

京都大学大学院 学生員 富澤直樹

京都大学工学部 正 員 高棹琢馬

京都大学工学部 正 員 椎葉充晴

1. 概要 筆者らは、これまで統計的線形化とKalman フィルターアルゴリズムを結合した洪水流出の実時間予測手法を検討してきた¹⁾。本研究の基本的な考えかたは従来の筆者らの研究と変わらないが、流出システムの非線形性への対処をより精密にする方法として統計的2次近似の理論を展開し、数値的安定性の点で優れているUDフィルター手法と結合したフィルタリング・予測手法を提案する。

統計的2次近似によれば、統計的線形化では無視される線形化誤差の分散行列の下限値が2次項の分散行列で評価されることになる。理論及び電子計算機システムとしての実現の詳細²⁾については、紙数の都合で省略する。

本報告ではその適用例を提示する。

2. 流出予測モデルの構成 由良川水系土師川流域 (370 km²) を対象流域とした。その現行の流出モデル³⁾は木村の貯留関数法で構成されている。この現行モデルを基礎にして誤差を補うノイズを付加し、次のような確率過程的流出予測モデルを考える。

$$dS(t)/dt = f \cdot r(t - T_L) - ((S(t)/K)^{1/P} + p(t)) \quad (1)$$

$$dp(t)/dt = -(1/\tau)p(t) + v(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = A((S(t)/K)^{1/P} + p(t)) \quad (3)$$

$$y_k = Q(k) + w_k, \quad k=1, 2, \dots \quad (4)$$

ただし、 r : 降雨強度、 S : 流域貯留量、 Q : 流出量、 A : 流域面積、 K, P : 貯留関数の定数、 T_L : 遅滞時間、 f : 流入係数、 y_k : 時刻 k の観測流量である。貯留関数のパラメータは、現行モデルの

値を用いた。 $S(t), p(t)^T$ が確率状態ベクトルで、(1), (2) が状態方程式、(3) が出力式、(4) が観測式である。 w_k は流量観測の誤差を表すノイズで、 $N(0, R)$ に従うとする。 $v(t)$ は平均0で、

$$E(v(t)v(s)) = (2/\tau)\sigma^2\delta(t-s) \quad (5)$$

なる連続白色正規過程である ($\delta(t)$ は Dirac のデルタ関数)。ノイズ $p(t)$ は流出高を $(S(t)/K)^{1/P}$ で表したときの誤差を補うために導入したものである。

$R=10(\text{m}^3/\text{sec})^2$ とし、1965年9月の出水データで τ, σ^2 を最尤法により同定した結果、 $\tau=26\text{hr}$ 、 $\sigma^2=1.4(\text{mm})^2$ を得た。この時のノイズ $p(t)$ のラグ1時間の自己相関係数は0.96である。図1に、同定された値を用いて同出水の1時間先を再予測した結果を示す。図2にその予測残差のコレログラム

を示す。本モデルによってもなお予測残差に持続性が認められるが、現行モデルのそれを大きく改善している。

3. 適用と考察

前項で構成した予測モデルを用いて、

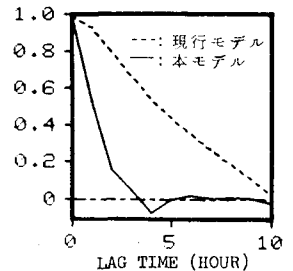


図2. 1時間先予測残差のコレログラム

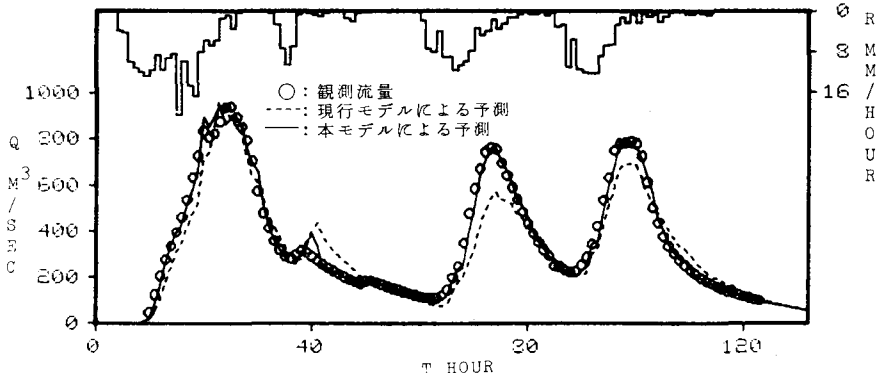


図1. 1時間先流出予測ハイドログラフ

1970年6月の出水での2時間先及び3時間先を予測した結果を図3に示す。図4にはその予測残差のヒストグラムを示す。本モデルによる2時間先予測残差の平均と分散はそれぞれ、 $0.2 \text{ m}^3/\text{sec}$, $52.3(\text{m}^3/\text{sec})^2$ であり、現行モデルの値-13.0, 72.1に比べてより0の近傍に集中して分布している。3, 4時間先になると、流量観測によるフィルタリングの効果が及ばず、元のモデルの影響を大きくうけその分布は似たものとなる。

予測残差の白色性の検討⁴⁾も行った(予測残差が白色でなければ、モデルの再検討が必要である)。1時間先予測残差の連の数の検定では有意水準3%で、符号の検定では5%でも有意な自己相関は認められない。1時間先予測残差のコレログラムを図5に示す。ここでも現行のモデルに比べ大きく改善され、また有意水準5%で自己相関は認められない。よって、ほぼ5%の有意水準で、予測残差の白色性を否定することはできない。

4. 結論 現行モデルをもとにして統計的2次近似手法を適用した結果、2時間先までは予測精度が改善されることが示された。本適用例では、モデル誤差を補うノイズを白色とできないことも示された。予測残差はまだ完全には白色ではないが、さらにノイズ項を加えれば(ノイズ項のパラメタ同定や流出予測の計算コストは増大するが)さらに精度の高い予測結果が得られると思われる。

< 参考文献 >

- 1) 高埴琢馬・椎葉充晴・宝 馨：京都大学防災研究所年報, 1983
- 2) 高埴琢馬・椎葉充晴・宝 馨：京都大学防災研究所年報, 1984
高埴琢馬(代表者)：昭和57・58年度試験研究成果報告書, 1984
- 3) 由良川洪水予報連絡会：由良川洪水史, 1981
- 4) 岩井重久・住友 恒・松岡 譲：水質データの統計的解析,
森北出版, 1980

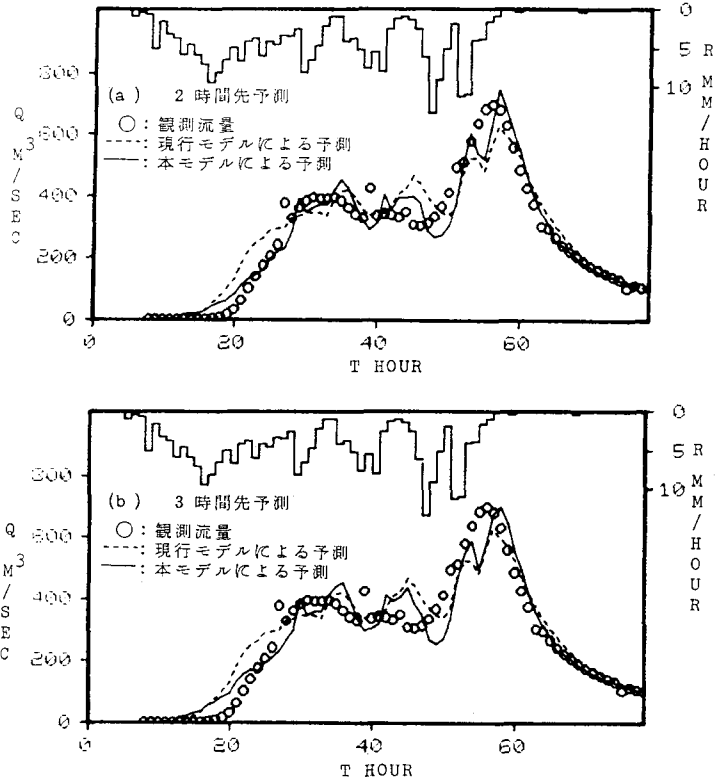


図3. 流出予測ハイドログラフ

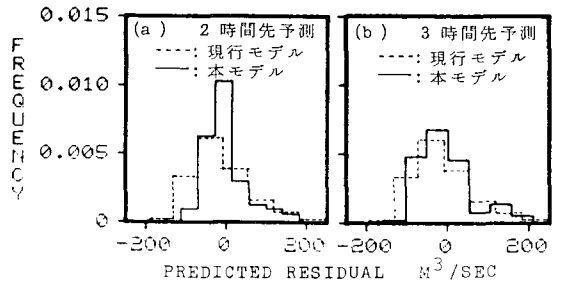


図4. 予測残差のヒストグラム

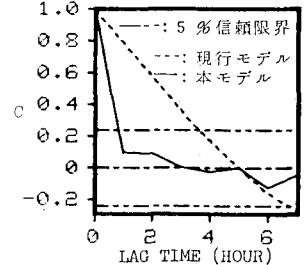


図5. 1時間先予測残差のコレログラム