

京都大学工学部 正員 高棹琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
 京都大学工学部 正員 堀 智晴 東京ガス 正員 〇久木田淳

1 本研究の背景と目的 高棹ら[1]は、洪水制御支援知識ベースシステムの成長を可能にする知識構成として、多段階知識構成法(図1)を提案している。多段階知識構成法では、判断の基礎となるデータの種類に応じて複数の知識システムを考え、その上位にメタ知識システムを置き、観測・予測情報が増えたときでも、下位知識システムの追加、メタ知識システムの更新のみで新たな知識構成が実現できるようになっている。しかし、この中でメタ知識システムは、概念的な位置づけがなされているだけで、具体的な構成方法については明らかにされていない。

そこで、本研究では、Dempster & Shafer の確率理論[2]に基づくメタ知識システムの推論手法を開発し、不完全な知識による推論結果を、効果的に組み合わせた推論が可能であることを示す。

2 メタ知識システムの機能とその実現法 知識の性質、及びシステムの成長の可能性から考察すると、メタ知識システムは、

1. 下位知識システムの矛盾した出力結果に対する解消機能、
 2. 新たな下位知識システムの追加されたとき、追加以前の推論能力を保証する機能、
 3. 下位知識システムの能力を評価する機能、
- を備えている必要がある。これらは、人間が複数の証拠を基に確信する思考過程と似ているといえる。

人間が不完全な証拠から一つの結論を導く過程を数学的にモデル化したものに、Dempster & Shafer の確率理論がある。G.Shafer は A.P.Dempster の確率理論に主観的な意味を付加するために、下界・上界確率を belief function、plausibility とし、それを基本確率 $m(A_i)$ で定義した。 $m(A_i)$ は、 A_i 内を自由に動くことができる半可動確率質量である。このとき belief function は、

$$\text{Bel}(A_i) = \sum_{A_j \subseteq A_i} m(A_j) \quad (1)$$

となる。また、独立した証拠から推論された基本確率を結合するための方法に、Dempster の結合則があり、

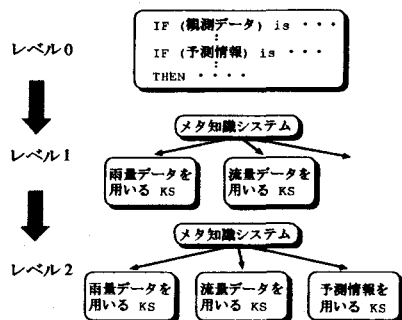


図1 多段階知識構成法

$\text{Bel}_1, \text{Bel}_2$ が、全体集合 Θ 上の Belief Function で、 m_1, m_2 がそれぞれの要素 $A_1 \dots A_k, B_1 \dots B_l$ の基本確率とする。このとき、 $\sum_{i,j, A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i)m_2(B_j) < 1$ が成り立つなら、 $m(\phi) = 0$ かつ

$$m(A) = \frac{\sum_{i,j, A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j)}{1 - \sum_{i,j, A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i)m_2(B_j)} \quad (2)$$

で定義されるような新たな基本確率をつくる。

本研究では、多段階知識構成法における下位知識システム群を独立な証拠として扱い、各々の出力を基本確率として表現することで、Dempster & Shafer の確率理論の枠組に取り込むことを試みた。

メタ知識システムの判断項目は、実時間で判断しなければならない項目があること、また、今後、導入が予想される洪水の確率予測手法の出力に対して、加工せずそのまま用いることができることを考慮し、 $m(\{t | t_a \leq t_x \leq t_b\})$ のように、時間 t を用いて表現する。例えば、「0.5 の確率で1時間後から2時間後のあいだに流入量が最大になる」は、

$$m(\{t | t_0 + 1 \leq t_p \leq t_0 + 2\}) = 0.5$$

のように表現する(t_p はピーク生起時刻)。そして、「わからない」を意味する基本確率を全体集合 Θ を用いて、 $m(\Theta)$ のように表現する。このとき、メタ知識システムは、下位知識システムの出力を基本確率として扱い、(2) 式の Dempster の結合則を用いて新たな基本確率をつくり、判断項目に対する belief function を出力するための推論機構を持ち合わせることにな

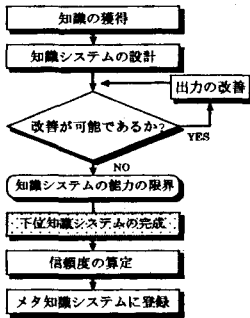


図2 メタ知識システムの設計手順

る。以上で、前述1.、3.の機能に関して、Dempster & Shafer の確率理論の範疇で解決することができるようになった。また、この方法を用いれば、下位知識システムは必ずしも単独で高い能力を持つ必要はないということになる。

3 メタ知識システムの設計 2で提案した Dempster & Shafer の確率理論を用いたメタ知識システムの推論機構は、推論能力の低い下位知識システムが、誤った時期に高い出力を示すとき問題となる。そこで、本研究では、知識システムの信頼度を導入することでこの問題を解決する。すなわち、

1. 推論回数に対する、下位知識システムが正しい出力を示した割合(推論回数は判断項目ごとに推論を依頼される時期を考慮する)、
 2. 判断項目の現象が起きる以前の最大出力に対する、実際に現象が起きた時刻の出力の割合(この値が1.0以上のときは、1.0とみなす。)、
- を用いるとし、両者を乗じたものを信頼度とした。

ここで、ある下位知識システムの信頼度を p とすると、そのシステムが基本確率 m を出力したとき、メタ知識システムはこれを $p \times m$ という基本確率と解釈し、「わからない」を意味する全体集合 $m(\Theta)$ を増加させることにする。

結局、メタ知識システムの設計手順は図2のようなになるが、このように統一的な方針と基準を示すことで、メタ知識システムへの下位知識システムの追加・更新が容易に行える環境を提供することができる。

4 適用と考察 前述した設計方針に従って、流入量ピーク生起時期を判断するメタ知識システムを作成し、1982年10月号台風の洪水調節に適用する。一例として、流入量ピーク時期判断を行なうシステム群を考える。この下位知識システムには、ハイドログラフより判断する知識システム、流域降雨量より判断

する知識システム、決定論的流量予測を基にする知識システム、流入量ピーク時刻の確率分布を出力する知識システムを用意した。また、各知識システムの信頼度を過去の出水データから求めると、それぞれ0.989,0.598,0.305,0.982となった。

図3は、河川管理現場の現状を考慮して、下位知識システムの追加を行なったとしたときのメタ知識システムの出力である。下位知識システムを追加することによって、流入量ピーク時刻でのメタ知識システムの出力は、0.59,0.61,0.73と増加している。また、流入量ピーク時刻以前の出力も確率予測を用いた知識システムを追加することで低く抑えられている。

5 結論 本研究では、不完全な知識による推論結果を効果的に組み合わせた推論が可能であることを示した。今後、この手法を複数ダム操作に適用するために、判断項目の対象を広げる必要がある。

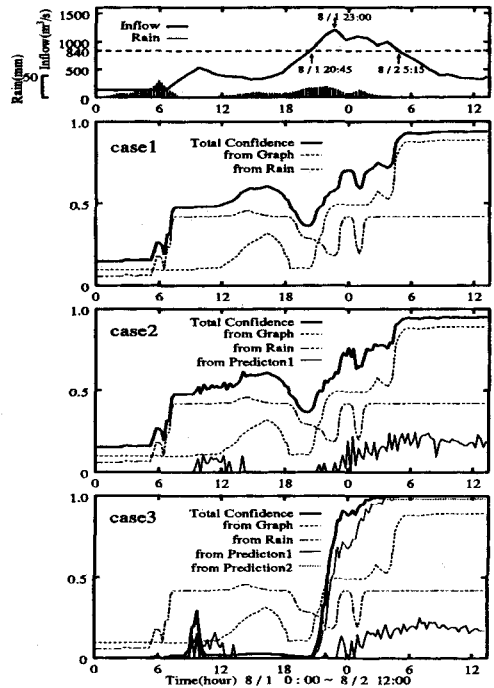


図3 メタ知識システムの出力(流入量ピーク時期判断)

参考文献

- [1] 高埴・椎葉・堀：多段階知識構成法を用いた洪水制御支援システムの設計，水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集，1993。
- [2] G.Shafer：A Mathematical Theory of Evidence，Princeton University Press，1976。