

水利用システムとその安全度評価に関する一考察

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

1. はじめに 水不足という言葉が大きな社会問題となつて久しいが、その解決にあたっては、効率のよい利水システムを構成することが不可欠である。本研究では、利水システムをその取・排水構造からいくつかの基本的なパターンに分類するとともに、入力である河川流量をある確率分布として捕えたときの水量・水質両面からみたシステムの安全度を評価しようとするものである。

2. 利水システムの基本構造

(i) 利水システムの入出力関係：空間的に複雑な利水システムをその水利用形態から分類すると、(i) 量や質の変化をもたらす利水施設、(ii) 水質の浄化をおこなう処理施設、(iii) 水の取水・放流をおこなう分岐・合流施設、(iv) 河川表流水の流れを変えるダム貯水池、の4パートより構成されており、実際にはそれらが多数組み合わせられているといえよう。次に、ある固定された時間（たとえば夏の需要期）で不確実な入力に対する各パートの安全度を算定し、それらを統合して水系全体の安全度を評価しよう。

(i) 利水施設の特徴を表すパラメータとして、還元率を α 、原単位当りの汚濁負荷量を $\bar{C}$ としよう。ただし、 $\bar{C}$ は利水した水量の原単位当りに加えられる汚濁物質（たとえばBOD）の負荷量を表す。これらのパラメータを用い、さらに、汚濁濃度 C_0 なる流入が Q_0 であつたときの水利用後の流出量および流出汚濁負荷量は、次のような線形関数で表わされるとする。

$$Q_1 = \alpha Q_0, \quad C_1 Q_1 = \alpha (C_0 + \bar{C}) Q_0 \quad (1)$$

(ii) 処理施設の特徴を表すパラメータとして、処理率を ε としよう。その結果、 C_0, Q_0 の流入に対し、処理後の流出量および負荷量は、次式で与えられる。

$$Q_1 = Q_0, \quad C_1 Q_1 = \varepsilon C_0 Q_0 \quad (2)$$

(iii) 分岐については分岐の割合を a と与えてやれば、分岐後の流出量および負荷量は、次式で与えられる。

$$Q_1 = a Q_0, \quad Q_2 = (1-a) Q_0, \quad C_1 Q_1 = a C_0 Q_0, \quad C_2 Q_2 = (1-a) C_0 Q_0 \quad (3)$$

また、合流についても、合流前の流量がそれぞれ最上流流量 Q_0 の線形1次関数で与えられることから、流量・負荷量の連続条件式から、合流後の流量を求めることが出来る。

(iv) ダム貯水池操作においては、規準値 Q_{min} 以下の流入に対してはすべて放流し、それ以上の流入に対しては、一定量 Q_{min} を放流、さらに、 Q_{max} 以上の流入に対しては、 $Q_{max} - Q_{min}$ を貯水するといった簡単なルールを用いることにより、流出量を流入量の線形1次関数で表現することが出来る。

Shuichi Ikebuchi, Toshiharu Kojiri, Takeshi Iijima

(2) 確率的入力分布に対する安全度評価: (1) のようにシステム通過後の流量や負荷量がすべて最上流流量の線形1次関数で与えられるとき、任意地点における安全度算定の手順は次のようになる。つまり、最上流流量の確率分布が対数正規分布 $f(Q)$ (分布のパラメータを λ, γ とする) で近似されるとき、評価地点 i における流量が $Q_i = k_i Q$ 、負荷量が $C_i Q_i = h_i Q$ であるならば、 $Q_i, C_i Q_i$ それぞれの確率密度関数は次のように表現できる。

$$f_i^k(Q_i) = \frac{1}{k_i} f(Q_i/k_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \gamma Q_i} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln Q_i - (\ln k_i + \lambda)}{\gamma} \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$f_i^h(C_i Q_i) = \frac{1}{h_i} f(C_i Q_i/h_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \gamma C_i Q_i} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln C_i Q_i - (\ln h_i + \lambda)}{\gamma} \right)^2 \right] \quad (5)$$

したがって、安全度は、水量に関しては、基準値 Q_i^* を下まわらない確率、水質に関しては、基準値 $C_i Q_i^*$ を上まわらない確率として、それぞれ次式で与えられる。

$$R_i^k = 1 - \int_0^{Q_i^*} f_i^k(Q_i) dQ_i = 1 - \Phi \left(\frac{\ln Q_i^* - (\ln k_i + \lambda)}{\gamma} \right) \quad (6)$$

$$R_i^h = 1 - \int_{C_i Q_i^*}^{\infty} f_i^h(C_i Q_i) dC_i Q_i = \Phi \left(\frac{\ln C_i Q_i^* - (\ln h_i + \lambda)}{\gamma} \right) \quad (7)$$

3. 水利用システムの安全度評価 実流域に即した複雑な系として右図に示すような流域下水道や再利用を含んだシステムを考えよう。N個の利水施設が図のように再利用を含んだ形で存在するとき、m番目の利水施設のもつ水量パラメータ、水質パラメータを、

$$\begin{cases} S_m = (1 - \alpha_m) \alpha_m \end{cases} \quad (8)$$

$$\bar{S}_m = \alpha_{m+1} \prod_{j=1}^m (1 - \alpha_j) \quad (9)$$

$$\begin{cases} t_m = \varepsilon_m \alpha_m (1 - \alpha_m) \end{cases} \quad (10)$$

$$\bar{t}_m = C_1 \alpha_{m+1} \prod_{j=1}^m l_j (1 - \alpha_j) + \varepsilon_m \alpha_m (1 - \alpha_m) C_m \cdot k_{5N-3} \quad (11)$$

とおくことにより、システム通過後の k_i 値および h_i 値は、
 $k_2 = \alpha_1 = \bar{S}_0, u_0 = \bar{S}_m, u_{j+1} = u_j \cdot S_m \cdot j \cdot \bar{S}_{m-j-1} / \bar{S}_{m-j}$ および
 $h_2 = C_1 \alpha_1 = \bar{t}_0, u_0 = \bar{t}_m, u_{j+1} = u_j \cdot t_m \cdot j \cdot \bar{t}_{m-j-1} / \bar{t}_{m-j}$ といっ
 た2つの漸化式と、 $w_m = \alpha_m \alpha_m$ なるパラメータを用いて、

$$k_{5N+2} = \sum_{m=1}^N (w_m \prod_{j=0}^{m-1} u_j) + \prod_{m=1}^N (1 - \alpha_m) \quad (12)$$

$$h_{5N+2} = \varepsilon \sum_{m=1}^N (w_m \prod_{j=0}^{m-1} u_j) + C_1 \prod_{m=1}^N l_m (1 - \alpha_m) \quad (13)$$

と表現することが出来る。ここに α_i, l_i は、それぞれ再利用の還元率、河川の自浄効果を表わすパラメータである。ゆえに、水利用システムのもつ安全度とは、式(6)~(13)で各地点の安全度を算定し、それら全ての安全度の最悪値として評価することが出来る。

4. おわりに 以上、最上流流量の確率分布を用いた利水システムの安全度評価を試みたが、安全度をある簡単な漸化式の形で表現できることは、各利水システム代替案の安全度評価が容易に行えることを意味している。今後、実データの分析をすすめて、効率的な水資源計画の策定・運用に活用していきたい。

〈参考文献〉 池淵周一 水資源開発と渇水コントロール (1980.)

(土木学会夏季講習会・水工学シリーズ 80-A-5)

