

降雨事件分割之研究

A Study on the Rainfall Event Segregation

國立臺北技術學院土木工程技術學系副教授

張 守 陽
Shou-Young Chang

摘 要

本研究主要分析逐時雨量之降雨特性與評估降雨事件之分割方法，以台灣地區雨量記錄為應用對象，研析降雨事件之特性參數，以作為設計雨型之參考。

本研究考量降雨連續性、發生時期、降雨延時及降雨總量等條件進行降雨事件之分割。經研析後採總雨量大於中值總雨量之降雨事件，且於每年五月至十月之汛水期發生，事件中得以二小時之中斷降雨，以此條件分割降雨事件並分析其統計特性。主要成果如下：

各大小級序降雨於短延時降雨有明顯集中於某些時段之趨勢，而長延時降雨事件則均勻分佈於各降雨發生時刻。各事件最大降雨之時段隨事件之降雨延時增加而延後，說明不同降雨延時事件之降雨組體圖各具特性時間尺度，不適以某一延時事件降雨組體圖推求其它不同延時降雨事件組體圖。

多數雨量站逐時雨量一階序列相關係數 R_1 通過持續性檢定之事件比例雖不到五成，但其持續性仍不容忽略。長延時降雨資料之機率分佈可以常態分佈及對數常態分佈加以套配。由馬可夫一階歷程轉移機率矩陣主軸發現， t 時間若為某一狀態值，於下一時段 $t+1$ 時間產生同一狀態值之機率較大。

各降雨事件之降雨重心、尖峰降雨及尖峰時間之變異係數說明了各事件參數離散程度甚大，其中長延時事件尖峰降雨之發生時間並無規則可尋。

關鍵詞：逐時雨量，事件分割，事件特性。

ABSTRACT

This study intends to investigate the characteristics of hourly rainfall and to evaluate the segregation methods of rainfall events. The rainfall records of Taiwan area are applied to analyze the characteristic parameters of rainfall events for the recommendations of the rainfall pattern design.

Four conditions, continuity, occurring period, rainfall duration and rainfall amount, are considered to segregate the rainfall events. Then, the segregation method is based on those rainfall events which amounts are greater than "median rainfall amount" from May to October (abundant period) in Taiwan. The rainfall events used for analyses can be selected from the rainfall discontinued within two hours. The main findings are as following:

The long-duration rainfall events of every magnitude tend to distribute uniformly over the whole occurring period, while the short-duration rainfall events incline to concentrate their rainfalls on some time-segments in the period. Because the peak rainfall in a long-duration event occurs later than the short-duration one, every rainfall event has its unique time scale. It is therefore inadequate to derive the rainfall hyetograph from different duration ones.

Finally, to have better understanding on the characteristics of rainfall events, statistic calculations such as persistent analyses and stochastic analyses are also performed.

Keywords: Hourly rainfall, Event segregation, Characteristics of event.

一、前 言

舉凡水土保持、防洪工程、排水設計、滯洪池設計及水庫操作等與水資源相關工程之規劃與設計時，常以降雨資料做為集水區系統之輸入，經單位歷線演算後，以流量歷線為系統之輸出。其中降雨輸入需以降雨總量配合降雨在時間之分佈求得，此即所謂之「設計暴雨」。一般設計時，前人多將龐大降雨資料分割為降雨事件後，再探討降雨於時間上分佈，此降雨於時間分佈之雨量組體圖 (rainfall hyetograph) 簡稱為「雨型」 (rainfall pattern) [Bras, 1988, 王如意, 1983]。降雨總量配合降雨組體圖後，計算所得之「設計暴雨」對流量歷線之尖峰流量與尖峰流量時間頗具影響，對上述工程設計扮演極為重要的角色。

設計暴雨有賴於對其研究區域之地域特性與降雨特性之了解，現有文獻少有深入探討。如台灣現有組體圖設計方法多源自於國外 [Huff, 1967, Pilgrim, 1975, Wenzel, 1978]，以台灣地區降雨之特性是否得以直接套配使用 [顏清連, 1989, 余濬, 1988]，即有待進一步研究。雖然降雨特性之研究理應由其降雨物理結構及其性質著手分析，但由於降雨現象變化萬千 [蔡清彥, 1990, 張守陽, 1990-1994, Ignacio, 1989]，各氣象要素不但繁複，且其彼此間常常相

互影響，實難以從物理觀念著手探析，因此於面對龐大降雨資料以處理「設計暴雨」時，有必要定義出「降雨事件」 [Bedient, 1988]。然而目前於降雨組體圖分析時，對降雨事件之定義與分割方法甚少有深入研析者，何況事件之特性更乏人研究。

有鑑於此，本研究即嘗試不同降雨資料分割方法，比較其特性，再進行降雨時間分佈之統計特性及其特性參數之探討，以台灣地區雨量站逐時雨量為應用對象，希冀可作為暴雨設計之參考，並提供水利工程設計規劃之使用。

二、理論探討

2-1 降雨延時曲線分析

降雨延時曲線：為了解經不同方法篩選後之雨量分佈特性，首先仿流量延時曲線 (flow duration curve) 觀念，將各逐時降雨量發生次數加以整理，繪製成降雨量發生次數曲線 (rainfall frequency curve)。再將發生次數由小雨量至大雨量累加，除以總發生次數，並化為百分比，此累積頻率曲線 (cumulative frequency curve) 即為降雨延時曲線 (duration curve)，其棋座標為雨量 P ，縱座標為小於棋座標雨量之累積百分比 MP 。

降雨量分佈特性參數：由於降雨延時曲線類似指數之漸增函數，由零原點陡增，陡增後增加速率漸緩，直至近縱座標上限後，以之為漸近線。本研

究暫以下列指數函數形式加以套配：

$$MP=100 \times (1-\exp(-P/k)) \quad (2-1)$$

其中：MP 為延時曲線縱座標值，以小於橫座標雨量之累積百分比計算；100 則為總雨量之累積百分比；降雨量 P 為延時曲線橫軸值；K 代表延時曲線特性參數，單位與降雨量 P 相同。由降雨延時曲線特性參數可了解降雨量分佈範圍，進而可作為降雨量於事件分割時上篩選參考。

2-2 降雨分割

於工程設計時常需以一特定暴雨事件作為降雨—逕流模式演算中之輸入。前人研究多以一完整連續降雨之始末作為降雨事件開始與結束〔Yen,1977,1980,顏清連,1989等〕，此對於一長延時之降雨，如颱風事件，即可能因其間之間歇降雨而被分割為數個降雨事件，造成不合理現象。徐享崑等〔徐享崑,1994〕以指數分佈法分割二獨立暴雨，其臨界延時為3至5小時，與實際暴雨相比較，似乎略為保守。有鑑於此，本研究依降雨資料，分別考慮下列降雨性質：

1.連續性：由於實際颱風事件，其間偶有1~2小時之間斷停雨，因此先以如下三種降雨辨別方案來分割降雨事件〔林國峰,張守陽,1990-1994〕：「方案一」仿前人方法為連續降雨事件，中間不容許停雨；「方案二」為降雨事件中容許一小時之停雨，亦即降雨開始及結束前後兩小時並無降雨量；「方案三」則為降雨事件前後三小時並無降雨量，亦即降雨事件中容許一或二小時之中斷降雨。針對河川及集水區之治理計畫時之所需較長延時降雨（例如18小時~30小時），如颱風事件，則可用方案三降雨事件進行雨型之分析研究。而於都市排水計畫或區域排水工程需較短延時雨型，如雷陣雨事件，其產生至結束僅0.5~2小時〔Byers, 1974〕，則可用以方案一加以探討。

2.降雨發生時期：歷年來台灣地區四大災變天氣分別為颱風、豪雨、寒潮及乾旱。例如颱風發生在熱帶海洋上，是最具破壞力的劇烈天氣系統，為台灣最大之氣象災害〔蔡清彥, 1990〕，加上梅雨季節之豪雨，因此侵襲台灣且造成災害之降雨多分佈於每年5月至10

月之汛水期，因此依工程設計考量，應以此時期之降雨做為分析對象。

3.降雨延時：不同降雨延時之暴雨，各有其降雨屬性與特性，因此不同降雨延時事件之降雨組體圖理應各具「特性時間尺度」〔Olsson,1992〕，但前人研究有以某一延時事件之降雨組體圖推求其它不同降雨延時事件之降雨組體圖，即有待斟酌。其中短延時降雨，如雷陣雨事件，為直流降水(convective precipitation)，由生成至結束僅約二小時，此等暴雨之雨型分析，有賴較小延時（如逐分雨量）記錄資料方得以進行；長延時降雨如颱風，為氣旋(cyclone)降水，其百分九十之雨量集中於三十小時內發生〔張守陽,1983〕，因過境時間較長，約為18至30小時之間，故得以利用逐時雨量資料分析雨型。由於目前逐分雨量資料仍頗不足，有待積極蒐集整理，而逐時雨量記錄較易獲得，又因「設計暴雨」需大量雨量記錄方具客觀性，本研究乃利用逐時雨量記錄，以長延時降雨事件為主要分析條件，進行降雨特性之研究。

4.降雨總量：當降雨侵襲水工結構物時，吾人所關心者為，降雨是否超過其容許最大流量與其容許最大延時，因此針對工程設計需求以設計降雨組體圖時，為了不擬被較小降雨事件影響分析結果，故本研究分別求算中值總雨量¹與平均總雨量值進行分析，以作為降雨事件取捨之門檻值，亦即擬以大降雨事件做為設計雨型分析的對象。

若不考量上述因素，將全部降雨資料一併考量，本文稱此全部降雨資料為「全事件」。若僅考量降雨連續性以篩選不同延時之降雨事件時，依容許停雨之時數，即分別有「方案一」、「方案二」及「方案三」等條件之降雨事件。若於方案三降雨事件再選擇降雨總量及降雨發生時期等條件，如事件總雨量採大於所有事件中值總雨量，且降雨發生於每年五至十月時期（台灣之汛水期）之降雨事件，由此分割之降雨事件，本文命名為「汛三雨」。

2-3 降雨事件特性分析

若降雨量得以合理適切分割為降雨事件，則可進行如下之基本特性分析。

降雨量級序分析：

本文之「級序」為指各逐時雨量於該降雨事件大小順序之排名。例如：降雨事件中最大降雨量之級序編號為 1，次大降雨量即為 2，依序類推。級序分析為進行不同延時降雨事件中各級序雨量於不同降雨時刻發生次數之分析，藉此了解降雨組體圖各大小雨量之分佈趨勢。分析方法如下：首先對各降雨事件依降雨量大小排列 (sorting)，予以級序編號，其次將各降雨時刻發生相同降雨級序之次數加以累加，以此分析降雨組體圖之降雨次序特性。

降雨量持續性檢定：若考慮水文現象之不確定性 (uncertainty) 時，水文歷程可為機率 (probabilistic) 歷程及序率 (stochastic) 歷程。機率式歷程為時間獨立性，不考慮歷程中變量發生之時序 (time sequence)，可以假設其發生之機會遵循某一定之機率分佈，其變量間之發生關係為純逢機性 (pure randomness)。若序率式歷程為依時性，則需考慮變量發生之時序，因此水文歷程之變量可為純逢機性或非純逢機性。如為純逢機，水文時序分子間互相獨立無關，且構成一逢機序列 (random sequence)；如為非純逢機，時序分子間互為相關，構成一持續性 (persistence) 序列。本文即探討各降雨事件本身是否為具持續特性。首先對各降雨事件之降雨組體圖進行時序分析 (time series analysis)，檢定小時雨量時列之序列相關係數 R_1 、 R_2 ...至 R_6 ，各序列相關係數可表示如下〔王如意，1983，張守陽，1983〕：

$$\begin{aligned} R_1 &= C_1 / C_0 \\ R_2 &= C_2 / C_0 \\ &: = : \\ R_k &= C_k / C_0 \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\text{其中：} C_n = \sum_{i=1}^{n-1} (P_i - \bar{P})(P_{i+1} - \bar{P}) / t_d \quad (2-3)$$

C_k 為 k 階序列協方 (serial covariance)， \bar{P} 為平均降雨。各序列相關係數求得後，繼而以估略法 (approximation method) 檢定降雨量時列之持續性，

即當 $|R_k| < 2/\sqrt{n}$ 時，則降雨時列具有 95% 逢機性，可以以機率式歷程分析，否則視為具持續性之降雨時列，此時即應以序率式歷程分析之。

降雨量分佈檢定：若降雨時列各變量發生之機會遵循某一定之機率分佈，則可檢定此降雨資料合適之機率分佈，再合成適合此分佈之逢機資料。本文以常態分佈與對數常態分佈兩種機率分佈加以套配，並以柯—司 (Kolmogorov-Smirnov, 簡稱 K-S) 檢定〔Haan, 1981, 洪華生等, 1981〕求算二分布通過顯著水準 (level of significance) 為 20%、15%...、1% 不等之事件數比例，以比較此二機率分佈與實際數據之密合性。

馬可夫轉移機率矩陣：水文資料中之記憶長度 (memory length) 表示集水區系統中投入因子影響其水文狀況之時間長度。如一系統為零記憶 (zero memory)，則其水文現象僅與當時之投入有關。而一般分析多視水文系統具有有限記憶 (finite memory)，即水文現象之產生與其記憶長度相同之過去歷史資料相關，前人常用馬可夫鍵模式探討有限記憶之水文序率模式。因此若降雨時列持續性顯著，亦即事件本身為非逢機序列時，可以馬可夫一階歷程 (Markovian first order process) 觀念，求取各集水區之轉移機率矩陣 (transitional probability matrix)。此係假設降雨事件時間 t 之狀態 i 為其轉移至另一時段 $t+1$ 狀態 j 之條件機率，可用下列數學式說明之：

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) \quad (2-4)$$

本研究依各雨量站之平均降雨延時曲線，將現有降雨資料依累積百分比分成十份，加上零降雨共分爲十一個狀態值。以此十一個狀態值分析記錄中連續二小時間之降雨機率分佈情形，此機率矩陣即為轉移機率矩陣。當給予一降雨起始狀態值配合各頻率年之暴雨總量即可得一機率降雨組體圖〔張守陽，1983〕。若降雨起始狀態值配合轉移機率矩陣變化至另一狀態值，以新狀態值取代起始狀態值重新計算，如此加以反覆疊代，可達至一穩定之平衡機率狀態，此時平衡機率狀態值與起始狀態值無關，即稱平衡馬可夫轉移機率矩陣。

¹ 中值總雨量及擷取所有降雨事件各降雨總量之中間值 (降雨總量累積分佈圖中，累積機率為百分五十之降雨量)。

事件參數變異係數分析：

統計學中之變異係數 (coefficient of variation) 為

電腦檔轉換至個人電腦系統，雨量記錄值之基本

單位為 0.1mm，各雨量站位置基本資料如表一所

表 1. 中央氣象局測候站基本資料

站名	站號	海拔高 (公尺)	北緯 (度)	東經 (度)	創立年 份	記錄年 限(年)
淡水	690	19	25.170	121.437	1942	30
鞍部	691	838	25.187	121.520	1937	30
台北	692	6	25.039	121.506	1896	39
竹子湖	693	607	25.165	121.536	1937	30
基隆	694	27	25.135	121.732	1946	30
澎佳嶼	695	102	25.629	122.071	1910	30
宜蘭	708	7	24.766	121.748	1935	30
新竹	757	34	24.802	120.970	1938	30
蘇澳	706	25	24.602	121.864	1981	8
花蓮	699	16	23.977	121.605	1910	39
大武	754	8	22.358	120.896	1940	30
恒春	759	22	22.005	120.738	1896	30
成功	761	34	23.099	121.365	1940	30
蘭嶼	762	324	22.039	121.551	1941	30
台東	766	9	22.754	121.147	1901	39
東吉島	730	43	23.259	119.660	1962	25
澎湖	735	11	23.567	119.555	1896	30
台南	741	14	22.995	120.197	1897	39
高雄	744	2	22.568	120.308	1931	30
嘉義	748	27	23.498	120.425	1968	21
台中	749	84	24.147	120.676	1896	39
阿里山	753	2413	23.527	120.805	1933	30
玉山	755	3845	23.489	120.952	1943	30
日月潭	765	1015	23.883	120.917	1941	30
梧棲	777	7	24.259	120.515	1976	13

無因次，可反應物理量分佈之絕對離散程度。因此本文進行事件參數變異係數分析。步驟如下：分別求取各降雨事件之特性參數，如降雨重心、尖峰降雨及尖峰時間等之平均值 (mean) 與標準偏差 (standard deviation)，再將各參數標準偏差除以該平均值，求得無因次化標準偏差，即為變異係數。利用此變異數可探討各參數之離散程度。

三、結果與討論

本研究以台灣地區為應用對象，共蒐集中央氣象局所屬二十五個測候站雨量資料電腦檔 (1950 年至 1989 年) 之逐時雨量資料，並將各雨量資料

示。以高程而言，阿里山與玉山測候站屬高山型氣候型，各雨量站之逐時降雨記錄年限除蘇澳、梧棲較短外，其餘站雨量多具有 30 年以上之雨量記錄。

3-1 雨量延時曲線

本節分別對全事件、方案三及汛三案等三種不同降雨資料篩選方式進行降雨分佈特性之探討。

雨量延時曲線

將所收集之各雨量記錄值之發生次數加以整理，繪製成雨量次數分佈曲線。再將此分佈曲線發生之次數由小至大累加，除以總發生次數即得

雨量延時曲線。圖 1 為不同條件之雨量延時曲線，此延時曲線為台灣地區之降雨延時曲線之中值包絡線。由圖 1 得知全事件雨量延時曲線與方案三延時曲線頗為接近，而與汛三案有明顯差異。汛三

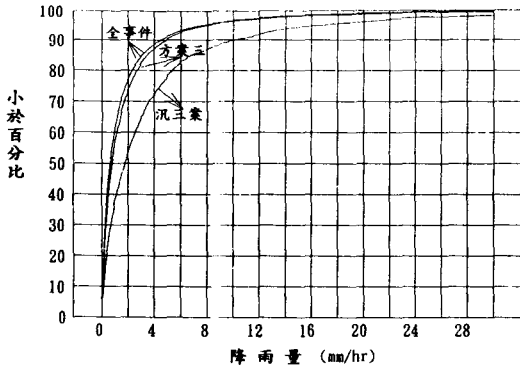


圖 1. 不同分割條件之雨量延時曲線

案雨量延時曲線較為緩和，表示汛三案之降雨大小分佈較為均勻，亦即大雨量所占比重較其他二降雨分割條件為多。由此不同降雨條件之延時曲線包絡線可初步說明不同降雨篩選條件即具不同降雨特性。

延時曲線特性參數

由圖 1 可知雨量延時曲線類似指數之漸增函數，由零原點迅速增加，至百分之七、八十後，增加趨勢漸緩，繼而以百分之百為漸近線。本研究以式 (2-1) 加以套配此變化趨勢。先將式 (2-1) 加以整理，可得如下：

$$P = -k \ln(1 - MP/100) \quad (3-10)$$

若以縱軸值為 $\ln(1 - MP/100)$ ，橫軸值為雨量 P 加

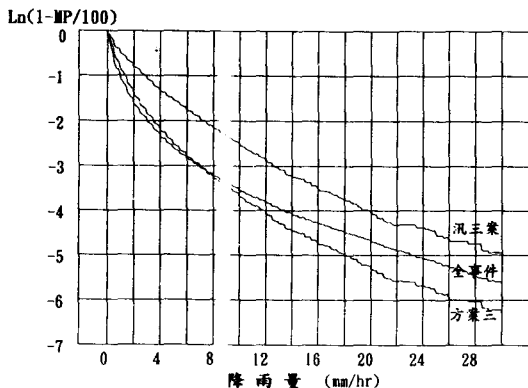


圖 2. 延時曲線特性參數求算示意圖

以繪圖，此圖形斜率即為特性參數 K 。圖 2 所示分別為全事件、方案三及汛三案之雨量延時曲線包絡線特性參數求算示意圖。由圖得知：除全事件及方案三篩選條件於小雨量（約 4mm/hr 以下）較無特定斜率外，其餘雨量與汛三案整體雨量資料具近似線性特性，由此由圖可以說明以式 (2-1) 套配，尚稱合理。

繼而藉圖 2 推算其斜率，求取其延時曲線特性參數 k 。將不同降雨條件之延時曲線特性參數整理後，例舉部份雨量站結果繪於圖 3。由於由式 (2-1) 可知特性參數 k 愈小，延時曲線增加愈速，愈容易接近百分之百平衡值，因此以北部地區為例，於不同降雨條件中，以全事件參數 k 較小（圖 3），而以汛三案參數 k 較大，意即汛三案之大雨量事件比例大於其餘二降雨篩選條件，符合物理意義。由此降雨延時曲線特性參數分析，可了解不同降雨分割條件下，其降雨量分佈之差異，進而可作為降雨量於事件分割之參考。

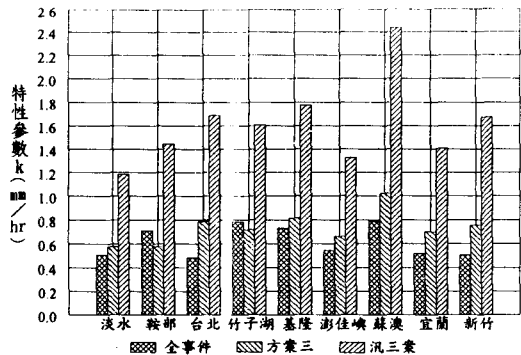


圖 3. 延時曲線特性參數

暴雨發生時期

針對各雨量站現有之逐時雨量記錄中，大於 30mm/hr 之較大暴雨發生日期加以分析，再將各發生月份之次數整理後列於表 2。由表 2 可知，較大暴雨發生月份多集中於五至十月之汛水期，此說明台灣地區旱季時少有較大降雨強度之暴雨發生。

3-2 降雨事件分割及其特性

本節針對不同分割條件之降雨事件雨量記錄，以「事件」為單元進行研析。

表 2. 逐時暴雨量發生月份之次數(大於30mm/hr)

月 站名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
淡水	0	0	1	2	10	9	20	20	13	1	1	0
鞍部	0	0	1	1	15	11	33	56	61	71	0	1
台北	0	0	0	6	16	28	49	32	34	3	3	0
竹子湖	0	0	0	2	8	8	31	62	73	74	2	0
基隆	2	0	1	3	7	15	14	14	37	21	2	1
澎佳嶼	1	1	0	4	4	13	8	13	14	6	0	0
蘇澳	0	0	1	0	2	7	6	8	15	24	2	3
宜蘭	0	0	0	1	5	7	11	11	66	39	5	1
新竹	0	1	2	2	22	21	22	25	15	0	0	0
花蓮	0	0	0	7	15	23	17	28	48	31	18	0
大武	2	0	1	3	9	22	32	31	20	18	0	0
恒春	0	1	0	2	10	28	42	58	35	7	1	0
成功	0	0	3	4	19	22	23	32	33	37	3	0
蘭嶼	4	1	8	7	11	23	10	14	24	30	10	0
台東	3	0	0	5	12	27	29	29	36	13	4	0
東吉島	0	0	2	0	8	8	8	8	4	0	0	0
澎湖	0	0	2	4	12	12	13	21	6	1	0	0
台南	0	0	0	6	21	59	47	71	23	2	1	0
高雄	0	2	2	3	25	25	34	51	15	1	0	0
嘉義	0	0	0	4	17	24	24	41	9	0	0	0
台中	0	0	0	5	23	44	41	66	13	1	0	0
阿里山	0	0	1	7	17	51	76	159	65	3	0	0
玉山	0	1	0	0	2	6	11	23	10	0	0	0
日月潭	0	0	2	4	18	66	42	62	30	3	0	0
梧棲	0	0	0	2	15	11	7	10	4	0	0	0

總雨量分析

考量在不同連續性條件下，分別以「方案一」、「方案二」及「方案三」定義方法分割各雨量站、各延時降雨事件。首先以各延時最大降雨事件之總雨量為上限，各均分數個區間，計算各區間總雨量發生事件數是為「總雨量次數組體圖」。例舉花蓮站「方案一」及「方案三」之6、12及18小時延時降雨事件總雨量次數組體圖於圖4。由圖4可知大雨量之降雨事件數比小雨量降雨事件數顯著少了許多，短延時（6小時延時）事件之總雨量呈指數衰減分佈，長延時降雨事件總雨量次數組體圖則呈伽碼分佈，分佈曲線向右偏斜，其偏度係數大於零。

繼而將各方案之6、12及18小時延時降雨事件總雨量累積發生次數繪製於圖5。由圖5可知較

長延時降雨（如十二、十八小時延時）於相同累積次數條件下，方案一總雨量大於方案三總雨

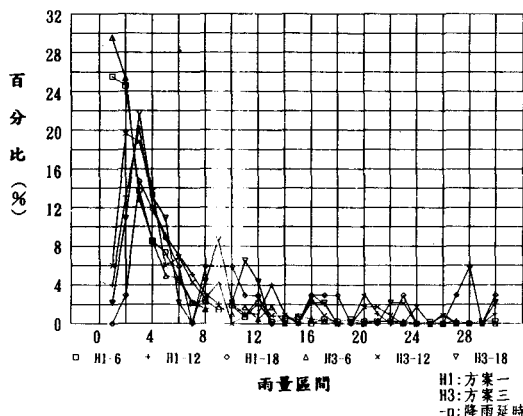


圖 4. 總雨量次數組體圖

量。而短延時則於較多累積事件數後呈現相反趨勢。

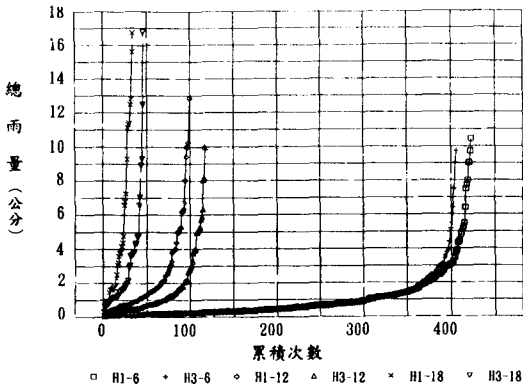


圖 5. 總雨量累積次數圖

平均與中值總雨量

計算各延時降雨事件平均總雨量，並由圖 5 總雨量累積次數圖求取中值總雨量。例舉台北站不同方案各延時降雨事件平均總雨量及中值總雨量於表 3，並繪於圖 6。由於總雨量分佈向右偏斜（圖 4），故中值總雨量小於平均總雨量。就不同方案而言，方案一之中值總雨量與平均總雨量均略大於方案三之總雨量，可達三成，並隨事件延時之增加而增大。此乃因為方案一為連續降雨事件，中間不容許停雨，而方案三則於降雨事件中容許一或二小時之中斷降雨，因此方案一之總雨量較大，是屬合理。由表 3 可提供於不同定義方法分割降雨事件時所可能帶來差異之參考。

暴雨發生次數

其次對方案三及汛三案分別求算各雨量站逐

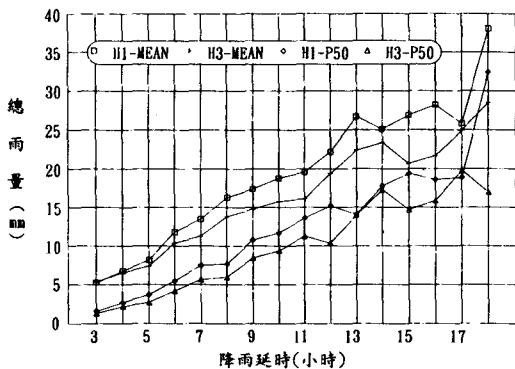


圖 6. 中值總雨量與平均總雨量之比較(台北站)

表 3. 台北站不同事件分割之總雨量

延時	平均總雨量			中值總雨量		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
3	5.3	5.2	5.4	1.6	1.3	1.3
4	6.8	6.6	6.5	2.7	2.3	2.2
5	8.2	7.8	7.4	3.7	2.9	2.7
6	11.8	10.4	10.3	5.5	4.3	4.2
7	13.5	11.3	11.2	7.5	5.7	5.6
8	16.3	13.4	13.7	7.7	6.1	6.0
9	17.4	15.7	14.8	10.8	9.4	8.5
10	18.9	15.7	15.7	11.7	10.1	9.4
11	19.6	16.8	16.0	13.6	11.3	11.3
12	22.2	20.3	19.3	15.2	12.2	10.3
13	26.7	22.1	22.4	14.1	13.8	14.0
14	25.1	24.5	23.3	17.8	17.6	17.3
15	26.9	20.6	20.7	19.4	14.7	14.6
16	28.2	21.9	21.7	18.6	16.4	15.9
17	25.8	26.2	24.8	18.9	21.6	19.8
18	38.1	29.3	28.4	32.4	16.0	17.0

時雨量大於 5mm、10mm、20mm 及 30mm 發生次數。圖 7 為汛三案暴雨數占方案三事件數百分比，由圖 7 可發現方案三之較大暴雨絕大部分發生於汛水期，所以汛三案之降雨總延時雖佔方案三不到三成，但於各暴雨次數占方案三暴雨次之大多數，尤其大暴雨（ $\geq 30\text{mm/hr}$ ）更近於百分之百。另由表 3 亦說明了此一現象，因此若以工程安全考量言之，汛三案降雨資料篩選分割方式較純方案三分割方式來的合理。

3-3 降雨事件統計特性

綜合前二節分析，不同分割條件之降雨事件具不同之降雨特性。其中全事件之小雨量佔了極大之比例，不適於直接用於工程設計，故不予深入探討。由於各事件總雨量分佈曲線明顯向右偏斜，因此平均總雨量較不適於代表總雨量分佈特性。為提供工程設計之需，不擬被較小降雨事件

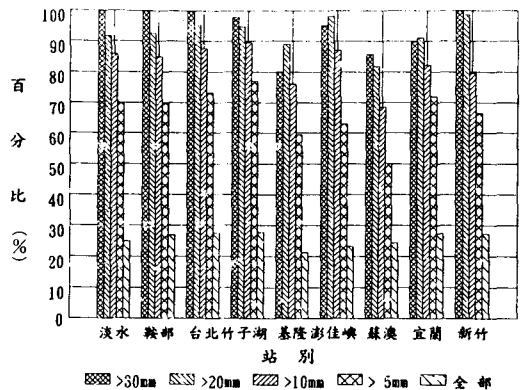


圖 7. 汛三案暴雨數占方案三暴雨數之百分比

影響分析結果，以下研究即採總雨量大於中值總雨量之降雨事件。又較大暴雨發生月份絕大部分集中於五至十月之汛期，故以下研究採 2-2 節所定義之「汛三雨」做為降雨事件特性分析的對象。

雨量級序分析

本節進行降雨事件雨量級序分析，分析各大小雨量於各降雨事件中不同時刻分佈情形，藉此了解降雨事件之降雨趨勢特性。表 4 所示分別為台北站降雨資料，就六、十二及十八小時降雨延時事件降雨量級序分析結果。

由表 4-1 發現六小時延時降雨之最雨量（級序 1）則於第二小時發生機率最大，於 396 場降雨事件中占了 110 場，約 28%。圖 8-1 為級序 1 及級序 6 於各時段發生百分比，其中級序 1 之雨量於各時刻發生之分佈如圖 8-1 所示，近似於右偏之伽瑪分佈；最小雨量（級序 6）於第六小時發生機率最大，占 40% 以上，而於其餘各時刻發生之事件數仍差異不大。

表 4-1 臺北站六小時延時降雨事件級序分析

級序	發生時間 (小時)					
	1	2	3	4	5	6
1	63	110	80	67	56	20
2	80	70	97	69	52	28
3	68	64	84	77	72	31
4	70	50	51	85	70	70
5	81	54	39	44	96	82
6	34	48	45	54	50	165

總事件數：369 場

十二小時延時降雨事件之最大雨量（級序 1）於第四小時發生機率最大（由表 4-2），級序 1 於各時刻發生之分佈差強近似於右偏之伽瑪分佈。最小雨量於第 12 小時發生機率最大，於其它時刻發生之事件數則差異不大。

由於長延時（十八及二十四小時）降雨事件數較少，茲以數個大小接近級序之和加以比較。圖 8-2 為針對二十四小時降雨事件五個較小級序與五個較大級序發生時刻進行比較分析。由圖可知，除了該降雨事件之前一小時與最後一小時，最大級序雨量較不易發生（較小級序雨量恰好相反）外，大小級序雨量於各時刻之發生機率大致相同。並不似短延時降雨（圖 8-1）之較大級序雨量與較小級序雨量有明顯集中於某一時段之趨

勢。另由圖 8-2 可知，各大小級序均勻的分佈於各降雨發生時刻中，因此長延時之降雨並無特定之明顯趨勢可言。

部份前人研究將不同降雨延時事件降雨之組體圖視為具「時間尺度獨立性」(time scale invariance),(Jonas Olsson,1992)，此時降雨事件不具有特性時間尺度(characteristic time scale)，亦即不同降雨延時事件之組體圖特性相同。為探討此觀念，

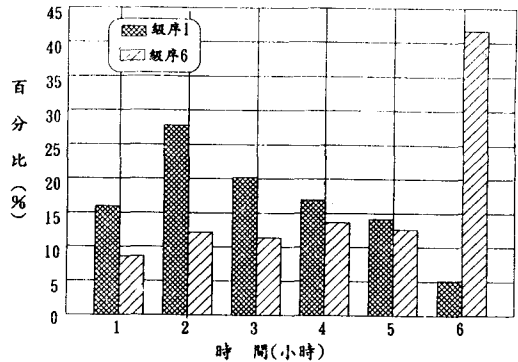


圖 8-1 最大及最小級序發生時刻百分比(台北，6 小時)

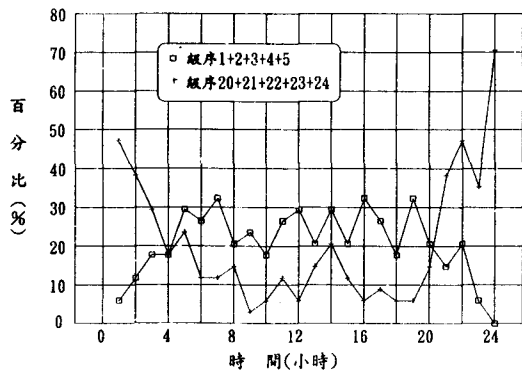


圖 8-2 最大及最小級序發生時刻百分比(台北，24 小時)

本文將不同降雨延時事件之級序分析結果（如表 4）各等分為六個時段，再分別求算其最大與最小級序繪製於圖 9，並以百分數表示，以便比較於不同降雨延時事件下各級序時段之差異。由圖 9-1 不同降雨延時事件最大雨量級序時段之比較可發現：最大雨量時段隨事件之降雨延時增加而延後，由六小時降雨事件第二時段，至三十小時降雨事件時已延後為第四時段。圖 9-2 則為最小雨量

表4-2 臺北站十二小時延時降雨事件級序分析

級序	發生時間 (小時)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9	5	8	19	9	7	14	10	12	2	3	1
2	3	12	15	7	9	15	7	12	8	9	2	0
3	6	7	15	8	7	13	8	10	8	9	7	1
4	5	10	8	13	9	7	13	8	10	7	6	3
5	6	4	14	8	18	9	8	10	6	7	5	4
6	9	7	10	9	13	6	8	8	7	9	9	4
7	14	8	4	8	5	8	12	11	10	8	4	7
8	11	10	10	4	5	7	4	8	10	13	10	7
9	11	11	8	5	8	7	4	9	4	16	12	4
10	7	9	3	9	8	6	7	4	9	5	15	17
11	13	9	4	3	3	6	8	5	10	2	12	24
12	5	7	0	6	5	8	6	4	5	12	14	27

總事件數：99 場

表4-3 臺北站十八小時延時降雨事件級序分析

級序	發生時間 (小時)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	5	2	7	6	5	4	4	0	5	3	3	2	3	4	0	2	1
2	2	1	4	7	3	5	3	4	4	3	1	4	4	4	4	3	1	0
3	1	2	4	2	3	5	8	2	6	2	4	3	3	3	2	4	3	0
4	1	5	2	2	2	3	4	4	5	3	3	3	6	3	5	2	2	2
5	4	0	2	1	4	4	4	4	4	3	3	2	4	5	3	2	6	2
6	6	3	3	4	6	4	6	2	4	1	7	3	2	1	3	2	0	0
7	3	4	6	2	2	2	6	5	2	5	2	5	1	3	1	4	2	2
8	3	1	2	3	8	3	5	3	2	5	3	2	0	6	5	6	0	0
9	4	4	2	5	5	3	1	7	6	3	4	3	6	0	1	1	2	0
10	2	5	2	1	2	7	3	3	2	5	5	4	4	4	1	4	1	2
11	3	5	5	4	1	3	2	2	4	3	4	3	5	2	3	2	5	1
12	7	1	4	3	3	3	3	0	4	3	1	4	4	4	2	3	6	2
13	4	3	2	2	3	3	1	4	0	2	3	3	6	0	4	6	5	6
14	5	6	2	3	2	4	0	1	2	4	3	2	1	5	4	2	6	5
15	3	2	5	3	1	2	4	2	1	2	5	2	2	4	3	3	5	8
16	4	4	3	3	4	0	1	6	3	2	1	3	2	2	6	6	1	6
17	3	4	4	1	1	0	0	3	5	4	2	3	1	2	2	2	5	15
18	1	2	3	4	1	1	2	1	3	2	3	5	4	6	4	5	5	5

總事件數：57 場

級序時段之比較，最小降雨之時段變化較不明顯，但皆於最後時段之發生機率最大。由圖9說明不同降雨延時事件降雨組體圖具「時間尺度相依性」，即具特性時間尺度，亦即不適於以一延時事件降雨組體圖推求其它不同延時事件之降雨組體圖。

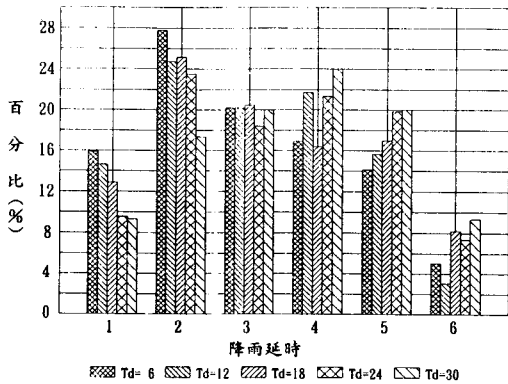


圖 9-1 不同延時降雨事件最大級序之比較

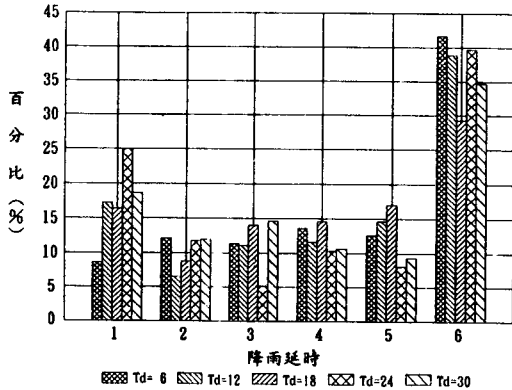


圖 9-2 不同延時降雨事件最小級序之比較

降雨持續性檢定

為瞭解各降雨事件逐時雨量之持續性，對降雨組體圖進行時序分析。首先計算逐時雨量時列之序列相關係數 $R_1, R_2 \dots R_6$ 。繼而利用估略法 ($|R_k| > 2/\sqrt{n}$) 檢定雨量之持續性。圖 10 為各雨量站降雨事件序列相關係數 ($R_1 \sim R_3$) 通過檢定事件數占所有降雨事件數百分比，亦即具持續性降雨時列之降雨事件百分比。由圖 10 可知，各站

R_1 通過檢定之百分比約介於 20% ~ 70% 之間，其中以玉山、日月潭與東吉島三雨量站最高，超過六成，顯示在此檢定條件下，該區逐時雨量具依時性，即具一小時記憶長度。而蘇澳、嘉義與高雄雨量之 R_1 通過檢定之降雨事件最低，僅約二成，顯示該地區雨量具明顯之逢機特性。其餘多數雨量站 R_1 通過檢定之事件約不到五成，雖較具逢機特性，但其逐時雨量之持續性仍不容忽略。另外各雨量站序列相關係數 R_2 至 R_6 通過百分比甚微，因此 2 ~ 6 小時延時雨量間明顯具有逢機特性。另外由圖 10 是否說明山區與平原之降雨具不同程度持續特性，且各地區分析之結果具明顯差異，這些現象均有待作進一步深入探討。

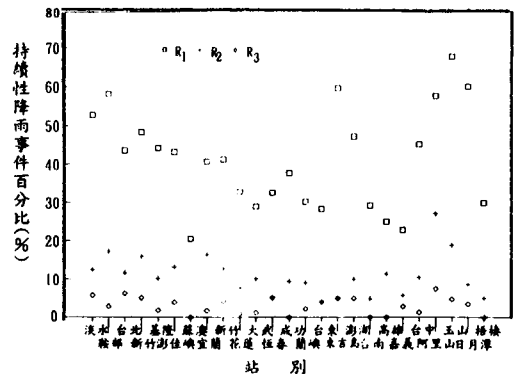


圖 10 各雨量站通過持續性檢定之百分比

降雨分佈檢定

若將水文歷程視為機率過程，降雨時列各雨量值發生之機率將遵循某一定之分佈，本文以常態分佈與對數常態分佈兩種機率分佈，針對較長延時降雨 (18 至 30 小時) 套配各事件之降雨量，並以柯-司 (K-S) 檢定判斷此二機率分佈與實際數據之密合性。藉由 K-S 檢定，分別求出各長延時降雨事件通過顯著水準為 20%、15%、10%、5% 及 1% 之事件數之百分比，以作為分佈檢定判斷依據。二機率分佈檢定結果繪圖於圖 11。由圖 11-1 可知，若各事件降雨量以常態分佈套配，有近四成之降雨事件可通過較嚴謹之 20% 顯著水準分析，而僅一成不到之降雨事件無法通過 1% 顯著水準分析，因此可以說降雨資料近似常態分佈。另

由圖 11-2 可知降雨資料以對數常態分佈套配時，其顯著水準大都超過 20%，較之以常態分佈套配結果更具密合性，此說明長延時降雨資料之機率分佈可以具偏度 (skewness) 之常態分佈加以套配。

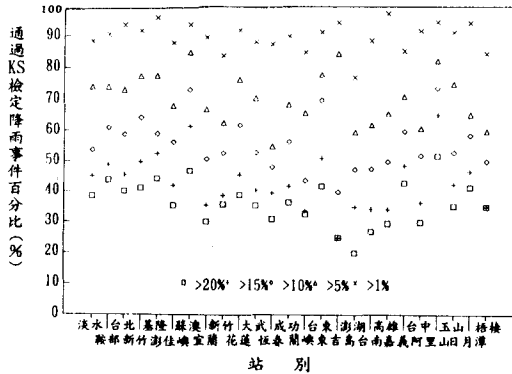


圖 11-1 降雨量常態分佈檢定顯著水準分析

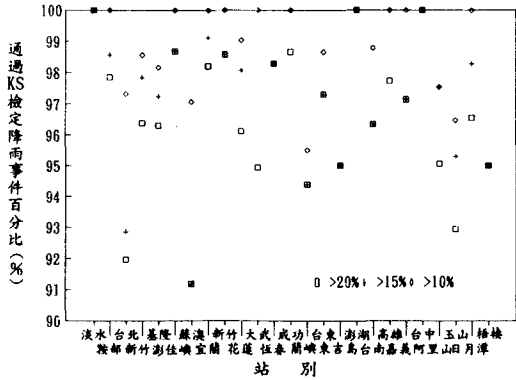


圖 11-2 降雨量對數常態分佈檢定顯著水準分析

馬可夫轉移機率矩陣

由於部份雨量站降雨時列之持續性不容忽略，又各雨量站之 2~6 小時逐時雨量間明顯具有逢機特性，因此可假設任一 $t + 1$ 時間之降雨事件為其前一時段 t 降雨事件之條件機率。因此本文以馬可夫一階歷程觀念，求取各站之轉移機率矩陣。

本研究依中央氣象局所有測候站之全事件雨量延時曲線 (如圖 1 所示) 之下包絡線，將現有降雨資料依累積百分比分成十等份，加上零降雨共分爲十一個狀態值。以此十一個狀態值分析記錄中，計算連續二小時之降雨狀態值分佈情形，換

算爲百分比機率矩陣，即爲轉移機率矩陣。例舉台北雨量站馬可夫轉移機率矩陣列於表 5。由表 5 各矩陣主軸發現，時間 t 若爲某一狀態值，則於下一時段 $t + 1$ 時間產生同一狀態值之機率最大，此現象以竹子湖、鞍部雨量站較爲明顯，而以蘇澳雨量站之相關性較不明顯，經與持續性檢定結果 (圖 10) 相互比較發現，此主軸機率值與該區逐時雨量持續特性大致呈正比關係，亦即雨量持續特性愈明顯之雨量站，其馬可夫轉移機率矩陣主軸之機率值愈大。

表 5. 台北站馬可夫轉移機率矩陣

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	---	26.33	16.22	15.35	17.19	7.59	5.00	3.32	3.94	2.41	2.64
2	49.20	18.06	9.28	8.76	6.42	3.37	1.70	1.30	1.07	0.35	0.49
3	37.03	16.38	12.00	11.72	9.16	5.48	3.00	1.92	1.74	1.07	0.49
4	27.60	13.57	13.41	13.49	12.96	7.64	4.37	2.72	2.64	1.09	0.52
5	24.66	8.46	8.47	11.88	18.33	10.33	6.68	3.96	4.42	1.92	0.90
6	14.54	5.99	7.90	9.78	18.35	15.28	10.29	7.27	6.80	2.75	1.04
7	11.08	4.28	5.76	8.43	15.52	14.62	13.51	10.57	10.49	3.97	1.77
8	8.77	3.32	4.34	6.78	13.14	12.25	13.24	15.20	14.50	6.14	2.31
9	7.05	2.64	2.56	4.13	9.76	10.41	10.73	13.44	22.28	12.27	4.73
10	5.94	1.29	2.11	2.93	7.50	6.68	6.60	8.28	22.03	23.95	12.70
11	5.48	1.75	2.30	3.61	4.87	4.05	3.83	5.09	11.99	21.41	35.60

表 6. 北部地區雨量站長延時降雨事件分析

站名	降雨重心 (%td)		尖峰降雨 (%)		尖峰時間 (小時)	
	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
淡水	45.4	13.6	17.49	6.80	10.88	6.59
鞍部	45.8	13.6	17.87	7.39	10.91	6.67
台北	48.7	11.8	17.54	6.24	11.50	5.86
竹子湖	46.9	11.9	16.45	7.29	11.03	6.61
基隆	46.9	11.6	17.36	6.52	10.92	6.03
游佳嶼	48.0	10.6	17.79	6.98	11.64	5.53
蘇澳	48.8	10.1	17.91	6.63	10.68	5.97
宜蘭	46.6	12.2	19.13	6.78	11.84	6.36
新竹	45.4	13.0	19.37	7.17	11.29	5.31

事件參數變異係數分析

針對各雨量站「汛三雨」降雨事進行統計參數分析，首先將各事件之降雨組體圖換算爲「百分比降雨」(各小時降雨量除以該事件總降雨量再乘以 100%) 後，分別求取各降雨事件降雨組體圖之降雨重心、尖峰降雨及尖峰時間等三個特性參數之平均值與標準偏差列表於表 6。若降雨資料之機率分佈可以常態分佈套配，以表 6 三個特性參數之平均值加減一個標準偏差後之範圍，可表示該參數之設計值位於實際降雨參數 68.3% 可信水準，分析結果說明了各降雨事件降雨量參數離散

程度頗大。

以標準偏差除以平均值，求算各雨量站降雨事件特性參數之變異係數後，繪圖於圖 12。由圖 12 可知三個特性參數中以降雨重心變異係數較小，而尖峰時間變異係數最大，說明實際降雨事件之尖峰時間離散度頗大。在不同延時降雨事件上，長延時降雨事件之尖峰降雨及尖峰時間變異係數大於短延時降雨事件之變異係數，降雨重心則相反。尤其尖峰時間變異係數明顯較大，說明長延時事件尖峰降雨之發生時間並無規則可尋。

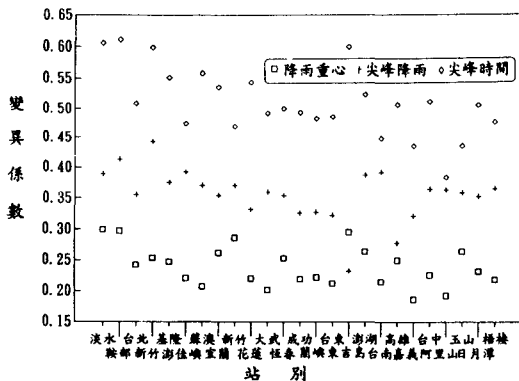


圖 12-1 長延時降雨事件特性參數之變異數

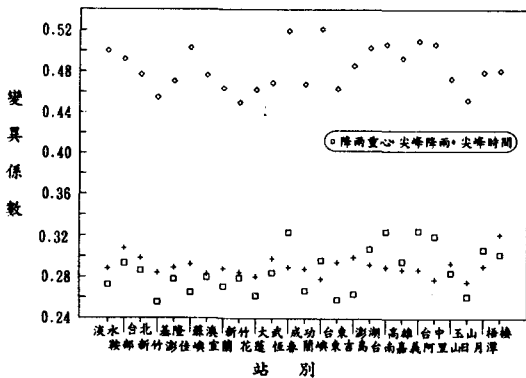


圖 12-2 短延時降雨事件特性參數之變異數

四、結論與建議

4-1 結論

本研究主要分析逐時雨量之降雨特性與評估降雨事件之分割方法，並以台灣地區雨量記錄為

應用對象，研析降雨事件之特性參數。主要成果分述如下：

1. 雨量特性與降雨分割

雨量延時曲線特性參數：全事件降雨延時曲線與方案三延時曲線頗為接近，而汛三案延時曲線較為緩和，表示汛三案之小降雨事件所占比重較其他二降雨條件為少。不同雨量篩選方法中，以全事件參數 K 較小，而以汛三案延時曲線參數 k 最大，符合物理意義。

各方案總雨量之比較：平均總雨量大於中值總雨量，說明了大雨量之降雨事件之總雨量比小雨量降雨事件之總雨量顯著大了許多。就不同方案而言，方案一之中值總雨量與平均總雨量均大於方案三之總雨量。

降雨分割：本研究考量降雨連續性、發生時期、降雨延時及降雨總量等條件以分割降雨事件。由於各事件總雨量分佈曲線明顯向右偏斜，為不擬被較小降雨事件影響分析結果，即採總雨量大於中值總雨量之降雨事件。又較大暴雨發生月份絕大部分集中於五至十月之汛水期，故本研究採上述條件以進行降雨事件之分割。

2. 降雨事件統計特性

降雨量級序分析：長延時（如 18 及 24 小時）降雨事件各大小級序雨量大致均勻地分佈於各個時刻中，並不似短延時降雨之較大降雨與較小降雨有明顯集中於某一時段之趨勢，無特定之明顯趨勢可言。

將不同降雨延時事件各等分為六個時段可發現：最小降雨時段皆於最後時段之發生機率最大，其餘時段之變化較不明顯。最大降雨時段隨事件之降雨延時增加而延後，此說明了不同降雨延時事件之降雨組體圖具「特性時間尺度」，故不適以一延時事件降雨組體圖推求其它不同延時事件之降雨組體圖。

降雨持續性檢定：多數雨量站逐時雨量一階序列相關係數 R_1 通過持續性檢定之事件比例大約不到五成，雖較具逢機特性，但其持續性仍不容忽略。而各雨量站序列相關係數 R_2 至 R_6 通過百分比甚微。各地區分析結果頗具差異，其現象有待作進一步深入探討。

降雨分佈檢定：若事件降雨量以常態分佈套配，近四成之降雨事件可通過較嚴謹之 20% 顯著水準分析，而僅不到一成之降雨事入無法通過 1% 顯著水準分析，因此可以說降雨資料近似常態分佈。另由以對數常態分佈套配時，其顯著水準幾乎都超過 20%，比以常態分佈套配結果更具密合性，說明長延時降雨資料之機率分佈可以二分佈加以套配。

馬可夫轉移機率矩陣：由馬可夫一階歷程轉移機率矩陣主軸發現， t 時間若為某一狀態值，於下一時段 $t + 1$ 時間產生同一狀態值之機率最大，其相關性與該區逐時雨量逢機程度有關。

參數變異係數分析：分別求取各降雨事件之降雨重心、尖峰降雨及尖峰時間之變異係數，結果說明了各降雨事件降雨量參數離散程度甚大。

大體上長延時降雨事件之尖峰降雨及尖峰時間變異係數大於短延時降雨事件之變異係數，降雨重心則相反。而尖峰時間變異係數最大，說明長延時降雨事件之尖峰時間較無趨勢可言。

4-2 建議

1. 若能由降雨之屬性與機制著手，當可更加符合物理意義。但由於降雨資料相當繁瑣且現象變化萬千，實無法由龐大降雨資料中一一加以區分出何種降雨之歸屬。然而降雨事件之區分方法仍可深入研析。
2. 多數雨量站逐時雨量雖較具逢機特性，但其持續性仍不容忽略，又各地區頗具差異，其現象有待作進一步深入探討。
3. 本文降雨特性研究之模式，如延時曲線、持續性檢定等，皆可應用於颱風雨、雷陣雨等不同屬性降雨事件之特性研究。

謝 誌

研究期間，多承國立台灣大學土木工程學研究所顏清連教授、李天浩教授，農業工程學研究所王如意教授、許銘熙教授及黃宏斌教授，水工試驗所主任張斐章教授不時賜與寶貴意見與指正，敬致謝忱。中央氣象局蕭長更科長提供雨量資料及協助電腦檔轉換，國立台北工專土木科簡毅同學之資料處理與協助付梓，謹此致謝。

參考文獻

1. Bedient, P.B. and W.C. Huber, "Hydrology and Floodplain Analysis", Addison-Wesley Publishing Company, pp353-360, 1988.
2. Bras, R.L. "Hydrology", Addison-Wesley Publishing Company, pp130-131, 1990.
3. Huff, F.A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", Water Resour. Res., 3(4), 1007-1019, 1967.
4. Pilgrim, D. H. and I. Cordery, "Rainfall Temporal Patterns for Design Floods", J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 101(HY1), 81-95, 1975.
5. Wenzel, H. G., Jr. and M. L. Voorhees, "Evaluation of the Design Storm Concept", Paper Presented at the AGU Annual Fall Meeting, San Francisco, Calif., Dec. 1978.
6. Yen, B. C. and V. T. Chow, "Feasibility Study on Research of Local Design Storm", Rep. FHWA-RD-78-65, Fed. Highway Admin., Washington, D.C., Nov. 1977.
7. Yen, B.C. and V. T. Chow, "Design Hyetographs for Small Drainage Structures", J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 106(HY6), 1055-1076, 1980.
8. Byers, "General Meteorology", Texas A&M University, 4th edition, 1974.
9. Haan, C.T., "Statistical Methods in Hydrology", The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1979.
10. Ignacio, B. I. and Beatriz, F. P., "Chaos in Rainfall", Water Resour. Res., Vol. 25, No. 7, pp.1667-1675, 1989.
11. Olsson, J., J. Niemczynowicz, R. Berndtsson and M. Larson, "An Analysis of the Rainfall Time Structure by Box Counting - Some Practical Implications", Journal of Hydrology, 137 pp.261-277, 1992.
12. 王如意、易任，應用水文學，國立編譯館出版大學用書，民國 72 年 9 月。
13. 張守陽，「基隆河集水區系統降雨分析與水文預測之研究」，台灣大學農業工程學研究所碩士論文，民國七十二年六月。
14. 顏清連等，台灣大學水工試驗所，「台北都會