

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○得津 萌佳
 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. 序論

近年、我が国は依然大きな渇水に繰り返し見舞われており、渇水対策をいかに行うかは重要な課題である。ダムの利水操作にあたっては長期の水文予測情報を考慮することが求められるが、予測期間が長期になるにつれて大気のカオス性による予測精度の低下が避けられない。近年現業予報に導入されているアンサンブル水文予測手法は、こうした予測精度の低下に対応しようとするものであるが、これを考慮したダム利水操作の効果については、いまだ定量的に分析されておらず、ダム実管理において広く利用されるに至っていないのが現状である。

本研究では、こうした課題に対応すべく、様々な予測精度特性を持ったアンサンブル水文予測情報の模擬発生機構を開発する。そして多数のアンサンブル水文予測情報を模擬発生させ、これを考慮したダム利水操作のモンテカルロシミュレーションを行い、ダム利水操作におけるアンサンブル水文予測情報の利用性の定量的な分析を行う。

2. アンサンブル流入量予測の模擬発生機構

模擬発生にあたっては、各予測メンバの予測誤差に流入量真値を加えることでアンサンブル流入量予測を模擬発生させる。流入量誤差が正規分布に従うと仮定し、アンサンブル予測の代表的な精度指標であるアンサンブル平均誤差とスプレッドに着目すると、正規分布の平均がアンサンブル予測の平均誤差に、分散が予測のスプレッドに概ね対応する。この2つのパラメータを任意に設定することで模擬発生させる不確実な情報に様々な性質を持たせられると考えられる。また、流況の持続性を考慮し、予測のリードタイム方向には式(1)の一次自己回帰モデルを採用する¹⁾。

$$e'(t, m) = e'(t-1, m) \cdot \rho_T(1) \cdot \frac{\sigma_t}{\sigma_{t-1}} + w(t, m) \sqrt{1 - \{\rho_T(1)\}^2} \quad (1)$$

($t \geq 2$)

ここで、 $e'(t, m)$ はリードタイム第 t 期に対するメンバ m の予測の誤差の基となる値、 $\rho_T(1)$ は予測誤差のリードタイム方向の系列相関係数、 $w(t)$ は平均0、分散 σ_t^2 の正規分布に従うランダムな値である。

3. 最適化計算手法と操作シミュレーション

アンサンブルメンバの扱い方により、決定論的 DP、確率 DP、サンプリング確率 DP の3つを用いてそれぞれ最適化を行う。なお、各時間ステップにおいて全てのメンバの生起確率は等しいと仮定し、サンプリング確率 DP ではタイムステップ間で生起メンバの遷移が起こらないものとする。ダム操作においては、溢水がない時には前述の最適化計算で得られた放流戦略を実施し、洪水時には溢水分を上乗せして放流する。

4. 適用と考察

4.1 適用地域とシミュレーション条件

吉野川水系の早明浦ダムを対象としてシミュレーションを行った。適用期間には、実際に甚大な渇水が発生した期間を選び、2008年6月1日から2008年12月31日の7か月間(214日間)とした。現業1か月アンサンブル予報と同じくメンバ数 $M=50$ 、予測期間数 $T=33$ のアンサンブル流入量予測の模擬発生を行い、模擬発生のパラメータは適用期間に得られた現業アンサンブル降水量予報より分布型流出モデル Hydro-BEAM にて変換した流入量予測の誤差解析によって生起頻度の高いものを選んだ。誤差平均はリードタイム方向に一定として $\mu_t = 0, 10, 20, 30(\text{m}^3/\text{s})$ の4種、誤差分散はリードタイム方向に線形増加するものとして $\sigma_t^2 = 0.21, 2.61, 11.6, 53.18\{(\text{m}^3/\text{s})^2\}$ の4種を採用し、これらの組み合わせにより16種の誤差シナリオを作成した。なお、模擬発生により流入量予測が負となったものについては0と見なした。最適化計算における状態量の離散化数は、放流量200レベル(1レベルが $4\text{m}^3/\text{s}$ に相当)、貯水量500レベルとした。予測及び操作

の時間解像度を 1 日とし、予測は週 1 回更新され、更新とともに最適化計算を行った。貯水池操作については、通常時は直近の最適化計算結果と期首の貯水量より放流量を決定し、洪水時にはこれに溢水分を加えて放流するものとした。以上の条件のもと、1000 回のシミュレーションをモンテカルロシミュレーションとして行った。

4.2 アンサンブル流入量予測値の模擬発生結果

まず前節で設定した 16 通りのシナリオに従ってそれぞれ 1000 回模擬発生を行ったところ、いずれのシナリオについても誤差平均、誤差分散ともに設定した値との誤差率が 1.5%以内であった。

次に、模擬発生の時系列的な再現を確認する。例として、2008 年 6 月 26 日に発表された予報の再現を試みた。図 1 は現業アンサンブル降水予測より計算したアンサンブル流入量予測、図 2 はこれを模擬発生により再現した予測であり、赤線は真値を表す。概ね予測の幅や分布は良い精度で再現されている。他のメンバと比較して特異な挙動を示すメンバについては再現できていないが、こうしたメンバの見落としは利水操作戦略の判断にあたって大きく影響することはないと判断した。

4.3 利水操作結果

各予測精度、各最適化手法を用いて利水操作を行った結果を図 3 に示す。なお、青色が適用期間内に生じた被害の積算値、赤色が適用期間最終期の貯水量より得られる、向こう 1 年間の被害期待値である。これより、誤差平均の大きさが被害の大小に大きく影響している事が分

かる。誤差平均が小さいものは適用期間に節水して被害を出すものの、貯水量を十分残すため総合被害は小さくなっている。一方で、誤差平均が大きいと十分な水供給を前提に需要量に見合った放流を行うので、適用期間内の被害を抑える代わりに将来被害が大きくなった。

また、適用期間内の被害についてはいずれのシナリオも気候値を用いた結果よりも小さくなっており、ここに一定のアンサンブル予測情報の利用性が示された。適用期間後の被害期待値も合わせた値で比較すると、誤差平均が $10(\text{m}^3/\text{s})$ 以下のものは被害を小さくすることができ、アンサンブル予測情報を長期的な利水操作に利用するには、一定以上の予測精度を持たせることが必要となることが分かった。

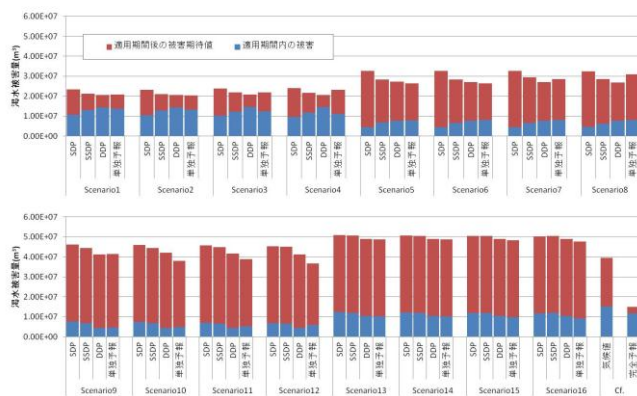


図 3 各利水操作結果

5. 結論

本研究では、任意の精度特性を持つアンサンブル流入量予測を模擬発生させ、それを用いてダムの利水操作シミュレーションを行うことにより、アンサンブル予測の利水操作への利用性を分析した。その結果、全般的に予測を用いない放流戦略決定と比較して渇水被害を抑制することができ、アンサンブル予測の利用性が確認された。

一方で、最適化手法による被害の傾向が予測の精度特性により変わり、特に誤差の大きいシナリオについては、メンバを考慮した意思決定が渇水被害を大きくしていた。今後計算過程の分析を行いながら、アンサンブル予測情報の利用方法が渇水被害の程度に与える影響について考えたい。

参考文献

[1] Takeuchi.K & Sivaarthikul.V : Assessment of effectiveness of use of inflow forecasts to reservoir management, Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems, No.231, pp.299-309, 1995.

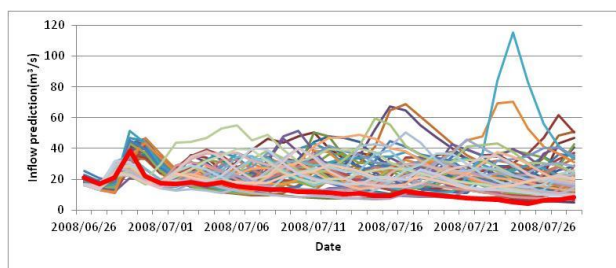


図 1 現業アンサンブル流入量予測

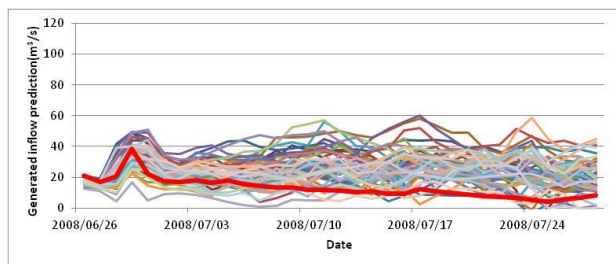


図 2 模擬発生させたアンサンブル流入量予測