

II-393

容易に入手可能な気象要素に基づく短時間降雨予測

東京大学大学院 学生会員 保科 靖
 東京大学工学部 フェロー会員 玉井信行

1. はじめに

水文現象の素過程として降雨現象を捉え、短時間降雨予測を行うことは、流域の都市化により洪水到達時間が短縮した中小河川の水防災上、極めて重要であるといえる。本論文は、対流性降雨の成因に着目し、Georgakakos, K. P. and R. L. Bras が 1984 年に発表した論文（文献 1、2）及び Georgakakos, K. P. が 1986 年に発表した論文（文献 3）を参考に、地上における 10 分間隔の気温、露点温度、気圧、降雨量をインプットとする 30 分降雨予測モデルを構築し、その適用を建設省京浜工事事務所（横浜市鶴見区）で行ったものである。

2. モデルの構成

図 1 に示すような雲柱において、内部に含まれる水分量 X （系の状態変量という）の変動を考える。ここで、水分の移動は鉛直方向のみを考慮し、水平方向の移流はないと仮定する。 X は上昇気流の凝結による凝結水分 I のため増加する一方、雲頂から高層に吹き飛ばされる水分 O_t 及び雲底から重力により脱落する水分 O_b のため減少する。 O_b の一部は空中で蒸発し、残りが地上に降雨量 P として落ちてくる。上述した水分変動の様子を物質量保存則によって表わすと、(1) のような関係になる。

$$\frac{dX(t)}{dt} = I(t) - O_t(t) - O_b(t) \quad (1)$$

いくつかの熱力学的及び気象学的な仮定を用いて(1)は非線形な関数形 f 、 h を用いて(2)のように書き換えられ、地上降雨量 $P(t)$ も非線形な関数形 g によって(3)のように書き表わすことができる。

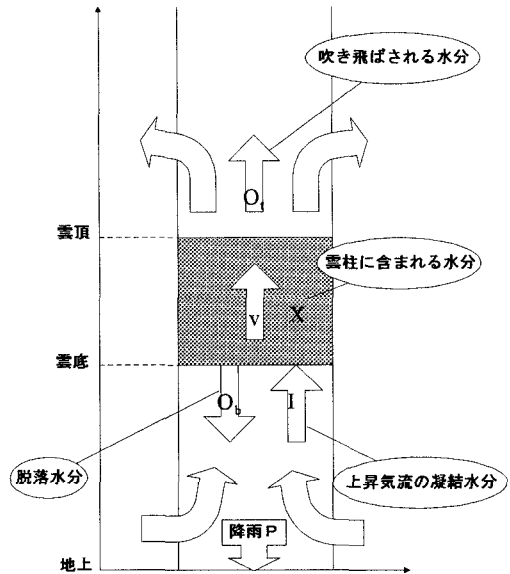


図 1 モデルの概念図

$$\frac{dX(t)}{dt} = f(\mathbf{u}, \mathbf{a}_1) - h(\mathbf{u}, \mathbf{a}_0)X(t) \quad (2)$$

$$P(t) = g(\mathbf{u}, \mathbf{a}_0)X(t) \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{u}^T = [T_0, p_0, T_d]$ $\mathbf{a}_1^T = [p_1, v]$ $\mathbf{a}_0^T = [p_1, v, c]$ であり、 T_0 、 p_0 、 T_d はそれぞれ地上における気温、気圧、露点温度を表わす。また、 p_1 、 v 、 c はそれぞれ雲頂における気圧、平均上昇気流速度、雨滴の平均粒径の逆数を表わし、 T_0 、 p_0 、 T_d 及びいくつかのパラメータを設定することにより算出可能である。(2)に示される X に関する線形の常微分方程式を解き、さらに、(3)を用いることにより降雨量を予測するモデルである。

3. カルマンフィルター理論の適用

X が観測不可能な状態変量であることを考慮して、カルマンフィルター理論を適用するため、(2)及び(3)を状態方程式及び観測方程式と呼ばれる以下のような式に書き換える。

$$\frac{dX(t)}{dt} = f(u, a_1, t) - h(u, a_0, t)X(t) + \Gamma(t)W(t) \quad (4)$$

$$P(k) = g(u, a_0, k)X(k) + V(k) \quad (5)$$

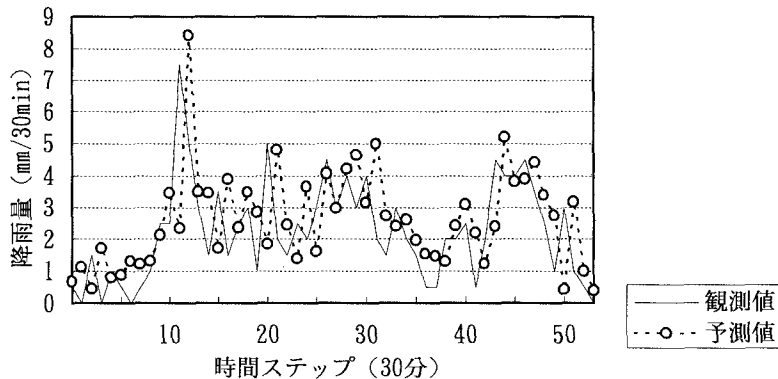
ここで、 $\Gamma(t)W(t)$ はシステム雑音であり、平均0、分散 $Q(\tau)$ に従う正規白色雑音であり、 $V(k)$ は観測誤差であり、平均0、分散 $R(k)$ に従う正規白色雑音である。上式にカルマンフィルター理論を適用すると以下のような関係が導ける。ただし、 $\hat{X}$ は X の推定値であり、 Σ は X の推定誤差分散である。

$$\begin{aligned} \text{prediction} \quad \frac{d\hat{X}(\tau|t)}{d\tau} &= f(u, a_1, \tau) - h(u, a_0, \tau)\hat{X}(\tau|t) \\ \frac{d\Sigma(\tau|t)}{d\tau} &= h(u, a_0, \tau)\Sigma(\tau|t) + \Sigma(\tau|t)h(u, a_0, \tau) + Q(\tau) \\ \text{filtering} \quad \hat{X}(k|k) &= \hat{X}(k|k-1) + K(k)[P(k) - g(u, a_0, k)\hat{X}(k|k-1)] \\ \Sigma(k|k) &= [1 - K(k)g(u, a_0, k)]\Sigma(k|k-1) \\ K(k) &= \Sigma(k|k-1)g(u, a_0, k)[g^2(u, a_0, k)\Sigma(k|k-1) + R(k)]^{-1} \end{aligned}$$

4. 適用結果及び考察

1995年の9月15日から17日にかけて発生した台風性降雨の際に得られた観測データを用いて、初期時刻を15日0時に設定し、降雨予測を行った。図2は16日12時からの30分毎の観測値と予測値とを比較したものである。概、的確に予測できているが、ピークの到来の予測が一期遅れる傾向がある。今後は移流項を取り込むモデルの構築や、他の予測手法との併用などにより、モデルの一層の精度向上を期待したい。

図2 台風性降雨（95年9月）30分予測



【参考文献】

1. Georgakakos, K.P. and R.L. Bras, A hydrologically useful station precipitation model, 1, Formation, Water Resour. Res., 20(11), 1585-1596, 1984a
2. Georgakakos, K.P. and R.L. Bras, A hydrologically useful station precipitation model, 2, Case Studies, Water Resour. Res., 20(11), 1597-1610, 1984b
3. Konstantine P Georgakakos, State Estimation of a scalar dynamic precipitation model from time-aggregate observation, Water Resour. Res., 22(5), 744-748, 1986