1—22

欠測降雨の補間についての考察

徳島大学工学部 正員 工博 端野道夫
徳島大学大学院 学生員 ○吉田俊
徳島大学大学院 学生員 一藁寛

1. まえがき

ある流域において種々の流出解析を行なうとき，多少の違いはあるにせよ，常に痛感されるのは降雨観測資料の欠落であり，他地点の降雨観測記録が十分であっても，1地点の降雨欠測が流域全体の降雨，したがって，流出解析に与える影響は，きわめて強い場合が多い。

従来，1地点の欠測降雨の補間には，等雨量線図法，あるいは他地点降雨量の算術平均でもって推定する方法，あるいは他地点降雨量との相互相関係数を用いて推定する方法，等が用いられてきたが，いずれの方法も普通，ある地点における1豪雨(storm)のもたらした総雨量を推定するために慣用されているものである。

顧みるに，1豪雨の降雨時系列そのものが，高水解析等に必要なことを思えば，欠測地点の降雨時系列（降雨pattern）を推定する方法が必要であって，従来の方法をそのまま用いるには，疑問の点が多々ある。

本報告は，上述のごとき理由により，ある地点における欠測豪雨の降雨時系列（降雨pattern）を推定することを目的とし，推定に用いる降雨観測地点の選定，類似豪雨(storm)の抽出，および時間単位の降雨時系列の推定法について考察し，吉野川上流域における適用結果を示す。

2. 推定に用いる観測地点の選定

無降雨（0.1mm/hr 以下）継続時間がある特定の時間以下で，かつある適当な総雨量以上の降雨を豪雨と定義して以下論ずることにする。

推定に使用する観測地点を選定するには，空間的降雨特性や地形特性の影響をふまえたなんらかの客観的基準に基づいて，観測地点間の関連性を調べる必要がある。 降雨特性に関して，なんら地点間に関連性をもたない地点を推定地点の集団に加算することは無意味であるが，従来，ややもすれば，形式的，主観的にならざるを得なかった。

降雨観測地点のgroup分けの数学的手法としては，Varimax法[1]，Image法[2]等があるが，n地点降雨の異質性を見分けるために，これらをできるだけはっきりと，いくつかのgroupに分けて示す方法であるVarimax法を観測地点集団に対して適用し，group化を行なってみる。 上述の手法を気象学的側面より見れば，つぎのような手法によって検照することができよう。つまり，各地点間の相互相関係数のcorrelogram[3]を求め，その最大値と各地点間距離の関係を既往の豪雨について求め，補間可能地点間距離を推定する。 降雨域の規模より考えて，ある観測点を境にして，相互相関係数が有意でなくなるはずである。そして，この操作を補間観測所地点の周囲に行なうことによって，補間可能流域が求まるはずであり，Varimax法と併用すれば，より一層の精度向上に役立つのではないかと思われる。このようにして，降雨観測地点のgroup化をはかり，同一group内での欠測豪雨の推定法を考える。

3．類似豪雨(storm)の抽出

一般に，降雨時系列は，時間的変動がきわめて強いため，特定の降雨 pattern というものがなく，豪雨ごとに種種の pattern をとる。 しかし，同一観測地点 group 内においては，降雨時系列の空間的変動は特殊な場合を除いて，小さいであろう。 すなわち，1豪雨については，同一降雨観測地点 group 内の，各地点の降雨時系列は相互にきわめて関連性が強いであろう。 さらに，同一観測地点 group に十分観測記録が存在すれば，生起する種種の豪雨の中には降雨 patternの類似なものが存在すると考えられる。このように考えれば，以下のようにして，欠測地点に関する類似豪雨なるものを抽出することができよう。

(i)．i豪雨でのx，y地点の降雨時系列をX_t^i，Y_t^i とすると，時差(τ) についての相互相関係数 $r_{xy}^i(\tau)$ は次式で与えられる。

$$r_{xy}^i(\tau)=\frac{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}X_t^i\cdot Y_{t+\tau}^i-\overline{X}^i\cdot\overline{Y}_\tau^i}{\sqrt{\left(\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}X_t^{i2}-\overline{X}^{i2}\right)\left(\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}Y_{t+\tau}^{i2}-\overline{Y}_\tau^{2}\right)}} \qquad (1)$$

ここに，N；降雨継続時間，$\overline{X}^i$，$\overline{Y}_\tau^i$；それぞれi豪雨でのx，y地点の平均時間雨量である。 (1)式を用いて，同一観測地点 group 内のすべての地点（M）間の相互相関係数 $r_{xy}^i(\tau)$ を既往n個の豪雨について求める。

(ii)．(i)で求まった $r_{xy}^i(\tau)$ を用いて，同じ時差τについて，任意地点，x地点での，各豪雨ごとの相互相関係数 $R_x^{ij}(\tau)$ は次式で求められる。（これを二層相関係数とよぶことにする。）

$$R_x^{ij}(\tau)=\frac{\frac{1}{M}\sum_{y=1}^{M}r_{xy}^i(\tau)\cdot r_{xy}^j(\tau)-\overline{r}_x^i(\tau)\cdot\overline{r}_x^j(\tau)}{\sqrt{\left(\frac{1}{M}\sum_{y=1}^{M}r_{xy}^i(\tau)^2-\overline{r}_x^i(\tau)^2\right)\left(\frac{1}{M}\sum_{y=1}^{M}r_{xy}^j(\tau)^2-\overline{r}_x^j(\tau)^2\right)}} \qquad (2)$$

ここで，M；地点総数，$\overline{r}_x^i(\tau)$，$\overline{r}_x^j(\tau)$；それぞれi，j豪雨でのx地点における平均相互相関係数である。 (2)式を用いて，同一観測地点 group内のすべての観測地点(M)について，二層相関係数 $R_x^{ij}(\tau)$ を既往n個の豪雨間すべてについて求める。

(iii)．m豪雨のz地点が欠測であるとする。 z地点を除いた他の任意地点において，n個の豪雨より得られた二層相関係数列 $\{R_x^{ij}(\tau)\}$ のなかで $R_x^{ij}(\tau)$の最大値，およびそれに対応する豪雨i，jを選定する。

(iv)．(iii)で求まった最大二層相関係数 $R_x^{ij}(\tau)$ より，i，j豪雨について，相互相関係数列 $\{r_{xy}^i(\tau)\}$ と $\{r_{xy}^j(\tau)\}$間の回帰直線式を決定し，その直線式を用いて，x地点（$x \neq z$） と欠測地点zとの相互相関係数 $r_{xz}^m(\tau)$を推定する。 同様の操作をz地点を除いた（$M-1$）個の他の地点について行い，$r_{xz}^m(\tau)$($x=1, 2, \cdots M$，$x \neq z$)を補間する。

(v)．次に求まったm豪雨，z地点についての相関係数列 $\{r_{xz}^m(\tau)\}$を用いて，(ii)と同様な方法で，m豪雨を基準とした二層相関係数列 $\{R_z^{mj}(\tau)\}$を求め，その中の最大二層相関係数 $R_z^{ms}(\tau)$ を求めることにより，最終的に欠測豪雨mに対する類似豪雨sを求めることができる。

4．降雨時系列の推定

降雨時系列の推定方法として種種の方法が考えられる。以下いくつかの方法を示す。

1)，3．で求めた類似豪雨sにおける，補間される地点の降雨時系列 data と最大相関係数を有する他地点の降雨時系列 dataから，最大相互相関係数 $r_{xz}^s(\tau)$を用いて，次式のような回帰直線式を

用いる。

$$Z_t = r^{s}_{xz}(\tau)\cdot\frac{\sigma_z}{\sigma_x}\left(X_t-\bar{X}_t\right) + \bar{Z}_t \qquad (3)$$

ここに，σ_x, σ_zは各各そのときの任意地点xと，補間地点zの降雨時系列dataの標準偏差であり，$\bar{X}_t$, $\bar{Z}_t$ はそれぞれX_t, Z_t についての平均値である。

2). 類似豪雨Sを用いて，欠測地点zに対して最大相関係数を有する他の観測地点の豪雨m（地点zにおいては欠測）の生の降雨量dataをz地点に補間する。

従来の方法として，3．で述べたような類似豪雨なる概念を用いずに推定する方法を以下に記す。

3). 地点iの時間降雨量A_iに重みw_iを考えた次式

$$Z = w_1A_1 + w_2A_2 + \cdots + w_iA_i + \cdots + w_NA_N \qquad (4)$$

で，欠測地点zの時間雨量Zを推定する。 この方法の特別な場合として，重み$w_i=1$（$i=1,2,\cdots,N$）とした算術平均法がある。

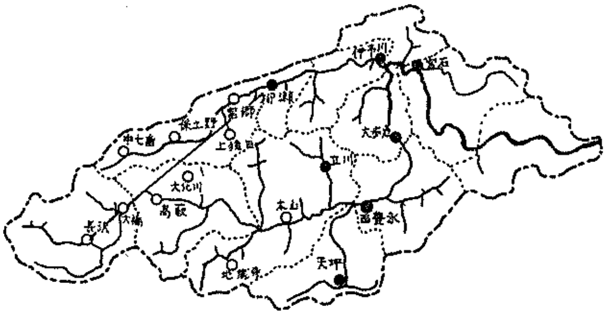
4). 既往n個の豪雨の総雨量を用いて，各地点間の相互相関係数を求め，その内の最大相関係数を用いて，欠測豪雨地点zの補間を行う。

このほかにも，まだ種種の方法が考えられようが，本報告では，これら4方法についての適用結果を比較検討する。

5．適用結果と補間精度

まずFig－1に示される吉野川上流の本山観測地点において，無降雨継続時間が6時間以下で，かつ2日間総雨量がほぼ100mmをこえるものを豪雨とし，昭和28年以降の既往豪雨47個を降雨特性により，梅雨性豪雨群（14個）と台風性豪雨群（27個）と，その他の豪雨群（6個）の3 groupに分割した。ここでは，そのうちの台風性豪雨群について推定を行なった。

i). group化　降雨特性を代表するindexとして，総雨量，継続時間，およびpeak雨量強度を用いて，これらに関する各地点間相互相関係数を求めVarimax法を適用した。その結果，主として，総雨量，継続時間の特性の重複部分よりFig－1のごとく，○印と●印で示すような二つのgroupを得た。そこで本山観測地点から上流の10地点



Fig－1　雨量観測所地点名

Table－1　Varimax法による構造vector

指標 / 合成変量 / 観測所	Varimax法による構造vector					
	総雨量		継続時間		peak雨量強度	
	1	2	1	2	1	2
長沢	0.219	*0.964	0.250	*0.758	0.178	0.238
大橋	0.057	*1.000	0.206	*0.804	0.138	0.212
高薮	0.236	*0.983	0.397	*0.842	0.259	0.226
大北川	0.012	*0.950	-0.267	*0.789	*0.740	*0.521
地蔵寺	0.220	*0.713	-0.001	*0.960	*0.764	0.337
本山	*0.520	*0.522	0.272	*0.960	0.165	0.281
立川	*0.877	0.039	*0.980	0.179	*0.619	0.391
天坪	*0.759	0.136	0.061	0.386	-0.067	*1.000
西豊永	*0.688	0.510	-0.261	*0.946	0.198	*0.701
大歩危	*0.855	0.128	*0.517	0.176	*0.571	0.285
中七番	0.371	*0.878	0.376	*0.950	*1.000	-0.134
保土野	0.428	*0.718	*0.703	0.372	*0.772	-0.006
上猿田	*0.808	*0.748	-0.146	*0.881	*0.851	-0.142
富郷	-0.029	*0.865	-0.281	*0.947	*0.647	*0.833
柳瀬	*0.731	0.471	0.299	*0.812	*0.925	0.013
伊予川	*0.949	-0.255	*0.980	0.004	*0.778	*0.670
宮石	*0.972	0.294	*1.000	-0.140	*0.726	0.202

（O印）からなる groupを選び，これを推定に用いる降雨流域とする。　なおVarimax法の単純構造Vectorは，Table−1のごとくである。　観測地点長沢と，柳瀬を結んだ線上に近い6個の地点を選び，各地点間距離と，その相互相関係数の最大値の関係を Plot してみると，Fig−2のごとくなる。距離相関は各豪雨ごとにかなり変動しているが，前述の Varimax 法による group 化はほぼ妥当なことが認められる。

iii）各種推定法による適用結果

いま精度を検討するために，実測値を有する観測地点高殺の7個の豪雨を欠測と仮定して，推定値を求める。4．でのべた四つの推定方法による推定値の実測値からの偏差Vを次式で求める。

$$V=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i'-x_i)^2} \qquad (5)$$

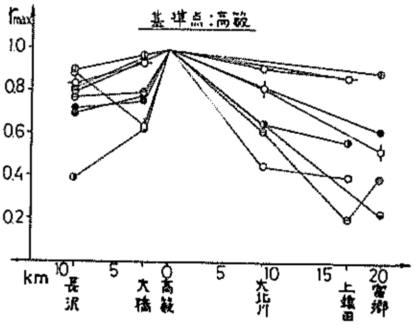
ここで，x_i'；推定値，x_i：実測値であり，Vは実測値からの偏差である。　その結果を Table−2 と Fig−3 に示す。　これらの図表によれば，いずれの方法も実測値からの偏差が約2〜8 mm/hr まで変動している。あえて言うならば，2)の方法が比較的偏差が小さくなっている。

6．むすび

類似豪雨なる概念を導入した推定法が，従来の算術平均法，あるいは総雨量の相関係数を用いる推定法とくらべ，残念ながらほとんど精度の差はなかった。その原因を考えてみれば，豪雨を抽出する際に定義した無降雨継続時間6時間以内が短かすぎたのではないかと思われる。また，類似降雨の選定方法に用いた台風性豪雨の数が27個であるにもかかわらず簡便的に15個しか用いなかったところにも問題点があると思われる。　その他の事を含めて，今後さらに検討し，原因が明らかになり次第報告したい。　最後に貴重な data を提供していただいた，四国地方建設局徳島工事事務所の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

1) 星清，大泉正太郎；降水量の多重相関分析について，土木学会第25回年次講演
2) 芝祐順；行動科学における相関分析法，東京大学出版会，（S.45）
3) 鈴木栄一；気象統計学，　地人書館，



Fig−2　地点間距離と相関係数

Table−2 各推定方法と偏差

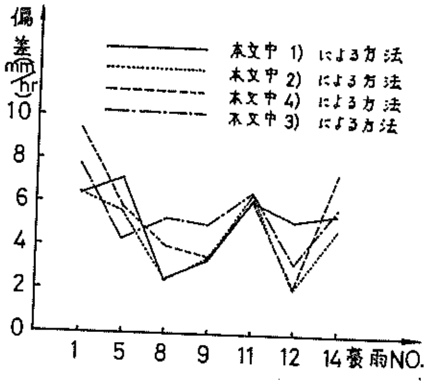
高殺における推定値の実測値からの偏差（mm/hr）				
推定方法 ＼ 欠測豪雨NO.	類似豪雨により推定		類似豪雨を考えずに推定	
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	9.383	6.441	6.411	7.772
5	5.860	5.634	7.205	4.346
8	4.054	2.395	2.518	5.315
9	3.596	3.539	3.467	4.049
11	5.936	6.614	6.152	6.534
12	5.244	2.088	2.177	3.201
14	5.534	4.904	7.482	5.900

(1)… 本文中 1) による方法

(2)… 本文中 2) による方法

(3)… 本文中 4) による方法

(4)… 本文中 3) による方法



Fig−3 各方法における豪雨NOと偏差の関係．