

洪水時における降雨時系列の特性に関する研究

Characteristics of the rainfall time series in flood

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 岡田 博至 (Hiroyuki Okada)

北海道大学大学院工学研究科 正 員 田中 岳 (Gaku Tanaka)

1. はじめに

治水計画や河川管理において、洪水防御計画の基本である基本高水は、降雨量、降雨量の時間分布および地域分布の三要素からなる計画降雨を定め、流出モデルを介して洪水のハイドログラフを求めることを標準としている¹⁾。現在、この計画降雨を作成するにあたり、降雨資料の不足から「実績降雨引き伸ばし方式」が多く採用されるようである。しかしながら、引き伸ばしによって得られた計画降雨の降雨強度と実際のそれとの間では年超過確率の値に著しい差が生ずることが指摘されている(例えば、宇治橋ら²⁾)。この場合現在では、気象学的・統計学的に不適当なものは棄却する事がなされているが、棄却する際、棄却の根拠が不明瞭であるという問題がある。

本研究では、その問題点を踏まえて、合理的な計画降雨の作成法を示すことを主目的として、年最大流量時の降雨時系列から、一雨降雨(定義については後述する)を抽出し降雨特性量の統計的解析と降雨時系列のパターン(時間分布と地域分布)を検討した結果を報告する。

2. 解析対象降雨の抽出

この研究の解析対象降雨として十勝川における年最大流量を記録した日の前後十日間の降雨資料を利用した。その中で比較的長期間にわたって観測データが残されているA～Lの12ヶ所の観測地点から一雨降雨として降雨時系列を抽出し解析対象降雨とした。

一雨降雨と定義した降雨時系列の抽出基準は以下の方法が提案されている³⁾。

- ① 無降雨が6時間以上継続し、そのあと降雨があれば、その系列は別の一雨降雨とみなす。
- ② ①で得られた降雨のうち、降雨継続時間が3時間以上、かつピーク雨量が2 mm/hr以上の降雨を一雨降

雨とみなす。

本研究では、上記①のみを採用し、その結果を表-1にまとめる。

表-1 解析対象降雨の抽出結果

観測地点	観測期間	観測年数	観測地点	観測期間	観測年数
A	1968～1996	28	G	1961～1996	32
B	1962～1996	32	H	1961～1996	33
C	1962～1996	34	I	1954～1996	40
D	1965～1996	30	J	1961～1996	35
E	1961～1996	32	K	1961～1996	35
F	1965～1996	29	L	1960～1996	36

3. 降雨時系列の特性

3.1 降雨特性量の統計的解析

総雨量・ピーク雨量・降雨継続時間・ピーク生起位置を降雨特性量と定め、七沢、星³⁾が札幌、旭川の降雨特性量を解析した事例を参考にし、その統計量をまとめ表-2に示す。

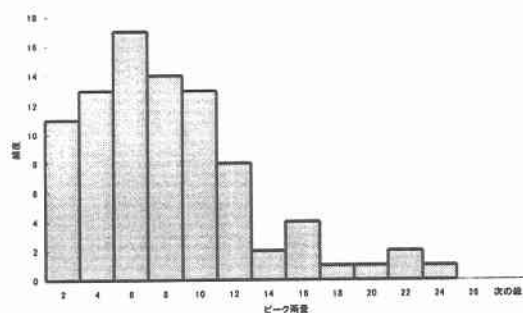
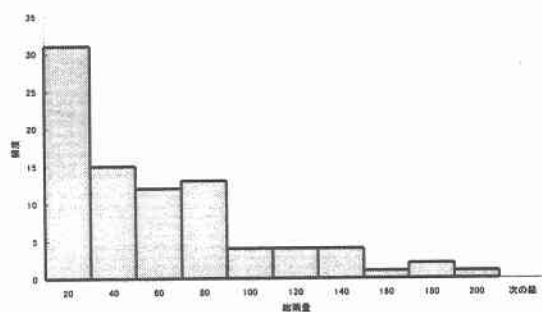
ピーク生起位置とは降雨の開始した時間からピーク雨量に達するまでの時間を降雨継続時間で除したものである。降雨継続時間の平均値が1から2日間の降雨を対象にしているため、総雨量・降雨継続時間の分布には地域性がみられる。一方、ピーク雨量とピーク生起位置は1時間降雨が対象のため不規則性が失われることなく、地域的な差異がみうけられない。特に、ピーク生起位置に関してみると、平均値が0.52～0.62、標準偏差が0.19～0.25であることは、七沢、星³⁾が行った札幌、旭川での解析事例とほぼ一致した値を示している。

次に、標本特性量毎にヒストグラムを作成して観測地間で比較をした。紙面の都合上観測地Iのみだが、総雨量・ピーク雨量・降雨継続時間の3つの降雨特性量については数値の小さなおとこに頻度が集中していて、ガンマ分布もしくは対数正規分布のような形状をしているのに対して、ピーク生起位置はそのような形状にはならな

表一 2 抽出資料の標本統計量

総雨量 (mm)						
	A	B	C	D	E	F
最大値	340	216	193.5	177.5	201	172.5
最小値	17.5	11.5	13	33.5	21	16
平均値	72.44	80.38	79.73	66.21	81.04	66.92
標準偏差	57.11	48.33	50.68	35.57	43.78	40.94
変動係数	0.79	0.6	0.64	0.54	0.54	0.61
ひずみ係数	4.04	1.25	0.78	1.86	1.06	1.06
	G	H	I	J	K	L
最大値	149	295	194	293	251	229
最小値	14	28	9.3	16	9	8.9
平均値	61.25	82.59	76.78	70.11	89.89	111.93
標準偏差	28.1	57.62	39.77	53.24	54.54	60.62
変動係数	0.46	0.7	0.52	0.76	0.61	0.54
ひずみ係数	1	2.32	0.5	2.56	0.89	0.73

ピーク雨量 (mm)						
	A	B	C	D	E	F
最大値	23.5	35.1	32.5	22.9	24	28
最小値	3.5	3	3	4.5	3.5	3
平均値	9.46	11.54	12.92	9.78	11.31	11.07
標準偏差	4.8	7.69	7.69	4.32	5.7	6.1
変動係数	0.51	0.67	0.6	0.44	0.5	0.55
ひずみ係数	1.22	1.82	1.21	1.18	0.66	1.1
	G	H	I	J	K	L
最大値	36	27	21	35	26	39.3
最小値	3	4	2.7	2	2	3.3
平均値	11	10.27	10.22	11.1	11.77	16.52
標準偏差	7.27	5.46	4.37	7.19	5.43	8.75
変動係数	0.66	0.53	0.43	0.65	0.46	0.53
ひずみ係数	1.95	1.79	0.76	1.83	0.6	0.54



降雨継続時間 (時間)						
	A	B	C	D	E	F
最大値	54	66	78	65	102	70
最小値	4	7	6	8	8	3
平均値	27.21	30.84	26.38	27.2	32.34	26.28
標準偏差	10.55	15.43	16.59	13.14	19.34	16.01
変動係数	0.39	0.5	0.63	0.48	0.6	0.61
ひずみ係数	0.17	0.69	1.54	1.15	1.79	0.85
	G	H	I	J	K	L
最大値	42	62	80	50	94	68
最小値	3	10	9	8	4	4
平均値	20.97	30	30.2	23.06	27.94	29.56
標準偏差	9.58	15.01	17.16	11.49	19.89	14.28
変動係数	0.46	0.5	0.57	0.5	0.71	0.48
ひずみ係数	0.38	0.56	1.26	1.43	0.61	0.45

ピーク生起位置						
	A	B	C	D	E	F
最大値	0.89	0.96	0.92	0.95	0.93	0.96
最小値	0.03	0.16	0.16	0.12	0.08	0.08
平均値	0.52	0.59	0.6	0.57	0.56	0.53
標準偏差	0.24	0.24	0.24	0.25	0.23	0.24
変動係数	0.46	0.4	0.4	0.44	0.42	0.45
ひずみ係数	-0.29	-0.33	-0.33	-0.17	-0.34	-0.32
	G	H	I	J	K	L
最大値	1	0.88	1	0.96	1	0.96
最小値	0.06	0.2	0.1	0.11	0.09	0.18
平均値	0.53	0.6	0.6	0.62	0.62	0.6
標準偏差	0.25	0.19	0.23	0.23	0.25	0.22
変動係数	0.48	0.32	0.39	0.38	0.4	0.37
ひずみ係数	-0.16	-0.76	-0.31	-0.33	-0.5	-0.3

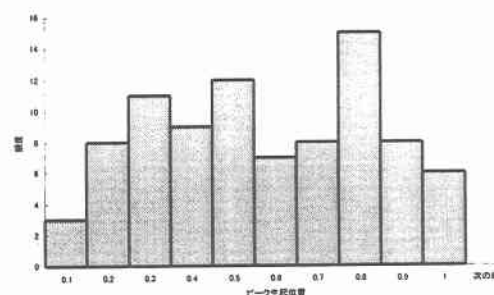
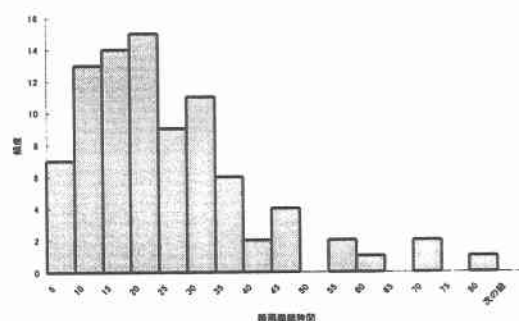


図-1 降雨特性量のヒストグラム (観測地 I)

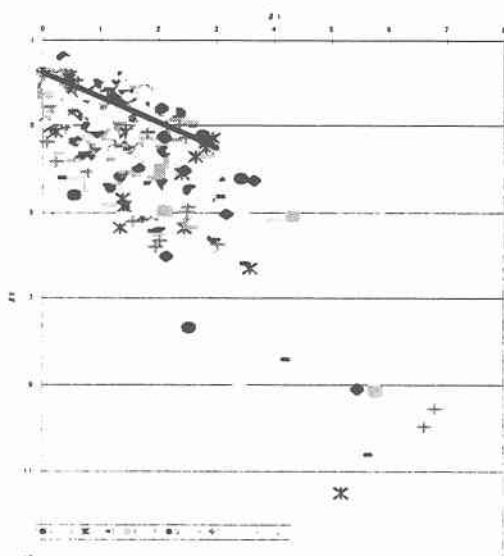
(右 総雨量、ピーク雨量 左 降雨継続時間 ピーク生起位置)

降雨強度をそれぞれ降雨継続時間、平均降雨強度で除して無次元化したものを用いた。そこで、重心を通り時間軸に垂直に交わる軸まわりの 2~4 次モーメント、 m_2 , m_3 および m_4 を求め、パラメータ β_1 , β_2 の関係を A~L の系列

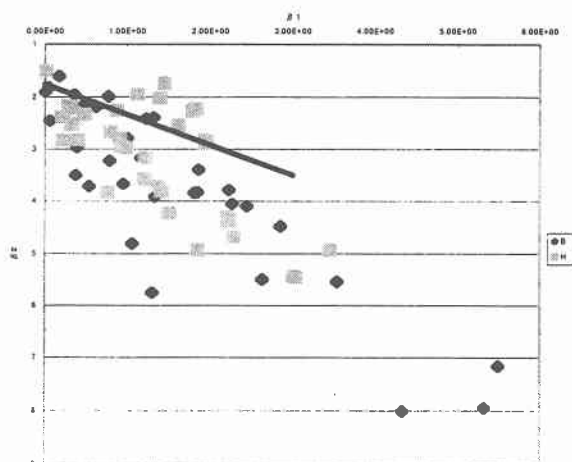
い、分布形が僅かではあるが左(平均値よりも負の方向)に歪んでいるように見える。このことは、ひずみ係数の値が負の値をとっているということからも確認することができる。

3.2 降雨時系列の形状

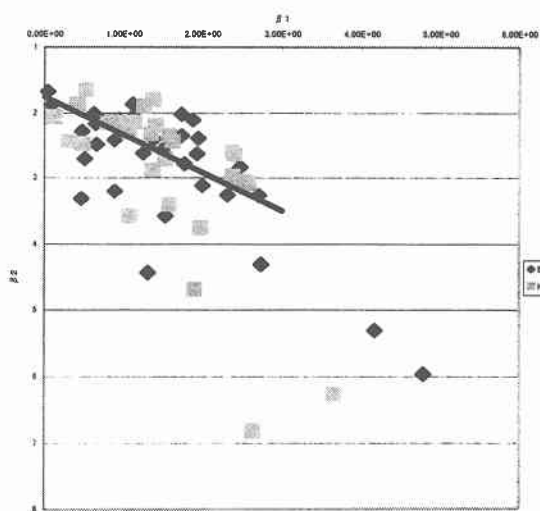
前節で示されているように解析対象降雨には、総雨量、降雨継続時間が異なる様々な降雨時系列が含まれている。降雨時系列の形状のみを比較、検討するため、時間および



図一 観測地ごとのパラメータの分布



図一 3 観測地 B・H のパラメータの分布 (実測値)



図一 4 観測地 B・H のパラメータの分布 (平均値)

毎に図-1 に示す。なお、 β_1 、 β_2 は以下の式で算出した。

$$\beta_1 = m_3^2 / m_2^3 \quad (1)$$

$$\beta_2 = m_4 / m_2^2 \quad (2)$$

ここで、 β_1 は形状のひずみ(ひずみ係数の 2 乗)を表し、 β_2 は尖度を表している。図-2 において右下にプロットされた降雨時系列は、重心に対して左右どちらかに歪み、また尖った形状をしていることになる。一方、左上の場合は、重心に対して対称的な形状となる。図中の直線は三角形の場合の β_1 、 β_2 関係を理論的に示したものである。また、図-1 から観測地点毎に考えると、三角形の理論直線に近いところに多くプロットされる系列(観測地 A・C・D・E・G・I・K)、直線とは離れたところに多くプロットされる系列(観測地 B・F・H・J)といったように、観測地によってプロットされる点の傾向に特徴があることがわかる。

降水量は、一般に時間的には確率論的に変動することから、観測降雨は次式のように表される。

$$r_i = \bar{r}_i + \hat{r}_i \quad (i: \text{整数}) \quad (3)$$

また、 $\bar{r}_i$ は、平均値を、 $\hat{r}_i$ は、平均値からの変動を表している。ここでは、各時間降雨ごとに三次の移動平均値を平均降雨として、その形状を前述と同様の方法でパラメータを算出し、それを散布図にプロットする。図-3 は実測値、図-4 は移動平均を用いたものである。今回の解析では観測地 B と H の 2 ヶ所について行なった。

図-3、4 とを比較すると、移動平均を用いたほうが実測のものより三角形の理論直線によく近づいてプロットされていることがわかる。つまり、平均降雨の形状はより三角形に近似することができる。

3.3 時間降雨の相関関係

これまで、田中、藤田ら⁴⁾は、降雨量の時間的な相関関係の評価が流出特性に影響を与えることを貯留型流出モデルを用いて理論的に示している。ここでは、解析対象降雨の自己相関関数

$$r_n = E(\hat{r}_i \hat{r}_{i+n}) \quad (4)$$

を検討する。なお、平均値として 3.2 と同様に 3 次の移動平均を採用し、変動成分、 $\hat{r}_i$ は、定常確率過程に属するとした。観測地 B と観測地 H の二か所について相関係数を

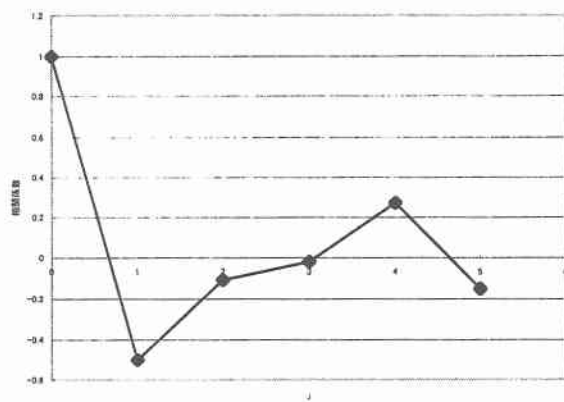


図-4 時間降雨の自己相関関係 (観測地B)

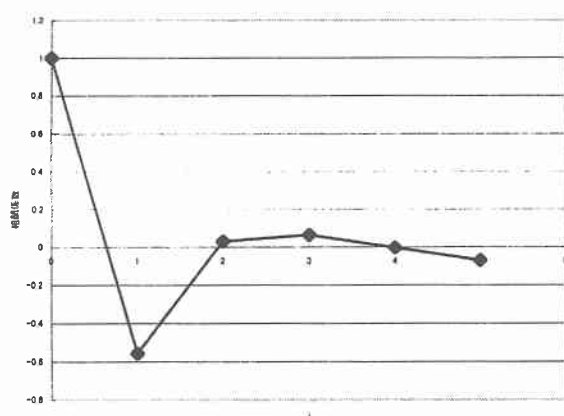


図-5 時間降雨の自己相関関係 (観測地H)

求め、それをグラフ化したものが図-4, 5である。いずれの観測地の場合も相関係数が-0.5 前後で負の値をもち、一次の自己回帰過程で近似できることがわかる。

4. 研究のまとめと今後の課題

この研究によってわかったことは、降雨波形の重心を通り時間軸に垂直に交わる軸まわりの2~4 次モーメントをとり、それから二つのパラメータの関係を考えることによってその降雨波形の形状がわかり、観測地ごとに考えるとプロットされる点の傾向によって形状の特徴に違いがあり、さらに、移動平均で定義された平均降雨の形状が同様のパラメータを算出しその関係をみると三角形の理論直線に近似するということがわかった。次に、自己相関関数を用いて平均値との変動成分の相関関係をしらべたところ、一次の自己回帰過程で近似できることがわかった。

本論文では、計画降雨を決定する際の要素として、

- ① 年最大降雨量の分布による計画規模
- ② 降雨波形のパターン
- ③ 降雨時系列の自己相関性

と考え、降雨特性量の統計的解析と降雨時系列のパターン(時間分布と地域分布)および降雨時系列の自己相関関係を検討し、その性質を示してきたが、総雨量と降雨継続時間の相関性も重要な量である。今後これを含めて降雨特性量の相関性についても検討して行きたい。

参考文献

- 1) 日本河川協会編: 改訂新版建設省河川砂防基準(案)同解説, 計画編, 山海堂, pp. 9-16, 1997.
- 2) 宇治橋康行, 高瀬信忠, 松村誠一: 一雨のパターン分類に基づく計画降雨波形の決定, 金沢大学工学部紀要, 24 巻, pp. 9-19, 1991.
- 3) 七沢馨, 星清: 時間雨量の確率分布特性について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 42 号, pp. 177-182, 1986.
- 4) 田中岳, 藤田陸博, 熊谷進: 貯留型流出モデルの確率応答特性, 水工学論文集, 第 43 巻, pp. 1-6, 1999