水文・水資源問題におけるAI研究の動向

井辻 英雄*・山根 伸之*・岡田 耕*

Trend of Studies with Respect to AI in Hydrology and Water Resources

Hideo ITSUJI, Nobuyuki YAMANE, Tsutomu OKADA

I. はじめに

AIの一応用分野であるエキスパートシステムは、例えば「問題領域の専門家（エキスパート）から獲得された専門知識を用いて推論を行い、専門的に高度な現実の問題を、専門家と同等のレベルで解決する知的システム¹⁾」のような、極めて高度な問題解決システムをいい、種々の分野で研究が進んでいる。しかし、水文・水資源問題への適用はまだ始まったばかりで、専門家と同等のレベルには達していないものも多い。

本稿は、水文・水資源問題におけるエキスパートシステムを中心としたAI研究の動向を紹介するとともに、今後の適用可能性と課題について示す。

II. 研究の動向

水文・水資源問題は地球上の水循環に関する広範な問題を対象としており、その内容も多岐にわたる。扱うデータの特徴から見ると、変動の強度(分布特性)を表すデータと事象の生起の時間的連続性(時系列特性)を表すデータに分けられ²⁾、特に時系列データについては、極めて膨大な量であったり、実時間処理とよばれる即時処理を必要とする場合がある。実時間処理においては、短時間で、時として極めて高度な判断(処理)を要求されるため、問題領域の専門家(エキスパート)による支援が望まれている。

水文・水資源問題におけるAI研究の多くはこのような実時間処理を対象としており、特に流水およびダム等の管理のなかでも問題が複雑な流出予測や、施設操作の支援をテーマとしている。

1. 流出予測

流出予測は、ある時点までの流域の降雨量と河川流量(水位)等の観測データに基づき、その時点以降の流量(水位)を予測するもので、流域固有の水文特性や洪水

毎の水文特性に複雑に支配され、精度よい予測が困難な場合も多い。このため、通常、予測を行い、結果が観測されるたびに予測特性(傾向)を整理してそれ以降の予測に反映するといった方法がとられる。AIは洪水期間中のこのような専門的処理を支援する手段として、水文・水資源問題の中でも比較的早期に研究が始められた。

藤田³⁾は降雨と流出のファジィ関係にもとづく流出予測の方法を示した。これは、ファジィ関係としてMamdaniの含意公式を用い、Max-min合成による推論を行うという、極めて基本的な方法である。また、藤田⁴⁾は従来より用いられている貯留関数モデルやタンクモデルの定数補正にファジィ制御を応用した例についても報告している。同モデルは推論ルールとして山崎等⁵⁾の提案する制御ルールテーブルの改良型を用いており、これによって、カルマンフィルターと同様なモデルの同定と予測が同時に可能であるとしている。さらに、藤田等⁶⁾は予測誤差がシステム自体の「ゆらぎ」によるものとした、水位と雨量のファジィ回帰モデルについても報告している。

これらの事例はいずれも並列1段の推論によるものであるが、日向等⁷⁾は流域の保水能力の推定とこれを前提とした流出予測といった多段のファジィ推論システムについて報告している。

一方、同じ予測でも洪水警報の発令等のように逐次補正が困難な場合もある。この場合は、多くの情報にもとづく複雑な判断が要請されることから、梅田等⁸⁾は代表的な多段型推論であるプロダクションシステムの適用を試みている。

以上に示したように、流出予測への適用はファジィ理論を中心としており、水文分野の中では比較的早くから研究されてきた。これは、予測という問題が極めて複雑かつあいまいで、しかも緊急性が高いためと考えられるが、実用という点からみれば今後の研究が待たれる。

*側建設技術研究所 CTI Engineering Co., Ltd.

2. パターン認識

計算機に人間のような高度な処理を行わせようとする、かならず直面するのが「マン・マシン・インターフェイス」の問題である。特に、図形情報をパターンとして理解して予測等に活用することは従来より研究されており、random K-means手法等の適用⁹⁾も行われている。藤田等¹⁰⁾はファジィ関係を用いたパターン認識の方法について報告しており、「似ている」というファジィ集合のグレードを 1) 図形の位置のずれ, 2) 図形の形の違いを考慮して決定することにより、天気図の識別が可能であるとしている。

ただし、パターン認識の研究は始まったばかりで、レーダー雨量情報の普及等を考えると、今後、新しい手法の導入も含めてますます注目される分野であると考えられる。

3. ダムの操作

ダムの操作は、流出予測と同様に実時間処理が必要となる代表的な管理業務で、AIの研究事例としては最も多い。

ダム操作の問題は、洪水や渇水による下流の被害の軽減といった単一の目標に対して放流量(ゲート等の開度)をどのように設定するかという制御問題としての扱いと、複数の属性を考慮した放流量決定等の政策決定的な扱いに分けて考えることができる。AIの適用例をみると、前者についてはファジィ制御、後者についてはプロダクションシステムの適用が多い。

洪水時についてみると、ダム操作の目的はダム本体や放流に伴う下流の安全性(水位上昇)を確保しつつ、洪水を一時的に貯留して洪水被害を軽減することであり、洪水期間中、何分か毎に操作の判断を繰り返すこととなる。こういった洪水調節ダムの操作を制御問題としてとらえた場合は、目標値にいかにも速くしかも効率的に近づけるかが重要である。そのためには状況と制御量の関係を適切に設定する必要があり、ファジィ制御の適用が試みられている。小尻等¹¹⁾はこの関係を経験的に作成した375の並列ルールによって定式化し、経験豊富なオペレータに類似した操作を実現できるとしている。同システムにおいては、水流量の測定値が水面の振動等により誤差を持つことや、使用する流量予測値の精度が十分でないこと等から前提部のパラメータをファジィ集合に拡張し、知識はファジィ関係で表現したもので、ルールやメンバーシップ関数を大胆に仮定している。しかし、実用性を考えた場合はこれらを一定の方法で設定することも重要である。このため、池淵等¹²⁾は従来システムによる予測結果の平均と分散を用いたメンバーシップ関数、また、小尻等¹³⁾はDPの最適解にもとづく制御ルールの設定方法について報告している。いずれにしても、知識(ル

ル)の獲得方法とメンバーシップ関数の設定方法は大きな課題として残っているのが現状である。

ただし、ダム操作におけるファジィ制御は、誤差を含むあいまいな情報の処理や、従来困難であったハイドロのパターン¹⁴⁾や予報等¹⁵⁾の活用におけるひとつの方向を示しており、今後の研究が期待される。

一方、洪水時のダム操作を政策決定問題としてとらえた場合は、洪水の状況(「ピークに達した」等)やダムの状況(「制限水位を上回った」等)といったいくつかの異なる属性を考慮した放流方式や放流量の決定が命題であり、対象の異なる多くの知識を必要とする。こういった問題に対し、高棹等¹⁶⁾はプロダクションシステムによる定式化を試みており、特にダム流入量最大の判定やダムの容量不足の判定についての知識を示している。また、高棹等¹⁷⁾は同システムを拡張するため、問題をいくつかのサブ問題に分解し推論を行う分散協調問題解決モデルの導入を図っている。すなわち、流入量最大や容量不足の判定の他、下流基準点の水位ピークの判定、放流制限条件(下流水位上昇に関する制限)の判定も含め、操作規則に準拠した放流量決定システムを構築している。ただし、このうち流入量最大、容量不足、下流の水位ピークの各判定については不完全な情報の処理と考え、ファジィ推論を導入している。また神田等¹⁸⁾は標準的な操作の操作の内容がプロダクションルールによって定式化できることを示すとともに、特に超過洪水に対する従来の操作の課題である“ピーク放流量の増大”と“放流量増加率の急増”といった課題に対し、流出予測や最適放流量演算といった手続き型ルーチンを組み合わせることによって改善できる事を示している。この方法によって、担当者は精度が十分とはいえない予測モデルを用いて、予測の特性(誤差傾向)を参考としながら的確な操作を行うといった、極めて人間的な判断過程をシステム化できるとしている。

同じダム操作においても、渇水時の管理は洪水時に比べ緊急性は小さい。しかし、問題の構想は極めて複雑で、貯水池や河川等の水源の状況を把握し、取水から配水までの諸施設を相互に関連させて運用する必要があるため、政策決定的な問題として扱われることが多い。飯田等¹⁹⁾は貯水池から取水、配水にいたる複数の施設を対象とした水運用のエキスパートシステム化の検討を行い、水資源、水需要、配水の各サブシステムより構成される基本フレームを示している。また、池淵等²⁰⁾は中・長期予報を活用した渇水実操作に多段のファジィ推論を導入し、良好な成果が得られるとしている。

このように、ダム操作の問題に関しては、手法的には大きくファジィ制御とプロダクションシステムのふたつの流れがあるが、これらの融合も試みられている。すな

わち、ファジィ・エキスパート・システムと呼ばれるものである。たとえば、日向等²¹⁾および岩下等²²⁾によるダム制御モデルや前述の池淵等²⁰⁾の渇水時政策決定モデルはファジィ推論の多段化によるエキスパートシステム化であり、同じく前述の高棹等¹⁷⁾の分散協調問題解決モデルはエキスパートシステムのサブ推論システムへのファジィ推論の導入である。いずれにしても、問題構造の複雑さと情報そのもののあいまいさを区別し、これらを総合したシステムの研究に進んでいる。

4. 下水処理ポンプ操作

下水処理ポンプもダムと同様に操作を必要とする施設であり、大野等²³⁾、國見等²⁴⁾によってエキスパートシステムの適用が行われている。

下水処理場の流入下水量は、晴天時には特定のパターンで時間変化するが、雨天時には降雨によって大きく異なったパターンとなる。したがって、下水処理ポンプの操作においては、まず晴天／雨天の判定が重要となってくる。同事例ではこの判定にファジィ推論を適用するとともに、晴天時には水処理負荷をできるだけ平滑化するため、エキスパートシステムによってポンプの揚水基準量を設定し、予測値を含むファジィ推論によりきめ細かく補正するといった2段階の方法がとられている。

5. その他

一方、特定分野の専門知識以外を対象としたものに、高棹等²⁵⁾の水害避難ミクロモデルの研究がある。同モデルは、一般住民の知識、経験をプロダクションシステムおよびファジィ推論システムにより定式化したもので、個々の住民の意識の変化が避難全体に及ぼす影響を予測できている。

また、計画分野への応用としては、中山等²⁶⁾の河川の治水、利水、河川環境特性評価がある。同事例では、河川の特性を表す24の指標から治水、利水、河川環境面での充足度をファジィ推論により求めるもので、ファジィ関係とメンバーシップ関数は専門家の合議によっている。

III. 水文・水資源問題におけるAI適用の可能性と今後の課題

以上に示したように、水文・水資源問題におけるAI研究の多くは施設の操作や予測における担当者の判断を対象としたものである。これらの判断は比較的短時間での高度な判断であるため、専門家の支援は極めて重要となる。しかし、専門家によるその場での直接的な判断支援は物理的、コスト的にも困難な場合が多く、システム化の必要性は高い。予測等の水文および水理的なメカニズムが十分解明されると従来の手続き型システムで対応することも可能となるが、現時点では手続き型システムの不完全さを専門家の知識によって補完している状況であ

る。このような状況を勘案すると、水文・水資源問題におけるAIの研究は当面予測や施設の操作といった、いわゆる“管理分野”を中心として進められ、しかも、内容的には従来システムを補完し、担当者の判断を支援するシステムが中心となるものと考えられる。

しかし、管理分野におけるAIの適用については、AIの一般的な問題も含めて次のような課題がある。すなわち、洪水のように生起頻度が小さく、豊富な経験や知識を有する専門家が少ない場合や、知識そのものが不明確で、定式化や獲得が困難な場合が多いこと、および事故等に対する知識提供者の管理責任が不明確であること等であり、今後、より広範な立場から研究を進めて行く必要があると考えられる。

IV. おわりに

AIは、元々ill-structuredもしくはill-defindな問題に対する一手法として注目されていた。しかし、一方ではシステム化の過程で従来見過ごされがちであった現場での経験、知識の明示化、保存、継承、活用等においても重要な意義があることが認められてきた。このため、著作権や瑕疵責任等の問題はあっても、社会工学の対象としての水文・水資源問題においてもAIの応用は広がって行くものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 上野晴樹(1987): エキスパートシステム概論, 情報処理, Vol. 28 (No. 2), pp. 147~157.
- 2) 神田 徹・藤田睦博 (1983): 新体系土木工学26水文学, 技報堂出版.
- 3) 藤田睦博 (1985): Fuzzy集合理論の流出予測問題への応用, 第29回水理講演会論文集, pp. 263~268.
- 4) 藤田睦博(1987): あいまい推論の流出予測問題への応用, 第31回水理講演会論文集, pp. 125~130.
- 5) 山崎 東, 菅野道夫(1987): ファジィ制御, システムと制御, VOL. 28 (NO. 7), pp. 442~446.
- 6) 藤田睦博・早川 博 (1990): ファジィ推論を用いた水文情報サービスの利用に関する研究, 水工学論文集第34巻, pp. 589~594.
- 7) 日向博文・日野幹雄・福西 祐 (1989): Fuzzy推論システムを用いた流出予測, 第33回水理講演会論文集, pp. 67~72.
- 8) 梅田昌郎・伊藤一正・秋葉 努・深見親雄 (1990): 洪水管理に適用するエキスパートシステムの研究(その2), 水文・水資源学会1990年研究発表会要旨集, pp. 266~269.
- 9) 小尻利治, 藤井忠直(1990): 代表流況を用いた貯水池の実時間操作, 土木学会中部支部研究発表会, P.P.

182~183

- 10) 藤田睦博・今井恵史 (1990) : FUZZY関係を用いた天気図のパターン認識に関する研究, 土木学会第45回年次学術講演会, pp. 278~279.
- 11) 小尻利治・池淵周一・十合貴弘 (1987) : ファジィ制御によるダム貯水池の実時間操作に関する研究, 京都大学防災研究所年報第30号B-2, pp. 323~339.
- 12) 池淵周一・宮川裕史・河端伸一郎 (1989) : ファジィ推論をベースにしたダム貯水池の実時間操作, 土木学会第44回年次学術講演会, pp. 160~161.
- 13) 小尻利治・藤井忠直 (1989) : 知識ベースを用いたファジィ貯水池の実時間操作, 土木学会第44回年次学術講演会, pp. 158~159.
- 14) 小尻利治・藤井忠直 (1990) : 知識ベースを用いた貯水池操作に関する研究, 水工学論文集第34巻, pp. 601~606.
- 15) 藤井忠直・小尻利治・志村 敦 (1990) : 予測情報を取り入れたダム貯水池のファジィ制御に関する研究, 土木学会第45回年次学術講演会, pp. 274~275.
- 16) 高棹琢馬・椎葉充晴・堀 知晴 (1988) : 洪水制御支援のためのエキスパートシステムに関する基礎的検討, 京都大学防災研究所年報第31号B-2, pp. 357~368.
- 17) 高棹琢馬・椎葉充晴・堀 智晴・佐々木秀紀 (1990) : 協調問題解決型洪水制御支援環境の設計, 水工学論文集第34巻, pp. 595~600.
- 18) 神田 徹・井辻英雄・上田至宏 (1989) : ダムの洪水調節操作支援エキスパートシステムについて, 水文・水資源学会誌第2巻2号, pp. 33~39.
- 19) 飯田英彦・神野健二・河村 明・上田年比古・中山比佐雄 (1989) : 水資源管理のためのエキスパートシステムの開発, 土木学会西部支部研究発表会, pp. 194~195.
- 20) 池淵周一・宮川裕史・河端伸一郎 (1990) : ファジィ制御をベースにしたダム貯水池の洪水実操作, 土木学会第45回年次学術講演会, pp. 272~273.
- 21) 日向博文・福西 祐・日野幹雄 (1989) : エキスパートシステムによるダム制御, 土木学会第44回年次学術講演会, pp. 162~163.
- 22) 岩下 修・西川和也・福西 祐・日向博文 (1990) : ダム集中制御の為にエキスパートシステムの開発, 水工学論文集第34巻, pp. 583~588.
- 23) 大野秀樹・小林主一郎・中山芳夫 (1988) : 発見的手法に基づく新しい雨水ポンプ制御の適用, 第25回下水道研究発表会講演集, pp. 593~595.
- 24) 國見正樹・奥 満男・本田和広 (1989) : ファジィ応用による水処理平滑化のためのポンプ制御方法, 第26回下水道研究発表会講演集, pp. 836~838.
- 25) 高棹琢馬・椎葉充晴・堀 智晴・高木 悟・玉置雅章 (1990) : 水害避難ミクロモデルの開発に関する基礎的検討, 土木学会第45回年次学術講演会, pp. 192~193.
- 26) 中山 修・是枝伸和 (1989) : ファジィ理論の適用による河川特性の考察(その1), 水文・水資源学会1989年研究発表会要旨集, pp. 83~86.

(1990年12月21日受付, 1991年2月13日受理)