

九州大学 工学部 正員 上田年比古
同上 学生員 〇小川 康孝

1. まえおき 米国の *the Harvard Water Program* (1962年)⁽¹⁾ に貯水池群の統合取水操作に関する研究として、損失水量を少なくするため、空間基準 (*space rule*) が提案されているが、近森⁽²⁾は、目的関数を与え、この最小化として、*space rule* を一般化している。本報では利水用並列貯水池群の統合操作において、通水能力を制約条件とし、近森の与えた目的関数を最小化することを操作目標とすれば、動的計画法 (D.P.)⁽³⁾ によって、各貯水池の取水配分が逐次計算できることを示した。さらに、各貯水池への流入量の比率がほぼ一定と考えられる場合は、この比率を用いて取水操作することも提案し、以上のことを最大可能取水量を取水する立場から、北九州市の頂吉・福智の2貯水池の流入データを用いてコンピューター・シミュレーションによる検討をした。

2. 並列貯水池群取水システムの系

図-1の並列貯水池群のモデル化のため、取水された水は、導水路、または、導水管を通して浄水場へ送られるものとし、また、利水用であるため、無効放流水 (*spill*) は「還元」されず、下流におよぼす、河水面の影響は考慮しない。取水操作については、1日に一回の離散的な操作を考え、ここでは、この1日を単位期間とよび、 i を期間の番号とし、さらに以下の仮定をおく。

① 年間の需要変動は少ないものとして、単位期間の合計取水量 P を一定とする。

② 単位期間 i における貯水池 j への流入量 $Q_j[i]$ の予測が可能であるとて、与えられた操作方式にもとづいて取水量 $x_j[i]$ と通水能力 x_{j0} の範囲内で $\sum_j x_j[i] = P$ とおき、逐次決定していく。

つぎに取水システムを「入-出力」の系とみて、図-2に示す。

ここで統合取水操作とは、『与えられた施設変数 S_{j0} (各貯水池容量) および x_{j0} (通水能力) のもとで、人工的に制御不可能な流入量 $Q_j[i]$ を単位期間 j ごとに予測しながら、貯水池の貯留効果を媒介とし、制御可能な取水量 $x_j[i]$ で $S_j[i]$ を与えられた操作目標に近づけることである』といえる。ここで $0 \leq x_j[i] \leq x_{j0}$ および $x_{j0} \leq P$ である。

3. P の決定 および 取水システムの評価

P は並列貯水池群から開発される単位期間の最大可能取水量をとるものとし、この算定は並列貯水池群の合計貯水池容量 $S_{00} = \sum_j S_{j0}$ とも一つの貯水池に合計流入量 $Q[i] = \sum_j Q_j[i]$ が流入するものとして *Ripple* 法で求められ、また期間 $i = 1 \sim m$ における総最大可能取水量 $T = mP$ となり、このときの総無効放流量を W_{min} とおくと W_{min} は貯水池からの最小無効放流量となる。つぎに貯水池群を統合操作した場合の総無効放流量を W とすると $W - W_{min}$ が

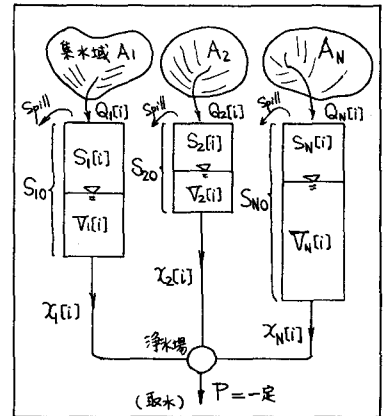


図-1 並列貯水池群取水システムの系

$$\begin{aligned} Q[i] &= \sum_{j=1}^N Q_j[i], \quad S[i] = \sum_{j=1}^N S_j[i] \\ P &= \sum_j x_j[i], \quad S_{00} = \sum_j S_{j0} \end{aligned}$$

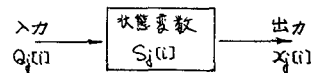


図-2 入-出力の系

損失水量となり、 $W = W_{min}$ の場合の水量的に最有利取水がなされていることになる。ここで統合操作の評価は $(W - W_{min})/T$ で与えるものとする。

4. 動的計画法による単位期間の各貯水池取水水量 $x_j[i]$ の決定

Design of Water Resource Systems における空間基準は損失水量を最小にするために、貯水池の水の限界面値を等しいとして、各貯水池の $R_j[i] = (\text{流入量})/(\text{貯水可能量})$ をすべて等しいとおくものである。いま取水操作をモデル化して、 i 番目の期間のはじめ、すなわち、 j 貯水池のから量 $S_j[i-1]$ のとき、 $Q_j[i]$ が予測できるものとして、 $x_j[i]$ を決定し、 i 期間の終りのから量は $S_j[i] = S_j[i-1] + x_j[i] - Q_j[i]$ としているので $R_j[i] = Q_j[i]/(S_j[i-1] + x_j[i])$ である。

並森によると空間基準は q_j を $x_j[i]$ の関数として $q_j(x_j[i]) = Q_j[i] \cdot R_j[i]$ とおくと、 $q(P) = \sum_{j=1}^N q_j(x_j[i])$ を最小化することと同値である。そこで取水操作の目標を $q(P) \rightarrow \min$ として与えると、並列貯水池群の i 期間の取水配分決定は次のように定式化できる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{制約条件} \quad \sum_{j=1}^N x_j[i] = P, \quad 0 \leq x_j[i] \leq x_{j0} \quad (\text{ただし } x_{j0} \text{ は } P \leq \sum_{j=1}^N x_{j0}, x_{j0} \leq P \text{ を満足する定数}) \\ \text{目的関数} \quad q(P) = \sum_{j=1}^N q_j(x_j[i]) \rightarrow \min \\ q_j(x_j[i]) = (Q_j[i])^2 / (S_j[i-1] + x_j[i]) \end{array} \right\} \dots\dots (1)$$

$x_j[i]$ は以下に示すように D.P. によって逐次計算可能である。ここで $x_j[i]$ を x_j , $S_j[i-1]$ を S_j , $Q_j[i]$ を Q_j と記号を簡略化する。いま n 々の貯水池からの合計取水量を y , および $q(y) = \sum_{j=1}^n q_j(x_j)$ とし、 $q(y)$ の最小値を $f_n(y)$ とおくと、

$$f_1(y) = \min_{0 \leq x_1 \leq x_{10}} \{ q_1(x_1) \} = \min_{0 \leq x_1 \leq x_{10}} \left\{ \frac{(Q_1)^2}{S_1 + x_1} \right\} = \frac{(Q_1)^2}{S_1 + y}, \quad (0 \leq y \leq x_{10}) \quad \dots\dots (2)$$

$$f_2(y) = \min_{0 \leq x_2 \leq x_{20}} \{ q_2(x_2) + f_1(y - x_2) \}, \quad (y \leq \min\{P, \sum_{j=1}^2 x_{j0}\}) \quad \dots\dots (3)$$

$$f_3(y) = \min_{0 \leq x_3 \leq x_{30}} \{ q_3(x_3) + f_2(y - x_3) \}, \quad (y \leq \min\{P, \sum_{j=1}^3 x_{j0}\}) \quad \dots\dots (4)$$

一般に $2 \leq n \leq N-1$ の場合は

$$f_n(y) = \min_{0 \leq x_n \leq x_{n0}} \{ q_n(x_n) + f_{n-1}(y - x_n) \}, \quad (y \leq \min\{P, \sum_{j=1}^n x_{j0}\}) \quad \dots\dots (5)$$

$n=N$ のときは

$$f_N(P) = \min_{0 \leq x_N \leq x_{N0}} \{ q_N(x_N) + f_{N-1}(P - x_N) \} \quad \dots\dots (6)$$

(6)式において x_N が求まると逐次 $x_{N-1}, x_{N-2}, \dots, x_1$ が決定される。

最も簡単な場合として $N=2$, すなわち並列2貯水池のときは次のような結果がえられる。

$Q_1[i] + Q_2[i] = Q[i]$, $S_1[i] + S_2[i] = S[i]$ ならば $P \leq x_{10} + x_{20} \leq 2P$ とし

$$\textcircled{a} \quad \frac{Q_1[i]}{Q[i]} \leq \frac{P - x_{20} + S_1[i-1]}{P + S_1[i-1]} \quad \text{のときは} \quad x_1[i] = P - x_{20}, \quad x_2[i] = x_{20} \quad \text{で} \quad f_2(P) = \frac{(Q_1[i])^2}{S_1[i-1] + P - x_{20}} + \frac{(Q_2[i])^2}{S_2[i-1] + x_{20}} \quad \dots\dots (7)$$

$$\textcircled{D} \frac{P \cdot x_{10} + S_{10} - 1}{P + S_{10} - 1} \leq \frac{Q_1(i)}{Q(i)} \leq \frac{x_{10} + S_{10} - 1}{P + S_{10} - 1} \quad \text{のときは} \quad x_1(i) = \frac{Q_1(i)}{Q(i)} \cdot (S_{10} - 1 + P) - S_{10} - 1 \quad \text{と} \quad f_2(P) = \frac{-(Q_1(i))^2}{S_{10} - 1 + P} \quad \dots (8)$$

$$\textcircled{C} \frac{x_{10} + S_{10} - 1}{P + S_{10} - 1} \leq \frac{Q_1(i)}{Q(i)} \quad \text{のときは} \quad x_1(i) = x_{10}, x_2(i) = P - x_{10} \quad \text{と} \quad f_2(P) = \frac{(Q_1(i))^2}{S_{10} - 1 + x_{10}} + \frac{(Q_2(i))^2}{S_{20} - 1 + P - x_{10}} \quad \dots (9)$$

$Q_1(i)/Q(i)$ あるいは流入量の比率によって 3つの場合に取水操作が分類されることを示している。

5. 流入量の比率が一定と仮定される場合の取水操作

以上の考察では、単位期間の流入量を逐次予測しながら取水操作をおこなったが、一般に貯水池が同一地域にある場合は $\bar{Q}_i$, $\bar{Q}$ をそれぞれ単位期間の各貯水池流入量 および 合計流入量の平均値、 A_i を流域面積とすると、 $Q_1(i)/Q(i) \approx \bar{Q}_i/\bar{Q} \approx A_i/(A_1 + A_2 + \dots + A_N)$ と想定される。

そこで本報では、 $Q_1(i)$ の予測を行わず $Q_1(i)/Q(i)$ のかわりに $\bar{Q}_i/\bar{Q}$ を用いた取水操作を流入比率一定方式とよびコンピュータ・シミュレーションによる検討を加えている。

6. コンピュータ・シミュレーションによる計算結果

前述の取水操作は流入データを用いて、コンピュータ・シミュレーションによる検討ができる。計算例として、北九州市の 頂吉・福智の 2 貯水池の 5 年分の日流入量記録を用いて、2 貯水池の合計貯水池容量 $S_{00} = 200 \text{ 万 m}^3, 500 \text{ 万 m}^3, 1000 \text{ 万 m}^3$ について、 $S_{00} = S_{10} + S_{20}$ のもとで、 S_{10}, S_{20} を変化させて種々の並列 2 貯水池の比較検討をした。なお操作の単位期間 t を一日とし、垂水能力は $x_{10} = x_{20} = P$ としている。電算のフローチャートを図-3 に示す。貯水池容量 S_{00} に対して Ripple 法によって算定された純最大可能取水量 T 、日取水量 P および平均合計流入量と日取水量の比 $\beta = \bar{Q}/P$ を表-2 にあげる。 $Q_1(i)/Q(i)$ を予測して求める空間基準方式 および $\bar{Q}_i/\bar{Q}$ を用いる流入比率一定方式のコンピュータ・シミュレーションによる計算結果を表-1 に $(W - W_{\min})/T$ を指標として % で示している。

表-1 の結果より、空間基準方式においては、ほとんど完全に最適取水がなされている。また 流入比率一定方式でも十分、最適取水に近い操作が可能である。

さらに β の大きい $S_{00} = 200 \text{ 万 m}^3$ の場合 および S_{00} の大きい $S_{00} = 1000 \text{ 万 m}^3$ の場合に比較的小く操作できていることがわかる。

	S_{10}/S_{00}	S_{20}/S_{00}								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
空間基準方式	200 万 m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	500	0.99	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	1000	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	2.19	1.06	0.08	0.07	0.18	0.07	0.03	0.03	0.17
	500	1.97	0.31	0.20	0.07	0.90	0.00	0.12	0.07	0.27
流入比率一定方式	200 万 m ³	0.37	0.04	0.67	0.16	0.08	0.09	0.05	0.08	0.02

表-1 コンピュータ・シミュレーションによる計算結果 $(W - W_{\min})/T$ (数値は%)

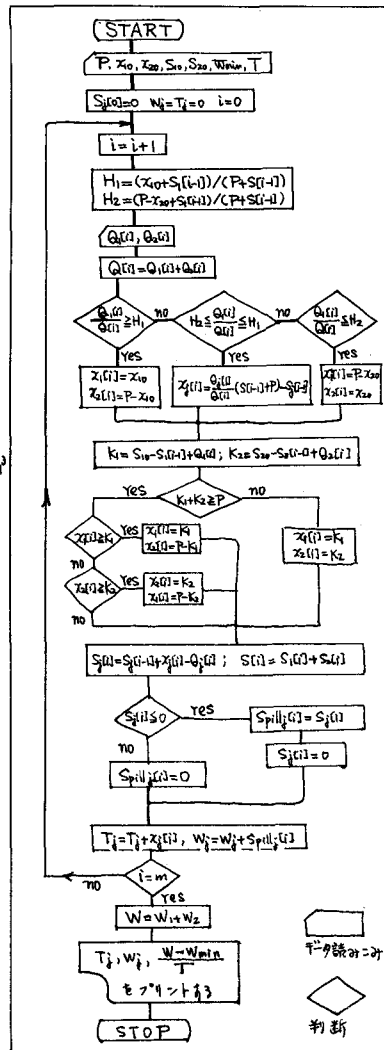


図-3 並列 2 貯水池の取水フローチャート

S_{00}	純最大可能取水量 T
200 万 m ³	40,404,447 m ³
500	64,367,957
1000	78,833,162

S_{00}	$P=T/\text{時間間隔}$	$\beta=\bar{Q}/P$
200 万 m ³	22,127 m ³	1.9019
500	35,251	1.1939
1000	43,173	0.9747

表-2 純最大可能取水量 T および日取水量 P

7. おすげ

以上の結果を要約すると、

- ①並列貯水池群の統合取水操作において各貯水池からの導水路の通水能力に制限がある場合、空間基準を一般化した目的関数を用いて、単位期間の取水配分が動的計画法によって計算できることを、 $Q_j(i)/Q(i)$ のとる値によって決定されることを明らかにした。
- ②並列貯水池群が同一地域にある場合は、(各貯水池への流入量)/(合計流入量)がほぼ一定と想定されるので、これを(各貯水池への平均流入量)/(合計平均流入量)に等しいとおいた流入比率一定方式を用いれば逐次流入量を予測することなく、平均流入量の情報だけで操作することができる。
- ③並列2貯水池群について $X_{10}=X_{20}=P$ とした場合で各貯水池の大きさを変えて、以上①、②の場合の取水操作方式を用いてコンピューターシミュレーションによる検討を行い、両操作ともほぼ最適取水を満足する結果を得た。

なお以上の計算は九州大学 OKITAC 5090 H 電子計算機におこなったものである。

参考文献

- (1) the Harvard Water Program : Design of Water Resource Systems (1962)
この訳として『水資源開発総合計画』：建設省河川局河川計画課
- (2) 近森邦英：貯水池操作方式の基礎的考察(I)，農業土木学会論文集第24号
- (3) 鍋島一郎：『動的計画法』，森北出版