

IV—11 構造化手法を用いた計画目標の階層的評価に関する一考察

北海道大学大学院環境科学研究所 正員 加賀屋 誠 一

1. はじめに

最近の土木計画学的諸問題—例えば、都市計画、地域計画、交通計画あるいは水資源計画などの諸問題—を扱う場合、そのほとんどが、社会との係わりあいの中で解決を要する大規模社会システム問題として処理されなければならない場合が多い。そして近年問題志向的 (Problem Oriented) な研究が盛んになり、現実社会 (Real System) ををできるだけ直接的にかつ忠実に表現する方法、あるいは、より接近しようとする^{1), 2)} 試みが、数多く現われており、大規模システム問題解決の有効な手段として注目される。一般的に問題志向的に扱えようとするればするほど、社会システム特有の問題の持つ要素の多様性あるいは大規模性に直面し、問題そのものを明示的に表現することが困難になる場合もある。本研究では、土木計画学における社会システム、特に都市あるいは、地域環境システムの持つ問題複合体 (Problematique) について、概念モデル、構造モデルおよび定量モデルの一般的な三段階把握方法の中で、構造モデルの表現方法、利用方法について検討する。特に、地域諸計画の中で、比較的あいまいな概念あるいは質的に考えられる目標について、住民、意志決定者が共通に認識し理解できるステージを提供すること、すなわち目標構造の有向グラフ表現法について具体例を通して考察してみた。

2. 地域諸システムモデリング

地域の社会システムの中での諸問題、例えば、各種の公共投資計画 (道路、河川、港湾、および農業開表、森林育成など)、経済計画、環境計画など土木計画学が関与する今日の問題は、複雑な要素相互の係わりあいの上に発生しており、要素間や、サブシステム間の構造的、機能的分析が必要不可欠であるといえる。これらの分析では、一般的に現実社会の再現を目的としたモデリング手法が用いられる。これには、その段階として前述した概念モデル、構造モデル、および定量モデルがあるが、これらの有機的、連続的利用方法が必要になってくる。ここでは、地域システムモデリングの手順を略述する。

i) 概念モデルの構築

概念モデルは、問題の明確化を行なうためのものであり、複数問題の場合には、個別的な抽出を行ない、問題複合体のできるだけ広汎な要素、要因の発見を行なうものである。手法としては、従来からの方法であるブレンストーミング、KJ法などを考える。

ii) 構造モデルの構築

構造モデルは、概念モデルで得られた要素、要因について整理、統合および階層化を行なうためのモデルである。すなわち、モデルに含まれる要素、要因についての選択および、それらの間の因果関係、結合関係の分析、同定を行なうことが、モデル構築の目的となる。この方法として1つには、客観的な物象的データに基づくもの、あるいは、関係するものの意見、意識調査に基づく処理方法である。手法としては、因子分析法、主成分分析法、さらに順序尺度データを取扱う数量化法、多次元尺度構成法などである。他の1つには、関係するものの何らかの協議に基づいてデータを作成するもの、これには、グラフマトリクス法であるISM、DEMATTEL法などと、多人数で、ダイナミックに意見を収束するデルファイ法 (Delphi Method) およびNGT法 (Nominal Group Technique Method) などがある。

iii) 定量モデルの構築

システムの要因間の構造分析を行ない、各目標間の位置づけ、要因相互間の関連づけなどを行なった後、できるだけ定量化されたモデルによって、最適解、満足解あるいは妥協解さらに将来の最適経路等を探索する。定量モデルによる方法として、静学的モデル、および動学的モデルによる方法がある。これらは、あらかじめ静学的モデルによって最終的な目標に到達する方法 (Screening Model) と、その結果得られた諸情

報を入力としてより詳細な動学的モデルによる代替案評価を行ないながら、システムの最適性を考えていくシミュレーションモデル (Simulation Model) および、モデルに係わるいくつかの制約、あるいは、計画相互関係などを考慮し、最適な規模を決定するシーケンシャルモデル (Sequential Model) の段階的検討の中で適用される。以上のようにして、社会システム内の挙動と、制御の問題が把握されるが、本論では、これらによって位置づけられたモデリング手法の中で特に、ii) の構造モデルについて重点を置き、その考え方と適用例について検討した。

3. 構造モデルと構造化法

構造化手法 (Structural Modeling) は、多数の要素 (あるいは変数) があつたとき、それらの間の因果関係あるいは、結合関係を一挙に判断するのは困難であるから、要素を1対取り出して、その間の関係の有無や、その強さを順序尺度で評価する。このような1対比較を統合して全体の関係を同定するものである。統合には、関係の推移性を用いる。この手法として、開発されている主なものは、ISM法 (Interpretive Structural Modeling)、DEMATEL法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) およびFSM法 (Fuzzy Structural Modeling) などである。ISM法は、関係行列、可到達行列を経て階層構造を表わす有効グラフの形に表示するもので、2項関係は、1あるいは0の関係で表わされる。またDEMATEL法は、要素間の結合度の強弱をいくつかの度数で表現、その強さを横軸に、影響度 (被影響度) の強さを縦軸にとって、二次元平面における点の布置として表わす。さらに、FSM法は、ISM法での2項関係をあいまい2項関係で捉え、閾値Pとメンバーシップ関数から求められるあいまい補集合決定のためのパラメータ λ によって相互の結合度の有無を決定するものである。本研究では、FSM法よっての構造化手法を採用し、そのプロセスについて検討を行なった。構造化の手順は、図-1のように示されるが、それらを略述すると以下ようになる。

i) 問題の明確化……………構造化を行なうべき問題について、捉える点を明確にする。本研究の問題は、地域諸計画の複数目的 (例えば、地域生活環境目標水準達成目的、あるいは水資源管理目的など) について、重要度をどのように評価するかということにある。

ii) 問題構成要因の抽出……………ブレインストーミングなどの方法によって考慮すべき項目について抽出を行なう。この場合、できるだけ問題を捉える項目を広汎に採り入れるようにする。その結果を取りまとめ、2項関係把握のための代表項目として調整を行なう。

iii) 2項関係の定義……………2項関係を位置づけるために、「優先する」、「先行する」、「重要である」、「好ましい」、「悪化させる」、「支持する」、「必要とする」などの表現を考え、2項関係を作成する。

iv) 一対比較による関係の表現……………2項関係を決定するために、構造化モデル作成に参加する人々に一対比較のアンケートを行なう。

v) 行列モデルの作成……………すべての2項関係を行列モデルに編成する。FSM法の場合は、あいまい2項関係として定義し、あいまい行列モデルを作成する。これをあいまい従属行列とする。

vi) 構造モデル (多階層有向グラフ) の作成……………あいまい従属行列をもとにして、多階層有向グラフが作成される。この場合のアルゴリズムは、次のように与えられる。

Step 1、あいまい非反射律、あいまい非対称律を満足するようなあいまい従属行列 $A = [a_{ij}]$ を設定、あいまい半推移律が満たされるようにAを修正する。なお、この場合、閾値P ($0 \leq P \leq 1$) をあらかじめ設定しておく。修正法については、文献5)を参照されたい。

Step 2、最上層レベル集合、中間レベル集合、最下層レベル集合および独立レベル集合 $L_t(S)$ 、 $L_i(S)$ および $L_{is}(S)$ を求めブロック Q_j を決定する。(レベルは、閾値Pと、行列要素 a_{ij} の大小関係で決定さ

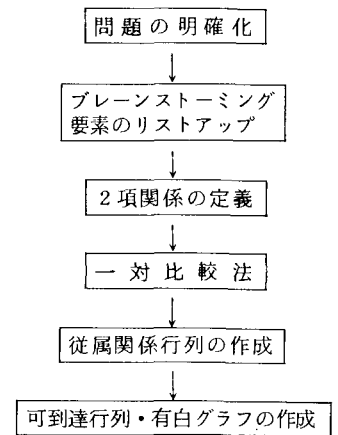


図-1 構造化の手順

れる。文献5)参照。)

Step 3. Step 2で得られた $Lt(S)$ 、 $Lb(S)$ および $Lis(S)$ に属する要素について、 $Lt(S)$ の要素に関しては、行を消法、 $Lb(S)$ の要素については列を消去し、さらに $Lis(S)$ の要素については、行および列を消去して得られた行列を A' とする。

Step 4 Step 3で得られた A' を、各ブロック Q_j に対応して分割を行ない、単一ハイアラーキ行列 $A^{(j)}$ を作る。 Q_j は、 $Lb(S)$ と $Lt(S)$ の従属関係から得られた集合 $B(S)$ の条件によって決定される。

Step 5. あいまい構造パラメータ λ の値を設定し、それぞれの単一ハイアラーキ行列 $A^{(j)}$ に関して、図-2に示される流れ図にしたがいシステムの構造を決定する。ここで S_j に対するレギュラー行を $a_{ik} \ k=1, 2 \cdots n'$ とすると $[a \cdot j^*] = [a \cdot j] \wedge [a \cdot i_1] \wedge [a \cdot i_2] \cdots \wedge [a_{ik}]$ と置き換えることによって消去される。要素と要素間の従属関係は、グラフ理論でのノードとブランチに相当している。

4 構造化モデルの適用

本章では、上述した構造化手法を用いた例を、都市計画における目標水準の相対的位置づけについて評価したものと、水資源管理目的と施策の階層構造を検討したものについてその結果を示す。

表-1は、2つの例について、その目的と、方法について略述したものである。

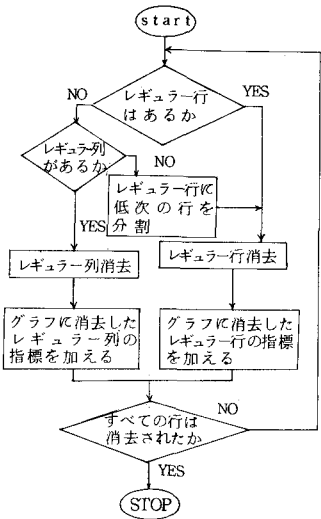


図-2 グラフ化のための流れ図

表-1 適用例の目的と方法の概要

概要項目	(i) 地域計画の目標水準構造化	(ii) 水資源管理目的と施策の構造化
1.目的	目標水準の重要度決定	目的と施策の重要度決定
2.項目	15水準	6目的とそれらに伴う30施策
3.対象地域	石狩町	千歳川流域
4.対象回答者	43名	66名
5.その構成	石狩町の各階層 役場職員(10)農協(3) 都市計画審議会メンバー(12) 教師(9)婦人代表(3) 地区労(3)商工会(3)	千歳、恵庭、長沼、広島、 南幌、江別の各市町村計画 担当者(11) 企画、農政、環境、上下水 道、都市計画、土木
6.回答方法	質問用紙による一対比較法	質問用紙による一対比較法
7.回答率	80%	95%
8.構造化属性	①全回答 ②地区特性による分割 ③行政担当者および住民	①全回答 ②流域内市町村別

(i) 地域総合計画における目標の構造化の例

地域、都市環境の総合的整備計画策定は、最近では、地域住民として行なわれる場合が多くなってきている。これは、住民の欲求は、生活必需的な物的欲求から、生活の質へと転換しつつあり、しかも多様化している現実を反映しようとするものである。具体的には、各市町村における住民意識把握のためのアンケート調査が一般的である。しかしながらこれらの結果は、個別的な項目(例えば、生活満足水準の各項目)については、統計学的にかなりの客観性を有しながら分析可能である反面、相対的な位置づけ、トータルシステムとしての分析が、困難な場合がある。これらの目的を達成するための項目相互の重要度比較を行ないながら、相互的な位置づけをすることは、計画案策定の有効な情報を持たずと考えられる。今回は、様々な都市形態の中で最も住民意識が多様化、多元化していると考えられる大都市隣接の市町村における目標の構造化を試みた。生活環境における数多くの目標の中で、調査項目として表-2に示される15項目を抽出し、その中から一対ずつを比較するためのアンケートを実施した。調査対象者は、表-1に示される計43名とし、それらの結果得られた全サンプルの選好構造を表わす従属行列の例を図-3で示す。またこれらについてFSM法によって相互の関連構造を有向グラフで表わすと図-4のようになる。図-4-1は、 $P=0.5$ 、 $\lambda=0.3$ の場合、図-4-2は、 $P=0.6$ 、 $\lambda=0.5$ の例を示す。また表-3は、対象町内の3つの特徴を持った地区(a;旧町中心地区、b;新興住宅地区、c;農村地区)ごとの意識構造化を行なった結果、上位、中間、下位の各レベルごとに項目をランク付けしたもの

である。これらの分析結果をまとめると次のように説明される。

- 1) 全サンプルで考えられた上位レベルにある目標水準は、閾値 $P = 0.5$ で保健、雇用収入、福祉、教育の4水準であり、 $P = 0.6$ では、それら4水準に、交通情報、共同連帯水準が加わる。
- 2) また、最も下位レベルにあるのは、 $P = 0.5$ で娯楽性、動物保護水準、 $P = 0.6$ で消費性水準がそれらに加わる。
- 3) 中間レベルとして、 $P = 0.5$ で交通、情報水準は、雇用収入および教育水準と直接的に従属するが、保健および福祉水準とは、独立である。また非公害水準も同様である。これに対して居住、文化、防災の各水準は、すべての上位レベルに直接的に従属し、さらに交通情報水準にも従属する。また風紀性水準は、保健、福祉、雇用収入水準に直接的に従属、教育水準とは、交通、情報水準を介して間接的に従属する。共同、連帯性水準は、すべての上位レベルおよび非公害水準に従属する。森林緑地保全水準は、福祉水準および雇用収入水準に従属し、さらに風紀性水準、文化水準に従属する。下位レベルにある2水準は、それぞれ中間レベルに従属しながら、上位レベルに間接的影響を与えている。 $P = 0.6$ の場合も、同様な形で説明される。

以上の分析によって対象町内での目標水準について考察を加えると、次のようにまとめられる。

- 1) 町全体での目標水準の重要度を評価すると、保健、福祉といった生活の質を高める水準、教育施設不足のためか教育水準、および今後の石狩新港開発期待の意味もあつてか雇用収入水準が最も必要な水準である。
- 2) 交通情報、共同連帯水準は、次に重要な水準である。これは、隣接大都市とのアクセスを高めること、また町内の相互連絡交通システムに対する切実性、さらに各集落の地理的な分離、新興団地と旧町の住民格差は正などの理由が反映されていると考えられる。
- 3) 防災、消費性、文化、居住性水準は、比較的上位レベルに対し従属性が広汎でかつ明確である。これは、防災水準は、比較的整備されており、また消費性、文化水準は、隣接大都市札幌への依存性が反映され、さらに居住性については、自然環境が良いこと、比較的土地利用的に大きな空間を確保できることなどで切実性が低いと考えられる。
- 4) これに対し、非公害、および風紀性水準は、中間レベルとしては独立性が強く、非公害水準は、福祉、

表-2 対象町における目標水準項目

1 保健水準	6 雇用収入水準	11 教育水準
2 非公害水準	7 共同、連帯水準	12 居住性水準
3 防災水準	8 風紀性水準	13 娯楽性水準
4 交通情報水準	9 文化水準	14 森林緑地保全水準
5 消費性水準	10 福祉水準	15 動物保護水準

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.19	0.09	0.13	0.06	0.25	0.09	0.06	0.16	0.16	0.22	0.19	0.09	0.09	0.03
2	0.44		0.25	0.38	0.16	0.50	0.19	0.22	0.28	0.44	0.64	0.28	0.16	0.13	0.03
3	0.64	0.34		0.50	0.16	0.69	0.38	0.31	0.31	0.56	0.50	0.28	0.16	0.38	0.06
4	0.44	0.31	0.22		0.19	0.59	0.38	0.34	0.41	0.44	0.53	0.22	0.13	0.19	0.06
5	0.78	0.56	0.53	0.56		0.72	0.56	0.64	0.53	0.66	0.72	0.44	0.13	0.41	0.19
6	0.47	0.25	0.13	0.22	0.03		0.22	0.25	0.25	0.28	0.41	0.09	0.09	0.16	0.03
7	0.59	0.50	0.31	0.47	0.25	0.50		0.38	0.44	0.53	0.59	0.41	0.19	0.19	0.09
8	0.66	0.31	0.38	0.38	0.25	0.63	0.22		0.38	0.47	0.44	0.34	0.28	0.16	0.06
9	0.66	0.41	0.47	0.50	0.22	0.56	0.22	0.38		0.47	0.53	0.47	0.06	0.19	0.13
10	0.34	0.19	0.19	0.31	0.12	0.34	0.16	0.16	0.16		0.25	0.19	0.09	0.06	0.06
11	0.28	0.09	0.34	0.22	0.06	0.41	0.13	0.34	0.13	0.28		0.25	0.13	0.06	0.06
12	0.63	0.44	0.41	0.50	0.28	0.66	0.41	0.41	0.34	0.56	0.64		0.16	0.22	0.06
13	0.91	0.75	0.75	0.75	0.56	0.81	0.66	0.66	0.56	0.78	0.84	0.64		0.64	0.41
14	0.72	0.31	0.38	0.69	0.44	0.75	0.53	0.44	0.53	0.75	0.75	0.44	0.22		0.03
15	0.94	0.53	0.69	0.69	0.50	0.81	0.59	0.69	0.66	0.72	0.88	0.66	0.31	0.5	

図-3 一般比較によって得られたあいまい従属行列 A (全サンプル)

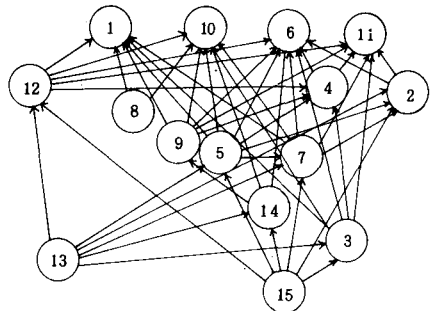


図4-1 有向グラフによる構造化の例(全サンプル) ($P = 0.5, \lambda = 0.3$ の場合)

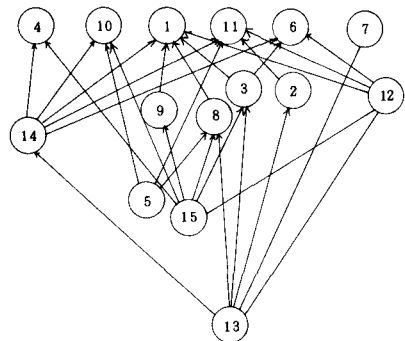


図4-2 有向グラフによる構造化の例(全サンプル) ($P = 0.6, \lambda = 0.5$ の場合)

6) 行政に携わる人々と一般住民との違いであるが、前者の場合、町で当面する課題（保健医療、雇用収入および教育水準向上）を優先的にあげ、それによって次善的に福祉、居住性、文化といった水準を達成すべきであるという構造と解釈できる。しかしながら後者の場合、まず保健、福祉、教育水準の重要性をあげ、非公害、共同連帯水準も含めて、生活の質充実の傾向がより強くあらわれている。

ii) 水資源目標水準の総合的把握

—247—

で概要報告を行っており詳細は省くが、水資源の多様化、多元化する目標について、流域単位あるいは、流域内各市町村単位での最も好ましい目標構造把握のために適用したものである。表-4は、各目標と、それを達成するための施策の項目を表わしたものである。分析結果、全流域の総合的評価による目的および施策の有向グラフ評価の例は、図-5であり、各市町村別に、目的のレベル別に表わしたものが、表-6である。これをみると、各市町村での水資源に対する考え方の違いが明らかにされ、現在の水資源管理問題について、一元的な管理から多元的な管理の必要性を示唆している。例えば、下流市町村では、水質汚濁防止対策を最上位にあげているが、上流市町村では、中位にランクされている。また下流では、水辺有効利用対策が中位レベルにあるが、上、中流域では、最下位レベルにランクされている。これらが示すように水資源、特に河川などの表流水管理の問題では、流域全体の水文学的、技術的管理と、流域各市町村で住民意識などに代表される地域性、社会的管理の斉合性を考えていかなければならないことが明らかとなった。

5. 結果と考察

以上、従来の構造化手法ISM法にあいま理論概念を導入したFSM法による適用例を示した。その結果、生活環境整備目標の方向性、および、水資源管理目標などの多様性を持つシステムの構造把握のために有効な方法であるとわかった。これらの結果に対する考察と、今後の課題を示すと以下になる。

1) FSM法は、最終的項目相互間の有効グラフとして示されるが、これらを利用するには、目標に対する意識構造がどのようになっているかについて、例えば、お互いに意見が対峙する場合、ギャップが常に明らかになることによって、調整段階に有効性を発揮する。つまり相手の立場と、自分の立場が、明確になるため、ギャップの抽出および、妥協案の提示が容易になるからである。これは多目的問題の満足解がパレート最適解の中で決定される場合、いくつかの複数最適解からあるあいまい性を持って最良妥協解を選択する場合にも類似して考えることができる。

2) しかしながら、このような汎用性を持つ反面、各目標や、政策の選好性、従属性を決定するためには、それらを決定する回答者が今のところ限られており、ある程度の恣意性が避けられず、他の補完的な方法もあわせて考えていくこと、支援システムを結合していくことが必要である。また、システム分析の中で、構造化手法そのものが、定量的な手法の支援システムとして位置づけることも重要となる。4のi)で示した例は、前者の例であり、現在住民アンケート調査を実施、それらを支援システムとして位置づける試みを行なっている。また4のii)で示した例は、流域の水資源水準達成度評価のための支援システムとして考えられたものである。

最後に、本研究をまとめるにあたり、種々の御教示をいただいた北海道大学工学部五十嵐日出夫教授に感謝の意を表する。また、終始種々の御指導をいただいた北海道大学大学院環境科学研究科関清秀教授、山村悦夫助教授に深甚なる謝意を表する。

6. 参考文献

- 1) J.W. Forreser ; Urban Dynamics, The M.I.T. Press (1969)
- 2) 西川禎一、松崎功保 ; 大規模システムのモデリングー社会システムにおける手法を中心として一、システムと制御、Vol 23, №2, 1979
- 3) D.C. Major, R.L. Lenton ; Applied Water Resource Systems Planning, Prentice-Hall, 1979
- 4) J.N. Warfield ; On Arranging Elements of a Hierarchy in Graphic Form, IEEE Trans, Syst, Man, Cybern., Vol SMC-3, №2, March 1973
- 5) E. Tazaki, M. Amagasa ; Structural Modeling in a Class of Systems Using Fuzzy Sets Theory, Fuzzy Sets and System2, 1979
- 6) 加賀屋誠一 ; 地域水資源システムの構造把握と目標達成過程評価に関する研究、第16回地域学会国内大会予稿、昭和54年11月
- 7) 加賀屋誠一、五十嵐日出夫、山村悦夫 ; 水資源システムの土木計画学的研究、土木計画学研究発表会講演集、土木学会、1980年1月