

社会システム分析のための統合化プログラム9

— Dematel 法・社会的意思決定法・その他の機能強化 —

福井正康, 光平直嗣*, 細川光浩

福山平成大学経営学部経営情報学科

*福山平成大学大学院経営学研究科経営情報学専攻

概要

我々は教育分野での利用を目的に社会システム分析に用いられる様々な手法を統合化したプログラム College Analysis を作成してきたが、今回 Visual Basic Ver.6 で記述されたプログラムを Visual Basic.NET 対応に書き換えた。また新たに Dematel 法と社会的意思決定手法の分析を加え、ISM、待ち行列シミュレーション、因子分析、描画プログラムなどに新しい機能を追加した。

キーワード

College Analysis, 社会システム分析, OR, 統計, Dematel 法, 社会的意思決定手法, Visual Basic.NET, 統合化プログラム

URL: <http://www.heisei-u.ac.jp/mi/fukui/>

1. はじめに

我々が開発を続けてきた社会システム分析ソフトウェア College Analysis¹⁾⁻⁸⁾は Visual Basic Ver.6.0（以後 VB6 と略す）を用いて書かれていたが、マイクロソフトの .NET 環境が普及するにつれ、大幅な修正が必要になってきた。我々は 2005 年春から移行の準備を始め、同年秋から本格的に Visual Basic.NET（以後 VB.NET と略す）への移行作業を開始した。今回の修正は VB.NET が大きく様変わりしているため、少しづつ手を加えて、約 1 年を要した。

VB.NET には VB6 からの移行を支援するアップグレードプログラムが付属している。最初はまずこのプログラムを利用して我々のプログラムを VB.NET の書式に近づけた。しかしこれだけでは当然動作するものにはならない。また、訂正されたプログラムの中に VB6 のライブラリを利用する部分も多く残っていたため、我々は手作業でその部分を書き直し、フレキシブルグリッド以外は完全に VB.NET の標準書式に従うように訂正した。この間の経緯は参考文献 12) に詳しい。

この移行に際して、我々は新しい分析手法を 2 つ加え、これまでのプログラム自体にもかなり手を加えて、College Analysis Ver.3.0 とした。新しく追加した分析手法は、意思決定支援手法として有名な Dematel 法と多人数の投票による候補者の順位決定を支援する社会的意思決定手法である。後者の分析名は参考文献 9) に従った。

これらの他にかなり機能追加した分析としては、意思決定支援手法の一つ ISM や待ち行列シミュレーションがある。前者には参考文献 9) にあるような構造化行列や我々が定義した新しい関係の表示法などを加えた。後者は我々のプログラムの作成法に準拠するよう最初から書き直した。

分析の中には部分的に手直ししたものもある。因子分析では完成していなかったバリマックス回転や独自の因子の整合性を表す指標を加え、クラスター分析では、類似度（距離）の表示法を少し変えた。またデータを標準化して表示する機能を追加し、先頭列で群分けの場合に欠損値のデータ単位の除去を可能とした。グラフィック表示機能では産業連関分析においてレオンチエフ行列の表示などに用いる 3 次元棒グラフを自作プログラムに変更した。また、システムをサポートする機能で追加したものとしては、操作を 1 つ元に戻す（逆に進める）機能や印刷時の簡易的なページ設定機能などがある。これらはまとめて 4 節で紹介する。

2. Dematel 法

Dematel (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) 法はある問題となるシステム内の要素間の関係の強さを専門家へのアンケートで決定し、その 2 項関係を用いて、各要素の影響の様子や影響の強さまたは影響を受ける程度などを導き出し、システム構造への理解を深めようとする分析手法である。このプログラムは参考文献 11) に従って作成した。

まず以下のような n 次元のクロスサポート行列を専門家へのアンケートから決める。

$$\mathbf{A} = (a_{ij})$$

クロスサポート行列 \mathbf{A} の成分 a_{ij} は影響の強さに応じて $\{0, 2, 4, 6, 8\}$ の値をとるものとする。次に以下のように直接影響行列 \mathbf{D} を定義する。

$$\mathbf{D} = s\mathbf{A}$$

ここに係数 s は以下の関係を満たすものと仮定する。

$$s \leq \sup \equiv 1 / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \quad (1)$$

具体的には $s = \sup, 3/4 \cdot \sup, 1/2 \cdot \sup$ などがよく用いられる。

次に直接影響行列 \mathbf{D} を使って、 k 次の影響を考えるとその強さは \mathbf{D}^k で与えられる。これよりすべての次数の影響を考えると全影響行列 \mathbf{F} は以下のように与えられる。

$$\mathbf{F} = \sum_{k=1}^{\infty} \mathbf{D}^k = \mathbf{D}(\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1} \quad (2)$$

ここで (1) 式は (2) 式の収束の十分条件になっている。

全影響から直接影響を除いた間接影響行列 \mathbf{H} は以下で与えられる。

$$\mathbf{H} = \sum_{k=2}^{\infty} \mathbf{D}^k = \mathbf{D}^2 (\mathbf{I} - \mathbf{D})^{-1}$$

これらの行列の成分の大きさは関係の強さを表しており、我々はある程度大きな値に絞って関係を見てみたいと考える。そこで、直接影響行列、全影響行列、間接影響行列それぞれにあるしきい値を設け、それより小さい成分はすべて 0 としてこれらの影響行列を書き直すことにする。これをそれぞれしきい値直接影響行列、しきい値全影響行列、しきい値間接影響行列とよぶ。これらすべてを総称する場合はしきい値影響行列とよぶ。以後の名称からは「直接」、「全」、「間接」を取り除き、この総称を用いることとする。必要な場合は適宜付けて用いる。

しきい値影響行列を用いて要素間の関係を示す構造図を描く際、ISM の階層化の技術を利用すると見通しがよくなる。そこでこれらの行列に対して 0 と異なる成分を 1 として、階層化可到達行列を求め、その要素の並びを用いてしきい値影響行列を書き直す。我々はこれを階層化しきい値影響行列と呼ぶ。

要素 i が他の要素から影響を受ける程度や要素 i が他の要素に影響を与える程度は、それぞれ以下の式によって与えられる。

$$v_i(f) = \sum_{j=1}^n f_{ji} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}, \quad w_i(f) = \sum_{j=1}^n f_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}$$

この v_i を被影響度、 w_i を影響度と呼ぶ。ここでは例として成分を f_{ij} とする全影響行列 \mathbf{F} についてのものを与えたが、直接影響行列、間接影響行列についての被影響度と影響度も同様に定義できる。

次に具体的な実行画面について説明する。図 2.1 に要素 1～要素 5 に関するクロスサポート行列

の入力画面を示す。また、Dematel 法の分析画面を図 2.2 に示す。ここでは全影響に関する各行列の値を表示するように選択している。

	1	2	3	4	5
1	0	4	6	0	0
2	0	0	2	8	0
3	0	4	0	0	2
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	4	0

 Below the matrix, there are buttons for file operations and a status bar showing '1/1' and '分析:'."/>

図 2.1 クロスサポート行列



図 2.2 Dematel 法分析画面

クロスサポート行列から求めた影響行列と図 2.2 で指定したしきい値に対するしきい値影響行列の表示画面をそれぞれ図 2.3 と図 2.4 に示す。

	1	2	3	4	5
1	0	0.6957	0.7391	0.6157	0.1478
2	0	0.087	0.2174	0.887	0.0435
3	0	0.4348	0.087	0.4348	0.2174
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.4	0

 The matrix is symmetric along the diagonal."/>

図 2.3 影響行列

	1	2	3	4	5
1	0	0.6957	0.7391	0.6157	0
2	0	0	0	0.887	0
3	0	0.4348	0	0.4348	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.4	0

 The matrix is symmetric along the diagonal."/>

図 2.4 しきい値影響行列

しきい値影響行列の要素を階層順に並べた階層化しきい値影響行列（分析画面上では「階層化影響行列」と略記）の表示画面を図 2.5 に示す。理論のところでも述べたが、この要素の順番を求める際には ISM の手法を用いている。

	1	5	3	2	4
1	0	0	0.7391	0.6957	0.6157
5	0	0	0	0	0.4
3	0	0	0	0.4348	0.4348
2	0	0	0	0	0.887
4	0	0	0	0	0

 The matrix is symmetric along the diagonal."/>

図 2.5 階層化影響行列

各要素の影響される程度と影響の強さを表す被影響度と影響度の表示画面を図 2.6 に示す。それらの値を用いた散布図は図 2.7 に示す。この図では縦軸が被影響度、横軸が影響度である。



図 2.6 被影響度・影響度

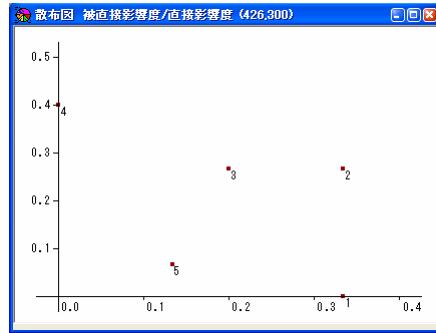


図 2.7 被影響度・影響度グラフ

3. 社会的意思決定手法

ここではいくつかの候補に対して、複数の審査員によって総合的な評価を与える方法を考える。その方法としてよく用いられているものに、審査員が審査項目について点数を付けその合計を評価とする方法がある。しかし、この評価法は審査員の評価の厳しさのばらつきや評価の差についての不統一性から、最終評価が疑問視される場合もある。また、審査員が候補に対して順位を付け、その順位を用いて最終評価を行う場合もある。これについては審査員の個人差は抑えられるが、候補についての審査員の思い入れの強さは考えられていない。ここでは、審査員の個人差を押さえて総合評価を与える、順位を用いた方法について考える。

総合評価に審査員の順位を用いる方法でよく利用されるものに順位法と一対比較法がある。順位法は各候補の獲得した順位にあるウェイトを付けて合計を取って評価を競うものである。ウェイトの付け方には一般的によく用いられるウェイト間の間隔を一定とする等間隔ウェイトと標準正規分布の確率と座標値を利用する正規性ウェイトがある。

今候補数 r に対して s 人の審査員が順位を付けるものとする。候補 i について順位 k を獲得した回数を n_{ik} とし、順位 k に w_k 点のウェイトを与えるものとする。これにより候補 i が獲得した点数 d_i を以下のように計算する。

$$d_i = \sum_{k=1}^r w_k n_{ik}$$

評価 e_i はこの点数の最大が 1、最低が 0 になるよう、以下のように定義する。

$$e_i = \frac{d_i - \min d}{\max d - \min d}$$

ここに $\max d$ と $\min d$ はそれぞれ d_i ($i = 1, 2, \dots, r$) の最大値と最小値とする。

ウェイト w_k の与え方には 2 つの方法がよく利用される。1 つは隣り合った順位の差が一定となるような等間隔ウェイトの方法で、もうひとつは標準正規分布の確率変数値を利用する正規性ウェイトの方法である。等間隔ウェイトの方法では、候補数 r の場合の順位 k のウェイトを簡単に

$w_k = r - k + 1$ とすることが多い。例えば候補数 4 の場合、1 位 4、2 位 3、3 位 2、4 位 1 である。

正規性ウェイトは、標準正規分布の密度関数の面積を r 等分し、各分割の中央値の座標をウェイトに利用する。すなわち、 $p_k = 1 - (k - 1/2)/r$ として、下側確率 p_k となる座標値 $z_k \equiv Z(p_k)$ を用いる。我々のプログラムではこの z_k を使ってウェイトを以下のように偏差値で定義している。

$$w_k = 50 + 10z_k$$

一対比較法では、各審査員について候補者を対にして順位を比べ、優っている方に 1、劣っている方に 0 を付ける。この得点を用いて他の候補に対して優っている割合を計算し、その割合から標準正規分布の座標値を求め、その値を候補者ごとに合計して最終評価を決める。

順位法の場合と同じデータで候補 i と候補 j の順位を比較したとき、候補 i が優っていると評価した審査員が s_{ij} 人、その逆が s'_{ij} 人とする。もちろん $s_{ij} + s'_{ij} = s$ である。これを用いると候補 i が優っているとした審査員数の比率 p_{ij} は $p_{ij} = s_{ij}/s$ である。標準正規分布の下側確率が p_{ij} となる座標値 $z_{ij} \equiv Z(p_{ij})$ を用いて、得点 d_i は以下のように定義される。

$$d_i = \sum_{j=1}^r z_{ij}$$

但し、実用上は $p_{ij} = 0$ または $p_{ij} = 1$ となる場合があることから、比率 p_{ij} を以下のように再定義する。

$$p'_{ij} = (s_{ij} + 1)/(s + 2)$$

次に A, B, C, D の 4 人の候補に 10 人の審査員が順位を付ける場合の例として、図 3.1 にデータ入力画面を示す。ここに使われているデータは各審査員の与えた各候補の順位であるが、代わりに昇順または降順の得点を与えても順位に換算してくれる。

社会的の意思決定手法の分析画面を図 3.2 に示す。

	A	B	C	D
1	1	2	4	3
2	3	1	2	4
3	1	3	4	2
4	2	1	3	4
5	1	3	2	4
6	4	2	3	1
7	2	1	4	3
8	3	1	4	2
9	4	3	2	1
10	2	4	1	3

図 3.1 社会的の意思決定法入力画面

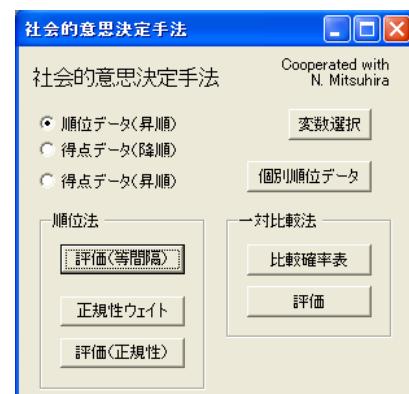


図 3.2 社会的の意思決定法分析画面

得点データの場合は左のラジオボタンで指定するが、それを順位に変換したデータは「個別順位データ」ボタンで表示できる。順位法では等間隔ウェイトと正規性ウェイトがあるが、ウェイト

の値は、等間隔ウェイトは明らかなので、正規性ウェイトのみ表示できるようになっている。一対比較法については一対比較の比較優位確率値と評価結果が表示できるようになっている。

まず順位法の等間隔ウェイトを用いた集計と評価結果を図 3.3 に示す。

評価(等間隔)		1	2	3	4	合計	加重合計	加重平均	評価
順位		1	2	3	4	合計	加重合計	加重平均	評価
ウェイト	4	3	2	1					
A	3	3	2	2	10	27.00	2.700	0.750	
B	4	2	3	1	10	29.00	2.900	1.000	
C	1	3	2	4	10	21.00	2.100	0.000	
D	2	2	3	3	10	23.00	2.300	0.250	
合計	10	10	10	10					

図 3.3 等間隔ウェイト順位法評価画面

ここで表の左半分の値は各候補が上の列名の順位を獲得した回数である。加重合計はこの回数にウェイトを掛けて合計したものであり、加重平均はそれを審査員の人数で割ったものである。評価は理論のところでも述べたように 1 位が 1、最下位が 0 になるように線形変換したものである。

正規性ウェイトの確率値と標準正規分布の座標値及びウェイトについては「正規性ウェイト」ボタンを押すことにより、図 3.4 のように表示される。このウェイトを用いた評価結果は図 3.5 のよう

	累積確率値	横座標値	ウェイト
1	0.8750	1.1503	61.50
2	0.6250	0.3186	53.19
3	0.3750	-0.3186	46.81
4	0.1250	-1.1503	38.50

図 3.4 正規性ウェイトの表示画面

評価(正規性)		1	2	3	4	合計	加重合計	加重平均	評価
順位		1	2	3	4	合計	加重合計	加重平均	評価
ウェイト	61.50	53.19	46.81	38.50					
A	3	3	2	2	10	514.69	51.47	0.734	
B	4	2	3	1	10	531.32	53.13	1.000	
C	1	3	2	4	10	468.68	46.87	0.000	
D	2	2	3	3	10	485.31	48.53	0.266	
合計	10	10	10	10					

図 3.5 正規性ウェイト順位法評価結果

同順位が含まれている場合、例えば 1 位が 2 人いる場合、 $(1+2) \div 2 = 1.5$ として、両方 1.5 位として扱うが、それぞれの等間隔ウェイトは $5 - 1.5 = 3.5$ と定義する。また正規性ウェイトは、 $p_{1.5} = 1 - (1.5 - 0.5) \div 4 = 0.75$ の確率を用いて求めるようになっている。同順位が含まれる場合の具体的な等間隔ウェイトの評価画面を図 3.6 に示す。

評価(等間隔)									
順位	1	1.5	2	3	4	合計	加重合計	加重平均	評価
ウェイト	4	3.5	3	2	1				
A	2	1	3	2	2	10	26.50	2.650	0.647
B	4	1	1	3	1	10	29.50	2.950	1.000
C	1	0	3	2	4	10	21.00	2.100	0.000
D	2	0	2	3	3	10	23.00	2.300	0.235
合計	9	2	9	10	10				

図 3.6 同順位が含まれる場合の等間隔ウェイト順位法評価画面

一対比較法において順位法で用いたデータと同じものから求めた比較優位確率値の表示画面を図 3.7 に示す。この行列の成分は行要素が列要素に優る確率である。但し、理論のところで述べた補正は行っている。

比較確率表(行要素が優位である確率)				
	A	B	C	D
A	0.5000	0.4167	0.5833	0.6667
B	0.5833	0.5000	0.6667	0.5833
C	0.4167	0.3333	0.5000	0.4167
D	0.3333	0.4167	0.5833	0.5000

図 3.7 比較優位確率表表示画面

上の比較優位確率表の値が下側確率となる標準正規分布の座標値を求め、その合計を取って評価を行った実行画面を図 3.8 に示す。最終的な評価は三つの評価法で比較できるようになっている。

比較評価表(行要素が優位である得点)							
	A	B	C	D	合計	平均	評価
A	0.0000	-0.2104	0.2104	0.4307	0.4307	0.108	0.753
B	0.2104	0.0000	0.4307	0.2104	0.8516	0.213	1.000
C	-0.2104	-0.4307	0.0000	-0.2104	-0.8516	-0.213	0.000
D	-0.4307	-0.2104	0.2104	0.0000	-0.4307	-0.108	0.247

図 3.8 一対比較法評価結果

4. その他の機能強化

4.1 ISM

ISM (Interpretive Structural Modeling)^{5),9),10)} は問題に含まれる要素間の因果関係について、その階層構造の理解を支援する手法である。分析手順として、まず要素間の 2 項関係を表す隣接行列（または関係行列）をもとにして直接関係のつながりをたどり、可到達行列を作る。次にこの可到達行列の階層構造を調べ、要素を階層的に並べ替えた階層化可到達行列を作る。この行列は要素間の有向グラフなどを描く際に利用されるが、新しいバージョンでは、これらに加えて階層化隣接行列、縮約階層化行列、縮約隣接行列、構造化行列などの表示機能が加わっている。構造化

行列を除くこれらの行列は我々が定義したもので、意味は例をもとに以下で説明する。図 4.1.1 と図 4.1.2 に新旧の ISM 分析実行画面を示す。



図 4.1.1 ISM 分析実行画面（新）

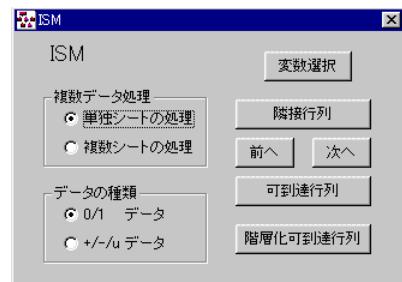


図 4.1.2 ISM 分析実行画面（旧）

さて今隣接（関係）行列として図 4.1.3 の関係を考える。本来分析結果から図を描くべきであるが、説明を簡単にするためその関係を図 4.1.4 に示す。

データ編集 ISM2.txt						
	e1	e2	e3	e4	e5	e6
e1		1				
e2			1		1	
e3				1	1	
e4					1	1
e5				1		1
e6						1

図 4.1.3 隣接行列入力画面

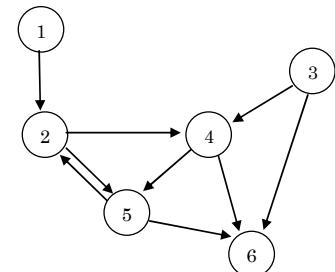


図 4.1.4 関係図

このデータによる階層化可到達行列は図 4.1.5 となる。階層化可到達行列の計算方法は参考文献 5) で述べており、ここでは省略する。この階層化可到達行列を用いた階層図を図 4.1.6 に示す。

階層化可到達行列						
	e1	e3	e2	e4	e5	e6
e1		1		1	1	1
e3			1	1	1	1
e2				1	1	1
e4				1	1	1
e5					1	1
e6						1

図 4.1.5 階層化可到達行列表示画面

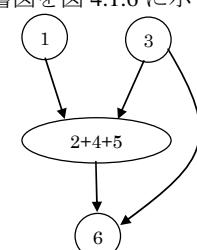


図 4.1.6 階層図

図 4.1.6 は階層化可到達行列を参考に描いたものだが、実はこの図を描くことは意外と難しい。

到達可能な要素への成分が多すぎて、これだけ少ない要素ですら一目でその構造は見抜けない。そこで我々は描画の助けとなるいくつかの行列を定義した。

階層化隣接行列は隣接（関係）行列の要素を階層化可到達行列で示された順に並べ替えたものである。要素の並びが階層順であるため、階層化可到達行列と見比べて図 4.1.4 を描くには隣接（関係）行列より便利である。図 4.1.7 にその表示画面を示す。

	e1	e3	e2	e4	e5	e6
e1	1					
e3		1			1	
e2			1		1	
e4				1		
e5					1	
e6						1

図 4.1.7 階層化隣接行列表示画面

次の縮約階層化行列は、階層化行列の中ですべての要素間が相互に関係（この場合は 1）で結ばれた部分の要素を 1 つにまとめて表すものである。その表示画面を図 4.1.8 に示す。

	e1	e3	e2+e4+e5	e6
e1	1			1
e3		1		1
e2+e4+e5			1	1
e6				1

図 4.1.8 縮約階層化行列表示画面

縮約隣接行列は、縮約階層化行列の中で、隣接（関係）行列に現れない関係を除いたものである。その表示画面を図 4.1.9 に示す。この行列の対角要素を除いた関係はまさに図 4.1.6 の関係を表している。

	e1	e3	e2+e4+e5	e6
e1	1			1
e3		1		1
e2+e4+e5			1	1
e6				1

図 4.1.9 縮約隣接行列表示画面

最後に構造化行列であるが、これは縮約階層化行列の中で階層を飛ばす矢印を省いたものとして定義する。この行列はループのない場合の樹形図などを描く際に最適である。参考文献 9)においてもそのような使い方をされている。構造化行列の表示画面を図 4.1.10 に、それから描かれる構造図を図 4.1.11 に示す。図 4.1.11 では図 4.1.6 の中の階層を飛ばす矢印が消されている。

	e1	e3	e2+e4+e5	e6
e1	1		1	
e3		1	1	
e2+e4+e5			1	1
e6				

図 4.1.10 構造化行列表示画面

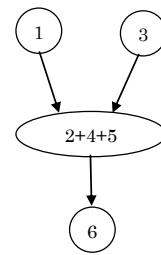


図 4.1.11 構造図

4.2 待ち行列シミュレーション

参考文献 3) で、待ち行列のシミュレーション問題を扱ったが、今回これを書き直し、いくつかの変更を加えた。特に今後予定している、条件が時間変化する待ち行列シミュレータの作成を行うための準備も組み込んでいる。比較のために新旧の実行画面を図 4.2.1 と図 4.2.2 に示す。

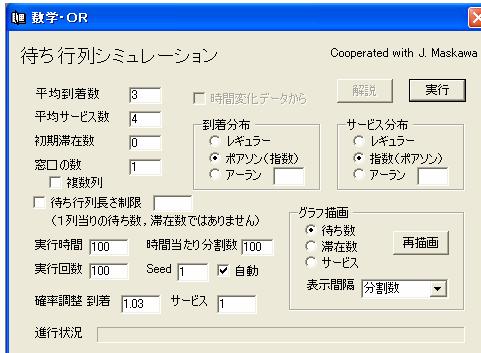


図 4.2.1 待ち行列実行画面（新）

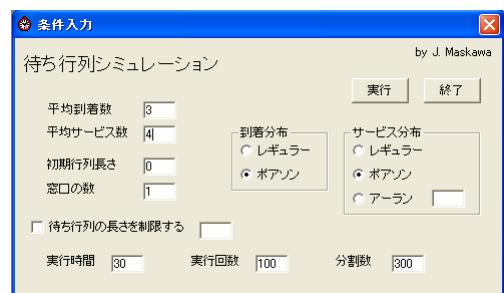


図 4.2.2 待ち行列実行画面（旧）

複数窓口の場合について、これまで全体の窓口に対し 1 列の待ち行列を考えており、サービスはそこから振り分けて行うものとしたが、今回窓口 1 つずつの待ち行列も考えることにした。この場合新しく来た人は最も短い列の後ろに並ぶものとしている。また、待ち人数の制限がある場合は窓口 1 つ当たりの制限人数で与える。

今回はシミュレーションの再現性を重んじ、乱数のシードを自分で入力できるようにしている。また、到着分布にアーラン分布を加え、理論とシミュレーションの微妙な違いを埋めるため、到着とサービスの確率を微調整する機能を付けている。これは、結果の分からぬシミュレーションに対して、実際に近い値を出すための補正用である。ここでは計算結果を表示する画面を図 4.2.3 に示す。

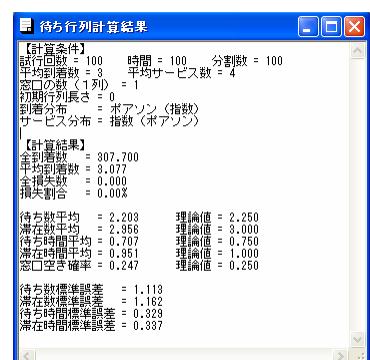


図 4.2.3 待ち行列結果表示画面

次に待ち行列のグラフ表示については、これまで独自のものを用いていたが、システム標準の折れ線グラフを利用するにした。そのため、ウィンドウの伸張に連動する機能やコピー、元データを表示する機能などが利用できる。また、グラフの種類も待ち数、滞在数、サービス数の3種類から選択でき、表示間隔も変更することができる。新しいグラフ（表示時間間隔を1/10とした場合）とこれまでのグラフを並べて図4.2.4と図4.2.5に示す。いずれもM/M/1(∞)で、平均到着数3、平均サービス数4、初期滞在数0、単位時間当たり分割数100の場合の待ち数の平均的推移である。

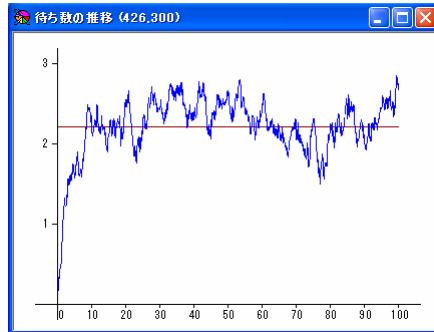


図4.2.4 待ち行列グラフ表示画面1（新）

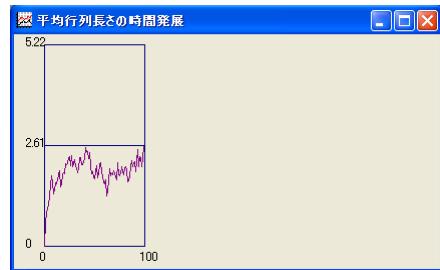


図4.2.5 待ち行列グラフ表示画面1（旧）

また、D/D/1(∞)で、平均到着数3、平均サービス数4、初期滞在数11、単位時間当たり分割数12の場合の待ち数の推移は新旧のグラフで図4.2.6と図4.2.7のようになる。残念ながらこれまでのグラフは設定が変わるとこのようにきれいな表示とはならない。

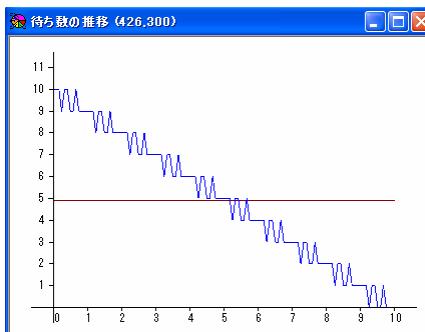


図4.2.6 待ち行列グラフ表示画面2（旧）



図4.2.7 待ち行列グラフ表示画面2（新）

4.3 因子分析

今回のバージョンアップで因子分析についても部分的な追加を行った。 p 変数、 n 個体（レコード）の場合について、標準化されたデータを $x_{i\lambda}$ ($i=1,2,\dots,p, \lambda=1,2,\dots,n$) とする。因子分析ではデータ $x_{i\lambda}$ を平均0、（不偏）分散1に標準化したデータ $t_{i\lambda}$ を用いることが多いので、

今後はこの変数 t_i を用いて議論を進める。

因子分析では各変数に内在する標準化された共通因子を $f_{\alpha\lambda}$ ($\alpha=1, 2, \dots, q \leq p$) として、以下の関係が成り立つものと仮定する。

$$t_{i\lambda} = \sum_{\alpha=1}^q a_{i\alpha} f_{\alpha\lambda} + \varepsilon_{i\lambda}$$

ここに係数 $a_{i\alpha}$ は α 因子の因子負荷量と呼ばれている。また $\varepsilon_{i\lambda}$ は誤差項であり、共通因子 $f_{\alpha\lambda}$ との相関や互いの相関はないものと考える。係数 $a_{i\alpha}$ を求める方法については参考文献 8) で述べているので繰り返しは避ける。今回は共通因子の回帰推定のところから話を進める。

共通因子の推測値 $\hat{f}_{\alpha\lambda}$ は係数 $b_{\alpha i}$ を用いて以下の関係で与えられると考える。

$$\hat{f}_{\alpha\lambda} = \sum_{i=1}^p b_{\alpha i} t_{i\lambda}$$

各変数について共通因子と共通因子の推測値の差の 2 乗が最小になるように係数 $b_{\alpha i}$ を求めると以下のようになる。

$$b_{\alpha i} = \sum_{j=1}^p a_{j\alpha} r^{ij}$$

ここに r^{ij} は変数間の相関行列の逆行列の i, j 成分である。

さて、このようにして推測された共通因子からデータはどの程度推測できるのであろうか。実際に以下の式によってデータを推測し、観測値との相関係数を調べてみるとモデルの良さが実感できる。

$$\hat{t}_{i\lambda} = \sum_{\alpha=1}^q a_{i\alpha} \hat{f}_{\alpha\lambda}$$

次に実際の画面変更について見る。因子分析の新旧の実行画面を並べて図 4.3.1 と図 4.3.2 に示す。

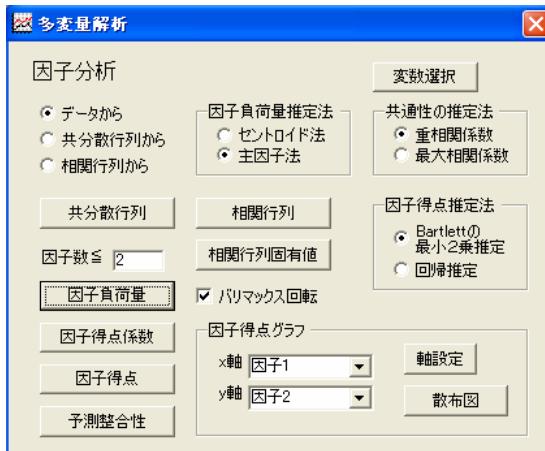


図 4.3.1 因子分析実行画面（新）

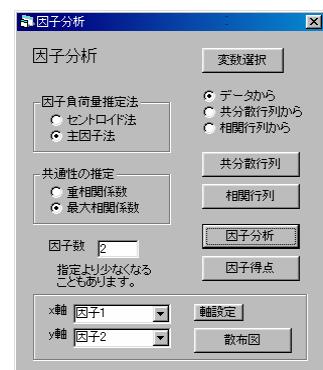


図 4.3.2 因子分析実行画面（旧）

今回は新しくバリマックス回転の機能を追加したが、それ以外に因子得点の推定法として回帰推定も追加した。これらの指定は図 4.3.1 がデフォルトである。また、我々は今回「予測整合性」というボタンを追加している。これは因子得点を計算して逆に元のデータを予測し、実データと比較するものである。その実行画面を図 4.3.3 に示す。

	英語	予測値	数学	予測値	国語	予測値	理科	予測値	社会	予測値
33	0.787	0.760	0.223	0.706	0.562	0.621	0.954	0.708	0.847	0.524
34	-0.659	-0.760	-1.075	-0.702	-0.229	-0.692	-0.538	-0.629	-0.993	-0.596
35	1.127	1.309	1.369	1.222	1.195	0.904	1.425	1.402	0.464	0.735
36	-0.064	0.129	-0.082	0.117	-0.150	0.162	0.326	0.058	0.771	0.146
37	-1.339	-1.466	-1.456	-1.353	-1.021	-1.360	-1.245	-1.184	-1.607	-1.176
38	-0.829	-0.732	0.071	-0.679	-0.625	-0.604	-1.009	-0.675	-0.840	-0.511
39	1.127	0.999	1.216	0.905	0.878	1.301	0.169	0.390	1.384	1.182
40	0.276	0.288	-0.158	0.263	0.324	0.325	0.404	0.169	0.541	0.289
平均値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	1.000	1.010	1.000	0.934	1.000	0.982	1.000	0.927	1.000	0.867
相関係数		0.974		0.933		0.947		0.965		0.917

図 4.3.3 実測値と予測値の比較画面

4.4 クラスター分析

クラスター分析の変更はあまり大きくない。図 4.4.1 と図 4.4.2 に新旧の実行画面を示す。

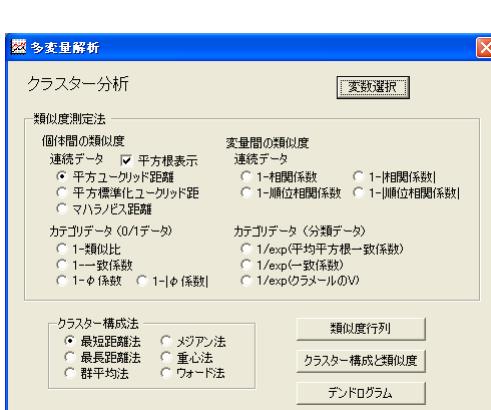


図 4.4.1 クラスター分析実行画面（新）

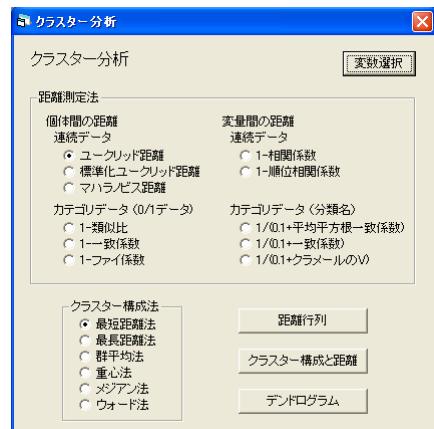


図 4.4.2 クラスター分析実行画面（旧）

変更点は類似度（距離）の表示法で、個体間の連続データのところで平方距離も表示させるようにした。また、 ϕ 係数、相関係数、順位相関係数については絶対値を使った距離測定法も加えている。さらにカテゴリデータの変数間の距離では定義を変更している。この変更については今後他のソフトとも見比べながら形を決定して行きたい。

4.5 データの標準化機能

多変量解析ではデータを平均 0、(不偏) 分散 1 に標準化して分析を実行することが多い。例えば主成分分析や正準相關分析の相関行列モデルなどがその例である。当初我々はこの標準化の機能を各分析に持たせようと考えたが、今後多くの分析で利用されることが考えられるので、別個に独立させることにした。図 4.5 にその実行画面を示す。

標準化では分散を固定する場合と不偏分散を固定する場合が考えられるのでメニューにその選択肢を設けている。

また、例えば偏差値のように平均と標準偏差の値を 0 と 1 以外に指定する場合もあるので、これらは利用者が設定できるようにした。結果は選択された変数のみ必要な場合と、データ全部を必要とする場合があるので、その選択肢を設けた。後者の場合、選択されていない変数は元のままである。この結果をエディターに貼り付けることにより、そのまま標準化されたデータとして利用することができる。

4.6 グラフィック表示とシステム上の変更

グラフィック表示は今回の更新で最も時間を費やした変更箇所である。VB6 と VB.NET ではグラフィック表示方法が根本的に異なり、特に我々のシステムのようなウィンドウの大きさに連動するようなグラフィック表示にするには大幅なプログラムの修正が必要であった。その中でこれまで残っていた産業連関分析の Leontief 逆行列などの 3 次元棒グラフの表示についても MS Chart を使わず我々のプログラムで処理し、図 4.6 のように表示することにした。

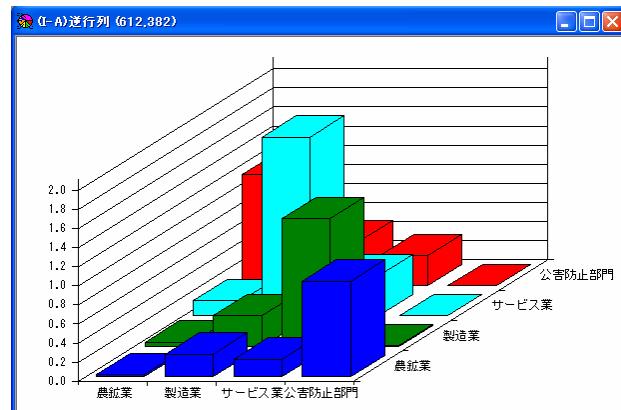


図 4.5 データ標準化実行画面

MS Chart を利用したものに比べると遠近的な立体表示ではないが、統一的にすべてのグラフが

扱える点では今後の拡張が容易になった。

エディターにはこれまで操作を元に戻す機能がなく、1回の操作ミスで大きな損害をこうむる場合もあった。今回のバージョンでは、最低限であるが、この失敗に対処すべく1つの操作を元に戻す機能と先に進める機能を追加した。但し、通常の入力についてはそのままにし、複数セルの消去、カット、ペースト、ページの追加・挿入・削除など大きな変更の前の状態を記憶させておくことにしている。強制的に記憶させる場合は「Shift+Enter」を押す。しかし、この部分についてはまだ機能が弱いので、大きなデータ入力にはやはりExcelなどを使用し、必要な部分をコピーして使用することを勧める。

印刷についても今回はVB.NET標準のPageSetupDialogとPrintDialogを利用しており、これまでと比べて多少機能強化されている。しかし、我々のプログラムではデータをWordやExcelに貼り付けて使うことを念頭に置いているので、印刷もそれらのソフト側で実行することをお勧めする。

5. おわりに

今回のバージョンアップでは長い間の念願だったVB.NETへの移行が実現した。ほとんどの部分はVB.NETの書式に完全に準拠しているが、フレキシブルグリッドのみ追加機能となっている。今後はこの部分を検討する必要がある。

追加した分析、Dematel法と社会的意意思決定手法は比較的容易に作れるものであった。特に社会的意意思決定手法はExcelを用いても、また電卓と数表を用いても特に問題なく実行できるように思われる。授業で使用するにはExcelと併用し、ブラックボックスとなりがちなプログラムの動きも理解できるようにしたい。

ISMについては、参考文献9)と10)で考え方多少異なる。参考文献10)では要素間の直接的関係を表す隣接行列から階層化された要素間の間接的なつながりを求める目的としていたが、参考文献9)では要素間の直接間接を問わない一般的な関係を表す関係行列から階層性を強調した構造化行列を求める目的とする。特に後者はAHPでの利用に続けることを念頭においており、ループの関係は重要視していない。我々はこれらの考え方どちらも重要であると考え、両方の要求に答えるようにしている。また、階層性を求める際に要素を1つずつ切り離していく方法が取られるが、影響を及ぼす要素から切り離すか、影響を及ぼされる要素から切り離すか二通りの方法がある。我々のプログラムでは前者の方法を採用している⁵⁾。これらの違いは隣接(関係)行列の行と列を交換して計算することによって変更できる。

これまでの待ち行列シミュレーションのプログラムは増川氏が作成し、福井がこのシステムに合うよう多少の手直しをしたものであったが³⁾、今回のバージョンアップに合わせて全面的に書き換えた。その理由の一つとして、これまでのものはグラフ表示機能が弱く、実行時間の範囲を変更したり、待ち行列が長くなった場合、グラフがきれいに枠に収まらないという問題があった。

今回はこのグラフを我々のシステム汎用の折れ線グラフを利用して描いている。これにより軸の設定などは気にせずに実行結果だけを指定すればグラフ表示が可能となった。書き換えのもう一つの理由は、このプログラムの今後の拡張に合わせるためである。今の段階では一定の条件下で理論の値と合うかどうかを見るための検証プログラムとなっており、時々刻々条件の変化する実際の状況に利用できるものではない。今回のバージョンアップには間に合わなかったが、近くこのプログラムを条件の時間変化に対応できるように拡張する予定である。この拡張の準備段階として今回プログラムの書き方を改めた。

因子分析について我々のプログラムには結果解釈のための軸の回転機能がないという大きな問題があった。その理由は著者の軸回転についての重要性の認識不足と理論的な理解不足であった。この点について大いに反省し、今回は軸回転としてバリマックス回転を加えて、授業で利用できる程度には改善されたと思う。また、これまで因子得点と寄与率を求めるだけであったが、今回因子得点から元データがどのように予測できるのかを表し、元データと予測データの相関係数を示すことによって、少ない因子で多くのデータを説明する意味を直感的に示せるようにした。

クラスター分析では類似度（距離）表示法と測定法に変更を加えた。これは SPSS と結果を比較していた際に必要性を感じたことによる。また以前のバージョンには最長・最短距離法以外のクラスター構成法にエラーがあることが分かり訂正した。今後は信頼できるシステムとするために他のソフトとの十分な比較を行って行きたい。

本文では述べていないが、多少定義を変更した分析もある。例えば判別分析の結果表示において、これまで定数項と判別の分点を分けて表示していたが、教えにくいと思われたので二つをまとめて定数項とした。これにより判別の分点は常に 0 になる。3 群以上の場合も同様である。また、統計の基礎的な処理で機能を追加した部分もある。欠損値を含むデータを先頭列で群分けする場合に、これまでレコード単位の欠損値除去に限っていたが、今回はデータ単位の除去の機能も追加した。これにより先頭列で群分けされたデータで一度に複数の変数の基本統計量などを求めることができるようになった。

これまで、例えば主成分分析の授業の中で、相關行列を用いたモデルは変数を標準化したものに等しいと説明してきたが、実際にやって見せていたわけではない。その他の標準化の問題についても同様である。この点にずっと不満を感じるままプログラムに変更を加えないできたが、その理由は分析ごとに標準化の指定を加えると、できるだけ簡単な表示にという方針に反すると考えたからである。そこで今回は発想を変えて、データを標準化して表示するツールを作り、それを元にすべての分析が行えるようにしようと考えた。そこで我々は元データと同じ形（欠損値はそのまま）で必要な変数だけ標準化されたデータを作るプログラムを追加した。表示された結果は、コピーして元データの別ページに追加し、新しいデータとする。学生にとっては標準化が目に見え、教育的には意味があるようと思われる。

我々のシステムは元々グラフ表示に MS Chart を利用するように作られていた。しかし、OR や

社会システム分析のグラフには MS Chart は利用できず、自作が必要であった。グラフ表示プログラムが出来上がるにつれ、2種類のグラフの差をなくしたいと思うようになり、MS Chart で表示できるグラフも次第に自作に移していった。今回は最後に残った 3D 棒グラフを移行した。自作グラフは見栄えもあまり良いとは言えず、機能的にも弱いが、簡単に結果を見る場合には十分であり、追加も拡張も自由である。本格的に見栄えの良いグラフを表示したい場合は、追加した表示画面のメニュー「編集—データ表示」で出力されるグラフ用のデータをコピーして Excel などで再表示すればよい。

今回のバージョンアップで College Analysis の発展の可能性が出てきた。今後追加する予定の分析は条件の時間変化に対応する待ち行列シミュレータ、そのプログラムを応用した在庫管理シミュレータ、統計の一分野として残っている時系列分析、参考文献 9) で興味のある多目的線形計画法、意思決定の授業に必要な効用関数の同定法などである。また現在の統計プログラムも SPSS との比較を行っており、より使いやすく、より信頼性の高いものを目指していきたいと思う。

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, 109-127, 1998.
- 2) 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 2 一産業連関分析・KSIM・AHPー, 福山平成大学経営情報研究, 3号, 129-144, 1998.
- 3) 福井正康・増川純一, 社会システム分析のための統合化プログラム 3 一線形計画法・待ち行列シミュレーションー, 福山平成大学経営情報研究, 4号, 99-115, 1999.
- 4) 福井正康, 社会システム分析のための統合化プログラム 4 一基本統計ー, 福山平成大学経営情報研究, 5号, 89-100, 2000.
- 5) 福井正康, 社会システム分析のための統合化プログラム 5 一システムの改良・ISMー, 福山平成大学経営情報研究, 6号, 91-104, 2001.
- 6) 福井正康・細川光浩, 社会システム分析のための統合化プログラム 6 一DEA・実験計画法・クラスター分析ー, 福山平成大学経営情報研究, 7号, 65-83, 2002.
- 7) 福井正康・細川光浩, 社会システム分析のための統合化プログラム 7 一多変量解析ー, 福山平成大学経営情報学研究, 7号, 85-106, 2002.
- 8) 福井正康・細川光浩, 社会システム分析のための統合化プログラム 8 一正準相関分析・因子分析・ユーティリティー, 福山平成大学経営情報研究, 9号, 23-35, 2004.
- 9) 木下栄蔵, わかりやすい意思決定論入門, 近代科学社, 1996.
- 10) 藤田恒夫・原田雅顕, 決定分析入門, 共立出版, 1989.
- 11) 田中豊・脇本和昌, 多変量統計解析法, 現代数学社, 1983.

- 12) 福井正康・光平直嗣, College Analysis プログラムノート −VB 6 から VB.NET への移行−, 福山平成大学経営研究, 3 号, 印刷中, 2007.

Multi-purpose Program for Social System Analysis 9

- Dematel, Social Decision Making, Other Reinforcements -

Masayasu FUKUI, Naotsugu MITSUHIRA* and Mitsuhiro HOSOKAWA

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

* Department of Management Information, Graduate School of Management,
Fukuyama Heisei University

Abstract

We have been constructing a unified program on the social system analysis for the purpose of education. Now we rewrite our program which is written by Visual Basic Ver.6.0 to the proper form of Visual Basic.NET. We also make Dematel and social decision making programs and add some functions to ISM, queuing simulation, factor analysis and graphic programs.

Keywords

College Analysis, social system analysis, OR, statistics, Dematel, social decision making, Visual Basic.NET, software, unified program

URL: <http://www.heisei-u.ac.jp/mi/fukui/>