

アンサンブル水文予測情報を考慮したダム利水操作の効果分析手法の検討
A Method to Analyze the Effectiveness of Long-term Reservoir Operation
Considering Ensemble Hydrological Prediction

○野原大督・得津萌佳・堀智晴

○Daisuke NOHARA, Moeka TOKUTSU, Tomoharu HORI

A method to analyze the effectiveness of long-term reservoir operation for drought management is developed considering ensemble hydrological prediction. A simulated generation method of ensemble inflow predictions with designed accuracy parameters such as averaged error of ensemble mean or spread is proposed in order to supplement the amount of data for statistics. A Monte Carlo simulation of long-term reservoir operation for water supply is conducted considering ensemble inflow predictions artificially generated with various degrees of prediction accuracies. Effects and impacts of uncertainty contained in ensemble hydrological predictions are analyzed through the statistical analysis on the results of the Monte Carlo simulation of reservoir operation. The proposed method is applied to water supply operation of Sameura Reservoir in the Yoshino River basin, Japan.

1. はじめに

近年、複数の数値予報の集合を統計的に処理し、単独の数値予報より確からしい予報を得ようとする手法(経田, 2006)であるアンサンブル予報が、現業の中長期気象予報業務に取り入れられている。ダム管理においても、こうした気象予報メンバの分布特性を考慮に入れて放流意思決定を行うことができれば、より安定した操作を行うことが期待できると考えられる。しかし、中長期アンサンブル気象予測のメンバ別情報の提供が現業化されたのが比較的近年であることや、現業の予測モデルが新しい技術を反映させるために随時更新されることなどから、実際に出された予測データからアンサンブル予測情報の利用性を網羅的に分析するには、データ数が不足するという課題がある。こうした課題に対応するため、本研究では、任意の予測精度となるようにアンサンブル水文予測情報を模擬発生する手法を開発した上で、模擬発生したアンサンブル予測情報を考慮したダム利水操作の効果を分析するためのモンテカルロシミュレーションモデルを開発する。

2. 分析手法の概要

ここでは、予測変量としてダム流入量を考え、様々な予測精度を有したアンサンブル流入量予測の模擬発生機構を組み込んだダム利水操作のモンテカルロシミュレーション分析モデルを開発する。

まず、次章で述べる模擬発生手法を用いて、様々な予測精度を有したアンサンブル流入量予測の模擬発生を行う。本研究では、予測対象期間および予測メンバ数を、気象庁の1か月アンサンブル予報と同じ33日間および50とし、日単位の予測を模擬発生する。続いて、模擬発生したアンサンブル流入量予測を考慮したダム利水操作の最適化計算を4.に述べる動的計画法(DP)を用いて実施する。最適化期間については33日間とし、日単位で計算を行う。得られた最適放流戦略と当期の貯水量状態に基づいて、ダム利水操作を日単位で実施する。アンサンブル流入量予測情報の更新頻度は7日とする。すなわち、新たな予測情報を7日毎に模擬発生し、その度に放流量の最適計算を再度実施する。このダム操作シミュレーションを定められた期間実施すると、1回のシミュレーションが終了する。同じ予測精度パラメータを用いて予測情報の模擬発生を繰り返しながら、同様のシミュレーションを多数回(例えば1000回)繰り返すことで、その予測精度のアンサンブル流入量予測情報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が完了する。このシミュレーション結果を総合的に分析することによって、アンサンブル流入量予測を考慮したダム利水操作の効果を分析する。模擬発生させる予測情報の精度パラメータを変えることによって、様々な予測精度のアンサンブル流入量予測情報を考慮することの利

水操作上の効果を分析することができる。

3. アンサンブル水文予測情報の模擬発生手法

本研究では、アンサンブル流入量予測は、模擬発生させた予測誤差を真値に加える方法で模擬発生する。各アンサンブル予測値は次式で求める。

$$I_p(k, m) = I^*(k) + \varepsilon(k, m) \quad (1)$$

ここに、 $I_p(k, m)$ は予測対象期 k に対するメンバ m の流入量予測値、 $I^*(k)$ は k 期の流入量の真値、 $\varepsilon(k, m)$ は k 期の予測メンバ m の予測誤差である。本研究では、予測誤差 $\varepsilon(k, m)$ は正規分布 $N\{\mu_0(k), [\sigma_0(k)]^2\}$ に従うものと仮定し、この分布からのランダムサンプリングをアンサンブルメンバ数 ($=M$) 回繰り返すことにより、 k 期に対する全メンバの予測値を模擬発生する。このとき、 M を大きくすると、 $\mu_0(k)$ はアンサンブル平均予測誤差に、 $[\sigma_0(k)]^2$ はスプレッドに近づく。すなわち、 $\mu_0(k)$ や $[\sigma_0(k)]^2$ の値を変化させることによって、模擬発生されるアンサンブル予測のアンサンブル平均予測誤差やスプレッドを変化させることができる。

各予測メンバ系列の模擬発生には Sivaarthiskul & Takeuchi (1995)と同様の 1 次自己回帰モデルを用いる。具体的には、予測誤差系列の模擬発生を予測メンバごとに以下の式によって行う。

$$\varepsilon(k, m) = \varepsilon(k-1, m) \cdot \rho_K(1) \cdot \frac{\hat{\sigma}(k)}{\hat{\sigma}(k-1)} + r(k, m) \sqrt{1 - [\rho_K(1)]^2} \quad (2) \quad (2 \leq k \leq K)$$

ここに、 $\rho_K(1)$ は予測誤差の系列相関、 $\hat{\sigma}(k)$ は第 k 期における過去の実流入量の分散、 $r(k)$ は $N\{\mu_0(k), [\sigma_0(k)]^2\}$ に従う乱数、 K は予測期間数（リードタイム）で、ここでは 33（日）である。ただし、 $k=1$ の場合は $\varepsilon(k, m)=r(k, m)$ とする。

4. ダム利水操作の最適化手法

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、各期における被害の算出は(3)式によって行う。

$$H_t(q_t) = [\max(d_t - q_t, 0)]^2 / d_t \quad (3)$$

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。ダム利水操作の最適計算には、比較のため、決定論的 DP、確率 DP、サンプリング確率 DP の 3 種類の DP 手法を考える。詳細については、野原ら (2009) を参照されたい。

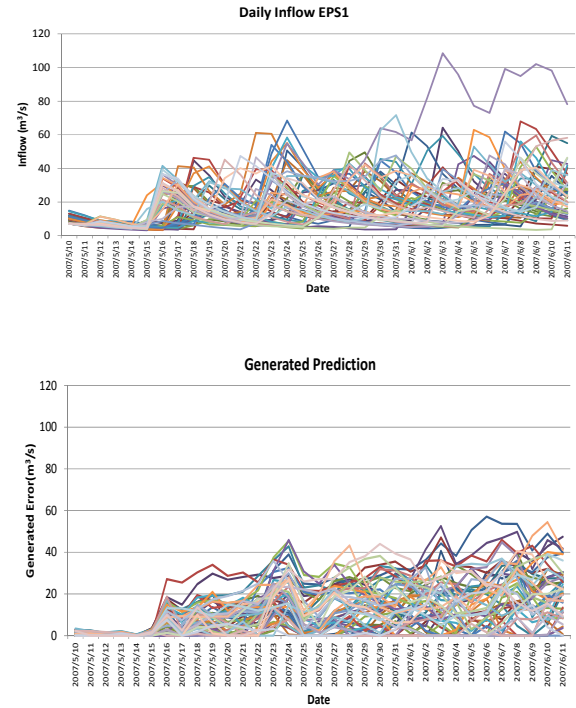


Fig.1 アンサンブル流入量予測の例（上：現業 1 か月アンサンブル降水予報から算出した流入量予測，下：提案手法による模擬発生）

5. 適用

上記の手法を吉野川流域早明浦ダムの利水操作に適用した。アンサンブル流入量予測の模擬発生結果の例を Fig. 1 に示す。現業アンサンブル予報を用いて算出したアンサンブル流入量予測（Fig.1 上図）に見られるような大きな流入量を予測するメンバが模擬発生した予測（Fig.1 下図）では現われていないが、予測の分布は概ね再現できていることが分かる。その他の結果については研究発表会においてお示しする。

参考文献

- 経田正幸 (2006) : アンサンブル予報概論, 数値予報課報告・別冊, 気象庁予報部編, 第 52 号, pp.1-12.
 野原大督・坪井亜美・堀智晴 (2009) : 長期貯水池操作へのアンサンブル降水予報導入時における最適化モデルの放流決定過程に関する一考察, 京都大学防災研究所年報, 第 52 号 B, pp.753-764.
 Sivaarthiskul, V., & Takeuchi, K. (1995): Assessment of Efficiency Increase of Reservoir Operation by the Use of Inflow Forecasts: A Case Study of The Mae Klong River Basin in Thailand, Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, 8(6), pp.590-601.