アンサンブル予報を利用した積算予測雨量 精度の不確実性の推定に関する研究

ESTIMATION OF THE UNCERTAINTY OF ACCURACY OF FORECASTED ACCUMULATED RAINFALL USING ENSEMBLE PREDICTION

田原俊彦¹・大石哲²
Toshihiko TAHARA, Satoru OISHI

¹学生員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

²フェロー会員 工博 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

Recently, there has been considerable interest to improve the flood control function of the dams by prior releasing. Carrying out prior releasing has the risk in terms of water utilization. Therefore, it should be taken into consideration that releasing larger amount of water than rain gives water shortage. In this study, we examined the possibility of prior releasing using accumulated rainfall forecasted by Japan Meteorological Agency. Concretely, we investigated that it could estimate the accuracy of forecasted accumulated rainfall based on Global Spectral Model (GSM) by adding the information of spreads calculated by One-week Ensemble Prediction System (WEPS). As a result, we found that the accuracy of forecasted accumulated rainfall based on GSM relates to the spreads calculated by WEPS in case of typhoon. The study results further suggest that it will be possible to improve the flood control function of the dams by prior releasing using forecasted accumulated rainfall.

Key Words : dam operation, prior releasing, numerical weather forecast model, ensemble prediction, GSM

1. はじめに

局地的集中豪雨、台風等による豪雨災害として、河川水位の上昇による洪水被害が挙げられる。我が国においては、特に河川勾配が急であるため、流入する雨が下流に短時間で到達することによって水位が急上昇することが洪水被害を拡大させる要因の一つとなっている。河川水位の上昇による洪水被害を軽減するためには、河川上流に位置するダムによる洪水調節が大きな役割の一つを担う。しかし、近年の気候変動により、既存ダム群の従来通りの運用だけでは頻発する豪雨災害に対応できなくなりつつある。こうした状況を踏まえ、国土交通省は2004年に豪雨災害対策緊急アクションプラン¹⁾を策定した。豪雨災害対策緊急アクションプランでは、「ダムの操作ルールは、計画に基づき、洪水調節と利水容量を明確に区分して管理することが基本」という従来の考えを改め、「降雨予測技術を活用した事前放流などダムの機能をより有効に活用できるよう操作ルールを変更」という新しい考えが提唱されている。事前放流とは、洪水の

発生を予測した場合に利水の共同事業者に支障を与えない範囲で、制限水位以下の利水容量などを放流して、治水容量として一時的に活用する手法である。事前放流により、近年頻発している計画を上回る洪水（超過洪水）に対して、ダムの治水効果を計画以上に期待できることになる²⁾。

これまで、事前放流に関する研究はいくつか行われている。例えば、山田ら³⁾⁴⁾⁵⁾は、ダム流域におけるハイドログラフの逓減特性から流入量を算出して事前放流量を決定する手法を提案している。さらに、北田ら⁶⁾は気象庁の降水短時間予報を用いた事前放流量の決定手法を提案しているが、いずれも降雨開始までのリードタイムが短く、容量が大きいダムでは事前放流を行う時間が十分に確保できないといった課題がある。また臼谷ら⁷⁾は、積算予測雨量に基づいた事前放流方法を提案しているが、過大な事前放流を行った後の利水容量の回復の一般性が課題となっている。事前放流では、利水者のために確保している容量を放流するものであることから、一旦放流した容量を回復させることが大前提となる⁸⁾。よって、予測雨量を基に事前放流を行う場合は、予測雨量が実測

図-1 淀川流域図⁹⁾

雨量を大きく上回る予測の空振りを防ぐ必要がある。

そこで本研究では、十分な事前放流を行うために降雨開始までのリードタイムを確保するという観点と事前放流を行う上で重要な予測の空振りを防ぐというダム管理の実務的な観点から、気象庁から発表される降雨予測の精度の吟味を行うことで、降雨予測を用いた事前放流の可能性について論じた。

2. 研究方法

(1) 対象となるダム流域

本研究では淀川水系を対象とした(図-1)。対象となるダムを表-1に示す。観測雨量は、各ダム流域内にある雨量観測所を選定し、水文水質データベース(国土交通省)とアメダス(気象庁)を用いた。流域平均雨量は、算術平均により算出した。

(2) 対象降雨の概要

本研究では、2008~2013年に対象領域(北緯30~40°、東経125~145°)を通過あるいは対象領域内で消滅、温帯低気圧化した台風による降雨を対象とした。なお、台風が各ダムに最接近した日の一日後までの雨量を台風による一連の観測雨量と定義した。

(3) 予測雨量データ

気象庁から発表される今日、明日、明後日の天気予報(短期予報)は、主に全球モデル(GSM)とメソモ

表-1 各ダム流域の雨量観測所

ダム	雨量観測所
日吉ダム	広河原、花脊、鎌倉、周山、京北(アメダス)
天ヶ瀬ダム	黒津、瀬田川、雲井、大鳥居、西笠取、天ヶ瀬、宮村、多羅尾、信楽(アメダス)
室生ダム	榛原2、高井2、岩端2、古市場(機構)、室生(機構)、室生ダム(機構)、大宇陀(機構)、内牧(機構)、大宇陀(アメダス)
青蓮寺ダム	土屋原(砂)、太良路、山粕、香落、国津(機構)、青蓮寺ダム
比奈知ダム	神末、比奈知、菅野(機構)、曾爾(アメダス)
高山ダム	尾山2、名張2、黒田堂ヶ谷、龍口、香酔山、笠間(機構)、家野(機構)、名張(アメダス)
布目ダム	針ヶ別所2、井之市(機構)、峰寺(機構)、針(アメダス)

表-2 数値予報モデルの概要

	GSM (全球モデル)	WEPS (週間アンサンブル予報)
水平解像度	約20km	約60km
リードタイム	84時間	192時間
予報時間	1日4回(6時間間隔) (UTC:00, 06, 12, 18)	1日1回(6時間間隔) (UTC:12)
出力データ	風向・風速、気温、相対湿度、積算降水量、全雲量、海面更正気圧、地上気圧	

デル(MSM)が用いられている。容量の大きいダムにおいて、十分な事前放流を行うために降雨開始までのリードタイムを確保するという観点から、予報時間が長いGSMを用いるのが適切であると考えられる。しかし、GSMは決定論的予報であることから予報の不確実性を考慮することができず、GSMの予測雨量をそのまま事前放流量の推定に用いるのは利水面から見たリスクがある。そこで本研究では、確率論的予報である週間アンサンブル予報(WEPS)から得られるスプレッドなどの情報を付加することで、GSMの予測雨量の精度をあらかじめ推定することができるのか検討した。アンサンブル予報とは、初期値に解析誤差程度のばらつき(摂動)を与えた複数のアンサンブル初期値を用意し、それぞれに対して数値予報モデルによる予測を実行することで得られた複数の数値予報結果(アンサンブルメンバー予報)のばらつきを統計的に処理することにより「予報の不確実性」を推定することができる手法である¹⁰⁾。GSMとWEPSのデータの概要を表-2に示す。GSMの予測雨量の精度とWEPSから得られるスプレッドなどに関係性が見られれば、GSMの予測雨量の精度をあらかじめ推定し、事前放流を行う上で重要な予測の空振りを防ぐことが可能になる。そこで、WEPSから対象となるダムに最接近

図-2 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（日吉ダム）

図-3 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（天ヶ瀬ダム）

した時の、台風中心の緯度、経度、各ダムからの距離、海面更正気圧、風速、時間のスプレッドとGSMの予測雨量の精度の関係性、またWEPSの予測雨量のアンサンブル平均値・中央値とGSMの予測雨量の精度の関係性を調査することで、これらの情報を組み合わせることで予測の空振りを防ぐ可能性について検討した。

3. 結果

(1) 日吉ダム

日吉ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-2に示す。WEPSは1日1回12UTCを初期時間としていることから、GSMも12UTCを初期時間としたデータだけを用いた。GSM積算雨量とWEPS積算雨量は、それぞれリードタイムが84時間、192時間で、台風が各ダムに最接近した日の3日前、2日前、1日前の予測を用いた。また、事前放流は大雨が予測される場合に検討されると想定されることから、GSM積算雨量が100mm以上となる場合だけを

図-4 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル中央値の関係（天ヶ瀬ダム）

抽出した。図-2の縦軸は、GSM積算雨量と観測雨量の差を観測雨量で割り標準化したものである。よって、正であれば予測雨量が観測雨量を上回る予測の空振りとなり、事前放流を行う際は、縦軸が正となる場合を防ぐ必要がある。図-2の横軸は、台風が日吉ダムに最接近した時の海面更正気圧（以下、気圧）のスプレッドを、1気圧（1013hPa）と気圧のアンサンブル平均値の差で割り標準化したものである。図-2より、日吉ダムにおいては、GSM積算雨量が過大評価となる事例が多いことがわかる。よって、日吉ダムでは事前放流は慎重に行うべきであると言える。また図-2より、気圧のスプレッドが0.15以上と大きい場合にGSM積算雨量が観測雨量を大きく上回っている。一方、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値には関係性が見られなかったため、図は省略する。

以上の検討により、日吉ダムにおいては、気圧スプレッドが0.15以上の場合は予測が大きく空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予測から判断される。

(2) 天ヶ瀬ダム

天ヶ瀬ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-3に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル中央値の関係を図-4に示す。天ヶ瀬ダムでは、WEPS積算雨量アンサンブル平均値ではなく、より相関関係が見られるWEPS積算雨量アンサンブル中央値を用いた。図-3より、日吉ダムと同様に天ヶ瀬ダムにおいても、気圧のスプレッドが0.2前後と大きい場合にGSM積算雨量が観測雨量を大きく上回っている。また図-4より、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル中央値の相関係数は-0.7で負の相関があった。

以上の検討により、天ヶ瀬ダムにおいては、気圧スプレッドが0.20以上の場合やWEPS積算雨量アンサンブル中央値が150mm以下の場合は、予測が空振りする可

図-5 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS時間スプレッド（標準化）の関係（室生ダム）

図-6 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係（室生ダム）

図-7 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（青蓮寺ダム）

図-8 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係（青蓮寺ダム）

能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予報から判断される。

(3) 室生ダム

室生ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS時間スプレッド（標準化）の関係を図-5に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係を図-6に示す。室生ダムでは、気圧スプレッドではなく、より関係性が見られる時間スプレッドを用いた。図-5の横軸は、時間のスプレッドを、時間のアンサンブル平均値で割り標準化したものである。図-5より、時間のスプレッドが大きくなるにつれてGSM積算雨量の過大評価の幅が大きくなっていることがわかる。また図-6より、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の相関係数は-0.7で負の相関があった。

以上の検討により、室生ダムにおいては、時間スプレッドが0.50以上の場合やWEPS積算雨量アンサンブル平均値が110mm以下の場合、予測が空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサン

ブル予報から判断される。

(4) 青蓮寺ダム

青蓮寺ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-7に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係を図-8に示す。図-7、図-8より、青蓮寺ダムにおいては、GSM積算雨量が過小評価となる事例が多いことがわかる。よって、青蓮寺ダムでは事前放流が行いやすいと言える。図-7より、気圧のスプレッドが大きくなるにつれてGSM積算雨量の過大評価の幅が大きくなっていることがわかる。また図-8より、WEPS積算雨量アンサンブル平均値が小さくなるとGSM積算雨量の過大評価の幅が大きくなっている。

以上の検討により、青蓮寺ダムにおいては、気圧スプレッドが0.20以上かつWEPS積算雨量アンサンブル平均値が100mm以下の場合、予測が空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予報から判断される。

図-9 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（比奈知ダム）

図-10 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係（比奈知ダム）

図-11 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（高山ダム）

図-12 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係（高山ダム）

図-13 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係（布目ダム）

図-14 GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係（布目ダム）

(5) 比奈知ダム

比奈知ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-9に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル

平均値の関係を図-10に示す。比奈知ダムにおける結果は、青蓮寺ダムの結果と同じ傾向を示している。

以上の検討により、比奈知ダムにおいては、気圧スプレッドが0.20以上かつWEPS積算雨量アンサンブル平

均値が100mm以下の場合、予測が空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予報から判断される。

(6) 高山ダム

高山ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-11に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係を図-12に示す。図-11より、気圧スプレッドが0.2前後と大きい場合にGSM積算雨量が観測雨量を大きく上回っている。また図-12より、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係の相関係数は-0.6で負の相関があった。

以上の検討により、高山ダムにおいては、気圧スプレッドが0.20以上の場合やWEPS積算雨量アンサンブル平均値が110mm以下の場合、予測が空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予報から判断される。

(7) 布目ダム

布目ダムにおけるGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）の関係を図-13に、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係を図-14に示す。図-13より、GSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS気圧スプレッド（標準化）には関係性が見られなかった。しかし、図-14よりGSM積算雨量誤差（標準化）とWEPS積算雨量アンサンブル平均値の関係の相関係数は-0.9で負の相関があった。

以上の検討により、布目ダムにおいては、WEPS積算雨量アンサンブル平均値が140mm以下の場合、予測が空振りする可能性が高いので、事前放流を行うべきではないとアンサンブル予報から判断される。

(8) 全体の考察

本研究では、予測が空振りとなりそうな事例を識別することを目的とし、アンサンブル予報から得られる情報を用いた指標を作成することを試みた。その結果、予測が空振りとなりそうな事例を識別する指標はダム毎で異なっていた。その理由として、同じ台風による事例においても、ダム流域毎に地形などの影響によって降雨特性が異なることが挙げられる。よって、ダム毎に予測が空振りとなりそうな事例を識別する指標を作成することは、意義があると言える。

また、室生ダムを除く淀川流域における全てのダムにおいて、気圧スプレッドが大きいと予測が空振りとなる可能性が高いという関係性が見られた。これは、WEPSによる各ダムに最接近した時の台風の発達具合（中心気圧）のばらつきが大きく予測の不確実性が高い事例では、GSM積算雨量精度の不確実も大きくなるということを示している。

さらに、室生ダムや布目ダムなど淀川流域の多くのダムにおいて、WEPS積算雨量アンサンブル平均値（天ヶ瀬ダムではアンサンブル中央値）とGSM積算雨量誤差（標準化）には負の相関が見られた。これは、解像度が低いWEPSで大雨が予測されている事例では、GSMでも大雨が降りやすい気象場になっていることが原因だと考えられる。

4. まとめ

本研究では、十分な事前放流を行うために降雨開始までのリードタイムを確保するという観点と事前放流を行う上で重要な予測の空振りを防ぐというダム管理の実務的な観点から、気象庁から発表される降雨予測の精度の吟味を行うことで、降雨予測を用いた事前放流の可能性について検討した。その結果、GSMの積算予測雨量の精度とWEPSから得られるスプレッドや積算予測雨量アンサンブル平均値・中央値にはダム毎にある一定の関係性が見られ、事前放流を行う上で重要な予測の空振りを防ぐことが可能であることを示唆することができた。

参考文献

- 1) 国土交通省：豪雨災害対策緊急アクションプラン，2004。
- 2) 兵庫県：第33回総合治水ワーキングチーム会議 資料3 「予備放流」と「事前放流」について，2006。
- 3) 呉修一，腰塚雄太，山田正：ハイドログラフの通減特性を用いた流出特性の抽出，水工学論文集，第48巻，pp.13-18，2004。
- 4) 秋葉雅章，腰塚雄太，宮本守，戸谷英雄，佐藤直良，山田正：流出特性に応じたダム放流量の決定とその洪水水位通減効果に関する研究，河川技術論文集，第10巻，pp.89-94，2005。
- 5) 戸谷英雄，秋葉雅章，宮本守，山田正，吉川秀夫：ダム流域における洪水流出特性から可能となる新しい放流方法の提案，土木学会論文集B，Vol.62，No.1，pp.27-40，2006。
- 6) 北田悠星，菊地慶，岡部真人，山田正：気象庁の降水短時間予報を用いて既存のダムの洪水調節機能を向上させる手法の提案，水工学論文集，第54巻，pp.523-528，2010。
- 7) 臼谷友秀，中津川誠：積算予測雨量に基づいた融雪期におけるダムの洪水調節機能の向上について，土木学会論文集B，Vol.66，No.3，pp.268-279，2010。
- 8) 財団法人 ダム水源地環境整備センター：季刊誌リザバー，No.11，2006。
- 9) 国土交通省 近畿地方整備局：淀川水系河川整備計画，pp.3，2009。
- 10) 酒井亮太：気象業務の窓 気象庁の新しい週間アンサンブル予報システム，天気，Vol.55(6)，pp.515-520，2008。

(2015. 9. 30受付)