

大阪大学工学部 正員 室田 明
同 正員 ○ 神田 徹

利水計画における貯水池操作方式の決定は、従来、既往の特定渇水期間を対象として行なわれてきたが、発電のごとく水以外の代替エネルギーを他に期待できる場合を除いては、高いサービス水準の用水を確保するためにはこのような方式を採用せざるを得ないであろう。とはいえ、このような既往の渇水流況に対しても、治水計画におけるごとく確率論的評価、シミュレーション等による検討を加える必要はあるが、広域の水資源を対象とする利水開発計画においては、基準年への水供給は唯一の水源（自然流量あるいは貯水量）のみに依存するのではなく、貯水池群の連繫操作、他水系からの流域変更計画、等の実現によって他水源からの補給水を期待して行なわれるものである。従って、貯水池群による利水計画においても、特定渇水流況を対象として個々の貯水池操作方式を決定する従来の方法は検討する必要がある、こゝに利水開発のための貯水池群の統合操作に関する問題が生ずる。

以上の観測から、本研究は直列に配置された貯水池系による利水開発量の算定方法に関して、各利水基準点の供給水量および需要水の形態を考慮し、貯水池操作方式の決定法を考察したものである。

1. 直列貯水池系の操作方式

Fig-1 のごとき木栗において、既設の貯水池Bの上流に貯水池Aを新設し、貯水池A, Bの連繫操作によって各種用水を開水するための貯水池操作方式について考える。

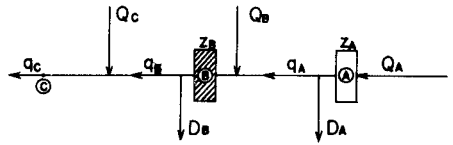


Fig - i

野水池Bの操作(野水池Aのない場合)と野水池A
 , Bの操作(野水池Aが増設された場合)によって得られる利益をそれぞれ、 R_B , R_{AB} とし次式で表
 わす。

貯水池Bによる利益関数: R_B

$$R_B = f_A(D_A) + g_A(z_A) + f_B(D_B) + g_B(z_B) + g_C(z_C) \quad (1)$$

こゝに D_A : A地奥から下流貯水池操作域外への放流量(消費水量), D_B : 貯水池Bからの消費水量,
 g_A, g_C : A, C地奥の流量, g_B : 貯水池Bから下流への放流量,
 f_A, f_B : 消費水量 D_A, D_B に関する利益関数, g_A, g_B, g_C : 流量 g_A, g_B, g_C に関する利益関数

貯水池 A, B による利益関数: R_{AB}

$$R_{AB} = f_A(D'_A) + g_A(q'_A) + f_B(D'_B) + g_B(q'_B) + g_C(q'_C) \quad (2)$$

こゝに DA', D_B' : 貯水池Aを増設された場合の貯水池A, Bからの消費水量
 g_A', g_B' : " 貯水池A, Bから下流への放流量
 g_C' : C地点の流量

野木池Aの増設によって生ずる、各種用水に関する利益の増加量は負であってはならないことから次の条件式を得る。

$$M_A = f_A(D'_A) - f_A(D_A) \geq 0 \quad (3), \quad N_A \equiv g_A(g'_A) - g_A(g_A) \geq 0 \quad (4),$$

$$M_B = f_B(D'_B) - f_B(D_B) \geq 0 \quad (5), \quad N_B \equiv g_B(g'_B) - g_B(g_B) \geq 0 \quad (6),$$

$$L_C \equiv g_C(g'_C) - g_C(g_C) \geq 0 \quad (7)$$

一般に、各種用水に関する最大利益を得るための貯水池最適操作では、貯水池放流量はその時刻の貯水量の関数として決定される。Fig-1において、流量時系列 $\{Q_A\}, \{Q_B\}, \{Q_C\}$ が既知の場合には、最適放流量 g_A, D_A, g_B, D_B は貯水池A, Bの貯水量 (Z_A, Z_B) の関数として求められるが、将来の流入量の不確定性、各種用水のサービス水準の差異、用水の代替性、等から各貯水池の最適放流量を貯水量 (Z_A, Z_B) の関数として決定することは非常に困難であり、実際の貯水池操作においても問題がある。以上の理由から、こゝでは貯水池A, Bからの放流量を同時に決定する方法をとらず、各貯水池の利水開発への貢献性の差異を考慮した上で、(貯水池Aの操作方式) $\rightleftharpoons$ (貯水池Bの操作方式)の決定を繰り返し、貯水池A, Bを総合して最大利益を生む操作方式の決定法を提案する。

2. 上流貯水池の操作方式

(1) 下流側の新規利水開発を目的とする場合

新設貯水池Aの目的が、 g_A, D_A に関する利益の増大ではなく、貯水池Bより下流の流量 g_B, D_B, g_C の新規利水開発である場合には、(3)(4)式は次式となる。

$$M_A = N_A = 0 \quad (8)$$

代替水の供給源が存在しないA地までの放流操作は、特定濁水流況を対象として決定されるべきである。すなわち、特定濁水流況 $\{Q_A\}$ と有効貯水容量 Z_{A0} によって、放流量 g_A, D_A の操作方式が決定される。こゝで D_A は灌漑用水および流域変更水量であり、貯水池Aの操作において高いサービス水準を確保することを条件として下流貯水池操作域外へ流出する。 g_A は発電用水および維持用水等の流量であるが、貯水池Aの調整機能によって下流の利水開発にも貢献するための制御変数である。

すなわち、次式の条件

$$M_A = 0, \quad N_A \geq 0 \quad (9)$$

の下に、放流量 g_A を仮定し、これによって下流貯水池Bの操作を行なうとき、(5)(6)(7)式の条件下に

$$(M_B + N_B + L_C) \rightarrow \max \quad (10)$$

とする g_A の放流操作を決定しなければならない。

(2) 上、下流の新規利水開発を目的とする場合

新設貯水池Bの操作により、(5)(6)(7)式の条件下に

$$M_A = \alpha, \quad N_A \geq \beta \quad \text{こゝに } \alpha, \beta > 0 \quad (11)$$

を満足する貯水池Aの操作は可能であろう。

従って、下流側の新規利水開発に関して、(5)(6)(7)(11)式の条件下に

$$(M_B + N_B + L_C) \rightarrow \max \quad (12)$$

とする g_A の放流操作を決定しなければならない。

3. 下流貯水池の操作方式

Fig-2において

Q_i : 期間 i の流入量 (Fig-1において $(Q_B + g_A)$) Q'_i : 期間 i の支川流入量

A_i : 期間 i の貯水池下流への放流量
 B_i : " 需要水量 (消費水量)
 C_i : " 貯水池放流量 ($= A_i + B_i$)
 D_i : " 下流需要水量

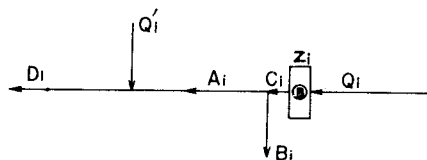


Fig-2

Z_i : 期間 i のはじめの貯水量
 支川流入量 Q_i および上流貯水池 A の貯水量を補給水と考えるとき、期間 $i \rightarrow N$ にわたって最も高い信頼度で需要水量 B_i, D_i を充足するような貯水池操作を最適操作方式とする。これによって、評価関数を以下のごとく設定する。

$i = 1, 2, \dots, N$ について

ϕ_i : 期間 i の貯水池放流量が C_i であるとき、これが需要水量 B_i, D_i を充足する確率

$P_i(Z_i)$: 期間 $i \rightarrow N$ における水需要の信頼度、すなわち、期間 i の貯水量が Z_i であるとき、期間 $i \rightarrow N$ の需要水量 B_i, D_i を充足する確率

以上の定義より、 $\phi_i, P_i(Z_i)$ には次の関係がある。

$$P_i(Z_i) = \prod_{i=1}^N \phi_i \quad (13)$$

放流量 C_i の、需要水量 B_i, D_i への配分については、上流側の需要水量 B_i に対して優先的に配分するものとすれば、 ϕ_i は次式のように表わすことができる。

(i) $C_i - B_i = A_i \geq D_i$ のとき

$$\phi_i = 1 \quad (14)$$

(ii) $0 \leq C_i - B_i = A_i < D_i$ のとき

$$\phi_i = \begin{cases} (A_i/D_i)^m + (1 - (A_i/D_i)^m) \cdot F(Q_i' \geq D_i - A_i | Q_i) & m > 0 \\ F(Q_i' \geq D_i - A_i | Q_i) & m \rightarrow \infty \end{cases} \quad (15)$$

$$m \rightarrow \infty \quad (16)$$

こゝに $F(Q_i' \geq D_i - A_i | Q_i)$: 貯水池流入量が Q_i であるとき、支川流入量 Q_i' が $(D_i - A_i)$ 以上の値をとる条件付超過確率

(iii) $C_i - B_i < 0$ のとき

$$\phi_i = h(C_i/B_i) \cdot F(Q_i' \geq D_i | Q_i) \quad (17)$$

こゝに $h(C_i/B_i)$: 需要水量 B_i の充足度を表わす関数で、次式で表わされるものとする。

$$h(C_i/B_i) = (C_i/B_i)^n \quad n > 0 \quad (18)$$

最適放流操作を行ったときの P_i の値を f_i とすれば、最適性の原理より次式が成立する。

$$f_i(Z_i) = \max_{C_i} \left\{ \phi_i \cdot f_{i+1}(Z_{i+1} = Z_i + Q_i - C_i) \cdot p(Q_i) dQ_i \right\} \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (19)$$

こゝに $p(Q_i)$: 流入量 Q_i の確率密度関数

制限条件および境界条件:

$i = 1, 2, \dots, N$ について

$$C_{iL} \leq C_i \leq C_{iU} \quad (20) \quad Z_{iL} \leq Z_i \leq Z_{iU} \quad (21)$$

こゝに C_{iL}, C_{iU} : 期間 i の下限, 上限放流量, Z_{iL}, Z_{iU} : 期間 i の下限, 上限貯水量,

$$f_i(Z_i) = 0 \quad \text{for } 0 \leq Z_i < Z_{iL}, \quad f_i(Z_i) = f_i(Z_{iU}) \quad \text{for } Z_i > Z_{iU} \quad (22)$$

$f_N(Z_N)$ の仮定:

単位期間を高々1ヶ月、利水計画期間を1水年とする貯水池操作について考える。この程度の規模の貯水池に対しては、洪水調節期間に以上のごとき利水を目的とする放流操作方式を適用することはできない。いましを月単位とし、利水計画期間を洪水期間の翌月より始まり、翌年の洪水期間の前月に終る期間にといは、 N は洪水調節開始月となる。洪水期間においては需要水量の充足度は十分高いものとし、 $f_N(Z_N)$ を次のごとく仮定する。

$$f_N(Z_N) = 0 \quad \text{for } 0 \leq Z_N < Z_{NL}, \quad f_N(Z_N) = 1 \quad \text{for } Z_N \geq Z_{NL} \quad (23)$$

(20)~(23)式の条件下に(19)式を解けば、期間 i の最適放流量 C_i^* および期間 $i \rightarrow N$ の信頼度 f_i が求まる。すなわち

$$C_i^* = C_i^*(Z_i), \quad f_i = f_i(Z_i) \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (24)$$

以上のような放流ルールは、Fig-1において貯水池Aからの放流量 Q_A を仮定して決定されたものである。A, B貯水池の連繫操作のシミュレーションを行なう場合には貯水池Aの貯水量をも補給水源として考慮しなければならない。すなわち、流入量 Q_B 、支川流量 Q_C および貯水量 Z_B によって下流需要水への供給が不可能な場合には貯水量 Z_A に補給水を求める。このようなシミュレーションによって、上、下流の各種需要水の充足度を調べ、これらが所要のサービス水準を満足するか否かによって、新規利水量の開発限度を検討することかできる。

4. 計算例

九頭龍川から淀川への流域変更可能量の算定に対してFig-2の系を考える。利水計画期間を5月から翌年の2月($N:3$ 月)とし、 Q は貯水池地奥広野の流量、 B は九頭龍川下流への水利権水量、 A は流域変更水量、 Q はびわ湖放流量、 D は新規利水開発量とする。これらの諸量は次の通りである。 $B: 6, 9 \text{月} - 56.33 \text{ m}^3/\text{day}$ (1.88 m^3)、 $7, 8 \text{月} - 108 \text{ m}^3/\text{day}$ (3.6 m^3)、その他の月 $- 4.65 \text{ m}^3/\text{day}$ (0.155 m^3)、 $D: 45.7 \text{ m}^3/\text{day}$ (1.5 m^3)、有効貯水容量 $Z_0: 393.5 \text{ m}^3/\text{day}$ ($3.4 \times 10^7 \text{ m}^3$)、 F は従来通りのびわ湖放流ルールを仮定した場合、淀川下流水利権以上の水が無効放流される確率である。評価関数は、(15)式において $m=1$ 、(18)式において $n=10$ とする。びわ湖からの補給水を期待しない場合は $F=0$ 、 $m=10$ とする。(Fig-3, 4)

