

アンサンブル予測雨量を活用したダム洪水調節手法

猪股広典・川崎将生

1. はじめに

気候変動に伴って世界的に豪雨が強大化する可能性については、現在までにIPCCレポートやその他の研究において多く指摘されており、日本国内を対象とした既往検討においても気候変動に伴って豪雨の規模が増大する可能性が示唆されている。豪雨の規模が増大化する可能性が高い一方で、適応策として既存施設の能力をできるだけ幅広く引き出すことがコストや早期効果発現の面で極めて有効であり¹⁾、既設のダムにおいて洪水調節操作方法を高度化することにより従来以上に洪水調節効果を発揮させることが求められている。

既設ダムの治水機能向上の一つの方策として予測雨量を活用した洪水調節が挙げられる。「予測雨量を利用することでダムの洪水調節をより効果的に」という発想自体はかなり以前より考えられており多くの検討が実施されてきているが、ダムの洪水調節は予測に対して極めて高い精度を要求するため実現には至っていない。豪雨に対する予測の精度は日々向上しているが、予測誤差が完全にゼロになるのは困難あると考えられるため、「予測雨量とは誤差を含んでいるが、それを用いることでダムの洪水調節効果を高める可能性であるデータ」という認識を持ち、その利用法を考えることが重要である。その具体例として、予測雨量の誤差の発生確率分布を基に予測の幅を設定し、それに基づいて放流量を決定する考え方が提案されている²⁾。

本報告では予測の幅を評価できるメソアンサンブル予測雨量（以下、本報告においては断りがない限り「アンサンブル予測」は「メソアンサンブル予測」を示すものとする。）を文献²⁾で提案されている予測雨量の誤差発生確率を考慮したダム洪水調節手法に対して適用した結果を紹介し、その適用性と課題について述べる。

2. アンサンブル予測

気象予測の分野では、豪雨の予測で用いられるメソ気象モデル[※]（用語解説参照）のアンサンブル予測計算について近年研究が盛んに行われている。アンサンブル予測とは、一つの初期値による予測では気象の時間推移の評価が難しいという認識に基づき、複数の初期値について予測計算を行うことによって得られた予測の幅を評価するものである。気象庁は1ヶ月、3ヶ月といった長期予測においてはアンサンブル予測を既に現業化しており、数日程度の短期アンサンブル予測についても試験運用開始が予定されている³⁾。

3. シミュレーション実施内容

3.1 検討対象流域・ダム、対象洪水

アンサンブル予測雨量を活用したダム洪水調節の検討対象地域として、平成23年に複数の台風により洪水調節操作を実施したAダム（流域面積約80km²）を含む流域を対象とした。検討対象とする台風およびその期間は以下の通りである。

台風12号：2011年8月29日9時～9月4日15時

台風15号：2011年9月16日9時～9月21日21時

3.2 アンサンブル予測雨量の計算

アンサンブル予測雨量は、気象庁GSM[※]（用語解説参照）の84時間予測を初期値・境界値として、WRF[※](Weather Research and Forecasting Model)⁴⁾（用語解説参照）により計算した。各台風について上述の対象期間について、GSM（領域：日本域、空間解像度：20km、予測更新間隔：6時間毎、予測先行時間：84時間、時間解像度：毎時）の予測が更新される毎にその予測値を初期値・境界値として84時間先までの計算を行う。初期値についてはその時点よりも6時間前に行った予測計算結果を基にデータ同化（Hybrid法⁵⁾）による改善とアンサンブルメンバーの発生を行った。ここでアンサンブルメンバーは20とした。また計算領域については図-1に示し、空間

Dam Flood Control based on Ensemble Rainfall Forecast
 ※土木用語解説：GSM、メソ気象モデル、MSM、WRF

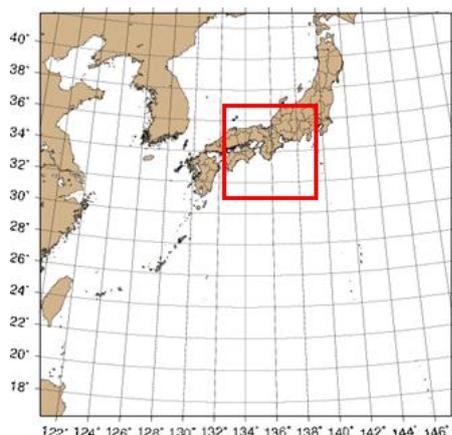


図-1 計算領域（全体が親領域、赤枠内が子領域）

表-1 データ同化に用いた観測データ一覧

| 種別 | 要素 | 入手先 |
|----------------------|-------------|----------------------------|
| 気象観測衛星 (AMSU-A, B) | 気温、水蒸気 | NCAR Research Data Archive |
| 衛星大気追跡風 | 風 | |
| 高層実況、海上実況、飛行場実況、地上実況 | 気温、風、水蒸気、気圧 | |
| 航空機実況 | 気温、風 | 気象業務支援センター |
| ドップラーレーダ | 風、反射強度 (雨水) | |

解像度は親領域において15km、子領域において5kmである。また、データ同化に用いた観測データ一覧を表-1に示す。

3.3 アンサンブル予測雨量を用いたダム洪水調節手法

アンサンブル予測雨量を用いた最適放流量決定手法は既往文献²⁾を参考に、以下の通りとした。

- 1) 洪水調節開始流量（本検討では200 m³/s）から計画最大放流量（本検討では1000 m³/s）の間を10等分し、それに洪水調節開始流量である200 m³/sを加えた11通りの一定量放流方式による操作ケースを予め設定する。
- 2) GSMの予測が更新されるタイミングで、2.2で示した予測先行時間84時間のアンサンブル予測雨量の計算を行う。得られた各アンサンブルメンバーの予測雨量の結果をここではEn 1、En 2…En 20とする。
- 3) 得られたアンサンブル予測雨量のメンバー1（En 1）についてダム流域を含めた流域全体で流出計算を行う（流出モデルとして土研分布モデル⁶⁾を使用）。
- 4) 3)においてダム流域について得られる予測流

入量に対し、操作ケース1で操作したときの
下流基準地点のピーク流量を計算する。

- 5) 3)と4)の計算をその他のアンサンブルメンバーについても実施する。
- 6) 各アンサンブルメンバーの発生確率は等しいものとし、5)で計算したアンサンブルメンバー毎の下流基準地点ピーク流量を算術平均することで、操作ケース1で操作した時の下流基準地点ピーク流量期待値を得る。
- 7) 3)～6)の計算を11通りの各操作ケースについて行うことで、それぞれ下流基準地点ピーク流量期待値を計算する。
- 8) 得られた全操作ケースの中で、下流基準地点ピーク流量期待値を最小にする操作ケースがその時点における最適操作とし、次の予測更新までその放流量で操作する。

上記計算を境界値の予測が更新されるたびに行い、洪水が終了するまで実施する。

4. 計算結果

4.1 台風15号の結果

最初に台風15号の計算結果について示す。代表事例として流入量が洪水調節開始流量に到達する1日前である9月20日3時のGSMを初期値・境界値とした予測結果を示す（図-2）。台風15号は2日程度で終了した洪水であったため、GSM84時間予測を境界条件として行った予測計算は降雨の降り始めから終わりまでを見通すことができている。また、アンサンブルメンバーの平均値（図の黒太線、以下アンサンブル平均値）は降雨のピークを正確に予測できており、積算雨量の値についてもアンサンブル平均値は観測値と相違ない結果となった。図-2にはMSM*（領域：日本域、空間解像度：5km、予測先行時間および予測更新時間：15時間（0, 6, 12, 18UTC）および33時間（3, 9, 15, 21UTC）、時間解像度：毎時）（用語解説参照）の33時間予測の結果も併せて記載している。MSM33時間予測では波形は実績に近いが、予測先行時間が33時間と短いため降雨の全体規模が見渡すことができず、洪水の始まりから終わりまでを見通した効率的な洪水調節操作を実施することは難しいと考えられる。

次に、このアンサンブル予測雨量を用いてダム洪水調節操作を行った結果を図-3に示す。この結

果、本則操作の場合は洪水時の最大放流量は約380m³/sを放流し、最大時において洪水調節容量の9.2%を使用した。それに対しアンサンブル予測雨量に基づく計算結果では、最大放流量200m³/sの一定量放流となり、最大時において洪水調節容量の30.5%を使用した。その結果、図には示さないが下流の基準地点のピーク流量を10%減らし、下流の安全性を高める結果となった。アンサンブル予測雨量から得られる情報を活用することで、その時点における最適な放流量を属人性を排除して機械的に算出することができることが上述の最適放流量決定手法のメリットである。

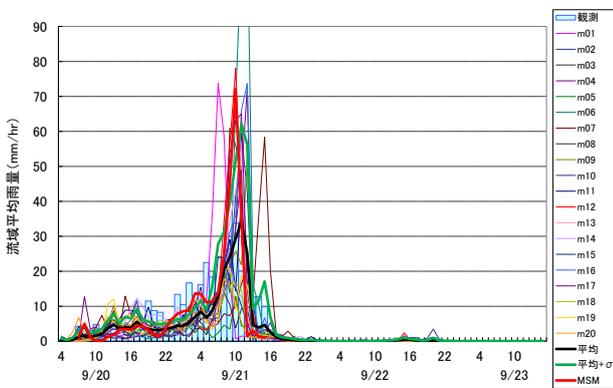


図-2 9月20日3時のGSMを初期値・境界値としたAダム流域平均雨量の84時間予測結果

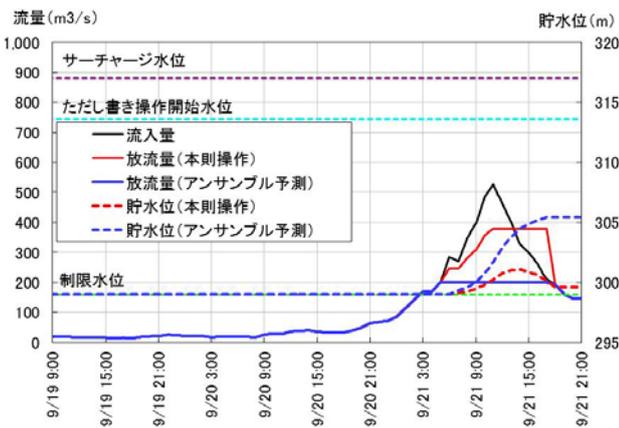


図-3 台風15号時のAダムの流入量、放流量および貯水位の時系列

4.2 台風12号の結果

次に台風12号の結果について示す。図-4は、台風12号について計算されたアンサンブル予測雨量の計算結果の一部である。この図も台風15号の結果と同様に、実績のダム流入量が洪水調節開始流量に到達した時間の1日前を初期値として予

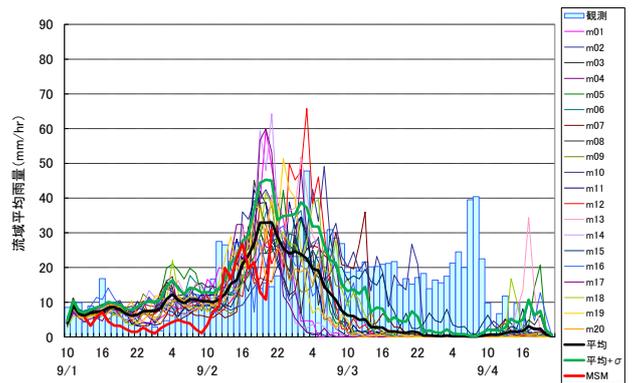


図-4 9月1日9時のGSMを初期値・境界値としたAダム流域平均雨量の84時間予測結果

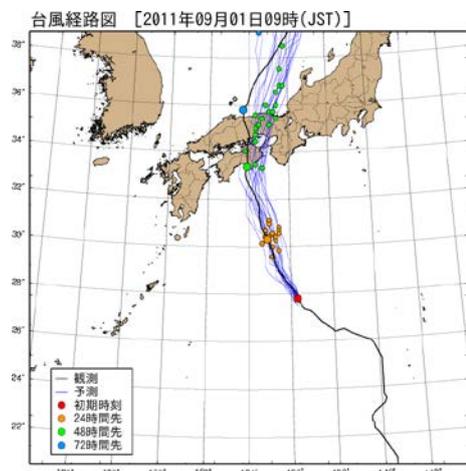


図-5 9月1日9時のGSMを初期値・境界値とした各アンサンブルメンバーの台風進路予測（青線と小さい丸印）および実績の進路（黒線と大きい丸印）

測した結果である。図-4を見ると、実績の降雨は二つのピークが観測されている。それに対してアンサンブル予測は、一つ目のピークまではタイミング、雨量共に精度良く予測できているが、全てのアンサンブルメンバーが一つ目の山を過ぎたところで雨が降り止むと予測して二つ目の山を予測できない結果となった。この二つ目の山は実際に雨が降る直前の予測である9月3日9時や15時を初期値とした予測においても正確に予測することができなかった。これは、境界条件で用いたGSMの予測において台風が実績よりも速く北上すると予測しており、そのGSMを境界条件として計算したアンサンブル予測も実績よりも早く北上すると予測したためである（図-5）。

次に、このアンサンブル予測雨量を用いてダム洪水調節操作を行った結果を図-6に示す。この結果、本則操作の場合は洪水時の最大放流量は約

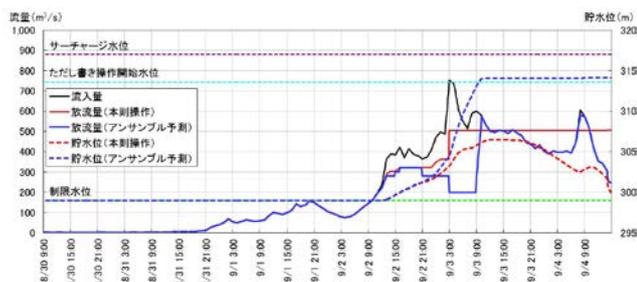


図-6 台風12号時のAダム流入量、放流量および貯水位の時系列

500m³/sであり、最大時において洪水調節容量の35.9%を使用している。それに対しアンサンブル予測雨量に基づく計算結果では、上述した通り二つ目の山をアンサンブル予測が見逃しているために、一つ目の山に対して洪水調節容量を使い切る操作を行っている。実際には予測できなかった二つ目の山が存在したため、二つ目の山を迎える頃には洪水調節容量が余っておらず**ただし書き操作***（用語解説参照）に入ったことで放流量が580m³/sまで増加した。下流基準地点のピークについては、一つ目のピークは本則操作よりも低減させることができたが、二つ目のピークはただし書き操作に入った結果として本則操作の場合と比較して4%程度増加させる結果となった。

5. まとめと課題

- 1) 今回行ったGSM84時間予測を初期値・境界値としたアンサンブル予測計算の結果、Aダム流域の流域平均雨量でアンサンブル平均値と実績雨量と比較した場合、台風15号については高い精度の予測結果が得られた一方で台風12号では満足な予測結果が得られなかった。
- 2) 84時間という予測先行時間は、予測先行時間の後半については精度が著しく低下すると予想されたものの、今回実施した予測計算では、特に台風15号については著しい予測低下は生じなかった。MSM33時間予測と比べて予測先行時間が長い場合、ダム洪水調節においては有益な情報になり得ると考えられる。
- 3) アンサンブル予測雨量の精度は初期値・境界値として用いたGSMの予測精度に依存し、GSMの予測精度が著しく低い事例はアンサンブル予測を行ってもアンサンブルメンバー

全てが予測をはずし、満足な精度が得られないことが確認された（台風12号の事例）。

- 4) アンサンブル予測で一定の精度が得られた事例については本報告で示した最適放流量決定手法を利用することで本則操作以上に効果的な洪水調節が実施可能であることが示されたが、予測精度が低い場合は本則操作よりも下流の流量を増加させる結果となった。

今後は検討事例数を増やすことに加え、事前放流を組み込んだより安全な調節手法、予測を利用するか否かを判断するための予測の信頼度評価指標の提案等が今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について、2008
- 2) 三石ら：降雨予測を活用したダム洪水調節におけるリスク管理に関する研究、ダム工学、第21巻、4号、pp.242～250、2011
- 3) 永戸：気象庁のメソ数値予報における開発の現状と計画、日本気象学会 2013 年度春季大会講演予稿集、pp.423
- 4) <http://www.wrf-model.org/index.php>
- 5) Wang et.al: A Hybrid ETKF-3DVAR Data Assimilation Scheme for the WRF model. Part I: Observing System Simulation Experiment, Monthly Weather Review, Vol.136, pp.5116-5131, 2008
- 6) 猪股ら：吉野川流域広域洪水危険度判断支援システムの開発、河川技術論文集、Vol.13、pp.433～438、2007.6

猪股広典



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部水
循環研究室 研究官
Hironori INOMATA

川崎将生



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部水
循環研究室長
Masaki KAWASAKI

*土木用語解説：ただし書き操作