

降雨深度-面積-延時關係之研究

Study on Rainfall Depth-Area-Duration Relationships

國立台灣大學土木系暨水工所
教授

林 國 峰

Gwo-Fong Lin

國立台灣大學土木工程學研究所
博士班研究生

陳 儒 賢

Lu-Hsien Chen

經濟部水資源局
簡任工程司

黃 月 娟

Yueh-Chain Huang

摘 要

本研究之主要目的在建立台灣中部地區之降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線。首先針對台灣中部地區，完成 170 個雨量測站資料之蒐集整理，包括水利處 49 站及氣象局 121 站。再以賀伯颱風之小時降雨資料，建立中部地區降雨延時分別為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之最大降雨深度-面積-延時曲線。短延時部分，由於氣象局無法提供賀伯颱風期間之即時雨量資料，因此本研究另以瑞伯颱風之即時雨量資料，建立中部地區降雨延時為 10、20、30 及 60 分鐘之最大降雨深度-面積-延時曲線。此外，本研究以賀伯颱風之小時雨量資料，建立降雨延時分別為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之降雨面積遞減曲線；以瑞伯颱風之即時雨量資料，建立降雨延時分別為 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘之降雨面積遞減曲線。最後，本研究亦提出最大降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線之迴歸方程式。由研究成果中發現，台灣中部地區降雨有明顯之兩個暴雨中心，因此本研究將中部地區劃分成南北兩區，分別建立其最大降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線。本研究成果可提供空間降雨之雨量設計及水文規劃與設計之用。

關鍵詞：降雨深度-面積-延時曲線，降雨面積遞減曲線。

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish the maximum rainfall depth-area-duration (DAD) curves and the areal reduction factor (ARF) curves for central Taiwan. First, rainfall data of 170 gages located in central Taiwan are collected. Then, the 1-, 2-, 3-, 4-, 6-, 12-, 18-, 24- and 36-hr DAD curves are established using the hourly data of Typhoon

Herb. Since the instant rainfall data for Typhoon Herb is not available, the 10-, 20-, 30-, and 60-min DAD curves are constructed using the instant data of Typhoon Zeb. Finally, regression equations for DAD and ARF curves are proposed herein. The corresponding ARF curves are also constructed. It is found that there are two significant storm centers in the central part of Taiwan. Hence, the study area is further divided into two regions, north and south, for the construction of DAD and ARF curves.

Keywords: Depth-area-duration curve, Areal reduction factor curve.

一、前言

最大降雨深度-面積-延時曲線(maximum rainfall depth-area-duration curve, 簡稱 DAD 曲線)同時包括雨量在時間上及空間上之變化,由於牽涉面積降雨,所以必須蒐集相當數量之雨量紀錄方可進行分析,因而增加分析工作的困難。台灣地區多山,降雨量易受地形之影響而隨高度變化,雨量隨高度變化之情形又會因為盛行風與地形互動之關係不同,各種暴雨的地形效應亦不同。基於上述之原因,所以台灣地區有關最大降雨深度-面積-延時關係之研究相當少。

關於最大降雨深度-面積-延時關係曲線之研究,國外有相當多相關文獻(Chow et al., 1988; Hershfield, 1962; Rodriguez-Iturbe and Mejia, 1974a, 1974b),但以往在雨量分析及推求面積平均降雨量上,多採用徐昇氏法或以面積比值權重關係求得,這些方法忽略了區域降雨的觀念,而只以簡單之距離線性關係來作降雨面積之分析。

由於最大降雨深度-面積-延時關係,同時包括雨量在時間上及空間上之變化,由於牽涉面積降雨,所以必須蒐集相當數量之雨量紀錄方可進行分析,因而增加分析工作的困難。游及古(1992)曾以彰化地區三十一年之日降雨記錄,取出每年德的最大代表暴雨,進行最大降雨深度-面積-延時關係分析,並導出最大降雨深度-面積-延時-頻率公式。顏等(1992)根據中央氣象局所屬之二十五個雨量站、三十年雨量資料,分析出台灣地區最大降雨深度-面積-延時關係。此外,顏等(1993)亦曾考慮地形變化之因素,針對琳恩及莎拉兩個

颱風進行台灣地區最大降雨深度-面積-延時關係之分析。龔等(1998)則針對賀伯颱風建立最大降雨深度-面積-延時曲線,並對八七水災、雪莉颱風、葛樂禮颱風及賀伯颱風等四場對台灣地區造成嚴重災害之降雨特性進行比較分析,推求台灣地區之可能最大降雨。除此之外,並無其他之相關分析紀錄。雖然國外之研究有美國之曲線適用於其他地方之例子,但有鑑於台灣各地區之降雨型態並不相同,地形之變化亦相當大,因此必須針對台灣地區,選取適當之雨量測站及雨量資料,評估適用於台灣地區之最大降雨深度-面積-延時曲線。

關於降雨面積遞減曲線之研究,Roche (1963)最早提出可以將點雨量資料轉換成區域性雨量,他採用聯合機率之理論(joint probability)推求不同重現期距下之面積遞減曲線,並發現這些曲線與重現期距無關,亦即不同重現期距下可採用相同之面積遞減曲線。Hershfield (1962)提出面積遞減因子(Areal Reduction Factor, 簡稱 ARF)之觀念,並提出固定暴雨中心(storm centered)及固定區域(fixed area)兩種觀點。Bell (1976)則繼續將 Hershfield (1962)所提出之兩種觀點加以解釋並說明在不同情形下所代表之意義。

Rodriguez-Iturbe 與 Mejia (1974a, 1974b)曾利用點雨量資料之空間結構特性,求出點雨量與空間面積遞減之關係式,但此關係式乃由特定之研究區域雨量資料所求出,因此關係式中之參數不一定可以適用於其他地方。Omelayo (1993)則利用前人所提出之方法,如美國國家氣象局法(U.S. Weather Bureau Method)、Bell's Method、Rodriguez-Iturbe and Mejia Method 及 Myer's

Method 等方法，求取澳洲一些城市之 ARF，結果發現雖然各方法間雖有差異，但 ARF 並無明顯差異。此外，將美國所使用之關係式應用於澳洲，結果顯示，當面積介於 200 至 500 平方公里間，降雨延時為 24 小時之降雨時相當適合。

關於降雨面積遞減曲線之研究，國內部分則更為稀少，僅有陳(1996)曾針對台灣北部地區之降雨作分析，採用年最大值雨量資料，從西元 1987 至 1994 年共八年之時間。分別求出 1 小時、2 小時、6 小時、12 小時以及 24 小時降雨延時之降雨面積遞減曲線，但由於其雨量資料之記錄年限不夠長，因此只能算是初步之研究成果。

最大降雨深度-面積-延時的關係，會因為地理環境、位置、地形、氣候、降雨特性的不同而有差異，故於分析時，必須具備充分之雨量資料與專業之分析方法，以提供適用範圍較廣、可靠度較高之分析結果，作為日後工程應用依據。國內目前有關之研究成果，僅限於少數地區，且所考慮之暴雨延時亦不周全，實有必要針對台灣各地區建立各種長短延時之降雨強度與面積之關係曲線，以便將來納入水文技術規範中，本研究針對中部地區，求得最大降雨深度-面積-延時的基本關係，並建立降雨面積遞減曲線(Areal Reduction Factor Curve，簡稱 ARF 曲線)，以提供水文規劃與設計之參考。

二、分析理論與方法

2-1 最大降雨深度-面積-延時曲線

最大降雨深度-面積-延時曲線通常其縱座標為面積，繪於對數軸上；橫座標為最大平均降雨深度，代表某一面積內之最大平均降雨深度。一張最大降雨深度-面積-延時曲線圖上有數條曲線，代表不同降雨延時之深度-面積關係。

各延時之深度-面積關係亦可以迴歸式表示，例如 Horton (1924)、Boyer (1957)及 Court (1961)。本文經比較後，引用 Horton (1924)所建議之型式：

$$\bar{P} = P_{\max} \exp(-kA^n) \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中， A 為面積； $\bar{P}$ 為面積 A 內之平均降雨深

度； $P_{\max}$ 為面積 A 內之最大降雨深度； k 及 n 為常數，可由 DAD 曲線求得。

關於最大降雨深度-面積-延時曲線之繪製方法，簡述如下：在求出降雨量於空間之變化情形後，即可描繪出各場暴雨之不同延時之等雨量線圖。本研究採用克利金(kriging)法製作不同降雨延時之等雨量線圖。當建立不同延時之等雨量線圖後，再計算各等雨量線間所包圍之面積，兩等雨量線之平均值即代表平均雨量，最後便可求得各降雨深度與其所包圍面積之關係。最大降雨深度-面積-延時的分析會牽涉到不同延時之最大降雨深度與面積之關係，因此分析時應先選擇不同延時之雨量資料，其次就各不同延時資料進行降雨深度-面積關係之分析，最後再將不同延時之降雨深度與面積之關係加以整合，取得降雨深度-面積-延時的關係。本研究將利用 Sufer 軟體所建立之等雨量線圖計算各等雨量線間所涵蓋之面積，以求得中部地區最大降雨深度-面積-延時關係曲線。

2-2 降雨面積遞減曲線

由於降雨資料為水文分析中最基本的輸入資訊之一，故於頻率分析時，通常都是以測站做一基本單位，以其長期之降雨記錄為研究對象，例如降雨強度延時頻率曲線(Intensity-Duration-Frequency Curve，簡稱 IDF 曲線)，然而這些資料就空間而言，僅僅只能代表各測站本身的降雨特性，並無法將實際整個區域空間特性表現出來，換言之，在空間上僅能看做是點的資料型態。而甚多的水文分析所考量的多是一些降雨、流域面積及降雨延時之間的關係，所以必須要有可以代表區域特性的資料才行，因此有了降雨面積遞減曲線的觀念。

Hershfield (1962) 對於面積遞減因子(Areal Reduction Factor，簡稱 ARF)提出固定暴雨中心(storm centered)及固定區域(fixed area)兩種觀點。ARF 之定義如下：

$$ARF = \bar{P} / P_{\max} \quad \dots\dots\dots(2)$$

其中， $\bar{P}$ 為面積 A 內之平均降雨深度； $P_{\max}$ 為面

積 A 內之最大降雨深度; ARF 為面積遞減因子。就固定暴雨中心觀點而言, $\bar{P}$ 即為暴雨中心處之降雨深度。

因此, 本研究在分別針對不同延時之最大降雨, 繪製最大降雨深度-面積-延時關係曲線時, 亦分別建立其面積遞減因子隨降雨面積變化之情形, 稱之為降雨面積遞減曲線, 以便觀察彼此間之差異及變化情形。

三、雨量資料蒐集

3-1 分區概述

台灣地理位置相當特殊, 由於北迴歸線經過嘉義地區, 使得台灣地區區北迴歸線以北屬於亞熱帶氣候, 北迴歸線以南則成為熱帶氣候。此外, 由於中央山脈對颱風鋒面的阻隔, 造成台灣地區各地降雨型態的不同。國內曾於民國 68 年, 配合行政院經濟建設委員會之國土綜合開發計畫, 將台灣地區區分成北、中、南、東四個水資源區。本研究亦將台灣地區區分成四個區域作為研究對象, 分別為北部、中部、南部以及東部地區。

本研究之中部地區係以集水區為分區依據, 北起頭前河流域, 南至北港河流域, 東倚中央山脈, 西濱台灣海峽。南北長約 156 公里, 東西寬約 85 公里, 共包括頭前溪、後龍溪、大安溪、大甲溪、烏溪、濁水溪及北港溪等流域。若按行政區域劃分, 包括苗栗縣、台中縣市、南投縣、彰化縣、雲林縣, 以及新竹和嘉義兩縣少部分區域。全區總面積約為 11891.2 平方公里。本研究定義之中部地區稍大於中部水資源區之範圍。

3-2 資料來源及特性

本研究總共選取 170 個雨量測站, 分別隸屬於台灣省政府水利處及中央氣象局。其中, 水利處之雨量站共有 49 個; 中央氣象局則有 121 個雨量測站。所採用之雨量資料則為分別向氣象局購買之小時雨量資料, 以及向水利處申請之小時雨量資料。關於資料格式方面, 中央氣象局之小時雨量記錄, 是以一天 24 小時、一年 365 天記

錄, 單位為 0.1mm/hr。台灣省政府水利處之雨量紀錄亦為小時雨量記錄, 單位為 1mm/hr。但值得注意的是, 其「小時雨量資料」電腦檔案並不是一年 365 天、一天 24 小時之逐時資料, 而是當雨量記錄達到某種強度標準以上所建立之雨量資料。水利處選取暴雨事件之標準有二, 一為一小時降雨量大於 20 公厘, 另一為一日降雨量大於 100 公厘, 當暴雨事件達到上述兩個標準中之任一項, 則該事件自開始降雨日至結束日之逐時雨量記錄均鍵入資料檔, 若兩者均未達到則不鍵入。

3-3 資料選取原則及方法

水利處之雨量紀錄, 由於是以各單站之降雨記錄為準, 並不考慮其他測站之降雨情形, 且其選擇雨量記錄有一定之標準, 因此一場颱風或暴雨事件, 會有少數部分測站有雨量記錄, 而其他測站卻沒有記錄之情形出現, 因此選擇颱風或暴雨事件之雨量記錄時, 本研究即將沒有雨量記錄之測站刪除, 僅根據有記錄之雨量測站進行內插分析。

至於中央氣象局自動雨量測站之雨量觀測記錄中, 常出現 -9995、-9996、-9997、-9998 以及 -9999 等記錄資料, 其分別代表之意義如下: -9995 代表儀器故障; -9996 代表紀錄值累積於後; -9997 代表無紀錄; -9998 代表有雨無量; -9999 代表虛擬資料。此外, 於最近之雨量觀測記錄中, 常會出現/(代表 UNKNOWN)、X(代表 TROUBLE)及*(代表 REFERENCE VALUE)等符號, 本研究在做資料整理時, 若雨量測站出現上述之紀錄符號, 便將此站之雨量資料全部捨去, 以避免於雨量內插計算時發生錯誤之推估。

依照上述之選站原則, 針對所選取之水利處及氣象局共 170 個雨量測站進行篩選。於賀伯颱風期間, 由於氣象局有多個雨量測站損壞, 無法提供雨量資料, 因此只選取 90 個雨量測站, 水利處之雨量測站共有 42 個; 氣象局之雨量測站共有 48 個, 佔所選取測站之比例為 53%。此外, 於瑞伯颱風期間, 由於只有氣象局有即時降雨資料, 經篩選後共有 97 個雨量測站可供使用, 佔

所選取氣象局測站之比例為 80%。

四、應用分析及結果

4-1 最大降雨之選擇

根據龔等(1998)將台灣地區賀伯颱風期間 24 小時之最大連續降雨，與世界最大降雨紀錄做比較，顯示賀伯颱風 24 小時之最大連續降雨紀錄已接近世界最大降雨紀錄之天水線。此外，經計算所獲得之賀伯颱風降雨深度-面積-延時曲線，與八七水災、雪莉颱風及葛樂禮颱風之降雨深度-面積-延時曲線作比較，結果顯示台灣地區於短延時之最大降雨深度，以八七水災最大；在長延時之最大降雨深度，則是以賀伯颱風之最大降雨深度為最大。由於八七水災發生於民國 47 年，當時之雨量測站數目過少，因此本研究乃選擇民國 85 年 7 月 31 日侵襲台灣的賀伯颱風為個案，加以分析台灣中部地區降雨延時為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之最大降雨深度-面積-延時曲線。

賀伯颱風期間所帶來之豪雨造成台灣地區三十年來最大一次災情，阿里山測站於七月三十一日單日降水累計雨量達 1094.5 公厘，更創歷史紀錄。除人員傷亡外，僅農業損失已近二百億元，總損失更高達二百九十五億元。本研究特別蒐集賀伯颱風期間台灣中部地區 90 個雨量測站，水利處之雨量站共有 42 個；中央氣象局則有 48 個雨量測站，表 1 是台灣中部地區各降雨延時發生最大累積降雨之測站及雨量，由表可知賀伯颱風期間在台灣中部地區，不論任何延時之最大累積降雨均發生在阿里山站，其 1 小時延時之最大累積降雨即高達 112.5 公厘，36 小時延時之最大累積降雨更高達 1978 公厘。其中，除了 1 小時延時及 3 小時延時小於全台最大累積降雨(分別為高屏流域的阿禮雨量站 152mm 及新瑪家雨量站 384mm)外，其他延時均為全台最大累積降雨量。由上述可知，賀伯颱風的確帶給台灣中部地區相當大之雨量。

此外，本研究除了繪製賀伯颱風期間，降雨延時為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、

表 1 台灣中部地區賀伯颱風最大降雨觀測記錄

延時 (hr)	累積降 雨(mm)	測站 名稱	起訖時間
1	112.5	阿里山	00:00/07/31~01:00/07/31/1996
3	311.5	阿里山	23:00/07/30~02:00/07/31/1996
6	616.5	阿里山	23:00/07/30~05:00/07/31/1996
12	1157.5	阿里山	19:00/07/30~07:00/07/31/1996
24	1748.5	阿里山	09:00/07/30~09:00/07/31/1996
36	1978	阿里山	06:00/07/30~18:00/07/31/1996

12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之最大降雨深度-面積-延時曲線外，亦欲推求小於一小時(10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘)之短延時最大降雨深度-面積-延時曲線，但由於中央氣象局無法提供賀伯颱風期間中部地區之即時雨量資料，因此本研究只好以發生於民國 87 年 10 月 15 日侵襲台灣的瑞伯颱風為個案，加以分析台灣中部地區 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘降雨延時之最大降雨深度-面積-延時關係曲線。

瑞伯颱風期間，挾帶情風豪雨過境，造成全省災情不斷，以北部及中部地區最為嚴重。北部、中部山區及東部多處道路坍方交通中斷，數縣市電力、電訊受損。豪雨持續數日，造成河水暴漲，多處地區嚴重淹水。另外農業方面也受創嚴重，總損失達 51.6 億，其中又以彰化縣受創最重。因此本研究特別蒐集瑞伯颱風期間，台灣中部地區中央氣象局 97 個雨量測站之即時降雨資料，進行台灣中部地區 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘降雨延時之最大降雨深度-面積-延時關係曲線繪製。

4-2 降雨深度-面積-延時曲線

4-2.1 賀伯颱風

首先，本研究先從所整理之小時雨量資料，選取民國 85 年 7 月 30 日至 8 月 1 日三日之小時降雨記錄，分別求出降雨延時為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之全部雨量站最大平均降雨量，以其發生時間作為賀伯颱風 DAD 分析時各

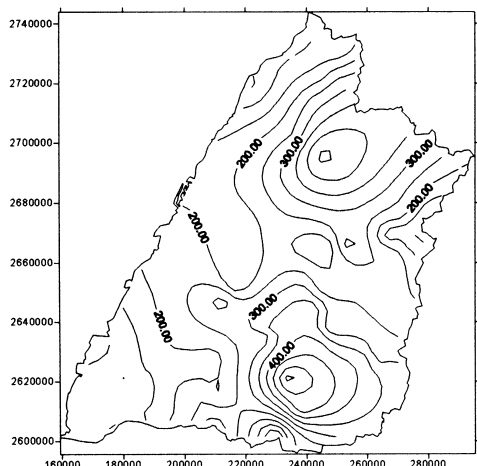


圖 1 賀伯颱風 12 小時延時等雨量線圖

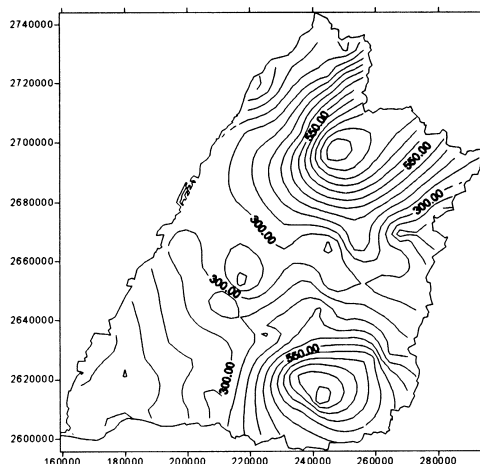


圖 2 賀伯颱風 24 小時延時等雨量線圖

表 2 賀伯颱風期間各降雨延時之起訖時間

降雨延時	起訖時間
1 小時	00:00/08/01—01:00/08/01/1996
2 小時	00:00/08/01—02:00/08/01/1996
3 小時	23:00/07/31—02:00/08/01/1996
4 小時	22:00/07/31—02:00/08/01/1996
6 小時	22:00/07/31—04:00/08/01/1996
12 小時	19:00/07/31—07:00/08/01/1996
18 小時	14:00/07/31—08:00/08/01/1996
24 小時	08:00/07/31—08:00/08/01/1996
36 小時	04:00/07/31—16:00/08/01/1996

降雨延時之起訖時間，列如表 2。然後，繪製降雨延時為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之最大降雨等雨量線圖。

由上述之各延時等雨量線圖可明顯看出(如圖 1 及圖 2)，賀伯颱風期間中部地區有兩個比較明顯之暴雨中心，若將其一起計算勢必會高估降雨面積。此外，在應用最大降雨深度-面積-延時關係曲線時，最大面積應以及水區面積為範圍，台灣地區最大之集水區面積不過三千多平方公里，而台灣中部地區總面積約為一萬二千平方公里，故在計算最大降雨深度-面積-延時關係時，不應將不同暴雨中心之面積納入計算。因此，本研究分別以南北兩個暴雨中心為基礎，利用

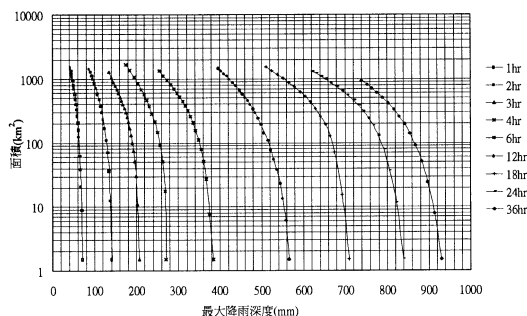


圖 3 中部地區賀伯颱風最大降雨深度-面積-延時曲線(南區)

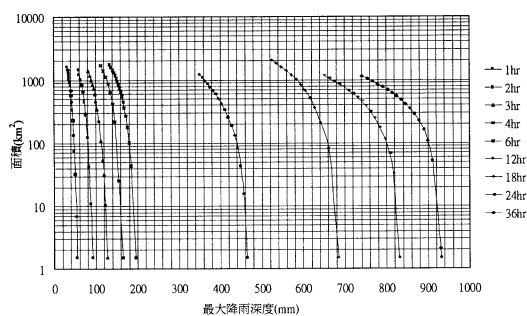


圖 4 中部地區賀伯颱風最大降雨深度-面積-延時曲線(北區)

Sufer 軟體計算各延時之等雨線間所涵蓋之面積，繪製中部地區南北兩區之最大降雨深度-面積-延時曲線，如圖 3 及圖 4 所示。

表 3 賀伯颱風迴歸後之最大降雨深度-面積-延時
曲線方程式(南區)

降雨 延時	迴歸後之方程式	相關 係數
1 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0116A^{0.5194})$	0.9999
2 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0080A^{0.5591})$	0.9999
3 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0045A^{0.6447})$	0.9978
4 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0009A^{0.8546})$	0.9806
6 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0042A^{0.6526})$	0.9785
12 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0136A^{0.4506})$	0.9997
18 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0058A^{0.5418})$	0.9967
24 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0099A^{0.4673})$	0.9964
36 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0098A^{0.4642})$	0.9984

此外，本研究根據 Horton 所建議之函數型式(見(1)式)，求出賀伯颱風各降雨延時之 k 及 n 。南區由各延時 DAD 曲線求得之各延時 k 、 n 值及其相關係數列於表 3， k 的平均值為 0.008， n 的平均值為 0.573；北區求得之 k 及 n 值及其相關係數則列於表 4， k 之平均值為 0.005， n 之平均值為 0.672。(1)式經迴歸後之相關係數，南北兩區平均分別高達 0.994 及 0.983。

4-2.2 瑞伯颱風

本研究先從中央氣象局所提供之即時雨量資料中，選取民國 87 年 10 月 15 日至 10 月 16 日二日內之即時降雨記錄，分別求出降雨延時為 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘之全部雨量站最大平均降雨量，以其發生時間作為瑞伯颱風 DAD 分析時各降雨延時之起訖時間(見表 5)。然後分別繪製降雨延時為 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘之最大降雨等雨量線圖。

由瑞伯颱風之各降雨延時等雨量線圖可發現(見圖 5 及圖 6)，瑞伯颱風與賀伯颱風相同，於南北二區有兩個比較明顯的暴雨中心，因此本研究亦分別以南北兩個暴雨中心為基礎，利用 Sufer 軟體計算各延時之等雨線間所涵蓋之面積，繪製中部地區南北兩區之最大降雨深度-面積-延時曲線，繪如圖 7 及圖 8。

表 4 賀伯颱風迴歸後之最大降雨深度-面積-延時
曲線方程式(北區)

降雨 延時	迴歸後之方程式	相關 係數
1 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0127A^{0.5058})$	0.9811
2 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0083A^{0.5649})$	0.9690
3 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0061A^{0.6068})$	0.9761
4 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0065A^{0.5470})$	0.9848
6 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0029A^{0.6605})$	0.9893
12 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0015A^{0.7574})$	0.9845
18 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0013A^{0.7034})$	0.9702
24 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0006A^{0.8614})$	0.9942
36 小時	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0006A^{0.8439})$	0.9954

表 5 瑞伯颱風期間各降雨延時之起訖時間

降雨延時	起訖時間
10 分鐘	11:14/16/10—11:24/16/10/1998
20 分鐘	11:09/16/10—11:29/16/10/1998
30 分鐘	11:00/16/10—11:30/16/10/1998
60 分鐘	10:45/16/10—11:45/16/10/1998

表 6 瑞伯颱風迴歸後之最大降雨深度-面積-延時
曲線方程式(南區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
10 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0141A^{0.4847})$	0.9970
20 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0079A^{0.5375})$	0.9978
30 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0127A^{0.4865})$	0.9969
60 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0067A^{0.5772})$	0.9977

此外，本研究亦根據 Horton 所建議之函數型式(見(1)式)，求出瑞伯颱風各降雨延時之 k 及 n 。南區由各延時 DAD 曲線求得之各延時 k 、 n 值及其相關係數列於表 6， k 的平均值為 0.010， n 的平均值為 0.521；北區求得之 k 及 n 值及其相關係數則列於表 7， k 之平均值為 0.010， n 之平均值為 0.572。2.1 式經迴歸後之相關係數，南北兩區平均分別高達 0.997 及 0.979。

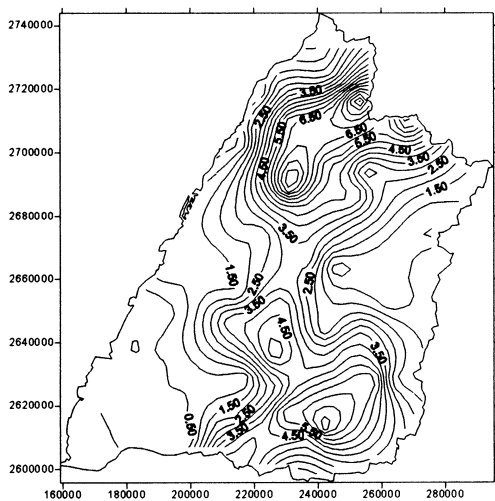


圖 5 瑞伯颱風 10 分鐘延時等雨量線圖

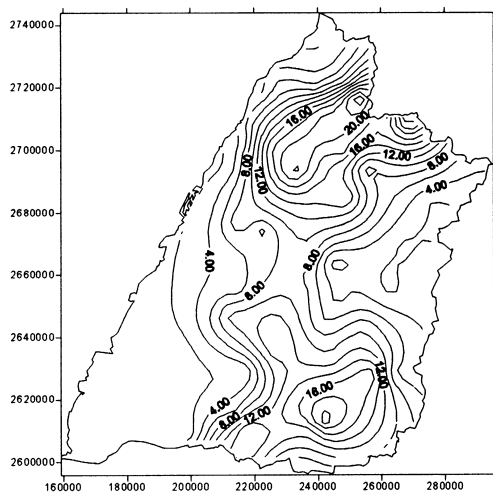


圖 6 瑞伯颱風 30 分鐘延時等雨量線圖

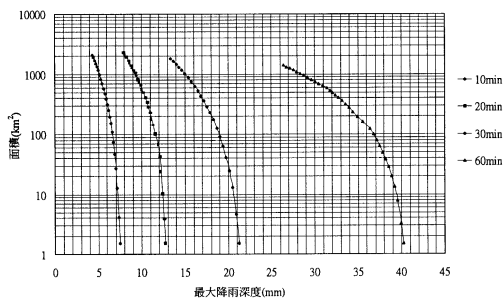


圖 7 中部地區瑞伯颱風最大降雨深度-面積-延時曲線(南區)

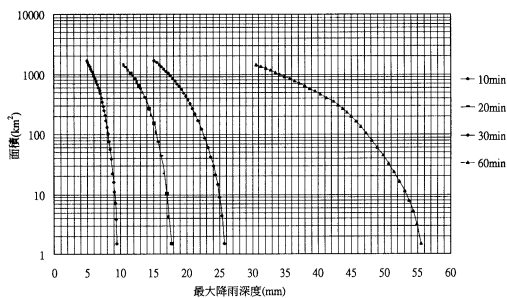


圖 8 中部地區瑞伯颱風最大降雨深度-面積-延時曲線(北區)

表 7 瑞伯颱風迴歸後之最大降雨深度-面積-延時曲線方程式(北區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
10 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0128A^{0.5339})$	0.9902
20 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0068A^{0.6110})$	0.9674
30 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0133A^{0.5010})$	0.9974
60 分鐘	$\bar{P} = P_{\max} \exp(-0.0068A^{0.6422})$	0.9597

4-3 降雨面積遞減曲線

關於降雨面積遞減曲線方面，本研究分別依據賀伯颱風之降雨延時(包括 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時及 36 小時共九種延時)，分別建立各自之降

雨面積遞減曲線。由於賀伯颱風有兩個明顯之暴雨中心，因此本研究先選定中部地區南北兩區之暴雨中心，並以其降雨涵蓋區域為範圍，對範圍內之區域，由中心向外擴張，分別求出區域內之平均降雨量。最後，由所求得之面積與 ARF 遞減之關係，進而建立降雨面積遞減曲線，結果分別繪於圖 9 及圖 10，瑞伯颱風之結果分別繪於圖 11 及圖 12。

為了於使用上更為方便實用，本研究將各降雨延時之降雨面積遞減曲線分別加以迴歸。經比較多種迴歸型式後，本研究提出之新形式如下：

$$ARF = \exp[-(\alpha A + \beta)] \dots\dots\dots(3)$$

其中，ARF 為面積遞減因子；A 為面積(平方公

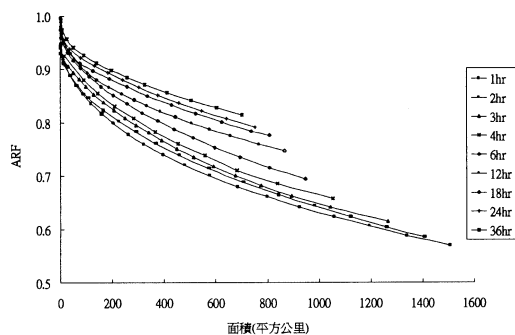


圖 9 中部地區賀伯颱風降雨面積遞減曲線(南區)

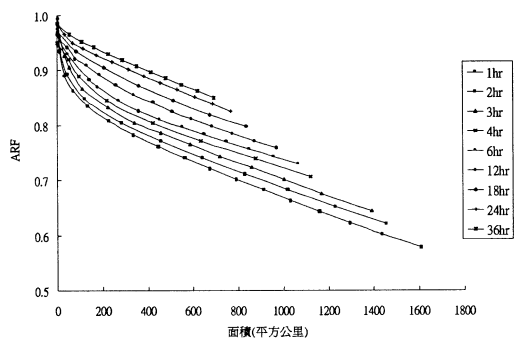


圖 10 中部地區賀伯颱風降雨面積遞減曲線(北區)

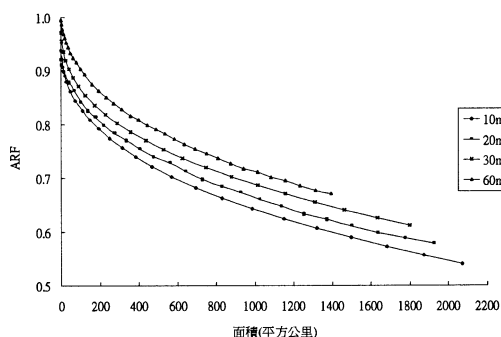


圖 11 中部地區瑞伯颱風降雨面積遞減曲線(南區)

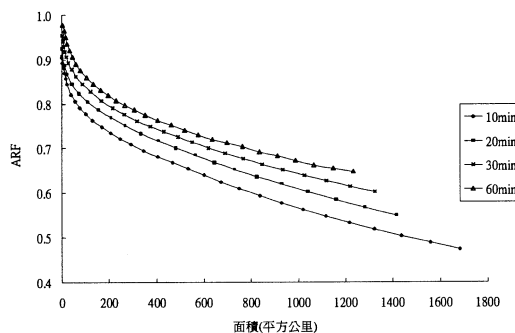


圖 12 中部地區瑞伯颱風降雨面積遞減曲線(北區)

表 8 賀伯颱風迴歸後之降雨面積遞減曲線方程式
(南區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
1 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1324)]$	0.9732
2 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1264)]$	0.9816
3 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1114)]$	0.9820
4 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1022)]$	0.9839
6 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0741)]$	0.9812
12 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0595)]$	0.9598
18 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0692)]$	0.9841
24 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0540)]$	0.9810
36 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0421)]$	0.9692

表 9 賀伯颱風迴歸後之降雨面積遞減曲線方程式
(北區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
1 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1281)]$	0.9855
2 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0961)]$	0.9696
3 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0809)]$	0.9667
4 小時	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0861)]$	0.9773
6 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0829)]$	0.9712
12 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0576)]$	0.9841
18 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0457)]$	0.9912
24 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0325)]$	0.9948
36 小時	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.0242)]$	0.9974

里)； α 及 β 為常數，可由 ARF 曲線求得。

賀伯颱風南北兩區迴歸之結果及相關係數分別列於表 8 及表 9，瑞伯颱風南北兩區迴歸之結果及相關係數則整理如表 10 及表 11 所示。

表 8 至表 11 係每一延時有一迴歸式。本研究亦嘗試將延時融入迴歸式中，以期能有一通用之 ARF 迴歸式。經測試比較後，本研究提出之通用 ARF 迴歸式型式如下：

表 10 瑞伯颱風迴歸後之降雨面積遞減曲線方程式
(南區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
10 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.1600)]$	0.9670
20 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.1503)]$	0.9724
30 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0002A + 0.1133)]$	0.9625
60 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.0684)]$	0.9688

表 11 瑞伯颱風迴歸後之降雨面積遞減曲線方程式
(北區)

降雨延時	迴歸後之方程式	相關係數
10 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0004A + 0.1942)]$	0.9770
20 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1602)]$	0.9762
30 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1239)]$	0.9663
60 分鐘	$ARF = \exp[-(0.0003A + 0.1046)]$	0.9552

表 12 賀伯颱風及瑞伯颱風所求得之通用 ARF 迴歸式

颱風名稱	區域	通用 ARF 迴歸式	相關係數
賀伯	南	$ARF = \exp[-(0.0003A - 0.0033t + 0.1187)]$	0.9722
賀伯	北	$ARF = \exp[-(0.0003A - 0.0033t + 0.1032)]$	0.9725
瑞伯	南	$ARF = \exp[-(0.0002A - 0.0931t + 0.1701)]$	0.9684
瑞伯	北	$ARF = \exp[-(0.0003A - 0.1275t + 0.2082)]$	0.9677

$$ARF = \exp[-(aA + bt + c)] \dots\dots\dots(4)$$

其中， ARF 為面積遞減因子； A 為面積(平方公里)； t 為降雨延時(小時)； a 、 b 及 c 為常數，可由 ARF 曲線求得。

關於賀伯颱風及瑞伯颱風所求得之通用 ARF 迴歸式結果如表 12 所示。

4-4 討論

第 4-2 節和 4-3 節中，分成南北兩區建立最大降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線。南北兩區大致之範圍如後，北區包括後龍溪流域、大安溪流域及大甲溪流域；南區包括烏溪流域、濁水溪流域及北港溪流域。但就最大降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線之應用而言，本研究所取之面積還是太大，今後若能以單一集水區為研究範圍，對於應用及規劃上應更為方便。

由本研究繪製之各不同降雨延時之最大降雨等雨量線圖亦可發現，由於台灣地區面積狹小，降雨之涵蓋範圍經常超出海岸線，因此在降雨面積之計算上易產生誤差，尤其是以短延時之降雨更是明顯。有鑑於此，本研究在繪製最大降雨深度-面積-延時關係曲線時，當降雨深度減少

時，若發現有明顯之轉折點，則將此降雨深度以下之資料點捨去。

在本研究中，是將整個研究範圍之降雨空間分布視為等向性，亦即沒有考慮方向性之問題，但通常一個具有空間分布之結構中，是不太可能成等向性分布的。例如台灣中部地區之降雨，由於中央山脈之阻隔，常常造成降雨之趨勢呈現東北－西南走向。雖然在本研究中之降雨會受方向性之影響，但由於是區域平均雨量之推估，所以經由平均之過程，將會使其方向性之影響減低。

此外，本研究對照中部地區之等高線圖發現，降雨量似乎與高度有著密切關係，因此雨量在空間上並不符合均一性假設，所以柯利京法就不能直接用來繪製等雨量線。解決方法是將高度因素與降雨量分離，再將降雨量表為去除高度趨勢之均一場內插值與高度趨勢內插估計值之和。基於上述因素，本研究建議日後應以迴歸方法分析降雨量隨高度變化之關係。

五、結論與建議

5-1 結論

- (1) 本研究首先完成台灣中部地區 170 個雨量測站資料之蒐集整理，包括水利處 49 站及氣象局 121 站。

- (2)本研究以賀伯颱風之小時降雨資料，建立中部地區降雨延時分別為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之最大降雨深度-面積-延時曲線。
- (3)由於氣象局無法提供賀伯颱風期間之即時雨量資料，因此本研究以瑞伯颱風之即時雨量資料，建立中部地區降雨延時為 10、20、30 及 60 分鐘之最大降雨深度-面積-延時曲線。
- (4)針對賀伯颱風及瑞伯颱風建立之台灣中部地區最大降雨深度-面積-延時曲線，顯示在同一延時下，最大平均降雨深度會隨降雨面積之增加而減少。而面積固定時，最大平均降雨深度隨延時增大而增加。
- (5)由於台灣地區之狹長地形，當降雨之涵蓋範圍較大時，經常會有超出海岸線之情形出現，因而低估最大降雨面積，尤其是以短延時之降雨更是明顯。因而影響最大降雨深度-面積-延時曲線之建立。
- (6)本研究另以賀伯颱風之小時雨量資料，建立降雨延時分別為 1 小時、2 小時、3 小時、4 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時以及 36 小時之降雨面積遞減曲線。此外，並以瑞伯颱風之即時雨量資料，建立降雨延時分別為 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘及 60 分鐘之降雨面積遞減曲線。
- (7)本研究亦建立最大降雨深度-面積-延時曲線及降雨面積遞減曲線之迴歸方程式，其相關係數極高，顯示本文所建議之迴歸方程式甚佳。

5-2 建議

- (1)在研究範圍中，由於雨量測站的不均，尤其是高度較高之山區，測站並不如平地般密集，而山區之降雨一般而言較多且其變異性較大，所以有必要在山區增加雨量測站之設置，以充分獲得雨量資料。
- (2)本研究因應降雨特性，將台灣中部地區分為南北兩區，以進行 DAD 及 ARF 分析，

未來若進行台灣北、東、南區之 DAD 或 ARF 分析時，亦須考慮因應降雨特性而再細分。

- (3)建議建立全台灣各地區之最大降雨深度-面積-延時曲線和降雨面積遞減曲線以及相隨之迴歸式，以提供水文規劃與設計之參考。

七、參考文獻

1. 陳堯風，1996。「北部地區降雨面積遞減曲線之建立」，國立台灣大學農業工程研究所。
2. 游保杉、古旭程，1992。「最大降雨深度-面積-延時-頻率公式」，土木水利第十九卷第二期，第 17-33 頁。
3. 顏清連、李天浩、蕭長庚，1992。「台灣地區降雨深度-面積-延時關係之研究(一)」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第一百四十五號。
4. 顏清連、李天浩、蕭長庚，1993。「台灣地區降雨深度-面積-延時關係之研究(二)」，國立台灣大學水工試驗所研究報告第一百六十一號。
5. 龔誠山、王育民、蘇文達，1998。「台灣地區可能最大降雨之研究」，第九屆水利工程研討會，第 I229-I237 頁。
6. Bell, F. C., 1976. The areal reduction factors in rainfall frequency estimation, Rep. No. 35, Institute of Hydrology, Wallingford, U.K.
7. Boyer, M.C., 1957. A correlation of the characteristics of great storms, Trans. Am. Geophys. Union, 38, 233-238.
8. Chow, V.T., Maidment, R.D., and Mays W.L., 1988. Applied hydrology, 475-487.
9. Court, A., 1961. Area-depth rainfall formulas, J. Geophys. Res., 66, 1823-1831.
10. Hershfield, D.M., 1962. Extreme rainfall relationships, Proc. ASCE., J. Hydraul. Div., (88) HY6: 73-79.
11. Horton, R.E., 1924. Discussion of "The distribution of intense rainfall and some other

- factors in the design of stormwater drains”,
Proc. ASCE, 50, 660-667.
12. Omolayo, A.S., 1993. On the transposition of
areal reduction factors for rainfall frequency
estimation, Journal of Hydrology, 145, 191-205.
13. Roche, M., 1963. Hydrologie de Surface.
Gauthier-Villars, Paris.
14. Rodriguez-Iturbe, I. and Mejia, J.M., 1974a.
The design of rainfall networks in time and
space, Water Resources Research, 10(4), 713-
728.
15. Rodriguez-Iturbe, I. and Mejia, J.M., 1974b. On
the transformation of point rainfall to areal
rainfall, Water Resources Research, 10(4), 729-
735.
- 收稿日期：民國 90 年 3 月 2 日
接受日期：民國 90 年 3 月 29 日