II-127　雄物川流量における確率的シミュレーションの研究

秋田工専　正　長谷部正彦
秋田大学　学○中村英一

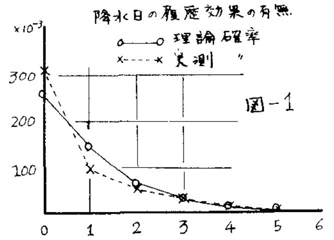
1　まえがき

流量時系列の研究の必要性は資料が少い時に時系列の発生によってその不足を補い，確率的な見通しをつける。ここで行った雄物川上流部椿田橋地点（旬流量での時系列解析は既述）で日流量のシミュレーションにおいては過去12年の資料で6，7，8，9月（農業用水などで渇水期）についてモデル化し，発生させた流量時系列がより高い信頼性をもったデータとして実用に供されることをめざすものである。資料を提供してくれた東北地建秋田工事事務所，秋田地方気象台に感謝します。

2　日雨量モデル

2－1　降水日と無降水日

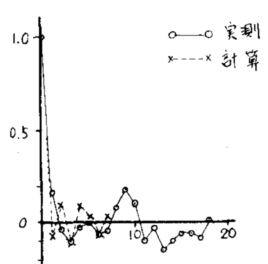
時系列発生にあたって降水日（R）と無降水日（F）の出現確率を求めた。本例では $p = R/N = 0.494$ である。その時にR，Fに持続性があるかどうかの問題がでてくる。R，Fに持続性がないとすれば、n－1日間降水日が続く確率は $P_n = g^2 \cdot p^{n-1}$ （$g = 1-p$）である。本解析で計算した結果を図1に示してある。図より持続性がない事が理解される。尚0.5mm/day以下は無降水日にした。



図－1

2－2　平均雨量

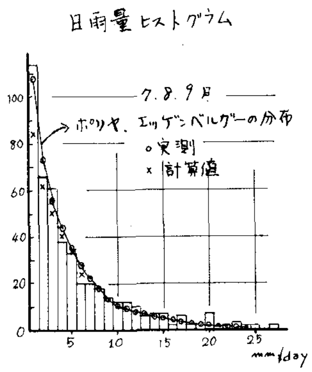
椿田橋地点における流域の雨量観測所4地点のデータを用いた。流域面積（477.3Km²）が小さいので各雨量観測所から解析地点までの到達時間は日流量単位においては同じとみなしてティーセン法によって平均雨量を求めた。次に各月の平均雨量を用いて6，7，8，9月が同一標本とみなせるかを平均値，分散について検定すると（危険率5％）7，8，9月は同一母集団の標本で6月は異なる。表1に各月の平均値，分散を示す。本解析では6月と7，8，9月に分けて解析した。図2に7，8，9月の日雨量のヒストグラムを示した。



図－3

日雨量に自己相関を求めると図3になりランダム標本であることが理解される。そこで6月には対数正規(省)，7，8，9月にポリヤをあてはめた。最大雨量はハーゼン・プロットによって100年に1回の降雨量を与えた。

日雨量モデルは2－1でR，Fを確率的に決めてそれに対応して平均雨量を与えた。



図－2

	6月	7月	8月	9月
平均値	8.75	13.65	11.03	11.63
分散	61.06	198.44	150.13	166.88

表－1

3　日雨量と日流量の関係

3－1　低減係数

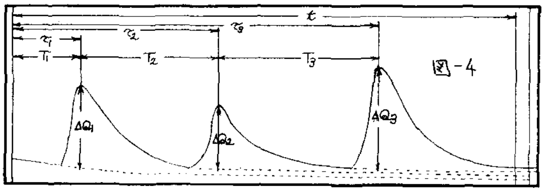
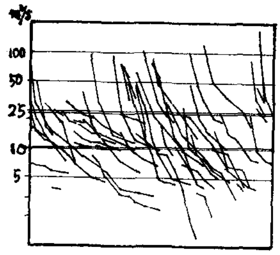


図-4

一般に一つの河川では低減のし方は近似的に一定とみなせる。それを利用すると図4の場合に

$$R_3 e^{-(\alpha+x)(t-\tau_3)} = \Delta Q_1 e^{-\alpha(t-\tau_1)} + \Delta Q_2 e^{-\alpha(t-\tau_2)} + \Delta Q_3 e^{-\alpha(t-\tau_3)} \quad ; R_3 = \Delta Q_1 e^{-\alpha(\tau_3-\tau_1)} + \Delta Q_2 e^{-\alpha(\tau_3-\tau_2)} + \Delta Q_3 \quad \cdots\cdots ①$$

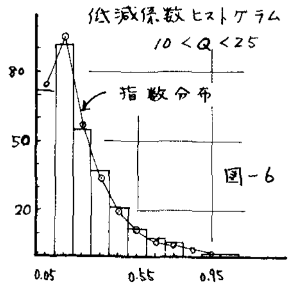
①式では $x=0$ となる。α が一定になる。すなわち降雨量，降雨間隔に関係なく低減の仕方は一定である。実際には蒸発，地下水流出，中間流出等により α は変化する。本例では図5に示すように流量の大きさによって日毎の低減係数を与え，そのまわりに確率的に分布するものとした。$(\alpha = \ln(Q_{t-1}/Q_t)/t-t+1)$ 図6に低減係数のヒストグラムを示す。本モデルでは増水量を考えて日単位に低減係数を用いて日流量を出した。



図－5

3－2　雨量と流量

降水量が解析地点に達するまでの日数を調べるために降水日と流量について相互相関を調べた。（35年について，他の年は省く）それを図7に示す。図より2日のおくれの影響も考えられるが本例では1日のずれが卓越しているから1日(以内)の lag. を考えた。雨量から直接流量を求めるには，特性曲線，貯留関数法，タンクモデル法等があげられる。



図－6

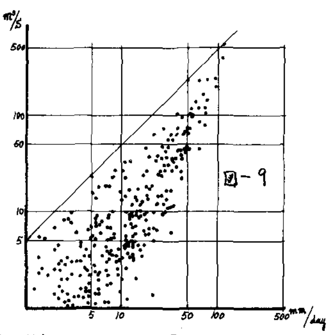
本例では3－1で述べたように当日雨量Rによる増加流量を ΔQ とすると（1日のずれを考えて）

$$Q_t = Q_{t-1} e^{-\alpha} + \Delta Q \quad \cdots\cdots ②$$

②式を使用して順次に求めていく。

次に ΔQ とRについて考えると図8に示してあるが，観測された流量は，必ずしもピーク流量ではない。1日以内にピーク流量がくるので $v - v_1 \geqq 0$ となる。そこで

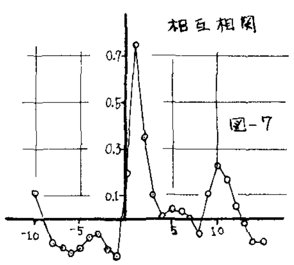
$$\left.\begin{aligned} \Delta Q' &= \Delta Q e^{-\alpha(v-v_1)} \\ \Delta Q &= a R^b \end{aligned}\right\} \cdots\cdots ③$$



図－9

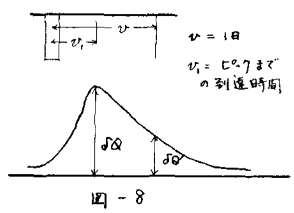
③式と本例では近似した。③式を変形すると

$$\log \Delta Q' = b \log R + \log a + \varepsilon \quad (\varepsilon' = \log e^{-\alpha(v-v_1)}) \cdots\cdots ④$$



図－7

実際の雨量と流量の図を図9に示し，このときの回帰係数は $b \fallingdotseq 1.0$ (0.998) となり，$a=1.50$ となった。本例では $b=1.0$，$a=1.50$ を使用した。又 ε' を計算すると本解析では非常に小さく，ほとんどがピーク流量附近が表われていると思われる。ε は地下水流出，蒸発，河川の地質条件等がその中に確率的に含むとして考えた。対数にとる理由は流量が負にならないためである。図10には ε のヒストグラムで，それに正規分布をあてはめた。所で計算の結果（対数値であるからと考えられる

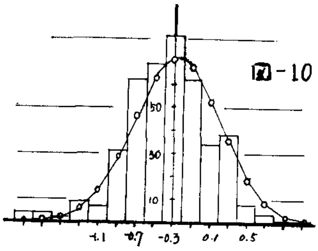


図－8

が）流量の増分が雨量に比べて異常に大きな値がでてくる。そこで降雨量が全部，有効雨量となって流出したと考えて

$$\Delta Q = AR/24\times 60\times 60 = 5.5243R \quad A（流域）\ R（雨量）$$

を ΔQ の上限とした。



4 自己相関々数と低減係数

ここでは自己相関係数と低減係数に着目してみた。増加雨量が存在しなければ低減係数は，自己相関々数を $R(K)=e^{-\alpha' K}$ で近似したものに一致するはずである。今増加雨量がない場合に単位流量を考えて $Q=Q_0 e^{-\alpha t}$ $(Q_0=1)$，自己相関の α' は⑤式になる。（一部近似して証明略）

$$-\alpha' = -\alpha + \frac{1}{K}\ln\frac{N-1}{N-K} \cdots\cdots\cdots ⑤$$

K：R(0)～R(K)の間のおくれ個数

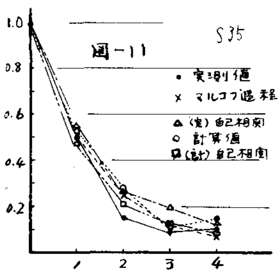
本例では $K=1$ を使用して順次 R(1), R(2),.., を求めた。（$K=1$ $\alpha'=\alpha$）

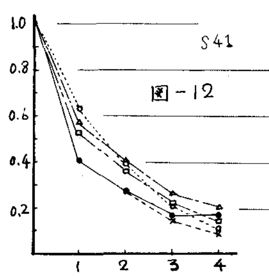
⑤式に降水日を考えた場合に降雨間隔日数に注目して近似的に⑥式を考えた。

$$-\alpha' = -\alpha + a\ln\left(1-b\cdot\frac{T_K}{N}K\right) \cdots\cdots ⑥$$

b は常数　a = モデル化した年の平均雨量／全データの平均雨量，T_K = 降雨間隔日数の回数 例えば（雨.雨 = 1）雨晴雨 = 2）　本例では b は12年間の降雨間隔日数を用いて最小自乗法で求めた。年（6.7.8.9月）

⑥式を用いて計算した結果を図11，図12に示す。表2に実測のマルコフ過程の解析効果を示した。但し⑥式は R(0)～R(4) 位までが有効である。しかし⑥式は 6，7.8.9月についてのみであり，又流域の異なった地点で有効であるかは，検討中でまたの機会にする。この流域に関しては自己相関係数の目安となるであろう。⑤式を利用してモデル化したものについて考えたが，系列（122日）が少い時には低減係数が負になる欠点がある。本例では $\alpha=0.1$ の時を示してある。表3には降雨間隔日数を示す。この章は今後研究していき，他の河川流域についても調べて検討していきたい。





5 結果の検討

5-1 雨量モデル

雨量モデルの日雨量ヒストグラムは図2に示してある。又降水日，無降水日の出現確率を表4に示してある。

計算値の降水日，無降水日に対し出現個数に異常値の検定をしPassした。しかし少し大きいのも考えられる。図3にはモデルの自己相関を示してある。

7月	実	18	15	11	9	9	22	12	10	20
	計	15	13	12	13	11	19	14	13	15
8月	実	14	14	17	15	7	15	2	8	13
	計	14	13	11	15	17	11	15	14	9
9月	実	17	12	16	17	10	17	11	7	18
	計	15	16	17	19	12	12	15	10	14

表－4

表－2

	一次の解析効果	二次の 〃	マルコフ過程の自己相関（上）⑥式による値の 〃（下） k=1	2	3
35	0.256	0.213	0.506	0.256	0.130
			0.554	0.286	0.200
41	0.167	0.181	0.409	0.278	0.153
			0.577	0.415	0.270

表－3

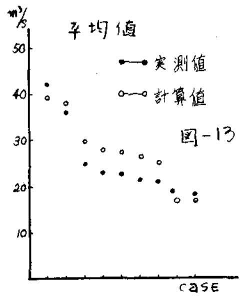
	T_1	T_2	T_3	T_4
全観測値	364	95	54	21
35年	27	15	5	4
41年	32	9	8	3

5-2 流量モデル

図11，図12には，計算値モデルの流量の自己相関を示してある。

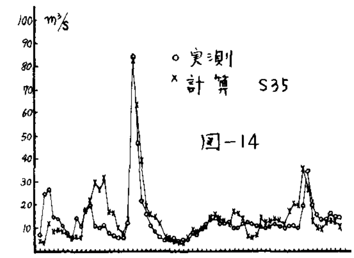
図13に計算値と実測値の6.7.8.9月についての平均流量を示している。計算値が少し大きめにでてくるのは，増加流量が対数であるためだと

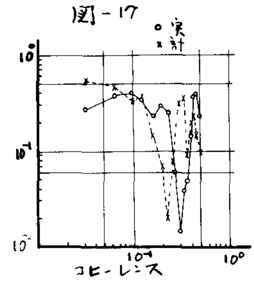
思われる。表5に5 ㎥/s以下流量を示している。図14には実測の雨量を与えて，モデル化した流量のハイドログラフを7月24～9月27日までを示してある。(紙面都合上抜粋)　大体一致しているようであるが，対数のためだと思うが，少しハイドログラフに凹凸があるようである。実測値についても多量に降雨があっても，流量が増加しない場合(自記計の故障)もありこれらについても問題があると思われる。データ不足でもある。資料が多いとより向上できると思われる。次にこの流域について応答を調べるために，パワースペクトル，クロススペクトルの実測と計算値について図15，図16に示してある。又コヒーレンスについて調べると(これだけでは断言できないけど)非線型だと推察される。図17に示す。



5 m³/sec 以下							
	実測値	5	15	4	5	17	3
	計算値	7	11	4	5	14	2

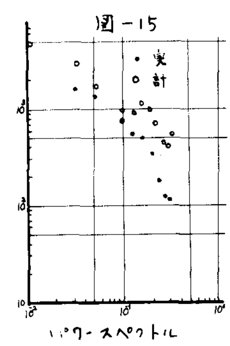
表一5

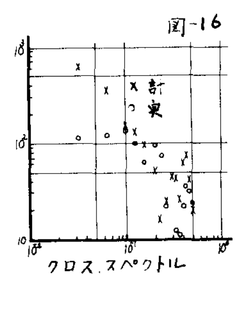




あとがき

低減係数を用いてgenerateしたが低減係数を日単位で使用したこと，増水量を雨量に対数で結びつけたことに少し問題があるが，平均的には流量を近似できる。又低減係数を与えた場合にやはり実測値よりも計算値の方が自己相関が高いということは実測値には，低減係数の他に地質条件，地下水流出等の影響があって相関係数が低くなっていると思われる。このことは低減係数と降雨間隔で自己相関を出す場合にもあてはまる。このことについて今後検討して勉強していきたいと思ってます。最後に論文作製にあたって御指導してくれた，北大河川研究室の皆さん，秋大，石井先生に感謝を致します。





参考文献

岸，平山，長谷部：河川日流量時系列の研究　土木学会第23回年次講演

Fugiwara & Nakata：Geophys. May 3

岸：水文量の時系列としての特性とその特性法　1968. 3月

R.A. Grace and P. S. Eagleson：The synthesis of shorttime－increment Rainfall sequence　May 1966 MIT No 91

水野：流出現象に対するスペクトル解析法の応用　S46 修士論文(北大)

石原，池渕：日降水量の空間的，時間的確率構造とそのシミュレーションに関する研究　土木学会論文報告集