ダム群統合管理について(I) ——— 貯水位の制御 ———

東北地建　正員　工修　尾田　栄章

§1　はじめに

本研究は、ダム群統合管理のための基礎的研究の第1歩として、貯水位の制御について考察する。多目的ダムの管理は、大きくわけると次の2つの段階にわけられよう。

1)　相反する治水、利水目的の競合にて決定される貯水位の制御

2)　貯留不能分の流入水の最適放流

2)の最適放流については、近年多数の研究がみられるが、1)については、みすごされているといえよう。これは従来の管理方式が治水、利水容量を分離した制限水位方式であり、固定されたものとして治水容量が考えられている事、降雨予測が不完全である事、等に起因しよう。

しかし、降雨予測、すなわち流入予測が充分早く完全になされれば、ダムの最適制御は、"流入量にみあう貯水容量を確保し、流入後に貯水位は満水位に達している。"と単一に決定され、2)の段階が必要となる（総流入量 ＞ 総貯水容量）場合は特異な大洪水の場合のみになり、利水面でも利益は大となろう。

しかし、現状では、降雨予測が完全になされるにはほど遠い。この不完全な降雨量予測の状態において、制限水位方式をはずした貯水位の制御方法について考察する。

§2　貯水位の制御

現在の制限水位方式は、決定論的にみると、思想としては、Game の理論における情報量なしの状態における意思決定基準、minimax 基準によっている事がわかる。

すなわち、次の損益行列

表-1　損益行列

戦略	利　水	治　水
制限水位以上	a_{11}	a_{12}
制限水位	a_{21}	a_{22}
制限水位以下	a_{31}	a_{32}

において

$$\min_i \max_j a_{ij} = a_{21} \text{ or } a_{22}$$

となるので、制限水位に常に貯水位を保つ、というのが、制限水位方式の思想であろう。

しかし、現在では、不完全情報である気象予報が与えられる。このような不完全情報のもとでの、貯水位制御方式を損益の期待値最小という意思決定基準のもとで考察する。

気象情報等による総流入量予測の確率密度関数 $f(x)$，総流入量をもって満水位まで達しない事、す

なわち過大な放流による損益を表わす関数$F_1(x)$，出水時に放流を予儀なくなる事，すなわち過少な放流による損益を表わす関数$F_2(x)$が与えられると，現可能調節量Xをx_0にする事による損益の期待値は、

$$R(x_0)=\int_0^{x_0} f(x)\,F_1(x_0-x)\,dx+\int_{x_0}^{\infty} f(x)\,F_2(x-x_0)\,dx \quad \text{----------(1)}$$

$$(x_0 \geqq X)$$

となり，その時点の最適な貯水容量は

$$\min R(x_0)=\min\left[\int_0^{x_0} f(x)\,F_1(x_0-x)\,dx+\int_{x_0}^{\infty} f(x)\,F_2(x-x_0)\,dx\right] \text{----(2)}$$

$$\text{ただし}\quad x_0 \geqq X \quad \text{拘束条件}$$

なるx_0で与えられる。

ここで問題となるのは，$f(x)$，$F_1(x)$，$F_2(x)$の関数形および$(X-x_0)$の放流可能性である。これらについては，湯田ダム（流域面積$563\,km^2$，貯水容量$1.17\times10^8 m^3$）を例にとり，§3で考察する。

一般にN個のダム群の場合には，次の様になる。

損益の期待値は、

$$R(x_0^1, x_0^2, \cdots, x_0^N)=\int_0^{x_0^1}\cdots\int_0^{x_0^N} f(x^1, x^2, \cdots, x^N)\,F_1(x_0^1-x^1, \cdots, x_0^N-x^N)\,dx^1 dx^2\cdots dx^N$$

$$+\int_{x_0^1}^{\infty}\cdots\int_{x_0^N}^{\infty} f(x^1, x^2, \cdots, x^N)\,F_2(x^1-x_0^1, \cdots, x^N-x_0^N)\,dx^1 dx^2\cdots dx^N$$

$$\text{-----}\quad(3)$$

$f(x^1, x^2, \cdots, x^N)$ ： 各ダムへの流入量が$x^1, x^2, \cdots x^N$である確率密度関数

$F_1(x^1, x^2, \cdots, x^N)$ ： 各ダムの過大な放流による損益関数

$F_2(x^1, x^2, \cdots, x^N)$ ： 〃 過少 〃

となり、各ダムの最適な貯水容量は

$$\min R(x_0^1, x_0^2, \cdots, x_0^N)$$

となる$(x_0^1, x_0^2, \cdots, x_0^N)$で与えられる。

§3 $f(x)$，$F_1(x)$，$F_2(x)$，余裕時間

＊$f(x)$の決定

$f(x)$は気象予報，すなわち"天気予報"，"気象情報"，"週間予報"等から決定されるが，ここでは主として量的予報のなされる"気象情報"について考える。

気象予報により雨量予報値$\bar{z}$が与えられた時，確率密度関数$f(x)$は

$$f(x) = P_r(x \mid z) \quad \text{---------} \quad (4)$$

z：予想雨量，　x：予想雨量 z に対する実績雨量

と条件付確率で表わされ、ベイズの定理より、

$$P_r(x \mid z) = \frac{P_r(x, z)}{\int P_r(x, z)\,dx} \quad \text{----} \quad (5)$$

と展開される。$P_r(x, z)$ は，雨量予報値が z，実績雨量が x となる同時確率密度関数であり、x, z がなんらかの関数変換で正規化できれば

$$P_r(x, z) = \frac{1}{(2\pi)|R|^{\frac{1}{2}}} \exp\left(-\frac{1}{2}\sum_{j,j'}^{2} \sigma^{jj'}(x_j-\bar{x})(z_{j'}-\bar{z})\right)$$

$$\text{-------} \quad (6)$$

$[R]$：共分散行列，$[\sigma^{jj'}]$：共分散行列の逆行列

で表する。

昭和41年5月～10月に出された予報値（気象情報）と実績値の関係は図-1の○印のようになる。予報値実績値をそれぞれ正規確率紙上にプロットすれば図-2のようになり、関数変換しなくともそのままで正規分布とみなせる。図-1に示した資料より、(6)式の$[R]$ $[\sigma^{jj'}]$を求めれば

$$[R] = \begin{bmatrix} 1380.7 & 1120.5 \\ 1120.5 & 1440.3 \end{bmatrix} \qquad [\sigma^{jj'}] = \begin{bmatrix} 0.00196 & -0.00152 \\ -0.00152 & 0.00188 \end{bmatrix}$$

となり、等確率楕円は図-1のようになる。

(4),(5),(6)式より予報値40mm，100mm，140mm に対する $f(x)_{40}$，$f_{100}(x)$，$f_{140}(x)$ を求めると図-3のようになる。

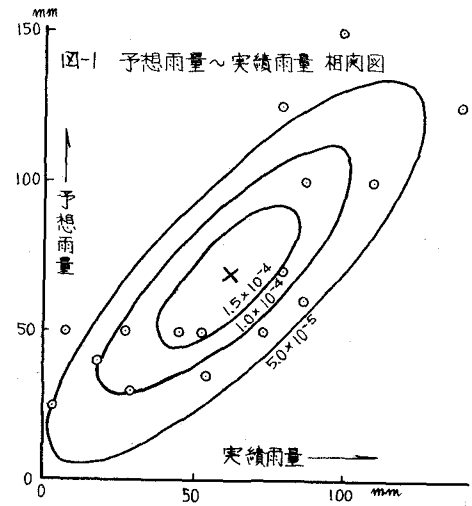


図-1　予想雨量～実績雨量 相関図

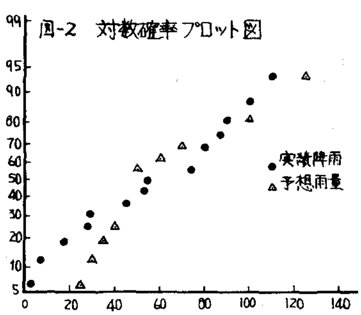


図-2　対数確率プロット図

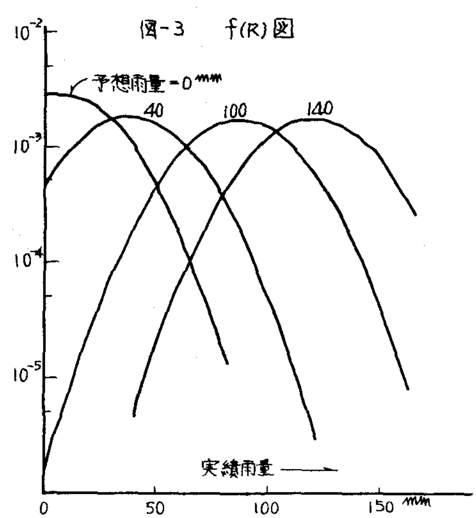
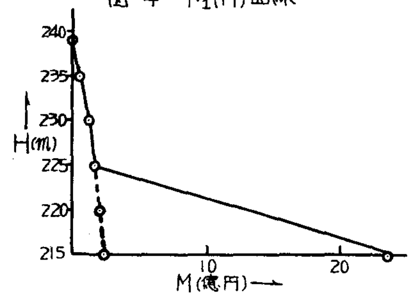


図-3　f(R)図

＊$F_1(x)$ の決定

$F_1(x)$は、上水道等生命維持に必須な需要量にくいこまない範囲では、主として発電用水、灌漑用水工業用水により決定される。

図-4　$F_1(H)$曲線



湯田ダムでは、上水道，工業用水はなく、$F_1(x)$は発電、灌漑用水のみにより決定される。

発電用水の損益関数は

$$F_1(x) = \alpha \int 9.8\, H.Q\, dT = \alpha \frac{9.8}{3600} \int H\, dV$$

α：単価，円/kWH　dT：時間　H：有効落差　Q：m³/sec

で求まり、単価として市価の平均 10円/kWH をとった。

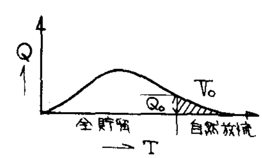
灌漑用水の損益関数は、損益が年間計画給水量 43,800,000 m³ を確保できなくなった時から生じ、新規開田、在来田畑計 3,540 ha の米穀換算年額 2,124,000,000円 が灌漑用水容量０までの間で線型に減少すると仮定して求めた。

$F_1(x)$ は、発電用水，灌漑用水の和より図-4 のように求まる。

＊$F_2(x)$ の決定

$F_2(x)$は、各ダムの支川流域の被害のみでなく、本川に合流した後の本川の被害をも考慮しなければならない。又放流体積のみの一価関数と考える事には無理があろう。しかし、満水位に達してからは自然越流、すなわち§1で述べた2)の段階の操作はおこなわないと仮定すれば、既往洪水群のハイドログラフを解析する事より図-5のV_0とQ_0の関係を求める事が出来、Q_0と損害額との関係より$F_2(x)$は決定できる。

図-5　$F_2(x)$説明図



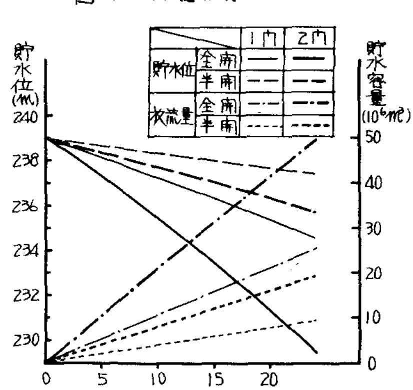
＊余裕時間

与えられた"気象情報"により決定した$f(x)$より(2)式で求めたx_0が、$x_0 > X$ ならば $(x_0 - X)$ の貯留水を放流するが、その放流に要する時間、すなわち余裕時間が問題となる。

$f(x)$を求めるのに用いた予報群では、予報がだされてから雨量ピーク時点までの平均時間は 10.0 時間となっている。

湯田ダムの放流設備は，常時はラジアル・ゲート　２門であり、　放流時間 — 放流量の関係は図-6のようで、10時間の余裕時間では最大$20 \times 10^6 m^3$程度の貯水容量を確保できる。

図-6　放流能力



§4　むすび

本研究は"ダム群統合管理"には程遠く，貯水位の制御についてすらこれからである。$F_2(x)$の形を求め年間を通したSimulationをおこなうと共に、"統計的決定論"との関係において理論の展開をはかりたい。