

IV—19 構造化手法とファジィ逆問題に関する基礎的考察

北海道大学大学院環境科学研究科 正員 加賀屋 誠 一

1. はじめに

土木工学で取り扱う問題は、従来の比較的明確に定義できる問題(well-defined problem)から、定義が難しい問題(ill-defined problem)への比重が高まりつつあるといえる。身近な例で考えると、毎年春先と根雪の前に、大きな論議をまき起こす車粉による道路環境の問題、あるいは、都市化にともなう都市型水害の頻発発生の問題などがあげられ、これらの問題は、計画段階で、不確定的要素であったり、また計画の問題として事前に考慮できなかったか、できても解決のためのステージ設定が難しい場合が多い。一般に、土木工学に限らず、社会との相互作用(interaction)を必要とする様々な行為にとってill-definedな問題はここ10年間をみると、確実に増加していることがわかる。

一方、それらのill-definedな問題への取り組みも、コンピュータの普及と共に様々な面から行われつつある。もっとも多く取り組まれているのは、知識工学¹⁾の分野で、最近では、エキスパートシステムとして具体的なモデルが提案されつつある。

土木工学を含む工学は、①労働力をいかに代行し、その能力を拡大できるか—機械化の時代、②頭脳能力の一部をいかに変換できるか—自動化の時代、③集団の機能、複数機能をいかに変換できるか—システム化の時代を経てきている。そして、これらは、well-defined problemの解決の中で得られた貴重な産物といってもよい。しかしながら、現在われわれが抱えている問題は、先述したように、専門的な一本道の手続きをプログラム化するような、明確なものを相手にするようなものでなく、はっきりしないもの、一見無関係なものをも取り込んで定義をしなければならないのである。つまり、多種多様な知識の集積と、それらの結合によってそれらの問題の解決や、コンサルテーション²⁾を行える方法を必要としている。ここでの多種多様な知識とは、従来の量的、モデルベース的なものに対し、記号的、主観的知識ベースを含めより弾力的で、広範なものを指している。

本報告では、以上のような点を踏まえ、特に、知識工学、エキスパートシステムで論議が展開されている知識表現、知識利用(推論)、知識獲得といった一連の考え方に対応した、地域計画問題のエキスパートシステムについて、構造化手法と、その情報による推論機構に基づいたシステムの考え方について検討し、実際のケーススタディによってその方法論の適用可能性と問題点を考えてみることにする。

2. エキスパートシステムと構造化手法

(1)方法の分類・・・ 知識工学、エキスパートシステムの適用対象は、先述したようにill-definedな問題であるために、統計的な手法などの解析を要する方法を持たない場合が多い。今まで開発された、エキスパートシステムを分類すると次のようになる。①観測できるものから状況記述を推論する、解釈システム、②与えられた状況からありそうな結果を推定する、予測システム、③観測できるものからシステムの異常を診断する、診断システム④人間の行動を診断し、デバッグする、教育システム、④現状を繰り返し解釈し、未来を予測し、適正な制御を行いそれをモニタリングする、制御システム、⑤設計問題の拘束を満足する様な対象物の構成を考える設計システム、⑥動作、事業、実験などの計画をする、計画立案システムなどである。

このようなシステムは、形式的方法論よりも問題解決のための知識を重視し、記号処理を主体とした推論を行う知識ベースシステムが用いられている。一般に、従来のシステム工学などでの方法は、知識がプログラムの中に分散しているが、エキスパートシステムでは、知識は知識ベースとして独立し、それらの操作を行う推論ベースが、知識の修正、拡張、統合などの管理を行うことになる。現在用いられている知識表現方法の考え方としては、プロダクションシステム、フレーム、意味ネットワークなどの表現が提案されている²⁾。構造化手法による知識表現方法は、人間の連想記憶を説明するモデルとしての意味ネットワーク法に最も近

い考え方である。意味ネットワークは、様々な概念をノードで、概念間の関係をリンクとして表現する方法であり、リンクを操作するための特定の推論機構を規定していない。これに対し、構造化手法の最もポピュラーなISM法や、後述するFSM法は、推移律という比較的複雑な関係によってグラフ作成を行うことが特徴である。このような観点から構造化モデルは、知識表現方法として、①構造化作業の負担が大きいこと、②概念の数の制約があること、③制御に利用するための推論が難しいことなどの問題点があるが、④地域知識情報の表現が得やすいこと、⑤地域環境診断の問題、⑥地域に対する住民の意識動向の予測の問題、⑦地域環境のモニタリングなどエキスパートシステムの適用領域での導入が可能である。

構造化手法は、主として1970年前半に多くの手法が開発されている。構造化手法について、John Warfieldは、複雑な問題、システムあるいは、研究領域の構造を描写するパターンを注意深く定義した言葉とグラフィックスを使った方法であると述べており、McLean and Shepherdは、構造とは、全てが相互関係を持つ複雑な構成成分を表す方法であるとしている³⁾。これらの定義から考えると、システム分析の中で、複雑な相互作用を伴ういくつかの要素についてそれをグラフあるいは、行列によって明示的な分析を行う手法ということになり、例えば、I-O分析や、システムダイナミクスの方法も包含されることになる。しかしながら、ここでは、知識ベース表現の側面からいくつかの構造化手法についてその分類を行うこととする。

構造化手法で取り扱う知識は、専門家（地域エキスパートシステムでは、モニタリングを行う住民を含む）レベルでの知識の記号表現がベースとなる。知識対象としては、要素+問題の状況の中に構成される概念であり、それらの間の関係は、概念の表現方法と、それらの関係システム作成のためのアルゴリズムによって様々な種類の手法が生まれている。①単純序列作成の方法・・・ここでは、一対比較、推移性、非対称性および一貫性の条件を利用しておこなうもの、②多レベル階層性評価の方法・・・ここでは、(a)基準の設定、重みづけ、尺度化、しきい値設定と序列づけを組み合わせた方法、(b)一対比較、2値データ、推移性の条件によって得られた可到達行列を分割化によるもの、(c)Fuzzy集合、しきい値の付加によるもの、③サブシステムの同定による方法・・・一対比較、結合マトリクスの作成とクラスタリング、サブ集合化、符号影響行列非符号影響行列、重みづけ影響行列などとの結合によるもの、④フィードバックループ情報評価の方法・・・フィードバックループは、ある要素から閉じた経路によるその要素に戻る関係をいうが、一対比較、結合性、対称性、有向性、線形性、符号の有無などの条件から、影響行列を決定し作成する方法をいう、⑤時系列軌道作成の方法・・・時間変動に追従するシステムの変動を分析する方法で、物理的単位を持つものと持たないものがある。この場合も対称性、有向性などの条件によって、一対比較による相互影響行列の作成を行うアルゴリズムを持つ。また、他にないものとして、初期値の設定がある。

以上の分類は、知識情報の取り込み方と、推論の方法が異なっており、従って、構造化アルゴリズムも異なってくる。例えば、ISMの場合には、データは、2値データであり、2値論理のアルゴリズムが用いられるし、AHPの場合、各々の影響行列が重みつきデータであり、構造同定のアルゴリズムは、固有値、固有ベクトルを求めるのが基本となる。またさらに、MCAの場合には、重みづけられた構成要素のレベルの優劣を評価し、各々の優越する重みの累加による値で構造を同定することになる。さらに、KSIMなどのクロスインパクトを応用した方法では、構成概念の情報は、確率として与えられ、それらの時間的变化によって将来の構造変化を観察していくものでデータの種類がかなり異なってくる。いずれにしても、その多くは、相互影響行列、Digraphとして、貯えられる。

ここでは、知識情報として、最もエキスパートシステムの情報であるFuzzy集合をベースにしたFSMのアルゴリズムについて略述することとする。

(2)FSMの主なアルゴリズム・・・a)要素の関係の定義・・・得られたファジィ関係従属行列 $A = [a_{ij}]$ は、今要素 s_i と s_j の関係を表すものと考え、要素 s_i が、要素 s_j にどの程度従属しているか、この場合は、どの程度より重要であるかを表している。要素間の関係は、次の3つの関係が満たされているものと定義する。

①ファジィ非反射律・ $\forall (s_i, s_j) \in S \times S$ に対して、 $a(s_i, s_j) \leq p$ が満足するならば、ファジィ非反射律が成り立つ。②ファジィ非対称律・ $\forall (s_i, s_j) \in S \times S, (i \neq j)$ に対して、 $a(s_i, s_j) < p$ あるいは、 $a(s_i, s_j) < p$ の少なくともどちらかが成り立つならば、ファジィ非対称律が成り立つ。③ファジィ半推移律・ $\forall (s_i, s_j), (s_j, s_k), (s_k, s_i) \in S \times S (i \neq j, j \neq k, k \neq i)$ に対して、 $T = \bigvee_{j=1}^n (a(s_i, s_j) \wedge a(s_j, s_k)) \geq p$ のとき、 $a(s_i, s_k) \geq p$ が満足されるならば、ファジィ半推移律が成り立つ。

b)可到達行列・要素 s_i から s_j に向かう有向枝を求め、有向グラフ作成のために、関係従属行列から、各要素間の到達可能性を検討する。この場合、各頂点(各要素)は、それ自身からパスの長さ0で到達可能であるとして、従属行列と、単位行列の和行列を求め、算定する。(ファジィ構造化の場合は、単位行列でなくともしきい値 p と1の間の値でよい。)可到達行列は、反射的で推移的なファジィ二項関係、すなわち、ファジィ半順序関係を表している。

c)可到達行列の分割と抽出・各システム要素の階層性を決定するための方法として、合理的手法が開発されているが、本研究では、従来行われていた要素法によるグラフ作成法をレベル法を新たに導入して、ファジィ代数によるレベル法を開発し、それらの手順によってグラフ化を行った。それらの手順は、次のステップによるものとする。step-1 最上位レベル集合と、最下位レベル集合の判別得られた可到達行列の各要素に着目し、最上位レベルと、最下位レベルに分割する。また、それらの相互に関連する要素、またどちらにも関連しない要素についても、中間レベル集合、独立レベル集合として定義される。step-2 最上位レベル集合のグラフサブ集合の決定・可到達行列 A^* の分割される階層の数と、各階層の最上位レベルを決定する。このために、最下位レベル集合に属する要素が、従属する最上位レベル集合をみつけ、これを要素のブロック $B(s_i)$ とする。step-3 単一階層行列の作成・step-2で発見されたブロックを用いて、可到達行列に分割する。step-4 単一階層行列からグラフの作成・ここでは、レベル法によって逐次グラフを作成するものとする。その手順は、次のように考える。①出発条件・単一階層行列を A_n とすると、 A_n が与えられたとき、この行列は、行方向に S_H 、列方向に S_0 の要素集合を持ち、両方の集合の和 $S = S_H + S_0$ 、階層の全ての要素の集合を表す。②複数レベルのサブ集合・階層の各レベルにおいて、そのレベルがある要素を表す S のサブ集合があるとする。最上位でのサブ集合レベルを $\hat{S}_1$ とする。第2位レベルは、 $\hat{S}_2$ 、以下、最下位レベルのサブ集合 $\hat{S}_n$ までの集合を考える。それぞれのレベル $i (i=1, 2, \dots, n)$ について少なくとも1つ以上の従属する要素があるサブ集合 $\hat{S}_i$ を考える。図1に示される階層は、 $n-1$ の従属行列からなる。

③レベルのサブ集合の作成・ $\hat{S}_1$ の作成; $\hat{S}_1$ は、(1)によって表される。

$$\hat{S}_1 = S_H - S_H \cdot S_0 \quad (1)$$

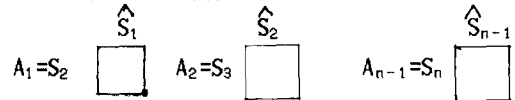


図1 階層レベルの行列の形

$\hat{S}_2$ の作成; $\hat{S}_2$ は、 $\hat{S}_1$ の選択された A_n の列を隠し、残った A_n の列の中でしきい値 p 以上の値を含まない行の要素を選択する。

$\hat{S}_2$ の作成; $\hat{S}_2$ を決定するために、(2)を計算する。 $\hat{S}_2 = S_2 \cdot S_H \quad (2)$

$\hat{S}_1$ の作成; $\hat{S}_1$ を決定するために、 $\hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \dots + \hat{S}_{n-1}$ の集合によって選ばれた A_n の列の中でしきい値 p 以上の値を含まない行の要素を選択する。

$\hat{S}_i$ の作成; $\hat{S}_i$ を決定するために(2)と同様に、(3)を計算する。 $\hat{S}_i = S_i \cdot S_H (i=2, 3, \dots, n-1) \quad (3)$

$S_2, S_3, \dots, S_n$ のサブ集合と、 $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_{n-1}$ のサブ集合が決定された後、各々の要素によって作成された行列 A_i での要素の関連性によって、階層グラフを作ることができる。

3. 逆問題とその解法

(1)逆問題の定義・逆問題は、原因から結果を導く、いわゆる順向き推論とは、逆に、現実与えられた結果からその原因を推定するという逆向き推論に関する問題をいう。われわれが従来採用してきた推論の方法は、まず仮説をたて、その仮説に対して観察されたデータを原因や、境界条件を与えて結果を演えき

的に推論し、その結果を検討する方法である。これに対して、逆問題の場合は、データから仮説を出す部分において、数理科学的に考えていこうとする発想をもつ。逆問題については、最近新しい数学的手法として注目されているが、ここでは、われわれが地域計画をはじめとする計画問題の中で取り扱う具体的例について考えてみたい。この場合、結果から原因、症状から診断というものを推論することは、非常に複雑な結果から出発して、時間的にも空間的にも異なった原因を推定することになる。その意味で、一般に結果から原因を推定することは、その逆な予測よりは、はるかに難しい。これは、結果に影響を及ぼす要因として何を考えるべきかという科学的根拠がないためで、いわば、暗中模索の中でのそれらを見つけないければならぬからである。そしてそのよりどころは、プロダクションルールを駆使した因果関係構築の方法である。例えば、原因と想定される集合をA、結果として観察される要素の集合をBとして、それらの関係を表すと、一般的にAとBの関係は、(3)で表すことができる。

$A \circ R = B$ (4) この場合、 $\circ$ は合成を意味し、AおよびBがベクトルで

$\bigvee_j (a_i \wedge r_{ij}) = b_j$ (5) 要素が a_i, b_j の時、次の(5)のような計算を行う。

ただし $\vee; \max, \wedge; \min$ 。一般に、因果関係は、あるかなしで検討できるがわれわれ

れが取り扱う問題では、因果関係においてもそのつながりの強弱がある場合が多いので、 $r_{ij}=0-1$ をとる。また現象あるいは、結果についても、その程度によって評価される場合があり、 $a_i, b_j=0-1$ である。したがって、(4)の関係は、ファジィ関係として解釈され、各々をファジィ集合として定義すれば、(4)はそのまま成立する。そして a_i, b_j および r_{ij} は、各々をファジィ集合のメンバーシップ関数と見なすことができる。

(2) ファジィ関係式の逆演算・・・故障の現象、症状から原因を求めるような診断システムや、ファジィ関係を推論して、将来の予測されたインパクトに対する影響予測システムあるいは、あるインプットに対して出力の制御を行いたい場合には、 $B, R \rightarrow A$ あるいは、 $A, B \rightarrow R$ を求めるような演算を行わなければならない。これらの演算には、逆問題としてのアルゴリズム、逆演算の方法が必要となり、 $B = A \wedge R$ の解 A^* は、一般に次の(6)ようになる。

(各行および列数 $m, n=1$ の場合)

$\begin{cases} b < r \text{ の時} & a^* = b \\ b = r \text{ の時} & a^* = [b, 1] \\ b > r \text{ の時} & \phi \text{ (解なし)} \end{cases}$ (6) この様に、BとRの大小関係によって3通りの解条件(点、集合、存在なし)があらわれる。この場合の解なしの条件は、因果の論理だけを考えてありえないが、寺野らは各々の設定、観測に誤りがあったとの判断を加え、その後の近似解を見つけるアルゴリズムを開発している。

一方、塚本らは、ファジィ関係式の代わりに、ファジィ対応、すなわち写像の概念によりファジィ拡張原理に基づき解の発見をよりしやすくしている。先の(6)の解の存在条件を考えると、1つには、 b_j が因果関係 $\bigvee_j (r_{ij})$ よりも大きくないこと、また他の1つには、原因が生じると、必ず因果関係のある結果がすべて現れなければならない、ということである。したがってここでは、 $r_{ij} > b_j$ となる i が存在するとの仮定から出発している塚本らのアルゴリズムを基に逆問題を考えていくものとする。⁴⁾それらを略述すると以下ようになる。

(i) $m \times n$ 行列 $U = \{u_{ij}\}$ 、および $V = \{v_{ij}\}$ を求める。

ただし、 $u_{ij} \triangleq r_{ij} \omega b_j$ 、 $v_{ij} \triangleq r_{ij} \tilde{\omega} b_j$ であり、この場合、それぞれ ω -合成、 $\tilde{\omega}$ -合成といい、次のように定義される。区間 $[0, 1]$ に属する実数値 p, q の ω -合成、 $\tilde{\omega}$ -合成結果は、

$$p \omega q = \begin{cases} q & \text{if } p > q \\ [q, 1] & \text{if } p = q \\ \phi & \text{if } p < q \end{cases} \quad (7) \quad p \tilde{\omega} q = \begin{cases} [0, g] & \text{if } p > q \\ [0, 1] & \text{if } p < q \end{cases} \quad (8)$$

(ii) $m \times n$ 行列 $W^k = \{w_{ij}^k\}$ を次のように求める。ただし、 w_{ij}^k は、 W^k の各 j 行列ごとに(9)のように与えられる。

$w_{ij}^k \triangleq \{u_{ij} \mid r_{ij} \text{の行に対応する} i \text{で } u_{ij} = \phi \text{を満足するものの中から1つだけ取り出せる場合}$

$$l = v_{ij} \quad \text{その他の場合} \quad (9)$$

(iii)逆問題の解は、次のようになる。

$$a_i^k = \bigcap_{j=1}^n w_{ij}^k, \quad i=1, \dots, m, \quad \forall k \in K, \quad (10) \quad \text{ただし、} K \text{は次のインデックス集合である。}$$

$$K \triangleq \{K \mid \forall i, \quad (\bigcap w_{ij}^k \neq \phi)\} \quad (11) \quad (10) \text{によって先の仮定が成立し} K \neq \phi \text{の時解が見つかる。}$$

また、ファジィ対応の逆問題の解法も、これらの手順に従うが、ここでは、 α -cuts、逆対応、対応の像などの概念を必要とする。またファジィ対応を用いてモデル表現をするとき、ファジィ拡張原理を媒介にする。それらの、概念の説明を省くが、(7)-(10)で次の置き換えを行うことによって逆問題を解くことができる。

$$u_{ij} \rightarrow \bar{u}_{ij} \triangleq \bar{r}_{ij} \in \bar{b}_i, \quad v_{ij} \rightarrow \bar{v}_{ij} \triangleq \bar{r}_{ij} \in \bar{b}_j, \quad (\varepsilon \text{は} \varepsilon\text{-合成}, \tilde{\varepsilon} \text{は} \tilde{\varepsilon}\text{-合成})$$

$$w_{ij}^k \rightarrow \bar{w}_{ij}^k \triangleq \begin{cases} \bar{u}_{ij} & r_{ij} \text{の行に対応する} i \text{で} u_{ij} = \phi \text{を満足するものの中から} 1 \text{つだけ取り出せる場合} \\ \bar{v}_{ij} & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$a_i^k = \bigcap_{j=1}^n \bar{w}_{ij}^k, \quad i=1, \dots, m, \quad \forall k \in K, \quad K \triangleq \{K \mid \forall i, \quad (\bigcap \bar{w}_{ij}^k \neq \phi)\} \quad (12)$$

4. 適用例の分析

(1)調査概要・・・ここでは、地域の生活環境に対する住民の意識がある開発インパクトによってどのように変化するかを検証する問題に適用してみることにした。具体的な問題としては、ダム開発による地域振興の度合を住民は、どのように考え、意識構造がどのように変化するかを予測しようとするものである。ここでは、北海道芦別市を対象として、生活環境に関わる要素14を抽出し、一対比較による意識調査を実施した。生活関連調査項目については表1に略述され、また回答対象者の構成は、表2のようになる。

(2)分析の手順・・・a)生活環境項目相互の重要度評価とその構造モデルの作成--一対比較のためのアンケートは、二項の内でも居住する地域においては、どちらの項目が重要だと考えているかという選択とその強さを問う重み付き一対比較法を用い、それらは、全体として、各階層ごとに関係従属行列にまとめられた。b)生活環境要素の満足度評価およびインパクト影響評価--現在の施設レベルの満足状態についての評価と将来の開発インパクトによる影響を評価してもらい、得られた結果を指数化(例えば、不満度指数)する。

c)相互関連行列の決定--ここでは、原因を表すベクトルにb)で算出した指数の集合を、結果を表すベクトルに關係従属行列の各要素を配列し、逆問題を計算し、關係行列 r_{ij} を導く。d)構造の変化の計測--インパクトによる原因ベクトルの変化によって新しい構造モデルを構築する。e)構造モデルの検証--モデル同定の妥当性を検討するために再度の調査を行った。

(3)分析結果・・・a)生活環境要素間の重要度による構造モデルを各階層ごとに示すと、図2のようになる。これによると、全体的には、保健、雇用、教育などに高い重要性が現れており、また交通、消費、福祉及び居住性なども高い位置づけにあることが分かる。b)また、各階層間の構造類似性を見てみると、市の行政担当者が中心の公務関係者と、農林業関係者では、類似性が相対的に高く、雇用、保健を上位レベルとして、また学校関係者と商工関係者もまた、相互に類似性が高く、雇用、保健、教育などに高い重要性を認めている。さらに、主婦層は、他との類似性が低く、考え方に独自性があることが分かる。そして、教育、雇用が

表1 生活環境項目の分類

生活環境要素	具体的例
1. 保健	病院・診療所等の施設・サービス
2. 非公害	公害問題がないこと
3. 防災	災害に対して安全なこと
4. 交通・情報	地域内・地域間の交通の便
5. 消費・経済	日用品・生活必需品の得やすさ
6. 雇用・収入	働く場があり、収入が得やすい
7. 共同・連帯	コミュニティ活動が充分なこと
8. 風紀	犯罪・非行がないこと
9. 文化	文化活動施設およびサービス
10. 福祉	老人・子供福祉施設・サービス
11. 教育	希望する教育の施設・サービス
12. 居住	希望する規模の住宅の得やすさ
13. スポーツ等	スポーツ・レクリの施設サービス
14. 自然保全	森林・緑地の保全が充分なこと

表2 回答対象者の構成

グループの種類	回答数
G-1 公務関係	14
G-2 農林業関係	9
G-3 商工業関係	5
G-4 小中高校教員	12
G-5 主婦代表	5
総数	45

高い重要性を持つほか、居住、風紀なども高くなっている。c)将来のダム建設によつての地域振興に対する期待度からの構造変化を例えば、公務関係者の構造モデルでみたのが図3である。この例でもみられるように、主として交通、消費、経済など利便性を中心として上昇がみられる。しかしながら、その変化は、あまり大きくない。また、保健、防災などの項目は、相対的な低下がみられるが、これは、むしろ、上昇した項目への期待度が顕著になっていると解釈すべきであると考えられるd)再度の対比較のアンケート調査は、最初の調査から約6カ月後に行われたが、予測された構造変化についてほぼ確かめられた。ただ、時間的にかなり経過して、地域振興計画についても被験者にかなりの新たな情報が伝えられていたため、期待する項目に多少の変化がみられた。

5. まとめ

以上、構造化手法の地域知識情報としての取り扱い方、及び地域のエキスパートとしてのモニタリングシステムの可能性について検討してきたが、次のような点で、この方法の有効性と問題点が集約される。先ず、有効性は、次のような点にある。①ここでは、「重要である」や、「満足である」などその言葉に主観が入り、統計的な意味でカテゴリカルな表現が難しい評価に対して、ファジィネスの考え方がより妥当であり、特に、意思決定システムの場合、より現実的な情報を与えることが、確認された。②構造化のための調査手法は、一般に、対比較に基づく面倒なものが多く、地域情報として、変化する状況に対する構造変化を見つけるのには、かなりの困難性がある。逆問題の適用の有効性は、このような観点から、なじみ易い調査を基に、数学的展開のみで、構造変化を予測できる点にある。③土木事業のインパクトに対する住民の考え方について動的なモニタリング機能を考えることができる。

また問題点としては、①構造化の方法で、質問の数が多く、したがって、回答者も限定される。②ファジィ逆問題のアルゴリズムが、やや複雑である。③知識情報獲得方法について、構造化に伴う手続き的な方法がない。したがって、一般的なエキスパートシステムの確立、コンピュータプログラム化が難しい。しかしながら、原因と結果、前提と結論、構造の変化などを考えなければならない問題に対して、広範な応用可能性を持っているといえる。

6. 参考文献

- 1)市川惇信；制御からみた知識工学、計測と制御、Vol.22, No.9(1983)pp5-10.
- 2)武田正之；エキスパートシステムの言語とツール、Computer Today, No.11(1986)pp29-35.
- 3)Warfield, J.N. ; On Arranging Elements of a Hierarchy in Graphic Form, IEEE Trans.SMC 3-2(1973)pp121-132.
- 4)塚本弥八郎、田代勤；Fuzzy 逆問題の解法、計測自動制御学会論文集、15-1(1979)pp21-25.

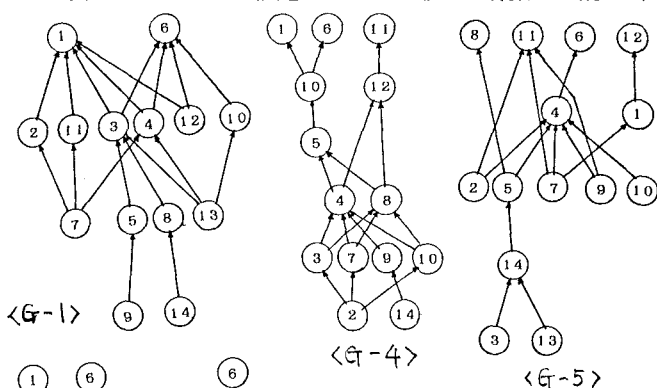


図 2

各階層の構造モデル

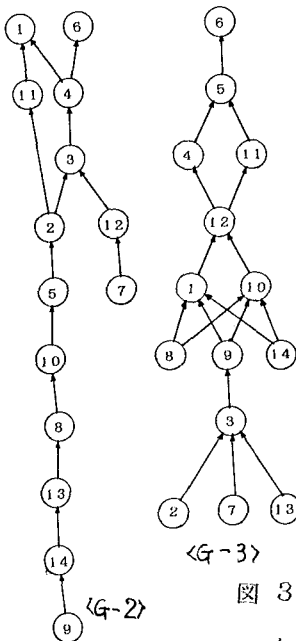


図 3

インパクトによる構造変化