

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○齋藤 宏樹

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、アンサンブル予測手法が現業気象予報に取り入れられている。アンサンブル予測情報は予測情報だけでなく、その不確実性に関する情報も提供されるという点でダム貯水池操作にも有用であると考えられている。アンサンブル水文予測情報を用いて実際のダム貯水池操作へ利用するには分析事例を増やし、より一般的で有効なアンサンブル水文予測情報の利用方法を検討する必要がある。しかし、大きな出水は同一流域において頻繁に見られるものではなく、出水期間を対象に発表された予報データの蓄積が少ないという課題がある。本研究では、こうした課題に対応するため、任意の予測精度を持ったアンサンブル流入量予測情報を模擬発生させる機構を構築し、様々な誤差特性をもったアンサンブル流入量予測情報を多数模擬発生させ、それらを考慮した予備放流操作に関するモンテカルロシミュレーションを行い、アンサンブル予測情報の予備放流操作決定への利用性の分析手法の開発を行う。

2. アンサンブル流入量予測情報の模擬発生機構

本研究では、設定した予測精度となるように多数のアンサンブル流入量予測を模擬発生する。模擬発生にあたっては、得津ら¹⁾と同様に各予測メンバの流入量の予測誤差を模擬発生させ、それらに流入量真値を足し合わせるにより、アンサンブル流入量予測を模擬発生させる。今回は、最も簡単な方法として予測誤差の従う確率分布に正規分布を仮定する方法を用いた。アンサンブルメンバ数が十分に多い場合、予測誤差が従う正規分布の平均は全アンサンブルメンバの誤差の平均に、分散はアンサンブル予測のスペルッドに概ね対応する。これらのパラメータを任意に設定することで模擬発生させる予測値に誤差特性を持たせられる。(1)式で表すように、平均 μ_l 、分散 σ_l^2 の正規分布に従う値をランダムサンプリングし、これをリードタイム l の予測誤差とする。また、各予測メンバのリードタイ

ム方向の予測の模擬発生（予測系列の模擬発生）には流況の持続性を考慮するために1次の自己回帰モデル（AR(1)モデル）を採用する。各予測対象期における各予測メンバの予測誤差は(2)式によって算出される。

$$e(l, m) = e'(l, m) + \mu_l \quad (1)$$

$$e'(l, m) = e'(l-1, m) \rho_L(1) \frac{\sigma_l}{\sigma_{l-1}} + w(l, m) \sqrt{1 - \{\rho_L(1)\}^2} \quad (l \geq 2) \quad (2)$$

ここで、 $e(l, m)$ はリードタイム第 l 期に対する予測メンバ m の予測誤差、 $e'(l, m)$ はリードタイム第 l 期に対する予測メンバ m の予測誤差の元となる値、 $\rho_L(1)$ は予測誤差のリードタイム方向の系列相関係数、 $w(l, m)$ は平均0、分散 σ_l^2 の正規分布に従うランダムな値である。誤差パラメータ設定のために、2006年から2011年までに提供された現業の週間アンサンブル予報の降水量予測値に流出解析を施し、算出された流入量予測値の誤差解析の結果、 μ_l に対応する各リードタイムのアンサンブル平均誤差は、概ねリードタイムとの線形の関係となった。(3)式

$$e_M = -0.1343l - 136.44 \quad (3)$$

ここで、 l は時間単位のリードタイム ($l=1, \dots, 192$)を表す。また、 σ_l^2 に対応するスペルッドは、リードタイム初期から中期までは増加傾向であったが、中期から後期にかけては減少傾向にあった。(図1)

3. アンサンブル流入量予測情報を考慮したダム予備放流操作のシミュレーション分析

那賀川水系長安ロダムを対象として、アンサンブル流入量予測情報を考慮したダム予備放流操作の利用性を分析するためにダム操作シミュレーションを行った。予備放流方式とは治水容量と利水容量の一部が共有されており、大きい出水があると予測されたときに洪水調節のために必要に応じて空き容量を確保する方式である。そのため、洪水後に水位回復ができなかった場合には利水面での損失となる。長安ロダムでは予備放

流の実施基準を2段階設けており、第1段階は、流入量が70m³/sを超えてなお降雨が予測されたときで、貯水量を38,127,000 m³まで減少させ、第2段階は、流入量予測が500m³/s以上のときで、貯水量を32,537,000 m³まで減少させる。

現業週間アンサンブル予報は1日に1回更新され、8日先までの予報が出されるため、同様の条件で流入量予測値を模擬発生させ、中程度の出水（ピーク流入量535.0m³/s）、大規模な出水（ピーク流入量2049.3m³/s）（それぞれ事例1、2とする）を対象として、予備放流操作シミュレーションを行うこととした。誤差パラメータについては、誤差特性分析で算出されたスプレッドは、得られた値を採用し、アンサンブル平均誤差は、得られたそのままの値と、その1/2の値の2種類を採用した。この2種類のパラメータの組み合わせ（それぞれケース1、2とする）で、予備放流操作シミュレーションを実施した。今回はアンサンブル予測に含まれるどの情報を見ればよいかを検討するために、全ての予測メンバの192時間先までの予測のうち最大の予測値を含む予測メンバに基づいて操作を行う方法、アンサンブル平均予測に基づいて操作を行う方法の2種類を考えた。事例1と2に対する最大の予測を行うメンバに従う操作の適用の結果を表1、2に示す。事例1では、第2段階の予備放流を実施すべきであるが、失敗もあった。予測精度が向上すると失敗数は減少した。水位回復は、全てのシミュレーションでできていた。また、アンサンブル平均予測に従う操作では、事例1では予備放流がほとんど実施されなかった。

これらの結果から、アンサンブル平均のような決定論的な予測をどのような出水に対しても用いることは適切ではない可能性がある。それは中程度の出水において、予測が過小で、出水を捉えきれず、適切な操作ができないからである。また、治水面を重視するならば、最大の予測をしたメンバに基づいてダム操作を行うのが適切だと考えられる。水位回復も十分行われており、利水上でも適切な操作と言える。ただし、模擬発生させた流入量予測値の従う確率分布の仮定の妥当性や、予測の模擬発生に用いる誤差パラメータの設定方法の妥当性などを検証する必要があり、今後これらの検討を行いつつ、さらに利用性分析を行う必要がある。

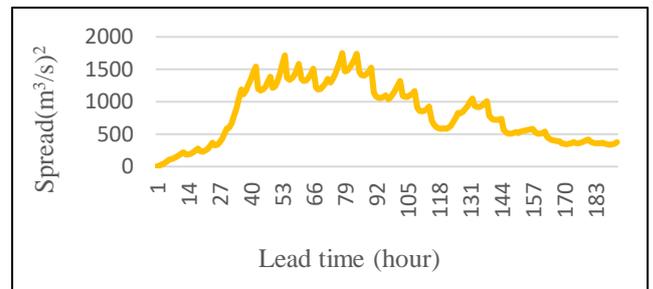


図1 予測情報のスプレッドの分析結果

表1 ケース1の最大の予測メンバに従った結果

事例	予備放流実施率 (%)	水位回復率 (%)	平均貯水率 (%)
1	10.3	10.3	100
2	100	100	100

表2 ケース2の最大の予測メンバに従った結果

事例	予備放流実施率 (%)	水位回復率 (%)	平均貯水率 (%)
1	100	23.6	100
2	100	100	100

4. 結論

本研究では、アンサンブル水文予測情報を考慮したダム予備放流操作の治水面、利水面へのリスクの総合的な評価を目的としてアンサンブル水文予測情報のダム予備放流操作への利用性の分析手法の開発を行った。那賀川流域の長安口ダムに適用を行ったところ、最大の予測値を含む予測に基づいてダム操作を行うことで、利水機能を損なうことなく安全に治水操作を行うことができるという結果になった。今後の課題は、模擬発生させた流入量予測値が全体的に過小であり、現実的な流入量予測値とは言えず、模擬発生の際のパラメータの設定方法の再検討が必要である。

参考文献

- 1) 得津萌佳・野原大督・堀智晴：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、土木学会論文集B1(水工学) Vol.72, No.4, I_1213-I_1218, 2016.