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分析手法の検討

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。アンサンブル水文予測情報は、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ういう点で、ダム治水操作にも有用であると期待されている。アンサンブル水文予測情報をダム治水操作において効果的に利用する方法を開発するためには、アンサンブル予測情報を用いたダム治水操作に関する分析を数多く行う必要がある。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。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ことにより、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。(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。

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

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

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、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,…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）

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

那賀川水系長安口ダムを対象として、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。長安口ダムでは予備放

キーワード　アンサンブル予測、模擬発生、予備放流操作
連絡先　〒611-0011 京都府宇治市五ケ庄　京都大学防災研究所地球水動態研究領域　TEL ： 0774-38-4247

流の実施基準を 2 段階設けており、第 1 段階は、流入量が 70m^3/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 m^3 まで減少させ、第 2 段階は、流入量予測が 500m^3/s 以上のときで、貯水量を 32,537,000 m^3 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 535.0m^3/s）、大規模な出水（ピーク流入量 2049.3m^3/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。

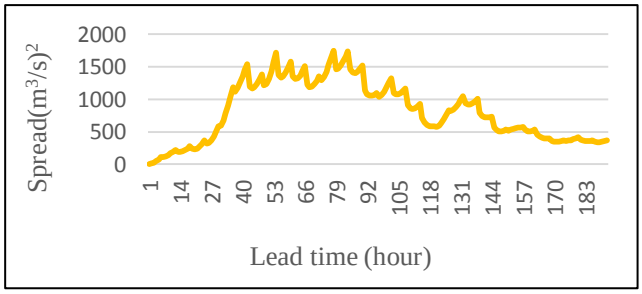

図 1　予測情報のスプレッドの分析結果

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.