II-68　貯水池による水供給の信頼性（第1報）

大阪大学工学部　正員　室田　明
同　上　正員　神田　徹
大阪大学大学院　学生員○白井信雄

1．まえがき

利水を対象とした貯水池の管理、運用および今後の貯水池による水資源開発上の重要な課題は、河川流量の長期的推測および水需要に対する貯水池からの供給水に関する合理的な評価関数の設定である。わが国の貯水池容量は1ヶ月内の流量変動さえも完全に調整し得ないものが大半を占める。したがって、貯水池操作に関する流量変動解析のためにはかなり短い単位期間を選ぶべきであろう。この場合、その流量変動特性が、より大きなtime scale の流量変動といかなる関係にあるかが明らかになれば、長期間および短期間の一貫した最適貯水池操作のための資料を与えるものと考える。貯水池供給水の評価関数については、Harvard Water Program をはじめとして水の経済性に重点を置く評価関数が採用されているが、わが国においてはいまだ統一的な設定がなされていない。しかしながら、流量変動特性が与えられ、目標放流量を仮定した場合に、評価関数の要素、たとえば水量、供給期間がいかなる値となるかを明らかにすることは可能である。

本研究は、以上の観点から、半旬流量時系列について、月平均半旬流量のまわりの変動特性を解析し、この流量変動に対応する1ヶ月内の貯水池水量の挙動および貯水池供給水の信頼性について検討したものである。

2．半旬流量時系列の解析

(1)　月平均流量のまわりの変動量

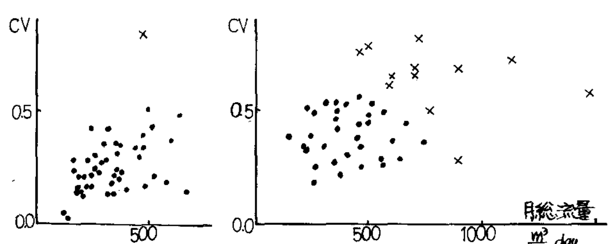
ある月の半旬流量時系列（第1,第2,…第6半旬流量）がその月の平均半旬流量のまわりに変動するものと仮定し、木津川の48年間流量について解析を行った。[1)] 解析結果から、偶発的大流量を除いた半旬流量については、その月の平均値からの変動はstochastic な性質を有するものと考えられる。いま、この変動量の特性を代表する量として次式による標準偏差をとる。

i年j月の半旬流量時系列を $q_{ij}^1, q_{ij}^2, \cdots, q_{ij}^6$ ，i年j月の平均半旬流量を $\bar{q}_{ij}$ $\left(=\frac{1}{6}\sum_{k=1}^{6} q_{ij}^k\right)$，標準偏差を$\sigma_{ij}$，変動率を$CV_{ij}$ とすれば、

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{6}\sum_{k=1}^{6}\left(q_{ij}^k - \bar{q}_{ij}\right)^2} \quad \cdots(1)$$

$$CV_{ij} = \sigma_{ij} / \bar{q}_{ij} \quad \cdots(2)$$

各年について上式のCV_{ij}を求め、月総流量との関係を図示すれば図-1(1),(2) のごとくである。×印は40 $\frac{m^3}{sec}$ day 以上の半旬流量を含む年の値である。この高水流量が含まれる年を除けば、どの月についても変動率は月総流量に関して一様とみなしうる。



(1) 1月　(2) 5月

図-1 変動率CVと月総流量の関係

(2)　変動量の頻度分布

変動量の頻度分布をつぎの3つの変量について求める。

(a) $X''=(q^k_{ij}-\bar{q}_j)/\bar{q}_j$ … (3)

ここに $\bar{q}_j$ は j 月の48年平均半旬流量である。

(b) $X'=(q^k_{ij}-\bar{q}_{ij})/\bar{q}_{ij}$ … (4)

ただし、高水、低水ともに含む j 月の48年間総流量資料について。

(c) $X=(q^k_{ij}-\bar{q}_{ij})/\bar{q}_{ij}$ … (5)

ただし、$40\,m^3/sec\cdot day$ 以上の半旬流量が生ずる年を除いた資料について。

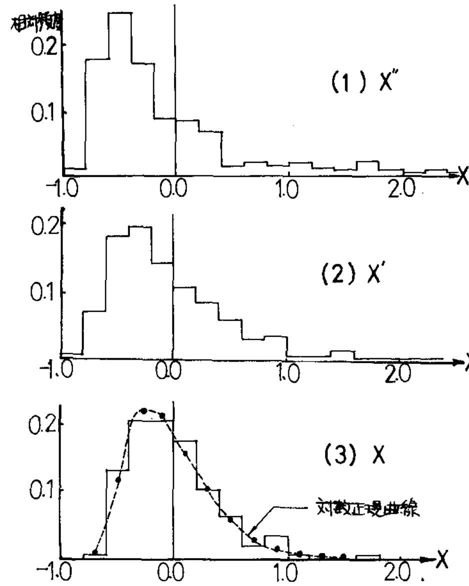


図-2 変動量の頻度分布(10月)

X'', X', X の頻度分布の一例(10月の場合)を図-2(1),(2),(3)に示す。これらの分布特性を比較すれば、X'' の分布は mode が負の位置にあり分布範囲は広い。X' の分布は分布範囲はせまくなり、mode は0に近づく。X の分布範囲はさらにせまくなり、分布形は対称形に近づくことから、月平均量まわりに低水が生起することが明らかである。X の分布形に対数正規密度曲線をあてはめて図-2(3)に付記する。密度関数は次式のとおりであり、以後の解析にはこの関数を用いる。

$$f(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left\{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \cdots (6)$$

ただし、$z=\ln(X+1)=\ln(q^k_{ij}/\bar{q}_{ij})$ … (7)

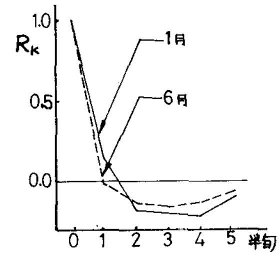


図-3 自己相関係数

また、確率変量 X' について自己相関を求めた結果は図-3のごとくである。半旬流量は月平均流量のまわりに random に(無自己相関)変動することを示している。ここに時差 K 半旬の自己相関係数 R_k ($K=0,1,\cdots5$) は変量 X' をある月について48年間資料を時間的にならべ X_t ($t=1,\cdots,6\times48$) とし以下の式より求めたものである。

$$R_k=\left(\sum_t X_t\cdot X_{t+k}\right)/\sum_t X_t^2 \quad \cdots (8)$$

3. 貯水池による水供給の信頼性

(1) 放流方式

(i) 1ヶ月を6つの半旬に分割し、第1より第6半旬までの単位期間を考える。(ii) 総貯水容量 V を一定容量 ΔV ごとに等分割し、各々の貯水量の状態を $V_1, V_2, \cdots V_{50}$ とする。ここに V_1 は貯水池が空の状態であり、V_{50} は満杯の状態である。(iii) 放流量は1ヶ月にわたって一定の目標放流量を仮定する。(iv) 流入量として月平均流量を与えれば前節の解析結果を用いて半旬流量とその生起確率をうる。(v) 各半旬の放流量は目標放流量を放流する(完全放流とよぶ)か、全く放流しない(ゼロ放流と呼ぶ)かのいずれかの方式とし、したがって目標放流量の一部分を放流する(部分放流)方式はとらない。すなわち、第K半旬はじめにおいて貯水量 z^k がこの半旬に流入量を期待しなくとも目標放流量 C を完全に放流できるだけの貯水量である場合には、この半旬で放流を行う。一方、第K半旬において流入量がゼロであるとき第K半旬はじめの貯水量 z^k のみでは目標放流量を供給できない場合には、こ

の第K半旬では放流を行なわない。完全放流が可能である貯水量とゼロ放流量の貯水量との限界の貯水量を限界貯水量と呼ぶことにする。

(2) 貯水量および放流量の確率

第K半旬はじめより第(K+1)半旬はじめへの貯水量変化の式は次式で表わされる。

$$Z^{k+1}=Z^{k}+q^{k}-C \qquad \cdots(9)$$

Z^{k}, Z^{k+1}：第K半旬はじめ，第(K+1)半旬はじめの貯水量

q^{k}：第K半旬の流入量　　　C：一定放流量またはゼロ

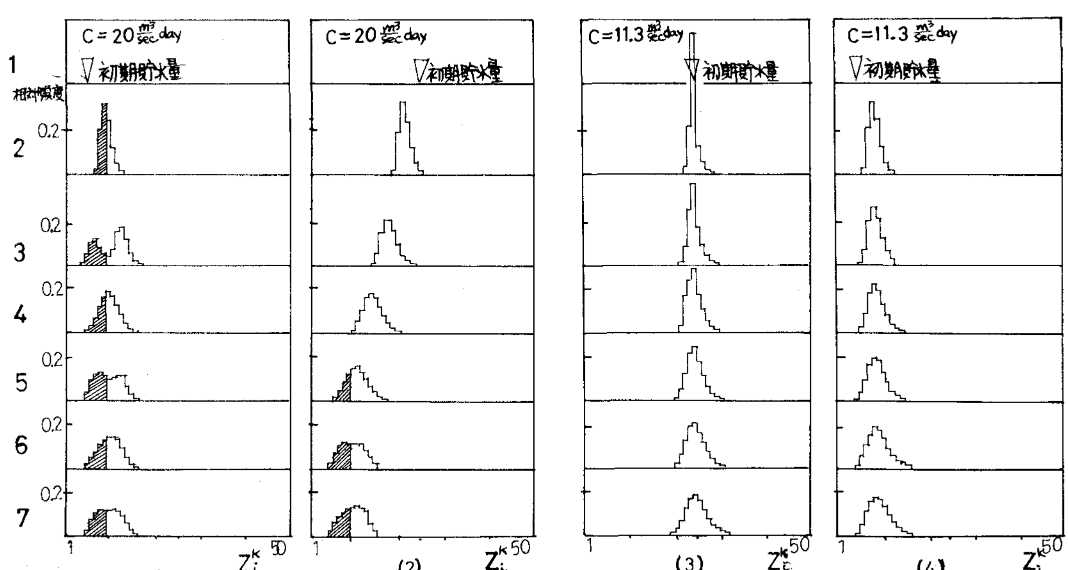
ただし、上式は貯水池が満杯となり目標放流量を越える無効放流が行なわれる場合には成立しない。(この場合には $Z^{k+1}=\nabla_{50}$ である)

貯水量Z^{k}からZ^{k+1}への推移確率行列[$P_{k,k+1}$]は貯水量Z^{k}，流入量q^{k}の確率および上式より求められる。ある月の初期貯水量Z^{in}を与えれば，第K半旬はじめの貯水量Z^{k}($k=2,3,\cdots 7$)は高次の推移確率行列$[P_{k,k+1}]^{k-1}$より計算できる。ここにZ^{7}は第6半旬の終り、つまり翌月の初期貯水量を表わす。

計算例として高山ダム地点における1月(Jan.)の半旬流量(11.3 $\frac{m^3}{sec}$day)を用いた結果を示す。総貯水容量4.92×10^{7} m³，半旬平均一日流量に換算して113.9 $\frac{m^3}{sec}$day，$\Delta V=2.27$ $\frac{m^3}{sec}$day とする。放流量は$C=20$ $\frac{m^3}{sec}$day，$C=11.3$ $\frac{m^3}{sec}$day の場合を考える。各半旬はじめの貯水量の頻度分布を図-4(1)～図-4(4)に示す。図において斜線部は貯水量が目標放流量以下である確率を表わす。ゆえに、前述の放流方式にしたがえば、この確率はその半旬には全く放流を行なわない確率を表わす。

$C=20$ $\frac{m^3}{sec}$day の場合(図-4(1))，初期貯水量が小さい場合には各旬はじめの分布形は変化しているが完全放流の確率またはゼロ放流の確率に大きな違いはない。(図-4(2))；第1～第4半旬では貯水量は減少するが完全放流が可能である。第5半旬以後において完全放流が行なえない確率を生じる。

$C=11.3$ $\frac{m^3}{sec}$day の場合(図-4(3))，第1～第7半旬はじめの分布のmodeは変らず分布形のみが拡がる。貯水量が空または満杯になることはない。(図-4(4))；第1半旬におけるゼロ放流により貯水



図－4 第K半旬はじめの貯水量Z_i^kの頻度分布

量が増大し、オ2半旬以後ではゼロ放流の確率を生じない。図-4(3)と同様の分布形状変化を示す。

(3) 初期貯水量と水供給の信頼性

水需要に対して貯水池からの水供給の信頼性をつぎのように定義する。ある半旬期間に目標放流量Cが供給可能である確率を供給水の信頼性Mとする。このとき、ゼロ放流の確率は N=1−M である。初期貯水量(月はじめ貯水量)Z_i^{in} (i=1, 2, … 50)をあたえ、半旬平均流量$\bar{q}$および目標放流量Cを与えるとき、オK半旬(K=1, 2, …, 6)のはじめに貯水量が目標放流量以下である確率がゼロ放流の確率となり、これをN_i^Kで表わす。ここに添字iは初期貯水量の状態を、Kはオ K 半旬を表わす。N_i^Kは図-4(1),(2)の斜線部面積で与えられる。図-5(1),(2)は半旬平均流量$\bar{q}$=11.3 $\frac{m^3}{sec}$day，目標放流量C=20 $\frac{m^3}{sec}$day，C=11.3 $\frac{m^3}{sec}$dayとした場合のN_i^K〜Z_i^{in}の関係を示す。

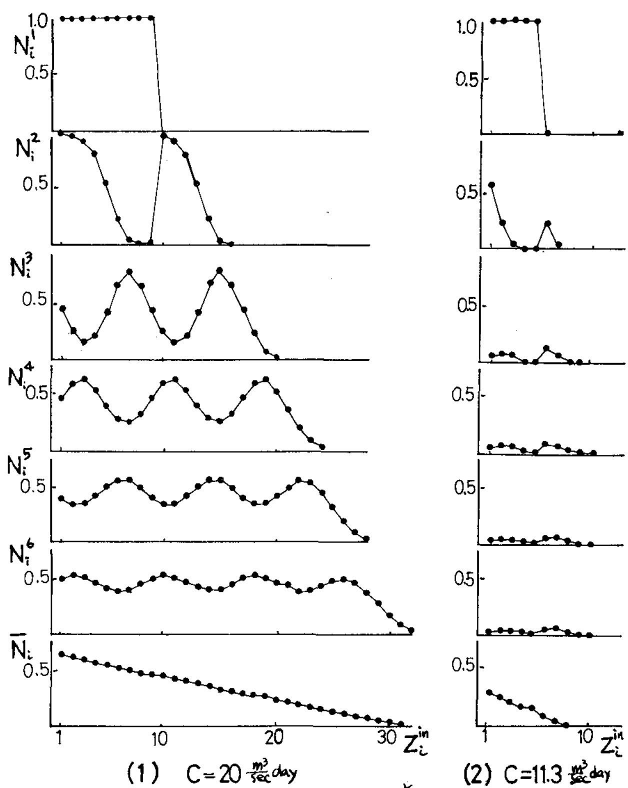
(a) 目標放流量C=20 $\frac{m^3}{sec}$dayの場合。 この場合、限界貯水量はZ_{cr}=20 $\frac{m^3}{sec}$dayであり、図-5(1)においてZ_9^{in}, Z_{10}^{in}の間にある。よってオ1半旬では$Z_i^{in} \leq Z_9$ のとき N_i^K=1.0，$Z_i^{in} \geq Z_{10}$ のとき、N_i^K=0である。オ2半旬はじめの貯水量はオ1半旬に完全放流を行なうかゼロ放流を行なうかの影響をうけるため、$Z_i^{in}=Z_{cr}$の近くでN_i^Kは大きく変る。オ3〜6半旬になるに従い、大きな初期貯水量に対してもN_i^K>0となる。波形はオ1半旬におけるZ_{cr}前後の放流方式の影響が伝播しているものである。図-5(1)最下段の図はN_i^K(K=1, 2, … 6)の月平均値$\bar{N}_i$を示したものである。$\bar{N}_i$は初期貯水量Z_i^{in}の増加とともに滑らかに減少する。前述のごとく完全放流の信頼性はM_i=1−N_iであるから、月平均値は$\bar{M}_i$=1−$\bar{N}_i$である。

(b) 目標放流量C=11.3 $\frac{m^3}{sec}$dayの場合

限界貯水量Z_{cr}=11.3 $\frac{m^3}{sec}$dayはZ_5^{in}とZ_6^{in}の間にある。初期貯水量がZ_i^{in}<Z_{cr}の場合にはオ1半旬においてゼロ放流し、貯水量が増大するため、オ3半旬以後はゼロ放流の確率は非常に減少する。ゼロ放流の確率の月平均値$\bar{N}_i$は図-5(2)最下段に示すごとくZ_i^{in}の増加とともに減少する。

(4) 供給水の評価関数について

本研究における貯水池操作は、1カ月間を通じた完全放流が不可能となりうることを前提としている。完全放流が行なわれる場合には、供給水の評価関数は f=f(C) で表わされる。実際の放流はゼロ放流をも含むので、評価関数は水供給の信頼性Mが関係する。したがって、評価関数を f=f(C, M) と表わすことができる。詳細は講演時に示す。



(1) C=20 $\frac{m^3}{sec}$day (2) C=11.3 $\frac{m^3}{sec}$day

図-5 ゼロ放流の確率N_i^Kと初期貯水量Z_i^{in}の関係

参考文献 1) 室田、神田、白井. 貯水池操作を対象とした半旬流量変動特性の解析 昭和45年度関西支部年次学術講演会講演概要