

玖珠川連接水系の流量解析

統計数理研究所 荒畑恵美子・田辺 國士・田村 義保
北川源四郎・尾崎 統
九州電機製造株式会社 関 隆一・浦山 勝弘
大阪大学 工学部 田村 坦之

(1989 年 10 月 受付)

1. はじめに

九州の福岡県, 大分県, 熊本県にまたがる玖珠川連接水系の流量推定, 特に, 残流量の推定を試みた. この問題における困難さは, 観測点の不足や観測値が大きな誤差を含んでいることにある. また, 支流における流量が, 降雨量や農業の灌漑によって影響を受けることが, この問題をさらに難しくしている. このために, 従来方法では残流量が負になる等の問題があり(田村 (1986)), 河川の流量システムを制御するために意味のある情報を与えることが出来なかった.

本稿の目的は, 各地点での流量または水位の入出力関係の均衡と, それらが徐々に変化することを考慮して, 線形状態空間表現を用いたモデルを導入することによって, 未知の残流量を推定する可能性を探求することである.

観測ノイズとシステムノイズの分散をデータに適応的に変動させるルールを導入することにより, 低水位のときに推定した構造パラメータ (観測方程式の係数や遷移方程式の係数) の値を用いて, 高水位のときにもよい状態変数の推定値が得られた.

2. 水系のモデル化

水の流れは, 図 1 のようになっている. なお, 図 1 における番号は状態変数の番号を示す. モデルを作るにあたっては, 流下遅れ時間の最短時間は, 柳又 P.S. (Power Station) から夜明ダムへの 15 分間なので, サンプリング間隔として 15 分をとった. 原データは 1 分ごとに観測されているので, 流量は 15 個の和をとったものを用いた. 水位は 15 分間の平均をとった. 流量の単位は $m^3/15 \text{ min}$, 水位の単位は m とする. 大肥川, 花月川については, 水位のデータから流量に変換したのを用いた. 観測データとしては,

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 2 夜明 P.S. の使用水量 | 3 夜明ダムの放流量 |
| 4 夜明ダムの水位 | 6 大肥川の流量 |
| 7 花月川の流量 | (8) 三隈堰の水位 |
| (9) 小淵の水位 | 11 女子畑 P.S. の使用水量 |
| 13 女子畑貯水池の水位 | 14 玖珠川取水口の流量 |
| 15 玖珠川ダムの水位 | 19 柳又 P.S. の使用水量 |
| 21 柚木の水位 | |

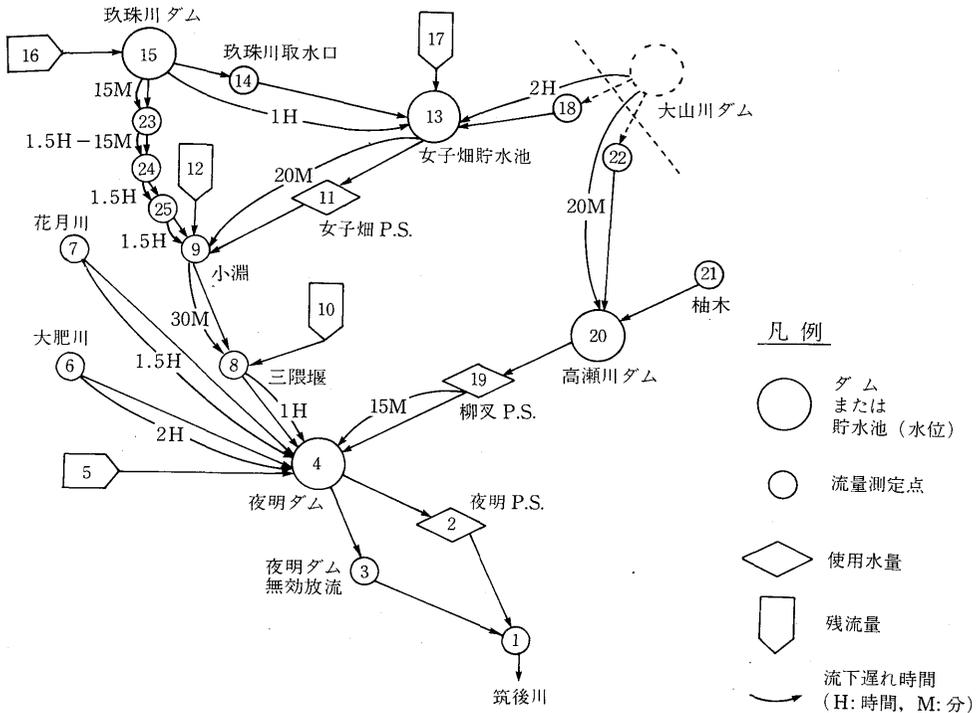


図1. 水の流れ図.

がある。但し、数字は対応する状態変数の番号、P.S.はPower Stationの略、()内はあとで水位から流量に変換したものを用いる。しかし、これだけでは十分な情報を取りだすモデルを作ることが出来ない。実際、知りたい変数としては、

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 筑後川の流量 | 8 三隈堰の流量 |
| 9 小淵の流量 | 20 高瀬川ダムの水位 |
| 23 玖珠川ダムからの流量 | |

がある。これらの変数は実際には観測していないが、以下の第1番目の式のように、2階の階差を取り、そのダムー観測値を0とした。これにより、これらの変数に関する動きが滑らかなることをモデル化出来る。

このとき、観測方程式は次のように表現することが出来る。

$$\begin{aligned}
 0 &= y(1, t) = x(1, t) - 2 \cdot x(1, t-1) + x(1, t-2) + w(1, t) \\
 y(2, t) &= x(2, t) + w(2, t) \\
 y(3, t) &= x(3, t) + w(3, t) \\
 y(4, t) &= c(4, 4) \cdot x(4, t) + w(4, t) \\
 y(5, t) &= x(6, t) + w(5, t) \\
 y(6, t) &= x(7, t) + w(6, t) \\
 y(7, t) &= c(7, 8) \cdot x(8, t) + w(7, t) \\
 0 &= y(8, t) = x(8, t) - 2 \cdot x(8, t-1) + x(8, t-2) + w(8, t) \\
 y(9, t) &= c(9, 9) \cdot x(9, t) + w(9, t)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= y(10, t) = x(9, t) - 2 \cdot x(9, t-1) + x(9, t-2) + w(10, t) \\
 y(11, t) &= x(11, t) + w(11, t) \\
 y(12, t) &= c(12, 13) \cdot x(13, t) + w(12, t) \\
 y(13, t) &= x(14, t) + w(13, t) \\
 y(14, t) &= c(14, 15) \cdot x(15, t) + w(14, t) \\
 y(15, t) &= x(19, t) + w(15, t) \\
 0 &= y(16, t) = c(16, 20) \cdot (x(20, t) - 2 \cdot x(20, t-1) + x(20, t-2)) + w(16, t) \\
 y(17, t) &= c(17, 21) \cdot x(21, t) + w(17, t) \\
 0 &= y(18, t) = x(21, t) - 2 \cdot x(21, t-1) + x(21, t-2) + w(18, t) \\
 y(19, t) &= c(19, 23) \cdot x(23, t) + w(19, t) \\
 0 &= y(20, t) = x(24, t) - 2 \cdot x(24, t-1) + x(24, t-2) + w(20, t)
 \end{aligned}$$

但し,

$y(1, t)^*$: 筑後川の流量の階差	$y(2, t)$: 夜明 P.S. の使用水量
$y(3, t)$: 夜明ダムの放流量	$y(4, t)$: 夜明ダムの水位
$y(5, t)$: 大肥川の流量	$y(6, t)$: 花月川の流量
$y(7, t)$: 三隈堰の流量	$y(8, t)^*$: 三隈堰流量の階差
$y(9, t)$: 小淵の流量	$y(10, t)^*$: 小淵の流量の階差
$y(11, t)$: 女子畑 P.S. の使用水量	$y(12, t)$: 女子畑貯水池の水位
$y(13, t)$: 玖珠川取水口の流量	$y(14, t)$: 玖珠川ダムの水位
$y(15, t)$: 柳又 P.S. の使用水量	$y(16, t)^*$: 高瀬川ダムの水位の階差
$y(17, t)$: 柚木の水位	$y(18, t)^*$: 柚木の水位の階差
$y(19, t)$: 玖珠川ダムからの流量	$y(20, t)^*$: 玖珠川ダムからの流量の階差

$y(j, k)$: 時刻 k における j 番目の観測変数

($y(j, k) = y(j, k \cdot \Delta t)$ とする)

Δt : サンプルング間隔

$w(j, k)$: 観測ノイズ

観測方程式において、データがない*印のついている $y(j, k)$ に関して2階の階差が0であるというダミーデータを用いたことに注意。

遷移方程式は、水の入出力関係及び各変数の滑らかさを考慮したスムージングの部分からなる。滑らかさを表わすために、2階の階差のスムースネス・プライアを導入した。サンプルング間隔の15分を1単位とし、流下遅れ時間が何単位になるかを計算し、それをモデルにおける各変数の時間遅れとして導入した(図1参照)。このとき、遷移方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 x(1, t+1) &= a(1, 2) \cdot x(2, t) + a(1, 3) \cdot x(3, t) + u(1, t) \\
 x(2, t+1) &= 2 \cdot x(2, t) - x(2, t-1) + u(2, t) \\
 x(3, t+1) &= 2 \cdot x(3, t) - x(3, t-1) + u(3, t) \\
 x(4, t+1) &= x(4, t) - a(4, 2) \cdot x(2, t) - a(4, 3) \cdot x(3, t) \\
 &\quad + a(4, 5) \cdot x(5, t) + a(4, 6) \cdot x(6, t-7) \\
 &\quad + a(4, 7) \cdot x(7, t-5) + a(4, 8) \cdot x(8, t-3) \\
 &\quad + a(4, 9) \cdot x(19, t-1) + u(4, t)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x(5, t+1) &= 2 \cdot x(5, t) - x(5, t-1) + u(5, t) \\
x(6, t+1) &= 2 \cdot x(6, t) - x(6, t-1) + u(6, t) \\
x(7, t+1) &= 2 \cdot x(7, t) - x(7, t-1) + u(7, t) \\
x(8, t+1) &= a(8, 10) \cdot x(10, t) + a(8, 9) \cdot x(9, t-1) + u(8, t) \\
x(9, t+1) &= a(9, 11) \cdot x(11, t) + a(9, 12) \cdot x(12, t) \\
&\quad + a(9, 25) \cdot x(25, t-5) + u(9, t) \\
x(10, t+1) &= 2 \cdot x(10, t) - x(10, t-1) + u(10, t) \\
x(11, t+1) &= 2 \cdot x(11, t) - x(11, t-1) + u(11, t) \\
x(12, t+1) &= 2 \cdot x(12, t) - x(12, t-1) + u(12, t) \\
x(13, t+1) &= x(13, t) - a(13, 11) \cdot x(11, t) + a(13, 17) \cdot x(17, t) \\
&\quad + a(13, 14) \cdot x(14, t-3) + a(13, 18) \cdot x(18, t-7) + u(13, t) \\
x(14, t+1) &= 2 \cdot x(14, t) - x(14, t-1) + u(14, t) \\
x(15, t+1) &= x(15, t) - a(15, 14) \cdot x(14, t) + a(15, 16) \cdot x(16, t) \\
&\quad - a(15, 23) \cdot x(23, t) + u(15, t) \\
x(16, t+1) &= 2 \cdot x(16, t) - x(16, t-1) + u(16, t) \\
x(17, t+1) &= 2 \cdot x(17, t) - x(17, t-1) + u(17, t) \\
x(18, t+1) &= 2 \cdot x(18, t) - x(18, t-1) + u(18, t) \\
x(19, t+1) &= 2 \cdot x(19, t) - x(19, t-1) + u(19, t) \\
x(20, t+1) &= x(20, t) - a(20, 19) \cdot x(19, t) + a(20, 21) \cdot x(21, t) \\
&\quad + a(20, 22) \cdot x(22, t-1) + u(20, t) \\
x(21, t+1) &= 2 \cdot x(21, t) - x(21, t-1) + u(21, t) \\
x(22, t+1) &= 2 \cdot x(22, t) - x(22, t-1) + u(22, t) \\
x(23, t+1) &= 2 \cdot x(23, t) - x(23, t-1) + u(23, t) \\
x(24, t+1) &= x(23, t-4) + u(24, t) \\
x(25, t+1) &= x(24, t-5) + u(25, t)
\end{aligned}$$

但し,

$x(1, t+1)$: 筑後川の流量	$x(2, t+1)^*$: 夜明 P.S. の使用水量
$x(3, t+1)^*$: 夜明ダムの放流量	$x(4, t+1)$: 夜明ダムの水位
$x(5, t+1)^*$: 夜明ダムの残流量	$x(6, t+1)^*$: 大肥川の流量
$x(7, t+1)^*$: 花月川の流量	$x(8, t+1)$: 三隈堰の流量
$x(9, t+1)$: 小淵の流量	$x(10, t+1)^*$: 三隈堰の残流量
$x(11, t+1)^*$: 女子畑 P.S. の使用水量	$x(12, t+1)^*$: 小淵の残流量
$x(13, t+1)$: 女子畑貯水池の水位	$x(14, t+1)^*$: 玖珠川取水口の流量
$x(15, t+1)$: 玖珠川ダムの水位	$x(16, t+1)^*$: 玖珠川ダムの残流量
$x(17, t+1)^*$: 女子畑貯水池の残流量	$x(18, t+1)^*$: ダミー
$x(19, t+1)^*$: 柳又 P.S. の使用水量	$x(20, t+1)$: 高瀬川ダムの水位
$x(21, t+1)^*$: 柚木の水位	$x(22, t+1)^*$: ダミー
$x(23, t+1)^*$: 玖珠川ダムからの流量	$x(24, t+1)$: 玖珠川ダムからの流量
$x(25, t+1)$: 玖珠川ダムからの流量	

$x(i, k)$: 時刻 k における i 番目の状態変数

($x(i, k) = x(i, k \cdot \Delta t)$ とする)

Δt : サンプル間隔
 $u(i, k)$: システムノイズ

状態方程式の表現を完結するために、*印のついている $x(i, k)$ に関しては、動きを滑らかにするの、2階の階差のスムーズネス・プライアを導入したことに注意。状態変数 23, 24, 25 に関しては、玖珠川ダムから小淵への流下遅れ時間が長いので、それを分割するために、人為的に導入したものである。

状態空間表現をベクトル表現を用いて書くと、次のようになる。

$$\mathbf{x}_{t+1} = \sum_{j=0}^{\theta} A_j \cdot \mathbf{x}_{t-j} + \mathbf{u}_t$$

$$\mathbf{y}_t = \sum_{j=0}^{\theta} C_j \cdot \mathbf{x}_{t-j} + \mathbf{w}_t$$

但し、

$\theta = 7, n=25, m=20$
 $\mathbf{x}_t = (x(1, t), \dots, x(n, t))'$
 $\mathbf{u}_t = (u(1, t), \dots, u(n, t))'$
 $\mathbf{y}_t = (y(1, t), \dots, y(m, t))'$
 $\mathbf{w}_t = (w(1, t), \dots, w(m, t))'$
 \mathbf{x}_t : 時刻 t における n 次元状態変数ベクトル
 \mathbf{u}_t : システムノイズベクトル
 \mathbf{y}_t : 時刻 t における m 次元観測ベクトル
 \mathbf{w}_t : 観測ノイズベクトル
 A_j の (i, l) 要素 = $a_j(i, l)$

$a_j(i, l)$ は遅れ時間が j あるときの $x(l, t-j)$ の係数に相当する 2, -1, 1, $a(i, l)$ または $-a(i, l)$ を表わし、その他のところは 0 とする。

C_j の (i, l) 要素 = $c_j(i, l)$

$c_j(i, l)$ は遅れ時間が j あるときの $x(l, t-j)$ の係数に相当する 1, -2 または $c(i, l)$ を表わし、その他のところは 0 とする。

これらの式に直接カルマン・フィルタの計算法をそのまま適用することは出来ない。なぜなら、式の右辺が時間遅れの項 \mathbf{x}_{t-j} を含んでいるので、

$$\mathbf{x}_t^j = \mathbf{x}_{t-j} \quad (j=0, 1, \dots, \theta)$$

と置くと、システムは次のように表わせる。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_{t+1}^0 \\ \mathbf{x}_{t+1}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{t+1}^\theta \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}_t^0 \\ \mathbf{x}_t^1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_t^\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \mathbf{u}_t$$

$$y_t = C \cdot \begin{pmatrix} x_t^0 \\ x_t^1 \\ \vdots \\ x_t^{\theta} \end{pmatrix} + w_t$$

但し,

$$A = \begin{pmatrix} A_0 & A_1 & \cdots & A_{\theta} \\ I & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & I & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & I & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = (C_0 \quad C_1 \quad \cdots \quad C_{\theta})$$

この新しいシステムに、カルマン・フィルタの計算法を適用する（有本（1977））。

3. 未知のパラメータの推定方法

推定すべきパラメータには、次のものがある。

- 観測方程式の係数の一部、8個
- 遷移方程式の係数の一部、24個
（これらを構造パラメータという）
- 観測ノイズの分散 $\sigma_{w_0}^2(i)$
- システムノイズの分散 $\sigma_{u_0}^2(i)$

これらのパラメータの推定は、モデルをデータにあてはめて、

- 流量が不自然に単調減少や単調増加しないようにする
- 残流が負にならないようにする
- 流水の地中への浸透がある

等の点を総合的に判断して決定した。

観測ノイズの分散は観測データの分散を調整変数で調整してから使用した。ダミーデータの場合のように、データが足りないところでは観測ノイズの分散として非常に大きな値、 10^4 等を入れた。観測ノイズの分散やシステムノイズの分散を適応的に調整するルールは、以下のようにした。 i 番目の変数の分散に対して、

(i) 観測ノイズの分散に対しては、

$$r(i) = (\text{過去 18 時点の観測値の絶対値の平均値の平方根}) / C_0(i)$$

(但し、 $C_0(i)$ はデータに基づいて決められた定数)

$$\sigma_{w_0}^2(i) = a \times \sigma_{w_0}^2(i) \times R(i)$$

を用いる。

(ii) システムノイズの分散に対しては、

$$r(i) = (\text{過去 18 時点の状態変数の推定値の絶対値の平均値の平方根}) / C1(i)$$

(但し, $C1(i)$ はデータに基づいて決められた定数)

$$\sigma_u^2(i) = \beta \times \sigma_{u_0}^2(i) \times R(i)$$

を用いる.

但し, $R(i)$ は次のようにした.

水位のとき: $R(i) = \max(r(i), 0.01)$

流量のとき: $R(i) = \max(r(i), 1)$

また α , β は調整変数である.

4. 数値例

この章では, 実際の数値に適用した例について述べる.

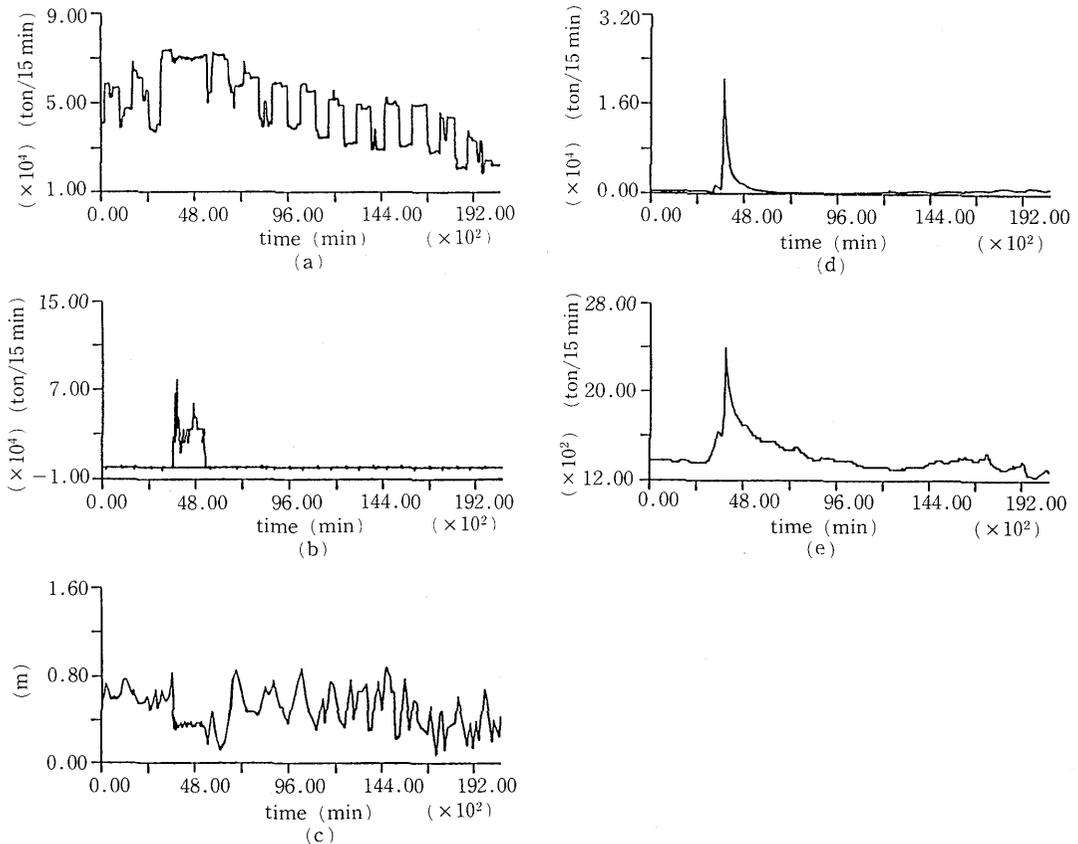


図2. 低水位のときのデータ. (a) 夜間 P.S. の使用水量, (b) 夜間ダムの放流量, (c) 夜間ダムの水位, (d) 大肥川の流量, (e) 花月川の流量.

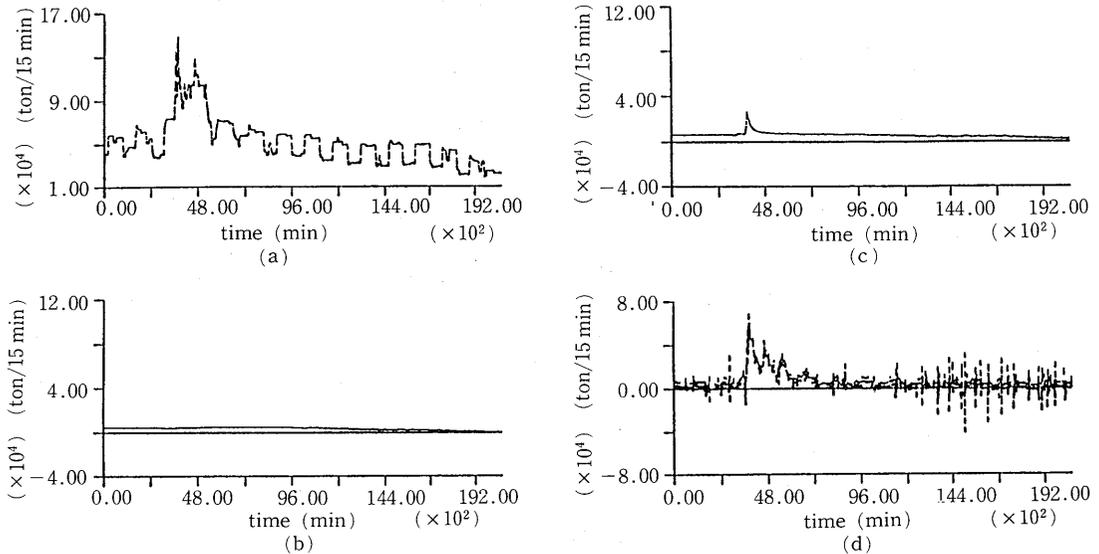


図3. 低水位のときの推定値. (a) 筑後川の推定流量, (b) 夜明ダムの残流量, (c) 夜明ダムの残流量+河川流入量, (d) 夜明ダムの残流量(従来の方)

例1. 低水位のとき: 図2(a)から図2(e)に各々, 夜明 P.S. の使用水量, 夜明ダムの放流量, 夜明ダムの水位, 大肥川の流量, 花月川の流量のデータを示した。これは, 雨が少なく, 河川流入量がほとんど一定のときである。夜明ダムの深さは 20 m あるが, 発電効率の関係で 19 m 以下に出来ない。夜明ダムの水位の変化は 0 m から 1 m の範囲内 (実際には, 20 cm から 80 cm 内) にとどめられている (寺本 (1987), 九津見 (1988))。図 2(c) の夜明ダム水位において, 3600 分 ($\div 2.5$ 日) から 5400 分 ($\div 3.75$ 日) にかけて水位が下がっている。この間は, 夜明ダムが無効放流を多くしているからである。図 3(a) から図 3(d) は推定値である。図 3(a) の筑後川の推定流量が, 3600 分 ($\div 2.5$ 日) から 5400 分 ($\div 3.75$ 日) にかけて増えている。これは同時期に雨が降り, 図 2(d) の大肥川, 図 2(e) の花月川で流量が増えたことにより, 図 2(b) の夜明ダムで無効放流が多くあったためである。図 3(b) の夜明ダムの残流量で 3600 分 ($\div 2.5$ 日) 位まで一定であったのが, 少しずつ増え, 7200 分 ($\div 5$ 日) 位からまた徐々に減っている。これは一時期雨で流量が増え, その後減ったためである。従来, 残流量といっているものは, 河川流入量を含んだものである。それで, 夜明ダム残流量と大肥川, 花月川の河川流入量を一緒にしたものとして図 3(c) を描いてみた。3600 分 ($\div 2.5$ 日) から 4800 分 ($\div 3.3$ 日) の間で流量が増えている。従来の方で計算した図 3(d) では, この残流量が負になったりしていたが, 図 3(c) では負にならないし, 滑らかである。

例2. 高水位のとき: 図4(a)から図4(e)に各々, 夜明 P.S. の使用水量, 夜明ダムの放流量, 夜明ダムの水位, 大肥川の流量, 花月川の流量のデータを示した。これは雨が多く降り, 河川流入量等が急激に増加したりしたときである。図4(d)の大肥川, 図4(e)の花月川では, 流量が 2880 分 ($= 2$ 日) 位のところで増えている。19200 分 ($\div 13$ 日) から 28800 分 ($= 20$ 日) 位の間のところで急激に増えている。これはいずれも雨による影響であるが, 後者の方はより激しい雨が降り, 急激に流量が増加している。図5(a)から図5(d)は推定値である。図5(a)の筑後川の推定流量が, 2880 分 ($= 2$ 日) 位のところで増え, 19200 分 ($\div 13$ 日) から 28800 分

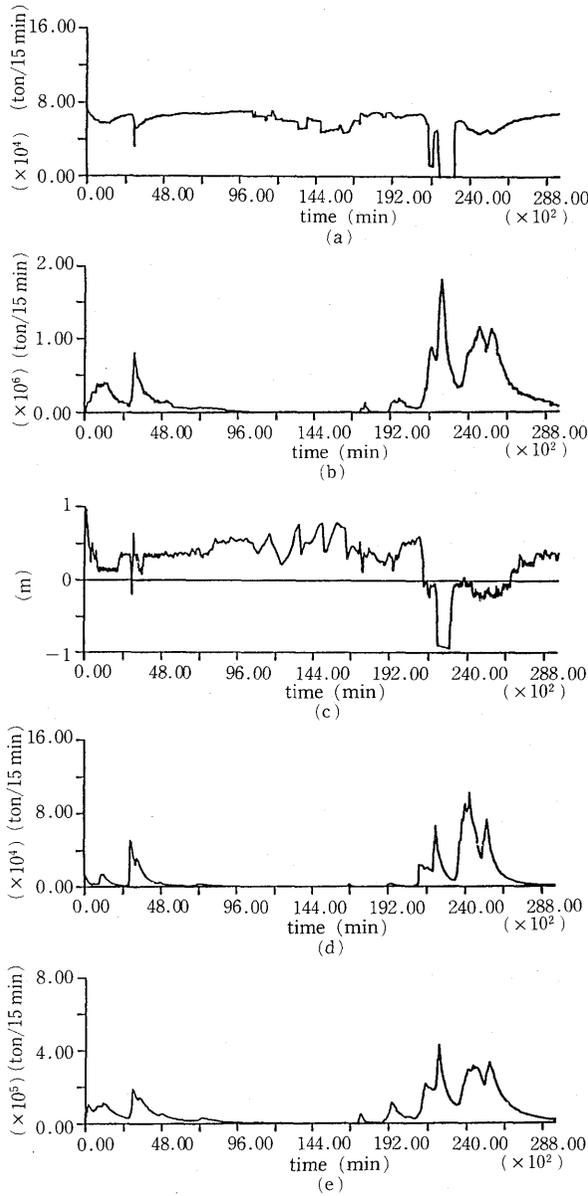


図4. 高水位のときのデータ。(a) 夜明 P.S. の使用水量, (b) 夜明ダムの放流量, (c) 夜明ダムの水位, (d) 大肥川の流量, (e) 花月川の流量。

(=20日)位のところで急激に増えている。これは同時期に雨が降り、大肥川、花月川の流量が増え、それらに相応して図4(b)の夜明ダムの無効放流があったためである。また、図5(b)の夜明ダムの残流量は21600分(≒15日)から26400分(≒19日)のところで急激に増え、それ以後下がっている。さらに、夜明ダム残流量と大肥川、花月川の河川流入量を一緒にしたものを残流量として図5(c)を描いてみた。2880分(=2日)位のところで流量が少し増え、19200分(≒13日)から26400分(≒19日)位の間のところで流量が急激に増えている。従来の方法

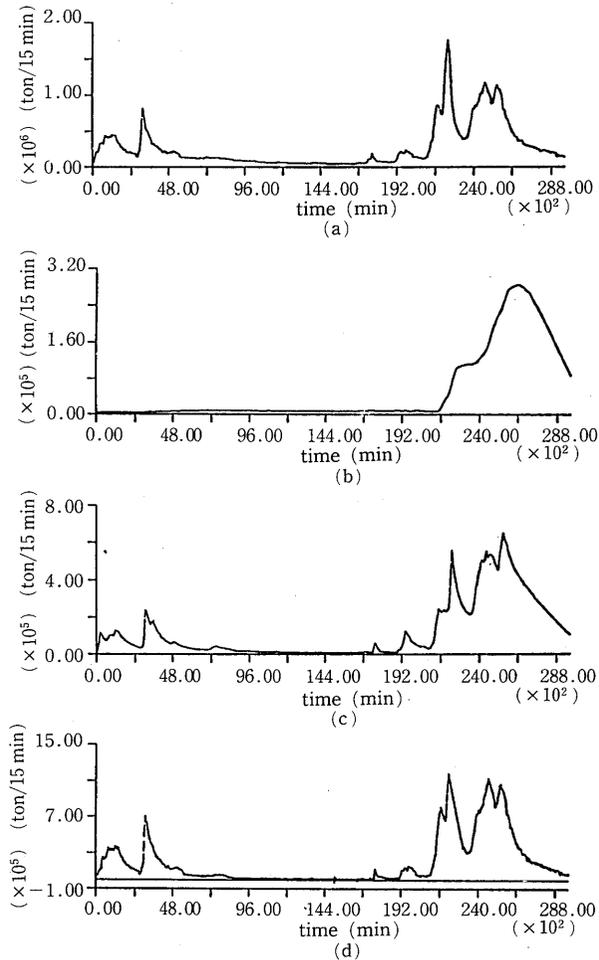


図5. 高水位のときの推定値。(a) 筑後川の推定流量, (b) 夜明ダムの残流量, (c) 夜明ダムの残流量+河川流入量, (d) 夜明ダムの残流量(従来の方法)。

で行なった図5(d)ではこの残流量が負になったりしていたが, 図5(c)では負になっていない。なお, この例における構造パラメータの値は, 例1において決められたものと同じである。

5. おわりに

ここで述べた方法で推定した残流量は既存の方法で推定した残流量とおおむね一致する。さらに, 既存の方法で推定した残流量は負になったり変動が大きかったが, この方法では残流量は負にならないし, スムースに推定された。また, 低水位のときに用いた構造パラメータを動かさずに, 高水位のときの状態変数の推定にも用いることが出来ることがわかった。構造パラメータの値の推定は, 普通の最尤法ではうまく決めることが出来ないのので, 各河川の流量の物理的に反しない推定が得られるように決定した。今後, 何らかの客観的な評価基準を導入し自動化する方法を考えたい。同じ水系において, 雨が急激に降ったときの流量解析に対しては, Ozaki et al. (1988) を参照されたい。

謝 辞

これは、共同研究(63-共研-36「発電所連接水系の最適運用」):尾崎 統, 田辺國士, 赤池弘次, 石黒真木夫, 北川源四郎, 田村義保, 宮里義彦, 土谷 隆, 荒畑恵美子(統計数理研究所), 中村秀雄, 関 隆一, 浦山勝弘(九州電機製造株式会社), 田村坦之(大阪大学))の一部分である。最後に、この仕事をするにあたり、共同研究者の方々と統計数理研究所の統計データ解析センターの桂康一氏, 松野秀夫氏, 太田吟子氏にお世話になりました。この原稿を精読し、有益なコメントをくださった査読者に感謝致します。

参 考 文 献

- 有本 卓(1977). 『カルマン・フィルター』, 産業図書.
- 九津見毅(1988). 連接水系における夜明ダム水位の推定と制御, 大阪大学工学部精密工学科修士論文, 1-106.
- Ozaki, T., Hotta, L.K., Nakamura, H., Seki, R., Tamura, H., Tanabe, K. and Akaike, H. (1988). Nonlinear prediction of the water flow in an interconnected multi-reservoir power system, *Proceedings of the 4th International Symposium on Systems Analysis Applied to Management of Water Resources*, 181-189, IFAC, Hydraulics Administration, Morocco.
- 田村義保(1986). 発電所連接水系についての報告, 統計数理研究所.
- 寺本 晶(1987). 夜明ダムにおける流入量推定と水位制御, 大阪大学工学部精密工学科修士論文, 1-75.

Analysis of Water Flow of the Kusu River in an Interconnected
Multi-reservoir Power System

Emiko Arahata, Kunio Tanabe, Yoshiyasu-Hamada Tamura,
Genshiro Kitagawa and Tohru Ozaki
(The Institute of Statistical Mathematics)

Ryuichi Seki and Katsuhiko Urayama
(Kyushu Electric Manufacturing Co., Ltd.)

Hiroyuki Tamura
(Faculty of Engineering, Osaka University)

We are concerned with the problem of predicting water flows of the Kusu river system in Kyushu, in the southern part of Japan, which interconnects several multi-reservoir power systems. In particular, we are interested in predicting the residual inflows into the reservoirs. The difficulty with this problem arises from the lack of a sufficient number of observation points as well as a large error in measurements. Due to this problem, the conventional methods which depend on an ad hoc technique were unable to give meaningful information for controlling the river flow system.

The purpose of this paper is to explore the possibility of estimating the unknown residual river flows by introducing a prior model which reflects the mass balance of water and gradual change of water flows. A state space model for this system is introduced. We introduce smoothing prior to unknown variables to specify the transition equations, and add the second-order difference equations for unmeasurable variables to the observation equations. Using the Kalman filtering technique, we get the state estimates. The structural parameters which are estimated for low water level cases are successfully applied to high water level ones. While conventional estimation of residual river flows often gives negative values which do not reflect reality, our method has no such problem.