貯水池操作を対象とした半旬流量変動特性の解析

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

水資源計画では数ヶ月～数年にわたる長期的な流量時系列変動の予測が基本的な課題であり、筆者らは月流量のシミュレーションによってこの研究を進めてきた[1),2)]。一方，貯水池による水配分計画を樹てる場合，わが国の貯水池規模は1ヵ月内の流量変動を完全には調整し得ないものがほとんどであり，無効放流（貯水池が満水時）や目標放流量以下の放流（貯水池が空の時）を余儀なくされる場合を生ずる。したがってこのような1ヵ月内の流量調整に着目するとき，より単位時間の短い流量変動特性を解明する必要がある。この場合、月内の流量変動特性が月平均流量と如何なる関係にあるのかが明らかになれば、長期および短期を一貫した最適貯水池操作のための資料が得られると考える。

本研究は，持続時間の短い偶発的な大流量を除いた半旬流量時系列について、その平均流量のまわりの変動特性について解析を行ない、この変動特性を用いて1ヵ月内の貯水池水位の挙動を検討したものである。

2. 半旬流量特性の解析

気象現象は一年を周期として変動し、したがって、ある暦月を6期間に分け、第k半旬についてはN年間のN コの資料から第k半旬流量の頻度分布を求める方法がある。この方法は気象現象の位相のずれやその持続期間の長短を無視し，各年の第k半旬流量がいずれもN年間の平均値のまわりに分布する同一母集団からの標本であるとしている。したがって分布の範囲は大きくなり，1ヵ月内での時系列変動特性を知るためには自己相関性の解析が重要となるだろう。本研究は半旬流量はその年の平均的流量（ここでは月平均流量）のまわりに変動すると仮定して解析をはじめた。用いた資料は木津川の月ヶ瀬地点の48年間の半旬流量資料である。

（1） 半旬流量時系列の平均値　まず，月流量とその大きさによって数個の群に分割し、各群の半旬流量時系列を比較した結果，つぎのことが明らかとなった。

（i） 月平均流量が小さい場合には，半旬流量は48年平均半旬流量のまわりに分布せず、その月の平均半旬流量のまわりにrandomに変動する。（ii） 夏期の集中豪雨や台風性降雨によって大流量が生ずる場合にはその月の平均半旬流量のまわりに変動せずrandom性は小さい。したがってこの平均値は統計的特性をしらべる上で有意性が少ない。

（2） 変動量の均質化　以上の結果から，偶発的大流量を除いた半旬流量時系列については、その月の平均値からの偏差は確率変量と考えられ、またこの確率変量に関する自己相関性は無視できるであろう。いま，この変量の変動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g_i^1, g_i^2, … g_i^6, i年j月の平均半旬流量を$\bar{g}_i\ (=\frac{1}{6}\sum_{k=1}^{6} g_i^k)$,

標準偏差をσ_i，変動率をCV_iとすれば

$$\sigma_i=\sqrt{\frac{1}{6}\sum_{k=1}^{6}(q_i^k-\bar{q}_i)^2} \qquad (1)$$

$$CV_i=\sigma_i/\bar{q}_i \qquad (2)$$

各年について上式によるCV_iを求め月総流量Q_iとの関係を図示すれば図-1(1),(2),(3)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ものである。この高水流量が含まれる年を除けば，どの月についてもつぎのことがいえる。

(i) 変動率CV_iと月総流量（または月平均流量）との相関関係は認められず、変動率は月平均流量に関して一様と見做すことができる。(ii) ゆえに、確率変量 $X=(q_i^k-\bar{q}_i)/\bar{q}_i$ は月平均流量または年に関して統計的に均質であると見做しうる。

(3) 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。

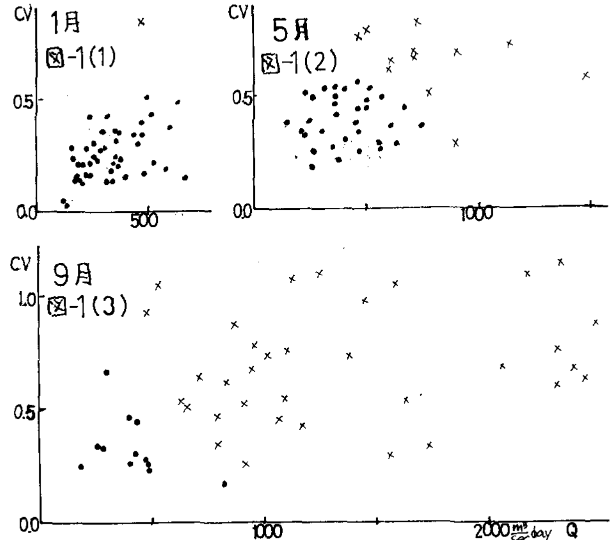
(a) $X_{MM}=(q_i^k-\bar{q}_j)/\bar{q}_j$
　ここに $\bar{q}_j$：j月の48年平均半旬流量

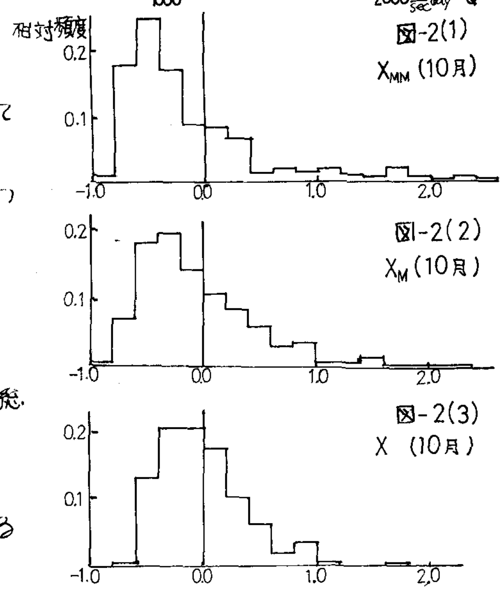
(b) $X_M=(q_i^k-\bar{q}_i)/\bar{q}_i$
　ただし、高水、低水を含むj月の48年間総流量資料について。

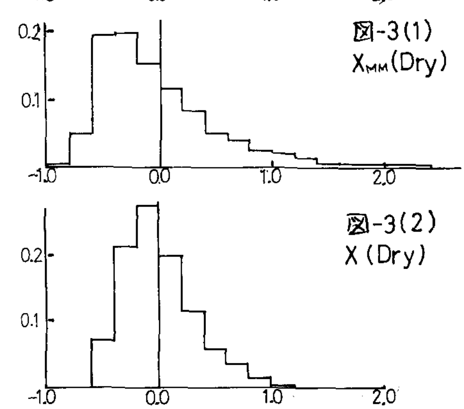
(c) $X=(q_i^k-\bar{q}_i)/\bar{q}_i$
　ただし、40$\frac{m^3}{sec}$day以上の半旬流量が生ずる年を除いた資料について。

(a),(b),(c)に示す変量の頻度分布の一例を図-2(1),(2),(3)(10月)に示す。各月について上記変量の分布特性を比較した結果を要約すれば以下のとおりである。

(i) 分布形の類似性から1年をA. Dry Season (11~4月), B. Wet Season (5~10月)に分類する。X_{MM}, XのおのおののSeasonの平均分布を図-3(1),(2),(3),(4)に示す。(ii) X_{MM}の分布はmodeが負の位置にあり、かつ分布変動範囲は大きい。また各月とも異なった分布形を示す。(iii) X_M







の Wet Season の分布は各月ともよく類似することから、高水流量を除いた X の Wet season の分布形は各月ともさらに類似することが推測できる。

(iv) X の Dry Season の分布は変動範囲が小さく mode が 0 に近い対称分布を示し、低水がその月の平均値のまわりに変動することを表わしている。

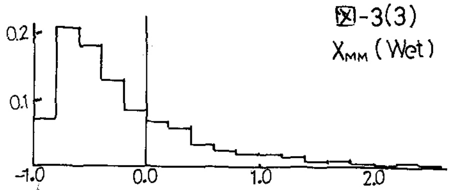


図-3(3) X_{MM} (Wet)

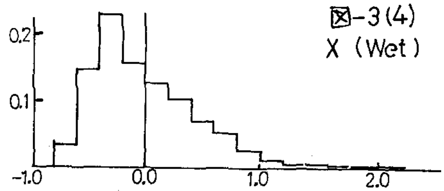


図-3(4) X (Wet)

以上の結果から、各月の低水半旬流量の確率分布をつぎのように定めることができる。

A. Dry Season (11〜4月)： 半旬流量はその月の平均半旬流量のまわりに random に変動し、その確率分布は、各月の X の分布で与えられる。

B. Wet Season (5〜10月)： 各月の分布形はほとんど一致すると考えられるので Wet Season の平均分布(図-3(4))によって各月の分布とする。

3. 貯水池操作への応用

ある有限期間内で，貯水池から一定量放流を行なわんとする場合，貯水池による水供給の信頼度(充足度)は期間内の貯水量の変動によって規定される。すなわち，一定量放流を維持せんとする限り，その信頼度は貯水池が空になるか否かを調べることにより評価できる。以上の観点から，期間内の貯水量の変動を推移確率行列を用いて求めようとするものである。

(i) 1ヵ月を6つの半旬に分割し，第1より第6までの単位期間を考える。(ii) 総貯水容量 V を一定容量 ΔV ごとに分割し，各々の貯水量の状態を $V_1, V_2, \cdots, V_{11}$ とする。ここに、V_1 は貯水池が空の状態を、V_{11} は満杯の状態を表わす。(iii) 放流量：1ヵ月間にわたって一定量放流と仮定する。(iv) 流入量：月総流量(または月平均流量)が与えられるならば、前節の解析結果を用いて半旬流量とその生起確率が求められる。

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。

$$Z_{k+1} = Z_k + Q_k - C_k \qquad (3)$$

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_k：第K半旬の一定放流量

この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および，貯水池が空になり目標放流量を放流できない場合には成立しない。しかし，貯水池を全く空にしないための若干の操作を以下に仮定する。

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，この半旬では放流を行う。一方、第K半旬において流入量が0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半旬は放流しないものとし，この半旬に流入する水量はすべて貯水池に貯留する。よって貯水量は流入量確率に応じてその水量を増大する。すなわち，半旬放流量 C は目標放流量 $C=\mathrm{const.}$ を供給できる場合か，または放流を行なわない $(C=0)$

場合かの２つの場合のみとする。前者の場合を状態が"1"であると表現し，後者の場合を"0"の状態であると以後簡略に表現する。よって(3)式は次式のように表わしうる。

第K半旬が"1"の場合 $Z_{K+1}=Z_K+Q_K-C$ (4)

第K半旬が"0"の場合 $Z_{K+1}=Z_K+Q_K$ (5)

貯水量Z_Kが，貯水量の状態V_iに属する場合，半旬後の貯水量Z_{K+1}は，$Z_K>C$，のときは(4)式より状態V_j($i \gtreqless j$)となり，$Z_K \leq C$のときには(5)式より状態V_j($i \gtreqless j$)となる。

貯水量V_iからV_jへの推移確率は流入量の確率より求められ，これをP_{ij}で表わす。

i月の初期貯水量を定めれば，第K半旬(K=1, 2, … 6)の終りの貯水量の状態が求められる。この貯水量の状態が"1"か"0"かによってその半旬に続く半旬の目標水量放流の可否を評価することができる。

(計算例)

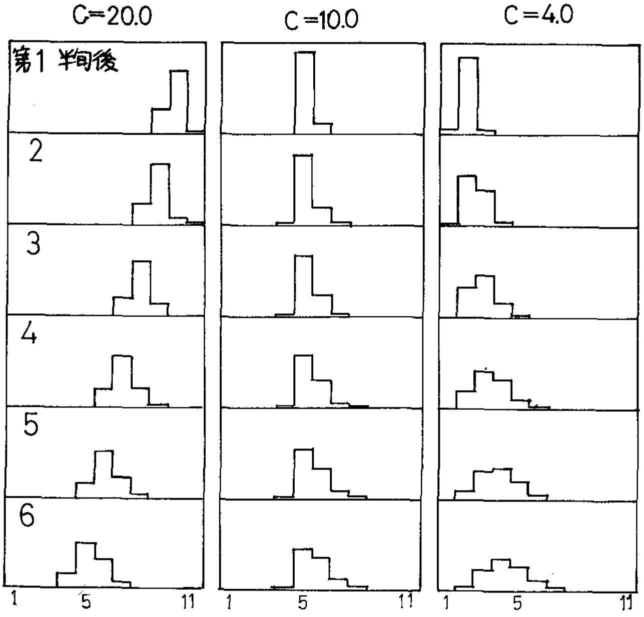
貯水池流入量は前節で解析した高山ダム地点の１月(Jan.)半旬流量(48年平均半旬流量11.4 $\frac{m^3}{sec}$ day)を用い，総貯水容量は$4.92 \times 10^7 m^3$，半旬平均一日流量に換算して113.9 $\frac{m^3}{sec}$ dayとし，$\Delta V = 11.39 \frac{m^3}{sec}$ dayとする。計算結果の一例(1月)を図－4に示す。

(i) 1月の初期貯水量Zが満杯状態であり，放流量$C=20.0 \frac{m^3}{sec}$ dayの場合，確率のmodeはしだいに低貯水量に下り，流入量が前節で述べた分布をもつため半旬が進むに伴ない分布形は広がる。

(ii) 初期貯水量が総貯水量の1/2であり放流量は平均流入量にほぼ等しい場合，modeの位置はほとんど移動せず，分布形のみが広がってゆく。

(iii) 初期貯水量が空の状態であり，放流量$C=4.0 \frac{m^3}{sec}$ dayの場合，第1半旬では放流を行なわないため，modeはV_2に移動しその後，その位置は大きな貯水位に移動する。分布形の広がりについては(i),(ii)の場合と同様である。

図－4



この計算ではΔVを大きくとりすぎたが，講演時には精度の高い計算結果を示す。今後、以上の計算を各月について行ない，さらに数ヶ月にわたる貯水池流量調整によっていずれの月についても高い充足度が得られるような目標放流量を決定すべく研究を進めたい。

1)：室田，神田，利水を対象とした流量時系列の解析について　第13回水理講演会講演集　昭44.2

2)：室田，江藤，月流量のシミュレーションについて　昭和45年度関西支部年次学術講演会講演概要　昭45.5