II-71 気象予測を考慮した日降水量のシミュレーション・モデル

近畿大学理工学部 正員 中西 祐啓
近畿大学理工学部 正員 江藤 剛治

1. はじめに

今日から、以後数か月間にわたって、貯水池等により、水資源を管理する場合を考える。現在の貯水量を与え、以後の管理方式等を定めて、過去数10年分の流量時系列資料（降水量資料）に対して、貯水池の水収支計算を行えば、以後の渇水の生起頻度、その継続期間長分布等を計算することができる。実測水文資料長が十分でないと考えられるときは、水文量のシミュレーション手法により、人為的に必要な長さの水文資料を発生させることができる。しかし、実際には、天気予報等により、明日以後ある期間内の気象予測が与えられている。よって明日以後の水資源管理の入力として用いる水文量時系列は、過去の時系列資料や、通常のシミュレーション手法によって作成した水文資料のように、予測とは無関係にランダムに変動するのではなく、与えられた予測値のまわりに予測精度に依存する幅をもって分布するような水文量時系列でなければならない。著者らはこのような形で気象予測を導入した日降水量のシミュレーション・モデルを開発したので報告する。基本となる日降水量のシミュレーション・モデルは潜在変動モデル[1)]である。また、週間予報を考慮したときのシミュレーション結果を示す。

2. 予測シミュレーション・モデル

潜在変動モデル[1)]への気象予測の導入手法について示す。

潜在変動モデルとは、降水量の指標となるような連続に変動する潜在的な変動が存在すると仮定し、潜在変動がある強度を越えたとき降水事象が生起し、降水量は潜在変動の強度の関数で表わされるとしたものである。潜在変動モデルは、時系列モデル（潜在変動をシミュレートする）と分布変換モデル（潜在変動を降水量に変換する）とから成っている。時系列モデルを次の多変数線形回帰モデルで表わす。

$$\mathbb{Y} = \mathbb{A}\mathbb{X} + \mathbb{B}\boldsymbol{\epsilon} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

ここに、$\mathbb{X}$, $\mathbb{Y}$, $\boldsymbol{\epsilon}$ は規準化された説明変数ベクトル、被説明変数ベクトル、誤差ベクトル、$\mathbb{A}$, $\mathbb{B}$ は係数行列である。$\mathbb{R}_{XY}$, $\mathbb{R}_{YX}$, $\mathbb{R}_X$, $\mathbb{R}_Y$ をそれぞれ、$\mathbb{X}$ と $\mathbb{Y}$ の相関行列、$\mathbb{Y}$ と $\mathbb{X}$ の相関行列、$\mathbb{X}$ の要素間の相関行列、$\mathbb{Y}$ の要素間の相関行列とすれば、

$$\mathbb{A} = \mathbb{R}_{YX}\mathbb{R}_X^{-1} \quad , \quad \mathbb{B}\mathbb{B}^T = \mathbb{R}_Y - \mathbb{R}_{YX}\mathbb{R}_X^{-1}\mathbb{R}_{XY} \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

式(1)の $\mathbb{Y}$ を $i+1$ 日の各種の水文気象量 $\mathbb{X}_{i+1}$，$\mathbb{X}$ を i 日の水文気象量 $\mathbb{X}_i$ と置き換える。これで $\mathbb{X}_i$ を与えて $\mathbb{X}_{i+1}$ を発生させることができる。この $\mathbb{X}_{i+1}$ の値を $\mathbb{X}_i$ に代入して同様の計算を行えば、$\mathbb{X}_{i+2}$ が求まる。同様にして任意の長さの潜在変動成分を発生させることができる。これらを分布変換することによって各種の水文気象量が得られる。以上が潜在変動モデルの概要である。

式(1)の説明変数ベクトル $\mathbb{X}$ の要素として予測値を含めることにすると、予測値を考慮したシミュレーション・モデルとなる。説明を簡単にするために、1気象量の場合を考える。$i+1$ 日の気象量の潜在変動 X_{i+1} を予測値 $\hat{X}_{i+1}$ のまわりに発生させ、かつ i 日の降水量の潜在変動 X_i と X_{i+1} の相関関係を保持するためには次式を用いればよい。

$$X_{i+1} = a_1 X_i + a_2 \hat{X}_{i+1} + b\varepsilon_{i+1} \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

すなわち、$\mathbb{Y} = X_{i+1}$, $\mathbb{X} = (X_i, \hat{X}_{i+1})$, $\boldsymbol{\epsilon}_{i+1} = \varepsilon_{i+1}$, $\mathbb{A} = (a_1, a_2)$, $\mathbb{B} = b$ である。他の説明変数、他の予測値があるときには $\mathbb{X}_i$ の要素として付け加えればよい。リード・タイムが $1 \sim n$ の期間で予測シミュレーションを行うときには次の2モデルが考えられる。

a．逐次モデル（図－１）

$$X_{i+k}=a_{1k}X_{i+k-1}+a_{2k}\hat{X}_{i+k}+b_k\varepsilon_{i+k} \qquad (k=1,2,\cdots,n) \qquad \cdots\cdots \ (4)$$

すなわち、X_{i+k-1} が既にジェネレートされているとき、式(4)を用いて X_{i+k} を発生させる。これを $k=1$ からnまで繰り返す。

b．一括モデル（図－２）

$$\begin{pmatrix} X_{i+1} \\ X_{i+2} \\ \vdots \\ X_{i+n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}, a_{12}, \cdots, a_{1n+1} \\ a_{21}, a_{22}, \quad \vdots \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ a_{n1}, \cdots\cdots, a_{nn+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ \hat{X}_{i+1} \\ \hat{X}_{i+2} \\ \vdots \\ \hat{X}_{i+n} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11}, 0 \cdots\cdots 0 \\ b_{21}, b_{22} \ddots \vdots \\ \vdots \quad \ddots \quad 0 \\ b_{n1} \cdots\cdots b_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix} \qquad \cdots\cdots \ (5)$$

すなわち、$X_{i+1}\sim X_{i+n}$ を一括して発生させる。降水量、気温など多くの水文気象量、多地点の場合などに対しては、$\mathbb{X}_{i+1}$ の要素として $X_{i+n}\sim X_{i+n}$ に引き続いて、さらに発生させる変動を追加し、$\mathbb{X}_i$ の要素に相当する説明変数、予測値などを付け加えればよい。

予測不可能なnより先の期間については、X_{i+n} を初期値として、通常のシミュレーションを行えばよい。

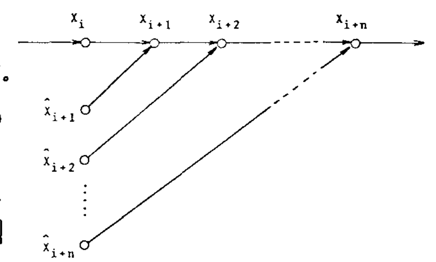
３．予測シミュレーション結果

前述の予測シミュレーション・モデル（一括モデル）を作成した。

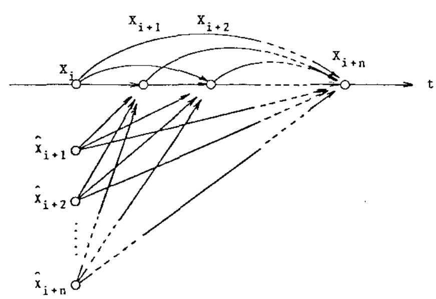
６月３日に予報が出たものとし、６月４日～６月10日の降水・気温の予測シミュレーションを行い、６月11日からは通常のシミュレーションを行った。予報としては、週間予報の次日・次々日の降水予報、週全般の降水予報、週前半・後半の気温予報を用いた。予測値を色々に変えてシミュレートした。結果を図－３、図－４に示す。降水日率、降水条件付平均降水量とも、はじめは予報の効果で予測値が大きいときはシミュレーション値は大きい方に、予測値が小さいときは小さい方にずれている。10日以上経過すると、シミュレーション値から計算される統計量は、予報とは無関係に平均的な値に漸近してくる。気温についても同様の結果が得られた。また、各種の分布、相関構造についてもうまくシミュレートされている。

以上のように、潜在変動モデルに予測値を入れることによって、予報の効果を導入した日降水量のシミュレーションが可能なことを示した。

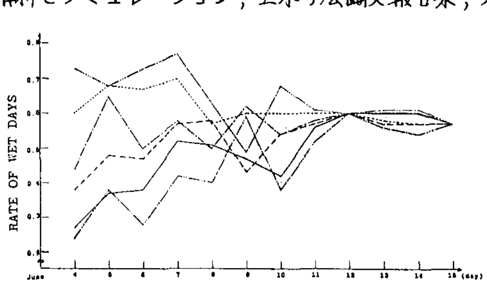
〔参考文献〕　室田・江藤，潜在変動モデルによる日降水量時系列の解析とシミュレーション，土木学会論文報告集，第270号，1978



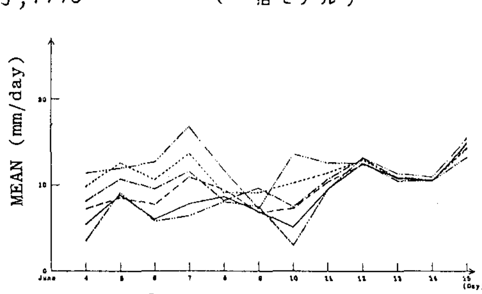
図－１　予測シミュレーション（逐次モデル）



図－２　予測シミュレーション（一括モデル）



図－３　降水日率



図－４　降水条件付での平均降水量