

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 学生員 江藤剛右
 電力中央研究所 正員 角湯正剛

1. まえがき 近年、水資源の需要量の増加は、都市部で著しく、近い将来都市部での水資源の不足が生じると推定されている。そのため、他流域からの導水計画等を含む、広域的な水資源計画が考えられている。最適な水資源計画と行なうためには、長期間のデータをもとに、さまざまな流量パターンについて検討を行なわねばならないが、長期間の同時記録が、広域にわたって存在することは稀である。そこで、多くの流域における水文量観測値から統計的特性を把握し、その特性を有した長期間の水文資料をシミュレートし、広域水資源計画に対し、有用なインプットと供しようとする。今回の報告では、行列表示を用いて多地点の水文量を同時にシミュレートし、精度良い結果と得た。

2. 多地点水文量シミュレーションの基本式

Young等は、行列表示を用いて、多地点流量シミュレーションを行なっているが、筆者らはこの手法を拡張して、季節変動まで取り入れた多地点の水文量(流量・降水量)シミュレーションを行なった。N地点の水文量シミュレーションのための基本式は、

$$R(l) = A(l) \cdot R(l-1) + B(l) \cdot \epsilon(l) \quad (1)$$

ここで $R(l)$: l 月の正規標準化された水文量の $(n \times 1)$ ベクトル

$A(l), B(l)$: $(n \times n)$ の係数行列 $\epsilon(l)$: 偏差を表わす $(n \times 1)$ ベクトル

eq.(1)の $A(l), B(l)$, はデータより定まる係数で、以下のごとく導かれる。

eq.(1)に右より $R^T(l-1)$ を乗じて

$$R(l) \cdot R^T(l-1) = A(l) \cdot R(l-1) \cdot R^T(l-1) + B(l) \cdot \epsilon(l) \cdot R^T(l-1) \quad (2)$$

$$\text{ここで } R(l) \cdot R^T(l-1) = M_{-1}(l-1) \quad (3) \quad R(l-1) \cdot R^T(l-1) = M_0(l-1) \quad (4)$$

$M_{-1}(l-1)$: $(l-1)$ 月と l 月の間の時差相関行列 $M_0(l-1)$: $(l-1)$ 月の相互相関行列

とすることから eq.(2)は、

$$M_{-1}(l-1) = A(l) \cdot M_0(l-1) \quad (5) \quad \text{または} \quad A(l) = M_{-1}(l-1) \cdot M_0^{-1}(l-1) \quad (6)$$

同様に、eq.(1)に右より $R^T(l)$ を乗じると

$$R(l) \cdot R(l) = A(l) \cdot R(l-1) \cdot R^T(l) + B(l) \cdot \epsilon(l) \cdot R^T(l) \quad (7)$$

eq.(1)を代入して

$$R(l) \cdot R^T(l) = A(l) \cdot R(l-1) \cdot R^T(l) + B(l) \cdot \epsilon(l) \cdot (R^T(l-1) A^T(l) + \epsilon^T(l) \cdot B^T(l)) \quad (8)$$

eq.(3)とeq.(4)より

$$M_0(l) = A(l) \cdot M_{-1}^T(l-1) + B(l) \cdot B^T(l) \quad (9) \quad (\because \epsilon(l) \cdot \epsilon^T(l) = \mathbf{I} \quad \mathbf{I}: \text{単位行列})$$

$$\text{よって } B(l) \cdot B^T(l) = M_0(l) - M_{-1}(l-1) \cdot M_0^{-1}(l-1) \cdot M_{-1}^T(l-1) \quad (10)$$

係数行列 $A(l)$ はeq.(6)より求まる。 $B(l)$ は、eq.(10)より $B(l) \cdot B^T(l) = C(l)$ とおくと、行列 $C(l)$ は対称行列となるので、 $B(l)$ の未知数 n^2 に対して $C(l)$ から求まる独立な条

件式は、 $n(n+1)/2$ であり、 $\{n - n(n+1)/2\}$ の条件が不足する。そこで、 $B(l)$ を三角行列($b_{ij}=0$ ($i < j$))とし、付加的な条件を与え、 $B(l)$ を決定した。

3. シミュレーションの結果と検討

今回の計算は、シミュレーション・テフニツフの検討という面から、長期間の同時記録の得られる月降水量資料が主に行ない、流量資料については、相関係数の信頼性から20年以上の同時記録の得られる4河川で、100年間のシミュレーションを行なった。

月降水量資料は、7地災(豊岡、福井、姫路、大阪、和歌山、尾鷲、彦根)の1909年から1968年までの60年間の観測値、月流量資料については4河川(由良川、九頭竜川、木津川、紀の川)の1926年から1948年までの月流量資料を用いた。

平均値・標準偏差について

7地災の月降水量の観測値とシミュレートした値の平均値と標準偏差をTable 1, Table 2に示す。平均値の値は、両者よく一致しているが、標準偏差の値には少し差異が生じている場合もある。これは今回の計算においては、月降水量を正規化する方法として対数値を用いたが、一般的

にいわれているよ

うに月降水量は、ガンマ分布とし、対数値をとるだけでは正規分布とならず、かえっていわずむ場合もあり、そのため標準偏差に少し差異が生じたものであり、他の方法で正規変換を行なえば、両者の差異は小さくなるものと考えられる。

月流量の平均値と標準偏差をTable 3, Table 4に示す。月降水量同様平均値は良く一致し、差異はない。標準偏差については、月降水量と比

Table 1 MEANS OF MONTHLY PRECIPITATION

		Obs.; Observed Data											
		Sim.; Simulated Data											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TOYO-OKA	Obs.	255.33	210.36	142.63	108.49	103.90	157.38	163.20	119.47	241.39	179.18	151.20	226.92
	Sim.	245.33	210.17	142.79	108.10	103.04	158.82	164.51	120.82	238.77	194.55	157.10	230.22
FUKUI	Obs.	328.35	207.58	158.76	145.76	131.55	187.45	200.74	141.21	222.04	178.17	199.19	337.66
	Sim.	325.16	204.74	166.75	145.24	127.17	184.73	201.34	151.71	228.91	180.67	202.41	310.63
HIMEJI	Obs.	40.16	53.96	89.45	122.53	127.30	182.20	156.85	115.11	186.35	113.30	67.81	102.4
	Sim.	43.09	54.31	92.17	117.71	138.79	188.08	168.91	122.69	181.50	116.88	61.90	39.90
OSAKA	Obs.	45.73	60.46	96.68	124.36	130.12	199.73	161.12	103.79	170.04	120.28	76.98	19.06
	Sim.	45.24	60.52	95.34	122.60	132.37	199.03	171.20	116.08	171.06	122.11	71.30	19.15
WAKA-YAMA	Obs.	48.46	62.29	97.61	125.04	123.30	208.88	156.21	116.92	210.63	145.86	85.93	57.80
	Sim.	48.68	63.09	99.18	123.36	129.61	208.52	166.85	120.87	191.22	148.66	79.94	59.51
OWASE	Obs.	92.29	136.48	230.28	339.11	336.08	439.43	396.31	538.80	617.25	180.00	219.87	111.72
	Sim.	106.03	154.28	219.43	377.59	339.99	448.97	406.60	579.16	631.20	539.68	201.21	113.15
HIKONE	Obs.	117.86	104.74	116.37	128.12	136.18	212.01	193.34	124.61	198.40	141.52	89.20	104.15
	Sim.	115.20	105.66	114.94	123.91	136.32	221.35	198.89	136.59	199.38	143.11	86.58	105.79

Table 2 STANDARD DEVIATION OF PRECIPITATION

		Obs.; Observed Data											
		Sim.; Simulated Data											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TOYO-OKA	Obs.	78.98	56.46	37.66	29.96	45.59	76.94	90.10	64.79	122.54	86.24	50.32	68.27
	Sim.	89.72	58.65	39.75	29.20	50.35	111.14	100.74	86.76	172.66	104.01	68.56	67.12
FUKUI	Obs.	100.68	65.65	51.29	44.02	49.51	90.24	111.80	76.68	90.60	68.25	83.26	104.54
	Sim.	104.76	65.66	68.01	39.72	52.28	117.84	119.56	130.52	133.77	73.64	105.99	98.10
HIMEJI	Obs.	25.50	30.93	37.33	46.72	65.31	89.48	89.46	81.27	98.74	62.20	34.50	27.14
	Sim.	44.70	28.94	37.02	46.34	102.71	114.85	148.31	109.53	113.57	73.31	37.30	31.87
OSAKA	Obs.	26.98	33.16	36.47	46.27	60.27	94.43	106.57	73.05	86.02	65.08	38.47	28.13
	Sim.	32.03	30.16	37.47	42.49	81.74	111.17	136.89	112.95	108.14	67.00	39.04	32.22
WAKA-YAMA	Obs.	27.70	33.89	37.97	43.27	53.04	117.60	118.08	83.62	126.83	84.18	42.27	35.87
	Sim.	37.21	33.39	45.49	44.36	79.24	138.66	160.61	123.71	113.66	90.02	39.50	40.39
OWASE	Obs.	70.45	112.39	111.15	143.69	148.48	242.58	225.09	355.69	366.40	289.63	138.47	82.62
	Sim.	123.18	146.86	156.56	176.81	148.45	288.25	427.89	581.15	411.77	531.18	134.37	97.79
HIKONE	Obs.	36.39	33.73	37.30	41.94	52.61	107.87	98.30	76.37	104.94	117.68	37.01	41.28
	Sim.	39.00	36.75	41.49	38.04	76.47	178.50	121.09	105.54	120.01	86.25	43.65	46.56

べろと小さいが
 少し差異の生じ
 ている場合もあ
 る。月流量は、
 月降水量と比較
 すると、対数正
 規分布に近いが
 対数値では正規
 化されず、他の
 変換の方法を用
 いれば月降水量
 同様誤差は小さ
 くなる。

Table 3 MEANS OF MONTHLY DISCHARGES

Obs.; Observed Data
 Sim.; Simulated Data

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KING	Obs.	5.67	6.09	10.81	12.83	8.92	14.23	27.46	42.10	42.95	30.48	10.71	6.81
	Sim.	5.40	5.88	10.79	12.70	8.32	14.49	28.85	43.53	49.25	34.64	10.92	7.11
YURA	Obs.	25.39	32.84	43.75	32.35	20.50	27.34	34.85	20.67	36.58	36.60	23.72	26.27
	Sim.	24.06	32.18	46.58	33.59	20.12	27.28	36.75	22.71	35.76	36.61	24.07	26.84
KUZU- RYU R.	Obs.	68.10	66.18	151.93	301.16	198.49	130.62	163.13	103.76	123.41	102.76	92.47	88.44
	Sim.	63.67	60.94	155.51	297.06	205.48	136.36	169.36	106.80	121.24	99.51	91.60	89.69
KIZU R.	Obs.	10.41	12.81	14.57	16.79	13.31	21.90	23.50	24.58	32.45	29.78	16.72	12.38
	Sim.	9.89	12.84	14.00	17.48	12.87	22.43	25.68	26.89	33.35	32.05	17.25	12.86

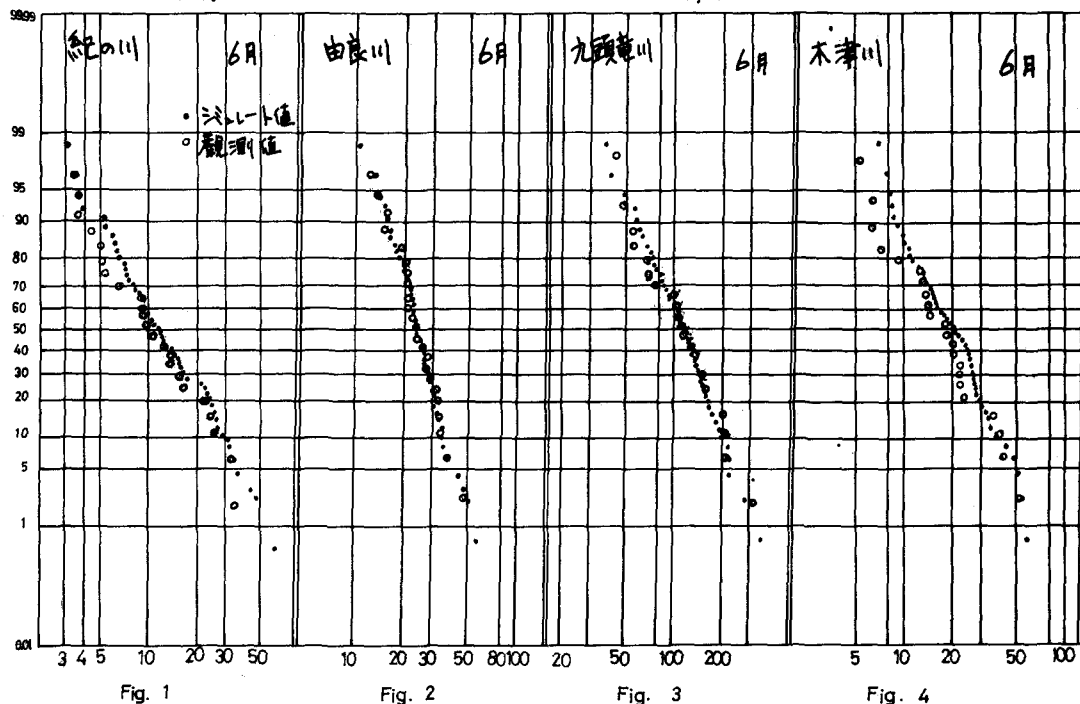
Table 4 STANDARD DEVIATION OF DISCHARGES

Obs.; Observed Data
 Sim.; Simulated Data

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KING	Obs.	1.85	3.29	4.48	6.69	3.31	9.85	26.91	38.47	41.69	28.39	6.78	2.52
	Sim.	1.59	2.74	4.26	5.60	2.61	10.76	22.97	56.03	57.71	33.38	5.67	2.03
YURA	Obs.	8.28	9.42	21.95	15.39	8.79	14.84	14.72	10.88	17.37	27.32	8.60	7.28
	Sim.	8.68	11.34	20.28	13.73	8.50	21.21	24.50	16.43	21.06	21.37	9.15	6.54
KUZU- RYU R.	Obs.	21.20	61.52	60.90	95.85	69.65	68.00	76.63	53.89	84.09	84.60	27.23	20.30
	Sim.	23.31	33.83	60.70	85.67	75.13	85.24	84.66	55.37	81.68	47.83	23.96	19.98
KIZU R.	Obs.	3.13	5.83	6.03	6.10	4.74	12.75	13.50	17.71	17.57	14.98	7.58	4.51
	Sim.	3.28	5.88	5.01	5.56	5.03	16.88	18.30	23.50	20.63	17.41	6.80	4.45

分布形状について

頻度分布を比較するために、月流量について、両者のハーゼン・プロットをFig. 1~Fig. 4に示す。図より明らかなように、大流量、小流量とも再現性は良い。



時差相関行列・相互相関行列について

月降水量、月流量の1

JAN. - FEB.

月と2月の間の時差相関

行列について、Table 5

Table 6に示す。表から

判るように、両者の間に

有意な差はない。他の月について

も同様に有意な

差はなかった。相互相関行列については、月降水量

の1月と5月をTable 7, 8に示す。時差相関行

列同様良く一致し、有

意な差はない。

局地的について

個々の地災での再現

性を検討してきたが、

広域的な再現性、すな

わち広域的な場水、大

雨量等の再現性を検討

するために、月降水量

について、①7地災の

和、②豊岡、福井の日

本各側の和、③大波、

姫路、考根、和歌山の

瀬戸内地域の和につい

て、観測値とシミュレ

ートした値のハーゼン

プロットをFig 5~7に

示す。図より、両者は

良く一致し、大雨量、

小雨量とも再現性は良

い。同様に流量の和を

Fig 8に示すが、再現性

は良く、個々の地災と

同様、広域での再現性

は良い。

4. 結論

月流量、月降水量ともシミュレートした値は観測値と良く再現し、eq(1)によ

る多地災シミュレーションの方法は有効であるといえる。

参考文献: 1) Young, "Operational Hydrology Using Residuals" A.S.C.E. July, 1968

JAN. - FEB.											
Observed data						Simulated data					
0.180	0.127	-0.038	-0.032	-0.031	-0.141	0.029	0.142	0.112	-0.106	0.002	-0.056
0.001	0.044	0.001	0.005	-0.034	-0.067	0.138	-0.004	0.014	-0.064	0.001	-0.023
0.053	0.187	0.167	0.191	0.110	0.097	0.060	0.094	0.161	0.124	0.090	0.005
-0.043	0.099	0.237	0.286	0.200	0.186	0.115	0.080	0.073	0.145	0.151	0.057
-0.057	0.131	0.282	0.320	0.232	0.200	0.142	-0.036	0.046	0.113	0.103	0.012
-0.070	0.257	0.166	0.121	0.179	0.104	0.050	-0.067	0.101	-0.044	-0.115	-0.117
-0.139	-0.118	0.055	0.125	0.008	-0.116	0.024	-0.192	-0.145	-0.073	-0.055	-0.169

Table 5 LAGCORRELATION MATRIX OF MONTHLY PRECIPITATIONS

JAN. - FEB.											
Observed data						Simulated data					
0.452	0.058	0.325	0.337				0.329	0.028	0.263	0.305	
0.501	0.576	0.424	0.253				0.565	0.549	0.345	0.311	
0.067	0.041	0.402	0.138				0.047	-0.004	0.392	0.137	
0.562	0.297	0.434	0.632				0.456	0.234	0.444	0.594	

Table 6 LAG CORRELATION MATRIX OF MONTHLY RIVER FLOWS

JAN.											
Observed data						Simulated data					
1.000	0.486	-0.067	-0.125	-0.006	-0.070	0.314	1.000	0.402	-0.039	-0.193	-0.042
0.486	1.000	-0.184	-0.132	-0.079	-0.086	0.508	0.402	1.000	-0.196	-0.259	-0.211
-0.067	-0.184	1.000	0.872	0.824	0.793	0.051	-0.039	-0.196	1.000	0.835	0.810
-0.125	-0.132	0.872	1.000	0.906	0.794	0.117	-0.193	-0.259	0.835	1.000	0.916
-0.006	-0.079	0.824	0.906	1.000	0.801	0.138	-0.032	-0.211	0.810	0.915	1.000
-0.070	-0.086	0.794	0.794	0.801	1.000	0.086	-0.092	-0.120	0.698	0.724	0.778
0.314	0.508	0.051	0.117	0.138	0.086	1.000	0.108	0.498	-0.061	-0.039	0.007

Table 7 CROSS CORRELATION MATRIX OF MONTHLY PRECIPITATIONS

MAY											
Observed data						Simulated data					
1.000	0.693	0.712	0.756	0.678	0.582	0.735	1.000	0.739	0.774	0.769	0.750
0.693	1.000	0.611	0.735	0.616	0.464	0.779	0.739	1.000	0.700	0.812	0.746
0.711	0.611	1.000	0.825	0.778	0.565	0.825	0.774	0.700	1.000	0.924	0.904
0.759	0.734	0.824	1.000	0.891	0.555	0.882	0.769	0.811	0.923	1.000	0.956
0.677	0.615	0.778	0.891	1.000	0.662	0.792	0.750	0.746	0.904	0.956	1.000
0.581	0.464	0.565	0.555	0.582	1.000	0.632	0.668	0.630	0.604	0.674	0.665
0.735	0.779	0.824	0.882	0.792	0.632	1.000	0.794	0.810	0.898	0.956	0.927

Table 8 CROSS CORRELATION MATRIX OF MONTHLY PRECIPITATIONS

