複数ダム・複数評価地点システムにおける洪水制御に関する研究

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
神戸製鋼所　正員　○藤井　修

1．はしがき　複数ダム・複数評価地点における水量制御問題を，水系全体として合理的に扱おうとすると，多数制約条件下の多変数決定問題となる．本研究は，このような大規模な問題を定式化した場合，係数行列が対角ブロック構造をもつことに着目し，従来のDP制御方式の計算機における占有記憶語数・計算時間の長大化を改善すべく，ディコンポジション法を適用し，計算能力の拡大をはかろうとするものである。

2．水量制御問題へのディコンポジション法の適用　まず，流下合流機構として応答関数

$$h(t) = e^{-t/k}/k \qquad (1)$$

を考え，これによって河道効果を表現したときの最適水量制御問題の定式化をおこなう。ダム群の最も基本的な並列配置（図－1）の場合のマトリックス表示は図－2のようになり，また，直列配置のダム群の場合も同様な表示となる。ここに，kは貯留定数，図中の$r_k^{(t)}$ ($t=1,2\cdots T$) は(1)式の応答関数を離散的に表現した時間配分率，Tは制御期間である。したがって，最適水量制御問題をLPで定式化すると，『水系全体に関する制約条件として，

$$\sum_{i=1}^{p} A_i^1 x_i \ge b_0^1 \ ,\quad \sum_{i=1}^{p} A_i^2 x_i = b_0^2 \ ,\quad \sum_{i=1}^{p} A_i^3 x_i \le b_0^3 \qquad (2)$$

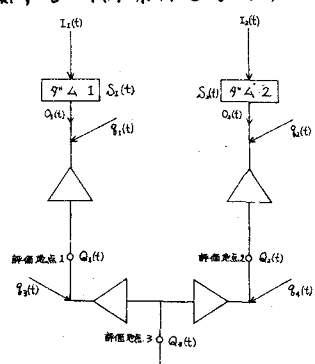
および，各ブロックiのみに関する制約条件として

$$B_i^1 x_i \ge b_i^1 \ ,\quad B_i^2 x_i = b_i^2 \ ,\quad B_i^3 x_i \le b_i^3 \quad x_i \ge 0 \qquad (3)$$

が存在し，これらの制約条件のもとで目的関数

$$Z = \sum_{i=1}^{p} C_i^T x_i \qquad (4)$$

を最小（あるいは最大）にするx_i，すなわち，ダムkの貯水量$S_k(t)$，評価地点iの通過流量$Q_i(t)$を求める。』こととなる。ここに，AおよびBは図-2に示すような行列の要素をもち，b^1は利水上の確保流量QD_{min}，b^2は流入ハイドログラフ$g(t)$，b^3は治水上の河道疎通能力あるいは計画高水流量QD_{max}およびダム容量CD，またTは転置行列である。



図－1　ダム群の配置図（並列型）

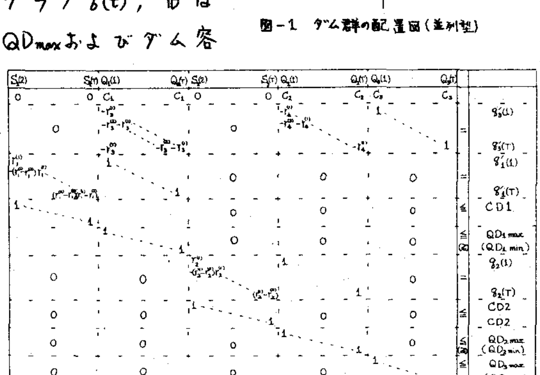


図-2　水量制御問題のマトリックス表示（並列型）

以上の大規模問題にディコンポジション法を用いる手順は次のようになる。すなわち，

(i)　(3)式が作る凸多面体の端点の凸線形結合で表わしたx_iを(2)式に代入したマスター問題の変数のうち現在の基底変数および次に基底変数となり得る候補の変数のみからなる限定マスター問題について考える。

(ii)　固定されたブロックiに対して，基底に

入れる変数をみつける問題はi番目の部分問題

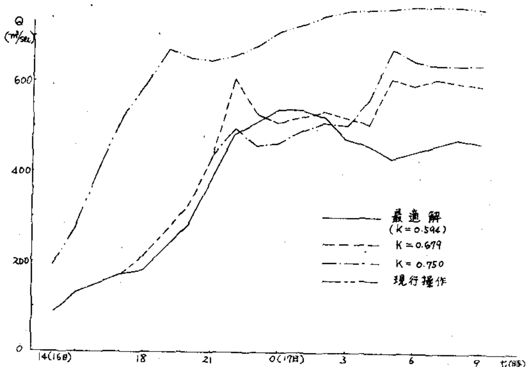
$$\text{minimize}\quad Z_i = (\mathbb{C}_i' - \pi_o' \mathbb{A}_i)\, x_i \qquad (5)$$
$$\text{subject to}\quad \mathbb{B}_i x_i = \mathbb{b}_i \qquad x_i \geq 0$$

を解くことと等価である。これらP個の部分問題を解いて得られる$Z_i = Z_i^*$がすべてのiに対して，

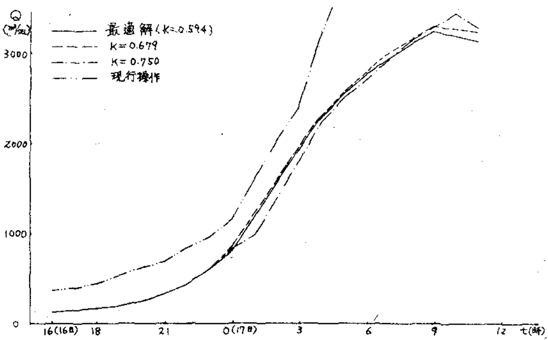
$$Z_i^* - \pi_i \geq 0 \qquad (6)$$

を満たすならば，現在の基底可能解が最適解である。ここにπ_o'，π_iは基底解に対応するシンプレックス乗数（shadow price）である。

(iii) (6)式が満たされないならば，今解いたP個の部分問題の基底解および先に選ばれている端点によって新たな限定マスター問題をつくる。この新しい問題の基底解に対応するシンプレックス乗数を用いて再び部分問題を解き(6)式の最適性の条件が満たされるまで上の手順を繰返す。



図－3　宇治地点通過流量



図－4　枚方地点通過流量

3．適用と考察　　以上に述べた方式を淀川流域の青蓮寺・室生・高山・天ヶ瀬の4ダム，名張・加茂・宇治・枚方の4評価地点に適用した。なお適用台風は1972年の20号台風である。また評価関数としては，洪水による破堤の危険率は通過流量に比例するとみなし，つぎのような関数を用いた。

$$D_i\{Q_i(t)\} = C_i \cdot Q_i(t) \qquad (7)$$

さらに，破堤の危険率を最小にするとともに，ピーク流量をも低減させるという制御目的を達成するため，QD_{max}を解が存在する限り低下させるという手法を用いた。宇治・枚方地点の通過流量について制御結果を図－3・図－4に示す。図より明らかなように許容流量が下がり，最適解（許容流量QD_{max}が計画高水流量の0.594のとき）に近ずくにしたがってピーク流量が低減し，かつ通過流量は平滑化されていることがわかる。したがって，破堤の危険率およびピーク流量を下げるという制御目的を十分満たしているといえる。名張・加茂地点についても同様な傾が得られた。最適解における名張・加茂・宇治・枚方地点のピーク流量と計画高水流量の比はそれぞれ0.198，0.512，0.594，0.271となり，宇治地点が一つの隘路となっている。

4．結語　　本研究は任意の流況・貯水状態に対するダム群の統合管理をめざすべく，複数ダム・複数評価地点系の水量制御問題にディコンポジション法を適用し，計算機の占有記憶語数・計算時間の短縮をはかった。また，部分問題をDPで解くことや，非線形評価関数の部分線形化によって，流量系列の平滑化を行なうことが可能であり，現在，適用中である。

<参考文献> LEONS S. LASDON：Optimization Theory for Large System，　The Macmillan Company