社会システム分析のための統合化プログラム２

― 産業連関分析・KSIM・AHP ―

福井正康，田口賢士

福山平成大学経営学部経営情報学科

概要

社会システム分析に用いられる様々な手法を統一的に扱うプログラムの作成の中で、産業連関分析、KSIM、AHP について、理論とその分析プログラムの利用法を詳述する。データは KSIM について単一の表形式、産業連関分析については年次比較が出来るように複数枚の表形式、AHP は１枚目にデータ構造、２枚目以降に１対比較のデータを貯える複数枚の表形式である。

キーワード

ソフトウェア，社会システム分析，産業連関分析，KSIM，AHP

1 章　はじめに

これまで、統計学、OR、その他の分析を統合的に扱うプログラムの枠組みを作成したが[1)]、この論文ではいくつかの具体的な分析について、その理論と分析メニューの利用法を解説する。今回、分析としては、産業連関分析[2), 3)]、KSIM（Kane's Simulation）[4)]、AHP（Analytic Hierarchy Process: 階層分析法）[5), 6)]を取り上げる。これらの分析プログラムは、比較的完成度の高いもので、このプログラミングの早い時期に作られていたものである。今後、多少の修正は必要であろうが、大筋では変わらないプログラムである。論文に示した分析プログラムの構造及び内容についての変更箇所は、次回以降の論文の補遺として提示して行く。

産業連関分析は産業構造を生産における投入と産出の構造で表すマクロ経済学の重要な手法である。これについては、分析目標に対応して産業連関表が様々な形式で表されていることから、どの形式を重視して、分析プログラムを作り上げるかが問題になる。我々は教育で利用するようにということから、主に輸入競争型と非輸入競争型の２つに絞って作業を始めた。出力項目は参考文献 2) の巻末にあるものを参考にした。また、投入係数の時系列的な変化を扱うために RAS 法も分析に加えた。

KSIM は、工業化の程度、暮らしの豊かさ、環境汚染の度合い等の主観的な程度を表す指標をもとに、それら相互間の因果的な影響を１つの式で仮定し、これからの動向を知る手掛かりとなる主観的シミュレーションを行う手法である。

AHP は選択の意思決定をするための１つの合理的な手法で、意思決定の基準となる評価基準と選択肢である代替案から階層的な構造図を作り、それぞれのノードの重要度を求めて、最終的に代替案の重要度を決定するものである。この分析には、構造図のデータと１対比較のデータが必要であり、ディスクへの保存の際には共に保存しなければならない。しかし、１対比較のデータは分析の過程として決定されるものであるので、この分析のソフトは今までのような「エディタ→分析→結果表示」という標準的な枠組に入らない。これをどのようにして他の分析と融合させるかということは興味深い。

これらの分析を最初に選択した理由は、プログラム上の興味及び、現在我々の進めている他の研究課題と密接に結びついている。産業連関分析と KSIM は、技術移転や海上輸送計画の問題を取扱うときに必要になった分析であり[7), 8)]、AHP はデータ構造が興味深く、分析からデータを作り出すプログラム手法を我々の枠組みの中に取り入れておきたいと考えたからである。AHP に対するこの試みは今後様々な分析を取り込む際の貴重な手係りとなろう。

この論文では、表示の簡単化のために以下の表式を用いる。

- 任意の列または行ベクトル $\mathbf{C}$ の各要素を対角成分として作られる対角行列を $diag(\mathbf{C})$ 、その逆行列を $diag^{-1}(\mathbf{C})$ と表すことにする。

- 行列 $\mathbf{A}(m\times n_a)$ と $\mathbf{B}(m\times n_b)$ を列方向に並べて作られる m 行 n_a+n_b 列の行列を $\mathbf{A}\oplus\mathbf{B}$ と表すことにする。
- 行列 $\mathbf{A}$ の行和をとって得られる列ベクトルを $\Sigma\mathbf{A}$、列和をとって得られる行ベクトルを $\Sigma'\mathbf{A}$ とする。
- 行列の成分は括弧付きで添え字を付けて表すか、イタリック文字に添え字を付けて表すかどちらかにする。即ち、行列 $\mathbf{X}$ の (i,j) 成分は $(\mathbf{X})_{ij}=X_{ij}=x_{ij}$ である。

２章　産業連関分析

産業連関分析は、国民経済の構造を生産技術的な連結関係で表す重要な手法である。産業構造は、投入と産出、輸出を含む最終需要、輸入、粗付加価値等を用いて、以下の産業連関表で記述される。

表 2.1a 競争輸入型産業連関表

	中間需要	最終需要	輸出	輸入	合計
中間投入	$\mathbf{X}(n\times n)$	$\mathbf{F}(n\times d)$	$\mathbf{E}(n\times e)$	$-\mathbf{M}(n\times p)$	$\mathbf{T}(n\times 1)$
粗付加価値	$\mathbf{V}(r\times n)$				
合計	${}^t\mathbf{T}(1\times n)$				

表 2.1b 非競争輸入型産業連関表

	中間需要	最終需要	輸出	輸入	合計
中間投入 国内	$\mathbf{X}^d(n\times n)$	$\mathbf{F}^d(n\times d)$	$\mathbf{E}(n\times e)$	$\mathbf{0}(n\times p)$	$\mathbf{T}(n\times 1)$
中間投入 輸入	$\mathbf{X}^i(n\times n)$	$\mathbf{F}^i(n\times d)$	$\mathbf{0}(n\times e)$	$-\mathbf{M}(n\times p)$	$\mathbf{0}(n\times 1)$
粗付加価値	$\mathbf{V}(r\times n)$				
合計	${}^t\mathbf{T}(1\times n)$				

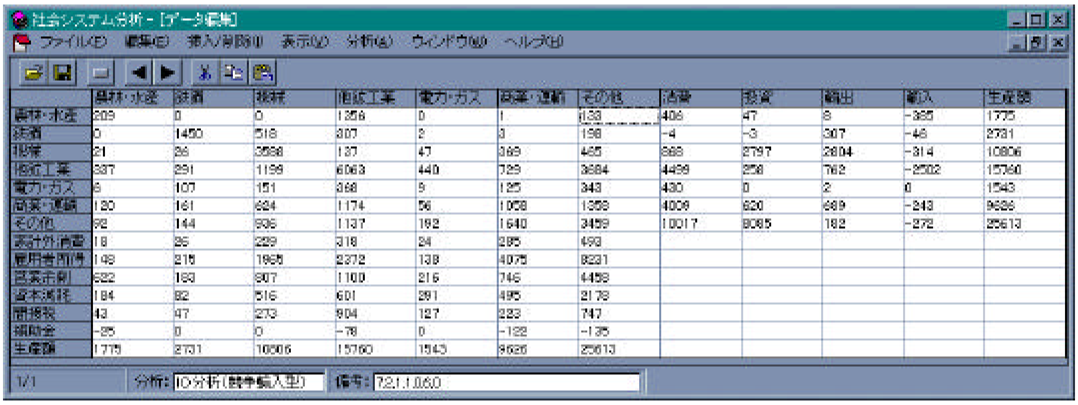
ここに、それぞれの項目枠内は行列形式で表されており、行列の行数と列数は、$\mathbf{X}(n\times n)$ の形で右側の括弧の中に記述されている。即ち産業は n 部門、最終需要が d 部門、輸出が e 部門、輸入が p 部門、粗付加価値が r 部門あることになる。列ベクトル $\mathbf{T}$ は産業毎の国内での総産出量を表す。また、${}^t\mathbf{T}$ は $\mathbf{T}$ の転置行列である。輸入は通常１部門として列ベクトルで表すことが多いと思われるが、ここでは複数部門として部門合計を求められるようにしている。

表 2.1 では産業連関表の重要な２つの形式を表示したが、この他に一部の主要な輸入品についてのみ非競争輸入扱いにした競争・非競争混合輸入型もある。混合輸入型については、一般的取扱いが困難であるので、指標の計算はすべて競争輸入型に直して行なうことにした。競争

輸入型の場合、これらの表式間には以下のような関係がある。

$$\Sigma\mathbf{X} + \Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \Sigma\mathbf{M} = \Sigma'\mathbf{X} + \Sigma'\mathbf{V} = \mathbf{T}.$$

図 2.1 に具体的なデータ画面を示す。

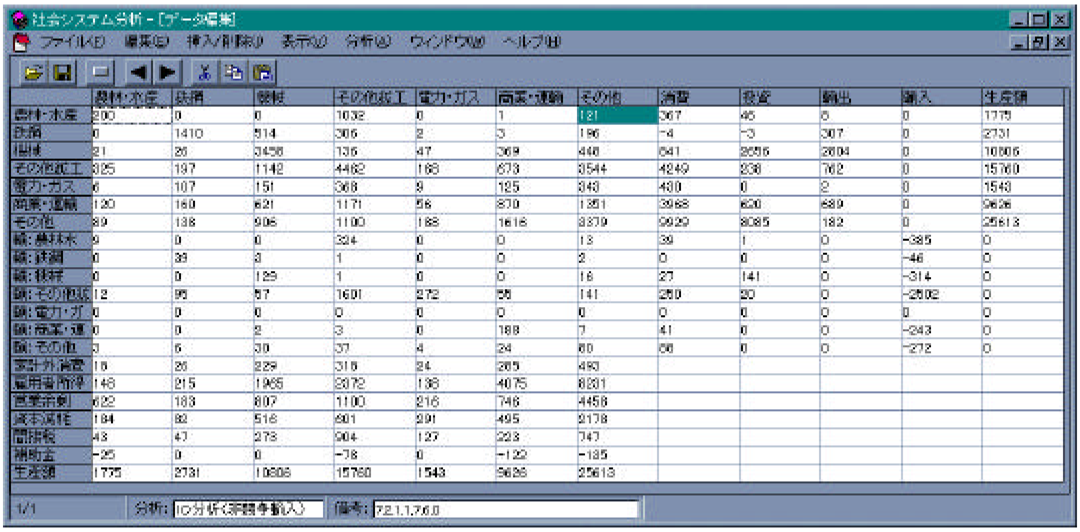


社会システム分析 - [データ編集]
ファイル(F) 編集(E) 挿入/削除(I) 表示(V) 分析(A) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

	農林・水産	鉄鋼	機械	他鉱工業	電力・ガス	商業・運輸	その他	消費	投資	輸出	輸入	生産額
農林・水産	209	0	0	1258	0	1	133	406	47	8	-385	1775
鉄鋼	0	1450	518	307	2	3	198	-4	-3	307	-46	2731
機械	21	26	3588	137	47	369	465	868	2797	2804	-314	10806
他鉱工業	337	291	1199	6063	440	729	3684	4499	258	762	-2502	15760
電力・ガス	6	107	151	368	9	125	343	430	0	2	0	1543
商業・運輸	120	161	624	1174	56	1058	1358	4009	620	689	-243	9626
その他	92	144	936	1137	192	1640	3459	10017	8085	182	-272	25613
家計外消費	18	26	229	318	24	285	493					
雇用者所得	148	215	1965	2372	138	4075	8231					
営業余剰	622	183	807	1100	216	746	4458					
資本減耗	184	82	516	601	291	495	2178					
間接税	43	47	273	904	127	223	747					
補助金	-25	0	0	-78	0	-122	-135					
生産額	1775	2731	10806	15760	1543	9626	25613					

1/1 分析: IO分析(競争輸入型) 備考: 72.1.1.0.6.0

図 2.1a 競争輸入型産業連関表のデータ



社会システム分析 - [データ編集]
ファイル(F) 編集(E) 挿入/削除(I) 表示(V) 分析(A) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

	農林・水産	鉄鋼	機械	その他鉱工	電力・ガス	商業・運輸	その他	消費	投資	輸出	輸入	生産額
農林・水産	200	0	0	1032	0	1	121	367	46	8	0	1775
鉄鋼	0	1410	514	306	2	3	196	-4	-3	307	0	2731
機械	21	26	3458	136	47	369	448	841	2656	2804	0	10806
その他鉱工	325	197	1142	4462	168	673	3544	4249	238	762	0	15760
電力・ガス	6	107	151	368	9	125	343	430	0	2	0	1543
商業・運輸	120	160	621	1171	56	870	1351	3968	620	689	0	9626
その他	89	138	906	1100	188	1616	3379	9929	8085	182	0	25613
輸:農林水	9	0	0	324	0	0	13	39	1	0	-385	0
輸:鉄鋼	0	39	3	1	0	0	2	0	0	0	-46	0
輸:機械	0	0	129	1	0	0	16	27	141	0	-314	0
輸:その他鉱	12	95	57	1601	272	56	141	250	20	0	-2502	0
輸:電力・ガ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
輸:商業・運	0	0	2	3	0	188	7	41	0	0	-243	0
輸:その他	3	6	30	37	4	24	80	88	0	0	-272	0
家計外消費	18	26	229	318	24	285	493					
雇用者所得	148	215	1965	2372	138	4075	8231					
営業余剰	622	183	807	1100	216	746	4458					
資本減耗	184	82	516	601	291	495	2178					
間接税	43	47	273	904	127	223	747					
補助金	-25	0	0	-78	0	-122	-135					
生産額	1775	2731	10806	15760	1543	9626	25613					

1/1 分析: IO分析(非競争輸入) 備考: 72.1.1.7.6.0

図 2.1b 非競争輸入型産業連関表のデータ

これらは参考文献 2) の巻末に記載されている例をこのプログラムに合うように入力したものである。

次にこれらのデータを活用するための分析メニューを図 2.2 に示す。分析を実行するために必要な入力項目は、「産業数」、「国内需要項目数」、「輸出項目数」、「輸入項目数」、「非競争輸入項目数」、「粗付加価値項目数」である。図 2-1a のデータの「産業数」は 7、「消費・投資項目数」は 2、「輸出項目数」は 1、「輸入項目数」は 1、「粗付加価値項目数」は 6 であ

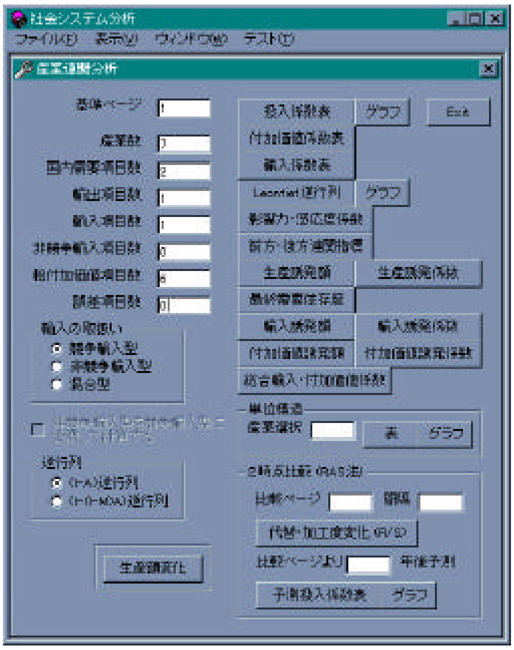


図 2.2 産業連関分析分析メニュー

る。

「非競争輸入項目数」は非競争輸入型及び混合輸入型の産業連関表の場合用いるもので、粗付加価値方向に輸入項目がある場合の項目数である。競争輸入型の場合これは 0 になる。また、「誤差項目数」は輸入項目の右隣りに配置される項目であるが、産業連関表はあくまで行と列の合計が一致することが原則であるので通常この項目は 0 である。特別な事情のある場合のみ利用することもありえると考えて設けている。取扱いについては今後の経験の中から決めて行きたい。

項目「基準ページ」は複数年次（複数ページ）の産業連関表を入力している場合、どのページを利用するかということを指定する項目である。データが、競争輸入型であるか、非競争輸入型であるか、混合輸入型であるかは、「輸入の取扱い」のオプションボタンで選択する。レオンチェフ逆行列の形式は考えるバランスモデルによって変わってくる。ここではよく利用される 2 つの形式を「逆行列」のオプションボタンで選択する。非競争輸入型や混合輸入型のデータを競争輸入型に変えて計算するためのチェックボックスも用意されている。特に混合輸入型の場合、このプログラムでは競争輸入型で計算する以外の方式は作成していない。その他の入力データやコマンドボタンについては、分析の解説と共に説明する。

産業の生産技術構造は競争輸入型、非競争輸入型それぞれ、以下の投入係数行列を用いて表されるが、今後表式の最初に a), b) を付けて、それぞれ競争輸入型、非競争輸入型とする。

a) $\mathbf{A} = (a_{ij}) = (X_{ij}/T_j) = \mathbf{X}diag^{-1}(\mathbf{T})$ （競争輸入型）

b) $\mathbf{A}^d = (a_{ij}^d) = (X^d{}_{ij}/T_j) = \mathbf{X}^d diag^{-1}(\mathbf{T})$ （非競争輸入型）. (2.1)

図 2.2 の分析メニューでは「投入係数表」のコマンドボタンをクリックすることにより求められる。結果は表形式で与えられるが、求まった表のセル幅、桁数合わせや文字の配置は結果の表示画面の中で設定する。また、グラフも右隣の「グラフ」のコマンドボタンで、3 次元立体棒グラフとして表示される。グラフの簡単な設定は、結果グラフ表示フォームの中で行うことが出来る。表示関係のこれらの機能についても、必要なものを追加して行かなければならない。

図 2.2 の「付加価値係数」$\tilde{\mathbf{V}}$ は、競争輸入型も非競争輸入型も以下で表す。

$$\tilde{\mathbf{V}} = \mathbf{V} diag^{-1}(\mathbf{T}). \qquad (2.2)$$

付加価値の全ての項目の和をとった付加価値係数ベクトル $\tilde{\mathbf{V}}_0$ も以下のように計算出来る。

$$\tilde{\mathbf{V}}_0 = (\Sigma'\mathbf{V}) diag^{-1}(\mathbf{T}). \qquad (2.3)$$

「輸入係数」$\tilde{\mathbf{M}}$ は「輸入／国内投入」の意味を持っており、輸入の扱いに応じて以下のようになる。

a) $\tilde{\mathbf{M}} = diag^{-1}(\mathbf{AT} + \Sigma\mathbf{F})\Sigma\mathbf{M}$

b) $\tilde{\mathbf{M}} = diag^{-1}(\mathbf{A}^d\mathbf{T} + \Sigma\mathbf{F}^d + \Sigma\mathbf{M})\Sigma\mathbf{M}$. (2.4)

次に、Leontief 逆行列により生産の波及構造を調べるが、輸入の取り扱いによりバランス式が異なり、それによって逆行列の表式が異なってくる。特に競争輸入型の場合に注意すると、バランス式は以下のようになる。

a)
$$\begin{aligned}\mathbf{T} &= \mathbf{AT} + \Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \Sigma\mathbf{M} \\ &= \mathbf{AT} + \Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \overline{\mathbf{M}}(\mathbf{AT} + \Sigma\mathbf{F}) \\ &= (\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}})\mathbf{AT} + (\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}})\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E}\end{aligned}$$

b) $\mathbf{T} = \mathbf{A}^d\mathbf{T} + \Sigma\mathbf{F}^d + \Sigma\mathbf{E}$. (2.5)

ここに $\overline{\mathbf{M}}$ は輸入係数ベクトルの成分を対角成分として得られた正方行列で、$\overline{\mathbf{M}} = diag(\tilde{\mathbf{M}})$ である。これより、国内総生産を求めると、以下のようになる。

a)
$$\begin{aligned}\mathbf{T} &= (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \Sigma\mathbf{M}) \\ &= [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1}[(\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}})\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E}]\end{aligned}$$

b) $\mathbf{T} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1}(\Sigma\mathbf{F}^d + \Sigma\mathbf{E})$. (2.6)

これより Leontief 逆行列は、競争輸入型の場合は２通り、非競争輸入型の場合は１通り考えることにする。

a) $\mathbf{B} = (b_{ij}) = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$　または、$\mathbf{B} = (b_{ij}) = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1}$

b) $\mathbf{B} = (b_{ij}) = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1}$. (2.7)

図 2.2 のメニューでは「Leontief 逆行列」のボタンをクリックする際に、「輸入の取扱い」と「逆行列」のオプションボタンの選択によって、これらを選択出来るようになっている。

メニュー中の「影響力・感応度係数」ボタンのクリックによって、産業別の影響力係数 $n\Sigma^t\mathbf{B}/\Sigma'\Sigma\mathbf{B}$ と感応度係数 $n\Sigma\mathbf{B}/\Sigma'\Sigma\mathbf{B}$ を表示する。ここに $\mathbf{B}$ は (2.7) のそれぞれの表式を用いる。また、同様の指標として、前方連関指標 $\Sigma\mathbf{B}$ と後方連関指標 $\Sigma^t\mathbf{B}$ も「前方・後方連関指標」ボタンのクリックによって求めることが出来る。

さて、最終需要項目別の生産誘発額 $\mathbf{T}'$ は、「生産誘発額」ボタンをクリックすることにより求めることが出来る。式 (2.6), (2.7) より、容易にその計算式の意味が理解出来るであろう。

a) $\mathbf{T}'(n\times(d+e)) = [\mathbf{I}-(\mathbf{I}-\overline{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1}[(\mathbf{I}-\overline{\mathbf{M}})\mathbf{F}\oplus\mathbf{E}]$

$\quad = \mathbf{B}[(\mathbf{I}-\overline{\mathbf{M}})\mathbf{F}\oplus\mathbf{E}]$

b) $\mathbf{T}'(n\times(d+e)) = (\mathbf{I}-\mathbf{A}^d)^{-1}(\mathbf{F}^d\oplus\mathbf{E})$

$\quad = \mathbf{B}(\mathbf{F}^d\oplus\mathbf{E})\,.$ (2.8)

最終需要の各項目別産業合計に対する生産誘発額の割合を表す生産誘発係数$\tilde{\mathbf{T}}'$は、(2.8)より以下のように与えられる。

a) $\tilde{\mathbf{T}}' = \mathbf{B}\Gamma\mathbf{F}\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{F})\oplus\mathbf{BE}\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{E})$

b) $\tilde{\mathbf{T}}' = \mathbf{BF}^d\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{F}^d)\oplus\mathbf{BE}\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{E})\,.$ (2.9)

ここに、$\Gamma = \mathbf{I}-\overline{\mathbf{M}}$ である。全需要による生産誘発係数ベクトル $\tilde{\mathbf{T}}'_0$ は、以下で与えられる。

a) $\tilde{\mathbf{T}}'_0 = \mathbf{B}(\Gamma\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E})/\Sigma'(\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E})$

b) $\tilde{\mathbf{T}}'_0 = \mathbf{B}(\Sigma\mathbf{F}^d+\Sigma\mathbf{E})/\Sigma'(\Sigma\mathbf{F}^d+\Sigma\mathbf{E})\,.$ (2.10)

これらの結果は「生産誘発係数」ボタンにより、表示することが出来る。

また、特に競争輸入型の場合、輸入$\Sigma\mathbf{M}$は(2.7)から求まる$\mathbf{B}-\mathbf{I}=\Gamma\mathbf{AB}$の表式及び$\Gamma$の定義から、(2.11)のように書き換えることが出来る。

$$\begin{aligned}\Sigma\mathbf{M} &= -(\mathbf{I}-\mathbf{A})\mathbf{T}+\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E}\\ &= -(\mathbf{I}-\mathbf{A})\mathbf{B}(\Gamma\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E})+\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E}\\ &= \overline{\mathbf{M}}\Gamma^{-1}\mathbf{B}\Gamma\Sigma\mathbf{F}+\overline{\mathbf{M}}\mathbf{AB}\Sigma\mathbf{E}\,.\end{aligned} \tag{2.11}$$

これより各最終需要項目による輸入誘発額$\mathbf{M}'$として以下を得る。

$$\mathbf{M}' = \overline{\mathbf{M}}\Gamma^{-1}\mathbf{B}\Gamma\mathbf{F}\oplus\overline{\mathbf{M}}\mathbf{ABE}\,. \tag{2.12}$$

これは「輸入誘発額」ボタンにより求めることが出来る。

輸入誘発額の最終需要に対する割合として定義される輸入誘発係数$\tilde{\mathbf{M}}'$は、以下のように与えられる。

$$\tilde{\mathbf{M}}' = \overline{\mathbf{M}}\Gamma^{-1}\mathbf{B}\Gamma\mathbf{F}\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{F})\oplus\overline{\mathbf{M}}\mathbf{ABE}\,diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{E})\,. \tag{2.13}$$

同様にして全需要項目による輸入誘発係数$\tilde{\mathbf{M}}'_0$は以下で与えられる。

$$\tilde{\mathbf{M}}'_0 = \overline{\mathbf{M}}(\Gamma\mathbf{B}\Gamma^{-1}\Sigma\mathbf{F}+\mathbf{AB}\Sigma\mathbf{E})/\Sigma'(\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E})\,. \tag{2.14}$$

これらは「輸入誘発係数」ボタンにより求めることが出来る。

付加価値係数の(2.3)式より、付加価値は以下のように与えられ、

$$\Sigma^t\mathbf{V} = {}^t\tilde{\mathbf{V}}_0\,diag(\mathbf{T}) = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{T}\,, \tag{2.15}$$

産出額の式より、これは競争輸入型と非競争輸入型に分けて、以下のように書き換えられる。

a) $\Sigma^t\mathbf{V} = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\Gamma\Sigma\mathbf{F}+\Sigma\mathbf{E})$

b) $\Sigma^t\mathbf{V} = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\Sigma\mathbf{F}^d+\Sigma\mathbf{E})\,.$ (2.16)

これより、それぞれの最終需要項目が付加価値を誘発する額を表す、付加価値誘発額ベクト

ル $\mathbf{V}'$ は以下の式で与えられる。

a) $\mathbf{V}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\Gamma\mathbf{F} \oplus \mathbf{E})$

b) $\mathbf{V}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\mathbf{F}^d \oplus \mathbf{E})$. (2.17)

これは「付加価値誘発額」ボタンにより求められる。

付加価値誘発額の最終需要に対する割合として定義される付加価値誘発係数 $\tilde{\mathbf{V}}'$ は、以下のように定義される。

a) $\tilde{\mathbf{V}}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}[\Gamma\mathbf{F}diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{F}) \oplus \mathbf{E}diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{E})]$

b) $\tilde{\mathbf{V}}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}[\mathbf{F}^d diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{F}^d) \oplus \mathbf{E}diag^{-1}(\Sigma'\mathbf{E})]$. (2.18)

また、全付加価値項目による付加価値誘発係数は、以下で与えられる。

a) $\tilde{\mathbf{V}}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\Gamma\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E}) / \Sigma'(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E})$

b) $\tilde{\mathbf{V}}' = diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}(\Sigma\mathbf{F}^d + \Sigma\mathbf{E}) / \Sigma'(\Sigma\mathbf{F}^d + \Sigma\mathbf{E})$. (2.19)

これは「付加価値係数」ボタンにより求められる。

競争輸入型の場合全輸入額と全付加価値額は、以下の形で与えられるが、

$$\Sigma'\Sigma\mathbf{M} = \Sigma'\overline{\mathbf{M}}\Gamma^{-1}\mathbf{B}\Gamma\Sigma\mathbf{F} + \Sigma'\overline{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}\Sigma\mathbf{E} \qquad (2.20)$$

$$\Sigma'\Sigma^t\mathbf{V} = \Sigma' diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}\Gamma\Sigma\mathbf{F} + \Sigma' diag(\tilde{\mathbf{V}}_0)\mathbf{B}\Sigma\mathbf{E}\,, \qquad (2.21)$$

総合輸入係数・総合付加価値係数はこれらの輸入額・付加価値額の合計の、$\Sigma\mathbf{F}$ 及び、$\Sigma\mathbf{E}$ に係る係数ベクトルをそれぞれ、消費・投資に係る係数、輸出に係る係数と呼んだものである。また、最終需要合計に係る係数は、最終需要合計に占める各産業別の消費・投資と輸出の割合を掛けて、それぞれの係数を足して、$\Sigma'\overline{\mathbf{M}}\Gamma^{-1}\mathbf{B}\Gamma\mathbf{W}_f + \Sigma'\overline{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}\mathbf{W}_e$ のように定義する。ここに、$\mathbf{W}_f = diag(\Sigma\mathbf{F}) / \Sigma'(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E})$, $\mathbf{W}_e = diag(\Sigma\mathbf{E}) / \Sigma'(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E})$ である。これらは、行ベクトルであるので、表示に際しては転置を取ったものを用いる。

産業 i の需要を 1 単位だけ満たすための各産業の投入産出関係は、unit structure と呼ばれる。ここで、$\mathbf{e}_i = {}^t(0, 0, \cdots, 1, \cdots, 0)$ は第 i 成分のみ 1 でその他は 0 の縦ベクトルとすると、競争輸入型の(2.6)の関係式 $\mathbf{T} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \Sigma\mathbf{M})$ で、$(\Sigma\mathbf{F} + \Sigma\mathbf{E} - \Sigma\mathbf{M})$ の代わりに $\mathbf{e}_i$ を用いて、これを(2.1)から求まる関係式 $\mathbf{X} = \mathbf{A}diag(\mathbf{T})$ の中に代入して、unit structure $\mathbf{U}_i$ が以下のように求められる。

$$\mathbf{U}_i = \mathbf{A}diag((\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{e}_i)\,. \qquad (2.22)$$

これは、図 2.2 の「単位構造」フレームで「産業選択」のテキストボックスに産業番号を書き込み、「表」か「グラフ」のボタンをクリックすることによって求められる。

投入係数の変化の問題を扱うには、RAS 法がよく用いられる。RAS 法では、$\mathbf{A}$ から $\mathbf{A}'$ への投入係数の変化を $\mathbf{A}' = \hat{\mathbf{R}}\mathbf{A}\hat{\mathbf{S}}$ のように、代替変化乗数ベクトル $\mathbf{R}$ と加工度変化乗数ベクトル $\mathbf{S}$ を用いて記述する。ここに、$\hat{\mathbf{R}} = diag(\mathbf{R})$, $\hat{\mathbf{S}} = diag(\mathbf{S})$ である。RAS 法を用いた分析に

は、基準時点と比較時点の２時点の産業連関表と２時点間の年数が必要であり、これらのデータをテキストボックスに入力した後、「代替・加工度変化」ボタンをクリックする。結果は1年間当たりのそれぞれのベクトルの値が表示される。直接2時点間の差が見たい場合には、2時点間の年数を 1 にすればよい。また、比較時点の投入係数行列に、1年間の代替変化乗数ベクトルと加工度変化乗数ベクトルより作られる対角行列を複数回掛けて、将来の予測をすることも出来る。これは、予測年次のテキストボックスに何年後かの値を入れて、「予測投入係数表」のボタンをクリックすることによって求めることが出来る。

3章　KSIM

KSIM は経済システムや社会システムのように、はっきりと定義されないシステムの時間的な変化をシミュレートする手法である。取扱う変数は、数値的なものの場合もあれば、数値的に表されない好みや傾向といったものもあるが、基本的にはすべて主観的な量に変換して分析を行う。即ち全ての変数、例えば工業化の度合い等も、0 より大きく 1 より小さい数値で表す。

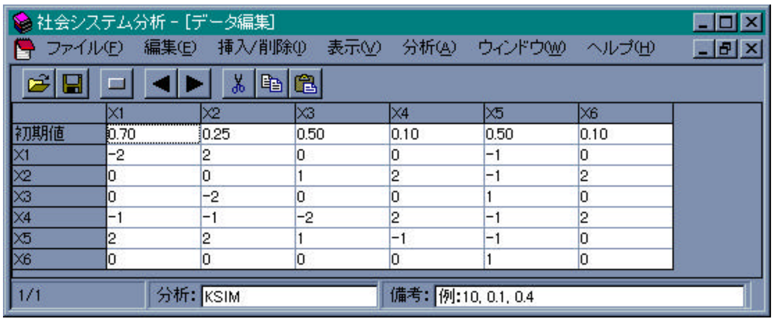
システムの i 番目の変数について時刻 t から $t+dt$ までの変化を以下で定義する。

$$x_i(t+dt) = x_i(t)^{p_i(t)}. \qquad (3.1)$$

ここに $p_i(t)$ は影響力を与える因子で、以下で定義される。

$$p_i(t) = \frac{1 + \dfrac{cdt}{2}\displaystyle\sum_{j=1}^{n}\left(\left|a_{ji}\right| - a_{ji}\right)x_j(t)}{1 + \dfrac{cdt}{2}\displaystyle\sum_{j=1}^{n}\left(\left|a_{ji}\right| + a_{ji}\right)x_j(t)}. \qquad (3.2)$$

行列 $\mathbf{A} = (a_{ij})$ はインパクト行列と呼ばれ、変数 x_i から x_j への影響を表す。ここでは行方向が影響を与える側、列方向が影響を受ける側とし、慣例的に相互作用の強さは –3 から 3 程度の大きさの整数値で表される。dt は時間の刻み値、c は省かれることが多いが、インパクト行列の数値をある範囲に限定した場合の相互作用の絶対的な大きさを表すパラメータである。このパラメータを導入しておくと実際の時間単位のシミュレーションが可能となる。また、データとしては、時刻 0 での変数の初期値も必要である。初期値として全ての変数に対して 0 より大きく 1 より小さい範囲の値を設定すると、全ての時刻において、$0 < x_i(t) < 1$ $(i = 1, 2, \cdots, n)$ となる。



	X1	X2	X3	X4	X5	X6
初期値	0.70	0.25	0.50	0.10	0.50	0.10
X1	-2	2	0	0	-1	0
X2	0	0	1	2	-1	2
X3	0	-2	0	0	1	0
X4	-1	-1	-2	2	-1	2
X5	2	2	1	-1	-1	0
X6	0	0	0	0	1	0

図 3.1　KSIM のデータ

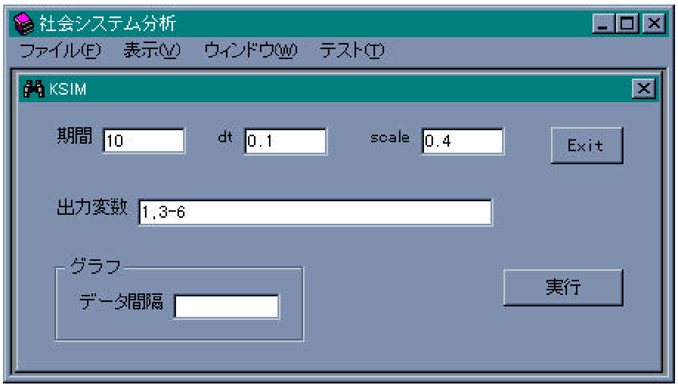


図 3-2　KSIM の分析画面

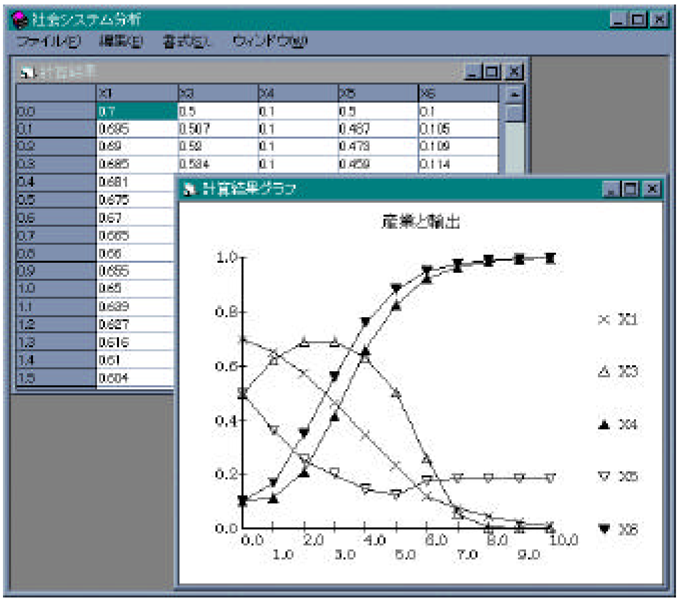


図 3.3　KSIM の実行画面

以上のことをもとに、分析用の実際のデータを図 3.1 に表示する。分析画面は図 3.2 である。

ここに、「期間」は分析実行の期間、「*dt*」は分析の刻み値、「scale」は(3.2)式のパラメータ *c* を表す。「出力変数」は、上の例だと 1 番目と 3 番目から 6 番目を指定していることになる。「実行」ボタンをクリックすると計算結果がグリッド表示とグラフ表示で出力される。グリッド表示では刻み値で与えられた値毎のデータが、グラフ表示では適当に計算結果の間を抜いた形で表示される。グラフの表示間隔を自分で指定したい場合は、「データ間隔」に適当な値を入力して実行する。実行結果は図 3.3 のようになる。

4章　AHP

AHP はある選択問題に対して、選択肢（以後代替案と呼ぶ）から評価基準をもとに最適なものを選出する合理的な手法である [5, 6]。それぞれの評価基準は、問題に対して評価基準同士の 1 対比較により、重要度を計算される。さらに、各評価基準に対してそれぞれの代替案もそれら同士の 1 対比較により、重要度を計算される。各代替案の問題に対する最終的な重要度は、それぞれの評価基準の重要度とその評価基準から見たその代替案の重要度の積の合計として与えられる。

ここで、例として図 4.1 のような階層構造の意思決定モデルを考えてみよう。

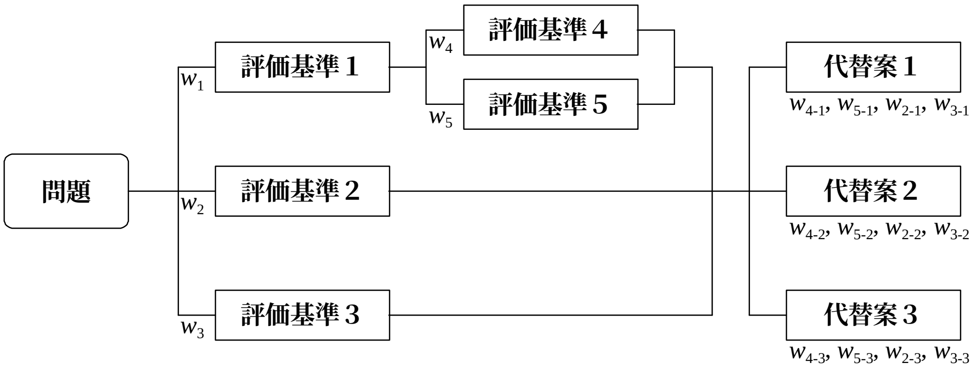


図 4.1　重要度の評価

評価基準と代替案に付いている w_i の記号は、それぞれ上の階層から見た重要度である。例えば、代替案 1 の上の階層には、評価基準 4, 5, 2, 3 があり、$w_{4-1}, w_{5-1}, w_{2-1}, w_{3-1}$ が重要度になっている。これらの重要度は、以下の性質を持っている。

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1,\ \ w_4 + w_5 = 1, \\ w_{i-1} + w_{i-2} + w_{i-3} = 1 \quad (i = 2, 3, 4, 5). \tag{4.1}$$

各評価基準と各代替案の、「問題」から見た重要度をそれぞれ、$pw_1, \dots, pw_5$ 及び tw_1, tw_2, tw_3 とおくと、それらの値は以下となる。

$$pw_1 = w_1,\ \ pw_2 = w_2,\ \ pw_3 = w_3, \\ pw_4 = pw_1 \cdot w_4,\ \ pw_5 = pw_1 \cdot w_5, \\ tw_j = pw_4 \cdot w_{4-j} + pw_5 \cdot w_{5-j} + pw_2 \cdot w_{2-j} + pw_3 \cdot w_{3-j} \quad (j = 1, 2, 3). \tag{4.2}$$

重要度は、問題または評価基準の、1 階層下の評価基準または代替案の 1 対比較によって求められる。例えば、問題に対する重要度 w_1, w_2, w_3 は、(4.3)式の一対比較行列から求められる。

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \end{pmatrix}. \tag{4.3}$$

ここに a_{ij} は主観的に見た、評価基準 i の評価基準 j に対する重要度の比率である。即ち、評価が理想的に行われるなら、$a_{ij} = w_i / w_j$ である。しかし現実には、比較を容易なものとするために、1～9 の整数値及びその逆数が提案されている [5]。

完全に理想化された n 次元の一対比較行列から、重要度は(4.4)式のように最大固有値 n の固有ベクトルとして求められる。

$$
\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}. \tag{4.4}
$$

ここに、その他の固有値は全て 0 である。

理想的な場合からは多少ずれているが、一般の一対比較行列の場合にも、重要度は最大固有値λ_{max}に対する固有ベクトルによって与えることにする。但し、そのずれの程度を明らかにするために、理想的には 0 であるべきその他の固有値の平均的な値をとって整合度 C.I.と呼び、一対比較の整合性を測るための指標とする。

$$
\mathrm{C.I.} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}. \tag{4.5}
$$

この値が 0.1 程度以下であれば、整合度は合格とする。また、もう 1 つの整合性を見る指標として、無作為に作られた一対比較行列の整合度である、ランダム整合度で C.I.を割った、整合比 C.R.も用いられる。この値も 0.1 程度以下なら、整合性は合格とする [5)]。

図 4.2 に、具体的なデータ構造の入力画面を示す。

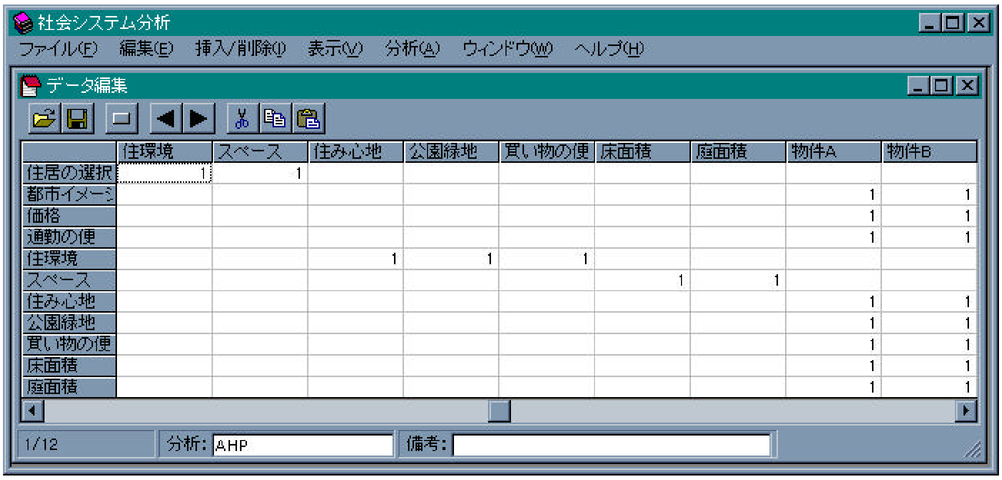


図 4.2 AHP のデータ構造入力

エディタ内の列名には、問題、評価基準、代替案全ての項目を入れ、行名には、問題と評価基準の項目を入れる。そして行項目を上位として、それぞれが連結している部分に、データ 1 を入力する。分析を実行すると、図 4.3 のような一対比較画面が現れる。但し、図の中にある重要度と整合度の項目は最初の段階では表示されていない。

図 4.3 データ入力と重要度の表示

図 4.4 最終評価の表示

利用者は例えば、i 行 j 列の比較値を w_i / w_j 形式の分数で入力する。その後、重要度の表示ボタンをクリックして、重要度と λmax, C.I., C.R.の値を表示させる。適合度の値に満足が行かなければ、再度データを変更し、再表示させる。出来上がった一対比較表は「比較データ保存」ボタンでエディタの２頁目以降の、一対比較シートの値を変更する。ここで、「対称データ設定」ボタンは、入力を楽にするためのもので、三角行列部分を入力した段階でクリックすると、空白部分を埋めてくれる。データ変更処理は、データ項目をエディタで消去または追加した場合、元の一対比較データを項目名によって残すかどうかを決定するものである。この部分はまだ完全に仕様が定まっていない。

全てのデータを入力し、適合度の検定が終わり、「最終評価」ボタンをクリックすると図 4.4 のように、問題からみた各項目毎の重要度が表示される。利用者には、代替案だけでなく、選択基準についても自分の考えている重要度が分かり、結果と直感との差異が認識出来る。これは、教育的な観点から導入された。

５章　考察と今後の発展

これまで、３つの分析について、理論とプログラムの利用法を説明してきた。我々はこれらの機能に改良を加え、より有用なものにして行かなければならない。そのために、ここで説明したプログラムに変更を加えることも考えられる。これらの変更については、今後の論文の補遺で変更点を概説し、別に利用者マニュアルを最新のものに更新する。利用者マニュアルは基本的に論文の章を再構成して作成され、Microsoft Word 文書のオンラインマニュアルとして提供される。以後、それぞれの分析プログラムについて問題点を考察する。

産業連関分析は、大きく産出量の産業連関分析と価格の産業連関分析に分かれる。分析としては、前者がよく利用されるが、理論としてはお互い対等である [3)]。しかし、このプログラム内では、産出量の産業連関分析しか取り扱われておらず、完全なものではない。今後、同じメニュー内で処理するか、別メニューとして新たに加えるかよく吟味の上、価格の産業連関分析のプログラムも作成しなければならない。また、現在のメニューでは表示項目が多く、低解像度のモニターでは画面に収まりきらない。サブメニュー化することも考えたほうがよいかも知れない。この論文の執筆中にも分析メニューの追加があった。２時点間の産業構造の変化の要因分析である。これは、変化を最終需要の変動、技術構造の変動、相乗変動に分解するものである [3)]。他に RAS 法を利用した生産予測も追加されたが、これらは別の機会に紹介する。

KSIM については、「実行」ボタンでデータとグラフを同時に表示させているが、他の分析に習って、別々に選べるようにすることも考えている。この分析は処理が比較的単純なので、今後大きな変更個所はないであろう。

AHP については、構造を与えるシートとそれを用いた一対比較データの制御が難しい。例えば構造を与える部分で、ある項目を消去した場合、その項目に関する一対比較データのシートを消去させなければならない。また、その項目を含む一対比較においても、消去した項目部分だけ元の一対比較のデータがずれる。現在は分析の中でデータ書き込みを指定して、エディタのデータを訂正するようにしている。汎用的なエディタを利用する場合、エディタ側で制御することが出来ないので、分析画面から調整する他はない。また、特にこの分析のデータ入力については、一対比較が特殊であるので専用の入力画面を作ることを考えてもよい。

分析プログラムを作成する段階で、Visual Basic のバージョンが変わり、グリッドとグラフに影響が現れた。特にグラフについては、元のバージョンのものと大きく異なり、仕様の変更が起こっている。この論文においても、グラフの表示が現在のものと異なっている。今後、より使い易いグラフ表示機能を提供するために、プログラムに改良を加えて行かなければならない。

参考文献

1)　福井正康, 田口賢士, 社会システム分析のための統合化プログラム, 福山平成大学経営情報研究, 3 号, 1998.

2)　**宮沢健一編**, **産業連関分析入門**, **日本経済新聞社**, 1991.

3)　**谷山新良**, **産業連関論**, **大明堂**, 1991.

4)　**榧木義一他編**, **参加型システムズ・アプローチ**, **日刊工業新聞社**, 1981.

5)　**利根薫**, **ゲーム感覚意思決定法－ＡＨＰ入門－**, **日科技連出版**, 1986.

6)　**利根薫・眞鍋龍太郎編**, **ＡＨＰ事例集**, **日科技連出版**, 1990.

7)　**田口賢士**, **福井正康**, **佐藤真司**, Contribution of Standardization in Technology Transfer, **福山大学経済学論集**, 20 **巻**, 1･2 **号**, 1995.

8)　Katashi Taguchi, Masayasu Fukui and Mitsuo Kishi, Regional Integration, Transportation and Logistics, Proceedings of International Maritime Conference Indonesia 1977, 1-22.

Multi-purpose Program for Social System Analysis 2

- I-O Analysis, KSIM, AHP -

Department of Management Information, Faculty of Management,
Fukuyama Heisei University

Abstract:

Continued from the previous paper[1)], the authors presented a detail explanation of programs for analyzing Input-Output analysis, KSIM analysis and AHP analysis. Forms of data corresponding to the above analyses are respectively:

1. for I-O analysis: set of sheets of I-O tables for carrying out chronological analysis of tables of different years.
2. for KSIM analysis: a single data sheet.
3. for AHP analysis: one sheet for data structure and subsequent sheets for storing the result and contrasting the results obtained, method of paired comparison.

Keywords:

computer software, social system analysis, input-output analysis, KSIM, AHP