Ⅳ-70

# FSMによる社会システムの構造化に関する研究

○東北大学　正員　湯沢　昭
福島高専　正員　高橋　邦雄
東北大学　正員　須田　熈

1　はじめに　　現在の社会システムの諸問題は、政治，行政，経済等の要因が複雑に絡み合っており、社会的要求もエネルギー，教育，住宅，交通等の種々の問題に及んでいる。これらの諸問題の関係を明らかにすることが問題解決の出発点となる。そのためのシステムズアプローチとして、グラフ理論的構造モデルがある。これは、専門家によるアンケート等より、問題間の定量性をある程度犠牲にしても客観的なモデルを作ろうとするものである。方法論としては、KJ法，DEMATEL，ISM等が開発されている。今回報告するFSM（Fuzzy Structural Modeling）は、通常の集合における特性関数の拡張であるメンバーシップ関数を導入したFuzzy理論（あいまい理論）を利用することにより、システムの構造化を図るものである。

2　システムの構造化　　FSMによるシステムの構造化とは、問題としている要因を適当な方法（KJ法ブレーンストーミング，DEMATEL等）により、抽出整理したものに対し、要因の階層化，要因間の従属関係を決定し、グラフ化することである。今、対象システムを $S=\{s_1,s_2,\cdots,s_n\}$ とし、Sにおけるあいまい集合Aとは"$\mu_A: S \to [0,1]$"なるメンバーシップ関数によって特性づけられた集合である。またあいまい集合Aのあいまい補集合$\bar{A}$は、次のメンバーシップ関数により定義される。

$$\overline{\mu_A}=(1-\mu_A)/(1+\lambda\cdot\mu_A) \qquad (-1<\lambda<\infty) \qquad \text{------------}(1)$$

Aが通常の集合の場合は、$\mu_A$の区間$[0,1]$が$\{0,1\}$となる（ISMの二値論理等）。次にシステムの要因間の従属関係を示す行列として、あいまい従属行列Aを次のように定義する。

$$A=[\,a_{ij}\,] \qquad (i,j=1,2,\cdots,n) \qquad (0\leq a_{ij}\leq 1) \qquad \text{-----------}(2)$$

ここで、(2)式のあいまい従属行列に対し、次の仮定が満足されているものとする。

「仮定1」あいまい非反射律：" $\forall(s_i,s_i)\in S\times S$ に対し $a_{ii}<p$ "

「仮定2」あいまい非対称律：" $\forall(s_i,s_j)\in S\times S$ $(i\neq j)$ に対し $a_{ij}<p$ or $a_{ji}<p$"

「仮定3」あいまい半推移律：" $\forall(s_i,s_j)(s_j,s_k)(s_i,s_k)\in S\times S$ $(i\neq j)(j\neq k)(i\neq k)$ に対し $M=\vee\{a_{ij}\wedge a_{jk}\}\geq p$ のとき $a_{ik}\geq M$ "

ただし $\vee a_i$ は $\max(a_i)$, $a\wedge b$ は $\min(a,b)$, p : parameter $0<p\leq 1$ を示す。

次にあいまい従属行列Aにおいて、あいまい半推移律が満足されない場合の修正法を示す。

「ステップ1」 $A^*=[a_{ij}^*]=A\vee A^2\vee\cdots\vee A^n$, $A^{k+1}=A^k\circ A$, $\circ$ はあいまい合成を示す。

「ステップ2」 $\forall a_{ij}^*$ に対し $a_{ij}^*<p$ ならば $a_{ij}^*=0$, $a_{ij}^*\geq p$ ならば $a_{ij}^*=a_{ij}^*$ とする。

「ステップ3」 $\forall a_{ij}, a_{ij}^*$ に対し $a_{ij}'=a_{ij}\vee a_{ij}^*$ $(i,j=1,2,\cdots,n)$ により $A'=[a_{ij}']$ を求める。$A'$ は、修正後あいまい従属行列を構成する。

以上の操作により、あいまい半推移律が満足される、あいまい従属行列が求められる。なお、「ステップ1」で求められた、$A^*$ は最大到達可能行列を構成し、行列$[a_{ij}^*]$の行の和は、要素Si から他の全ての要素への到達可能度の合計を表わし、列の和は、被到達可能度の合計を表わす。従って、行と列の差は、要素の縦の関係を示す指標となる。次に要素の階層と階層間の結合関係を与えるレベル集合を考える。

最上層レベル集合：　$Lt(S)=\{s_k|\ \vee a_{kj}<p\leq\vee a_{lk}\}$ --------(3)

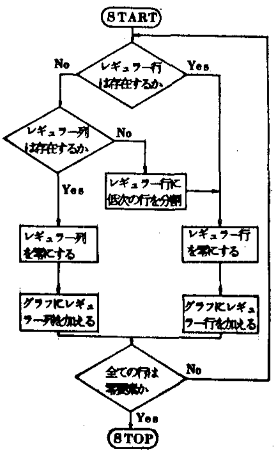
中間レベル集合　：　$Li(S)=\{s_k|\ p\leq\vee a_{lk},\ p\leq\vee a_{kj}\}$ --------(4)

最下層レベル集合：　$Lb(S)=\{s_k|\ \vee a_{lk}<p\leq\vee a_{kj}\}$ -------(5)

独立レベル集合　：　$Lis(S)=\{s_k|\ \vee a_{lk}<p,\ \vee a_{kj}<p\}$　$(j,l=1,2,\cdots,n)$ -------(6)

修正後あいまい従属行列$A'=[a'_{ij}]$において、Lt(S), Lb(S), Lis(S)に属する要素に対し、Lt(S)の要素に対しては行を消去し、Lb(S)の要素については列を消去、Lis(S)の要素については行と列を消去し、あいまい構造行列を作成する。最後に、あいまい構造行列よりグラフ化を行なう。この場合のフローチャートを(図−1)に示す。(図−1)における"レギュラー行"とは、構造行列のk行において、$a'_{kj} \geq p$ $(j=1,2,\cdot\cdot,n)$なる$a'_{kj}$がただ1つだけ存在する場合、k行をレギュラー行と称する。また、"レギュラー行に低次の行を分割"とは、要素$S_i$に従属するpより大なる要素の数が最も少ない行をレギュラー行に分割することである。今、要素$S_i$に対するレギュラー行をk行とすると、演算$[a^{*}_{\cdot i}]=[a'_{\cdot i}] \wedge [\overline{a_{\cdot k}}]$を行ない、構造行列の$[a'_{\cdot i}]$を$[a^{*}_{\cdot i}]$で置きかえ、レギュラー行を零とする。ここで$[a'_{\cdot i}]$は構造行列のi列の要素を示す。また、$[\overline{a_{\cdot k}}]$は、(1)式より求められる。

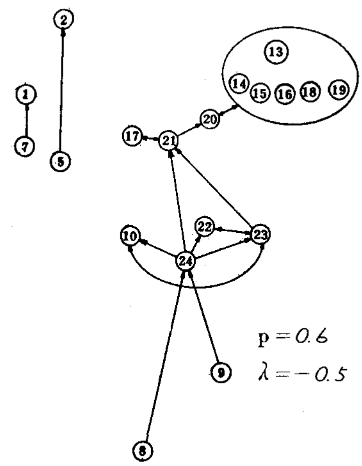
3　解析例　　FSMによる社会システムの構造化の事例として、昭和55年1月に行なった「21世紀のいわき市に向けて」と題しての、問題構造分析を考えてみる。この調査は、「明るく, 住みよい, 豊かな地方都市」建設のために都市発展に関するさまざまな問題点について、検討したものである。調査対象者は、行政担当者と学識経験者で都市問題に関して専門的立場にある12人に対し、DEMATEL法により調査を行なった。調査項目を(表−1)に、あいまい従属行列を(表−2), 構造グラフを(図−2)に示す。なお、FSMの問題点、他の理論との比較検討については、当日発表する。




(図−1)構造化のためのフローチャート

| | |
|---|---|
| 1 | 社会福祉施策の立ちおくれ |
| 2 | 地域の環境破壊に起因する住民の不満 |
| 3 | 歴史的，伝統的街なみの破壊 |
| 4 | 都市防災対制の立ちおくれ |
| 5 | 衛生処理施設整備のおくれ |
| 6 | 都市内環境緑化の不足 |
| 7 | 幼児教育施設の不足 |
| 8 | 高等教育施設の不足 |
| 9 | 生涯教育である社会教育の場の不足 |
| 10 | 住民の理解不足と地域エゴ |
| 11 | 街づくりの社会的費用負担制度の未確立 |
| 12 | 農林水産業の振興策の欠如 |
| 13 | 工業開発のおくれ |
| 14 | 商業振興策の立ちおくれ |
| 15 | 流通施設整備の立ちおくれ |
| 16 | 観光資源の開発，整備のおくれ |
| 17 | 土地利用の適正化に対する不満 |
| 18 | 高速道，幹線道路の整備のおくれ |
| 19 | 都市再開発，区画整理事業の立ちおくれ |
| 20 | 港湾整備と背後地整備のおくれ |
| 21 | 地域の機能分担の不明確 |
| 22 | 住民相互のコミュニケーション不足 |
| 23 | いわき市としての自治意識の欠如 |
| 24 | 市民の文化活動の低調さ |

(表−1)調査項目リスト




(図−2)構造グラフ

A=[aij]=

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.31 | 0.08 | 0.29 | 0.04 | 0.13 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.19 | 0. | 0. |
| 2 | 0. | 0. | 0.23 | 0. | 0. | 0.35 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.13 | 0.21 | 0. | 0. | 0. | 0.19 | 0.06 | 0. | 0. |
| 3 | 0. | 0.29 | 0. | 0.10 | 0. | 0.31 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.08 | 0. | 0.25 | 0.08 | 0. | 0. | 0. | 0.06 | 0.06 | 0. | 0. |
| 4 | 0. | 0. | 0.06 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.23 | 0. | 0. | 0. | 0.25 | 0.08 | 0. | 0.13 | 0.48 | 0.15 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | 0.60 | 0.04 | 0. | 0. | 0.29 | 0. | 0. | 0. | 0.06 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.06 | 0. |
| 6 | 0. | 0.54 | 0.27 | 0. | 0.04 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.17 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.42 | 0.31 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0.67 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.13 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.29 | 0. | 0.21 |
| 8 | 0.15 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.58 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.15 | 0.35 | 0.65 |
| 9 | 0.46 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.21 | 0. | 0.23 | 0.21 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.71 | 0.60 | 0.71 |
| 10 | 0. | 0.29 | 0. | 0. | 0.33 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.33 | 0. | 0.29 | 0.08 | 0. | 0.29 | 0.63 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.63 | 0.54 | 0. |
| 11 | 0.33 | 0. | 0. | 0. | 0.35 | 0.33 | 0. | 0. | 0. | 0.40 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.58 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.23 |
| 12 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.42 | 0.46 | 0.04 | 0.31 | 0. | 0. | 0. | 0.50 | 0. | 0. | 0. |
| 13 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.15 | 0.19 | 0. | 0. | 0.69 | 0.60 | 0. | 0. | 0.54 | 0. | 0.56 | 0.35 | 0. | 0. | 0.08 |
| 14 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.15 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.69 | 0.23 | 0.27 | 0.35 | 0.77 | 0. | 0.50 | 0. | 0. | 0. |
| 15 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.52 | 0.60 | 0.79 | 0. | 0. | 0.29 | 0.75 | 0. | 0.60 | 0.38 | 0. | 0. | 0. |
| 16 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.25 | 0. | 0.65 | 0.23 | 0. | 0. | 0.65 | 0. | 0. | 0.23 | 0. | 0.23 | 0.38 |
| 17 | 0. | 0.33 | 0.27 | 0. | 0.29 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.27 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.40 | 0. | 0. | 0. | 0.56 | 0. | 0.65 | 0.19 | 0. | 0. |
| 18 | 0. | 0. | 0. | 0.40 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.67 | 0. | 0.69 | 0.65 | 0. | 0. | 0.42 | 0.63 | 0.19 | 0. | 0. | 0. |
| 19 | 0. | 0. | 0. | 0.52 | 0. | 0.52 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.79 | 0.40 | 0. | 0.44 | 0.25 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 20 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.79 | 0. | 0.79 | 0. | 0.23 | 0.60 | 0. | 0. | 0.38 | 0. | 0. | 0. |
| 21 | 0. | 0. | 0.13 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.38 | 0. | 0.40 | 0.54 | 0.63 | 0. | 0.48 | 0.69 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 22 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.63 | 0.38 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.31 | 0. | 0.71 | 0.50 |
| 23 | 0. | 0. | 0.15 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.58 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.17 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.73 | 0. | 0.50 |
| 24 | 0. | 0. | 0.35 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.42 | 0.23 | 0. | 0. | 0.17 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.77 | 0.54 | 0. |

(表−2)　あいまい従属行列

(参考文献)

＊田崎栄一郎"あいまい理論による社会システムの構造化"数理科学, 5, 1979

＊西田・竹田"ファジイ集合とその応用"数学ライブラリー, 48