

簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究

(一) 預測方法與台北颱風降水之預測校驗

葉天降 吳石吉 謝信良

中央氣象局

(中華民國八十八年九月十七日收稿；中華民國八十八年十一月二十九日定稿)

摘 要

颱風降水預報是台灣地區天氣預報與災害防範作業中，最重要的工作項目之一，王等(1986)所謂平均法之預測結果，是中央氣象局在颱風降水預報作業裡，主要的客觀參考資料。本研究以1961至1996共36年更完整之颱風降水資料，校驗平均法在台北颱風降水預測之準確度，同時探討引用持續性於颱風降水預測之可行性。研究的結果顯示，平均法對颱風降水之預測有基本的參考價值，以西行颱風為例，時降水量預測值與觀測值間之相關係數(R_{xy})為0.42，均方根誤差(R_{ms})為3.75mm/h，而對24小時以內之累積降水量預測結果之 R_{xy} 值都在0.49以上，平均時降水量 R_{ms} 值都在3.01mm/h以下，如6/12/24小時累積降水量預測結果之 R_{xy} 值為0.56/0.59/0.42， R_{ms} 值為2.67/2.36/2.15。但平均法預測則對颱風較大降水個案明顯低估，以持續法預測颱風降水，主要只能改善較短時距之預測，對大於六小時以上時距之預測結果，基本上都較以平均法之預測結果為差。

我們進一步綜合平均法與持續法，發展所謂差異持續法與比差法。由台北颱風降水預測結果之校驗顯示，此兩方法能改善對颱風較大降水之預測能力，提高 R_{xy} 值也不致使 R_{ms} 值明顯增加。以西行颱風為例，對3/6/12/18小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值已可分別提高為0.61/0.61/0.62/0.54，而對3/6/12/18小時累積降水達到25/75/150/200mm較大降水之公正預兆指數值(Equitable Threat Score)則可達0.22/0.23/0.25/0.22，對18小時以內之累積降水量預測已有作業參考價值。對北行颱風，由於多數資料個案位於較南方，在台北地區降水較小，使各預測方法之預測準確度降低，但仍顯示差異持續法與比差法能改進平均法對颱風較大降水低估的情形。

關鍵詞：颱風、降水預測

一、前言

LaPenta et al.(1995)引用美國氣象局之統計資料指出，水災是美國所有氣象災害中，造成人員死亡最多的災害，其於 1960 至 1989 年間平均每年造成約 140 人死亡，而所造成之財物損失平均每年高達 30 億美元。他們進一步對造成美東地區之最嚴重水災做統計，發現較北偏內陸地區，水災之造成原因主要是由於鋒面與氣旋所引致；而在大西洋沿岸地區，除了鋒面與氣旋外，熱帶氣旋與熱帶性天氣系統所造成之水災逐漸佔比較大比率，尤其是愈往南部，熱帶氣旋所引致之水災，成為此地區最嚴重的災情。

在西北太平洋，熱帶氣旋發生的頻率與強度，較西北大西洋地區者更多與更強烈，因此東亞太平洋沿岸地區受熱帶氣旋之威脅較美國東岸地區更為明顯。如在台灣地區，每年平均約遭受 3.7 個颱風侵襲，而從 1911 至 1959 年間則共有 20 幾個颱風，夾帶日雨量超過 700mm 之豪雨，人員死亡的數目從 1897 年至 1959 年平均每年約 97 人，房屋全毀之數目平均每年約 4900 棟(廖 1960)。另外徐(1971)也發現，在 1907 至 1970 年間台北地區 108 個大於 100mm 日雨量之個案中，有百分之 59 的個案是由颱風所造成。近年由於有較完整之觀測、預報與防範設施，因颱風侵襲所引致人員死亡與房舍毀損情形已較 1960 年前有許多改善，但颱風仍然是造成台灣地區最主要之氣象災害(謝 1986)，如 1996 年賀伯(Herb)颱風即在台灣地區造成豪雨，淹水面積達 34,677 公頃，造成 51 人死亡、22 人失蹤，僅農業一項損失即達 199 億元(林 1998)。

對颱風之作業預報，以往多以路徑和強度

預報為主，尤其是對路徑之預報，有許多較成熟的客觀模式可提供預報作業應用。在颱風強度預報方面，則為近來普遍受到重視與討論的課題(見 Elsberry et al. 1992)，除了研究颱風之可能最大強度以及各種因素對颱風強度之影響外，也有各種統計模式(如 Jarvinen and Neumann 1979; Chu 1994; DeMaria and Kaplan 1994; Fitzpatrick 1997)嘗試提供客觀預測資料供預報作業參考。而動力數值模式(如 Liu et al. 1997)則顯示有潛力可以進一步改善後被引用於颱風之強度預報。對颱風降水方面 Chen(1995)曾此做綜合介紹，由他的報告可見，雖然有許多文獻針對颱風降水做研究，但國外現今專門針對颱風降水作業預報之討論則相當少。事實上，如美國專門負責颱風預報的單位包括美國熱帶預報中心(Tropical Prediction Center)與美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center)都沒有針對颱風降水做預報，也沒有報導專門針對颱風時之降水預報準確性做校驗。相反的，在台灣地區針對颱風降水預報的問題，一向都受到作業與研究單位之重視，尤其是在 1963 年葛樂禮颱風(Gloria)在台灣北部與阿里山區降下超過 1,500mm 之豪雨造成嚴重災情(見臧 1963)後，相繼有許多學者嘗試發展更有效的客觀方法以進行颱風降水量之預報。

廖與徐(1961)曾引用可降水量之計算與實際觀測所得 64 年日雨量資料，來推估淡水河流域之最大暴雨量，不過他們的方法並不能用來推估一颱風來襲時之最可能降水量。林(1968)則嘗試用判別解析法來推估颱風降水量，不過他的方法只能判別全省平均雨量是否大於 100mm，未能對不同地區做更定量與更詳細之降水分布預測。

魏等(1971)首先對台灣地區颱風來襲時之

降水量有較完整之整理，他們以 1956 至 1969 共 14 年間總計 54 個侵台颱風依其移動路徑分為八大類，而後將所選取之雨量測站資料，經統計得到各大類颱風在台灣地區平均日雨量之分布。隨後魏等(1972)進一步擴充資料使含 20 年，共 65 個颱風，並由 37 個雨量站資料擴充為 100 個雨量站資料。從他們的分類統計結果可見，不同移動路徑類別的颱風，在台灣地區降水量之分布有相當顯著的差異。對由東向西移動之颱風，若路徑偏北，主要之降水中心在桃竹苗山區與中部山區；若路徑偏南，主要之降水中心則在東南部地區。由南向北移動之颱風，若路徑在台灣東側，主要之降水中心在台灣之東側；若路徑在台灣西側，主要之降水中心則在中部山區。這種依路徑分類所得之平均日累積雨量分布，經吳與謝(1990)進一步推廣使其成為現今中央氣象局颱風降水預報作業中最基本的參考資料之一。

另一方面，戚等(1972)則嘗試引用比擬法從事颱風侵台之降水量預測，他們以中央氣象局所屬測站依地理位置劃分為北部、南部、東部、中西部及山地等五區域，並選取颱風中心之距離與方位、中心氣壓與暴風半徑、中心氣壓變率、中心移動速度、鄂霍次克海之氣壓指數、東亞極槽之位置與深度、台北西北方及東北方之氣壓梯度、以及大氣水汽含量等八個預測因子，各別分析這些預測因子與各地區颱風六小時平均降水量間之關係。他們研究的結果顯示，各預測因子中，以中心距離與方位對颱風降水量的影響最密切。

吳與戚(1973)進一步擴充戚等(1972)所整理的資料，再加入高空風向、風速以及混合比等三項預測因子，並透過“邊洞卡”之設計，供預報作業應用。而從他們之研究結果也同樣

顯示，在以上眾多颱風降水量的預測因子中，是以颱風中心與預測地區間之距離及方位為最基本因子，台北西北及東北向之氣壓梯度為輔助因子，其餘皆為次要因子。其中，尤其是針對颱風中心之距離與方位，吳與戚(1973)進一步以鞍部及阿里山兩地之降水分析發現，若六小時累積降水量以颱風中心所在之經緯度做區域平均，則依此區域平均之降水量預測值與實際觀測值間之相關性很明顯。

前述區域平均法，被吳等(1981)進一步引用於曾文水庫集水區在颱風三小時累積降水量之預報。王等(1986)則進一步提高區域平均之水平解析度為每 0.5 經緯度，並將颱風依其移動路徑劃分為西進與北進兩大類，分別建立不同地區之時降水量區域平均值，以做為這些地區颱風降水時降水量之預報。此外，他們除了直接引用降水量做成區域平均值以為預報，也進一步嘗試用颱風中心之最大風速值做標準化（時降水量除以中心最大風速），得到其比值後再應用此比值之區域平均，做颱風降水量預報，他們稱之為比值法。他們的作法也是經吳與謝(1990)之推廣後成為現今年中央氣象局在颱風降水預報作業中主要參考資料之一。

王等(1986)之分析也顯示在一般情況下，比值法之預測結果並未比區域平均法之預測結果為佳，他們認為可能因為颱風降水除颱風中心最大風速對降水有影響外，其它因素也可能有所影響。對於其它因素之影響，徐(1971)即曾經應用颱風之平均移速與中心氣壓值等來估計台灣北部地區颱風日累積降水量；魏等(1972)則嘗試以颱風之中心氣壓值和中心最近距離，配合路徑分類與迴歸方程來預測颱風可能造成之最大日雨量；另外陳等(1992)則進一步引用包括日序、颱風移向、七級風暴風半徑、颱風相對

於測站之方位角等九項基本自變數，透過複迴歸分析發展颱風時雨量與六小時累積雨量之預測模式。不過由陳等(1992)之校驗結果顯示，總體而言，引進更多之預測因子，透過迴歸分析所得之預測方法，其預測準確率並未較簡單之區域平均法之預測結果有明顯之改進。

綜合而言，颱風所引致之水災是許多地區最主要的天氣災害。在台灣地區由於有高聳山脈，颱風來襲時之豪雨更為明顯，日降水量往往可達 500mm 以上，更有數個颱風來襲曾造成超過 1,000mm 之累積降水量。經過數十年之研發，依路徑分類之累積降水量分佈，以及所謂區域平均法（簡稱平均法）與比值法是目前中央氣象局所採用之客觀颱風降水預測模式，配合如東北季風共伴和其它降水偏多或偏少等綜觀天氣型態分類之研判，與依衛星雷達估計進行主觀之修正完成颱風降水之預報(吳與謝 1990；陳等 1992；中央氣象局 1997)。王等(1986)與陳等(1992)曾對平均法與比值法之預測誤差做檢驗，不過由於當時資料與計算環境之限制，其所檢驗之個案數與降水預測之地區並不十分完整。本文主要之目的在引用更完整的觀測資料，以平均法為基礎，同時嘗試持續性應用於降水之預測，詳細的校驗這些方法在台灣地區颱風降水預測之預測準確度，使能對台灣地區颱風降水預測有進一步了解，而由此統計平均之結果也可做為比較其他預測方法是否有預測技術(skill)之參考。於後第二章將進一步說明所用之資料與預測校驗方法，第三章討論時降水量預測，第四章討論累積降水量預測，最後是結論。

二、資料與平均法

本文主要引用中央氣象局台北測站在颱風影響期間所觀測之時降水量資料，資料含蓋期限自 1961 年開始至 1996 年，共 36 年。颱風之定位資料則是引用美軍聯合颱風警報中心每六小時定位之最佳路徑資料，經線性內差至每小時之定位。討論之降水預報範圍主要是颱風中心位於 17°N 至 30°N ， 117°E 至 127°E 之間，若以西行之颱風為例，颱風中心進入東側邊界時大致是尙離台灣東岸 5 經度左右，以 18km/h 行進速度估計，中心登陸大致在一天之後。

圖 1 繪示在此 36 年間，在台灣附近之颱風移動路徑，其中主要是依據謝等(1998)之分類，圖 1a 包含他們所謂路徑主類別為 1,2,3,4,5 及 0 類中之第 1,2 與 3 小類之颱風，他們稱之為西行颱風。圖 1b 則包含路徑主類別 6,7 及 0 類中之第 4,5 與 6 小類之颱風，其特性為颱風由東向西移動後轉北，我們將稱之為轉向颱風。圖 1c 則包含路徑主類別 8 及 9 之颱風，其特性為颱風主要有由西向東移動之分量，我們將其稱之為東行颱風。對此三類颱風中，曾發生於所討論之範圍與期間的以西行颱風之個數 101 為最多，東行颱風之個數 22 為較少，轉向颱風則有 39 個。而為與謝等(1998)一致，於後將轉向與東行颱風合併，稱之為北行颱風，總颱風個案數為 61。

王等(1986)所發展之平均法，是以每 0.5 經緯度為單位，計算當颱風中心位於某一位置時，台灣地區某一地之平均降水量，以此平均值，做為對此地颱風之降水預測。而在計算平均值前，依颱風路徑分為西行與北行兩類。圖 2 為依每 0.5 經緯度為區分，計算颱風位於此範圍內之時數分布情形，以討論時降水量而言，相當於資料個案數之分布。由圖可見，在所選取

之範圍內，西行類颱風絕大部分地區之資料個案數皆大於 10，其中以台灣北部及北緯 20 度左右之資料個案數最多，最大值為 41。相反的，

其它兩類颱風則有許多地區資料個案數很少，尤其是東行颱風，主要之資料個案集中於南海經巴士海峽向東北延伸。

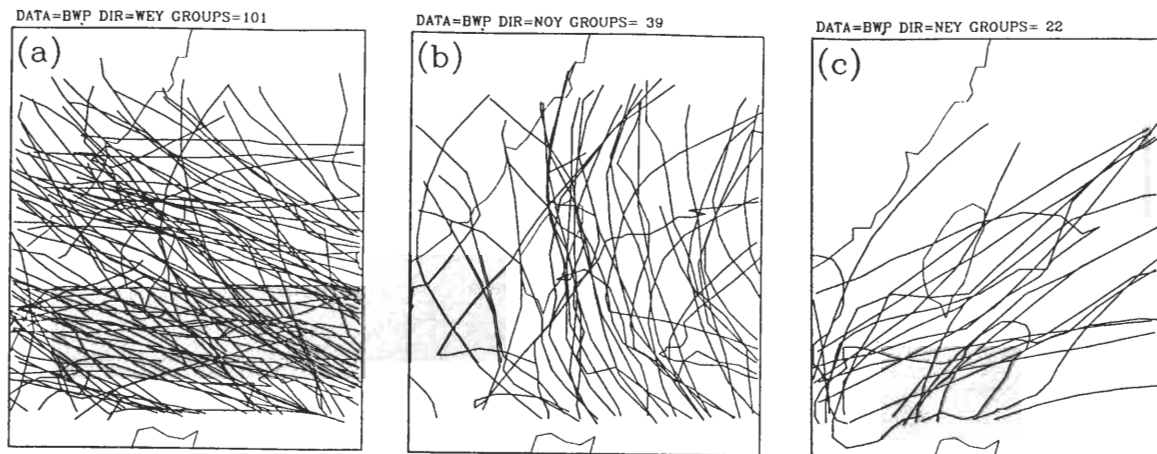


圖 1 1961 至 1996 年間在台灣附近(a)西行(b)轉向與(c)東行颱風之路徑。

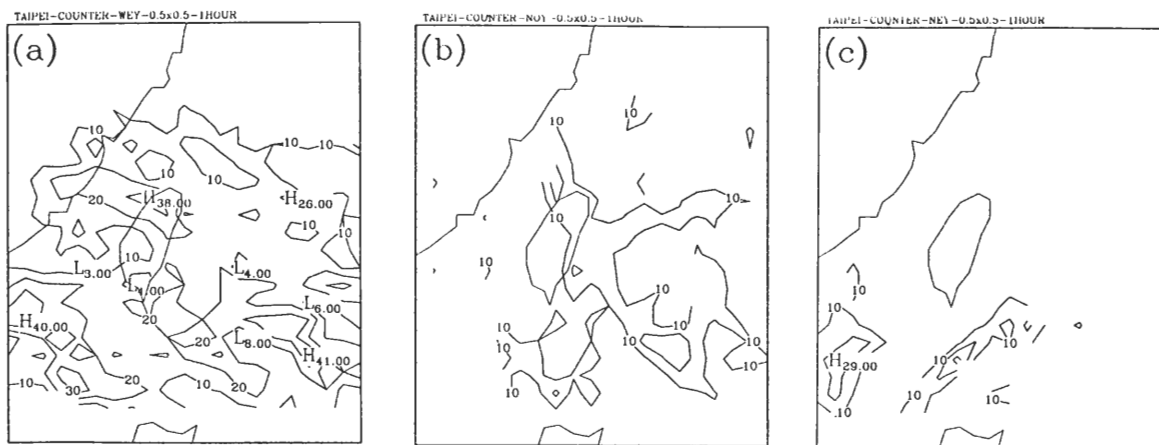


圖 2 相似於圖 1，唯為(a)西行(b)轉向與(c)東行颱風之時定位以 0.5 經緯度為區分所得個案數之分布(等值線距為 10)。

圖 3 為依平均法，對所有 101 個西行颱風 5,092 個時降水資料個案(簡稱 5,092 西行颱風資料個案)以 0.5 經緯度為單位，依颱風中心所在位置，計算而得之平均時降水量分布。由圖可見，平均而言當颱風中心位於台灣上空及台灣

東北部外海時，台北有比較明顯之降水，尤其是當颱風之中心位於宜蘭外海時，台北的降水最為明顯，平均約為 16.8mm/h。圖中靠近南方邊界處，有兩個非常局部性的大值，這主要是因為此處個案少，若有個案其降水量較特異時

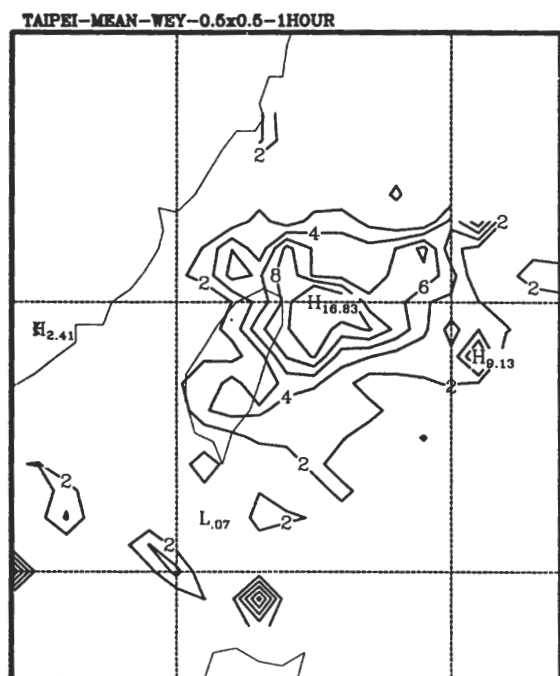


圖 3 對所有 5,092 西行颱風資料個案，依颱風中心所在位置，以每 0.5 經緯度為區分所得台北平均時降水量分布(等值線距為 2mm/h)。

所造成。以平均法進行颱風時降水量預測，主要是以類似於圖 3 之分布為基礎，不過對一颱風之降水進行預測時，須去除該颱風所有資料個案，因此對每一颱風之平均分布圖並不相同，也因如此，5,092 資料個案中有 15 個案無法以平均法做降水預測，因為在該 0.5 經緯度內僅有該一西行颱風。對其它 5,077 個案，其預測降水量與實際觀測降水量間之均方根誤差(Rms)為 3.75mm/h。此 Rms 值雖不大，但實際上預測與觀測值間之相關係數並不高，只有 0.42，主要是 5,077 個案中有很大部分個案(2,143 個)之降水量皆很小(小於等於 2mm/h)，使得整體之 Rms 值不大，但進一步由預測值相對於觀測值之分布(圖 4)可見，因引用平均的關係，對較大降水

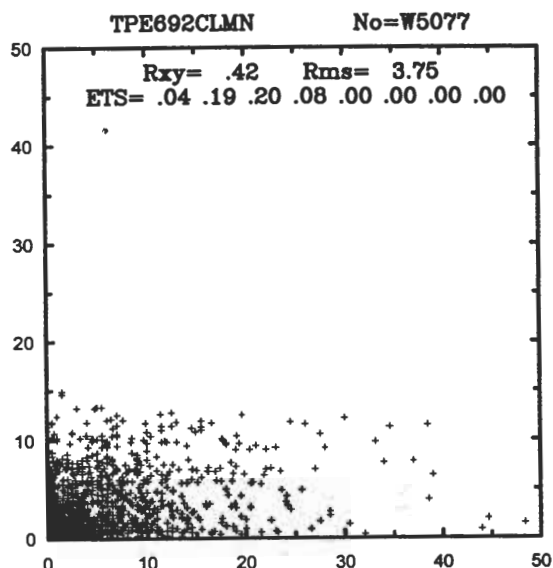


圖 4 以平均法對西行颱風台北時降水量(mm/h)之預測值(縱軸)相對於觀測值(橫軸)之分布。

的個案有明顯低估。若進一步計算降水預測之公正預兆指數(Equitable Threat Score，簡稱 ETS，見 Black1994 或葉 1998)，對分辨大於 0.1, 2, 5 與 10mm/h 降水量之 ETS 值分別為 0.04, 0.19, 0.20 與 0.08，這些值和葉(1998)所報告數值預報模式對台灣地區梅雨期 12 小時累積降水預測之 ETS 值相近而稍小。而對 187 個大於 15mm/h 降水量之預測則完全無技術，ETS 值為零。

三、颱風降水之持續性與應用於時降水量預測

陳等(1992)曾引用颱風過去降水量當做颱風降水預測迴歸模式中之一預測因子，雖然他們所發展的預測方法，其預測準確度並未較平均法有明顯改善，不過其未對颱風降水之持續性做單獨分析，值得進一步了解颱風降水之持

續性，以及了解採用持續性以做為颱風降水預測之可行性。圖 5 為對同一颱風，在台北各時間差的兩次時降水量間的相關係數、差之均方根、以及若在持續性之假設下做時降水量預測對分辨 10mm/h 降水量之 ETS 值(簡寫為 ETSi，表對較大降水之 ETS 值)。為方便討論起見，我們將引用表一類似於函數代號來表示特定之物理量。由圖 5 可見颱風時降水量之變化相當複雜，其 $R_{xy}(\text{PERS}, >12\text{H})$ 幾乎皆為零，亦即某一時降水量與和它相距 12 小時以上之另一時降水

量，兩者間之相關係數幾乎皆為零。 $\text{ETSi}(\text{PERS}, >12\text{H})$ 也幾乎為零，顯示以 12 小時或 12 小時以上之持續法做颱風時降水量預測並無參考價值。不過，當時距逐漸縮短時，持續性愈來愈高， $R_{xy}(\text{PERS}, 6\text{H})$ 雖仍只有 0.3 較 $R_{xy}(\text{CLMN}, x\text{H})$ 小，但 $\text{ETSi}(\text{PERS}, 6\text{H})$ 已和 $\text{ETSi}(\text{CLMN}, x\text{H})$ 相近。 $R_{xy}(\text{PERS}, 3\text{H})$ 則已提高至 0.4 和 $R_{xy}(\text{CLMN}, x\text{H})$ 相近，而 $\text{ETSi}(\text{PERS}, 3\text{H})$ 則已較 $\text{ETSi}(\text{CLMN}, x\text{H})$ 為高。時距為 2 小時與 1 小時之 R_{xy}/ETSi 值則分別為 0.48/0.19 與 0.59/0.25，顯示考慮持續性在颱風降水之預測仍有可取之處，尤其是對短時段之預測。

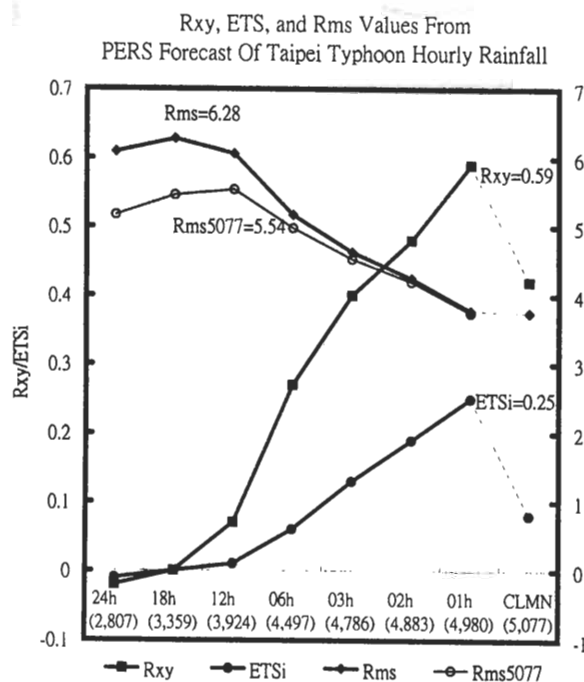


圖 5 相距 24 小時(24h)、18 小時(18h)與 12 小時(12h)等不同時距(橫軸)兩台北颱風時降水量間之相關係數(R_{xy})、差之均方根(R_{ms} ，右縱軸，單位為 mm/h)與引用持續性為降水量預報時對研判 10mm/h 降水之預測 ETSi 值。各個案數列於橫軸附近之括號內，以平均法預測(CLMN)之各數值列於圖之最右側， R_{xy} 、 R_{ms} 、ETSi 與 R_{ms5077} 之最大值則標示於各分布點附近。 R_{ms5077} 之說明見文。

表一 函數代號之形式與意義。

形式		數值 (預測方法, 預測時段, 分類)	
詳	數值	R_{xy}	表相關係數
		R_{ms}	表均方根誤差或差之均方根
		ETS	表分辨降水預報之公正預兆指數
		ETSi	則為分辨較大降水之 ETS 值
細	預測方法	CLMN	平均法
		PERS	持續法
		DEPR	差異持續法
		DEST	比差法
說	預測時段	nnH	表對該 nn 小時之時降水量預測，無特定時段以 xH 表示
		Ann	表對該 nn 時段累積降水量之預測
明	分類	簡略	表西行颱風
		W	表西行颱風
		N	表北行颱風

圖 5 中各項持續性討論之資料個案數並不等於總資料個案數 5,077，如時距為 24 小時之資料個案數只有 2,807 個，因為有許多個案並沒有個案發生前 24 小時之颱風時降水量可供應用。在實際預報作業時，無法用持續性做預測時，可引用平均法之預測結果，若以如此之做法，對 5,077 個資料個案做校驗，則其 ETSi 與 R_{xy}

值和前述僅包含持續性預測之結果相近，Rms 值(見圖 5 中之 Rms5077)則較僅針對 2,807 個案者稍小，尤其是對較長時距之預測更明顯，其原因是因為加入更多依平均法預測之結果，其 Rms 值較小。

由以上之資料顯示，以持續性做短時距的預測能較平均法之預測結果有稍許改進，但主要侷限於三小時之內的預測，而對時距為六小時或六小時以上之預測結果則較平均法之預測結果為差。從另一方面考慮，若一雨量較豐沛的颱風，其降水可能連續的都較平均法預測之降水為多，因此可以就其和平均法預測之差異量取代降水量，以觀察此種持續性之適用性，而此種方法預測颱風降水可簡稱之為差異持續法(DEPR, Deviation PeRsistence)。圖 6 比較差異持續法與持續法對 5,077 個案(當無法以持續性做預測時皆以平均法預測結果取代)之預測結果，由圖可見，除了對第一小時的預測結果外，DEPR 都較 PERS 好，改善的程度尤其是對第六小時以上的預測更明顯，如 Rms(PERS,>12H)原為 5.17 至 5.53mm/h 之間，Rms(DEPR,>12H)則減小為 4.55 至 4.87mm/h 之間；Rxy(PERS,>12H)原為 0.04 至 0.08 之間，Rxy(DEPR,>12H)則提高為 0.25 至 0.27 之間；ETSi(PERS,>12H)原為 0 至 0.02 之間，ETSi(DEPR,>12H)則已提高為 0.06 至 0.08 之間，已和 ETSi(CLMN,xH)相近，而 ETSi(DEPR,<6H)則皆大於 ETSi (CLMN,xH)。

在圖 6 中，另一種預報方法(DEST, DEviation STandardized)是基於颱風降水與平均值之差異並不成簡單的持續不改變，而是隨中心所在位置平均降水量之標準差呈正比的變化。換言之，如一較平均值降水多的颱風，從一

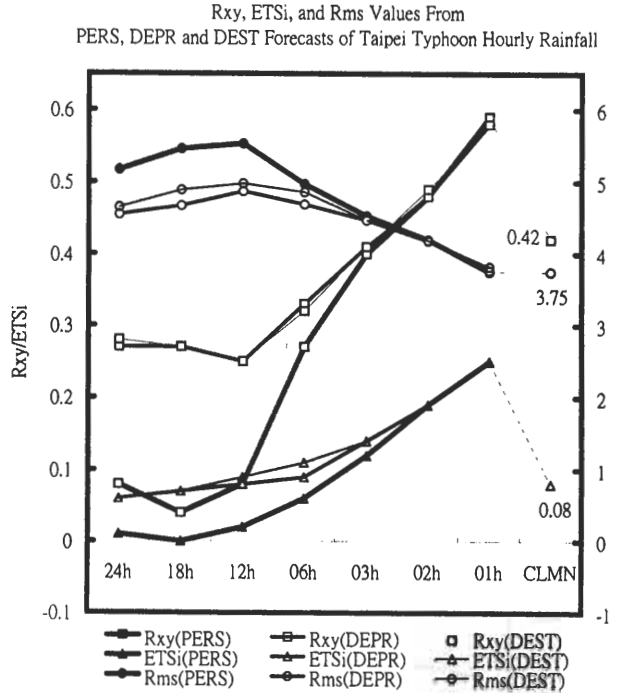


圖 6 以 PERS(最粗線)，DEPR 與 DEST(最細線)三預報方法預測台北颱風時降水量結果之 Rxy(方形)，ETSi(三角形)與 Rms(圓形，右縱軸，單位為 mm/h)值隨預測時距(橫軸，由左而右分別為 24, 18, 12, 6, 3, 2 與 1 小時)之分布。以平均法預測(CLMN)之各數值列於圖之最右側。

標準差較小處移至標準差較大處，其和平均值間之差異可能較原先大，這種作法類似於將差異做標準化，也和王等(1986)所謂比值法有相似之概念，唯比值法是以颱風中心最大風速為標準化，並且比值法是直接以降水量為處理對象，DEST 則是以與降水量平均值之差為處理對象，可將此法稱為比差法。從比差法與差異持續法兩預測結果比較可見，此兩種方法之預測結果僅有些微差異，如 Rxy(DEST,24H)為 0.28 和 Rxy(DEPR,24H)值 0.27 相近而稍好，但 Rms(DEST,24H)為 4.65 則較 Rms (DEPR,24H)值 4.55 稍大。

對北行颱風之時降水量預測情形，北行颱風之總資料個案數(3,731)較西行颱風資料個案數(5,092)為少，由平均法所得台北平均時降水量依北行颱風中心位置之分布情形(圖 7)可見北行颱風在台北所造成時降水量隨颱風中心位置之改變情形和西行颱風之情形(圖 3)相似，皆是在台灣東側偏北時有較大值。不過，北行颱風之平均時降水量較小，有影響之範圍也較小，超過 2mm/h 時降水量之區域明顯較西行颱風者為小，最大值則由 16.8mm/h 減為 11.0mm/h，較大降水區域則稍往東移。另外則是較大降水區域也發生在 26 度以北，此或與颱風在此區時引進之西南氣流有關。

以平均法對北行颱風 3,704 資料個案之時降水量預測結果(另 27 個案在其所在 0.5 經緯度單元內僅有該一颱風，無法以平均法預測)之 Rxy

值為 0.30，Rms 值為 3.27mm/h，ETSi 值為零，詳列於表二。表二也顯示以持續法預測北行颱風之時降水量和對西行颱風之情形相同，都使較長時段之降水預測結果較平均法之預測結果差，而對較短時段之降水預測結果則較平均法之預測結果好，如 Rxy(PERS,3H,N) 已由 Rxy(CLMN,xH,N) 之 0.30 提高至 0.37，而 ETSi(PERS,3H,N)也已達到 0.11。考慮差異持續 (DEPR) 能稍為提高對北行颱風時降水量之預測

表二 各方法對台北颱風時降水量預測結果之 Rxy, Rms 與 ETSi 值。

時段	方法	西行颱風			北行颱風		
		Rxy	Rms	ETSi	Rxy	Rms	ETSi
	CLMN	0.42	3.75	0.08	0.3	3.27	0
24	PERS	0.08	5.17	0.01	0.1	4.05	0.02
	DEPR	0.27	4.55	0.06	0.22	3.85	0.04
	DEST	0.28	4.65	0.06	0.17	4.88	0.05
18	PERS	0.04	5.46	0	0.09	4.3	0
	DEPR	0.27	4.67	0.07	0.17	4.19	0.02
	DEST	0.27	4.89	0.07	0.15	4.78	0.01
12	PERS	0.08	5.53	0.02	0.11	4.35	0.02
	DEPR	0.25	4.87	0.08	0.18	4.25	0.03
	DEST	0.25	4.98	0.09	0.17	4.51	0.03
6	PERS	0.27	4.97	0.06	0.22	4.21	0.05
	DEPR	0.33	4.69	0.09	0.25	4.14	0.06
	DEST	0.32	4.86	0.11	0.22	4.52	0.05
3	PERS	0.4	4.53	0.12	0.37	3.81	0.11
	DEPR	0.41	4.47	0.14	0.38	3.79	0.12
	DEST	0.41	4.47	0.14	0.36	3.96	0.12
2	PERS	0.48	4.2	0.19	0.44	3.61	0.12
	DEPR	0.48	4.18	0.19	0.44	3.61	0.15
	DEST	0.49	4.19	0.19	0.42	3.71	0.14
1	PERS	0.59	3.75	0.25	0.6	3.04	0.25
	DEPR	0.58	3.77	0.25	0.6	3.05	0.29
	DEST	0.58	3.82	0.25	0.59	3.12	0.27

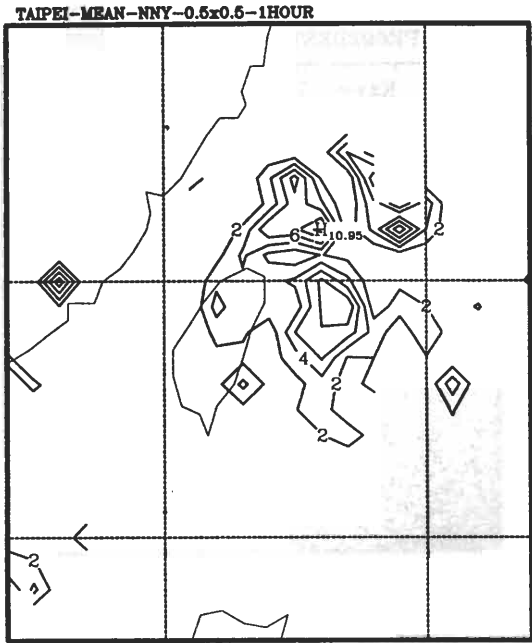


圖 7 相似於圖 3，唯為北行颱風之台北平均時降水量分布。(等值線距為 2mm/h)。

能力，以 24 小時之預測結果為例， R_{xy} 由持續法之 0.10 增加至 0.22， R_{ms} 則由 4.05mm/h 減少為 3.85mm/h。但比差法(DEST)對北行颱風時降水量之預測並未能再提高預測能力。以 24 小時之預測結果為例， R_{xy} 由差異持續法之 0.22 減少為 0.17， R_{ms} 則由 3.85mm/h 增加為 4.88mm/h。

和西行颱風之時降水量預測結果相比較，北行颱風之時降水量預測之 R_{xy} ， R_{ms} 與 $ETSi$ 值皆較小，其中 R_{ms} 值較小，主要是因為北行颱風在台北之平均降水量較西行颱風之平均降水量小的緣故。 R_{xy} 與 $ETSi$ 小則顯示預測能力較低。為了解此預測能力之降低是否和北行颱風含東行與轉向兩大類有關，乃進一步將北行颱風分為東行與轉向兩大類分別各自建立氣候平均場檢驗其預測結果。如此分離為兩大類的結果，使預測之能力更低，以 CLMN 方法而言，對東行 1,284 資料個案之 R_{xy} 值僅為 0.13， $ETSi$ 為零，不過 R_{ms} 變小為 2.52mm/h，主要是東行颱風之資料個案，大部分在台灣之西南與南部，其平均時降水量更小。對轉向 2,378 資料個案(北行颱風資料個案 3,704 較轉向與東行兩資料個案數之和稍多，是因為有些個案在分離為兩大類情況下無法以平均法預測)預測結果之 R_{xy} 值也僅為 0.27， R_{ms} 為 3.85mm/h， $ETSi$ 則為零。PERS 以及其它方法之預測結果(圖略)也都顯示進一步分離東行與轉向兩類颱風進行時降水量預測並不能提高台北颱風時降水量之預測能力。

四、累積降水量預測

由以上之資料顯示，以平均法進行颱風時

降水量預測之準確率並不理想，加入降水持續性之考慮除了在三小時內之預測外，其改善情況也相當有限。仔細的由 DEST 對第 12 小時之預測時降水量與觀測時降水量之分布(圖 8)可見，有許多個案之預測值相當大而偏高，此是以平均法預測(圖 4)所不會造成的，也因此使得圖 8 所列之資料分布較圖 4 者更零散， R_{xy} 值小而 R_{ms} 大。造成如圖 8 有些預測時降水量明顯偏大的原因，主要是由於在持續性之考慮下，當時降水量因某些因素減少時無法反應造成誤差。為減小此種情況所造成之誤差，我們曾再增加簡單檢驗的過程，以決定是否應該用比差修改平均法之預測結果，檢驗之過程是由同位於颱風預報所在位置之歷史個案中，計算這些個案在當時降水量比差與預報時段前降水量比差兩者之相關係數，若相關係數大於 0.3 則應用比差法，若相關係數小於負 0.3 則為負相關，以平均值減去比差所得值，若相關係數在 0.3 與負 0.3

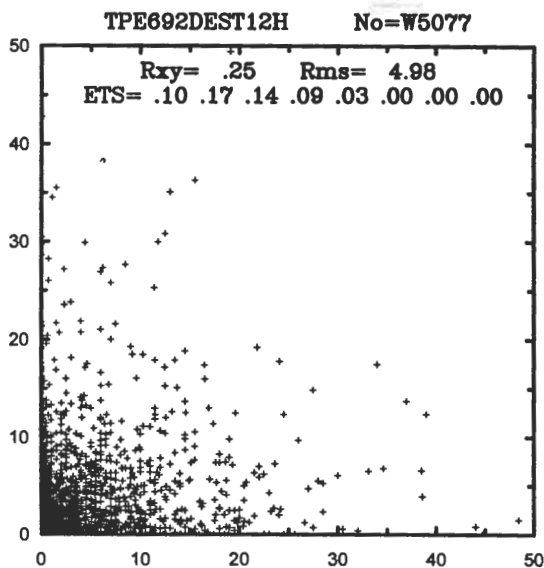


圖 8 相似於圖 4，唯為比差法(DEST)對第 12 小時時降水量(mm/h)預測值(縱軸)相對於觀測值(橫軸)之分布。

之間表相關性不明顯，直接採用平均法之預測結果。然而如此簡單檢驗之結果仍未較能有效改進預測。進一步觀察颱風在台北之時降水量，可發現其有相當明顯短週期之降水變化，如 1981 年 Maury 颱風(圖 9a)在 19 日 04UTC 至 12UTC 間，與 Herb(賀伯)颱風(圖 9b)在 31 日 06UTC 至 15UTC 間，都有非常明顯兩小時週期之變化，這使得定時定量之預測格外困難。

累積降水若其累積時段超過降水變化之週期，則有可能減少短週期降水變化不確定性之影響，而提高降水量預測之準確度。而以平均法進行累積降水之預測可以有兩種作法，一為王等(1986)颱風累積降水平均法，其是以時降水量為基礎建立平均值，累積降水量之計算是在颱風預測路徑決定後，依逐時路徑位置之降水平均值累計而得；另外，也可仿效建立時降水量平均值之方法，建立未來各時段之累積降水量平均值，而由此種累積降水量平均分布場，直接依颱風中心位置求得預測之累積降水量。

表三詳列此兩平均法預測颱風在台北 3, 6, 12, 18 與 24 小時累積降水量預測結果之 R_{xy} 、 R_{ms} 與 $ETSi$ 值，其中 $ETSi$ 值之降水分辨率是分別指在 3/6/12/18/24 小時內累積降水量達 25/75/150/200/200 mm 之較大降水量。而在應用王等(1986)逐時累計方法進行累積降水量預測校驗時，所需之颱風逐時預測位置是以實際觀測位置取代。由表可見，兩方法之預測結果相當近似，主要之差別是在對較長時段之累積降水，逐時累計方法之準確度稍高，但逐時累計方法在實際作業應用時，由於路徑預測將引進誤差而可能降低其準確度，其中又以對北行颱風路徑預測誤差較大(葉等 1998)，此或許與兩種

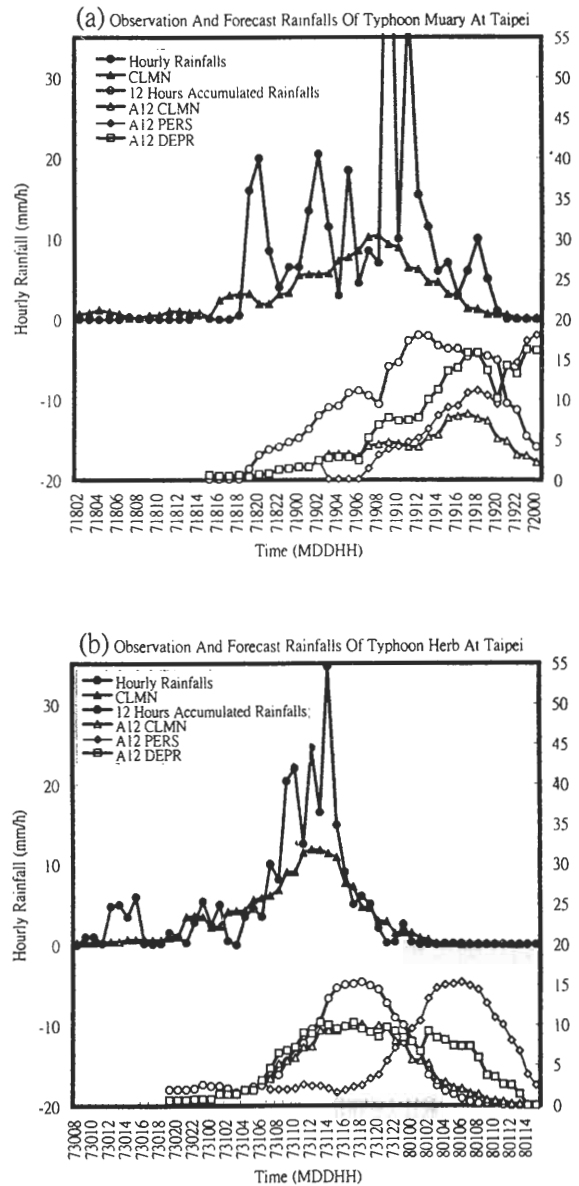


圖 9 (a) Maury 與(b)Herb 颱風在台北之時降水量與平均法對時降水之預測結果(上兩曲線，左軸，單位 mm/h)，以及 12 小時累積降水量與 CLMN, PERS, DEPR 三方法對 12 小時累積降水量之預測結果(下四曲線，右軸，單位 12mm，數值相當於平均時降水量)隨時間之分布。

表三 平均法預測累積降水量結果之 R_{xy} , R_{ms} 與 $ETSi$ 值，以及兩種不同平均法(詳見文)累積降水量預測結果 R_{xy} , R_{ms} 與 $ETSi$ 值之差異(dR_{xy} , dR_{ms} 與 $dETSi$)。 R_{ms} 與 dR_{ms} 之單位為 mm/h 。

類別	時段	R_{xy}	R_{ms}	$ETSi$	dR_{xy}	dR_{ms}	$dETSi$
西行 颱風	A3	0.51	3.01	0.16	0	-0.03	0.03
	A6	0.56	2.67	0	-0.01	0.01	0
	A12	0.59	2.36	0	-0.01	0.01	0
	A18	0.55	2.24	0	-0.04	0.06	0
	A24	0.49	2.15	0	-0.07	0.08	0
北行 颱風	A3	0.34	2.74	0.04	-0.03	0.04	0
	A6	0.37	2.39	0	-0.05	0.04	0
	A12	0.37	2.08	0	-0.11	0.08	0
	A18	0.35	1.95	0	-0.18	0.17	0
	A24	0.33	1.87	0	-0.25	0.23	-0.04

降水量預測結果對北行類颱風差異較大有關。為避免因路徑預測誤差所引進之不確定性，因此於後累積降水預測之討論，平均法是由建立未來各時段的累積降水量平均值，而由此累積降水量平均分布場直接依颱風中心位置求得預測之累積降水量，因此對颱風路徑預測之需求只需決定其類別，不需像逐時累計方法要颱風各時的詳細預測位置。

以西行颱風為例，由 3 至 24 各小時累積降水量預測之 R_{xy} 值都相當接近，分別在 0.49 至 0.6 之間，和以相同情況下平均法預測時降水量之 R_{xy} 值 0.42 相較，其值明顯增加； R_{ms} 值最大為 3.01 則較相同情況下平均法預測時降水量之 R_{ms} 值 3.75 為小。對北行颱風之累積降水量預測結果和時降水量預測結果之比較也有相似情形，累積降水量預測之 R_{xy} 值提高而 R_{ms} 值則降低，顯示時降水量要達到定時定量的預測，其困難度較高，而累積降水量則有平均的效果，能消除在短時矩內變化之不確定性，因此使預測之能力較時降水量預測之能力稍為提

高。若進一步比較不同時段之累積降水預測結果，也可見基本上愈長時段之累積降水預測之 R_{xy} 值愈大，而 R_{ms} 值則愈小，顯示平均的效果在較長時段的累積降水量上更明顯。

比較西行類颱風與北行類颱風在台北之累積降水量平均法預測結果可見，北行類颱風累積降水量預測之 R_{xy} 值與 R_{ms} 值皆較小，此和時降水量預測結果相似，其中 R_{ms} 值小可能和北行類颱風有比較多比例的資料個案其颱風中心位於較南方，在台北之降水量較小有關。若進一步將西行與北行颱風合併而不做分類時，對此合併總個案預測之 R_{xy} 與 R_{ms} 值大致是介於兩分類結果之間，而若以此不分類之平均場分別對西行與北行颱風做累積降水預測，在六小時累積降水方面對西行類之 R_{xy} 值增加 0.02， R_{ms} 則減少 0.03；對北行類， R_{xy} 值增加 0.08， R_{ms} 值則減少 0.01，兩者相似而未分類者稍好。在 24 小時累積降水方面對西行類之 R_{xy} 值減少 0.02， R_{ms} 則增加 0.01；對北行類， R_{xy} 值增加 0.01， R_{ms} 值也增加 0.05，兩者也相似而未分類者稍好。由此可見，由於平均法主要是以颱風中心所在位置為主要考量，颱風路徑分類所得之平均場雖有差異，但其差異和各類個案之標準差相較並不明顯，因此是否分類，其所得之結果並沒有太大差異，分類並不會明顯改進平均法預測誤差。相反的，如北行類颱風以分類平均場預測之結果，其 R_{xy} 值反而稍小，這或許和這一類颱風之資料個案數較少，而其中又包含轉向與東行兩類颱風有關。

以平均法預測颱風累積降水量雖 R_{xy} 值較預測時降水量之 R_{xy} 值提高，不過表三顯示其分辨較大累積降水之 $ETSi$ 值仍然幾乎是零，以西行 12 小時累積降水量之預測結果為例(圖

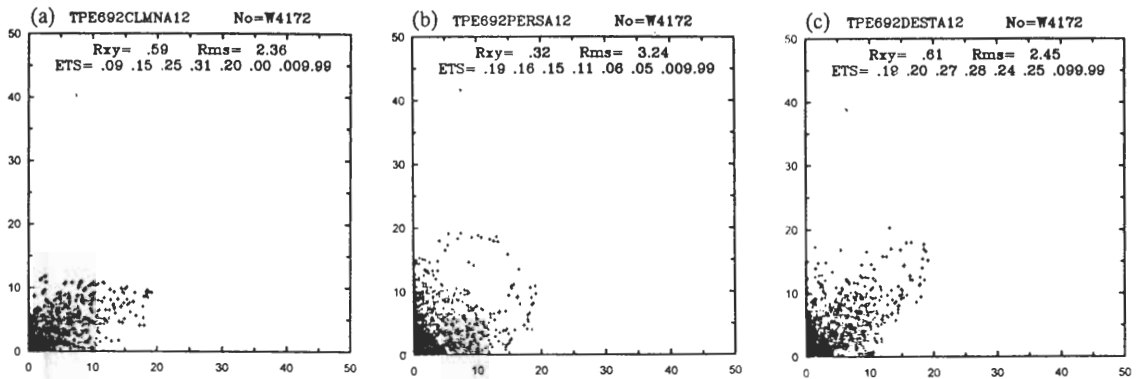


圖 10 (a)平均法(b)持續法與(c)比差法(DEST)對 12 小時累積降水量預測結果(縱軸)相對於觀測值(橫軸)之分布。單位為 12mm，數值相當於平均時降水量。

10a)，雖有更多個案在圖之對角線附近使相關係數為 0.59，但對於累積降水量大於 120mm(平均時降水量大於 10mm/h)之個案卻都明顯低估。對相同西行颱風之 12 小時累積降水量，若以持續法預測時，其結果如圖 10b。由圖可見兩種方法之預測結果有很大的不同，對於 12 小時累積降水量超過 120mm 之個案已有部分可由持續法正確預測，因此使 ETSi 值稍微增加。不過，持續法之預測結果較分散，並有許多個案預測值明顯高估，以致造成 Rxy 值較以平均法之預測結果 Rxy 值小，而 Rms 值則較大。其中，預測高估的原因主要有零星較大降水時，若用此較大值做往後持續的預測，則會出現明顯高估。在對不同時段累積降水量之比較上(圖 11)也可見持續法和平均法在預測結果之特性有很大不同。基本上，平均法隨累積時段之增長而有更明顯平均修勻的效果，使 Rxy 值增加；持續法預測結果之 Rxy 值則隨累積時段之增加而減少或維持。以西行颱風為例，Rxy(PERS,A03)值約為 0.60 較 Rxy(CLMN,A03)值 0.51 為大，Rxy(PERS,A06)降為 0.50 已較 Rxy(CLMN,A06)值 0.56 為小，而 Rxy(PERS, A12)、Rxy(PERS,A18)與 Rxy(PERS,A24)則已分別降

為 0.32、0.29 與 0.32，都較以平均法預測結果 Rxy 值在 0.47 以上為小。而其中，18 小時累積降水量預測結果較 24 小時累積降水量預測結果之誤差稍大，似乎顯示颱風降水 24 小時日變化之現象，較週期為 18 小時變化者為明顯。

從圖 9 可見，持續法主要是將降水之時間變化做平移，因此若較大降水持續時間不夠久或持續法所用時距較長時，預測與觀測兩降水曲線相重疊區域就會很少，以致造成較大預測誤差。DEPR 考慮與平均法差異之持續性，以圖 9 之 Maury 與 Herb 兩颱風之降水預測情形為例，在颱風主要降水發生前，降水量一般較小而和平均值接近，因此 DEPR 在主要降水階段之預測結果和 CLMN 方法之預測結果較接近而做一些修正，如先前降水量較平均值為多，則 DEPR 之預測值會較 CLMN 之預測結果為大，如 Maury 颱風此現象相當明顯，使預測結果較 CLMN 偏弱之結果為正確。在主要降水之後的預測，DEPR 預測結果則會較明顯的受持續性之影響，而對降水高估，然而其結果也會較 PERS 預測結果為好，因為 DEPR 是考慮與平均值差異量而非降水量之持續，因此高估之量較小。對所有個案累積降水預測之結果，DEPR 明顯

較 PERS 為好，對 3/6/12/18/24 小時累積降水之 Rxy 值，西行颱風為 0.61/0.61/0.60/0.52/0.44，北行颱風為 0.54/0.48/0.44/0.45/0.39，除對西行颱風 18 與 24 小時累積降水預測結果之 Rxy 值較平均法預測結果之 Rxy 值為小外，其它 Rxy 值都較平均法預測結果之 Rxy 值稍大。

表三顯示平均法預測結果中，對較大降水部分除了三小時累積降水外，皆有明顯低估的情形，沒有分辨能力。圖 11 顯示 PERS 對較大降水的分辨力已較平均法有稍許改善，DEPR 則能再進一步改善。對西行颱風 3/6/12/18/24 小時累積降水達 25/75/150/200/200 mm 之 ETSi 值為 0.22/0.23/0.27/0.12/0.04，如圖 10c 有更多較大降水預測正確的個案，相對於 CLMN 之預測結果有非常明顯之改善。對北行颱風，由於其降水量較小，三小時與六小時之累積降水達到較大降水之個案數也較少，因此 ETSi 值較不易顯示其改進情形，而由分辨 3/6/12/18/24 小時累積降水達 15/50/75/100/100 mm 累積降水之 ETSi 值則顯示其由原來 0.11/0.0/0.0/0.1/0.05 提高為 0.23/0.11/0.07/0.11/0.13，也有明顯改善。

圖 11 也顯示 DEST 之預測結果和 DEPR 接近，不過如在圖 9 之例，若較大降水量發生在颱風位於有較大降水變化之處，其標準差大，因此預測低估的現象可以有些改善，而在較大降水發生之後，一般颱風位於標準差也較小處，因此預測高估的現象也可以有些改善。不過如圖 11 顯示，整體而言改善不是特別明顯，主要侷限在西行颱風 12 小時以上之累積降水預測，其中較大之差異是對 18 小時累積降水之預測，其使 Rxy 由 0.52 增加為 0.54，Rms 值由 2.41 減少為 2.37，ETSi 值由 0.12 增加為 0.22。

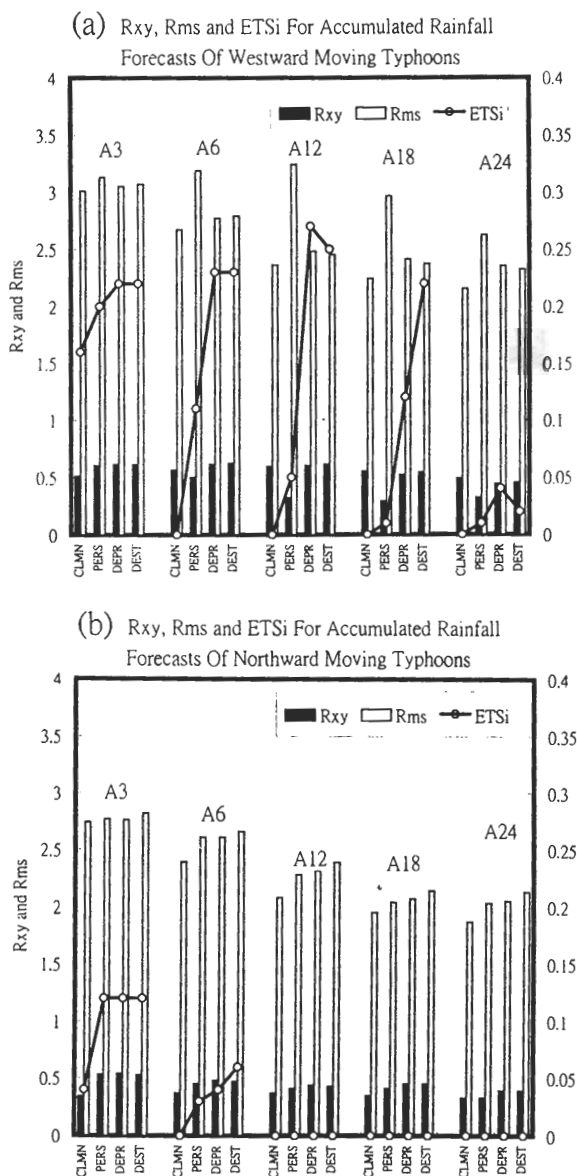


圖 11 台北(a)西行與(b)北行颱風 3, 6, 12, 18 與 24(由左而右)小時累積降水各預測方法(橫軸)預測結果之 Rxy(左軸), Rms (左軸), 單位 mm/h 與 ETSi(右軸)值之分布。

五、結 論

颱風是影響低緯度濱海地區最重要的天氣系統之一，其所引致之災害，以水患最為明顯

。在台灣地區，颱風所挾帶豪雨引致之災害更為顯著，從早期葛樂禮(Gloria 1963)至近年賀伯(Herb 1996)與瑞伯(Zeb 1997)等颱風都曾造成台灣地區嚴重人員傷亡和財物損失。在國外，有許多關於颱風移動方面之研究與作業預報，但對颱風之降水預報方面則除了應用雷達與衛星觀測進行類似於即時預報作業外，並沒有較成熟之颱風降水預測方法。

在國內，颱風降水預報問題則一直是學術研究與作業單位最注重的課題，吳與謝(1990)曾將過去研究的成果進一步引進於作業應用，其中包括王等(1986)所謂之平均法。本文則是以1961年至1996年間共36年之台北颱風時降水量資料，和美軍聯合颱風警報中心之最佳路徑資料，透過相關係數(R_{xy})、均方根誤差(Rms)以及公正預兆指數(Equitable Treat Score, ETS)之計算，詳細校驗平均法預測台北颱風時降水量之預測能力，同時引用持續性之概念，進一步測試其它的簡單統計降水預測方法在颱風降水之預測能力。

由5,077個西行颱風資料個案之結果可見平均法預測台北颱風時降水量之Rms值為3.75mm/h， R_{xy} 值為0.42，對2mm/h、5mm/h及10mm/h之ETS值分別為0.19、0.20與0.08，顯示平均法是有部分降水預測能力。不過，也可見平均法因引用平均值，雖不致使時降水量預測值有明顯偏高，但使得對較大降水個案明顯低估，以防災之觀點，此將造成危害之低估。

對台北颱風時降水量之持續性，時距為六小時以上之兩颱風時降水量間的相關係數皆相當小，最大只有0.3，因此以持續法預測時距超

過六小時後的時降水量將不會比以平均法的預測結果更準確。不過，當時距縮小為三小時後，相距三小時之前後兩時降水量間的相關係數已提高至0.4，和平均法預測結果的相關係數相似，而對分辨較大降水量之ETS值則較平均法的預測結果為大，顯示考慮颱風降水之持續性仍有可取之處，尤其是對較短時距的預報。

研究結果也顯示，不論是平均法或持續法，對超過三小時以後的時降水預測結果誤差皆相當大，由颱風時降水分布可見，颱風降水量有非常明顯短時距之振盪變化，因此不易準確的達到定時定量預測。累積降水能對短時距振盪變化部分有平均的效果，因此減少預測誤差。以西行颱風為例，對3/6/12/18/24小時累積降水之預測，平均法預測值與觀測值間的 R_{xy} 值為0.51/0.56/0.59/0.55/0.49，持續法預測值與觀測值間的 R_{xy} 值為0.60/0.50/0.32/0.29/0.32，分別較時降水量的預測結果為佳，能減少對短時距降水振盪變化不確定性的影響，而提高預測能力。

然而平均法累積降水量預測結果仍然對較大降水個案有低估的情形，而持續法累積降水量預測結果，除了對短時距內之預測外，其相關性較小，均方根誤差較大。為結合平均法與持續法，我們嘗試所謂差異持續法與比差法，其中差異持續法是以平均法為基礎，持續性是考慮降水與平均值差異之持續而非降水量之持續，而比差法是將降水與平均值之差異量，先以平均標準差做標準化後，再考慮其持續性。由台北颱風降水個案的預測校驗結果顯示，比差法與差異持續法兩者的預測結果相似，仍未能有效提高時降水量預測能力，但對累積降水預測則能綜合平均法與持續法的優點而提高預

測能力。以西行颱風為例，對 3/6/12/18/24 小時累積降水預測結果的 R_{xy} 值已可提高為 0.61/0.61/0.62/0.54/0.45，而對達到 25/75/150/200/200 mm 較大降水的 ETSi 值則可達 0.22/0.23/0.25/0.22/0.04，對 18 小時以內的累積降水量預測已有作業使用參考價值。

在比較北行與西行兩類颱風在台北降水的預測結果可見，兩類颱風之平均場相近，其差異值在與標準差相較下並不明顯，因此分類與否並未對颱風降水預測結果有明顯差異。而由於北行颱風中多數資料個案其中心位置較偏南，在台北之平均降水量較小，因此各預測方法預測結果校驗的 R_{ms} 、 R_{xy} 與 ETSi 值皆較西行颱風者為小。

綜合而言，颱風降水十分複雜，達到定時定量的降水量預測仍十分困難，以颱風中心位置為主所建立的平均法在颱風降水預測方面有基本之參考價值，但對較大降水個案則明顯低估。以台北颱風降水為例，綜合考慮平均法與降水之持續性所發展的差異持續法和比差法則能進一步提高颱風降水預測之準確性，尤其是在累積降水量預測方面。我們正以相似的方法分析差異持續法和比差法在台灣其它地區颱風降水預測之適用性，以及分析颱風降水預測準確性隨地區的差異情形，期以對台灣颱風降水有進一步了解和提供更準確的客觀降水預測供作業參考。而由差異持續法或比差法對台北颱風降水的預測結果也顯示，這些簡單的統計預測方法對降水之開始與結束時機仍不易掌握，值得進一步嘗試應用衛星觀測資料以決定降水的範圍或時機。另外，對不同之共伴環流與綜觀型態裡颱風降水之特性，以及對如何加入更多之預測因子，透過迴歸分析以建立更完整之

颱風降水預測模式，都值得進一步研究以改進颱風降水預測。

致 謝

本文是在國科會 NSC88-2625-Z-052-003 資助及中央氣象局支持下完成。感謝兩位審查者提供建議使本文更完整。

參考文獻

- 中央氣象局，1997：颱風預報作業手冊。374 頁。
- 王時鼎、顏清連、陳泰然與謝信良，1986：台灣颱風降雨特性及其預報研究（三）。國家科學委員會防災科技研究報告 74-51，152 頁。
- 吳宗堯與戚啓勳，1973：用比擬法預估颱風侵台期內之降水量(二)。氣象學報，19，3 期 10-19。
- 吳宗堯與謝信良，1990：現有颱風預報研究成果作業化之研究(三)。國家科學委員會防災科技研究報告 79-37 號，137 頁。
- 吳宗堯、謝信良、喬鳳倫、陳正政與黃清芬 1981：曾文水庫集水區降水特性分析及颱風降水預報之研究。大氣科學，8，1-13。
- 林秀雯，1998：民國 85 年颱風調查報告－賀伯颱風(9608)。氣象學報，42，80-102。
- 林瑞山，1968：依據判別解析法預報颱風侵襲或接近本省時之降雨量。氣象學報，14，3 期 25-40。
- 徐晉淮，1971：台北地區豪雨之研究。氣象學報，17，3 期 49-71。
- 戚啓勳，1963：葛樂禮颱風侵襲期間台灣之雨量分析。氣象學報，9，3 期 1-7。
- 戚啓勳、陳文恭與任立渝，1972：用比擬法預估颱風侵台期內之降水量。氣象學報，18，3 期 33-50。

- 陳泰然、李清勝、王時鼎、紀水上與周仲島，1992：豪雨預報技術改進之研究，颱風部分研究計劃。第二篇：氣候篇。交通部中央氣象局 81 年度委託研究計劃報告，113 頁。
- 葉天降，1998：嘉南地區 1997 年梅雨期降水之特性與作業模式預測校驗。大氣科學，26，41-61。
- 葉天降、吳石吉與謝信良，1998：台灣附近颱風路徑預報校驗與統計方法之應用。大氣科學，26，227-248。
- 廖學鎰，1960：台灣之氣象災害。氣象學報，6，1 期 1-29。
- 廖學鎰與徐晉淮，1961：淡水河流域最大暴雨量之估計。氣象學報，7，3 期 6-14。
- 魏元恒、謝信良與林民生，1971：颱風特性與台灣雨量之研究。氣象學報，17，3 期 1-17。
- 魏元恒、謝信良、林民生與蕭長庚，1972：台灣颱風降雨預報之研究。氣象學報，18，3 期 1-21。
- 謝信良，1986：台灣地區氣象災害之探討。大氣科學，13，89-108。
- 謝信良、王時鼎、鄭明典與葉天降，1998：百年侵台颱風路徑圖集及其應用。中央氣象局專題研究報告，CWB86-1M-01，497 頁。
- Black, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea. And Forecasting*, 9, 265-278.
- Chen, L., 1995: Tropical cyclone heavy rainfall and damaging winds. *Chapter 6, Global Perspectives On Tropical Cyclones*, WMO Report No. TCP-38, 260-289.
- Chu, J., 1994: A regression model for the western North Pacific tropical cyclone intensity forecast. Tech. Rep. NRL/MR/7541-94-7215, 33pp.
- DeMaria, M., and J. Kaplan, 1994: Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. *J. Climate*, 7, 1324-1334.
- Elsberry, R.L., G. Holland, H. Gerrish, M. DeMaria, and C.P. Guard, 1992: Is there any hope for tropical cyclone intensity prediction? — A Panel discussion. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 264-275.
- Fitzpatrick, P.J., 1997: Understanding and forecasting tropical cyclone intensity change with the Typhoon Intensity Prediction Scheme (TIPS). *Weather Forecasting*, 12, 826-846.
- Jarvinen, B. R., and C. J. Neumann, 1979: Statistical forecasts of tropical cyclone intensity, NOAA Tech. Memo. NWS NHC-10, 22pp.
- LaPenta, K. D., B. J. McNaught, S. J. Capriola, L. A. Giordano, C. D. Little, S. D. Hrebenach, G. M. Carter, M. D. Valverde, and D. S. Frey, 1995: The challenge of forecasting heavy rain and flooding through the eastern region of the National Weather Service. Part I: Characteristics and events. *Wea. and Forecasting*, 10, 78-90.
- Liu, Y., D.-L. Zhang, and M. K. Yau, 1997: A multiscale numerical study of hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit simulation and verification. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 3073-3093.

A Study of Typhoon Rainfall Statistics Forecast over Taiwan Area Part 1 : Methods and the Forecast Evaluations over Taipei

Tien-Chiang Yeh Shih-Chi Wu Shinn-Liang Shieh
Central Weather Bureau

(Manuscript received 17 September 1999 · in final form 29 November 1999)

ABSTRACT

The forecast of typhoon rainfalls is one of the most important and challenging task of the weather forecast and disaster mitigation during typhoon season in Taiwan area. The method from Wang et al. (1986), which is based on climatology average and is called 'Climatology Average' method, has been adapted to the operational usage of typhoon rainfall forecast in Central Weather Bureau. In this study, we evaluate the performance of the Climatology Average by using a more complete data set including 36-year rainfall observations over Taipei from 1961 to 1996. Examining of forecast by using the idea of persistence is also conducted. The results show that the Climatology Average can provide a basic guidance for the Taipei typhoon rainfall forecast. For the hourly rainfalls forecast of westward moving typhoons, the correlation coefficient between the forecasts and the observations (R_{xy}) is 0.42, and the root mean square error of the forecasts (R_{ms}) is 3.75 mm/h. For the forecast of 3-/6-/12-/18-/24-hour accumulated rainfall, the R_{xy} is greater than 0.49, and the R_{ms} is smaller than 3.01 mm/h. However, all the heavier rainfall cases are under estimated by the Climatology Average. The forecast of assuming the rainfall remained persistent, Persistence Forecast, can improve the forecast only for very short time ranges. The Persistence Forecast is generally less accurate than the Climatology Average when the time ranges are greater than 6 hours.

Combining the Climatology Average and the idea of persistence, we developed two simple statistics rainfall forecast methods of DEviation PeRsistence (DEPR) and DEviation STandardized (DEST). The evaluations show that the performances of both methods of DEPR and DEST are similar and both can improve the forecast of the heavier rainfall. The R_{xy} value for the forecast of the 3-/6-/12-/18-hour accumulated rainfall of westward moving typhoons can be increased to 0.61/0.61/0.61/0.54. And, the equitable threat score with threshold of 25/75/150/200 mm accumulated rainfall in 3-/6-/12-/18-hour can be increased to 0.22/0.23/0.25/0.22. For northward moving typhoons, the majority cases are located farther south to Taipei. The rainfalls in Taipei are smaller and the performance of the rainfall forecast is slightly degraded. However, similar improvements are found of forecasts from DEPR and DEST.

Keywords: Typhoon, Rainfall forecast