II－14　SYNTHETIC STREAMFLOW ANALYSISによる流量予測と貯水容量の検討

日本工営　正員　○高柳則男
日本工営　　　　伊藤正樹

1．序論

水資源開発のプロジェクトを実施する際には，対象となる河川の流量，流域の降雨量等の調査・解析を行ない，過去の実績，将来予測等の検討を行なわなければならないが，資料が短期間しか得られていない場合にはこれを補足する必要がある。このような資料から流量の長期予測をするための一方法として，M.B.Fieringらによつて提唱されたSynthetic Streamflow Analysis があるが，本稿ではこの解析法の概要を紹介し，海外における1，2のプロジェクトについて解析を行なつた実例も合わせて示し，妥当性を検討するものである。

2．Synthetic Streamflow Analysis

2－1　概要

対象とする流量記録は推計時系列(stochastic time series)から得られた標本であると考え，母集団の確率分布に乱数を適用して長期流量系列を発生するのが，この解析法の概要であり，解析は次の3段階にわけて行なう。　1）予備検討，　2）流量の発生，　3）解析結果の評価

2－2　予備検討

a)分布関数　　流量の確率分布形は対数正規分布が最も良く合うことが知られており，実測流量資料が対数正規分布をしているかどうかを検証する。流量発生では，2つのパラメーター（平均・分散）を考えた対数正規分布を用い，統計値としては平均，分散（標準偏差），lag-one serial correlation of the 12 monthsを考える。

b)モデルの検討　　対象とする流量が純水文学的な統計資料とみなせるかどうかを検討する。2－4のBモデルで触れるように，もし対象地点の流量が調整後のものであれば，調整前の流量に戻して解析を行なわなければならない。

c)資料の検証　　資料としてどのような値（月流量etc.）を用いるかを決めた上で，解析資料として資料数や観測範囲が妥当かどうか，また資料の補間，棄却が必要かどうかを検討する。本解析では月平均流量を用いた。

2－3　流量の発生

a)マルコフ・モデル　　各月流量qi は deterministicな要素 di とprobabilisticな要素 ei に分けられる。di は$q_{i-j}(j=1,2,....,n)$によつて決まるものであり，簡単なマルコフ・モデルを考えると，

$$q_i=d_i+e_i=B_o+B_1\cdot q_{i-1}+e_i=m+r(q_{i-1}-m)+e_i \qquad ..... \quad (1)$$

Bo, B1は定数で，$B_o=(1-r)\cdot m$, $B_1=r$であり，m は qiの平均値，r はlag-one serial correlation coefficient である。qiが正規分布をなす場合，ei もまた正規分布をなさねばならず，$N(O, Se^2)$なる確率的な変動値である。(2) 式のようにqi の分散 S^2 を考え，互いに独立で $N(0,1)$ なるランダム変数 ti を用いると，$ti\cdot S\cdot\sqrt{1-r^2}$も互いに独立で$N(0,S\sqrt{1-r^2})$ であるので，(3)式のような qiの発生関数を得る。

$$S^2=E(q_i-m)^2=r^2\cdot S^2+Se^2 \ , \ Se^2=S^2(1-r^2) \qquad ..... \quad (2)$$

$$q_i = m + r(q_{i-1} - m) + t_i \cdot S \cdot \sqrt{1-r^2} \quad \cdots\cdots (3)$$

b)擬似乱数の発生　　一様乱数を(4)式のような合同法(congruence method)で求め，(5)式により，N(0,1)なる t_i に変換する。

$$X_i = A \cdot X_{i-1} + C \pmod M \ , \ U_i = X_i / M \ (0 \leqq U_i \leqq 1) \quad \cdots\cdots (4)$$

$$U_i = (1/\sqrt{2\pi}) \cdot \int_{-\infty}^{t_i} \exp(-U_i^2/2) \cdot du \quad \cdots\cdots (5)$$

A,C,Mは定数で，A=178,482 ; C=1,772,721 ; M=8,388,607 を用い，$X_o = 0$ とした。

2－4　解析結果の評価

a)Aモデル　　対象とした河川は流域面積が33,000Km²，本川の全長が約630Kmであり，観測点は河口から約200Kmに位置し，集水面積は26,300Km²で，貯水池等の人工的な影響は全くない。流量観測記録は20年間にわたり得られていて，月別の統計値は表－1のとおりである。確率分布形を対数正規分布として500年間の流量を発生させた結果が表－1である。観測値と，simulation結果の分散，平均について各々，F－検定，またはt－検定を行なつたところ，両者とも有意水準5％で有意差は認められなかつた。(表－2，t(511,0.05)=1,960, F(499,19, 0.025)=2,133)，また発生させた流量のうち，小流量5つを選び，観測値から得られた非超過確率曲線と比較すると良い一致が見られた。さらに観測値の渇水期月流量逓減係数は，大体0.35であつたが，発生流量のうち，小流量についてはほぼ妥当な値が得られ，全体的に観測値とsimulation結果は良く合つているといえる。

表－1　観測値とSimulation　結果の比較

項目 ＼ 月	平均，m(m³/s)		分散 S^2(x10³)		相関係数，r	
	観測値	SIM.	観測値	SIM.	観測値	SIM.
1	2,569	2,585	167	184	−0.08	−0.14
2	2,984	2,986	373	372	0.56	0.52
3	3,113	3,129	346	347	0.11	0.14
4	2,780	2,773	329	353	0.07	−0.03
5	2,371	2,383	353	456	0.19	0.28
6	1,863	1,860	312	282	0.11	0.07
7	2,017	2,011	427	492	0.26	0.34
8	1,976	1,980	455	651	0.54	0.48
9	2,365	2,378	617	925	0.70	0.80
10	2,528	2,546	497	689	0.50	0.62
11	2,161	2,162	471	541	0.45	0.39
12	2,449	2,469	453	497	0.46	0.46
年間	2,431	2,439				

表－2　有意差検定結果

月	分散Fo	平均 t_o
1	1.049	0.164
2	1.053	0.014
3	1.048	0.119
4	1.021	0.052
5	1.230	0.078
6	1.162	0.025
7	1.097	0.038
8	1.362	0.022
9	1.427	0.060
10	1.320	0.095
11	1.093	0.006
12	1.044	0.124

b)Bモデル　　上流に大きな調整効果を持つ貯水池等があるような地点の流量を解析対象とする場合には，対象流量を貯水池からの流出量と，貯水池から観測地点までの残流量にわけて解析を行なう。すなわち，貯水池からの流出量は，2.2.bで述べた純水文学的な流量と考えられないので，流入量(調整前)に戻し，この流入量と残流量について解析を行なつた後，この両者から対象地点の流量を求める。このようなモデルについてのSimulationも行なつたところ，非常に大きな流量についての妥当性に疑問が残つたが，ほぼ妥当な結果が得られた。一般的なモデルについても，非常に大きな流量が発生した場合の妥当性の検討については，未だ問題が残り，解析対象流量として月平均流量を用いる事の妥当性と共に，今後の研究課題であろう。

なお，simulationには，TOSBAC-3400, MODEL-4を使用した。

参考文献； SYNTHETIC STREAMFLOWS, by M.B.Fiering & B.B. Jackson