

京都大学工学部 正 員 石原藤次郎

京都大学工学部 正 員 〇池判 周一

京都大学大学院 学生員 八木 高司

1. はしごき 近年の水需要に対処するため、水資源の開発の緊急性がさげばれている。著者らは、河川表流水利用の高度化をはかるため、まず貯水池の操作法に検討を加えた。従来、放流量は、評価地点で確保流量を満足するかどうかの即時的な判断で行なわれているため、そこには、1)放流量を決定する問題を制御過程としてとらえていない、2)長期間の流入、残流域からの流入効果を考慮していない、3)流域に設けられた貯水池群の統合的な操作がとられていない、の欠点がある。さらにそのような理想的な統合操作を行なったとしても、利用の高度化にはおのずから限界があると言えよう。こうした観点から、本研究は、貯水池操作による評価地点の水供給の限界値をDP理論を導入して算定し、利水計画における安全度の指標を見出そうとしたものである。

2. 貯水池操作による利水目的 自然の水循環を何らかの施設とその操作によって人為的に利用可能にすることを利水と定義できる。河川表流水の場合、需要の側に立てば、ある流域に設けられたいくつかの評価地点で、ある期間常に需要量を満たす流量が流れていてそれを決して下まわらないことが、最も望ましい状態と考えられる。こうした水系一貫した利水目的は、以下のように数学的に表現できよう。すなわち、

$$Q_{ik}/Q_{id} \geq 1, \text{ かつ } p \equiv \min. \{Q_{ik}/Q_{id}\} \quad (i=1,2,\dots,m) \longrightarrow \text{最大化} \dots\dots (1)$$

ここに、 Q_{ik} は利水操作の結果、評価地点 i を通過する最小流量、 Q_{id} は評価地点 i における確保流量、 m は評価地点の総数である。ところでいま、 Q_{id} を増加させていくと、初めて $p < 1$ となる Q_{id}^* が存在する。この時、どんな貯水池操作をしても、すべての評価地点で、需要量を確保することができなくなり、著者らは、この限界値 Q_{id}^* を利水計画上の河川水の持つ限界供給量と名付けた。

3. 目的関数と評価関数の設定 すでに利水操作の問題を数理計画における最適制御問題と解釈し、そのDPによる定式化がおこなわれている¹⁾。著者らは目的関数 J を、 $J = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^m D_i(Q_i(t)) \dots\dots (2)$ と定義し、その中の、 $D_i(Q_i(t))$ を評価地点 i に付与された評価関数とした。ここでは、残流域流量の $g_i(t)$ を重視して、 $Q_i(t) = \sum_{k \in A_i} Q_k(t) + \sum_{j \in B_i} g_j(t) \dots\dots (3)$ と考え、 J を最小にする放流系列 $Q_k(t)$ を求めるのにDPの手法を利用した。なお(3)式の右辺第1項は、評価地点 i のすぐ上流の貯水池で放流されたものの総和、第2項は、上流貯水池からその評価地点までの間で流入する残流域流量の総和を意味している。このように考えると利水操作のDPによる定式化は、つぎのように記述できる。

$$f_1(S_1, S_2, \dots, S_N) = \sum_{i=1}^m D_i \left(\sum_{k \in A_i} (C_k + I_k(1) - S_k(1)) + \sum_{j \in B_i} g_j(1) \right) \dots\dots (4)$$

$$f_N(S_1, S_2, \dots, S_N) = \min_{0 \leq S_k \leq V_k} \left\{ \sum_{i=1}^m D_i \left(\sum_{k \in A_i} Q_k(t) + \sum_{j \in B_i} g_j(t) \right) + f_{N-1}(S_1(t) + Q_1(t) - I_1(t), \dots, S_N(t) + Q_N(t) - I_N(t)) \right\} \dots\dots (5)$$

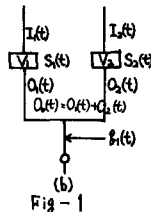
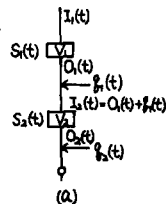
ここに N は貯水池数、 $C_k, S_k(t)$ は各貯水池の初期貯水量、および期間 t の最後の貯水量、 V_k は利水容量、 $I_k(t), g_j(t)$ は貯水池への流入量、および残流域流量系列である。実際の計算においては、 $I_k(t), g_j(t)$ を与えて、(4)(5)式を解けば、最適放流系列 $Q_k(t)$ が得られる。こうした前進型計算法は、最終状態 $S_k(t)$

を別の値に変化させても、初期状態 Q_0 が変化しなければ、新たな最適放流量系列を容易に求めることができ、利水操作上きわめて好都合である。さて以上の定式化の中で、最も重要なことは、評価関数 $D_i(Q_i(t))$ の具体的な関数形の設定である。著者は、(2)式の目的関数の最小化によって、(1)式の利水目的が達成されるような評価関数として、つぎの関数を提案する。²⁾

$$D_i(Q_i) = A^{b - a_i Q_i}, \quad a_i Q_{id} = C, \quad a_i \geq 1, \quad C > 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots(6)$$

ここに A は十分大きな定数であり、 C および b は任意定数である。著者は、(6)式の評価関数を用いて(4)(5)式の関数方程式を解けば、(1)式の利水操作の目的を満足させる放流量系列 $Q_0(t)$ が決定できることを証明したが、この評価関数が最適であるかどうかについては、現在検討中である。

4. 次元の節減化に関する考察 N 個の貯水池を持つ流域の水系一貫した利水操作は(4)(5)式を解けば求まるが、一般に貯水池数が増えると解の決定に要する時間は急激に増す。さらに離散的な表現での単位流量および単位時間の選択も計算時間を左右する。したがってDP利用による利水操作決定には、こうした次元の節減化およびユニットのとり方の問題が解決されなければならぬ。まず、単位流量に関しては、需要者側の要請および流入量予測の精度などから決定できる。単位時間としては、現在一般的に半日が採用されているが、流量変動および利水操作の難易を考えると1日をユニットととるべきであろう。もちろん、この場合には T が増大するが、前進型計算法の利点をいかして1年をいくつかの期間に分割すれば大きな障害にはならない。一方、次元の節減化に関しては Fig-1(a)の直列配置では一次元単ダムの連続として扱うことにより、また Fig-1(b)の並列配置では2つのダムを1つの仮想的単ダムとして解き、つぎに述べる空間基準によって各ダムへ配分すれば、次元の節減化がかなりの程度可能となる。すなわち空間基準は、つぎの期間2つの貯水池へそれぞれ流入すると予想される流入量のその和に対する比率と、その期間の最後の各貯水池の空き容量のその和に対する比率と等しくお事により越流を最小にするものである³⁾。これを数式で記述するならば、



i). $S_0(t) = S_1(t) + S_2(t) = V_0 = V_1 + V_2$ ならば、

$$Q_1(t) = S_1(t-1) + I_1(t) - V_1, \quad Q_2(t) = S_2(t-1) + I_2(t) - V_2, \quad \dots\dots(7)$$

ii). $S_0(t) = S_1(t) + S_2(t) \neq V_0$ ならば、

$$\left. \begin{aligned} Q_1(t) &= \{ (V_2 - S_1(t-1) - I_2(t) + Q_2(t)) \cdot I_1(t+1) - (V_1 - S_1(t-1) - I_1(t)) \cdot I_2(t+1) \} / \{ I_1(t+1) + I_2(t+1) \} \\ Q_2(t) &= \{ (V_1 - S_1(t-1) - I_1(t) + Q_1(t)) \cdot I_2(t+1) - (V_2 - S_2(t-1) - I_2(t)) \cdot I_1(t+1) \} / \{ I_1(t+1) + I_2(t+1) \} \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

なお $Q_1(t), Q_2(t)$ のどちらかが負か0になれば、他方を $Q_0(t)$ に等しくとり、負か0のものを0とする。

5. 限界供給量と利水の安全度 現状の利水計画においては、利水の安全度に関しては明確な形で検討はなく、計画の規模の決定は、渇水代表年または過去10年間の流況に対する利水計算に基づいている。ところが河川流況は確率的特性を強くもち、こうした短期間の流況のみでは、安全度に対する配慮が十分とは言えない。現在の水文学の発展を考えれば、模擬降水と流出解析法とか多年にわたる流況シミュレーションが可能であり、各年において2で述べた限界供給量 Q_{α}^* を算定すれば、 Q_{α}^* の確率密度曲線が得られ、ある超過確率で示した安全度をもつ限界供給量が求められる。また1年をいくつかの需要パターンに分割すれば、その期間でのある超過確率の安全度をもつ供給パターンも得られよう。今後はこうした方法を実際の流域に適用しこの Q_{α}^* を利水計画の安全度の1指標としていきたい。

参考文献 1) 上田正也, 小川慶彦: 貯水池群の利水操作に関する検討, 第24回年次学術講演会, II-64, 昭和41.
2) 高橋琢也, 橋田隆二: DPによる治水援助方式の決定に関する2,3の考察, 41年度国土計画学報, I-6, 昭和46.5
3) Design of Water Resource Systems, Chap. 11, Harvard Univ. S. H. S. 390