

流出モデルのダム管理への利活用について

水文気象研究室 坂本朝子
指導教員 陸 旻皎

1. 背景と目的

現行のダム操作管理規定ではダム放流量を、時々刻々の観測ダム流入量から決定しているため、ダム管理者は現在時刻の流入量および気象条件から、その時々々の操作を判断し、放流操作を行っている。一方、流域内の降雨量と流出量の関係をモデル化する流出モデルを用いて流出解析を行い、適切にパラメータ設定を行うことで、観測雨量からダムへの流入量を予測することができる。こうして予測した情報をダム管理に用いることで、放流操作も事前に決定することができ、より効率的な操作を行なうことが可能になると考えられる。

洪水時と渇水時では、洪水調節と貯水量確保の点で異なった操作を行なわなければならないが、両操作はダムの貯水池管理を一環して操作することになる。本研究では、ダム管理への利活用のための流出モデルを構築し、そのモデルを用いて流出解析を行う。その結果をダム操作の入力値として、ダム管理への利活用を検討することを目的とし、予測情報を用いて新たなダム操作ルールの検討を行なう。

2. 対象ダムと使用データ

本研究で対象とする早明浦ダムは、多目的であり、高知県土佐郡土佐町田井と高知県長岡郡本山町吉野にまたがり、集水面積は 417km^2 で一級河川吉野川水系吉野川の上流域に位置している。流域界及び河道、雨量観測所を図-1 に示す。解析期間は2004年1月1日から2008年12月31日の5年間で、使用データの時間分解能は1時間である。また、流出解析に必要な蒸発量は Penman 式により推定を行い、この推定に必要な正味放射量を求めるために、気象庁・高知气象台において観測された気象データを用いた。また、流出解析に用いた水文情報は、雨量及びダム流入量を国土交通省水文水質データベースより入手した。



図-1 早明浦ダム流域界と河道、観測所の分布

3. 使用モデルの概要

本研究では、集中型モデルである SFXAJ3 モデルをダムへの流入量を計算するのに用いた。SFXAJ3 モデルは、表面流出と中間流出、地下水流出の3成分の新安江モデル(XAJ3 モデル)が流出量の評価と斜面集中過程を表現し、貯留関数法(SF モデル)で河道の集中効果を表現している。図-2 にモデルの概念図を示す。

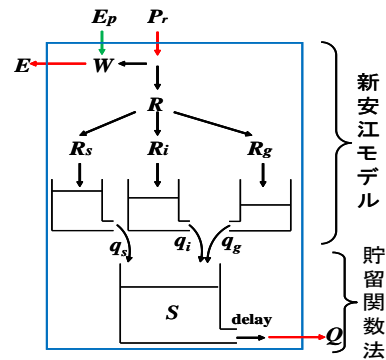


図-2 流出モデル(SFXAJ3)の概念図

4. ダム流入量の予測および精度評価

流入量を計算するにあたり、計算流量と観測流量を比較・評価するための評価指標として、式(1)に示す水収支誤差 Q_{err} および、ハイドログラフの再現性の評価指標として、式(2)に示す Nash の効率係数 E を用いる。式(1)に示す水収支誤差 Q_{err} が 0 に近づくように、式(2)に示す Nash の効率係数 E の値が 0.8 以上の良好な値になるようにモデルのパラメータ設定を行ない、値が 0.8 以上の良好な値になるようにモデルのパラメータ設定を行ない、流入量の計算を行った。図-3 に流出モデルによる計算結果を示す。

$$Q_{err} = 1 - \sum Q_c / \sum Q_o \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

$$E = 1 - \sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - Q_{c(i)})^2 / \sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - \bar{Q}_o)^2 \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 Q_{err} は水収支誤差、 Q_c は計算流量、 Q_o は実測流量、 \bar{Q}_o は平均実測流量、 E は Nash の効率係数である。

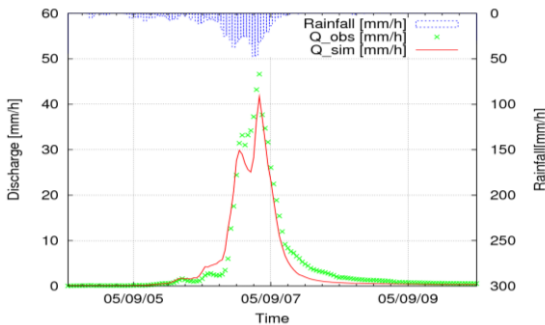


図-3 予測ダム流入量の計算結果

5. ダム放流操作の概要

本研究では、予測情報を用いた2つのルールを提案する。両ルールとも現行のダム操作を基本としているが、モデルによる予測情報のダム操作への反映方法が異なる。ここで、積算予測時間を意味する「リードタイム」分のダム放流量の計算を行い、その結果を予測情報とする。

5. 1. 現行のダム放流操作ルール

早明浦ダムでは、洪水調節の放流方式として、一定率一定量放流方式が採用されている。一定率一定量放流方式の概念図を図4に示す。一定率一定量放

流方式では、流入量の増加中は放流量を流入量に対する一定率で放流し、減少中はピーク時の放流量と等しい放流量を一定量で放流する。図4のダムカット流量とは、放流操作を行うことによりダム流入量からカットされ、ダムに貯留される流量である。また、一般的にただし書き操作とはダムの決壊を防ぐため、洪水調節容量の8割を超える場合に流入量と等しい放流量を放流する操作のことである。本研究では、現行のダム放流操作をプログラム化し、観測流入量から放流量と貯水量の決定を行なった。

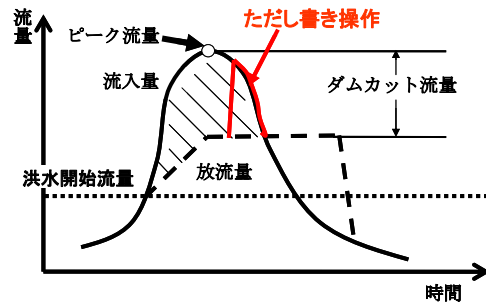


図-4 ダム放流操作の概念図

5. 2 提案するダム操作ルール1

提案するダム操作ルール1では、現行のダム操作ルールで現時点での観測流入量から放流量を計算し、その時点からリードタイム分の計算を行い、計算結果をダム操作ルールに反映させ、リードタイム分の計算で貯水量がただし書き操作水位の容量を超えると予測されたら、計画最大放流量を放流することとする。ルール1の模式図を図5に示す。

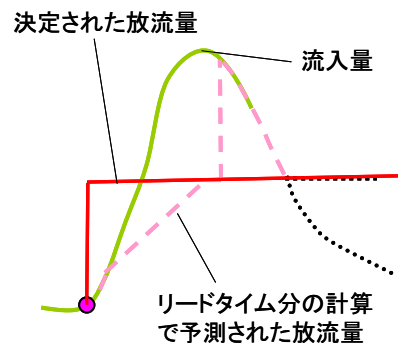


図-5 提案するルール1の模式図

5. 3 提案するダム操作ルール2

提案するルール2では、現行のダム操作ルールで現時点での観測流入量から放流量を計算し、その時点からリードタイム分の計算を行った後、リードタイム分の計算でただし書き操作により放流される放流量と計画最大放流量の差の積算放流量をリードタイム間で分配し予測された放流量に加算することとする。ルール2の模式図を図-6に示す。

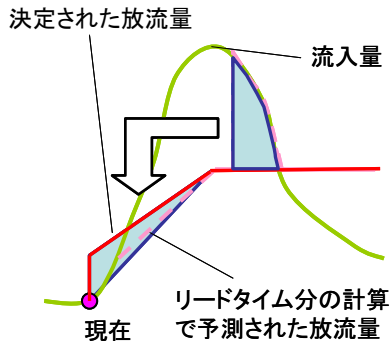


図-6 提案するルール2の模式図

5. 4 対象洪水

対象とした洪水は、2005年9月5日～9月9日に起きたものであり、この洪水は計画規模以上であったが、直前に起きていた渇水で貯水量が0%となっていたため、ダムへ流入した流入量のほとんどがダムに貯留され、ただし書き操作は行なわれていない。図-7に対象洪水のハイドログラフを示す。もし、貯水量が高い場合に同じ規模の洪水が起きた場合、ただし書き操作がなされていたと推定される。しかしながら、ダム操作では様々なケースが考えられるため、洪水前の9月5日1時時点の貯水率を初期貯水率と仮定し、初期貯水率を0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%とし、それぞれの初期貯水率において積算予測時間を意味するリードタイムを1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 24時間と変化させ、提案するダム操作のシミュレーションの検討を行った。リードタイムはその時点での実測雨量による流出モデルの予測可能時間や、精度が良いとされ入手可能な予測雨量の予測時間、ダム管理者が放流操作の準備に必要と考える時間を考慮して設定した。また、9月上旬の平均的な貯水率も調べて検討した。

6. 提案するダム操作による計算

5. ダム放流操作の概要で述べた現行ダム放流操作ルールおよび提案するルール1, ルール2を利用し、洪水時におけるダム放流操作シミュレーションを行なった。

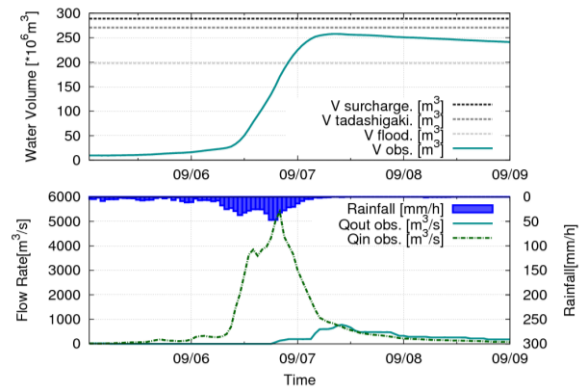


図-7 対象洪水のハイドログラフ

7. 結果・考察

本研究で対象としている期間中の最大の洪水を例に、観測流入量およびモデルによる計算流入量を基にダム放流操作のシミュレーションを行なった。実際の予測計算には、予測雨量を用いる必要があるが、本研究では、雨量予測は研究対象外とし、実測雨量を用いている。その上で流出モデルの誤差を排除するために、予測ダム流入量として実測ダム流入量を用いた検討と、今回構築した流出モデルによる予測ダム流入量を用いた検討の2つを検討した。ルール1のリードタイム分の計算による予測値として実測値を用いた結果を図-8、ルール2のリードタイム分の計算による予測値として実測値を用いた結果を図-9、ルール1のリードタイム分の計算による予測値としてモデルによる予測値を用いた結果を図-10、ルール2のリードタイム分の計算による予測値としてモデルによる予測値を用いた結果を図-11に示す。上段の図は貯水量、下段の図は降水量、流入量および放流量である。上段の図において、桃色、水色の線はそれぞれ現行ダム操作規則による貯水量、ルール1による貯水量を表している。横軸は日時、縦軸は貯水量である。下段の図において桃色、水色、緑

色の線はそれぞれ現行ダム操作規則による放流量、ルール1による放流量、実測ダム流入量を表している。横軸は日時、左の縦軸は流量、右の縦軸は雨量である。なお、いずれも初期貯水率 100%、リードタイム 12 時間の結果である。

図-8 より、現行のダム操作規則およびルール1による計算結果を比較して、ルール1では最大放流量が $4,369.7\text{m}^3/\text{s}$ から $2,605.7\text{m}^3/\text{s}$ まで約 $1764.0\text{m}^3/\text{s}$ が低減し、ただし書き操作移行時間は4時間遅くなったことがわかった。図-9 より、現行のダム操作規則およびルール2による計算結果を比較して、ルール2では最大放流量が $4,369.7\text{m}^3/\text{s}$ から $3,670.5\text{m}^3/\text{s}$ まで約 $700.0\text{m}^3/\text{s}$ が低減し、ただし書き操作移行時間は2時間遅くなったことがわかった。これらの結果は、流出モデルによる予測誤差がないため、各ルールの理想的なダム放流操作である。

図-10 より、現行のダム操作規則およびルール1による計算結果を比較して、ルール1では最大放流量が $4,369.7\text{m}^3/\text{s}$ から $3,022.2\text{m}^3/\text{s}$ まで約 $1350.0\text{m}^3/\text{s}$ が低減し、ただし書き操作移行時間は3時間遅くなったことがわかった。図-11 より、現行のダム操作規則およびルール2による計算結果を比較して、ルール2では最大放流量が $4,369.7\text{m}^3/\text{s}$ から $4,024.5\text{m}^3/\text{s}$ まで約 $345.0\text{m}^3/\text{s}$ が低減し、ただし書き操作移行時間は1時間遅くなったことがわかった。これらの結果から、リードタイム分の計算に予測値として実測値を用いたシミュレーションと同程度の結果が示されたと考えられる。

初期貯水率 100%、リードタイム 12 時間の条件およびそれ以外の条件での結果について、提案するダム操作ルールの効果を比較するため、ただし書き操作の有無、ピーク放流量の低減量、ピーク放流量の遅延時間の3点についてまとめた。ここでは、紙面の都合上、ルール2による本研究で構築した流出モデルで予測される値を用いた結果を示す。なお、リードタイム0時間は、現行のダム操作規則による結果である。ルール2のリードタイム分のシミュレーションに予測流入量を用いた場合の各条件におけるただし書き操作の有無を表-1に、ピーク放流量の低減量を表-2に、ピーク放流量の遅延時間を表-3に示す。

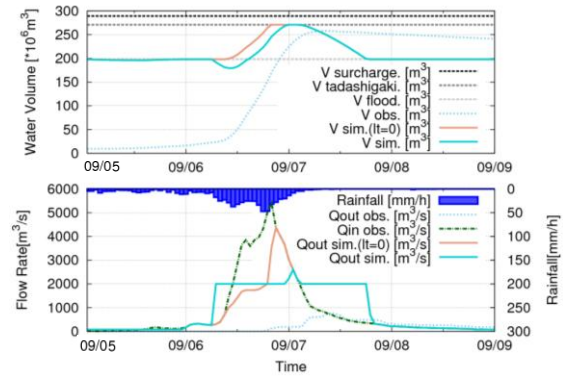


図-8 予測値として実測値を用いた結果 (ルール1)

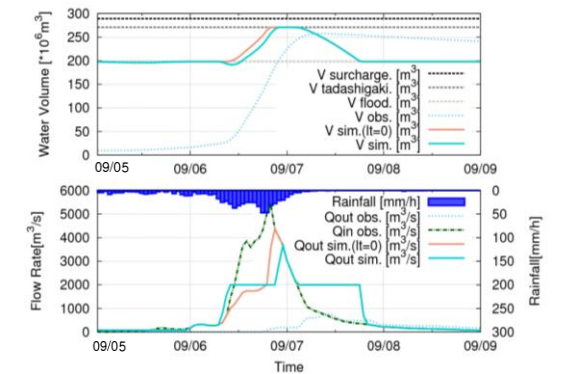


図-9 予測値として実測値を用いた結果 (ルール2)

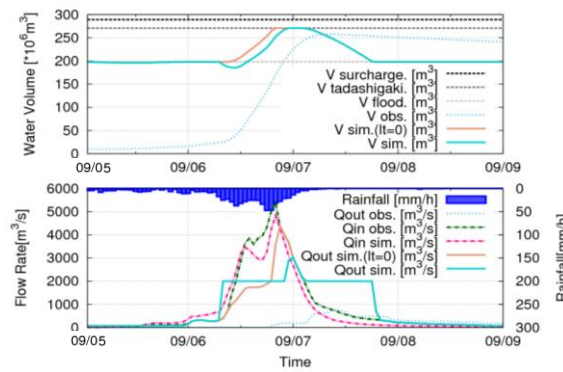


図-10 予測値を用いた結果 (ルール1)

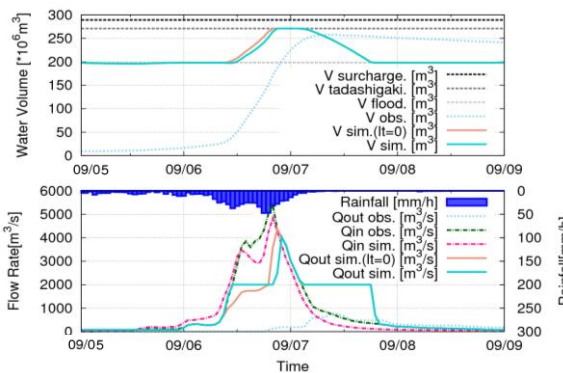


図-11 予測値を用いた結果 (ルール2)

表-1 より、リードタイムが1時間から24時間までは現行ダム操作規則によるシミュレーションと同様にただし書き操作へ移行しており、回避には至らなかった。表-2 より、初期貯水率が90%以上、リードタイムが4時間以上でピーク低減効果が見られた。ただし書き操作に移行した条件でのピーク低減量は、計画最大放流量の約1割から約4割であった。表-3 より、リードタイムが6時間および24時間までではピーク流量到達時間が1時間から2時間程度遅延していることがわかる。また、現行のダム操作ルールのみでの計算において、初期貯水率60%以下では、ただし書き操作に至ることはなかったことから、初期貯水率が60%を超える場合は、現行のダム操作ルールによる操作のみの洪水調節ではただし書き操作を行う可能性が高いことが考えられる。

初期貯水率およびリードタイムの比較では本研究で提案した2つのルールを用いる場合、ただし書き操作を回避するためには、初期貯水率が高くなるほどより長いリードタイムが必要になることがわかった。同様に、ただし書き操作の移行時間を遅延させるためには、初期貯水率が高くなるほどより長いリードタイムが必要になることがわかった。また、遅延できる時間は1時間から2時間程度であることから、管理者のただし書き操作の移行にともなう必要な人員の確保や関係機関との連絡等の措置を行う準備時間の確保が期待できると考えられる。ただし書き操作の回避が不可能だとしても、比較的長いリードタイムをとることでピーク流量を低減させる効果があることがわかる。

ルール1およびルール2を用いたダム操作シミュレーションの結果比較のため、両ルールにおけるリードタイム分のシミュレーションに実測ダム流入量を用いたシミュレーションの結果で比較する。ルール2と比較して、ルール1の方が放流の効果が大きく、事前に大きな水量を放流することでダム貯水池の貯水量の減少量が大きくなることが考えられる。

次に、ただし書き操作の移行時間については、ルール2を用いたダム操作シミュレーションにおいては、初期貯水率が90%以上の場合では、リードタイムが最短7時間でただし書き操作移行時間の1時間

程度の遅延が可能であることを示している。これらを踏まえると、ただし書き操作の移行時間の遅延については、ルール1の方がリードタイムは比較的短い段階で遅延が可能であることが考えられる。

リードタイム[h] \ 初期貯水量[%]	0	1	3	4	5	6	7	8	12	24
0から60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69 (9月上旬 平均値)	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
70	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
80	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
90	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
100	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有

表-1 ただし書き操作の有無 (ルール2・予測値)

リードタイム[h] \ 初期貯水量[%]	0	1	3	4	5
0から60	-	-	-	-	-
69 (9月上旬 平均値)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	0.0	0.0	0.0	87.9	87.9
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

リードタイム[h] \ 初期貯水量[%]	6	7	8	12	24
0から60	-	-	-	-	-
69 (9月上旬 平均値)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	345.2	345.2	345.2	345.2	699.2
100	0.0	0.0	0.0	345.2	522.3

表-2 ピーク放流量の低減量 (ルール2・予測値)

リードタイム[h] \ 初期貯水量[%]	0	1	3	4	5	6	7	8	12	24
0から60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69 (9月上旬 平均値)	7日0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	7日0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	6日23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	6日21時	0	0	0	0	1	1	1	1	2
100	6日21時	0	0	0	0	0	0	0	1	1

表-3 ピーク放流量の遅延時間 (ルール2・予測値)

なお、ルール2は、ルール1よりもただし書き操作の回避の効果は小さいが、放流量をリードタイム分のシミュレーションで算出した放流量を放流しているため、早い段階から必要放流量以上の放流を行わない。従って、ルール1のように計画最大放流量を早い段階で放流するよりも、必要と判断された場合に必要な分の放流量を放流することの方が過剰放流になりにくく、水資源の確保や有効利用につながると考えられる。

リードタイム間の時間ステップのシミュレーションに完全な流出モデルによるダム流入量としてダム流入量の実測データを用い、ルール1、ルール2の入力値として用いた場合、本研究において構築した流出モデルにより求められた予測ダム流入量を入力値として用いたダム放流シミュレーションの結果よりもより大きな効果があることがわかる。しかしながら、予測ダム流入量を用いても、ただし書き操作を回避またはただし書き操作への移行時間を遅らせることが可能となっている。従って、実測値を用いた同程度のダム放流シミュレーションを行うことが可能であるため、流出モデルの有用性が示唆された。

各シミュレーションは、予測情報を用いて事前放流を行うことにより、最大放流量の遮減効果やただし書き操作への移行時間を遅らせることができることが確認できた。したがって、予測した情報をダム管理に用いて、放流操作も事前に決定することで、より効率的な操作を行なうことが可能になると考えられる。また、流出モデルを用いたダム放流操作においても実測値を用いた理想的な場合と同程度の結果が示されたことから、流出モデルをダム管理に活用できることが期待できると考えられる。

8. 結論

- 対象流域の早明浦ダム流域において、計算の簡単な集中型モデルを構築し、より適切なパラメータを設定することで、早明浦ダム流域におけるモデルの再現性が向上した。
- 予測情報を用いたダム操作を行なうことで、ただし書き操作回避やただし書き操作への移行時間を遅らせることが可能であることがわかった。
- ただし書き操作の有無やただし書き操作移行の遅延、ピーク放流量の低減効果から、流出モデルをダム管理に利活用することは、水資源の確保や効率的なダム管理につながるといえる。

9. 今後の課題

より実的な操作を行なうためには、ダム流入量の予測誤差を評価し、提案したルールで誤差を考慮することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 山本隆広, 陸 旻皎: 『連続流出シミュレーションが可能な貯留関数法の開発と評価—有効降雨計算を2成分, 3成分新安江モデルに置き換えた場合の比較—』, 水文・水資源学会 2009年度研究発表会要旨集, pp.104-105, 2009
- 2) ダム水源地環境整備センター編: 『ダム管理の実務』, 株式会社光和, 2000年, pp120-127
- 3) 臼谷友秀, 中津川誠, 大橋和平: 『ダムの放流操作に対する水文予測情報の有効性』, 水文・水資源学会 2009年研究発表会要旨集, 2009
- 4) 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降雨時調節機能の向上について』, 土木学会論文集 B, vol.66, No.3, pp268-279, 2010.8
- 5) 下坂将史, 呉修一, 山田正, 吉川秀夫: 『既存ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案』, 土木学会論文集 B, vol.65, No.2, pp106-122, 2009.6
- 6) 佐藤健太: 『ダム調節を含んだ上下流一貫の分布型水文モデルの開発に関する研究』, 長岡技術科学大学修士論文, 2004
- 7) TRUONG NGUYEN CUNG QUE: 『分布型流出解析による TriAn ダム貯水池管理の検討』, 長岡技術科学大学修士論文, 2009