

蓮華池地區 24 小時降雨型態特性 及設計雨型歷線

盧惠生^{1,2)}

摘要

台灣上游集水區以水文模式推估流量歷線，往往欠缺降雨歷線，無法有效的應用。本研究乃以台灣中部地區蓮華池氣象站雨量資料，分析降雨型態特性，並建立設計雨型歷線。獲悉蓮華池24小時降雨歷線型態為中峰型雨型，最大雨峰時間在15小時處，最大雨峰降雨比率為19%。又採用Huff法、分配法及位序法等三種方法推求24小時降雨延時之設計雨型歷線，經誤差分析，顯示位序法推求24小時降雨延時之設計雨型歷線最佳。同時以位序法之設計雨型歷線，建立指數型經驗推估式。

關鍵詞：集水區、降雨型態、降雨歷線、設計雨型歷線。

盧惠生。1997。蓮華池地區24小時降雨特性及設計雨型歷線。台灣林業科學 12(4): 481-489。

Storm Pattern Characteristics and Design Storm Distribution of 24-hour Duration at the Lienhuachih Area of Central Taiwan

Hui-sheng Lu^{1,2)}

【 Summary 】

It is difficult to estimate stormflow hydrographs with hydrologic simulation models for upstream watersheds of Taiwan due to lack of hyetographs. In this study, analyses of storm pattern characteristics and establishment of design storm distribution were carried out with rainfall records of the Lienhuachih weather station at the Shuilichi upstream watershed of central Taiwan. The results showed that hyetographs of 24-h duration at Lienhuachih were mostly middle peak type of storm pattern with 15-h time to rainfall peak and 19% rainfall peak ratio. The design storm distributions of 24-h duration were also established by using Huff's, allocation, and ranking methods. Based on error analyses, the ranking method showed good results for solving the design storm distribution of 24-h duration at this area. Meanwhile, the empirical equations of exponential type to estimate design storm distribution of 24-h duration were established from the data of ranking method.

1) 台灣省林業試驗所蓮華池分所，南投縣魚池鄉五城村華龍巷43號 Lienhuachih Station, Taiwan Forestry Research Institute. 43 Hwalung Alley, Wucheng Village, Yuchi Hsiang, Nantou Hsien, 55504, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1997年7月送審 1997年10月通過 Received July 1997, Accepted October 1997.

Key words: watershed, storm pattern, hyetograph, design storm distribution.

Lu, H. S. 1997. Storm pattern characteristics and design storm distribution of 24-hour duration at the Lienhuachih area of central Taiwan. *Taiwan J. For. Sci.* 12(4): 481-489.

緒言

台灣上游集水區以水文模式推估流量歷線時，往往欠缺自記雨量站，無法獲得降雨歷線(hyetograph)，導致空有水文模式，但欠缺模式中最重要的降雨歷線輸入資料，而不易有效且準確的推估上游集水區之流量歷線與特性。

歐美等先進國家於1960年後，展開水文模式理論與應用研究，至今已發展出不少各具特色的水文模式，但這些水文模式多需降雨歷線資料，因而啟發降雨型態與時間分佈研究，並建立設計雨型的無因次歷線(Huff, 1967; US SCS, 1972; Pilgrim and Cordery, 1975; Yen, 1980)。台灣每年遭受颱風侵襲時，降雨量多且強度大，降雨型態及歷線特性與歐美大陸溫帶氣候不盡相同，由於河川整治設計防洪工程時，必須要有設計雨型及時間分佈資料，導致近年來亦開始從事降雨歷線之研究(台灣省公共工程局, 1969; 王如意、鄭昌奇, 1982; 台灣省水利局, 1982; 余濬, 1988; 徐享崑、何智武, 1992; 徐享崑、游保杉, 1993; 張守陽、林國峰, 1994)，且建立了一些地區的設計雨型與無因次歷線。

然台灣地形陡峻崎嶇，山地降雨歷線變異甚大，而台灣集水區治理工作多位於山地偏遠地帶，各類水土保持工程設計多需降雨歷線資料，以推估流量歷線與特性。因而本研究乃選擇台灣中部蓮華池地區，分析24 h降雨歷線特性，以建立24 h降雨延時之設計雨型無因次歷線，並導出其經驗推估式，俾供流量歷線推估之依據。

材料與方法

一、資料來源與整理

蒐集整理蓮華池氣象站1982~1996年間每年挑選一場24 h最大降雨量，共15場降雨量，分析其降雨型態及歷線分配特性。

二、降雨型態分析

參考並簡化 Huff(1967) 及徐享崑、游保杉(1993) 的降雨型態分類，將15場每年最大24 h降雨延時分佈，以最大雨峰的時間位置為主要判定標準，歸類為三種降雨型態。

- (一)前峰型(front peak): 每年最大24 h降雨歷線，最大雨峰時間位於整個降雨歷線時間的30%以內。
- (二)中峰型(middle peak): 每年最大24 h降雨歷線，最大雨峰時間位於整個降雨歷線時間的30%~70%間。
- (三)後峰型(back peak): 每年最大24 h降雨歷線，最大雨峰時間位於整個降雨歷線時間的70%以後。

三、設計雨型推求

(一)Huff(1967)法

計算各場24 h降雨延時每一小時降雨量佔總降雨量百分比，即各場降雨之百分比雨型，再求各場降雨之平均百分比設計雨型，此方法亦可謂平均法。

(二)分配法(台灣省公共工程局, 1969)

計算每場24 h降雨延時每一小時降雨量佔總降雨量百分比，將各場降雨之百分比雨型之最大雨峰處對齊，然後相加，除以降雨場次平均之，保留24 h降雨延時且降雨量百分比較大之24個值，其他較小降雨百分比值且超過24 h降雨延時，則刪除，然後在降雨延時之內各時段所佔之雨量百分比，依同一比例調整至總和為100%。

(三)位序法(台灣省水利局, 1982)

計算每場24 h降雨延時每一小時降雨量佔總降雨量百分比，將各場降雨每小時降雨百分比，重新由大至小排列，同一級序之降雨百分比相加後，除以降雨場次平均之。由Huff 法求

出之設計雨型，選用其降雨最大之時間為雨峰時間，將定序之降雨百分比，由雨峰處同時向前與後，由大至小重新排列，形成一單峰之雨型分佈。

四、誤差分析

不同方法導出的設計雨型，自然各不相同，為了評估何種方法導出的設計雨型較為適切，宜比較各設計雨型與實際降雨記錄之誤差，以評定最佳設計雨型(余濬，1988；張守陽與林國峰，1994)。

(一)平均估計誤差(mean of estimate error)

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{t_d} \sum_{j=1}^{t_d} (I_o - I_m)^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

MEE: 平均估計誤差

n: 降雨場次

t_d: 降雨延時

I_o: 實際降雨量百分比

I_m: 設計雨型降雨量百分比

(二)雨峰降雨誤差(error of rainfall peak)

$$ERP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_o - P_m}{P_o} \right) \quad (2)$$

ERP: 最大雨峰降雨誤差

n: 降雨場次

P_o: 實際最大雨峰降雨量百分比

P_m: 設計雨型最大雨峰降雨量百分比

(三)雨峰時間誤差(error of time to rainfall peak)

$$ETP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_o - t_m}{t_d} \right) \quad (3)$$

ETP: 最大雨峰時間誤差

n: 降雨場次

t_d: 降雨延時

t_o: 實際最大雨峰時間

t_m: 設計雨型最大雨峰時間

五、設計雨型歷線經驗推估式建立

雨型歷線形狀呈山峰狀起伏，峰前部份為上升曲線，峰後部份為下降曲線。因而建立設計雨型歷線推估式，必須由一組代表峰前段(上

升曲線)及峰後段(下降曲線)的數學式組成。而指數型數學式正好符合，如下。

$$I_e = ae^{bt} \quad (4)$$

式(4)，I_e為設計雨型歷線降雨量百分比推估值(%)，t為時間(h)，a與b為常數。a恆定為正值，因如果a為負值，則I_e必為負值，無意義。b則可為正值，亦可為負值，如果b為正值，則I_e隨t的增加而增加，此即代表峰前段(上升曲線)，如果b為負值，則I_e隨t的增加而減少，此即代表峰後段(下降曲線)。

至於a，b常數的決定，則將峰前段與峰後段設計雨型歷線降雨量百分比(%)及時間(h)的變化數據，分別經直線迴歸的統計分析獲得。

將式(4)等號兩側取自然對數為底的對數

$$\ln I_e = \ln a + bt \quad (5)$$

式(5)即線性方程式形態，可用直線迴歸統計分析，求出式(5)的ln a 與 b。唯累加設計雨型歷線降雨量百分比(Σ I_m)應為100%，往往直線迴歸分析定出的a與b值，計算設計雨型歷線降雨量百分比推估值(I_e)，此累加設計雨型歷線降雨量百分比推估值(Σ I_e)不可能為100%，必須將常數a予以修正，即a乘以(Σ I_m/Σ I_e)，經過修正後的常數a，所建立的峰前段與峰後段指數型經驗式，才能合理的推估設計雨型歷線。

結果與討論

一、降雨型態特性

根據1982~1996年間每年最大24 h降雨歷線分析(Fig. 1)，將此15場降雨歷線特性如Table 1。

由Table 1之資料顯示，此15場之24h降雨歷線，降雨總量在117~713 mm間，降雨量變化頗大，最大相差達6.1倍。最大雨峰降雨則在12.5~110 mm間，最大相差達8.8倍。最大雨峰降雨的歧異性大於降雨總量，亦即瞬間降雨量的波動大於降雨總量，此類現象頗為符合降雨變化的特性。事實上，一般氣候與水文特性亦復如此。

Table 1. Storm pattern characteristics of 24-h duration at Lienhuachih (1982-1996)

Date (M/D/Y)	Rainfall (mm)	Rainfall peak(mm) & ratio (%)	Time to rainfall peak (%)
5/30/82	240.0	57.0 (23.8)	58.3
6/03/83	182.0	39.5 (21.7)	62.5
6/03/84	233.5	63.5 (27.2)	54.2
8/22/85	303.5	35.0 (11.5)	79.2
5/14/86	123.5	39.5 (32.0)	41.7
7/27/87	185.0	34.0 (18.4)	29.2
8/13/88	181.0	32.5 (18.0)	41.7
9/12/89	451.0	60.0 (13.3)	66.7
8/19/90	713.0	110.0 (15.4)	37.5
6/23/91	117.0	12.5 (10.7)	50.0
8/30/92	215.5	28.5 (13.2)	70.8
5/26/93	121.0	27.0 (22.3)	91.7
8/31/94	260.5	85.0 (32.6)	75.0
6/09/95	159.0	20.5 (12.9)	54.2
7/31/96	526.5	63.0 (12.0)	54.2

至於最大雨峰時間比率，乃將最大雨峰時間無因次化，即最大雨峰發生時間除以降雨延時(24 h)，再換成百分率單位。此15場降雨歷線之最大雨峰時間比率在29.2%~91.7%間，其分散性頗大，但檢視最大雨峰時間比率特性，有10場(67%)降雨歷線的最大雨峰時間比率在30%~70%間，亦即位於降雨歷線時間的中段，稱之中峰型，而4場(27%)降雨歷線的最大雨峰時間比率在70%~100%間，亦即位於降雨歷線時間的後段，稱之後峰型，而僅1場(6%)降雨歷線的最大雨峰時間比率在0%~30%間，亦即位於降雨歷線時間的前段，稱之前峰型。由此可知蓮華池氣象站24h降雨歷線的最大雨峰時間比率多屬中峰型雨型，又將此15場降雨歷線平均，再檢視最大雨峰時間比率，則位於降雨歷線時間的62.5%(15 h)處，亦即所謂中央稍後處。平均最大雨峰的時間因氣候及地形差異而有所不同。如比較余濬(1988)於最鄰近的國姓水庫集水區翠巒站，24 h設計雨型分析，其平均雨峰時間在14 h左右，亦即位於降雨歷線時間比率的58%處，可以說是甚為相近。而徐享崑、何智武(1992)亦分析石門與曾文水庫地區一些雨量站，其平均雨峰時間(比率)參差不等，如曾文站的10h(42%)、石門站的13h(54%)、鎮西堡站的

16h(67%)等。若由國姓、石門及曾文水庫集水區的雨峰時間比率而論，它們均位於本文分類的降雨歷線時間的中段，均屬中峰型，因而由此看來，台灣地區24 h設計雨型的雨峰時間比率，大約位於降雨歷線的中段，至於不同地點的雨峰時間比率則在降雨歷線的中段內移動。

關於最大雨峰降雨比率特性，乃將最大雨峰降雨無因次化，即每小時的降雨量除以總雨量，再換成百分率單位。此15場降雨歷線最大雨峰降雨比率在10.7%~32.6%間，但檢視最大雨峰降雨比率特性，有10場(67%)最大雨峰降雨比率在12%~25%間，有3場(20%)最大雨峰降雨比率在25%~33%間，有2場(13%)最大雨峰降雨比率在10%~12%間。又將此15場最大雨峰降雨比率平均，則平均最大雨峰降雨比率為19%。如此較余濬(1988)分析最鄰近的國姓水庫集水區翠巒站雨量資料，其平均最大雨峰降雨比率為13.6%。而徐享崑與何智武(1992)亦分析石門與曾文水庫地區的雨量站，其平均最大雨峰降雨比率在10%~19%間，顯然蓮華池氣象站的平均最大雨峰降雨比率較大，但仍在台灣其他地區出現過，故似應尚屬合理。

再者論及降雨歷線型態，本文僅以最大雨峰時間比率特性，分為前峰型、中峰型及後峰型。若仔細檢視蓮華池氣象站15場24 h降雨歷線(Fig. 1)，它們的起伏狀態各不相同，有的略呈單峰或雙峰，有的呈鋸齒狀的多峰，且由於判定標準的選擇不易客觀，到底該屬單峰、雙峰或多峰，也因判定標準的差異，而有所不同。然而徐享崑、游保杉(1993)曾考量降雨特性採用較為複雜的九種降雨型態來區分曾文與石門水庫地區雨型，但劃分過細，本文不易施行。另外Huff(1967)分析降雨歷線，將其分為4個象限型態，第一象限為較嚴重之暴雨，第二象限為普通降雨，第三及第四象限為初期降雨量較少之暴雨，Huff的降雨型態分類雖僅劃為4個型態，但仍不易客觀予以歸類。因而本文以較為客觀且易判定的標準，即雨峰時間比率特性來分為三個降雨型態。

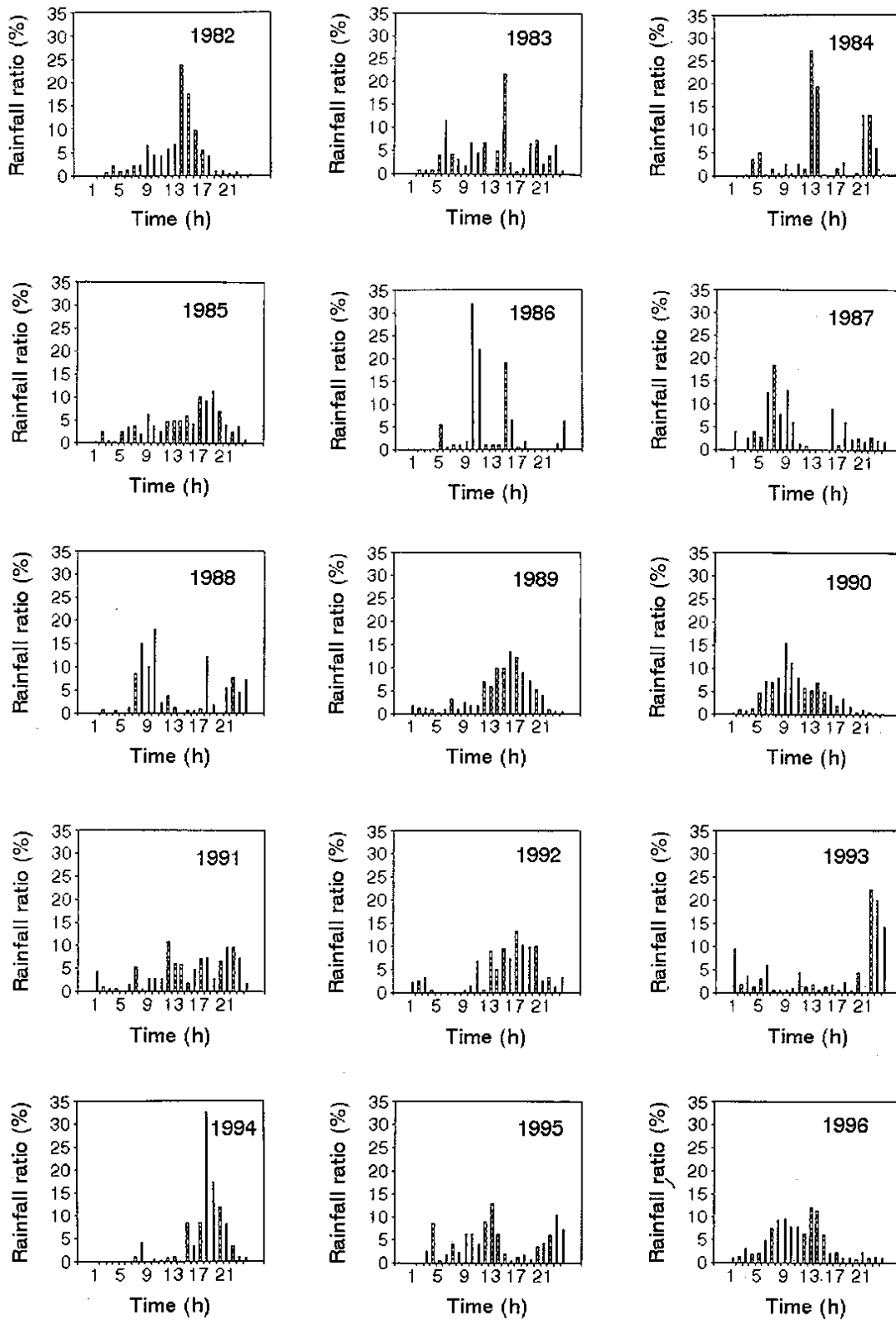


Fig. 1. Maximum hyetograph of 24-h duration at the Lienhuachih area of central Taiwan (1982-1996).

二、設計雨型建立

本研究以Huff法、分配法及位序法三種方法推求設計雨型，並進行誤差分析，以評估及建立蓮華池地區24 h降雨延時之設計雨型無因次歷線，茲將三種方法所建立的設計雨型如Table 2與Fig. 2。

由Table 2及Fig. 2之結果顯示，Huff法推求之24 h降雨延時設計雨型，其降雨歷線之最大雨峰時間在15 h處，亦即在整個降雨延時的62.5%處，最大雨峰降雨比率則佔降雨量的7.2%，至於暴雨型態，由於雨峰時間在整個暴雨延時的30%~70%間，屬中峰型雨型，設計雨型的歷線呈不規則的起伏，且略呈多峰狀。分配法推求之24 h降雨延時設計雨型，其降雨歷線之最大雨峰時間在12 h處，恰巧在整個降雨延時的中央即

Table 2. Design storm distributions of 24-h duration using Huff's, allocation, and ranking methods at the Lienhuachih area of central Taiwan

Time (h)	Design storm distribution (%)		
	Huff's method	Allocation Method	Ranking method
1	1.50	0.96	0.16
2	0.75	1.74	0.22
3	1.21	2.46	0.53
4	1.61	1.24	0.69
5	2.01	1.58	0.97
6	3.45	2.68	1.27
7	4.41	3.15	1.76
8	3.72	4.21	2.14
9	5.22	5.04	2.77
10	6.85	5.96	3.39
11	4.87	6.85	4.75
12	4.25	20.11	6.49
13	6.26	12.14	8.59
14	6.60	6.84	14
15	7.20	3.61	19
16	4.55	2.91	10.94
17	4.35	2.90	7.25
18	6.91	1.85	5.58
19	4.17	1.42	4.23
20	3.98	3.42	2.54
21	3.82	3.07	1.57
22	5.07	2.06	0.79
23	4.28	1.93	0.3
24	2.96	0.87	0.07

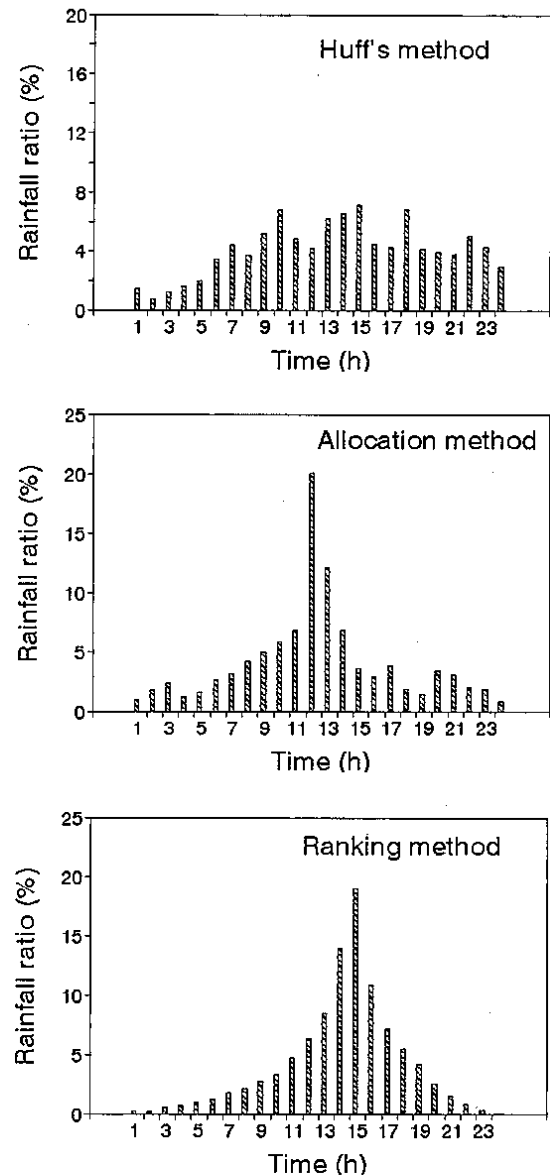


Fig. 2. Design storm distributions of 24-h durations using Huff's, allocation, and ranking methods at the Lienhuachih area of central Taiwan.

50%處，最大雨峰降雨比率則佔暴雨量的20.11%，至於降雨型態以雨峰時間而言，屬中峰型雨型，設計雨型的歷線呈單峰狀，唯雨峰兩翼稍微起伏。位序法推求之24 h降雨延時設計雨型，其降雨歷線之最大雨峰時間在15 h處，亦即在整個降雨延時的62.5%處，最大雨峰降雨比率則佔暴雨量的19%，至於降雨型態以雨峰

時間而言，屬中峰型雨型，設計雨型的歷線呈單峰狀，但雨峰的兩翼向左右側逐漸下降。

由上述三種方法推求之設計雨型特性而言，分配法與位序法推求的設計雨型，其歷線形狀頗為相似，均為單峰狀的中峰型雨型，而最大雨峰降雨比率亦甚為相當，僅最大雨峰時間比率略為不同，此乃分配法與位序法推求雨峰降雨比率的方式相似，而推求最大雨峰時間比率的方式不同所致。此外，Huff法推求之設計雨型歷線形狀與分配法及位序法則相異甚為明顯，Huff法之雨型歷線呈不規則起伏多峰狀，而分配法與位序法之雨型歷線呈單峰狀，乃因Huff法基本原理僅將各場暴雨歷線平均，而分配法與位序法基本原理則以最大雨峰為基準而平均，導致Huff法之雨型歷線形狀與分配法及位序法相異。同理亦導致Huff法推求之最大雨峰降雨比率與分配法及位序法相異。至於位序法的最大雨峰時間比率則與Huff法相同，乃位序法推求最大雨峰時間比率方式與Huff法相同所致。故綜合觀之，分配法推求之設計雨型與位序法較為相近，而Huff法推求之設計雨型與分配法及位序法較有差異。

至於此三種方法推求之設計雨型，何者較佳，本文乃以誤差分析判定，如Table 3。

由Table 3之結果顯示，以平均估計誤差而言；Huff法最小(4.568)，位序法其次(5.802)，分配法最大(5.963)，但比較三種方法之平均估計誤差的比率，位序法為Huff法的1.27倍，分配法為Huff法的1.31倍。若以雨峰降雨誤差而言；位序法最小(0.352)，分配法其次(0.384)，Huff法最大(0.569)，比較三種方法之雨峰降雨誤差的比率，分配法為位序法的1.09倍，Huff法為位序法的1.62倍，若以雨峰時間誤差而言，Huff法與位序法相同，均為最小(0.142)，而分配法稍大(0.144)，但此三種方法之雨峰時間誤差的比率相差不大，分配法僅為位序法與Huff的1.02倍。

依據誤差分析結果：以平均估計誤差而言，分配法最差；以雨峰降雨誤差而言，Huff

Table 3. Error analyses of design storm distribution of 24-h duration at the Lienhuachih area of central Taiwan

Method	Mean of estimate error (MEE)	Error of rainfall peak (ERP)	Error of time to rainfall peak (ETP)
Huff	4.568	0.569	0.142
Allocation	5.963	0.384	0.144
Ranking	5.802	0.352	0.142

法最差，而位序法最佳；以雨峰時間誤差而言，分配法最差。然設計雨型的重要功能，乃是用以推估暴雨流量歷線，以供水工構造物設計溢洪設施之依據，因而，雨峰降雨比率的可靠性最為重要，因會影響到洪峰流量推估的準確性，由於位序法的雨峰降雨比率推求最佳。因此，綜合上述分析，此三種方法，應以位序法推求24 h降雨延時設計雨型為最佳。

三、設計雨型歷線推估式建立

由於位序法計算之24 h降雨延時設計雨型最佳，乃以Table 2之位序法設計雨型分配數據，經直線迴歸統計分析，分別建立設計雨型歷線峰前段與峰後段之指數型推估式，且推估式之常數a，亦乘以 $(\sum lm / \sum le)$ ，予以修正，如下式。

峰前段(上升曲線): $t \leq 15$

$$I_e = 0.154 e^{0.318t}, r^2 = 0.98, n = 15 \quad (6)$$

峰後段(下降曲線): $t \geq 15$

$$I_e = 10038 e^{-0.421t}, r^2 = 0.98, n = 10 \quad (7)$$

式(6)與(7)中， I_e 為設計雨型歷線降雨量百分比推估值(%)， e 為自然對數的底值(2.7183)， t 為時間(h)。

將式(6)及(7)推估之設計雨型歷線降雨量百分比值(曲線)與位序法計算之設計雨型歷線降雨量百分比值(點繪)相比較(Table 4, Fig. 3)，極為相近，顯示指數型推估式足以表現設計雨型歷線特性，且可靠性極佳。另外蓮華池設計雨型歷線的雨峰時間為15 h，雨峰時刻的降雨量百分比推估值，不論以峰前段式(6)或峰後段式(7)計算，均獲得相同的推估值，顯示式(6)推估的峰前段上升曲線與式(7)推估的峰後段下降曲線，在雨峰交會處密切相交。

Table 4. Comparison of design storm distributions of 24-h duration using the ranking method and empirical equations at the Lienhuachih area of central Taiwan

Time (h)	Design storm distribution (%)	
	Ranking method	Empirical equations
1	0.16	0.21
2	0.22	0.29
3	0.53	0.40
4	0.69	0.55
5	0.97	0.76
6	1.27	1.04
7	1.76	1.43
8	2.14	1.96
9	2.77	2.69
10	3.39	3.70
11	4.75	5.09
12	6.49	7.00
13	8.59	9.61
14	14.00	13.21
15	19.00	18.16
16	10.94	11.92
17	7.25	7.82
18	5.58	5.14
19	4.23	3.37
20	2.54	2.21
21	1.57	1.45
22	0.79	0.95
23	0.30	0.63
24	0.07	0.41

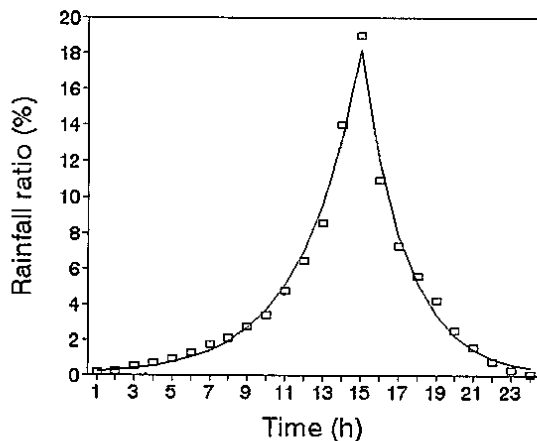


Fig. 3. Comparison of design storm distributions of 24-h durations using ranking method (□) and empirical equations (—) at the Lienhuachih area of central Taiwan.

結論

根據蓮華池氣象站1982~1996年間每年最大24 h降雨歷線資料，分析其雨型特性，並採用

Huff法、分配法及位序法等三種方法推求24 h降雨延時之設計雨型，綜合分析結果可歸納如下。

- 一、蓮華池氣象站24 h降雨歷線的型態，以雨峰時間而論，屬中峰型。平均降雨歷線的最大雨峰時間在15 h處，亦即暴雨延時的62.5%處，而平均最大雨峰降雨率比為19%。
- 二、使用Huff法、分配法及位序法三種方法推求蓮華池氣象站24 h降雨延時的設計雨型歷線，經平均估計誤差、雨峰降雨誤差及雨峰時間誤差分析，顯示位序法最佳。
- 三、蓮華池氣象站24 h降雨延時之設計雨型歷線，當以位序法推求，而亦可以指數型經驗推估式推估。

引用文獻

- 王如意、鄭昌奇。1982。烏溪國姓水庫可行性規劃(7)水文分析。台灣省水利局。143頁。
- 台灣省水利局。1982。水文資料分析與電子計算機應用手冊。台灣省水利局編印。124頁。
- 台灣省公共工程局。1969。台北市雨水下水道系統規劃報告。台灣省公共工程局編印。118頁。
- 余濟。1988。降雨設計雨型之研究。國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。122頁。
- 徐享崑、何智武。1992。山地集水區雨型分佈及暴雨延時統計分析(II)。農委會編印，林業特刊第40號，80年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編。141~157頁。
- 徐享崑、游保杉。1993。雨量時間分佈之研究。國立成功大學水利暨海洋工程研究所刊印。101頁。
- 張守陽、林國峰。1994。台灣北部降雨特性與時間分佈之研究—以二十四小時延時為例。第七屆水利工程研討會論文集，國立台灣海洋大學編印。D115~D124頁。
- Huff, F. A. 1967. Time distribution of

- rainfall in heavy storm. *Water Resour. Res.* 3(4): 1007~1019.
- Pilgrim, D. H., and I. Cordery.** 1975. Rainfall temporal patterns for design floods. *J. Hydraul. Div, ASCE* 101(Hy1): 81~95.
- U. S. Soil Conservation Service.** 1972. SCS National Engineering Handbook, Sec. 4, Chap. 21, Design Hydrology, Washington, D. C., pp. 53-79.
- Yen, B. C., and V. T. Chow.** 1980. Design hyetographs for small drainage structures. *J. Hydraul. Div, ASCE* 106(Hy6): 1055~1076.