

実験計画法を用いた水利用システムの策定

京都大学防災研究所 正 員 池淵 周一
 京都大学防災研究所 正 員 小尻 利治
 京都大学大学院 学生員 飯島 健
 京都大学工学部 学生員 武村 彰文

1. はじめに かつてはまさに「湯水のごとく」利用できるとされていた水も、水利用の高度化に伴って、現在では限りある資源の一つとしていかに有効に扱うかが論じられるようになった。本研究では、利水システムをいくつかの基本ユニットの組合せとして構成するとともに、入力である河川流量を確率分布としてとらえたときの水量・水質両面からみたシステムの安全度を評価する。さらに、多数の代替案より最適解を求めるのに、実験計画法と非線形最適化手法の概念を結合させた2段階の計画手順を提案する。

2. 利水システムの安全度評価手法と最適利水システムの策定

(1) 利水システムの安全度評価手法 空間的に複雑な利水システムを単純化し、安全度評価を合理的に行うために、取水率 α 、還元率 α 、処理率 ε 、原単位当りの汚濁負荷量 $\bar{c}$ などの利水パラメータを導入する。これらのパラメータを用いることにより、評価地点 i における水量・汚濁負荷量は、流入前の水量 Q を用いて次式のように表現できる。

$$Q_i = k_i(\alpha_m, \alpha_n; m=1, 2, \dots)Q \quad C_i Q_i = f_i(\alpha_m, \alpha_n, \varepsilon_m, \bar{c}_n; m=1, 2, \dots)Q \quad (1)$$

このように評価値を流入量の線形1次関数で表示することにより、安全度評価を解析的に行うことが可能となる。また、評価地点 i における安全度は次式のように表現できる。

$$R_i^R = 1 - \int_{Q_i^*}^{\infty} f_{Q_i}(Q_i) dQ_i \quad R_i^R = 1 - \int_{C_i Q_i^*}^{\infty} f_{C_i Q_i}(C_i Q_i) dC_i Q_i \quad (2)$$

ここに $f_{Q_i}(Q_i)$ 、 $f_{C_i Q_i}(C_i Q_i)$ は評価地点 i における水量・水質の確率密度関数であり、式(1)のような関係があれば、流入前の流量の確率密度関数を用いて表現することが出来る。本研究では、この流入前の流量はダム通過後の平滑化した流量と考え、確率分布を先鋭化した対数正規分布と仮定している。最後に、式(2)により各評価地点の安全度が得られると、それらを統合してシステム全体の安全度を決定するのであるが、それには水量・水質の安全度評価を同等と考え、次式を満足するものをシステム全体の安全度として採用する。

$$R = \min_{i,j} \left(\frac{R_i^R}{R_i^R}, \frac{R_j^R}{R_j^R} \right) \quad (i, j: \text{評価地点}) \quad (3)$$

ここに $\bar{R}_i^R, \bar{R}_j^R$ はシステム内の水利用、環境条件ならびに水文特性などを考慮して定まる確保すべき安全度である。

(2) 実験計画法を用いた利水システムの策定 ここに策定する利水システムの目標を定義すると、「許容危険率の範囲内という制約条件のもとで、システムの構成・運用費用を最小にする」ことになる。制約条件式は式(1)に表わした k_i, f_i （これらはさらに数個の $\alpha_m, \alpha_n, \varepsilon_n$

など利水パラメータが複雑にからみあった関数である)を用いて表示することが出来る。しかし、利水パラメータが多数存在する複雑な利水システムにおいては、この非線形最適化問題を解くことは不可能に近い。そこで利水システム策定の第1段階として、直交配列表に従う実験計画法を用い、システムの安全度に大きく影響するパラメータ(因子)を抽出する作業を行う。つまり、有意性の高い因子のみを変数として制約条件および目的関数内に残し、その他の有意性の低い因子を排除することにより、最適化問題の単純化をはかるわけである。

(3)非線形最適化手法を用いた利水システムの策定 第2段階で定式化される非線形最適化問題は次式で示される。

$$\text{目的関数: } Z = F_1(x_1) + F_2(x_2) + \dots \rightarrow \min. \quad (4)$$

$$\text{制約条件: } R_i^k \geq \bar{R}_i^k, \quad R_j^h \geq \bar{R}_j^h \quad (5)$$

ここに x_i は第1段階でシステムの安全度に対し有意性ありと判断された利水パラメータ(因子)であり、 $F_i(x_i)$ はその利水施設の構成・運用費用を表わす費用関数である。

3. 適用例

(1)直列型利水システム (Fig.2) 実験計画法によって $\alpha_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ が有意性因子として抽出された。最下流に位置する利水施設の危険度をおさめるのに有効な因子が抽出されている。また、 α_2, ε_2 の2因子間には強い交互作用がみられ、一貫した利水と処理の必要性が示唆される。

(2)再利用・流域下水道を含むシステム (Fig.3) 現実に即した複雑な系として考察したが、 $\alpha_2, \varepsilon_2, \alpha_1, \alpha_2$ が有意性因子として抽出された。再利用の実施は、水量面において安全側、水質において危険側と2つの側面をもち、必ずしもシステムの安全度を向上させるものではない。最適計画において上流では再利用可能、下流において不可という結果が得られた。下流側における、再利用水の再利用といった、2重・3重の利水はシステムの危険度を増加させ、不可能ということになる。

4. おわりに 以上、我国のような河川の利用率が高い流域での、より効率的な利水システム策定に関して、安全度評価をベースに、実験計画法と非線形最適化手法を結合した計画手順とその適用例について述べたが、今後、実データの分析と時系列的な考え方をプラスした、より実流域に即した研究へと発展させていきたい。

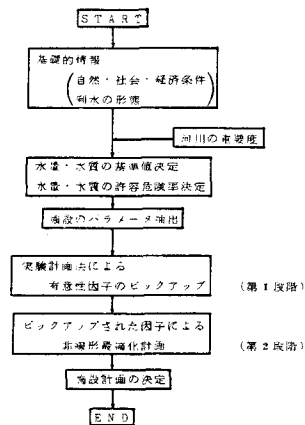


Fig. 1 利水施設計画のフローチャート

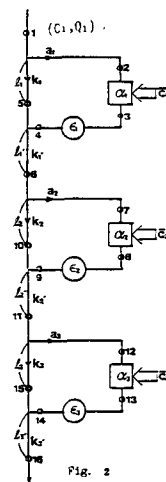


Fig. 2 直列型配水の利水システム

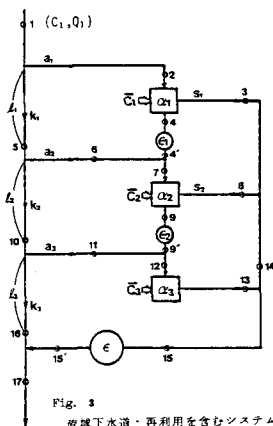


Fig. 3 流域下水道・再利用を含むシステム