貯水池群による最適洪水調節について

近畿大学理工学部　正員　江藤　剛治

1．はじめに　大型電子計算機による貯水池群の，洪水時における最適操作に関する実用的な解法の開発にあたって，まず最初に直面するのはいわゆるディメンジョナリティの制約である。一般にこの問題を解決するためには次の2つの方針に従って研究を進める。
i）センシビリティ・アナリシスにより，あるいは直観的に最終的な解に強い影響をおよぼすシステム・パラメーターおよびシステムの特性と，そうでないものを明確に分離し，後者は極力無視することによってシステム・モデルの簡略化をはかる。
ii）上記のモデル化されたシステムの特性によく適合し，高速かつ大記憶容量を必要としないあらたなアルゴリズムを開発する。
以下これらの方針にそって表記の議論を展開する。

2．洪水時における貯水池群システムの特性　紙数の関係で，利水目的の貯水池群システムの特性との相違点の比較により，洪水時における貯水池群システムの注目すべき特性を浮き彫りにする。大きな相違点は以下の3点であろう。
a）評価関数の相違，b）流量の伝達における時差，c）流況の予測精度。
評価関数の相違は，単に損失量が治水問題に対しては流量と正相関に，利水問題に対しては逆相関になるといった単純なことだけではない。すなわち直観的に，利水問題では損失量は流量の比較的連続な減少関数で表わされると考えられるのに対し，治水問題では河道の許容流量を境として，それ以上の洪水流量に対しては不連続的に莫大な被害を生ずると考えられる。これがたとえば渇水時には段階的な放流量制限を行なうのが普通であり，洪水時には一定量放流のごときステップ関数的な放流方式さえ是認されうるといった現状の操作規定の背景になっていることはいうまでもない。
流量伝達時差について述べる。ある貯水池からの放流量が下流の評価地点，あるいは下流側貯水池に到達するに要する時間は最大限数時間のオーダーである。利水問題を取り扱う場合の時間単位は最小限日〜旬であることを考慮すれば，この場合は到達時間を無視することができる。一方治水問題ではこれが重要な役割を演ずることはいうまでもない。この場合たとえば時間単位を1時間とすれば，下流の流況あるいは貯水池操作方式の決定には，前段階のみならず数段階（数時間）さかのぼった上流貯水池における決定が直接影響する。このような問題に対して通常のDPが有効な手段となりうるかどうかは疑問である。
流況の予測精度については最近の大河川ではテレメーター・システムや流出解析システムなどの整備により，少くとも台風性洪水については，数10%の精度内で数時間後の流況を予測できる。

3．解法の呈示　前節の考察より，有効なアルゴリズム開発のためのいくつかの方策が考えられる。その1つとして筆者は次のような手法を試みることにした。
i）ひとまず予測水文量は完全に信頼できるものとする。

ii) 時間軸・距離軸の全ステップをおおう領域について，水理現象を表わす条件式群を線形関数群で表わし，目的関数を線形式あるいは非線形式の最大化（最小化）の形で表わす。すなわちＬＰあるいは*Nonlinear Programing*（実際には目的関数を流量の２乗の関数としたのでＱＰ）により操作方式を決定する。

iii) 予測水文量の不確実性については通常行なわれるごとく，貯水池容量，河道の許容流量に多少の安全率（余裕高）を見込む。この余裕高の決定には，適当な種類のＯＲ手法によるか，あるいは誤差を含めてシミュレートされた降水資料を用いて上述の解を多数求めたシミュレーション結果より決定する。

４．定式化　定式化を容易にするためにベクトル・マトリックス表示を導入した。

j 番目の河道への流入量が既知であるときはこれを$\mathbb{Q}_j$，未知であるときは$\mathbb{X}_j$と表わし，流出量を$\mathbb{Y}_j$，伝達マトリックスを$\mathbb{T}_j$とすれば，

$\mathbb{Y}_j = \mathbb{T}_j \cdot \mathbb{X}_j$　あるいは　$\mathbb{Y}_j = \mathbb{T}_j \cdot \mathbb{Q}_j$ ……(1)

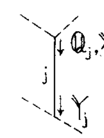

図1 河道部

つぎに第 j 河道（上流側）と，第 j' 河道（下流側）の間の貯水池の初期貯水量を$S^0_{jj'}$，以後の貯水量ベクトルを$\mathbb{S}_{jj'}$とすれば，

$\mathbb{S}_{jj'} = S^0_{jj'} \cdot \mathbb{I}_N + \mathbb{T}_r \cdot (\mathbb{Y}_j - \mathbb{X}_{j'}) \cdot \Delta t$ ……(2)

ここに，$\mathbb{I}_N$は（$1 \times N$）の要素が全て'1'なる単位ベクトル，$\mathbb{T}_r$は左下半分の要素が全て'1'，あとは'0'なる（$N \times N$）の三角行列，Δtは時間単位。

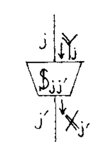

図2 貯水池

第 j 河道と第 j' 河道が合流して第 j'' 河道となる合流部分については，

$\mathbb{X}_{j''} = \mathbb{Y}_j + \mathbb{Y}_{j'} = \mathbb{T}_j \cdot \mathbb{X}_j + \mathbb{T}_{j'} \cdot \mathbb{X}_{j'}$ ……(3)

流入量が既知の時は当然$\mathbb{X}_j$，$\mathbb{X}_{j'}$は$\mathbb{Q}_j$，$\mathbb{Q}_{j'}$に変わる。このとき条件式群は，各河道の流量が正であることから，$\mathbb{X}_j \geqq \mathbb{O}$ ……(4)

第 k 貯水池の貯水池容量ベクトルを$\mathbb{V}_k$とすれば，貯水量$\mathbb{S}_k$は正かつ$\mathbb{V}_k$を超えないことから，$\mathbb{O} \leqq \mathbb{S}_k \leqq \mathbb{V}_k$ ……(5)

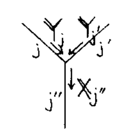

図3 合流部

目的関数についてはつぎのような数例を仮定した。たとえば各防御地点の流量を$\mathbb{X}_j$とすると，

i) $\mathbb{X}_j$がある許容流量Q_{aj}を超えないという条件のもとに，できるだけすみやかに貯水池からの放流を行なうという場合に対しては，(4)式のかわりに，$Q_{aj} \geqq \mathbb{X}_j \geqq \mathbb{O}$ ……(6)

なる条件を加えて，$Z = \sum_n \sum_k \mathbb{S}_k \longrightarrow min$ ……(7)

$\mathbb{S}_k$には重みをつけてもよい。

ii) $\mathbb{X}_j$の重みつき２乗和を最小とする場合は，たとえば重みを１とすると（１としても一般性は失なわない），$Z = \sum_n \sum_j \mathbb{X}_j \cdot \mathbb{X}_j^T \longrightarrow min$ ……(8)

実際の計算は手法上の基礎的な問題点把握のため，非常に単純化された場合について計算した。すなわち単一貯水池，時間ステップ５以下の場合について手計算を行なったが，第２の目的関数については直観から予想される結果に一致する解を得た。また貯水池が２個，河道８本，時間ステップ12の場合についても定式化を行なったが，ダミー変数・スラック変数を含むシンプレックス・タブローは約100×200のマトリックスとなった。

計算例およびシンプレックス・タブローの例は講演時に示す。