

第II部門 広域分布型流出予測システムを用いたダム群統合操作に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○ 菅野浩樹 京都大学防災研究所 正員 佐山敬洋
 京都大学防災研究所 正員 立川康人 京都大学防災研究所 フェロー会員 寶 馨

1 本研究の目的と意義 近年、計画規模を超える超過洪水による水害が全国各地で頻発している。現在検討されている超過洪水に対するダムの洪水調節方法は、山田方式や裏戸方式がある[1]。こうした方式は、超過洪水に対してダム個別の挙動を検討するにあたり非常に効果的であると考えられる。ただしダム群としての性能を高めることを意図しているものではない。

そこで本研究では、現在の施設を最大限有効利用するという観点から、超過洪水時における現存するダム群の最適な操作について検討する。現時点で5基のダムが稼働している木津川流域を対象とし、各ダムの放流量系列を動的計画法(DP)[2]を用いて最適化するモデルを構築する。これまでは、DPの定式化を解く際、近似解法を用いており[3]、また、流出計算や河道追跡計算を組み込んだ実流域に対応したシステムとはなっていなかった。本研究で開発するモデルは、分布型流出モデルによる流出計算結果や河道追跡計算が組み込まれているので、流域の実際に即してダムの放流量を最適化することが可能である。このモデルを用いて、設定した評価関数や制約条件に応じた各ダムの最適放流量系列を求め、超過洪水時のダム群の最適な操作ルールについて考察する。

2 放流量最適化モデルの構築 放流量最適化モデルのフローチャートは図1の通りである。各河道の横流入量、各ダムへの流入量は広域分布型流出予測システムから入力する。河道追跡計算にはマスキングムクンジ法を用いる。

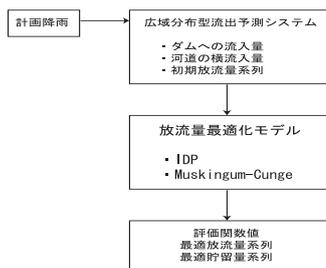


図1 最適化計算のフローチャート

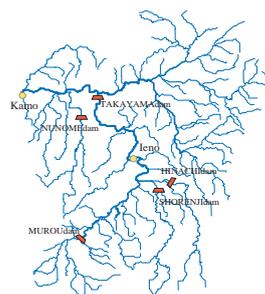


図2 本研究で対象とする木津川流域

2.1 最適なダム貯水池操作のDPによる定式化 以下に時間間隔 Δt で離散的表現をし、DPを用いた一般的なダム貯水池群の操作の定式化を示す[3]。まず、 T 個の有限な制御期間に対して、任意の期間 $t(t = 1, 2, \dots, T)$ におけるダム $k(k = 1, 2, \dots, N)$ への平均流入量を $I_k(t)$ 、平均放流量を $O_k(t)$ とし、期間 t の期末の貯水量を $S_k(t)$ とすると、

$$S_k(t) = S_k(t - 1) + I_k(t)\Delta t - O_k(t)\Delta t \quad (1)$$

と書ける。 D_i を評価地点 $i(i = 1, 2, \dots, M)$ に付与する評価関数で、期間 t の制御の結果、地点 i を通過する流量がもたらす危険度を表す指標と考えると、目的関数 J は、

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^M D_i(Q_i(t)) \quad (2)$$

この J を与えられた入力条件のもとで最小化する放流量系列 $O_k(t)$ を決定するわけである。

いま、期間 1 から任意の期間 t までの最適放流量系列 $O_k(t)$ による目的関数の最小値を $f_t(S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t))$ とすると、式(2)および最適性の原理より次の関数方程式が成立する。

$$f_t(S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)) = \min_{O_k(t)} \left\{ \sum_{i=1}^M D_i Q_i(t) + f_{t-1}(S_1(t) - I_1(t) + O_1(t), \dots, S_N(t) - I_N(t) + O_N(t)) \right\} \quad (3)$$

このとき $f_T(S_1(T), S_2(T), \dots, S_N(T))$ が求める最適関数値、対応する放流量が最適放流量系列である。

3 木津川全流域への放流量最適化モデルの適用

3.1 200年降水確率降雨による最適計算結果

評価関数 木津川流域(図2)における加茂と家野の両地点の流量がバランスよく平滑化されることを目的とする評価関数 F として、

$$F = \sum_{t=1}^T \left(\frac{Q_{kamo}(t)}{Q_d(kamo)} \right)^2 + \left(\frac{Q_{ieno}(t)}{Q_d(ieno)} \right)^2$$

を用いる。ここで、 Q_{kamo} 、 Q_{ieno} はそれぞれ加茂と家野の地点の流量、 $Q_d(kamo)$ 、 $Q_d(ieno)$ は加茂と家野

の計画高水流量とする。評価地点を加茂と家野に加え、各ダムの直下の流量の平滑化も目的とした評価関数 F は、地点間のバランスを考慮するため、ダム i ($i = 1 \dots 5$) 直下の流量 Q_i を各ダムの洪水調節流量 $Q_d(i)$ の2倍で割ったものを用い、

$$F = \sum_{t=1}^T \left(\frac{Q_{kamo}(t)}{Q_d(kamo)} \right)^2 + \left(\frac{Q_{ieno}(t)}{Q_d(ieno)} \right)^2 + \sum_{i=1}^5 \left(\frac{Q_i(t)}{2Q_d(i)} \right)^2$$

とする。

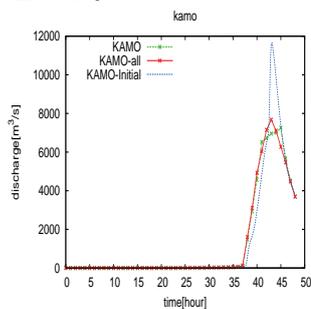


図3 評価関数の違いによる流量系列比較-加茂-

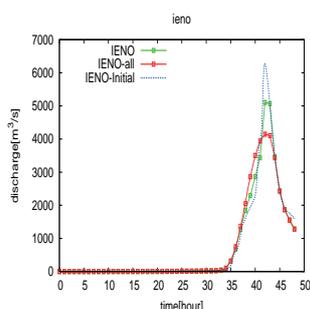


図4 評価関数の違いによる流量系列比較-家野-

計算結果を図3、図4に示す。評価地点が加茂と家野だけのとき(緑線)よりも、各ダムの直下にも評価地点を増やした方(赤線)が家野のピーク流量は低減されているが、加茂のピーク流量は増加している。いずれも規則通りの操作(破線)をした場合より大きくピーク流量が低減されている。

そのときの高山ダム(図5)、室生ダム(図6)の最適放流系列からそれぞれ二山型、規則に近い放流をしていることがわかる。

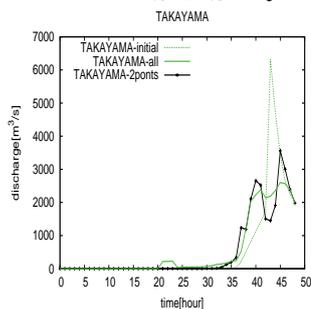


図5 最適化対象地点が全流域(緑線)と2地点(黒線)の場合の最適放流量系列-高山ダム-

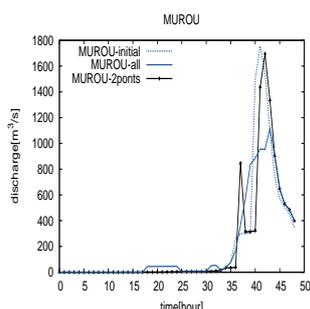


図6 最適化対象地点が全流域(青線)と2地点(黒線)の場合の最適放流量系列-室生ダム-

3.2 100年降水確率、150年降水確率降雨による最適計算結果 同様のイベントを150年確率、100年確率に引き伸ばした場合についても最適化計算を行った(図7)。図7は横軸に自然流量、縦軸に制御流量をとり、ダムの有無とピーク流量の関係を示した図で、

赤の斜線よりプロットが下に離れているほどダムによる制御効果が大きいことを表している。規則通りの操作(破線のプロット)ではダムの治水効果がほとんどないことに対し、ダム群を統合した最適操作(移動先のプロット)を行えばピーク流量を大幅に低減できることがわかった。

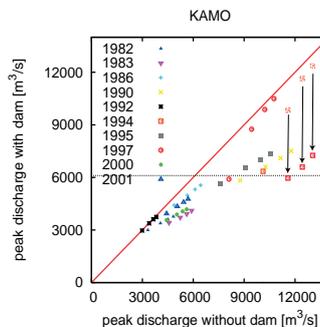


図7 最適化計算の結果のまとめ

4 まとめ 広域分布型流出予測システムと動的計画法によるダム群最適化法とを統合し、任意の河道地点において設定する評価関数に対して、最適な放流量系列を得るためのモデルを構築した。開発したモデルを、5基のダムが存在する木津川流域に適用した結果、ダム直下の流量の平滑化を想定した方が、加茂と家野の2地点の流量低減を想定したときより家野のピーク流量は抑えられるが、加茂のピーク流量は増加した。また、規則通りのダム操作ではほとんどピークを低減できないような超過洪水について、ダム群として治水容量を最大限活用すれば大幅なピーク流量低減が可能であることを明らかにするとともに、このときの高山ダムの操作は、放流量のピークが二回ある二山型の放流をしていることを明らかにした。

参考文献

- [1] 財団法人ダム水源地環境整備センター：ダムによる流水管理に関する検討会説明資料，2006。
- [2] 高棹琢馬・瀬能邦雄：ダム群による洪水調節に関する研究(I) DP利用とその問題点，京大防災研究所年報第13号B，pp.83-103，1970。
- [3] 小尻利治：ダム貯水池群による水量・濁質制御に関するシステム論的研究，京都大学博士論文，1980。