

# 台灣地區颱風降雨特徵與降雨氣候模式之分析

李清勝<sup>1,2</sup>

沈鴻禧<sup>1</sup>

1. 國家災害防救中心 氣象災害防治組
2. 國立台灣大學 大氣科學研究所

## 摘 要

分析台灣地區颱風期間，測站雨量隨距颱風中心之變化情形；結果顯示，考慮所有測站時，半徑 225km 以內、225~450km 及 450km 以外等三個區域之日雨量，分別為 103mm、40mm 及 12.4mm，顯著高於 Frank (1977) 和 Gray (1981) 之結果 (83~95mm、23~35mm 及 5.8mm)。若僅考慮海拔 100m 以下的測站，則雨量值降為 92mm、26mm 及 11mm；此結果在半徑 450km 內，與先前研究接近。若僅考慮島嶼測站，則分別為 60mm、22mm 及 6.2mm，反應台灣地形對颱風之破壞作用，降低 225km 內之雨量。

在颱風降雨氣候模式之評估方面，可歸納四點結論：(1) 針對全台 371 個雨量站，其趨勢與  $R^2$  為 0.68 及 0.61；(2) 整體而言，高屏溪的表現較淡水河為佳；(3) 以  $R^2$  的表現而言，整體流域較單站為佳，即模式值與觀測值線性相關較高；(4) 隨著預報時段的增加， $R^2$  亦增加，預報表現越好；就防災的觀點，以 9 小時預報時段代替整體預報時段，是一不錯的選擇。雨量持續性分析結果顯示，以過去 1 小時雨量為持續值，較採用 3 小時或 6 小時為佳；而利用持續法預估未來 1 小時或 3 小時雨量均有不錯結果，但針對未來 6 小時以上，持續法不具應用價值。

## 一、前言

台灣位於西北太平洋颱風主要路徑上；根據中央氣象局過去百年 (1897-1996 年) 颱風圖集 (謝等, 1998)，及 JTWC 之 (1945- 2001) 最佳颱風路徑資料顯示，平均每年約有 27 個颱風形成於西北太平洋地區 (含南海)，約占全球的 1/3。每年有約 4 個颱風影響到台灣，其中 2 個颱風會登陸台灣。颱風對台灣所帶來的災害，主要係其伴隨的強降水所導致的洪水及土石流，尤其是 921 地震後，土石流的災情更較往年嚴重。如何加強氣象防災研究，尤其是颱風伴隨定量降雨預報之改進等工作，實刻不容緩。

本研究的目的探討影響台灣地區颱風所伴隨之降雨特徵，分析氣候降雨模式之誤差，以提升颱風定量降雨的預報能力。本文第二節將探討台灣地區颱風降雨的特徵，第三節則是評估颱風降雨氣候模式 (王等, 1983; 李和沈, 2001)，第四節則為討論與結語。

## 二、影響台灣地區颱風降雨特徵

李和沈 (2001) 曾採用 1989-1996 年歷史侵台颱風之資料，進行颱風伴隨降雨特徵分析；本研究繼續之前研究，並將資料擴大到 1989-2001 年。首先分析颱風降

雨強度隨半徑的變化，分析時根據各測站與逐時颱風中心位置之距離，分成每 25 公里的間距，共 40 個間距 (0-1,000 公里)；然後將每一個間距中的距離和時雨量平均，以求得該平均距離之平均時雨量。

圖 1(a) 顯示台灣地區各測站於 1989-2001 年颱風期間，降雨強度或時雨量 (公厘) 隨半徑的變化情形；如圖所示，降雨強度隨與颱風中心距離之增加而減少，250 公里以外地區，降雨強度則顯著減少。將時雨量換算成日雨量後，距離颱風中心 25 公里以內，日雨量可達 245 公厘；離颱風中心 100- 200 公里處，日雨量值維持在 80- 130 公厘左右，離颱風中心 200- 400 公里處，日雨量值維持在 30-65 公厘左右，400 公里以外則維持在 10-30 公厘左右。Frank (1977) 和 Gray (1981) 之研究結果顯示，在 2° 緯度 (222 公里) 半徑內，日雨量約為 80-95 公厘，2- 4° 半徑內則約為 23~35 公厘，超過 4° 半徑的日雨量則約為 5.8 公厘；亦即本分析之降雨強度稍大 (分別為 103mm、40mm 及 12.4mm)。導致此差異的原因，可能在於過去的研究皆盡量避開陸地/地形對颱風伴隨降雨可能造成之影響。此外，Marks (1985) 指出，颱風眼牆內之雨量為眼牆外的 6 倍，眼牆內之降雨之貢獻可達 40% 以上。

為分離地形舉升之影響，分析時亦同時僅計算測站海拔小於 100 公尺之測站，結果如圖 1(b)所示；圖中顯示雖然分佈型態與圖 1(a)相同，但雨量值和標準差均較小。計算 225 公里以內，225~450 公里及 450 公里以外三個區域之雨量平均值，分別為 92mm、26.4mm 及 11.0mm；值得注意的是 450 公里以內之值和 Frank (1977)及 Gray (1981)之結果(83~95mm 及 23~35mm)非常一致。至於 450 公里以外的 11.0mm，則遠較其 5.8mm 為高。為進一步移除地形影響，圖 1(c)則僅採用外島測站資料，結果顯示，降雨量強度顯著減少。若取半徑 225km 以內，225~450km 及 450km 以外三個區域，其平均雨量值分別為 60mm、22mm 及 6.2mm；除半徑 225km 以內之區域外，和 Frank (1977)Gray (1981)者，非常接近。至於距離颱風中心 25 公里內，降雨量最小(日雨量僅 8 公厘)，很可能是反應颱風眼中的現象，但需注意這部份的資料僅 9 個。

台灣地形複雜，各地雨量的分佈除受颱風環流影響外，尚受地形強迫舉升的影響。為瞭解地形舉升之影響程度，分析不同海拔高度測站所觀測之雨量變化；分析時取 200 公尺為一區間。此外，為移除背風測站之可能影響，亦分別濾除時雨量小於 1mm、3mm、10mm 及 13mm 等之雨量資料。結果顯示，最大降雨量皆出現於海拔高度 400~600m 間(圖未示)。若取時雨量大於 1mm 或 3mm 的資料，則另於海拔 1500m、2000m 和 2500m 處，出現相對極大值區。然而，若取時雨量大於 13mm、15mm 或 25mm 之資料，則除 500m 外，另於海拔 1000m、1900m 和 2500m 處出現相對極大值。

上述結果所顯示之 1000m~1500m 降雨之變化，很可能受測站分佈所影響；再者，目前的分析結果似乎和過去研究有相當程度的差異。魏等(1972)統計侵台颱風雨量的結果，顯示在垂直高度 850- 950 公尺間有一最大雨量集中帶。李(1997)的分析則顯示，在高度 400-500 公尺以及 2,500-3,800 公尺兩處有雨量的極大值。王(1977)的研究則發現台灣地區上空 850-750 hPa (約 1,500- 3,000 公尺)及 700- 550 hPa (約 3,000- 5,000 公尺)為颱風期間水汽飽和層所在；然而，王並未進一步指出水汽飽和層和最大雨量集中帶之間關係。因此，颱風雨量在垂直高度上的變化關係，似乎尚待進一步的分析證實。

### 三、定量降雨模式之校驗

參考王等(1983)之平均法，李和沈(2001)採用 1989-1999 年歷史侵台颱風(共計 40 個颱風)相關資料

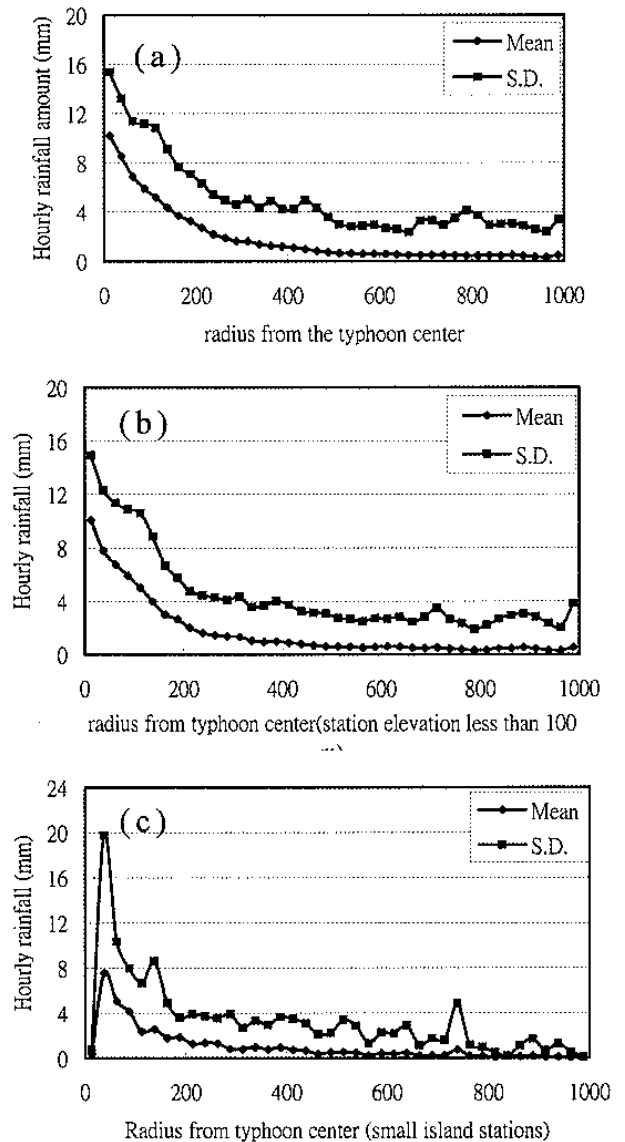


圖 1：颱風降雨強度(時雨量)隨半徑之變化。圖(a)為 371 個雨量站；(b)為海拔高度低於 100 公尺的測站；(c)為島嶼測站。

，針對台灣七個主要流域或某一測站，建立一颱風降雨氣候模式。為使模式具實用價值，另採用 Barnes (1973)客觀分析法修勻結果並內插至  $1 \times 1$  網格。利用此模式與中央氣象局所預報之 24 小時路徑資料，可提供颱風侵台期間各測站逐時雨量。本研究則繼續上述研究，但所採用資料則擴展至 1989-2001 年(58 個颱風)。

本文之目的在校驗模式的系統性誤差，以方便使用者瞭解模式的整體表現。校驗的方法則用線性迴歸(沒有截距)計算斜率(slope)或趨勢(trend) (Mao et al. 2000)及  $R^2$  值(Wilk 1995; Mao et al. 2003)；即設定

$Y=AX$ ，其中  $Y$  為模式輸出值， $X$  為觀測值， $A$  為趨勢。一般而言，趨勢小於 1，表示模式低估，趨勢大於 1，則模式高估，趨勢接近於 1，表示模式結果十分接近於觀測值。 $R^2$  是表示模式與觀測結果線性相關的程度， $R^2$  增加，越接近於 1，表示模式與觀測值線性相關程度越高。

本研究已完成全台 32 個流域及 371 個雨量站之颱風降雨潛勢圖(李和沈, 2001)；由於測站數和流域數相當多，故本文僅以全部 371 個雨量站、淡水河流域(測站)及高屏溪流域(測站)為例說明。採用之颱風路徑為中央氣象局之最佳路徑。圖 2 為颱風降雨氣候模式預估 1989~2001 年颱風期間，測站總累積雨量與觀測值之散佈圖，左圖取所有 371 個測站，右圖則為僅取海拔高度低於 100m 測站。結果顯示，取海拔低於 100m 測站之結果與取全部測站者幾乎一致，僅  $R^2$  值稍高 (0.64 vs. 0.61)。然而，0.64 和 0.61 之  $R^2$  值反應了相當大的個案變化，即氣候模式僅能代表平均狀況，而無法估計個案的差異；再者，趨勢值僅 0.69，表示氣候模式有明顯低估的情形。(另外作者亦計算“Bias”，即所有颱風所有測站模式輸出總和除以觀測總和，其值為 0.91)。

圖 3 則僅考慮淡水河流域平均(左)和個別測站(右)之結果；淡水河流域平均之趨勢與  $R^2$  值分別為 0.68 及 0.62，與圖 2 相當接近，顯示模式在淡水河流域平均亦為低估。至於淡水河流域 53 個測站降雨之趨勢與  $R^2$  值，分別為 0.63 及 0.50；此結果顯示氣候模式在預估淡水河流域流域平均而言，較個別測站表現為優。相對而言，模式對高屏溪流域平均則為高估(圖 4 左，趨勢為 1.28)，但對個別測站仍為低估(圖 4 右)，但趨勢值(0.77)較淡水河者稍高。整體而言，高屏溪的  $R^2$  值稍高於淡水河流域，且模式低估之情形不如淡水河者嚴重；再者，考慮流域平均時，模式之表現較個別測站時為佳。

之前的討論，均以整個颱風時段為考量，但以防救災觀點而言，0-3 小時之預報對下游防洪及土石流預警之迫切性更高，故以每 3 小時為評估時段(圖 5)。結果顯示，淡水河流域個別測站之趨勢與  $R^2$  值分別為 0.47 及 0.28，而高屏溪流域則為 0.51 和 0.33。此結果顯示模式的表現，整體颱風時段較 3 小時者為佳；此外，高屏溪的表現較淡水河為佳。此外，為瞭解氣候模式對不同時段雨量之掌握能力，圖 6 顯示 3, 6, 9...24 小時及整體時段，氣候模式估計雨量與觀測值之  $R^2$

值。結果顯示，隨著預估時段之增加，模式預估值與觀測值的線性相關越強；此外， $R^2$  值由 3 小時至 9 小時時段之增加趨勢最為明顯，此結果似指出，9 小時似為一較穩定的預估時段。

最後，必需注意氣候模式僅反應平均颱風狀況，無法掌握個別颱風或颱風中雨帶的影響。由於颱風中之強降水常為雨帶所導致，故值得考慮持續法之可應用程度，及其與氣候模式之相對表現。表一為針對淡水河流域平均降雨及高屏溪流域平均降雨，應用持續法預估未來降雨與觀測雨量之  $R^2$  值，即為取過去 1、3、6 小時平均雨量為持續值，預估未來 0-1, 0-3, 4-6, 7-9, 10-12, 13-15, 16-18, 19-21, 21-24 小時時段的雨量，並將所預估之資料與觀測值做相關係數分析。

結果顯示，持續值選取方面，取過去 1 小時較取 3 小時為佳，而 3 小時又較 6 小時為佳，當考慮之雨量變大時，相關係數很快下降；以淡水河為例，過去 1 小時雨量與未來 1 小時之雨量之相關係數達 0.83，但取時雨量大於 1mm 時，相關係數降為 0.73，若取時雨量大於 10mm，相關係數僅 0.22。需注意，由於目前所取資料時段為颱風警報期間，而很可能該區域有相當多時段未受颱風影響，故雨量皆為 0，導致相關係數偏高；故取時雨量大於 1mm 或 3mm 應較合理。在預報時段而言，未來 0-1 小時及 0-3 小時均較 4-6 小時及之後預報時段為佳。當取時雨量大於 1mm 時，淡水河流域在 9 小時後之相關係數皆為 0.3 以下；而高屏溪流域則在 6 小時後即降至 0.1 左右；亦即持續法僅可用於約 6 小時以內。此外，在應用持續法時，淡水河流域較高屏溪流域表現為佳，此似乎反應了區域的特性。

#### 四、結論

一般而言，隨著距離颱風中心越近，雨量越大；本文分析結果顯示，降雨多集中於颱風半徑 250 公里以內的地方。再者考慮海拔 100 公尺以下測站的結果，與考慮全部測站者相當接近。但若僅考慮島嶼測站，則時雨量顯著降低，但與 Frank (1977) 者相當接近；因此，地形在降雨上應扮演相當重要角色，至於僅考慮海拔低於 100m 測站與全部測站結果幾乎相同，很可能是迎風舉升和背風下沉作用互相抵消的結果；此論點可由測站海拔低於 100m 之較低標準差得到部份驗證。

在評估氣候模式方面，可歸納成四點：(1)針對全台 371 個雨量站，其趨勢與  $R^2$  分別為 0.68 與 0.61；(2)整

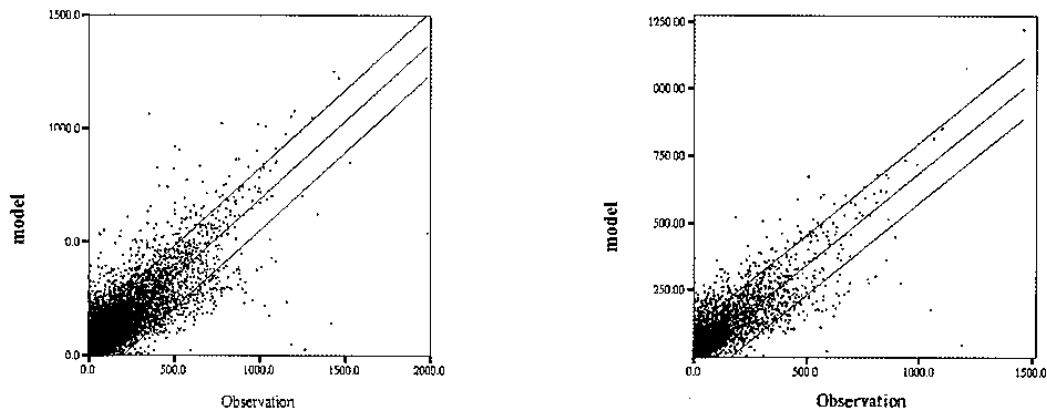


圖 2. 颱風降雨氣候模式預估 1989~2001 颱風期間總累積雨量與觀測雨量(單位為公厘)之散佈圖，中間線為迴歸線，兩側為 95% 信任區間線。左圖為 371 站( $y=0.69X$ ； $R^2=0.61$ )；右圖為高度小於 100 公尺之測站( $y=0.69X$ ； $R^2=0.64$ )。

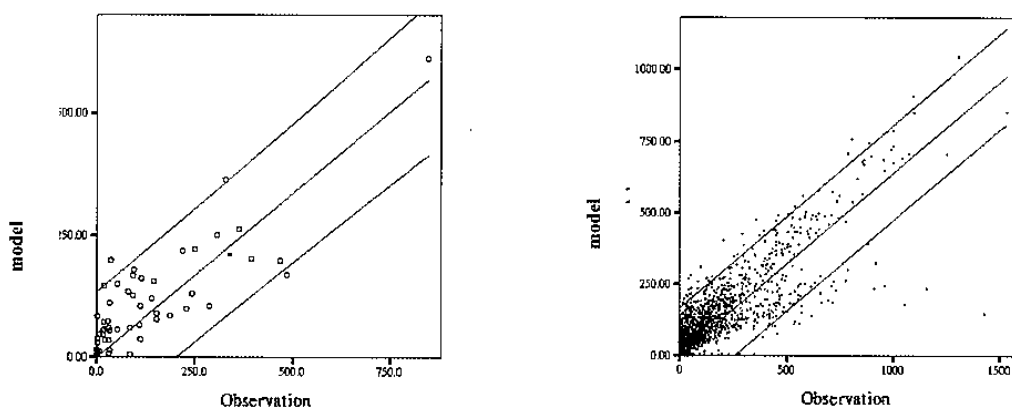


圖 3. 同圖 2，但分別為淡水河流域平均(左圖， $y=0.68X$ ； $R^2=0.62$ )及淡水河流域之 53 個個別測站(右圖， $y=0.63X$ ； $R^2=0.50$ )。

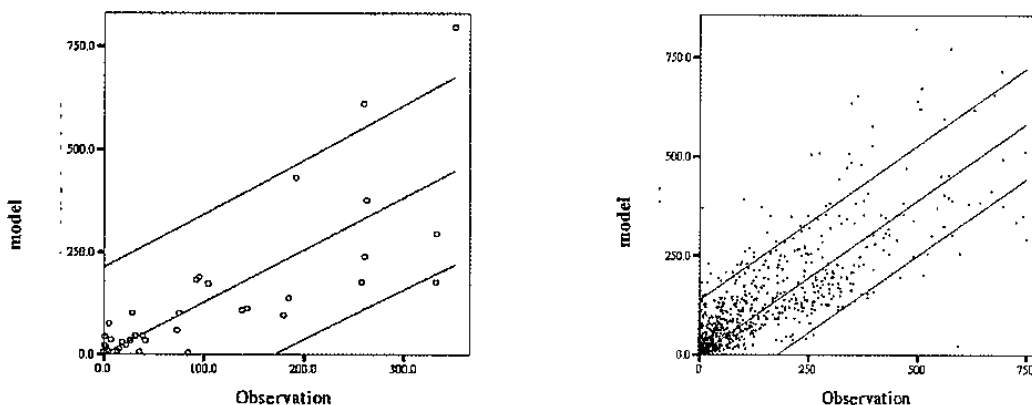


圖 4. 同圖 2，但分別為高屏溪流域平均(左圖， $y=1.28X$ ； $R^2=0.63$ )及高屏溪流域之 29 個個別測站(右圖， $y=0.77X$ ； $R^2=0.58$ )。

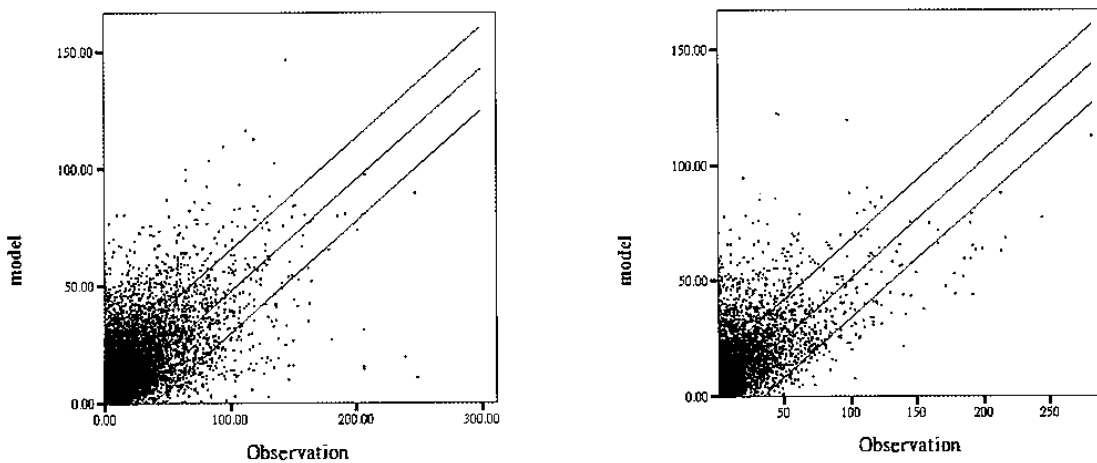


圖 5. 氣候模式預估颱風期間每 3 小時測站雨量與觀測值(單位為公厘)之散佈圖，中間線為迴歸線，兩側為 95%信任區間線。左圖為淡水河流域之 53 個測站( $y=0.47X$ ;  $R^2=0.28$ )；右圖為高屏溪之 29 個測站( $y=0.51X$ ;  $R^2=0.33$ )。

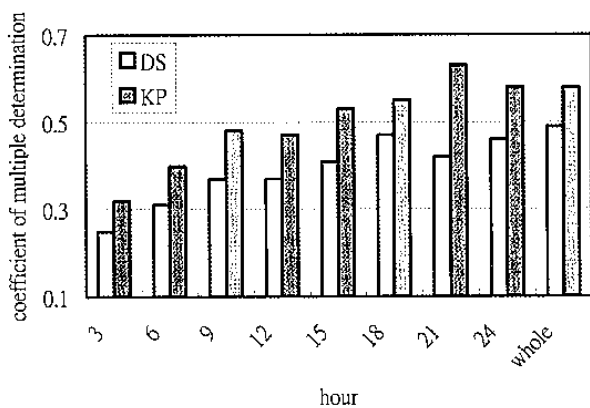


圖 6. 氣候模式所預估之不同時段(橫軸，分別為 3 小時、6 小時、9 小時...及全部颱風期間)雨量和觀測值之  $R^2$  值，白色代表淡水河流域之單站，黑色代表高屏溪流域之單站。

體而言，高屏溪的表現較淡水河為佳；(3) 以  $R^2$  的表現而言，整體流域較單站為佳，即模式值與觀測值線性相關較高；(4) 隨著預報時段的增加， $R^2$  亦增加，預報表現越好；此外，以防救災的觀點，9 小時預報時段代替整體預報時段，是一不錯的選擇。

在持續法預報線性相關分析方面可歸納成三點：(1) 在持續值選取方面，以過去 1 小時較 3 小時為佳，3 小時又較 6 小時為佳，(2) 在預報時段方面，未來 0-1 及 0-3 小時均較其他時段為佳，即持續法一般僅能用在未來 6 小時內，(3) 淡水河流域較高屏溪表現佳。

## 五、致謝

感謝傅啓華先生、翁進登先生及黃琬鈺小姐協助

資料處理與文稿整理；本研究在國家科學委員會支援下完成，計畫編號分別為 NSC91-2625-Z-002-040；NSC91-2625-Z002-039；NSC91-2111-M-002-016。

## 參考文獻

- Barnes, S. L., 1973: Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations. NOAA Tech. Memo. ERL NSSL-62, National Severe Storms Lab., Norman OK 73069, 60pp.
- Frank, W. M., 1977, "The structure and energetics of the tropical cyclone," I. Storm structure. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1119-1150.
- Gray, W. M., 1981, "Recent advances on tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis," World Meteorological Organization, Geneva, 407pp.
- Mao, Q., S. F. Mueller, and H. M. H. Juang, 2000: Quantitative precipitation forecasting for the Tennessee and Cumberland River watershed using the NCEP Regional Spectral Model. *Wea. Forecasting*, 15, 29-45.
- Marks, F. D., 1985: Evolution of the structure of precipitation in hurricane Allen(1980). *Mon. Wea. Rev.*, 113, 909-930.
- 王時鼎、陳泰然、謝信良，1983，"台灣颱風降雨特性及其預報研究(一)"，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，72-13 號，54 頁。
- 李清勝，1997，"侵台颱風伴隨降水特性分析"，交通部中央氣象局委計畫報告，CWB-86-2M-03 號，37 頁。
- 李清勝，沈鴻禧，2001: 侵台颱風定暈降雨模式之建立。九十年天氣分析與預報研討會，台北市，中央氣象局，p8-17。
- 謝信良、王時鼎、陳泰然與葉天降，1998：百年侵台颱風路徑圖集。中央氣象局。
- 魏元恆、謝信良與林民生，1972：颱風特性與台灣雨量之研究。氣象學報，17，1-17。

表一：淡水河流域(上)和高屏溪流域(下)之流域降雨持續性分析表，表中表示以過去 1、3 和 6 小時平均雨量代表持續雨量值，和未來 0~1, 0~3, 4~6...22~24 小時雨量之相關係數。All 表示取所有雨量資料，> 1mm 表僅取時雨量大於 1mm 之資料，餘類推。

淡水河流域		未來預估時段								
		0~1	0~3	4~6	7~9	10~12	13~15	16~18	19~21	22~24
過去一小時平均雨量為持續值	all case	0.83	0.81	0.64	0.51	0.44	0.38	0.34	0.3	0.21
	> 1 mm	0.73	0.7	0.48	0.31	0.23	0.17	0.14	0.14	0.05
	> 3mm	0.64	0.61	0.33	0.16	0.08	0	-0.06	-0.09	-0.2
	> 5mm	0.55	0.51	0.18	0	-0.09	-0.16	-0.24	-0.26	-0.37
	> 10mm	0.22	0.15	-0.27	-0.45	-0.53	-0.53	-0.58	-0.57	-0.64
過去三小時平均雨量為持續值	all case	0.81	0.8	0.64	0.53	0.46	0.4	0.36	0.3	0.18
	> 1 mm	0.7	0.69	0.45	0.33	0.23	0.18	0.14	0.13	0
	> 3mm	0.61	0.59	0.33	0.18	0.09	0.01	-0.05	-0.11	-0.25
	> 5mm	0.51	0.47	0.16	0.01	-0.1	-0.17	-0.24	-0.28	-0.44
	> 10mm	0.16	0.04	-0.34	-0.49	-0.56	-0.56	-0.58	-0.59	-0.7
過去六小時平均雨量為持續值	all case	0.76	0.76	0.62	0.53	0.47	0.41	0.35	0.26	0.16
	> 1 mm	0.63	0.62	0.42	0.3	0.22	0.16	0.15	0.08	-0.07
	> 3mm	0.53	0.52	0.3	0.17	0.08	0.01	-0.06	-0.17	-0.29
	> 5mm	0.4	0.37	0.12	-0.01	-0.11	-0.19	-0.25	-0.35	-0.48
	> 10mm	-0.01	-0.14	-0.42	-0.51	-0.53	-0.55	-0.57	-0.66	-0.78

高屏溪流域		0~1	0~3	4~6	7~9	10~12	13~15	16~18	19~21	22~24
過去一小時平均雨量為持續值	all case	0.77	0.69	0.3	0.13	0.13	0.12	0.1	0.06	0.05
	> 1 mm	0.81	0.74	0.42	0.09	0.1	0.03	0.03	-0.08	-0.12
	> 3mm	0.68	0.58	0.1	-0.09	-0.06	-0.05	-0.05	-0.09	-0.08
	> 5mm	0.66	0.55	0.05	-0.15	-0.12	-0.11	-0.1	-0.14	-0.12
	> 10mm	0.59	0.46	-0.09	-0.31	-0.27	-0.25	-0.24	-0.27	-0.24
過去三小時平均雨量為持續值	all case	0.69	0.62	0.24	0.13	0.13	0.13	0.09	0.06	0.05
	> 1 mm	0.74	0.67	0.31	0.12	0.09	0.02	-0.03	-0.13	-0.15
	> 3mm	0.58	0.48	0.01	-0.09	-0.06	-0.04	-0.06	-0.09	-0.08
	> 5mm	0.54	0.43	-0.05	-0.15	-0.12	-0.1	-0.12	-0.14	-0.13
	> 10mm	0.46	0.32	-0.22	-0.32	-0.29	-0.25	-0.26	-0.28	-0.25
過去六小時平均雨量為持續值	all case	0.55	0.48	0.2	0.14	0.14	0.12	0.08	0.06	0.05
	> 1 mm	0.64	0.53	0.26	0.12	0.08	0.01	-0.08	-0.15	-0.16
	> 3mm	0.39	0.28	-0.04	-0.09	-0.06	-0.06	-0.08	-0.09	-0.08
	> 5mm	0.34	0.22	-0.12	-0.15	-0.13	-0.12	-0.15	-0.15	-0.13
	> 10mm	0.22	0.06	-0.3	-0.33	-0.29	-0.27	-0.29	-0.29	-0.27