

東京大学工学部 正員 高橋 裕

東京大学工学部 学生員 竹内邦良

東京大学工学部 学生員 大熊 孝

1. 要旨

水資源は地域的にも季節的にも偏在しており、毎年洪水に悩まされる反面、水需要の増大にともない水不足が深刻化している。この矛盾を解決するために、水資源計画に関する研究がいくつかなされている。いままでの水資源計画の研究では、経済的目的関数を持ち、貯水池の容量を変数とした一種の最適化問題を扱っている研究が主流をなしている。これらの研究の欠陥として、貯水池の操作方を固定的なものにしていることが挙げられる。水資源計画の最適化問題では、貯水池の操作方は重要な変数と考えられる。われわれは、所与の水資源システムに対して、流域における洪水ならびに渇水による年平均被害額を最小にする最適操作方法を見い出すことを主眼とした。この為、われわれは次の二点に目標を定め研究を行なった。

- (1) 一流域に建設された複数の貯水池を統合的に連繫操作することによって、互に独立に操作した場合に比して、洪水ならびに渇水による被害をより小さいものにする。
- (2) 限られた利用可能水量を、各ユーザーに対して、経済的緊急度に応じて配分することにより、渇水による総被害を最小化する。

本研究の結論の運用対象は、既存貯水池群の統合管理ということが第一であるが、そればかりでなく、次のような方法により、水資源システムの建設妥当性が調べられ、計画立案の手段としても用いられる。すなわち、一定貯水池群を相定して、①ユーザーはその貯水池群から水需要の何%が保証されるか、また、②貯水池群が過大であるか過小であるかが、シミュレーションの方法により検討される。

2. 基礎理論の開発

多くの流域において、貯水池群は既に建設運営され、その水位操作の規準は一応定められてはいるが、経験的な要因に根拠している点が多い。しかし、そうした操作の規準も、統合管理に熟達した者の頭の中には、なんらかの形で形成されており、さらに一般化の理論づけが推進されなければならない。

第一に、今後の予想流入量を気象予報や例年の記録から判断するのであるが、われわれはこれを Expected Days という概念を導入して表現した。

第二に、実際運営に際しては、複数の貯水池がなんらかの形で各々バランスするよう操作しているのであるから、いかなる量をバランスさせるべきかを、この Expected Days を用いて理論的に求めた。この量を Priority Index として、いずれの貯水池も同じ Index の値を持つように操作する。

この方式により解決される問題は、(1)下流域の水需要に対して、いずれの貯水池からどれだけ放流するかという放流量配分の問題、(2)いずれの貯水池にどれだけの洪水調節容量を与えておくかという洪

水調節容量配分の問題である。

次に、利用可能水量を各ユーザー（農業部門、工業部門、都市上水部門）にいか配分するかという問題である。水資源の管理者側としては、既存の水利権にとらわれず、総合的な意味での経済合理性に合致した配分を行ないたいという意向を常に有している。そこでわれわれは、各水利部門の経済特性を水 1 m^3 不足することによる被害額、すなわち marginal damage の形で求め、これをもとに各水利の Evaluation function を構成した。この function をもとに、現在の貯水量ならびに将来予想される流入量を、(3)いつどれだけ放流すべきであるかという水資源の時系列配分の問題、(4)いずれの部門にどれだけ配分するかという水利部門間配分の問題を解くことが出来る。

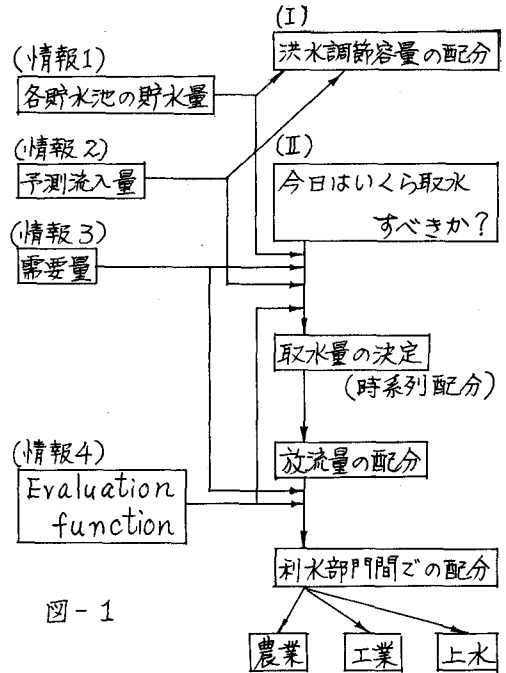


図-1

Expected Days と Priority Index

Expected Days とは次のような内容のもので、 $E(i, T, V)$ で表わす。 i 地点の T 日における貯水量を V としたとき、今後の予測流量 $q(i, t)$ をもってすれば何日間の累計流量に等しいかをみる。すなわち、

$$V = \sum_{t=T+1}^{T+N} q(i, t) \Delta t + \theta q(i, T+N+1) \Delta t \quad \text{-----(1)}$$

但し、 $\Delta t = 1(\text{日})$, $0 \leq \theta < 1$

故に、 V に対する Expected Days 表示は、

$$E(i, T, V) = N + \theta \quad \text{-----(2)}$$

となる。これは地域的、季節的、量的な三次元量をスカラー表示していることになる。

次に Priority Index は貯水量 V ならびに空水量 S の Expected Days 表示を X, Y とし、

$$\left. \begin{aligned} X &= E(i, T, V) \\ Y &= E(i, T, S) \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(3)}$$

$$\left. \begin{aligned} X' &= \alpha X \{1.0 - \exp(-\frac{X}{M})\} \\ Y' &= \beta Y \{1.0 - \exp(-\frac{Y}{M})\} \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(4)}$$

$$PI = \frac{X'}{X' + Y'} \quad \text{-----(5)}$$

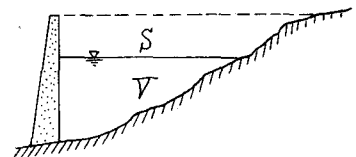


図-2

この PI を Priority Index という。(4)式において、 X, Y の指数は次の意味を含ませた。すなわち、予測流入量 $q(i, t)$ は長期的に累計すれば、例えば年流量で考えれば、予測誤差はそれほど大きくないが、短期間の累計を考えれば、その予測誤差は大きい。この指数の中の M は水文統計学上か

ら定められる。 α は当該貯水池が空になることをさけるためのウェイトであり、 β は溢れることをさけるためのウェイトである。 α 、 β は中間需要地の経済特性から定められる。このPIをいずれの貯水池も同じ値をもつように統合操作することによって、洪水ならびに渇水による被害をより小さいものにする。

Evaluation function

経済的目的関数として、水資源により得られる利益に着目した利益関数を用いるのが一般的方法である。しかし、それに必要な資料が不足していたり、または細部の利益まで追跡するには関数自体についての詳細な検討を要するため、利益関数は、多くの要因が省略され、きわめて簡単な形でしか求めていない。

そこで、われわれは、資料が比較的得やすいmarginal damageに着目した。図-3がmarginal damageに基づくEvaluation functionである。縦軸の高さは需要量季節変動に応じて変えられる。

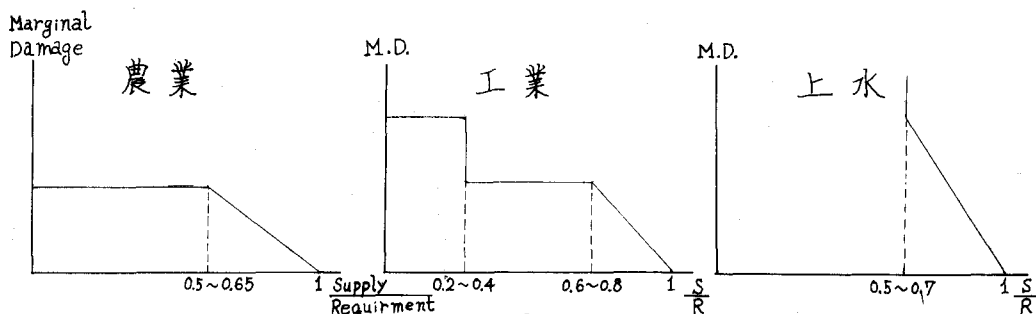


図-3

利用可能水量の配分方法は次のようになる。

- ①利用可能水量が総需要量を上回っている場合は、各ユーザーの需要量を満足させる。
- ②利用可能水量が総需要量を下回っている場合は、各ユーザーに対し、marginal damageの値が等しくなるように配分を行なう。この配分方法により、水不足による総被害額は最小化させ得る。(図-4参照)

今日いくら取水すべきかの決定方法は次の如くなる。

- ①現在の総水量に対するExpected Daysを求め、そのExpected Daysに応じて戦略的に定めた日数で総貯水量を使いきることを考える。
- ②需要量の季節的変動と、その季節変動に対するEvaluation functionから、今日いくら取水すべきかが決定される。すなわち、今日の利用可能水量が求められる。

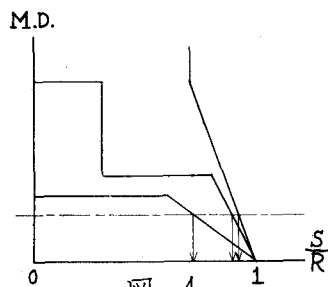


図-4

3. 進捗状況ならびに問題点

理論の検証は未だ十分はなされていないが、この方式を用いて、利根川上中流域の貯水池群(岩本ダムを考慮した6ダム)に対するシミュレーションをケーススタディとして行なった。流量デー

タとしては昭和25年～35年の日平均流量記録を用い、需要量としては水資源公団推定の季節変化を含む予想需要量を用いた。

最適化のチェックは図-5の如き(供給量/需要量)の時系列値で行なった。Evaluation function を市場調査より求めたため、年平均被害額でチェックすることもできるが、前者はその内容を審らかにする効果が期待できる。また、現在の総貯水量を今後何日間でするかに使うかという戦略的日数に関する係数STCも変数とし、シミュレーションにより最適値を求めうる。

図-5によれば、昭和55年において、昭和33年当時の流況に遭遇した場合には、岩本ダムが建設されていないと、極めて大きな被害が生じることがわかる。もっとも図-5の示す渇水状況は、未だ最適化の不十分な場合であるから、最適化が遂行された後には多少緩和されるであろう。このようなチェックの手段を用いて、ある一定の水資源システムの下で、日々の管理方式、需要充足率、各野水池の必要性の議論が総合的に出来ることは、シミュレーション方式の大きな利点といえる。

手法上の観点から、現在早急に究明されんとしている点は、

- ① Priority Index の理論的検討
- ② 流量予測(Expected Days)の精度向上に関する研究
- ③ Time-lag を考慮した洪水調節の方法
- ④ 各利水部門の実態ならびに Evaluation function の精度向上

などである。

以上は手法開発の観点から行なった検討であり、利根川を例にしたのも実用化の条件を探ることを目的としたからである。したがって、これを実用化するためには、個々の川における実際の水収支その他について、あらためて検討を加えねばならぬことはもちろんである。

