 2.5 hours
The third calculation. (punching cards)	about 1 minute
The time the computer was used.	about 1 minute
(4) The last discussion. (making the conclusion).	about 3 hours
The amount of time	
discussion	about 14 hours
Punching cards	about 34 minutes
calculation (by FACOM M-190)	about 3 minutes

- 4) A. G. Ivakhnenko: Polynomial Theory of Complex Systems, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, **SMC-1-4**, 364/378 (1971)
- 5) J. N. Warfield: On Arranging Elements of a Hierarchy in Graphic Form, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, **SMC-3-2**, 121/132 (1973)
- 6) J. N. Warfield: Binary Matrices in System Modeling, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, **SMC-3**, 441/449 (1973)
- 7) J. N. Warfield: Toward Interpretation of Complex Structural Models, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, **SMC-4-5**, 405/417 (1974)
- 8) S. Ikeda and Y. Sawaragi: Identification and Prediction of a Complex System, The Society of Instrument and Control Engineerings, **14-2**, 93/98 (1974)