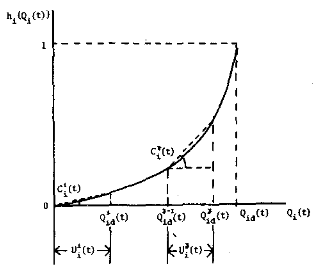
ダム群最適操作とその統合管理に関する研究

京都大学工学部　正　員　高棹琢馬
京都大学工学部　正　員　小尻利治
名　古　屋　市　正　員　○中山義則
京都大学大学院　学生員　湯山芳夫

1. はしがき　近年、同一水系に数多くのダムが建設あるいは計画中であり、それらの有効な運営を行なう統合管理方式の確立が要求されている。本研究はそうした問題に対処するため、複数ダム・複数評価地点をもつ大規模システムの制御限界を明らかにし、より効率的な制御システムの確立をはかるものである。

2. 洪水制御システムの分割化基準　複数ダムによる最適操作は、既に、著者らによって分解原理を導入して定式化が行なわれている[参]。本研究では、そうした大規模システムのダム操作に、DPを用いて最適化をはかった場合の有効性について述べる。いま、限定された主問題より得られるシンプレックス乗数を $\pi' = (\pi'_0, \pi_1 \pi_2 \cdots \pi_0)$ とすると部分問題 i の評価関数 $\mathbb{C}'_i$ はもとの評価関数を $\mathbb{C}_i$、ダム i の係数行列を $\mathbb{A}_i$ とすると、

$$\mathbb{C}'_i = \mathbb{C}_i - \pi'_0 \mathbb{A}_i \qquad (1)$$



図－1

となる。ところが、DPを用いれば、図-1のような評価関数 $D_i\{Q_i(t)\}$ では、部分問題の評価関数は、

$$D'_i\{Q_i(t)\} = D_i\{Q_i(t)\} - E_i(t)\cdot Q_i(t) \qquad (2)$$

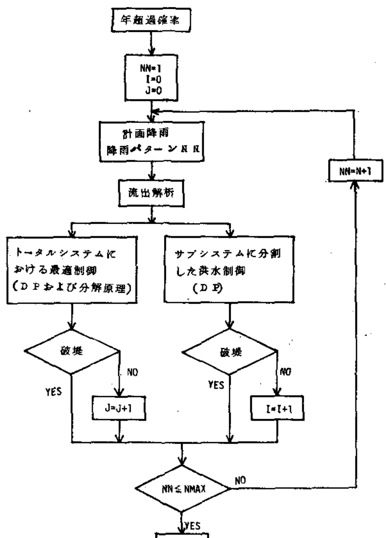
でよいことになる。ここに $Q_i(t)$ は評価地点の通過流量、$E_i(t)$ は $\pi'_0 \mathbb{A}_i$ を時間関数としたものである。式(2)は次のようにして得られる。すなわち、同図のような部分線形化を行なうと、式(1)に対応する評価関数の傾きは

$$C'^{j}_i(t) = \frac{D_i\{Q^{j}_{id}(t)\} - D_i\{Q^{j-1}_{id}(t)\}}{Q^{j}_{id}(t) - Q^{j-1}_{id}(t)} - E_i(t) \qquad (3)$$

となる。結局、部分問題での評価関数は

$$D'_i\{Q_{id}(t)\} = C'^{j}_i(t)\{Q^{j}_{id}(t) - Q^{j-1}_{id}(t)\} + D'_i\{Q^{j-1}_{id}(t)\} \qquad (4)$$

となり、式(3)、式(4)と関数の初期条件を考慮すると、式(2)が得られる。

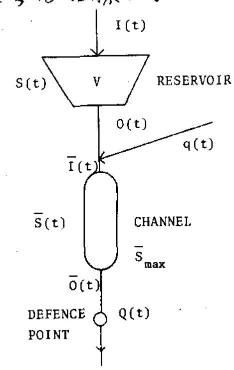


図－2

このようにして、大規模システムでの最適操作がDPによって定式化されることが明らかにされたわけであるが、ダム群の配置を空間的・時間的にとらえると、その制御効果の範囲も限られているはずである。したがって、相関性の強いダムでサブシステムを構成し、トータルシステムの操作を、各サブシステムの操作結

果を結合したものとすれば，計算時間や，記憶容量の点でも極めて有利になる。その手順を示したのが図-2であり，具体的には次のようになる。すなわち　図の手順で制御を行なうと，最終的には，(1) J/NN がその超過確率における現在の河川管理施設での安全率，(2) I/NN がその超過確率においてサブシステム化した場合の安全率となる。その結果，(3) I/J がサブシステムに分割する指標となり，一つの基準として　$I/J=1$　のときがその年超過確率ではサブシステム化可能といえよう。また，年超過確率を変化させて制御を行なうと，現在の河川管理施設での安全率を求めることができ，治水計画上の重要な指標ともなる。

3．河道の流下機構を含んだダム操作　　ところで，2．で，サブシステム化をはかる場合，サブシステム内でのＤＰによる最適化をより実際現象に対応させて定式化するには，河道の流下機構の導入が不可欠である。ＤＰの定式化では最適性の原理が成立しなければならないから，本研究では洪水追跡法として，今後の流量が現時点の河道貯留量に集約される貯留関数法を導入する。いま，図-3のようにダムと河道を表現すると，連続式はそれぞれ



図－3

$$\{S(t)-S(t-1)\}/\Delta t = I(t) - O(t) \qquad (5)$$

$$\{\bar{S}(t+T_l)-\bar{S}(t+T_l-1)\}/\Delta t = \{\bar{I}(t)+\bar{I}(t-1)\}/2 - \{\bar{O}(t+T_l)+\bar{O}(t+T_l-1)\}/2 \qquad (6)$$

となる。また，貯留関数式および評価地点流量はそれぞれ，

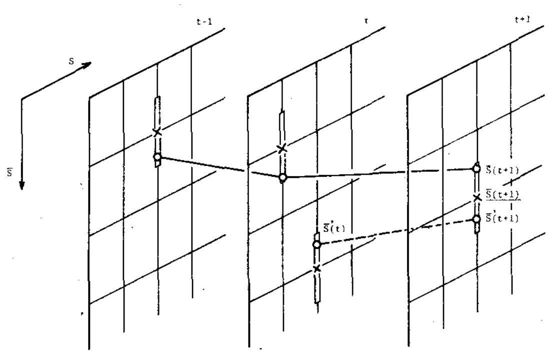
$$\bar{S}(t+T_l)=K\{\bar{Q}(t+T_l)\}^P \qquad (7)$$

$$Q(t) = \bar{O}(t) \qquad (8)$$

となるから，ＤＰの漸化式は次のようになる。

$$f_t(S(t),\bar{S}(t+T_l)) = \min_{S(t)+I(t)-S(t-1) \leqq O \leqq S(t)+I(t)} \left\{ D\left[\frac{Q(t+T_l)+Q(t+T_l-1)}{2}\right] + f_{t-1}\left(S(t-1),\bar{S}(t+T_l-1)\right) \right\} \quad (t \geqq 3) \qquad (9)$$

ただし，$t=1,2$ではダムと河道の初期条件より，漸化式は一意的に決定される。式(9)より明らかなように，河道貯留効果を考慮したＤＰの定式化は状態量が２個，決定量が１個の最適問題となる(図-4)。つまり，ある制御時刻 t でのダムのある貯留状態から，時刻 $t+1$ の状態へ移るプロセスは１本しか存在しないことである。また，河道の貯留状態を離散的にとるため，式(7)の非線形性より，制御後に水収支が満たされない場合がある。そのため，図中の格子点をその近傍の代表値と考えて，各代表値での貯留状態は別に記憶し，水収支を満たしながら計算を進めて，最適系列を求めることも必要である。



図－4

4．あとがき　　以上のように本研究では，ダム群統合管理の基本方針を明らかにし，操作ルール確立の手順を考慮した。今後，i) 計算時間の短縮，ii) 次元の節減化をはからねばならないが，a) 電子計算機の能力の向上，b) 降雨予測技術の時間的、精度的改善によって実時間操作での適用も可能になろう。

〈参考文献〉高棹・小尻・藤井；ダム群の大規模システムにおける最適操作　　土木学会年次講演会 講演概要集　1976.10