

## 琵琶湖の水位変動予測モデルについて

—— 水位変動と降水量の相関・回帰分析 ——

京都大学工学部 正員 高埴琢馬  
 京都大学工学部 正員 ○宝 馨  
 青木建設 Barriga, J.A.  
 京都大学工学部 学生員 清水 章

琵琶湖流域を対象として、降水量と水位変動量という貯水池管理において重要な二つの変量間の相関および回帰関係を明らかにするとともに、得られた回帰関係を用いた高水・渇水時の水位変動予測の可能性を検討する。両者の間に高い相関があれば、問題とする期間の降水量が与えられた場合に、その降水量に対応する水位変動予測とその精度が定量的に把握できることになる。

分析には以下のようなデータを用いた。データ期間は1914年から1974年の61年間である。

(1) 降水量 —— 琵琶湖流域面積平均日降水量（流域内43観測所の地点降水量の算術平均）を用い、次の諸量を取り扱った。

- ・ 1～10日降水量 （以下  $R_1 \sim R_{10}$  と記す）
- ・ 30, 60, 90日降水量 （以下  $R_{30}, R_{60}, R_{90}$  と記す）
- ・ 月降水量 （以下1月～12月に対応して  $P_1 \sim P_{12}$  と記す）

(2) 水 位 —— 水位データは彦根および鳥居川のものを用いる。両観測所では通常1日2回（午前6時と午後6時）観測を行っている。日降水量の観測時刻と整合させるため午前9時のそれぞれの観測所における水位を線形内挿により推定した。1日1回観測の場合も線形内挿により午前9時の水位を推定した。

(1) の降水期間に対応する水位変動量として

- ・ 鳥居川水位変動量 ( $\Delta H_T$ )
- ・ 彦根水位変動量 ( $\Delta H_H$ )
- ・ 加重平均水位変動量（鳥居川水位を南湖の、彦根水位を北湖の代表水位とみなし、両者を加重平均（面積で重みづけ）したもの） ( $\Delta H_{AVE}$ )
- ・ 修正水位変動量（鳥居川水位を全湖の代表水位とみなす場合） ( $\Delta Q_T$ )
- ・ 修正水位変動量（彦根水位を全湖の代表水位とみなす場合） ( $\Delta Q_H$ )
- ・ 修正水位変動量（加重平均水位を全湖の代表水位とみなす場合） ( $\Delta Q_{AVE}$ )

を考える。ただし、修正水位変動量とは、期間内の流出量（洗堰放流量および疏水・宇治発電所への取水量）をすべて水位上昇分として加算した場合の水位変動量であり、これは洪水時・渇水時の堰操作や取水形態の変化の影響を排除しようとしたものである。また、彦根水位に欠測のあるときはその期間に対して鳥居川水位を代用した。

### 1. 多雨時の降水量－水位変動の関係

1～10日雨量が 50mm 以上のとき ( $R_i > 50, i=1, \dots, 10$ ) の  $R_i$  と水位変動量  $\Delta H_{AVE}$  ,

Takuma TAKASAO, Kaoru TAKARA, Jairo Alfonso BARRIGA and Akira SHIMIZU

【表1】 i 日降水量と水位変動との相関係数

| i  | $\Delta H_{AVE} - R_i$ |             | $\Delta Q_{AVE} - R_i$ |             |
|----|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
|    | $R_i > 50$             | $R_i > 100$ | $R_i > 50$             | $R_i > 100$ |
| 1  | 0.71007                | 0.72295     | 0.69582                | 0.71629     |
| 2  | 0.86491                | 0.82879     | 0.83962                | 0.78269     |
| 3  | 0.90661                | 0.88443     | 0.90795                | 0.92398     |
| 4  | 0.88036                | 0.86074     | 0.85722                | 0.89494     |
| 5  | 0.87954                | 0.91375     | 0.87587                | 0.90930     |
| 6  | 0.87107                | 0.90407     | 0.87204                | 0.89622     |
| 7  | 0.84757                | 0.88907     | 0.85347                | 0.87708     |
| 8  | 0.85291                | 0.87930     | 0.84633                | 0.89359     |
| 9  | 0.84031                | 0.87634     | 0.85626                | 0.87719     |
| 10 | 0.85206                | 0.86050     | 0.82292                | 0.83948     |

【表2】 i 日降水量と水位変動の回帰と回帰からの標準偏差

| i  | C     | D     | $\sigma_a$ (cm) |
|----|-------|-------|-----------------|
| 1  | -6.48 | 0.310 | 8.09            |
| 2  | -4.64 | 0.319 | 6.75            |
| 3  | -9.60 | 0.333 | 5.54            |
| 4  | -3.75 | 0.355 | 8.11            |
| 5  | -3.38 | 0.364 | 8.09            |
| 6  | -2.15 | 0.365 | 8.78            |
| 7  | -0.33 | 0.354 | 9.81            |
| 8  | -0.11 | 0.358 | 10.50           |
| 9  | 0.79  | 0.359 | 10.77           |
| 10 | 2.07  | 0.354 | 11.38           |

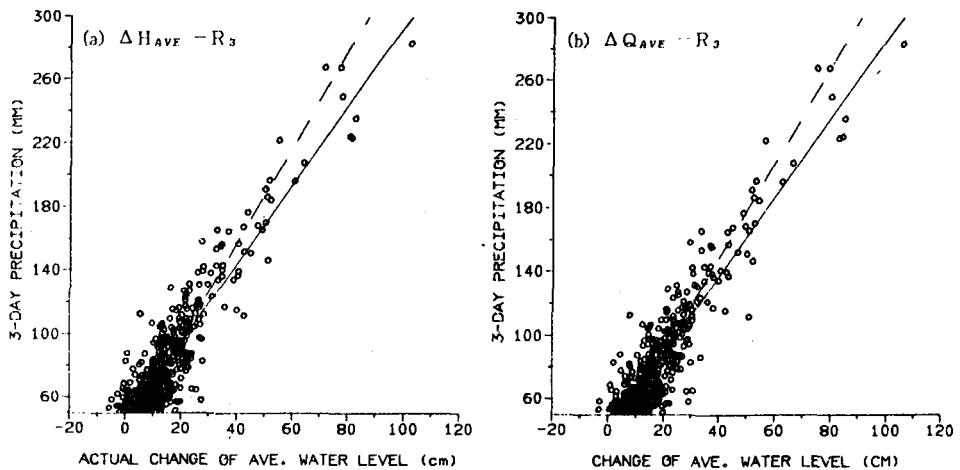
修正水位変動量  $\Delta Q_{AVE}$  の間の相関係数を求めた

(表1)。  $R_i$  の場合は相関係数の値は0.7程度

と低いが、  $R_3 \sim R_6$  の場合は 0.9に近い値を示しており、3日から数日雨量が事前に精度よく与えられれば、その間の水位変動 ( $\Delta H$ あるいは $\Delta Q$ ) がかなりの精度で予測できよう。対象を  $R_i > 100$  のときに限定すると、  $R_i > 50$  のときに比して相関係数がさらに大きくなる(表1)。彦根の水位は加重平均水位の値と近いのではほぼ同様の傾向を示した。鳥居川水位の場合相関係数は常に他の二つの場合よりも小さい値となった。

図1に  $\Delta H_{AVE} - R_3$  および  $\Delta Q_{AVE} - R_3$  の散布図を描いた。図中に書き込んだ実線は縦軸方向の回帰からの偏差の二乗和を最小としたもので、破線は横軸方向の回帰からの偏差の二乗和を最小としたものである。相関係数が最も高い(約 0.9)  $R_3$  の場合、プロット点が回帰直線の回りにきれいにのっていると言える。

実測水位の変動と修正水位の変動とを比較すると、この場合、修正水位を用いたからといって特に相関係数が大きくなるわけでもない。貯水位の初期条件や降雨予測、下流域の

【図1】 3日降水量と水位変動の散布図 [(a)  $\Delta H_{AVE} - R_3$ ; (b)  $\Delta Q_{AVE} - R_3$ ]

【表3】30, 60, 90日降水量と  
水位変動との相関係数

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| $\Delta H_{AVE} - R_{30} (<100)$ | 0.30089 |
| $\Delta Q_{AVE} - R_{30} (<100)$ | 0.31197 |
| $\Delta H_{AVE} - R_{60} (<200)$ | 0.36775 |
| $\Delta Q_{AVE} - R_{60} (<200)$ | 0.38709 |
| $\Delta H_{AVE} - R_{90} (<300)$ | 0.42574 |
| $\Delta Q_{AVE} - R_{90} (<300)$ | 0.43291 |

【表4】月降水量  $P_m$  と水位変動との相関係数

| m  | $\Delta H_{AVE} - P_m$ | $\Delta Q_{AVE} - P_m$ |
|----|------------------------|------------------------|
| 1  | 0.45084                | 0.35492                |
| 2  | 0.64888                | 0.53389                |
| 3  | 0.48309                | 0.70893                |
| 4  | 0.48321                | 0.66574                |
| 5  | 0.68120                | 0.82157                |
| 6  | 0.80084                | 0.80964                |
| 7  | 0.60254                | 0.89557                |
| 8  | 0.79811                | 0.83005                |
| 9  | 0.85261                | 0.92141                |
| 10 | 0.72204                | 0.80726                |
| 11 | 0.68865                | 0.75317                |
| 12 | 0.57652                | 0.65813                |

洪水の状況などによって、期間内の放流量がかなり異なるので、表面的な結果として相関係数の値があまり変わらないのであろう。実際、2枚の散布図を重ね合わせてみると、修正水位を用

いた場合のプロット点の相対的な位置が右へ動くものもあれば左へ動くものもある。

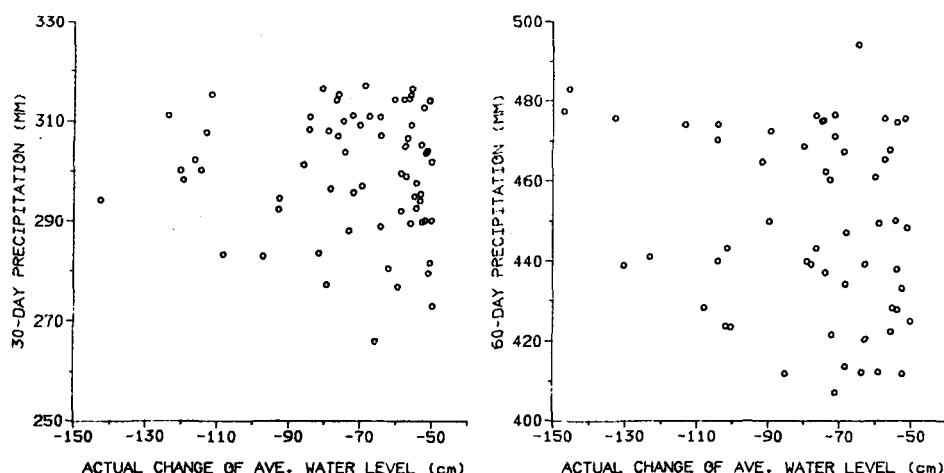
表2に回帰直線と回帰からの標準偏差を示した。この表より、 $i$ 日降水量が与えられると水位変動量が $\pm \sigma_i$ の精度で予測できる。

本節では、「多雨時」ということで、1~10日降水量が50mm以上のときを考えたが、期間が長くなる(10日をこえる)と徐々に相関が悪くなっていく。

## 2. 少雨時の降水量-水位変動の関係

30日, 60日, 90日間の降水量がそれぞれ 100mm, 200mm, 300mm 以下となる期間を抽出し、その間の降水量-水位変動の関係を調べた。表3に示すように両者の相関はない。次に、年最小30日降水量, 年最小60日降水量とその間の水位変動について調べたが、ほとんど相関が見られなかった(相関係数 0.0から-0.3 程度)。

以上とは逆に、30日, 60日間の水位低下が 50cm 以上あったとき( $\Delta H_{AVE} < -50\text{cm}$ )の  $R_{30}$ ,  $R_{60}$ と水位変動の関係を調べた。散布図を図2に示す。全くばらついている。結



【図2】30, 60日降水量と水位変動の散布図 [水位低下が 50cm 以上の場合]

局、このような比較的長い期間をとった場合、降水と流域からの流入だけでなくそれ以外の要素の影響が大きいので、こうした相関・回帰分析の結果を少雨時の水位変動予測モデルとして直接適用することには無理があると言える。

### 3. 月降水量－水位変動の関係

降水量－水位変動の関係の季節性を考慮するため、月降水量と月間の水位変動（月初めと月末の水位の単純な差）との相関をとってみた。表4にその相関係数を示す。冬の降雪期には降水があっても流出し

ない、春の融雪期には降水がなくても流出があるということから、それらの期間は相関係数がかなり小さくなっている。水位変動量 $\Delta H_{AVE}$ と月降水量の相関に比して、修正水位変動量 $\Delta Q_{AVE}$ と月降水量の相関係数は、1月と2月を除いて、かなり高くなっている。特に多雨期には月単位の修正水位変動量 $\Delta Q_{AVE}$ をかなりの精度で予測できると考えられる。相関係数の比較的高い5～10月の回帰直線と回帰からの標準偏差を表5に示す。7月および9月の $\Delta Q_{AVE} - P_m$ の散布図を図3に示す。この程度の回帰関係があれば水位変動予測の一手法として十分使いものになるう。

### 4. 結 語

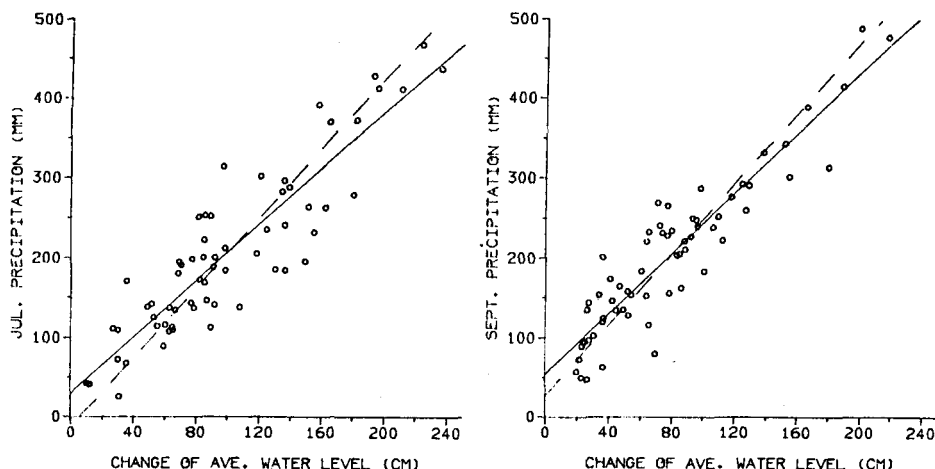
琵琶湖流域における降水量と琵琶湖水位変動量について多雨時・少雨時・季節（各月）別に相関および回帰分析を行い、それらの関係の定量的把握に努めた。両者の間に高い相関がある場合、得られた回帰直線を用いて所与の降雨に対して水位変動予測を行うことができる。このような場合の予測の精度を回帰からの標準偏差という形で与えた。

本研究は、昭和60年度文部省科学研究費補助金（自然災害特別研究(2)；代表・京都大学防災研究所池淵周一教授）の補助を受けた。記して謝意を表する。

【表5】月降水量と水位変動の回帰と回帰からの標準偏差

| m  | C      | D     | $\sigma_a$ (cm) |
|----|--------|-------|-----------------|
| 5  | 2.35   | 0.473 | 17.05           |
| 6  | -13.23 | 0.464 | 29.94           |
| 7  | 6.25   | 0.457 | 23.67           |
| 8  | 0.89   | 0.380 | 21.26           |
| 9  | -39.41 | 0.231 | 13.98           |
| 10 | 7.29   | 0.385 | 20.16           |

$$\text{回帰直線 } X = C + DY \\ [X: \Delta Q_{AVE}, Y: P_m]$$



【図3】7月および9月降水量と水位変動の散布図