

第 II 部門

1 か月アンサンブル降水予報を用いた長期貯水池操作の効率化手法に関する検討

京都大学工学部 学生員 ○坪井 亜美
 京都大学防災研究所 正会員 野原 大督
 京都大学防災研究所 正会員 堀 智晴

1. はじめに

水資源管理の立場からの渇水対応策として、貯水池のより効率的な運用が挙げられるが、現在は定量的な利用には至っていない気象予測情報を、その精度の程度を考慮しながら有効利用する試みは重要である。本研究では、こうした予測情報の一つである、気象庁 1 か月アンサンブル降水予報を利用し、利水操作を対象に日単位の放流意思決定のための実時間最適化モデルを提案する。

2. 1 か月アンサンブル予報から得られる予測情報

アンサンブル予報とは、解析初期値に微小誤差を加えた複数の初期値から複数の数値予報を行い、その結果を統計的に処理することで、予報や予報の精度情報を得る手法である。それぞれの数値予報をメンバと呼ぶが、本研究では、この、複数のメンバ予報値を貯水池操作の意思決定に利用することを試みる。データを入手しやすい 1 か月アンサンブル予報（メンバ数 50）を利用する事とし、予報要素のうち、地上積算降水量データを用いて、将来のダムへの流入量（以下、流入量）およびダム直下から流況評価地点までの残流域からの流出量（以下、流出量）の予測を行う。まず地上積算降水量予報 GPV の連続する 2 日の値の差を取り、日別降水量予報を得る。そこから流域降水量へ変換し、さらに流域降水量から流入量・流出量を予測する。50 系列のメンバ予報降水量時系列をそれぞれ変換することによって、50 系列の流入量・流出量時系列の予測情報が得られる。

3. 複数の予測時系列を用いた長期貯水池操作最適化 DP モデルの提案

DP による長期貯水池操作の最適化問題は、操作期間内の、渇水による被害の総和の最小化として定義でき、貯水池の貯水量および放流量に制約条件が存在する。各期における被害の算出には(1)式で定義される被害関数を

用いる。

$$H_t(q_t) = \begin{cases} \frac{(d_t - q_t)^2}{d_t} & (q_t < d_t) \\ 0 & (q_t \geq d_t) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 d_t は第 t 期の評価地点需要量、 q_t は第 t 期の評価地点流量である。

本研究では、複数の流入量・流出量予測時系列を用いた DP モデル 2 種を提案する。

まず一つ目のモデルは、各期のメンバ予測値の分布から、流入量、流出量に確率分布を与え、被害の期待値を最小化する SDP である。全メンバ数を M ($=50$)、任意の期において、その期に対する各メンバ予測値の出現確率が等しく $1/M$ であると考え、最適化の目的関数および DP の漸化式は以下のように書ける。

$$\min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M H_t(q_t^m) \right) \quad (2)$$

$$f_t(s_t) = \min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ H_t(q_t^m) + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M f_{t+1}(s_{t+1}^m) \right\} \quad (3)$$

$$(q_t^m = r_t + o_t^m, \quad s_{t+1}^m = s_t + i_t^m - r_t)$$

ここに、 s_t は第 t 期期首貯水量、 r_t は第 t 期放流量、 o_t^m は第 m メンバの第 t 期予測流出量、 i_t^m は第 m メンバの第 t 期予測流入量である。この漸化式に沿って、第 T 期から第 1 期まで後退して将来被害関数 $f_t(s_t)$ を算出し、次に、現在貯水量 s_t を得て、以下の式から最適放流量 r_t が決定できる。

$$\min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \{ H_t(q_t^m) + f_{t+1}(s_{t+1}^m) \} \quad (4)$$

二つ目は、各予測時系列の時系列性を考慮しながら被害の期待値を最小化する Sampling SDP(SSDP)である。目的関数は(2)式で表わされ、漸化式および最適放流量決定の式は、各予測時系列の出現確率を、等しく $1/M$ であると考えて、以下のように書ける。

$$f_t(s_t, m) = \min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} \{ H_t(q_t^m) + f_{t+1}(s_{t+1}^m, m) \} \quad (5)$$

$$(q_t^m = r_t + o_t^m, \quad s_{t+1}^m = s_t + i_t^m - r_t)$$

$$\min_{R_{\min} \leq r \leq R_{\max}} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \{H_i(q_i^m) + f_{i+1}(s_{i+1}^m, m)\} \quad (6)$$

つまり、先に各予測時系列について予測期間長分の確定 DP として計算を行い、将来被害関数を算出し、これを用いて放流量決定段階で被害の期待値を求める、というモデルである。

1 か月アンサンブル予報は 1 週間ごとに 34 日先までの予報が発表される。実時間操作においては、予報発表ごとに将来 34 日分の降水量予報を流入量・流出量に変換し、再度、将来被害関数の計算を行う。最適放流量の決定は、算出した将来被害関数の値と、当日の観測貯水量を用いて、毎日行うものとする。

4. 適用と結果

吉野川水系の早明浦ダムを対象とし、提案手法に基づく操作シミュレーションを行った。予測情報として対象流域を囲む 4 格子点(35°N, 132.5°E)、(35°N, 135°E)、(32.5°N, 132.5°E)、(32.5°N, 135°E)上の 1 か月アンサンブル降水予報 GPV を用いた。

1 か月アンサンブル降水予報 GPV から、統計に基づいて作成した重回帰式を用いて流入量・流出量の予測を行ったが、どちらも単相関係数 r が 0.1 未満となり、予測精度は全く良くなく、全般的に実際よりも低流況が予測された。

さらに、提案した SDP と SSDP の 2 種の DP モデルそれぞれについて、渇水年であった 2007、2008 年に対し、実際に発表された予報を用いて操作シミュレーションを行った。制約条件の設定には早明浦ダム貯水池諸元データを用いた。主に渇水操作を対象としているため、利水容量のみを考慮し、洪水時は現行のルールに準じた放流が行われるものとした。各モデルについて、決定放流量を逐次放流した場合に、実流入量を与えて得られる貯水量の軌跡を得るとともに、実流出量と決定放流量を被害関数に代入して実際の被害を算出した。比較のため、完全予報を与えた確定 DP(DDP/Perf)、気候値を与えた確定 DP(DDP/Ave)、アンサンブル平均降水量予報のみから生成した単一の流入量・流出量予測時系列を与えた確定 DP(DDP/EPS1)でのシミュレーションも行った。図 1 に結果を示す。

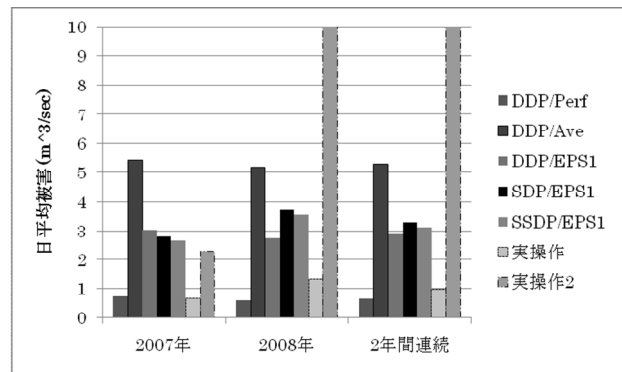


図1 各モデルでの操作結果

(実操作2は数字上利水容量が負値であった分を被害に換算したもの)

図 1 より、予測を用いた DP は気候値を用いた操作よりも被害が少なく、2007 年についてはメンバ値を用いた SDP の方が平均値のみを用いた DDP よりも被害が少なかった。また、今回用いた予測と流況条件では SSDP の方が SDP よりも良い結果を出す可能性が示唆されたが、SSDP モデルにおいて操作性能が向上した原因の詳細については議論の余地がある。

5. おわりに

本研究では、1 か月アンサンブル降水予報メンバ別 GPV から得られる複数の流況予測時系列を組み込んだ実時間操作の最適化モデルを提案し、早明浦ダムを対象に、実際に発表された予報を用いて操作シミュレーションを行った。予報 GPV からの流況予測は芳しい結果とはならなかった。今後検討が必要である。シミュレーションの結果、予測を用いた DP の操作は気候値を用いた操作よりも被害を抑えられ、精度の不高くない予測情報を用いた場合でもモデルの有効性が示される可能性があることが分かった。各モデルの応答特性は、計算過程をさらに詳しく分析することで明らかになると考えられる。

参考文献

- [1] 古川武彦・酒井重典：アンサンブル予報—新しい中・長期予報と利用法—，東京堂出版，2004
- [2] Young-Oh Kim, Hyung-Il Eum, Eun-Goo Lee, and Ick Hwan Ko : *Optimizing Operational Policies of a Korean Multireservoir System Using Sampling Stochastic Dynamic Programming with Ensemble Streamflow Prediction*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 2007