

雄物川における日流量系列のシミュレーション

長谷部 正彦・中村 英一*

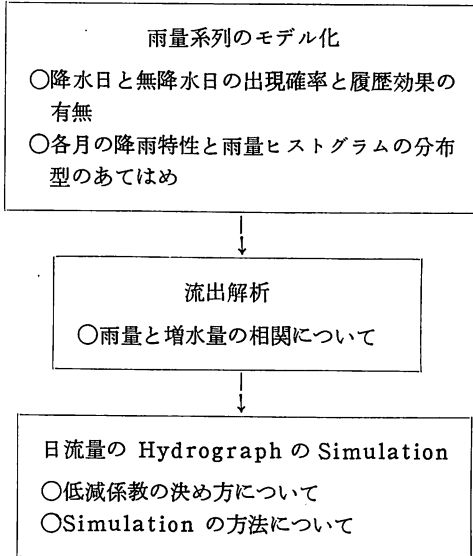
Simulation of the Daily River Discharge Sequence
for the Omono River

Masahiko HASEBE and Eiichi NAKAMURA*

(昭和48年10月31日受理)

1. ま え が き

本解析では、解析地点の雄物川上流部柳田橋地点において、雨量からピーク流量を求め、かつ日毎に低減係数を決定して日流量をシミュレートした。資料は、昭和32年～昭和41年の過去10年間の6月、7月、8月、9月（農業用水等で渇水期）の日流量データと日降水量データである。即ち、夏季渇水期の日流量のシミュレーションである。解析手順を図式的に書いてみると下記になる。



2. 日雨量モデル

2.1 降水日と無降水日

日雨量の時系列発生にあたっては、降水日 (Rainy day) と無降水日 (Fine day) の出現確率を求めた。

本例では $P = R/N = 588/1190 = 0.494$ である。しかしこの場合 R , F に履歴効果 (持続性) があるかどうかの問題がでてくる。 R , F に履歴効果がないとすれば、 $n-1$ 日間降水日が続く確率は、

$$P_n = q^2 \cdot p^{n-1} \quad (q = 1 - p)$$

p : 降水日の生起確率

q : 無降水日の生起確率

である。柳田橋地点の日雨量を使用して計算した結果を図1に示してある。 $k=0$ あたり弱い履歴効果があるよ

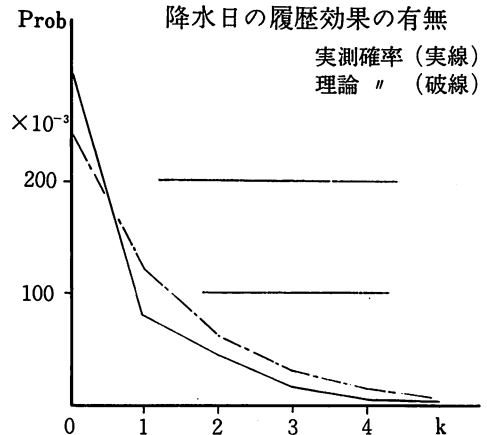


図 1

うにも思われるが、この程度であるならば履歴効果がないとしてもさしつかえない程度なので本解析では、生起確率は前の状態にかかわらず出現するとして、降水日と無降水日のモデルを発生させた。尚 0.5 mm/day 以下は無水降日とした。

2.2 平均雨量

雨量データは柳田橋地点における流域の雨量観測所4地点のものをを用いた。流域面積は 477.3 km^2 と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

* 秋田市役所

位においては同じとみなしてティンセン法によって平均雨量を求めた。次に得られた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に各月の平均雨量の平均値と分散を示してあり, 次にその検定の計算を示す。

表 1

	June	July	Aug.	Sept.
平均値	8.75	13.65	11.03	11.63
分散	61.06	198.44	150.13	166.88
降雨日数	122	168	138	160

各月間の適合度の検定

まず, 6月と7月の平均雨量が同じ母集団からの標本とみなしうるかを検定する。両群の分散が等しいとみなされれば $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ の推定値として

$$u^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 + \sum_{i=1}^{N_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

を採用して

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{u} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}$$

自由度 $n = N_1 + N_2 - 2$

の t 分布表より, 両標本の平均値に有為な差があるかどうかを検定できる。本例では両標本の分散不備推定値は

$$6月 : 7449.32 / (122 - 1) = 61.564 = u_1^2$$

$$7月 : 33337.92 / (168 - 1) = 199.628 = u_2^2$$

u_1^2 と u_2^2 が許される程度に等しいかどうかを見るために, 大きい方を分るとして

$$F = 199.628 / 61.564 = 3.243$$

となり, F -分布表の自由度 $n_1 = 9$, $n_2 = 9$ に対応する値と比較してみると危険率5%の場合には, 分散が等しいという仮説は5%の危険率で棄却される。よって6月と7月は同一母集団からの標本とみなされない。

7月と8月については

$$7月 : u_1^2 = 199.628$$

$$8月 : u_2^2 = 151.225$$

$$F = 1.320$$

となり分散が等しいという仮説は許される。よって

$$u^2 = 177.813 \quad (\therefore u = 13.3)$$

$$t = 0.1287 < 1.96$$

となり平均値には差がないことが認められた。同様にして他の各月間の検定をした結果, 6月と7, 8, 9月とに標本がわけられた。このような理由は, 6月は梅雨期

の前で雨量が少ないのに対して, 7, 8, 9月は集中豪雨があって6月に比べ雨量が多いことが原因とも考えられる。

2.3 雨量ヒストグラムの分布型

6月の日雨量ヒストグラムに対数正規分布をあてはめた。(図は省略する)一方, 7, 8, 9月にはポリア・エッゲンベルガー分布をあてはめ図2に示す。ここで日

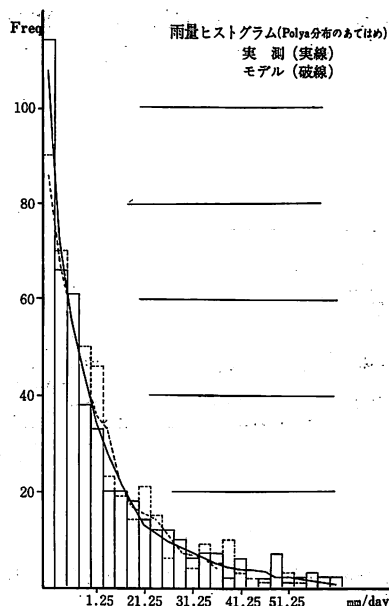


図 2

雨量時系列を求めることが可能になる。つまり R , F を確率的に決定して, R が出れば, 日雨量ヒストグラムにあてはまった分布型に発生された乱数と対応させて雨量を求め F が出れば雨量を0として雨量時系列を与えた。

実測値とモデル化した日雨量系列の自己相関係数を図

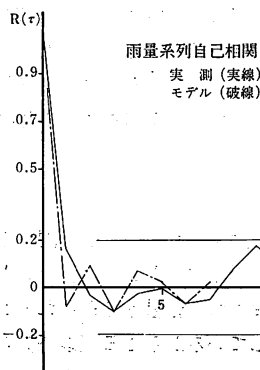


図 3

3に示す。この図より両者ともランダム標本であることが理解される。又最大雨量はハーゼンプロットによって100年確率の降雨を与えた。100年確率とした理由は、乱数を発生させた時、夏期湯水期では考えられない程の大きな雨量が出現しないように制御してある。

3. 日雨量と日流量との関係

3.1 低減係数

一般に一つの河川では低減のしかたは近似的に一定とみなせる。それを利用すると図4の場合に下記の式となる。

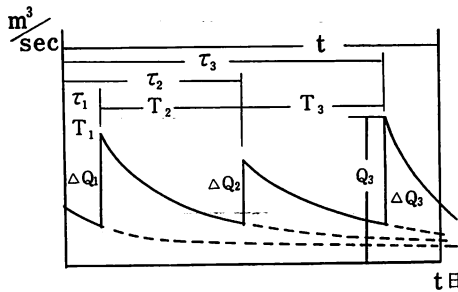


図 4

$$Q_3 e^{-\alpha(t-\tau_3)} = \Delta Q_1 e^{-\alpha(t-\tau_1)} + \Delta Q_2 e^{-\alpha(t-\tau_2)} + \Delta Q_3 e^{-\alpha(t-\tau_3)}$$

$$\text{ここで } Q_3 = \Delta Q_1 e^{-\alpha(\tau_3-\tau_1)} + \Delta Q_2 e^{-\alpha(\tau_3-\tau_2)} + \Delta Q_3$$

結局、各ピーク時による減水部を重ね合わせていっても低減係数は変化しないことになる。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。しかしαは実際には変化しているが、それは蒸発、地下水流出、地質条件、中間流出等によるものと考えられる。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αを与え、そのまわりに確率的に分布するものとした。又図6, 7, 8に低減係数のヒストグラムを示す。日流量のシミュレートにあたっては、増水量を考慮して日単位に低減係数を変化させ用いた。

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雨日と流量について相互相関を調べた。それを図9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。さて雨量から流量を求めるのに本例では次のように解析した。前日雨量Rによる増加雨量をΔQとする

と(1日のずれを考慮して)

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

として順次に求めていく。

次にΔQとRについて考えると、ΔQとRを近似的に

$$\Delta Q = aR^b$$

と表わし、両辺の対数をとると

$$\log \Delta Q = b \log R + \log a + \varepsilon$$

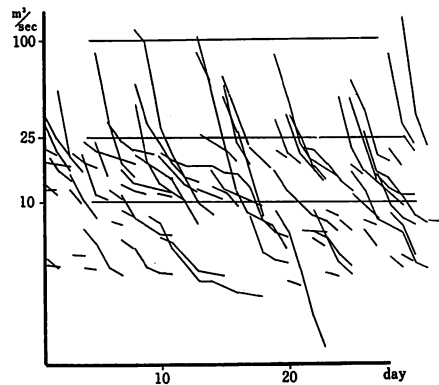


図 5

低減係数ヒストグラム 相数分母は: n
Q (m³/sec) < 10

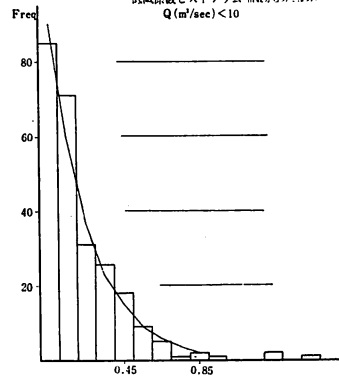


図 6

低減係数ヒストグラム
10 < Q < 25

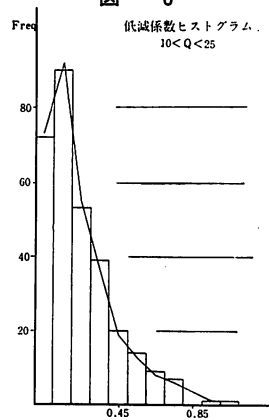


図 7

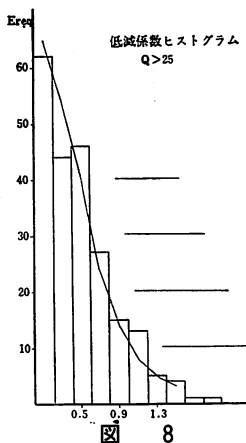


図 8

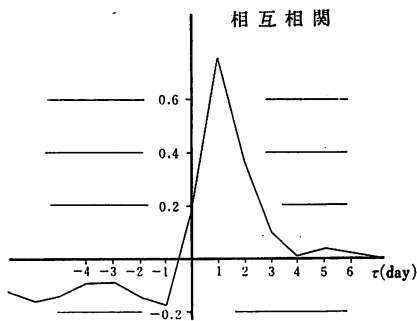


図 9

ここでεはランダム成分とする。

実際の雨量と流量の関係を図10に示した。この時の回帰係数aは≒1.0 (0.998) となり、a = 1.50となる。対数にとる理由は、流量が負にならないためである。図11にはεのヒストグラムが示されており、それに正規分布をあてはめた。ここで計算の結果(対数値であるからと考えられるが、抽出されたεが、大きい値であると増水

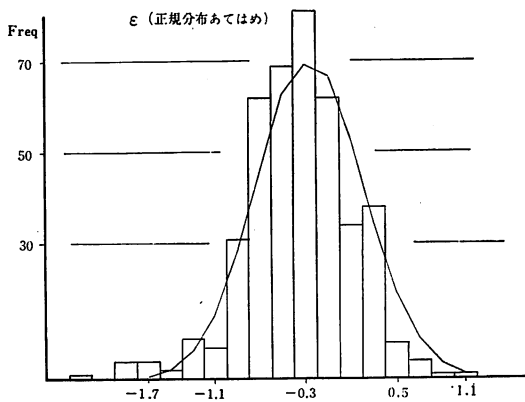


図 10

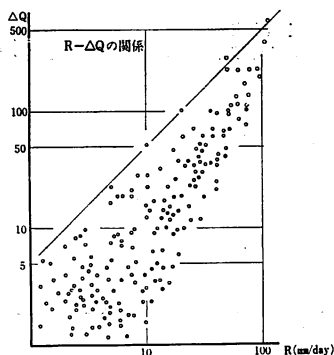


図 11

量が雨量に比して異常に大きい値となることがある。そこで降雨量の全部が有効雨量となって流出したと考え、

$$\Delta Q = A \cdot R / \text{day} = 5.5243 R$$

$$A = 475.6 \text{ km}^2 \quad R = \text{雨量}$$

をΔQの上限とし、図10に直線で示してある。

4. 結果の検討

4.1 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。計算値の降水日、無降水日に対して、出現個数をcheckし、又個数に異常値の検定をしてみると、検定はPassしたが、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。この図から理解されるように、実測値のそれとモデル値のそれとは、ほとんど一致している。前図と合わせて考えると実際の日雨量とモデルから Simulate された日雨量とは、一致していることが理解される。又この雨量モデルは、実際の雨量特性を、ほぼもっているといえる。

4.2 流量モデル

図12、図13には、実測値とモデルの雨量による流量の自己相関係数をそれぞれ示してある。また図14には流量モデル(この場合、雨量はモデル)と実測値の流量の6、7、8、9月について平均流量を9点プロットして示してある。この図から理解されるように計算値が少し大きめに出てくるのは、増水量ΔQとεが対数値のためだと思われる。

表 2
表 2には、5 m³/sec以下の流量の回数を示して

5以下	実測値	5	15	4	5	17	3
	モデル	7	11	4	5	14	2

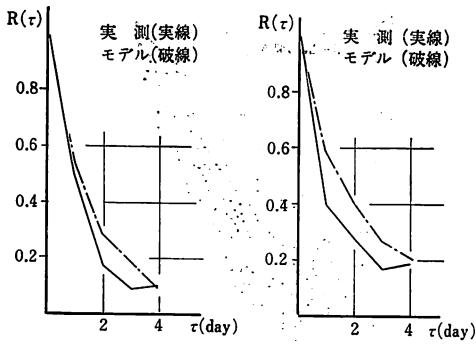


図 12 図 13

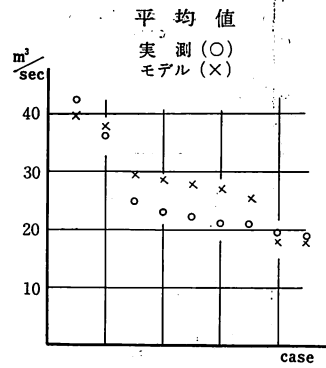


図 14

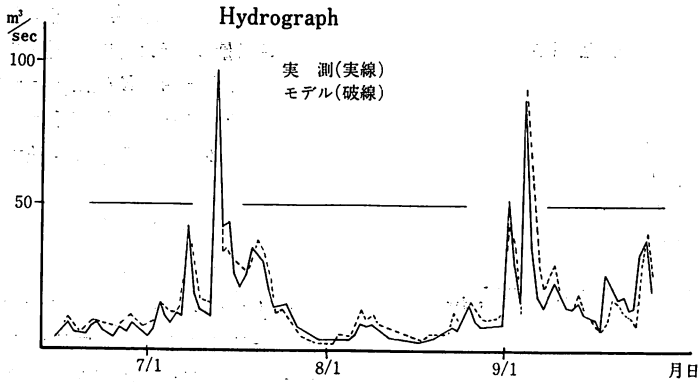


図 15

る。図15には、雨量モデルを与えて、それから日流量を Simulateしたハイドログラフを示してある。図15において、実測値とモデルの hydrographは、大体一致しているが、 $\Delta Q = \epsilon \cdot a R^b$ により ϵ の少しの変動に対しても ΔQ が大きく変動するためと思われるが、少しモデルの方に凹凸があるようである。

実測値について検討すると多量に降雨があっても流量が増加しない場合、又湧水量（低水位）の附近でのH-

Q線の使用等もありこれらについて問題があると思われる。またデータ不足でもあるので資料が多いことにより精度が向上できると思われる。

次に雨量と流量の応答を調べるために、クロス・スペクトルの実測値とモデルについて図16に示している。

又、コヒーレンスを図17に示してあるが、両者とも非

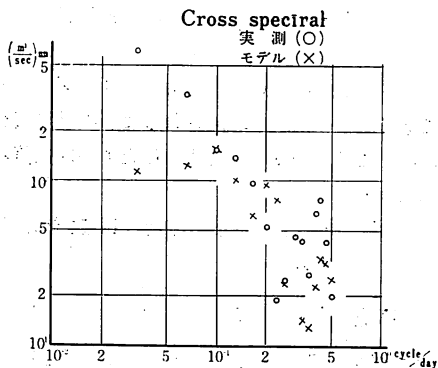


図 16

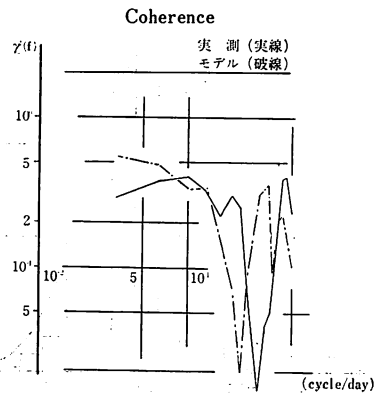


図 17

線型と推察されるので、日毎に低減係数を決めて、日流量をシミュレートした本解析の妥当性を示すものと思われる。

あ と が き

本解析においては、低減係数を用いて日流量を 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やはり実測値よりも計算値の方が Auto-correlation 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理由と思われる。

最後に資料を提供してくれた東北地建秋田工事々務所、秋田地方气象台に感謝します。本論文は、第27回年次学術講演会（1972）と一部重複する。

参 考 文 献

- 長谷部：中村：第27回年次学術講演会講演概要集Ⅱ
p 359～p 362 (1972)
- S. Fujiwara & Y. Nakata : Geophys. May 3
(1930)
- R. A. Grace & P. & Eagleson : The synthesis of shorttime-increment Rainfall
sequence MIT No. 91 (1966)