

週間アンサンブル水文予報を考慮したダム予備放流操作の影響の分析
 Assessment on Effects of Preliminary Release Operation of a Multi-purpose Reservoir
 Considering One-week Ensemble Hydrological Prediction

齋藤宏樹・○野原大督・堀智晴

Hiroki SAITO, ○Daisuke NOHARA, Tomoharu HORI

A Monte Carlo-based method to analyze effectiveness and risks of integrated operation of a multi-purpose reservoir for flood management considering real-time ensemble hydrological predictions is developed. Preliminary release operation, in which water stored in the reservoir is released just before a flood event considering real-time hydrological predictions to secure more empty volume in the reservoir for flood protection, is considered as an integrated reservoir operation method here. The analysis provides reservoir managers with quantitative and science-based information on expected benefits and risks to introduce operational hydrological predictions into reservoir operation from the long-term viewpoint.

1. はじめに

近年、現業気象予報では、アンサンブル予報が提供されている。アンサンブル予報では、単独の予測値だけではなく、大気の状態の観測誤差程度のばらつきをもった複数の初期値からそれぞれ数値予報を行うことによって、複数の予測系列が提供される。これらの複数の予測系列を総合的に考慮することによって、予測の確からしさや期待される予測値の幅などを把握できる。そのため、気象・水文予測情報の考慮が重要となるダム治水操作においても、アンサンブル予報を考慮することはよりロバストな操作意思決定を行う上で非常に有益であると考えられる。

アンサンブル予測情報を考慮することによるダム治水操作の効果を統計的に分析するためには、ダムが治水操作を実施するような規模の出水時において提供された予測データを大量に用意する必要がある。しかし、大規模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、様々な誤差特性を持ったアンサンブル流入量予測情報を多数模擬発生させる機構を構築する。その上で、模擬発生した予測情報を考慮したダム予備放流操作のモンテカルロシミュレーションを実施し、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する手法を開発する。

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、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ことで、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プレ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。式(1)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式(2)によって算出される。

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

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

ここに、 $e(l, m)$ はリードタイム l 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 l 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。

3. 適用

那賀川流域長安口ダムの予備放流操作を対象にア

ンサンプル流入量予測情報の模擬発生およびダム操作のモンテカルロシミュレーション分析を行った。長安口ダムでは治水操作に予備放流方式が採用されており、治水容量の全量が利水容量と共有されている。そのため、出水の予測に従って予備放流を行ったものの、出水の規模が小さく、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。長安口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まで減少させるよう定められている。

アンサンプル流入量予測情報の模擬発生にあたっては、現業アンサンプル気象予報のうち、予備放流操作に特に有用であると考えられる週間アンサンプル予報を念頭に置き、8日先(192時間先)までのアンサンプル流入量予測の特別値を模擬発生ことにした。2006年から2011年までに提供された現業週間アンサンプル予報の降水量予測値を入力値として流出計算を施し、算出された流入量予測値の誤差を解析した結果、式(1)の μ_l に対応する各リードタイムのアンサンプル平均誤差は、以下のように概ねリードタイムと線形の関係となった。

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

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 に対応するスプレッドは、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)

次に、長安口ダムを対象として、模擬発生したアンサンプ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の分析を行った。アンサンプル流入量予測値を1000通り模擬発生させ、予測を毎日更新しながら(再度8日先までの予測情報を1000通り模擬発生させながら)、中程度の出水(事例1、ピーク流入量535.0m³/s)、大規模な出水(事例2、ピーク流入量2049.3m³/s)を対象として、予備放流操作シミュレーションを行った。誤差パラメータについては、スプレッドは、前述の誤差特性分析で得られた値をそのまま採用した。一方、アンサンプル平均誤差については、誤差解析の結果得られた値(ケース1)に加えて、予測精度が向上した場合を想定して誤差解析の結果得られた値の1/2の値(ケース2)の2種類を考えた。この2種類のパラメータの組み合わせで、予備放流操作シミュレーションを実施した。今回はアンサンプ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

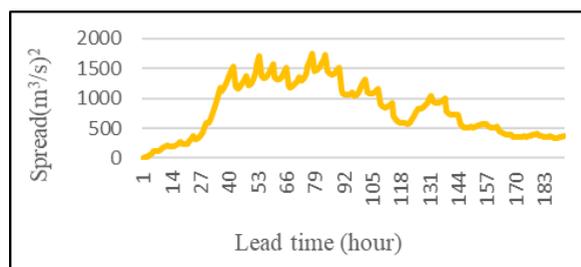


図1: 予測情報のスプレッドの分析結果

表1 ケース1で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で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

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、アンサンプ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、アンサンプ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、アンサンプ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。