

東南アジア流域の多目的貯水池における利水面・治水面に効果的な ルールカーブの最適化手法の提案

Proposal of optimization method for effective Rule Curves for water supply and flood control of a multipurpose reservoir in 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 熱帯多雨地域に位置する東南アジア新興諸国では、水不足や洪水が頻発しており、利水と治水の両視点における流域水管理が急務である。効率的な流域水管理のために、多目的貯水池が広く用いられている。貯水池には、需要量と貯水量に応じた貯水池操作計画曲線（ルールカーブ）が設定されており、これに基づいて放流操作が決定されている。しかし、東南アジア流域ではルールカーブの不適切さに起因する水不足や洪水が発生しているため、最適な設定が求められている。そこで、東南アジア流域に位置する多目的貯水池を対象に、最適なルールカーブの設定方法を提案することを研究目的とした。

2. 解析対象流域 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、(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、下流に位置するホーチミン市の水資源に大きく寄与している。同市では、雨季（7～12月）の洪水、乾季（1～6月）の水不足が発生しており、原因の一つに、同貯水池の水資源管理の不適切さが挙げられる。また、農業用水と下流河川の最低流量を確保するための環境用水の優先度が低く、その供給が不十分であることも問題視されているため、ルールカーブの最適化が必要である。

3. ルールカーブ最適化手法の開発 図1のように、現在の Dau Tieng 貯水池ルールカーブは5つの基準水位（排除水位、上位水位、下位水位、限界水位、死水位）で構成されている。各線は需要量や季節より定められた毎月1日の基準水位12点から成り、ルールカーブと各時点における貯水位の関係から放流量が決定される。その際、水不足の危険性が高まる死水位以上、洪水の危険性が高まる排除水位以下に貯水位を保つ必要がある。本研究では、放流量決定の基準となる水位36点（上位水位、下位水位、限界水位）を、大域的最適解探索法である SCE-UA 法（Shuffled Complex Evolution method, University of Arizona）で定めた。同貯水池で農業用水と環境用水の供給が不十分であることを考慮して、式(1)の目的関数 F^{Obj} を設定した。

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

ここで、 f^{Env} は環境用水に関するサブ目的関数、 f^{Agr}

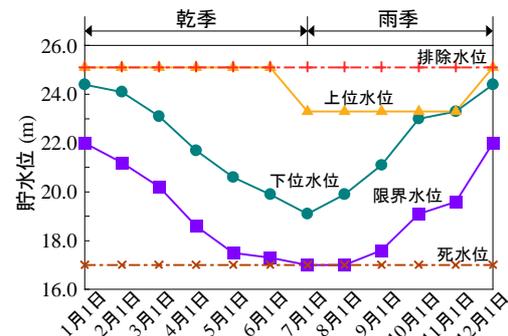


図1 現行ルールカーブ
Current Rule Curves

*九州大学大学院生物資源環境科学府 / Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University **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

は農業用水に関するサブ目的関数， f_i^{Pen} はペナルティ関数である．計算過程で不適切な解が得られた場合にペナルティ関数を加算することで，貯水位が排除水位以上，死水位以下になる等，不適切な解の生成を回避した．サブ目的関数は，環境用水と農業用水の需要量と供給量の差を最小化するように，式 (2) と式 (3) を定義した．

$$f^{\text{Env}} = \text{Max}_{s=1}^{N_{\text{year}}} \left\{ \sum_{t=1}^{365} S_{s,t}^{\text{Env}2} \times K^{\text{Env}} \right\}$$

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

$$f^{\text{Agr}} = \text{Max}_{s=1}^{N_{\text{year}}} \left\{ \sum_{t=1}^{365} S_{s,t}^{\text{Agr}2} \times K^{\text{Agr}} \right\}$$

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

ここで， s は年， t は日， N_{year} は計算年数 (=10)， $Re_{s,t}$ は放流量 (m^3)， D_t^{Dom} は生活用水の需要量 (m^3)， D_t^{Ind} は工業用水の需要量 (m^3)， D_t^{Env} は環境用水の需要量 (m^3)， D_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 (=100.0)， K^{Agr} は農業用水の重み係数 (=50.0) である． $S_{s,t}^{\text{Env}}$ と $S_{s,t}^{\text{Agr}}$ はそれぞれ，環境用水と農業用水の需要量と供給可能量の差を表す．重み係数は現場ニーズを考慮した相対値を設定した．なお，放流量は同貯水池の操作規則に従い，貯水位に応じた需要量を放流量として計算した．

4. 最適化計算結果 2000~2009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．雨季に向けて水位減少，乾季に向けて水位上昇と，季節を反映したルールカーブを作成できた．最適解は現行のルールカーブを用いた場合と比べて，工業用水，環境用水，農業用水の平均充足率がそれぞれ+3.7%，+15.1%，+6.1%改善された．また，最適解で計算した貯水位とルールカーブを比較した**図3**より，最適解では貯水位が死水位を下回る期間 (=水不足危険日) が発生しないことが読み取れる．一方で，降雨量が平年並みの期間では貯水位が排除水位を上回る期間 (=洪水危険日) が発生しないことが示された．

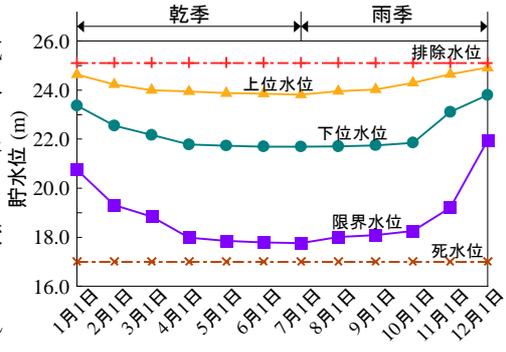


図2 ルールカーブ最適解
Optimal Rule Curves

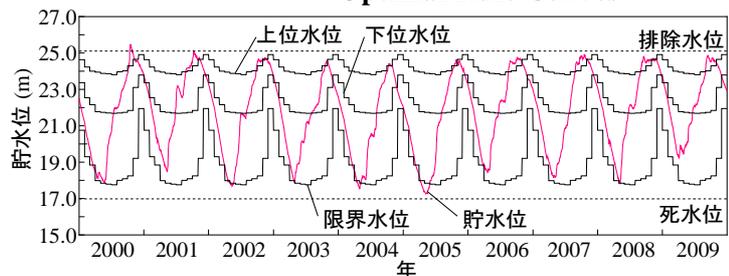


図3 貯水位とルールカーブ最適解の比較
Comparison of reservoir level and optimal Rule Curves

5. おわりに 本研究は利水と治水の両面に効果的なルールカーブの最適化手法を提案した．本手法は，目的関数の各重み係数の値を変えることで，現場ニーズに合ったルールカーブを作成できる．