

ダムゲート診断エキスパート・システムと AHP

寺野 隆雄・篠原 靖志・松井 正一・中村 秀治・松浦 真一

1. はじめに

「専門知識こそが力である」とファイゲンバウム(E. A. Feigenbaum)が高らかにとなえ、知識工学ということばを使い出してからそろそろ10年になる。その間に、いわゆる専門家の知識をコンピュータに組み込んだエキスパート・システムは非常に多く作られている[8]。わが国においても少なくともプロトタイプ・レベルで開発されたシステムはあらゆる分野で発表されており(東京で見える)星の数(?)ほどは存在するようになった。

ただし、エキスパート・システムを開発する場合、一応動くものを作るのは比較的容易であるが、これを、本当に実用的なシステムにまで発展させようとする、非常な困難を覚悟しなければならないのが現状である。この理由は、おもに、“専門家の知識”というわけのわからない(わかりにくい!)ものをコンピュータがわかるように定式化しなければならないというむずかしさに起因する。専門的知識(の断片)はIF-THEN形式のプロダクション・ルールという形でコンピュータに格納するケースが多いが、特にこの知識があいまいさを含む場合は、特にその(推論)処理の妥当性を判定しにくくなる。

これを解決するために、よく用いられる方法は、ルールにその確からしさの情報として-1から1までの値(-1が偽、1が真を表わす)をつけておくという確実性係数(Certainty Factor; CF)の考え方[5]、あるいは、ルールに用いる用語そのものにあいまいな性質を認め、その処理にファジィ論理を導入する考え方[9]などが知られている。これらの手法はいったん知識が整理され、コンピュータに格納されてしまえば、その後の推論処理にある程度の合理性を与える。

ところが、各ルールに含まれるあいまいさを実際にどのように与えれば良いかという問題に対しては、それこそ専門知識の専門知識たるゆえんであるということで、人工知能の理論は何も答えてくれない。実際、筆者のひとりはあるエキスパート・システムの事例について次のような話を聞いたことがある。「CF値をつけることによってルールの書き出しは非常に楽になった。しかし、そのシステムが予想どおりの結果を出すようになるまでCF値の調整に非常に手間をとられた」

また、エキスパート・システムをうまく設計するためには、知識をルールとして書き出すと同時に、対象システムの構造を的確に表現することも重要である。そのために、対象システムの知識を階層化して表現するフレーム(Frame)型知識表現がしばしば用いられる[1]。特に、工学的な事象を対象とする場合、推論処理を行なう上で意味をもつ構造・単位は、フレームを用いると比較的

てらの たかお、しのはら やすし、まつい しょういち、なかむら ひではる、まつうら しんいち
電力中央研究所 〒100 千代田区大手町1-6-1

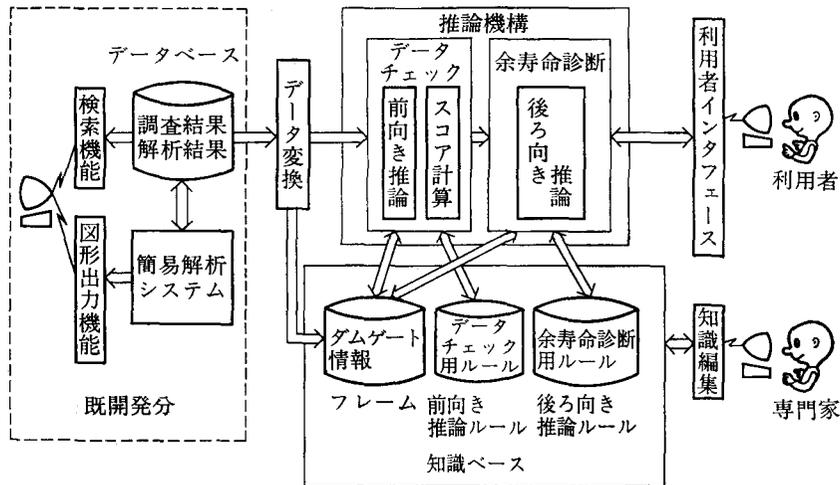


図1 ダムゲート診断エキスパート・システムの構造

容易に表現することができる。

AHPを適用する場合、対象をうまく階層化・構造化できるかどうかのポイントとなるが、フレームで知識を表現することは、そのための枠組みを与えることにもなる。一方、エキスパート・システムでは、推論経過を評価するには専門家の経験則が果たす役割が強いが、あいまいな情報を扱わなければならない場合には、使われる知識の重要性を客観的に決定する適切な手段はない。したがって、この目的でAHPを適用することは、非常に有用と考えられる。

本稿では、あいまいさを含む専門知識をエキスパート・システムの知識ベースに格納するさいにAHPの手法を適用し、個々の専門知識間の重要度を導いた例について紹介を行なう。そして、あいまい性を扱うために、推論処理対象となる定性的データにスコア付けを行なって、そのウェイト付き平均により、診断結果を評価する方式について考察する。一般にこの方式では評価用のウェイトを決定することがむずかしく、上述したように専門家や開発者による長期間のシステムのチューニング作業が必要であった。

具体的な応用例として、水力発電所のダムゲート（水門）の安全性診断と余寿命予測を目的としたエキスパート・システムの知識ベース開発に

AHPを適用した結果について述べる [7]。開発したシステムは既存のダムゲートのデータベース・システム/簡易解析システム [3] のフロントエンドとして利用するエキスパート・システムである [6]。ダムゲートのデータベースから、変位・応力などの定量的な測定データ、ならびに外観状態などの定性的なデータを、また、有限要素法による簡易解析システムから、測定データに対応する解析値をとりこんで、個々のダムゲートの総合的な診断・評価を行なうことを目的としている。

2. ダムゲート診断システムの概要

図1に、本エキスパート・システムの機能構成を示す。システムは、最初に、データベース/簡易解析システムからのダムゲートの構造形態・外観状態・操作状態・環境状態等の定性的情報（約100項目/ゲート）と測定値・解析値等の定量的情報（約100項目/ゲート）をとりこむ。次にそれらをフレームに変換した後、当所の専門家の経験的な知識（ルール、手続き）にもとづいて推論処理を行なう。これによって表1にまとめた安全性判定ならびに寿命予測を行なう。

知識ベースはフレームとルール、手続き [2] とから構成される。フレームには上に述べたダムゲートに関する定性的/定量的情報とダムゲートそ

表 1 システムの扱う問題

安全性評価	取り替えが必要 補修が必要 現状で使用可能
余寿命予測	余寿命 0—5年 余寿命 5—10年 余寿命 10—15年 余寿命 20年—50年 余寿命 50年以上
補修の必要時期	0—5年後 5—10年後 10—15年後 20年以上後

のものの構成情報とを保持する。ルールは前向き／後ろ向き推論用のものがある。前者は、入力したデータのチェックと各構成部分の評価スコアの計算とを行なうときに使用される。後者は、さらに3種類に分類されており、外観状態、信頼性、構造力学的観点からダムゲートの診断・評価を行なうときに使用される。手続的知識はフレーム中の個々の構成情報スロットに付随する LISP 関数であり、それぞれ評価スコアを計算するために使用される。

3. 寿命診断・評価にともなうあいまい性の扱い

本システムの扱うデータは測定・解析による客観的な定量データとアンケートによる主観的な定性データの両方を含む。さらにシステムの下す診断には、構造力学的判断、外観状態の判断などの複数の視点があり、これらは互いに矛盾する可能性がある。そこで、本システムでは、ここで生ずるあいまい性を処理するために、複数の解の提示と評価用スコアの導入という、2つの方式を採用している。これは次の理由によるものである。

- 客観的な余寿命評価手法が確定していないという現状のもとではシステムが結論し得るすべての解を表示することで、利用者にシステムの出力する推論結果の評価をまかせることが必要である。

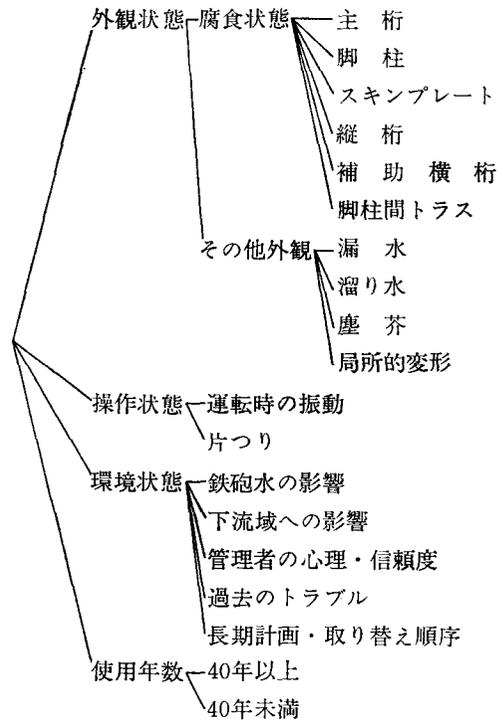


図 2 あいまいさをともなう定性的な評価項目

- 個々の推論結果は、対象となるダムゲートのデータまでさかのぼって明確に説明できるものでなければならぬ。それには、スコアの評価を陽に計算する方式が適当である。

4. AHP の適用

本エキスパート・システムにおいて、重要性を評価すべき定性的な項目は図2のような階層的な形にまとめることができる。これは、ダムゲートのフレーム構造と一致しており、システム的设计初期段階で自然に導入された構造である。各項目は、経過年数を除き、それぞれ 0, 1, 2, 3 (“良い”から“悪い”までに対応する) の値 (スコア) をもつ。本システムでは、これらの項目を評価し、その上で総合的な判断を下す。そこで、土木専門家の経験則をまとめるのに AHP を適用して、図2の階層にしたがって各項目のウェイトを決定した。その結果は、図3のようになる。図中の CI, CR はそれぞれ、各階層ごとに得た Consistency

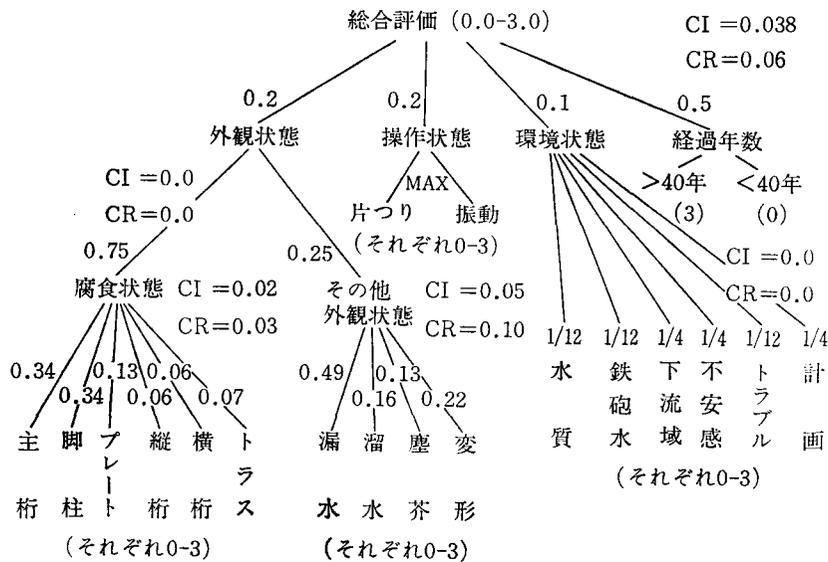


図 3 AHPの適用結果のまとめ

Index, Consistency Ratio

の値を示す。この結果、すべてのCI, CRの値が0.1以下であるので、サーティ (Saaty, T.L.) [4]によると、おおむね妥当なウェイトが定まっていることがわかる。

こうして定めたウェイトは表2にまとめた方式で総合評価の計算に利用する。そして表3に例示したような IF-THEN ルールにおいて「外観状態が“悪い”」などの用語で参照される。

5. おわりに

本報告で述べたように、AHPの適用により比較的容易に対象システム(ダムゲート)のあいまい性を含むデータを評価する尺度を決定することができた。その結果、本システムからは、当所の専門家の経験とよく合致する

表 2 定性的データの評価方式

	項目	評価点	ウェイト	評価結果
外観評価	主桁	0, 1, 2, 3	0.25	Σ(評価点×ウェイト) =0.0~1.0 良い =1.0~1.5 概ね良い =1.5~2.0 良くない =2.0~3.0 かなり悪い
	脚柱	0, 1, 2, 3	0.25	
	スキンプレート	0, 1, 2, 3	0.10	
	縦桁	0, 1, 2, 3	0.05	
	補助横桁	0, 1, 2, 3	0.05	
	脚柱間トラス	0, 1, 2, 3	0.05	
	漏水	0, 1, 2, 3	0.10	
	溜水	0, 1, 2, 3	0.05	
	塵芥	0, 1, 2, 3	0.05	
操評性	振動	0, 1, 2, 3		max{振動評価点, 片吊り評価点} =0.0~1.0 良い =1.0~1.5 概ね良い =1.5~2.0 良くない =2.0~3.0 かなり悪い
	片吊り	0, 1, 2, 3		
環境その他評価	水質, 流(堆)砂量	0, 1, 2, 3	0.0833	Σ(評価点×ウェイト) =0.0~1.0 良い =1.0~1.5 概ね良い =1.5~2.0 良くない =2.0~3.0 かなり悪い
	鉄砲水	0, 1, 2, 3	0.0833	
	下流域への影響	0, 1, 2, 3	0.25	
	管理者の心理, 信頼度	0, 1, 2, 3	0.25	
	過去のトラブル	0, 1, 2, 3	0.0833	
	長期計画, 取替え順位	0, 1, 2, 3	0.25	
経年過数		0 or 3		=0. 40年未満 =3. 40年以上

推論結果が得られており、本エキスパート・シス

表 3 後ろ向き診断ルール例

•IF	外観状態が“良く”，操作状態が良くなく， 経過年数<40年
THEN	現状のまま使用可
•IF	外観状態が“かなり悪く”，操作状態が“概ね 良く”，環境状態が“良く”，経過年数<40年
THEN	補修が必要

テムの性能が確認されている。

本エキスパート・システムにおいてAHPの手法が適用できたポイントは、スコア計算によってあいまいさを処理する方式をとったこと、ならびに、フレーム形式の知識表現を利用して対象システムの構造が的確に階層的に表わせたことの2点に集約される。

AHPは、[4]にもあるように、適用範囲がきわめて広い手法なので、今後も、さまざまなエキスパート・システムに利用できよう。特に、本報告で述べたような、定性的データの判断のみでなく、経験則の確からしさそのものを評価するための尺度の決定にも適用しうるものと考えている。

参 考 文 献

[1] Fikes, R., and Kehler, T.P. "The Role of Frame-Based Representation in Reasoning." *Comm. ACM*, Vol. 28, No. 9 (1985), pp. 904-920 (翻訳: "知識ベースを階層化した推論を制御するフレーム・システム." 日経エレクトロニクス,

1986. 3. 10, pp. 237-254.)

[2] Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., and Lenat, D. B. (eds.): *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, 1983. (翻訳: AIUEO: "エキスパート・システム", 産業図書, 1985)

[3] 中村秀治, 松浦真一, 松井正一, 寺野隆雄: "知識工学手法に基づく水力鋼構造物の寿命予測." 土木学会論文集, 1986年4月.

[4] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.

[5] Shortliffe, E. H.: *Computer-Based Medical Consultation: MYCIN*, Elsevier, 1976. (翻訳: 神沼二真, 倉科周介: "診断コンピュータシステム." 文光堂, 1981.)

[6] 寺野隆雄 (他): "発電所のダムゲート余寿命診断エキスパート・システム." 情報処理学会第32回全国大会 2L-3, (1986年3月) pp. 1071-1072.

[7] 寺野隆雄 (他): "ダムゲート診断エキスパート・システムにおけるAHPの適用." 日本OR学会1986年春季研究発表会 2-A-10 (1986年5月).

[8] Waterman, D. A.: *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley, 1985.

[9] Zadeh, L. A.: "Making Computer Think Like People.", *IEEE Spectrum*, Vol. 21, No. 8 (Aug. 1984), pp. 26-32. (翻訳: "実用化が始まったファジィ理論—人工知能からプロセス制御まで実システムへの応用が進む." 日経エレクトロニクス, 1984. 12. 3, pp. 166-182.)

学会への到着図書 (4月~6月)

書 名	著 者	発 行 所	頁数	価 格	発行日
SASによる回帰分析の実践	新 村 秀 一 訳	朝 倉 書 店	189	2,500円	61. 4. 25
ソフトQCへのアプローチ 経営科学読本	近 藤 次 郎	日科技連出版社	402	5,200円	61. 4. 29
グラフィック意思決定法	大 前 義 次	日科技連出版社	227	3,000円	61. 6. 12
工業における 多変量データの解析	奥野忠一・片山善三郎・上郡長昭 伊東哲二・入倉則夫・藤原信夫	日科技連出版社	368	4,000円	61. 6. 25
ソフトウェアの品質管理	菅 野 文 友 編集	日科技連出版社	264	3,000円	61. 6. 30