II－8　水資源開発規模の確率論的評価

京都大学防災研究所　正員　石原安雄
同　正員　○長尾正志
京都大学工学部　学生員　石谷藤四郎

水資源の開発規模を評価する際に，開発によって生ずる経済効果を見積るために，利益の年平均値を算定することは極めて重要である．水資源開発事業の主体は貯水池の築造であるが，利用できる貯水容量には一定の限度がある。この貯水容量を利用して変動する河川の流況を平滑化するわけであるが，この場合渇水はいろいろの状態で現われるので，すべての渇水状況に対して常に需要水量を満すような規模の開発を行なうことは必ずしも最良というわけにはいかない。異常な渇水期にはある程度の不足を生じても，経済効果を最大とするような開発の規模を採用する方が得策である。このような開発においては，異常渇水時には供給水量の制限を行なうわけであって，水量が不足するので必然的に損失を伴なうが，水量制限の方法としてはこの損失を最小にすることが望ましいことはいうまでもない。以下このような考え方から，びわ湖の開発問題を例として検討した結果を述べる．

1.　びわ湖開発規模の特徴　　びわ湖の水は現在京阪神地区の各種用水に利用され，平均して約60％利用されている。これを同地区の発展に伴なって，建設省案によれば約85％にまで引上げようとしている。したがってびわ湖への年総流入水量が総需要水量を下まわる場合もしばしば生じ（約20％の確率），数年にわたる水量調節が必要となってくる。これにはびわ湖の有効利用容量を大きくすることによってはじめて可能となり，小規模の貯水池による計画では到底不可能である。

2.　渇水確率の評価　　ここにいう渇水確率とは，需要水量を常に確保するという条件で貯水池を操作した場合に，需要水量を補給できなくなる確率を一年を単位として表わしたものをいう。このような意味での渇水確率の評価については Langbeinによる待ち合わせの理論を応用した研究があるが，確率評価の点で問題がある．そこで経験的分布関数という意味から，1903～1962年の間の実績流入量を用いて，予定されている需要水量を必ず確保し，満水位時には無効放流を行なうという条件で，各月の終りの水位低下量Hを計算し，月毎の生起確率を求めた結果が図-1である。すなわち，利用水深の増減によって，水量が不足する確率も増減するわけである。なお計算の始期は豊水が続いて満水状態となると予想される1903年7月末を満水位（H＝0）とした。この図から，たとえば建設省案による最大利用水深3mは非超過確率がほぼ5％の曲線に対応している。換言すれば，この開発規模は，20年に1年の割合で（1年を単位として考えたときの危険率が5％），水量が不足するものであるといえよう。しかし，上例では最大利用水深を3mとしたが，この値の決定は，はじめに述べたように経済効果の面から決定しなければ

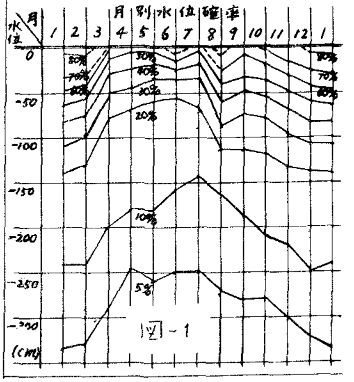

図-1

ばならない。そのためには開発による利益額の年平均値を求めなければならない。

3. 期待損失額と貯水池操作法　水資源開発による利益の期待値をいま $E(B)$ とする。上述したように，利用水深を定めると長年の間には必ず水量の不足を来す。このときには，計画水量に対する利益額 B_0 から水量不足による損失額 L を差し引いたものが純利益 B となる。したがって，

$$E(B) = E(B_0 - L) = E(B_0) - E^*(L) \qquad (1)$$

ここに，E^* は期待額を示す。よって，$E(B)$ を最大とするように貯水池を操作することは，$E(B_0)$ が一定であるから，$E^*(L)$ を最小とすることを意味している。

さて，貯水池の操作法はいろいろと考えられるが，ここでは異常渇水期（1939～1945の7年間）の実績を対象とし，ある水位 H_0 以下の水位に対して一定率 α で放流水量を制限した場合に，最低下水位が丁度計画最低水位 H_m となるような操作を行なうと仮定した。したがって，制限の割合 α とその開始水位 H_0 との間には1対1の対応が成立つ。このように仮定した操作方法を行なうと，不足水量は貯水池水位が H_0 以下となったときに生じ，しかも不足する割合ないしは不足水量は一定となる。したがって，∵水量不足時の損失額も同一の H_0 に対しては一定値に保たれる。よって，単位期間当りの水量不足による損失額を $\ell(\alpha)$ とすると，H_0 と α とで定められる操作を行った場合に H_0 より大きい H_j（ただし水位 H は満水面を0とし下方を負とする）の生起確率密度を $f_1(H_j)$ とすると，期待損失額 $E^*(L)$ は，

$$E^*(L) = \int_{H_m}^{H_0} \ell(\alpha)\, f_1(H_j)\, dH_j = \ell(\alpha)\int_{H_m}^{H_0} f_1(H_j)\, dH_j\,,\quad ただし\ \int_{H_m}^{0} f_1(H)\, dH = 1 \qquad (2)$$

(2)式の計算を行なうには，一組の H_0, α に対して資料のある期間について流量追跡を行なって f_1 を求めなければならない。これは非常に面倒であるので，びわ湖の例ではつぎのような近似的方法を用いた。すなわち，図-1を計算したときに得られる水位の経年的変化図から，-30 cm 以下の水位が継続するものを一つの渇水のパターンと考え，その間の最低下水位 H_p で代表させることとした。この場合には，渇水の期間と $H_p-(-30\,\mathrm{cm})$ との間にはほぼ比例関係が成立つことが確かめられた。渇水をこのように表わすと，H_0 と α を設定したときに渇水期間が多少変化するが，ほぼ比例的に変わると考えてよいから，結局(2)式は近似的に次式で表わされる。

$$E^*(L) \propto \ell(\alpha) \underline{\int_{-\infty}^{H_0} (H_p - H_0)\, f_2(H_p)\, dH_p \equiv E_1^*(L)} \qquad (3)$$

ここに，f_2 は H_p の生起確率密度である。図-2 はこうした関係を示したものである。

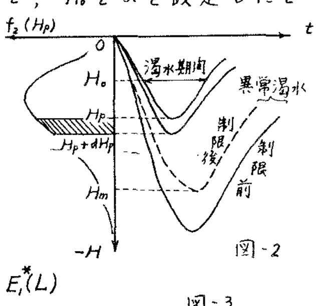

図-2

4. 計算結果とその考察　(3)式によって種々の H_0 に対して，$E_1^*(L)$ $\ell \propto \alpha^2$ として $E_1^*(L)$ を求めた結果が図-3である。これによると，$H_0 = -160$ cm，$\alpha = 0.12$ が得られる。最後に，この H_0, α を用いて実績流量の追跡を行なって $f_1(H_j)$ を計算し，さらに(1)および(2)式に対して適用すれば，合理的な利益期待値 $E(B)$ が求められる。

図-3