

東南アジア流域における渇水軽減と洪水防除を効果的に両立可能な 多目的貯水池ルールカーブの最適化手法の開発

Development of rule curves optimization method for a multi-purpose reservoir to effectively reduce drought and prevent flood in a Southeast Asian watershed

○高田亜沙里* 平松和昭** Trieu Anh Ngoc*** 原田昌佳** 田畑俊範**

Asari Takada*, Kazuaki Hiramatsu**, Ngoc Anh Trieu***, Masayoshi Harada**, Toshinori Tabata**

1. はじめに 東南アジア新興諸国では、人口増加や経済発展により様々な利用目的に対する需要水量が増加しており、必要水量の確保と効率的かつ適切な水供給が、持続可能な水資源管理のための重要な課題となっている。一方で、雨季の洪水による浸水被害が深刻な問題となっており、気候変動に伴う集中豪雨や海面上昇による浸水被害の増加が懸念されている。このように、東南アジア新興諸国の水管理においては利水と治水のトレードオフ問題が顕在化しており、その効果的な解決策の提案が急務である。本研究は統合的な流域水管理のために最も効率的なツールの一つである貯水池に焦点を当て、その操作規則であるルールカーブの最適化手法の開発を目的とした。

2. ルールカーブ最適化手法の開発 ベトナム国内最大規模の多目的貯水池で貯水総量が約 $1.58 \times 10^9 \text{ m}^3$ の Dau Tieng 貯水池を対象とした。同貯水池は下流に位置する Ho Chi Minh 市の (1) 洪水制御, (2) 生活用水, (3) 工業用水, (4) 環境用水, (5) 農業用水への供給を担っており、貯水位操作を規定したルールカーブをもとに放流・貯水操作が行われている。図 1 のように Dau Tieng 貯水池のルールカーブは、貯水池操作における基準水位である排除水位, 上位水位, 下位水位, 限界水位, 死水位から成る。各基準水位は需要水量や洪水期・乾期を考慮して定められており、1 月から 12 月までの毎月 1 日の基準水位 12 点で構成されている。その時々貯水位が各基準水位を超過するか否かで、各用水項目に対する給水量、および洪水吐からの放流量が決定される。本研究では、長期間スケールの問題である渇水、および短期間スケールの問題である洪水を効果的に考慮するため、1 日単位ステップで貯水池の放流量・貯水量の計算を行い、ルールカーブを最適化した。最適化手法には、強力な大域的探索能力を有する SCE-UA 法を採用した。現行ルールカーブでの充足率が十分に満たされていない環境用水と農業用水の不足量の最小化を目指した 2 種類のサブ目的関数、および下流域の洪水防除と渇水軽減を目指した 6 種類のペナルティ関数を各目的の重要性を示す重み係数を用いて、式 (1) のように単一の目的関数として定式化した。

$$F^{\text{Obj}} = f^{\text{Env}} + f^{\text{Agr}} + \sum_{i=1}^6 f_i^{\text{Pen}}, \quad F^{\text{Obj}} \rightarrow \text{Min} \quad (1)$$

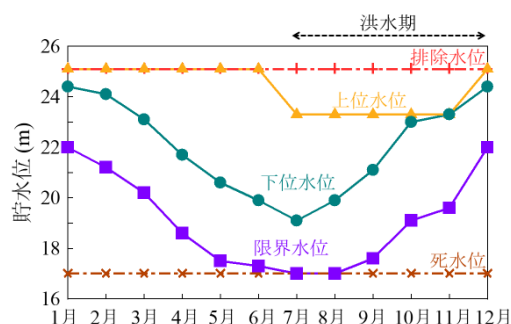


図 1 現行ルールカーブ
Current rule curves

*農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 / Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization **九州大学大学院農学研究院 / Faculty of Agriculture, Kyushu University ***Division of Science, Technology and International Affairs, Thuyloi University

キーワード：水資源管理, 水収支, 排水管理, 水利用計画

ここで、 f^{Env} は環境用水に関するサブ目的関数、 f^{Agr} は農業用水に関するサブ目的関数、 f_i^{Pen} ($i = 1 \sim 6$) はペナルティ関数である。環境用水と農業用水に関するサブ目的関数は、式 (2) と式 (3) をそれぞれ定義した。

$$f^{Env} = \text{Max}_{s=1}^{N_{\text{year}}} \left\{ \sum_{t=1}^{t_{\text{year}}} S_{s,t}^{Env2} \times K^{Env} \right\}$$

$$S_{s,t}^{Env} = \begin{cases} \frac{D_{s,t}^{Env} - (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind})}{D^{Env} - (Re^{Obs} - D^{Dom} - D^{Ind})} & \dots \quad (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind}) < D_{s,t}^{Env} \text{ の場合} \\ 0 & \dots \quad (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind}) \geq D_{s,t}^{Env} \text{ の場合} \end{cases} \quad (2)$$

$$f^{Agr} = \text{Max}_{s=1}^{N_{\text{year}}} \left\{ \sum_{t=1}^{t_{\text{year}}} S_{s,t}^{Agr2} \times K^{Agr} \right\}$$

$$S_{s,t}^{Agr} = \begin{cases} \frac{D_{s,t}^{Agr} - (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind} - D_{s,t}^{Env})}{D^{Agr} - (Re^{Obs} - D^{Dom} - D^{Ind} - D^{Env})} & \dots \quad (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind} - D_{s,t}^{Env}) < D_{s,t}^{Agr} \text{ の場合} \\ 0 & \dots \quad (Re_{s,t} - D_{s,t}^{Dom} - D_{s,t}^{Ind} - D_{s,t}^{Env}) \geq D_{s,t}^{Agr} \text{ の場合} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 s は計算年数 ($=1 \sim N_{\text{year}}, N_{\text{year}} = 11$)、 t は計算日数 ($=1 \sim t_{\text{year}}, t_{\text{year}} = 365 \text{ or } 366$)、 $Re_{s,t}$ は放流量 (m^3)、 $D_{s,t}^{Dom}$ は生活用水の需要量 (m^3)、 $D_{s,t}^{Ind}$ は工業用水の需要量 (m^3)、 $D_{s,t}^{Env}$ は環境用水の需要量 (m^3)、 $D_{s,t}^{Agr}$ は農業用水の需要量 (m^3)、 Re^{Obs} は観測放流量 (m^3)、 K^{Env} は環境用水の重み係数 ($= 100$)、 K^{Agr} は農業用水の重み係数 ($= 50$) である。 $S_{s,t}^{Env}$ と $S_{s,t}^{Agr}$ はそれぞれ環境用水と農業用水の不足量を表す。各関数の重み係数は、Dau Tieng 貯水池の運用方針から把握した現場ニーズをもとに相対値を設定した。

3. 最適化計算結果 1999～2009 年の入力データで最適化計算を行ったところ、図 2 の最適解が得られた。最適ルールカーブでは、工業用水と環境用水の充足率が 100%，農業用水の充足率が 79.1% となった。これは現行ルールカーブの充足率に対して、工業用水が+2.7 ポイント、環境用水が+7.6 ポイント、農業用水が+12.7 ポイントの増加であり、各用水項目の充足率が大きく改善された。また、最適ルールカーブを用いると、工業用水、環境用水、農業用水に対する供給の制限日数が現行ルールカーブの場合より少なくなり、渇水に効果的であることが示された。また、洪水吐からの放流を行う日数が減少しており、下流の洪水防除に有効であることも示された。

4. おわりに 本研究では、Dau Tieng 貯水池の下流域における渇水軽減と洪水防除の両目的を最も効果的に両立可能なルールカーブの最適化手法を開発できた。流域面積に対する貯水容量が小さい等の理由により、利水と治水のどちらに対しても最適な放流・貯水操作を行うことが本来的に難しい貯水池もある中で、本手法は各目的の重要性を示す重み係数を調節することで、その貯水池のニーズや政策決定者の意向に合うように、各目的のバランスが取れたルールカーブを提案できることが最大の利点である。

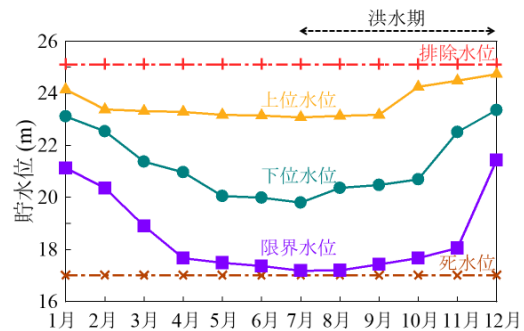


図 2 最適ルールカーブ
Optimal rule curves