# 統計的２次近似手法による流出予測


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
京都大学大学院　学生員　○富澤　直樹
京都大学工学部　学生員　稲盛　幸生


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，現行の貯留関数モデル[3]を基礎にして，次のような流出予測モデルを考える。

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

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

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

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

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。$(S(t),p(t))^T$ が状態ベクトルで，(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。

$R=10(\mathrm{m^3/sec})^2$ とし，1965年9月の出水データでτ，$\sigma^2$ を最尤法により同定した結果，$\tau=26$ hr，$\sigma^2=1.4\ (\mathrm{mm/hr})^2$を得た。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を再予測した結果を示す（○：観測流量，----：現行モデルによる予測，―：本モデルによる１時間先予測）。図２に予測残差のコレログラムを示す（----：現行モデル，―：本モデル）。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。

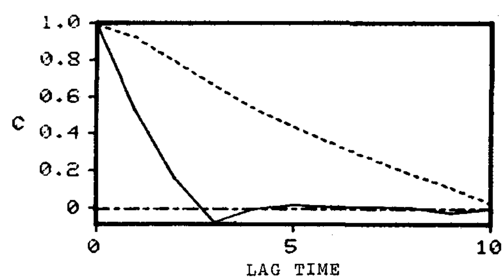


図２．　１時間先予測残差のコレログラム

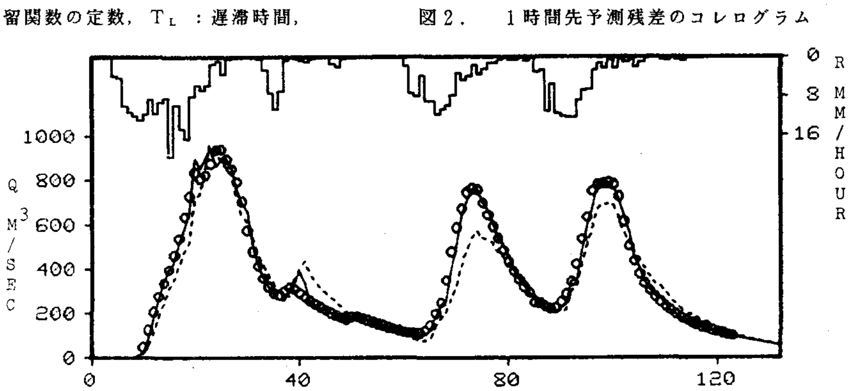


図１．　１時間先流出予測ハイドログラフ

Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA, Naoki TOMISAWA, Kousei INAMORI

3．適用と考察　前項で構成した予測モデルを用いて，1970年6月の出水を予測した結果を図3に示す（—：本モデルによる予測，他の記号は図1と同じ)。図4には予測残差のヒストグラムを示す（—：本モデルによる予測，---：現行モデルによる予測）。本モデルによる2時間先予測残差平均，分散は，0.2 $m^3$/sec，52.3 $(m^3/sec)^2$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も行った（予測残差が白色でなければ，予測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（記号は図2に同じ）。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。

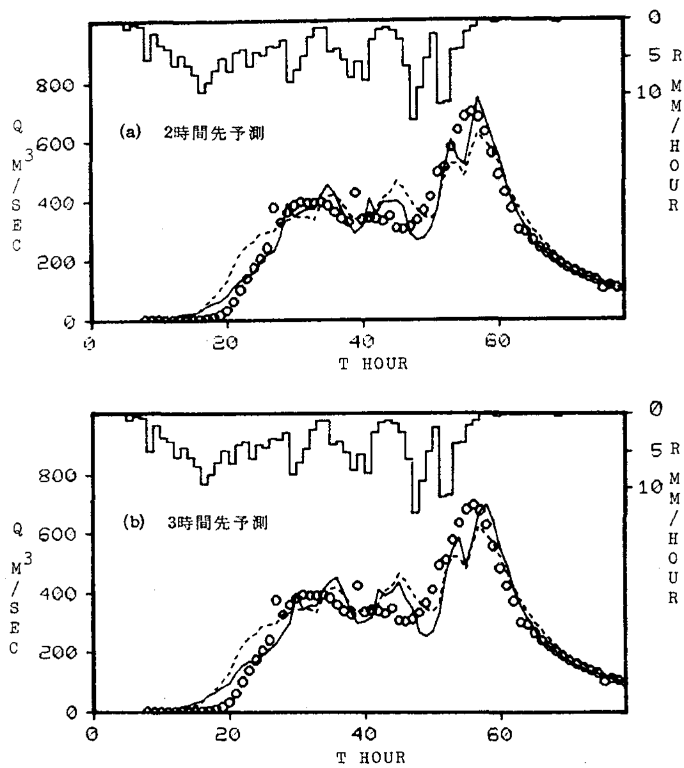

図3.　流出予測ハイドログラフ

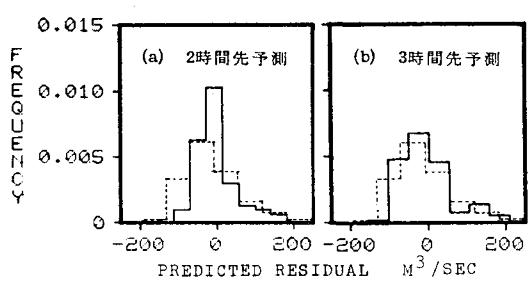

図4.　予測残差のヒストグラム

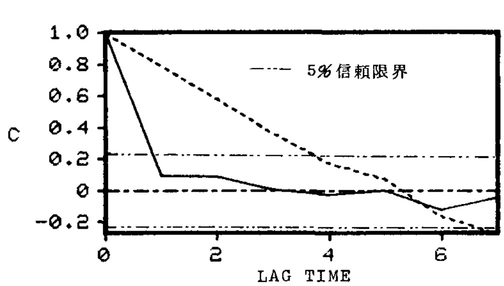

図5.　1時間先予測残差のコレログラム

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)　高棹・椎葉・宝：京都大学防災研究所年報,1983

2)　高棹・椎葉・富澤：京都大学防災研究所年報,1984
　　高棹（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