

# 台灣地區颱風降水之迴歸預測

## (一)台北颱風降水線性迴歸預測模式

葉天降<sup>1</sup> 樊采虹<sup>2</sup> 李昀寰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中央氣象局

<sup>2</sup>中央大學統計研究所

(中華民國八十九年十月十二日收稿；中華民國九十年三月八日定稿)

### 摘 要

伴隨颱風之降水是現今理論研究與作業預報兩方面都非常關切的問題，本文主要在引用線性迴歸方法，發展台北颱風降水預測模式，並透過完整資料測試此迴歸模式之適用性。所採用之資料為1961至1994共34年之台北每小時觀測風速、地面氣壓、與降水量，以及美軍聯合颱風警報中心颱風最佳路徑資料經線性內插所得各小時颱風之位置、中心最大風速與日序值。迴歸模式是依颱風中心位置，在東經120至125度北緯22至25度間，每一經緯度區域內分別建立，自變數包括前述台北觀測資料、颱風中心最大風速、日序函數值、颱風移速、颱風移向以及颱風中心與台北之距離等共八項。

由我們的分析顯示，台北颱風降水量需要透過如方根之轉換才能較趨近於常態分布，而依此所建立之迴歸預報模式，對延時為1/3/6/9/12小時之時降水預測均方誤差為18.5/24.5/23.0/22.2/23.0 mm<sup>2</sup>，相關係數為0.63/0.52/0.52/0.56/0.46；對3/6/9/12小時累積降水預測之均方誤差為115/328/566/888 mm<sup>2</sup>，相關係數為0.72/0.59/0.71/0.71。這些值和平均法以相同個案預測結果做比較，均方誤差約減為平均法之2/3，相關係數則明顯提高，尤其是在累積降水預測方面。

關鍵詞：颱風降水預測、迴歸。

## 一、前 言

台灣是位於颱風路徑衝要上的一個海島，幾乎每年都要受到颱風的災害。颱風夾帶豪雨

除了造成人員的死亡與失蹤、房屋的毀損、土壤的流失、還導致農漁業等嚴重的損失。近年來雖然有氣象衛星對颱風做較精確的定位，並且有較完整的觀測、記錄、預報及防範措施，

使得因颱風侵襲所引致人員死亡與房舍毀壞的情形較過去有許多改善，但颱風仍是造成台灣地區最主要的氣象災害(謝1986)，如1996年賀伯颱風、1997年溫妮颱風與1998年瑞伯颱風都先後帶來豪雨，造成多人死亡與莫大財物損失。因此，提升颱風降水量預報，一方面減少災害損失、一方面促進水資源利用，實為刻不容緩的課題。

關於颱風降水量之預報，葉等(1999)曾提及國外現今相關之研究較少，並沒有成熟之方法可供我們在作業採用，而在台灣地區，對這方面的問題一直受到作業與研究單位的重視，並有許多學者嘗試發展更有效的預報方法，以進行颱風降水量的預報。目前中央氣象局颱風降水預報作業的主要參考方法為依據吳與謝(1990)的整理，其中應用颱風移動路徑分類而得之累積降水分布(魏等1971)，與王等(1986)所做以 $0.5 \times 0.5$  經緯度解析之平均法與比值法，是兩最主要之客觀方法。

葉等(1999與2000)以1961至1996共36年之降水資料，對平均法在台北、新竹、台中、嘉義、澎湖、台南、高雄、恆春、台東、花蓮、宜蘭與阿里山等地區颱風降水預測之誤差做相當完整之校驗，其結果顯示，平均法對西行颱風時降水個案之預測值與觀測值間之相關係數值，以阿里山值0.56為最大，台中、嘉義、宜蘭、台北、新竹與澎湖之值在0.48至0.4間，東部之恆春、台東、花蓮與西南部地區之台南與高雄值則皆在0.4以下。對北行颱風，平均法對各地時降水預測之相關係數值較對西行颱風所得相關係數值更小。對累積降水量之預測方面，他們的校驗結果也顯示，雖平均法累積降水預測能力較時降水預測能力提高，但相關係數仍然不高，如對西行颱風在各地6與12小時累積降水

預測中，預測值與觀測值的相關係數最高也僅為0.61與0.63，顯示平均法颱風降水預測雖有部分參考價值，但其準確度仍有待改善。

應用平均法進行颱風降水預測，最明顯之弱點是因其採用平均值，因此對較大降水都有低估的現象。葉等(1999與2000)進一步測試持續法與差異持續法颱風降水預測之誤差，他們發現持續法主要可以改善短延時之降水預測，延時超過3小時以上之預測誤差就有很明顯成長。差異持續法則無論是時降水量或累積降水量之預測，在絕大部分地區皆較平均法之預測為優，如在宜蘭、台北、台中、台東等地對西行颱風6小時累積降水預測之相關係數值皆較平均法之預測結果增加0.04以上，阿里山對西行颱風6小時累積降水預測之相關係數值更較平均法之預測結果增加0.16，使其值達0.77。雖然差異持續法較平均法有所改善，尤其是對較大降水之分辨能力已較平均法之預測有明顯改進，然而整體而言，預測誤差仍相當大，如6小時累積降水預測之相關係數大部分皆小於0.6，在時降水量預測方面準確度更低，顯示應用區域平均為基礎之簡單統計方法，尚未能有效的達到準確預測颱風降水的目的。

發展迴歸預測方程是屬於較完整統計方法之應用，在氣象預報作業方面也有很長久之應用實例，如Neumann (1972) 與Xu and Neumann (1985)即以颱風之所在經緯位置、日曆天數、颱風中心最大風速、颱風過去位移量等為因子發展颱風路徑迴歸預報模式；DeMaria and Kaplan (1994)與Fitzpatrick (1997)也先後應酬颱風所在經緯位置、日曆天數、颱風強度、颱風過去位移量、颱風過去強度改變量、垂直風切與角動量等為因子發展颱風強度迴歸預報模式；Carter et al. (1989)則應用數值預報模式預報結果發展

迴歸預測方程，應用在一般天氣預報。國內中央氣象局也應用Carter et al. (1989)相同之概念，建立統計預報系統，進行每日最高最低溫、雲量與降水量等之預測(陳等2000)；陳等(1993)則曾測試颱風降水迴歸預報模式，他們以非獨立之個案校驗結果顯示其模式較平均法之預測誤差小。

本文主要的目的即在透過更完整的資料蒐集，應用更完整之方法，發展與測試迴歸颱風降水預測方程，期能進一步了解颱風降水預測之誤差與有效提高颱風降水預報能力，同時亦探討影響颱風降水量的主要因子。於後第二章將簡要介紹迴歸模式，第三章說明資料應用與颱風降水迴歸預測模式建立情形，第四章討論颱風降水迴歸預測模式預測結果，最後為第五

章結論。

## 二、迴歸模式

一般應變數Y與p-1個自變數X間之多重線性迴歸模式可記為

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1i} + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中n為資料總筆數， $Y_i$ 代表第i組資料之應變數值， $X_{ji}$ 為第i組資料之第j個自變數， $\varepsilon_i$ 為誤差項， $\beta_j$ 是未知的迴歸係數。通常假設隨機誤差，亦即 $\varepsilon_i$ 為相互獨立，期望值為0之常態隨機分布。

式(1)以矩陣簡化表示法為  $Y = X\beta + \varepsilon$ ，

$$\text{其中 } \mathbf{Y}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \mathbf{X}_{n \times p} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{p-11} \\ 1 & X_{12} & \dots & X_{p-12} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{1n} & \dots & X_{p-1n} \end{bmatrix}, \mathbf{\beta}_{p \times 1} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix}, \mathbf{\varepsilon}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}。$$

應用最小平方法可求參數  $\beta$  之估計量，

$\mathbf{b} = (b_0, b_1, \dots, b_{p-1})$ ，即  $\mathbf{b}$  為使得誤差平方和  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \varepsilon = (Y - X\mathbf{b})'(Y - X\mathbf{b})$  具最小值之  $\beta$ 。因此可得  $\beta$  之最小平方估計量為

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (2)$$

根據式(1)，應變數  $Y_i$  應呈常態分配，因此首先應判別資料中  $Y_i$  是否服從常態分布，若不符從常態分布，通常需對應變數做轉換，以期轉換後的資料服從常態分布。在確定迴歸模型的基本假設及反應變數  $Y_i$  之常態性轉換後，我們根據(2)式得最小平方估計量

$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y}$ ，然而有時自變數和反應變數間並沒有太大的關係，或自變數間彼此相關而誤導了正確之模型，為了能正確的選出影響應變數之因子以決定最適合的迴歸模型(自變數和迴歸係數)，一般可應用逐步選擇法(stepwise)、前進法(forward)、後退法(backward)、或  $R^2$  最大增進法等方法來選擇解釋力較高的自變數。詳細的作法可參閱Draper and Smith(1998)。

在求取迴歸模式前，首先透過統計之假設檢定(hypothesis testing)，以了解線性迴歸模式是否據具顯著性，若是，則再以逐步選擇法

(stepwise)選擇自變數因子以決定最適合的迴歸模型。在設定之顯著水準  $\alpha$  (significant level, 一般定為5%)下,考慮虛無假設(Null Hypothesis)和對立假設(Alternative Hypothesis)之統計檢定,若結果拒絕虛無假設,則表示整個線性迴歸模型具顯著性,即應變數與自變數具線性關係。另一種常用來確定應變數與自變數間具線性關係的量為多重判定係數(coefficient of multiple determination)  $R^2 = \frac{SSR}{SST}$ , 其中

$SSR = \mathbf{Y}'(\mathbf{H} - \frac{1}{n}\mathbf{J})\mathbf{Y}$  是迴歸變異,  
 $SST = \mathbf{Y}'(\mathbf{I} - \frac{1}{n}\mathbf{J})\mathbf{Y}$  為整體變異,  
 $SSE = SST - SSR = \mathbf{Y}'(\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{Y}$  為誤差變異,而  $\mathbf{J} = \mathbf{1}\mathbf{1}'$ , 且  $\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})\mathbf{X}'$ 。事實上,  
 $SSR$ 為迴歸模型可以解釋之變異,而  $SSE$ 為迴歸模型的未解釋變異。故在統計檢定中,若  $SSR$  很大,則拒絕虛無假設,表示此線性模式有足夠的解釋力,故其  $R^2$  也較大,詳細顯著性之檢定可參閱林(2000)。

### 三、資料與降水迴歸預測模式建立

本文主要先針對台北颱風降水建立迴歸預測模式,所引用之資料為1961至1994年間,

此時中央氣象局台北測站對測站風速、地面氣壓、及降水量每一小時皆有紀錄。颱風位置與中心附近最大風速則採用聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, Guam, USA)每六小時之最佳路徑資料內插至每小時。由葉等(1999)之分析可見,台北颱風降水主要是發生於東經120度至東經125度,和北緯22度至北緯25度之間,因此針對颱風進入此區時進行台北颱風降水迴歸預測。進行的作法是將東經120度至東經125度,和北緯22度至北緯25度之間以經緯各一度區分為15個網格區域(表一),被預測颱風所在網格區域確定後,以1961至1994年間曾經經過該網格區域之其他颱風自變數資料與  $\Delta t$  時間後之時(或累積)降水量做為迴歸模式之觀測值,估計模式中之迴歸係數,迴歸模式建立後,透過被預測颱風之其他自變數資料和迴歸模式即可預測其  $\Delta t$  時間後之時(或累積)降水量。

陳等(1993)引用颱風中心最大風速、颱風移向、颱風移速、以及預測地點24小時至48小時前每6小時之累積降水量等13項自變數,發展颱風降水迴歸預測模式,我們將其做了部分修改,並加入預測地點之風速與地面氣壓為颱風資料自變數,詳細自變數  $\mathbf{X}$  包括下列各項:

表一 東經120度至東經125度,和北緯22度至北緯25度之間以經緯各1度區分為15個網格區域之代號。

	120-121 <sup>o</sup> E	121-122 <sup>o</sup> E	122-123 <sup>o</sup> E	123-124 <sup>o</sup> E	124-125 <sup>o</sup> E
24-25 <sup>o</sup> N	A3	A6	A9	A12	A15
23-24 <sup>o</sup> N	A2	A5	A8	A11	A14
22-23 <sup>o</sup> N	A1	A4	A7	A10	A13

$X_1$  : 為颱風當時中心最大風速，單位為公尺/秒。

$X_2$  : 為颱風與測站的距離。設測站所在的位置經度為  $x_s$ ，緯度為  $y_s$ ，記為  $(x_s, y_s)$ ，而颱風所在位置之經緯度記為  $(x, y)$ ，則測站與颱風的近似距離定為

$$X_2 = \sqrt{[(x - x_s) \times \cos 20^\circ]^2 + (y - y_s)^2}$$

$X_3$  : 為颱風移動的方向角度。設颱風在當時所在經緯度位置為  $(x_1, y_1)$ ，而其在  $\Delta t$  前時所在位置之經緯度記為  $(x_0, y_0)$ ，則颱風移動之近似方向弧度定為

$$X'_3 = \tan^{-1} \left( \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \right) + \frac{\pi}{4}$$

限制在  $0$  至  $2\pi$ ，而移動的近似方向角度

$$\text{則為 } X_3 = \frac{360}{2\pi} \times X'_3$$

。其中加  $\frac{\pi}{4}$  主要使不連續處(在颱風移向為西南時)之個案最少。

$X_4$  : 為颱風移動的速度。設颱風在當時所在經緯度位置為  $(x_1, y_1)$ ，而其在  $\Delta t$  前時所在位置之經緯度  $(x_0, y_0)$ ，則颱風移動的近似速度定為

$$X_4 = \sqrt{[(x_1 - x_0) \times \cos 20^\circ]^2 + (y_1 - y_0)^2} / \Delta t$$

$X_5$  : 為測站當時所觀測的風速，單位為公尺/秒。

$X_6$  : 為測站當時所觀測的地面氣壓，單位為 hpa，

$X_7$  : 為日序的轉換。若當時之日序為  $X'_7$ ，則採與 Neumann (1992) 相同轉換公式

$$X_7 = \sin[(X'_7 - 41) \times \frac{\pi}{364.75}]$$

$X_8$  : 為測站當時之時(或  $\Delta t$  小時累積)降水量。

迴歸模式是在各網格區域內建立，如一颱風位於  $A_1$  網格區域，則先將所有落於此網格之其他歷史颱風資料取出，記為  $(X_1, Z_{1\Delta t}), \dots, (X_n, Z_{n\Delta t})$ ，也就是記錄資料中共有  $n_1$  個颱風降水個案發生於  $A_1$ 。根據這些颱風降水個案資料之颱風中心最大風速、颱風與台北的距離、颱風移動的方向角度、台北當時風速、台北當時的地面氣壓、日序值、與台北當時之時(或累積)降水量為自變數，台北  $\Delta t$  時後之時(或累積)降水量為應變數，建立迴歸模型

$$Z_{i\Delta t} = X_i \beta + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n_1 \quad (3)$$

在建立迴歸模型前，先依據前一章所述，對資料  $Z_{i\Delta t}$ ， $i = 1, 2, \dots, n_1$  做常態圖(normal plot)以判別  $Z_{i\Delta t}$  (或  $\varepsilon_i$ ) 是否具有常態性。以  $\Delta t = 0$  之時降水量而言(圖略)，因某些時降水量太大，某些又太小，故其分布距常態分布甚遠，因此將降水量做方根之轉換。經轉換後之降水量分布已較接近常態分布(圖略)。因此以下所討論的時降水量迴歸模型中，皆將時降水量做方根處理，即若應變數  $Y = \sqrt{Z}$ ，則模型可寫為

$$Y_{i\Delta t} = X_i \beta_1 + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_1 \quad (4)$$

其中  $\beta_1$  為轉換後時降水量迴歸模式之迴歸係數。

對累積降水量，由於累積降水量為時降

水量之累積，整體而言3小時以上之累積降水量都比較沒有太極端的數值，其分布與常態分布已較接近(圖略)，不過為更近似常態分布我們仍引用方根轉換，故迴歸模型為

$$Y_{i\Delta t} = X_i \beta_n + \varepsilon_i, i=1,2,\dots,n_i \quad (5)$$

其中 $\beta_n$ 為累積降水量模型時之迴歸係數。

在原始資料接近常態分布後，進一步依據第二章所述之檢定方法，對每一網格區域之模型中挑選具顯著影響的自變數，令其為 $X_a$ ，且其對應迴歸係數之最小平方估計量為 $b_a$ ，其中 $a=1$ 為時降水量， $a=n$ 為累積降水量。迴歸預測模式即為

$$Y = X_1^* b_1^* (\sqrt{\text{時降水量}}) \text{ 與} \\ Y = X_n^* b_n^* (\sqrt{\text{累積降水量}})。 \quad (6)$$

對一於時間為 $t$ 之颱風，若欲預測其在 $\Delta t$ 延時後之時降水量與於 $\Delta t$ 時內之累積降水量，則依上述得到迴歸係數之估計值與該颱風當時觀測自變數中之重要自變數 $X_{at}$ ，帶入模式(6)中，則可估計出 $\sqrt{\text{時降水量}}$ 及 $\sqrt{\text{累積降水量}}$ 分別為 $\hat{Y}_{t+\Delta t} = X_{1t}^* b_1^*$ 與 $\hat{Y}_{t+\Delta t} = X_{nt}^* b_n^*$ ，故此颱風在 $t + \Delta t$ 時之時降水量預測值為 $\hat{Z}_{t+\Delta t} = \hat{Y}_{t+\Delta t}$ ，而 $\hat{Z}_{nt+\Delta t} = \hat{Y}_{t+\Delta t}^2$ 即為 $t$ 時至 $t + \Delta t$ 時之累積降水量預測值。相較平均法，對同一颱風降水個案其時(累積)降水量預測即為式(3)中原始資料 $Z_{i\Delta t}$ ， $i=1,2,\dots,n_1$ 之平均值。值得一提的是，此處平均法與迴歸模式預測，皆沒有需要應用颱風之路徑預測值，此和王等(1986)之平均法不同。

## 四、預測結果

### 1. 時降水量

由表二可見，除A2網格區域個案數較少外，其餘各網格區域之個案數大致皆在70個以上，尤其是在A4至A10等網格區域，其個案數皆在100以上。A2網格區域，大致在台灣高山脊之西側，可能因地形之關係，使得此網格區之颱風個案數較少。而為方便於討論，於後對各自變數將以TV、TD與TS代表颱風中心最大風速、移動方向角度與移速，以SW、SP與SR分別表台北當時之風速、地面氣壓與 $\sqrt{\text{時降水量}}$ (或 $\sqrt{\text{累積降水量}}$ )，以JD表日序函數值，並以DS表颱風中心與台北之距離對延時為一小時之颱風時降水，SR(測站當時觀測時降水量)為在所有網格區域均具顯著影響的自變數，顯示兩相鄰時降水量間有密切之相關。而由表三各網格區域對延時為1小時之颱風降水迴歸預測方程之係數則可見，SR項之係數皆為正，顯示兩者有正相關，SR較大隨後之降水也將較大。此外，各網格區域之係數間也相當一致，值約在0.09至0.17之間，顯示雖然迴歸方程是在經緯各一度之區域內獨立求取，而其結果並未在相鄰區域間造成太明顯之差異。

當颱風中心位於台灣附近時，SW(測站當時風速)為另一達顯著影響的自變數，在A1至A9等9網格區域內共有6區域達到顯著水準，而在較東方之A10至A15共6區域中則僅有2區域SW達到顯著水準。顯示當颱風中心移近後，台北之風速和次一小時之降水有關，但當中心距離較遠時，台北之風速和次一小時降水間之關係性就比較不密切。由表三也可見，SW項之係數也皆為正，大致在0.04至0.07之間，顯示當颱風

表二 當颱風中心在各網格區域(見表1)，對台北各延時時降水量預測具顯著影響之自變數、個案數、與迴歸模型之  $R^2$  值。其中(大或小寫)TV等代碼之說明見文。

網格區域		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
一小時	顯著影響之自變數	TV SR	SW SR	SW SR	SW SR	TV SW SR	TV SP SR TS	TV swtd SR	TV SR	DS SW SR JD	TV SW SR	DS SR	SW SR JD	TD SR	TD SR	TV SR
	個案數	71	48	106	132	111	166	121	131	106	133	79	118	77	99	101
	$R^2$	0.39	0.83	0.64	0.65	0.68	0.70	0.73	0.81	0.88	0.63	0.67	0.84	0.54	0.58	0.63
三小時	顯著影響之自變數	SR TS	TV SR TS	DS SR JD	TV swtd SR	TV SR TS	TS	SW SR	TV SR tsjd	DS SW tsjd	TV SW TS	tvds SR TS	TD SR JD	TD JD	TD SR	TV SR
	個案數	71	46	105	131	110	166	121	131	106	133	79	118	77	99	99
	$R^2$	0.45	0.67	0.44	0.70	0.60	0.53	0.66	0.74	0.82	0.72	0.60	0.75	0.45	0.60	0.66
六小時	顯著影響之自變數	TV TD SR TS	SR	DS TD JD	TV SW SR TS	SR SR tsjd	TD SR TS	TV SW TS	TV SW TS	DS DS tsjd	TV SW SR TS	SR SR TS	TV SW TS	TS	DS TD SR TS	TV SR
	個案數	69	45	100	128	110	166	121	131	106	133	79	117	77	69	96
	$R^2$	0.57	0.33	0.51	0.49	0.54	0.50	0.73	0.68	0.72	0.75	0.68	0.79	0.59	0.65	0.68
九小時	顯著影響之自變數	TD TS	DS TD SP	DS TD JD	TV TD SR JD	TS JD	TD JD	TV TS	DS TS	DS tsjd	DS SW SR TS	DS SW SR	tvds JD	TS	DS SW SR TS	tvds TD SR
	個案數	69	45	94	128	110	165	118	129	105	133	78	117	77	93	94
	$R^2$	0.30	0.47	0.62	0.50	0.34	0.48	0.73	0.59	0.68	0.68	0.76	0.76	0.53	0.75	0.70
十二小時	顯著影響之自變數	TV TD	DS TD SP JD	DS TD SP	SP JD	TD SP TS	DS SP TS	tvds SW TS	TV TD SP TS	DS swtd SP tsjd	SW JD	TV TV	TS	DS swtd SR	tvds TD srsp JD	
	個案數	68	45	82	127	109	154	118	128	105	130	78	117	77	90	94
	$R^2$	0.47	0.71	0.54	0.33	0.35	0.36	0.69	0.63	0.70	0.56	0.63	0.65	0.48	0.77	0.74

中心位於這些區域時，若台北之風速愈大，隨後之颱風降水也將愈大。另外，表三也顯示TV(颱風中心最大風速)是另一在較多區域達顯著的自

變數，TV項的係數也都為正，使颱風位於這些區域時，若颱風中心風速愈大，隨後之颱風降水將愈大，而SP(台北氣壓，只在A6區達顯著)

表3：各網格區域對台北1小時延時時降水及3與12小時累積降水之迴歸預測方程之係數

區域	1小時√時降水量	3小時√累積降水量	12小時√累積降水量
A1	$0.0049*TV+0.0947*SR$	$3.4560*TS+0.0752*SR$	$0.0548*TV-0.0285*TD$ $+14.6930*TS-0.0029*SP$ $+0.2760*SW+0.0316*SR$
A2	$0.0672*SW+0.1710*SR$	$5.9510*TS+0.0778*SR$	$18.2510*TS-0.1660*SW$ $+0.0466*SR$
A3	$0.0356*SW+0.1640*SR$	$0.5570*JD+0.0753*SR$	$-0.0415*TD+9.7220*JD$ $+0.0887*SW$
A4	$0.0922*SW+0.1480*SR$	$0.1890*SW+0.0784*SR$	$0.0273*TV-0.0198*TD$ $+13.3790*TS+0.1550*SW$ $+0.0701*SR$
A5	$0.0069*TV+0.0508*SW$ $+0.1170*SR$	$0.0087*TV+3.9310*TS$ $+0.0876*SR$	$0.0362*TV+10.0570*TS$
A6	$0.0146*TV+4.1730*TS$ $-0.0007*SP+0.0925*SR$	$9.4820*TS+0.0460*SR$	$0.0294*TV-0.0506*TD$ $+8.9610*TS+8.7220*JD$ $+0.0179*SR$
A7	$0.0062*TV+0.0048*TD$ $-3.5820*TS+0.1550*SR$	$0.1870*SW+0.1360*SR$	$0.0422*TV+0.2120*SW$ $+0.0397*SR$
A8	$0.1287*TV+0.1840*SR$	$0.0261*TV-1.0570*DS$ $+6.9040*TS+3.9460*JD$ $+0.0779*SR$	$5.4790*JD+0.0559*SR$
A9	$1.2090*DS+0.0581*SW$ $+0.0908*SR$	$1.3120*DS-6.5810*TS$ $+0.1690*SW+2.6110*JD$ $+0.0229*SR$	$2.5250*DS-19.4210*TS$ $+0.1350*SW+6.8040*JD$ $+0.0151*SR$
A10	$0.0045*TV+0.0751*SW$ $+0.1220*SR$	$0.0088*TV+0.1850*SW$ $+0.0693*SR$	$0.0156*TV+16.4040*TS$ $+0.3370*SW$
A11	$0.3530*DS+0.1220*SR$	$0.0012*SP+0.1720*SW$ $+0.1020*SR$	$0.0196*TD+18.9060*TS$
A12	$0.0695*SW+1.3410*JD$ $+0.0968*SR$	$0.0115*TD+1.6240*JD$ $+0.0517*SR$	$-0.0131*SP+0.3920*SW$ $+20.3780*JD$
A13	$0.0027*TD+0.1470*SR$	$0.0081*TD$	$31.2770*TS$
A14	$0.0041*TD+0.1190*SR$	$0.0081*TD+0.1550*SR$	$-1.7680*DS+0.0269*TD$ $+18.2970*TS+0.4230*SW$ $+0.1900*SR$
A15	$0.0129*TV+0.10901*SR$	$-1.1260*SP+13.5760*JD$ $+0.0859*SR$	$0.0534*TV-1.2120*DS$ $+0.0232*TD+0.0781*SR$



項之係數則為負，氣壓愈低隨後之颱風降水也愈大，顯示這些由迴歸計算所得颱風時降水量和各自變數間之關係和一般之預期一致。

對延時為3小時後之颱風時降水，SR仍然是在絕大部份網格區域達顯著影響的自變數，不過SR之影響有隨延時之增加而逐漸減少的現象，對延時由1、3、6、9、增大為12小時，SR達顯著影響的區域由15、11、8、5、逐漸減少為2，這種現象和葉等(1999)之分析相似，他們指出在短延時內，台北颱風兩時降水量間之相關係數相當大，但隨延時之增加，兩者相關係數值明顯減小。SW對台北颱風時降水之影響也有隨延時增加而減少的情形，其減少之情形似較SR更為明顯，對延時為3小時之降水，SW只在4個網格區域內達顯著性，顯示台北風速大小和相當短時間內之颱風降水強度有關，但和較長時間後之降水強度則關係並不密切。

對延時為3小時後之颱風時降水，TS(颱風移速)已在8個網格區域達顯著性，此顯著性是各自變數中僅次於SR者，對延時為6小時與9小時之時降水，也有相似情形，這表示颱風之移速雖對次一小時之降水強度關係不密切，但對往後之降水強度卻有相當程度之影響。這種關係或許可由葉等(1999)台北平均颱風時降水隨颱風中心所在位置之分布圖(其圖3)做概略之解釋，由他們的分析可見，基本上台北颱風時降水量和颱風之中心所在位置有很密切之關係，而在延時為1小時之降水，由於颱風之移速若以每秒5公尺估計，1小時僅移動18公里，因此在1小時內颱風中心位置之差異受移速變化之影響將相當小，這和延時為1小時之降水量受颱風移速影響不明顯一致。對延時增加為3、6或9小時的降水，以移速每秒5公尺估計，即可分別移動

54、90或162公里，因此颱風移速上之差異在延時增大後，即可使颱風中心位置造成較明顯之差異，而影響降水量。

由上述平均場之概念，似乎預期除颱風移速外，颱風之移向(TD)也應對颱風降水有所影響，表二也反應了這種現象，不過TD對颱風降水之影響在延時更久後較顯著。如 $\Delta t = 1$ 或3，TD達顯著性之網格區域僅3或4區域，並且主要在遠離台灣之124經度以東。對 $\Delta t = 9$ 小時已有6網格區TD達顯著水準，而 $\Delta t = 12$ 小時則有8網格區TD達顯著水準，這些TD達顯著之網格區域又以A1至A6區更明顯，6個區域中，有4個以上網格區域TD對台北颱風時降水具顯著影響。同樣A1至A6地區，對延時為6小時TD達顯著影響者也有3個區域，顯示當颱風已在台灣上空後，颱風之移向將成為未來6至12小時後台北時降水強度重要的考慮因素。6至12小時間，一般颱風可移動一至二度，由葉等(1999)之圖3可見，當颱風中心在台灣地區，若往北移一至二度時台北平均時降水量改變較少，若往西移一至二度，平均時降水量將明顯減少，若往東移一至二度，平均時降水量將增加，這和表二顯示此時颱風移向是顯著自變數之結果一致。

颱風中心位置之影響除了如表二中以網格區域加以區分外，也以DS(颱風中心與台北之距離)表示在經緯各1度小區域內，中心位置之不同。由表二可見，延時為1、3與6小時之降水，DS達顯著性之區域皆在3個以下，然而延時為9與12小時之降水，DS達顯著性之區域則分別增加至8與7個。這隱含，區域平均之適用性，在預測延時為6小時以內之降水比在預測較長延時之降水更適合，而延時為9或12小時以一度劃分之區域平均並無法完全表達颱風降水隨中心所

在位置之差異性。

表二中，另外幾個在比較多地區達顯著性之自變數為TV(颱風中心最大風速)、SP(測站地面氣壓)與JD(日序之函數值)。其中，JD對延時為1與6小時之降水，皆僅在2個網格區域內達顯著性，而對其它延時之降水，則有5個網格區域達顯著性，不過JD對台北颱風降水之影響並不容易由表二歸納出簡單之概念。對延時為1小時之降水，TV達顯著影響之區域主要是中心位於在東經121至123度之間，延時為12小時之降水，TV具顯著影響之區域東移至122至124度之間，而延時為3、6、與9小時之降水，TV達顯著影響之區域似乎比較沒有規律性。SP對台北颱風降水之影響主要是對延時為12小時之降水，其中又以中心位於東經120至123度之間更明顯，在此9個網格區域中共有6個區域SP達顯著。因此，對延時為12小時之台北時降水，當颱風仍在較東方時，代表颱風強度之TV是影響降水之重要因子，而當颱風更接近或在上空後，台北當地所實際觀測到之氣壓以及颱風行進方向(TD)成爲影響降水之重要因子。

由表二中 $R^2$ 值之分布也可以得到一些相當有趣之結果，對延時為1小時之降水，各網格區域 $R^2$ 值大多都在0.6以上，而A1與A13至A15等

區域則較小。隨延時之增加， $R^2$ 較小之區域，在西側部分有逐漸往東擴展，而在東側部分則有逐漸變小的趨勢。如在A1至A6之區域中， $R^2$ 小於0.6之區域在 $\Delta t=1$ 小時之降水僅有1個區域，在 $\Delta t=3$ 小時之降水增加爲3個區域，在 $\Delta t=6/9/12$ 小時之降水則有6/5/5區域之 $R^2$ 值皆小於0.6；而在東側之A13至A15三區域，隨 $\Delta t$ 之增加， $R^2$ 值除了A13區外，基本上是遞增。這種相當有規律之變化顯示迴歸降水估計對颱風離開台灣後之降水估計有較大不確定性，而對颱風接近台灣時之降水估計則較能確定，這或許是因爲颱風接近時有較大之作用力且集中，因此降水之估計能力可以升高；而颱風遠離時，可能一方面因各不同颱風可能受地形影響程度不同，而增加複雜性，另一方面也可能會因中心過後西南氣流之不同作用而有不同之降水，因此使得此時颱風時降水之預測有較大不確定性。

表四進一步比較以迴歸法與平均法進行台北時降水預測結果之均方誤差與相關係數。由表可見迴歸法預測結果在各延時之均方誤差/相關係數皆較平均法預測結果爲小/大。而圖1則繪示所有預測個案之預測降水量相對於觀測降水量之散布情形。相較於平均法(如葉等1999之圖4)對較大時降水皆低估之情形，迴歸法已能

表四 台北颱風時降水量以平均法與迴歸法預測結果之均方誤差(mm<sup>2</sup>)與相關係數。

延時		1小時	3小時	6小時	9小時	12小時
		(1599個案)	(1592個案)	(1574個案)	(1555個案)	(1522個案)
均方誤差	平均法	23.8	25.0	27.2	30.3	32.2
	迴歸法	18.5	24.5	23.0	22.2	23.0
相關係數	平均法	0.41	0.39	0.29	0.31	0.31
	迴歸法	0.63	0.52	0.52	0.56	0.46

分辨部分較大降水個案，且除延時為12小時之時降水外，相關係數皆已大於0.5，顯示經過較完整之統計迴歸，確實能提高台北颱風時降水之預測能力。然而，圖1也顯示對許多大於10mm/h之時降水個案卻仍有低估之情形，尤其是對延時為12小時之時降水，其迴歸法預測結果較平均法預測結果之改進情形仍相當有限。

## 2. 累積降水

表五列示颱風中心在各網格區域時，對台

北各時段颱風累積降水預測達顯著影響之自變數、個案數、與R<sup>2</sup>值。由表可見，各時段累積降水個案數和表二所示相同延時時降水個案數一致，如3小時累積降水在A1區域之個案數即和延時為3小時時降水在A1區域之個案數相同。因此，表五各個案數之分布和表二類似，除在A2區域個案數較少外，其它區域之個案數大致皆在70個以上。對影響台北颱風累積降水之自變數，和影響台北時降水之情形相似，SR為在大部分網格區域皆達顯著性之自變數，而其隨累

表五 如表二，唯為對台北各時段颱風累積降水預測具顯著影響之自變數、樣本個數、與R<sup>2</sup>值。

網格區域	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
三小時	顯著影響之自變數	SR	SW	SR	SW	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	srsp
	個案數	71	46	105	131	110	166	121	131	106	133	79	118	77	99
	R <sup>2</sup>	0.67	0.84	0.58	0.72	0.77	0.72	0.77	0.83	0.90	0.79	0.76	0.84	0.62	0.75
六小時	顯著影響之自變數	tvds	TD	TS	TV	TV	SW	TV	DS	TV	TD	swtd	DS	TD	TV
	個案數	69	45	100	128	110	166	121	131	106	133	79	117	77	96
	R <sup>2</sup>	0.80	0.88	0.47	0.78	0.79	0.71	0.81	0.87	0.92	0.87	0.82	0.88	0.86	0.79
九小時	顯著影響之自變數	TV	SW	DS	TV	TV	TV	TV	TV	DS	TV	TD	swtd	TV	tvds
	個案數	69	45	94	128	110	165	118	129	105	133	78	117	77	93
	R <sup>2</sup>	0.77	0.88	0.77	0.80	0.77	0.81	0.86	0.89	0.95	0.88	0.82	0.91	0.76	0.86
十二小時	顯著影響之自變數	TV	SW	swtd	TV	TV	TV	TV	SR	DS	TV	DS	SW	DS	tvds
	個案數	68	45	82	127	109	154	118	128	105	130	78	117	77	90
	R <sup>2</sup>	0.79	0.86	0.76	0.81	0.76	0.82	0.90	0.89	0.95	0.85	0.85	0.91	0.72	0.92

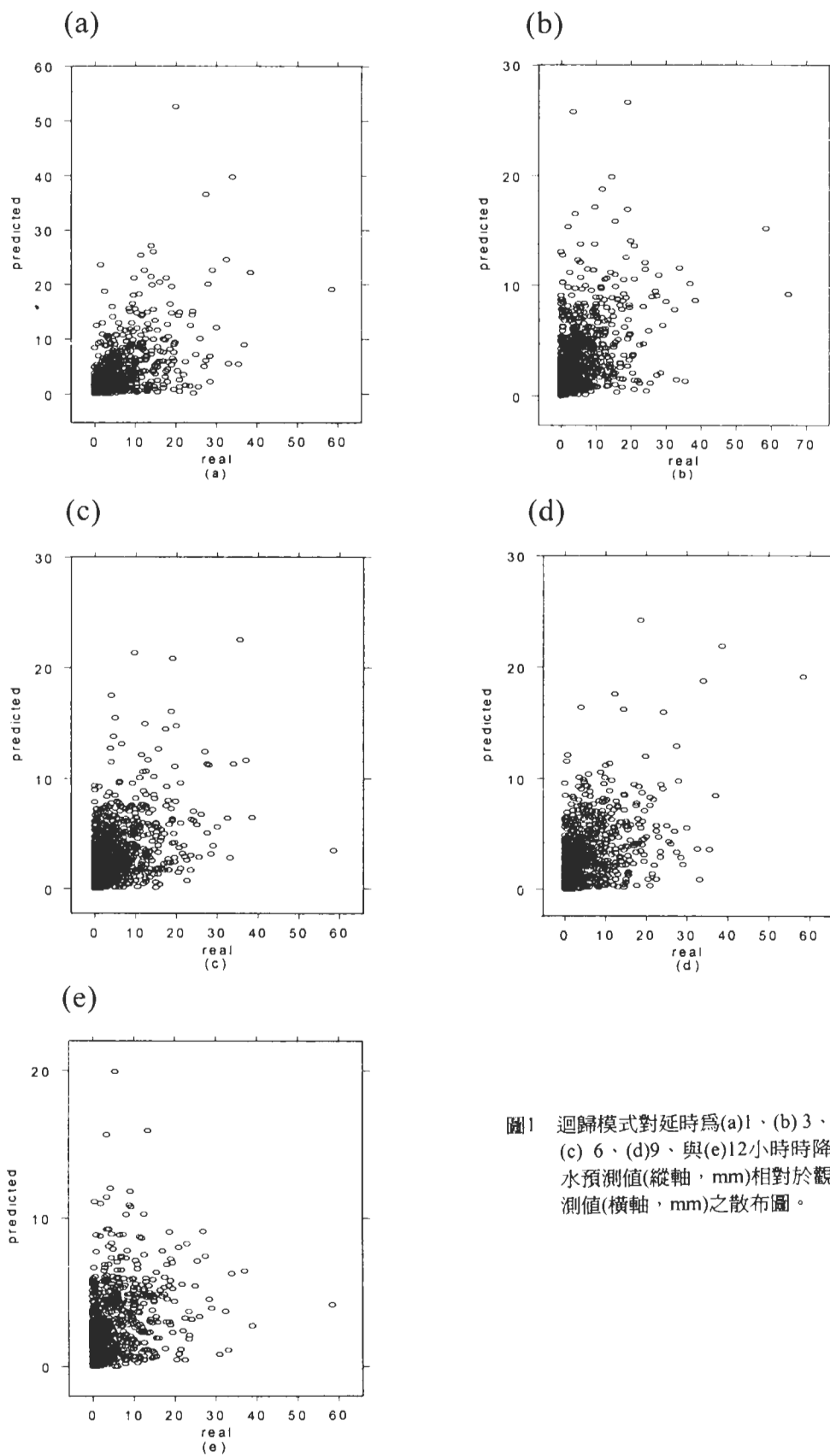


圖1 迴歸模式對延時為(a)1、(b)3、(c)6、(d)9、與(e)12小時時降水預測值(縱軸, mm)相對於觀測值(橫軸, mm)之散布圖。

積降水時間之增加，似乎沒有像在表二達顯著性之區域隨延時增加逐漸減少之現象，如對延時分別為9與12小時之時降水，SR達顯著性之網格區域，由延時分別為1與3小時之15與11個減少為6與1個，但12小時累積降水預測，SR卻仍在9個區域中達顯著性。這種SR在時降水與累積降水兩者顯著性之差異情形似乎和葉等(1999)在考慮當時降水量所做降水預測(所謂差異持續法)，對18小時以下累積降水量預測結果皆能較平均法預測結果有相當程度的改善，但對時降水預測，差異持續法卻未能在延時增加後，仍較平均法預測結果有所改善之情形相似。

在表二中，SW、TV與TS皆為除SR外也對延時為1、3與6小時時降水在許多地區達顯著影響之自變數，相似之情形也見於表五，對3小時之累積降水，SW與TS分別在6個區域達顯著性，其中也和時降水一致，達顯著性之區域尤其集中於東經120至124度之間，而在124度以東，TD則為達顯著性之自變數。對6小時之累積降水，SW仍在6個區域達顯著性，可見SW對累積降水達顯著性之區域個數，並未如對時降水，隨延時之增加達顯著性之區域個數減少。相反的，SW對累積降水達顯著性之區域個數隨降水累積時數之增加而增加，如9與12小時累積降水SW達顯著性之區域皆增加為9區域。這或許是因為時降水有比較明顯雜亂之變化，以致台北當地之觀測風速值對延時較久時降水量之影響不很明確，但對較長時段之累積降水量，台北當地觀測風速值之大小，卻對降水量有相當明顯之關係存在。

由3小時累積降水迴歸預測方程之係數(表三)可見，其和時降水迴歸預測方程之特性相似，SR、SW與TV之係數皆為正，而SP之係數

則為負，顯示當時累積降水量、台北風速與颱風中心最大風速及地面氣壓對隨後3小時累積降水量有影響，前三者是呈正相關影響而地面氣壓則為負相關影響。除此而外，表三顯示JD、TD與TS(A9區除外)之係數皆為正，因此愈接近8月中旬發生之颱風、愈接近西向移動之颱風與移速愈快之颱風(A9區除外)，其對降水若有影響，也是呈正相關之影響。而A9區是颱風位於台北平均降水量最大之區域(參見葉等1999)，因此颱風移速增大將使颱風更快離開降水較大之區域，負號之係數正反映這種現象。

對6小時累積降水，除上述SR與SW外，TS則在11個網格區域達顯著性，TV也由3小時累積降水僅有3個區域達顯著增加為6個區域達顯著。事實上，TS/TV對9與12小時之累積降水也分別在12/9與10/9個區域達顯著性，這和我們認為颱風之移速與強度對颱風降水量有所影響之直覺相符。尤其是TS在6與9小時累積降水達顯著性之區域個數和SR者相當，而在12小時累積降水達顯著性之區域個數較SR者為多，成為估計累積降水最重要的二項自變數之一。另外，若進一步和表二相較，TS與TV對颱風累積降水量之影響，又較其對颱風時降水之影響更明顯與更有系統，其中TV對颱風累積降水量達顯著性的區域，尤其集中於東經121至123度間，而TS達顯著性的區域就沒有明顯受此限制。

TD和JD是另二項在更長時累積降水逐漸有比較多區域達顯著性之自變數，尤其是對9小時之累積降水，TD與JD分別在7與8個區域達顯著性。TD達顯著性之區域主要在東經122度以西，而JD達顯著性之區域則主要在東經122度以東。對12小時累積降水，TD也在122度以西6區域中之4個區域達顯著性，這顯示不只是對時降

水，對累積降水也是一樣，颱風移動之方向，對颱風將離開台灣後之降水量有顯著之影響。

12小時累積降水預測方程之係數(表三)和3小時累積降水預測方程之係數相似，大致而言SR、SW、TV、JD與TS(A9區除外)和隨後12小時累積降水量間皆有正相關，而SP與TS(A9區)則有負相關。唯一的例外是SW在A2區之係數為

負值，這或許是因為A2區位於台北南方，當颱風中心位於此區時，台北正位於颱風氣旋式氣流受中央山脈影響之背風下坡區，下坡氣流有乾燥的作用，因此風速增加對降水有負面之影響。另外，TD之係數也較複雜，在123度以東區域之係數仍為正，但在A1至A6區域TD之係數則皆為負。事實上，這樣之改變和實際物理

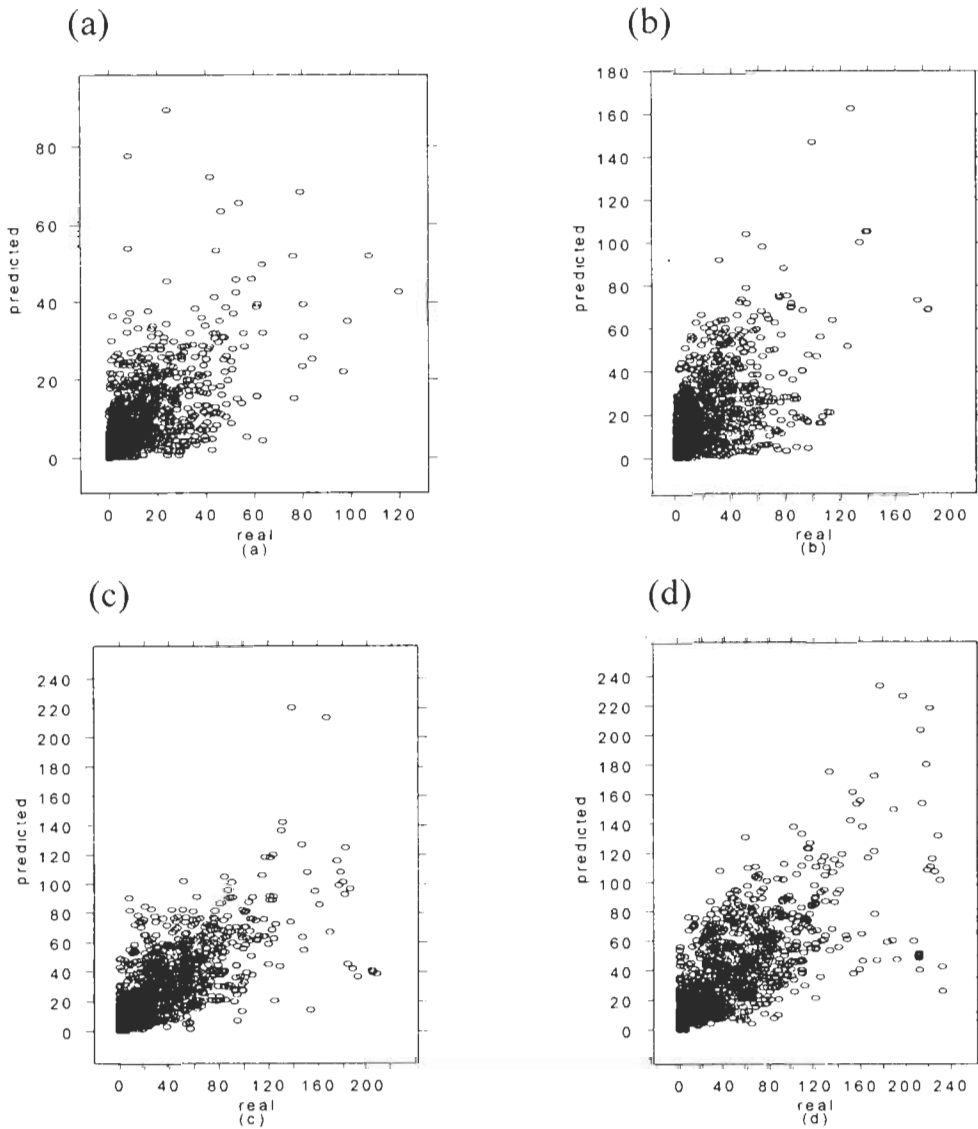


圖 2 迴歸模式對 (a) 3、(b) 6、(c) 9、與(d) 12小時累積降水預測值(縱軸, mm)相對於觀測值(橫軸, mm)之散布圖。

較為一致，因颱風在A1至A6區域若仍繼續西行，中心將逐漸遠離台北而使降水減少，較小之TD為颱風有較明顯向北移動，而向台北接近或引入西南氣流，使台北之降水增加。

由累積降水 $R^2$ 值之分布可見，在相同之網格區域內，累積降水之 $R^2$ 值大致皆較時降水 $R^2$ 值為大，顯示由SR等自變數所建立之颱風降水迴歸方程，對累積降水之解釋較對時降水之解釋更好。另外，累積降水 $R^2$ 值隨降水累積時段之增加也沒有隨之變小的現象，反而稍微增加，如對3小時累積降水，有3個區域 $R^2$ 小於0.7，但對12小時累積降水所有15區域之 $R^2$ 值皆在0.7以上。區域中相互比較又以東經122至125度間(除A13區外)各區 $R^2$ 值最大，對12小時累積降水 $R^2$ 都在0.85以上，這種現象也和表二時降水情形相似，從 $R^2$ 值之分布顯示，當颱風要離開台灣後之降水比颱風將來臨時之降水更難由迴歸方程予以預測。A13區則是另一 $R^2$ 較小之區域，為何颱風中心於此區時，對3、9與12小時累積降水之 $R^2$ 值皆較附近地區為小，則尚待進一步分析。

表六列示對所有台北颱風3、6、9與12小時累積降水量個案，以平均法與迴歸法預測結果之均方誤差與相關係數，圖2則繪示以迴歸法預測累積降水量隨觀測降水量之散布圖。由表六可見，迴歸法預測累積降水量結果其均方誤

差不論是在3、6、9或12小時之累積降水量皆較以平均法預測結果之均方誤差為小，相關係數值則較平均法結果為大，在3、9與12小時之累積降水預測相關係數皆在0.7以上，而6小時之累積降水預測相關係數值也達0.59，從圖2也可見有更多之個案是在散布圖之對角線附近，顯示迴歸法較平均法更能準確預測颱風在台北之累積降水量，而迴歸法對累積降水預測能力之提升又較前述對時降水預測能力之提升明顯。對6小時累積降水迴歸法預測結果之相關係數值是3、6、9與12小時四項累積降水量預測中最小的，這或許是累積降水預測，一方面因延時愈大時降水預測準確率愈小，使得3小時之預測較6小時之預測為準確；而另一方面累積降水也有平均之效果，因9或12小時之平均較6小時之平均更能濾除短時距變化之不確定，使得9或12小時累積降水預測之相關係數反較6小時累積降水預測之相關係數為大。

## 五、結 論

降水預報是天氣預報作業中最重要之工作項目之一，伴隨颱風之降水曾在許多地區造成嚴重水患，如何增進對其之預報急待有更準確之客觀預測指引。本文主要在嘗試發展多變數線性迴歸模式以預測台北颱風在12小時以內之

表六 台北颱風累積降水量以平均法與迴歸法預測結果之均方誤差(mm<sup>2</sup>)與相關係數。

累積時段		3小時	6小時	9小時	12小時
		(1592個案)	(1574個案)	(1555個案)	(1522個案)
均方誤差	平均法	152	506	867	1404
	迴歸法	115	328	566	888
相關係數	平均法	0.43	0.49	0.48	0.46
	迴歸法	0.72	0.59	0.71	0.71

時與累積降水。研究所引用之資料包含從1961至1994年間颱風中心位於東經120至125度、北緯22至25度共約1,600個時觀測個案。迴歸方程之自變數除日序函數值(見Neumann 1992)外,分兩大類,一為台北測站之風速、地面氣壓、與當時降水量,另一為颱風之中心位置、最大風速、移速、移向、與中心距台北之距離。其中,颱風中心位置等資料係以美軍聯合颱風警報中心(JTWC)6小時最佳路徑資料經線性內插而得,而顯及颱風之位置不易直接應用於迴歸方程中,因此迴歸模式係依颱風中心所在位置,在每一經緯度小區域內分別建立。另外,降水量則先經方根轉換,以使轉換後數值較趨向常態分布。

預測校驗是對每一颱風以其他所有颱風之資料建立預測模式,預測校驗結果顯示,以此迴歸模式所做12小時以內之台北颱風降水預測,不論在時降水或累積降水皆較以平均法(見王等1986;葉等1999)之預測結果有明顯改進。迴歸模式預測結果均方誤差值約為平均法預測結果均方誤差值之三分之一,對延時為1、3、6、9與12小時之時降水預測,其與觀測值之相關係數由平均法之0.42以下分別提高為0.63、0.52、0.52、0.56與0.46;對預測3、6、9與12小時之累積降水,其與觀測值之相關係數則由平均法之0.5以下分別提高為0.72、0.59、0.71與0.71。

由自變數對降水影響之顯著性分析顯示,與台北颱風時降水關係較顯著之自變數主要包括台北之當時降水量(SR)、風速(SW)、與地面氣壓(SP),以及颱風之移速(TS)、移向(TD)、與中心最大風速(TV)等,其中SW主要對延時為1小時之降水達顯著性之區域較多,SR主要對延時為6小時以內之降水達顯著性之區域較多,TS

主要對延時為3至9小時內之降水達顯著性之區域較多,TD主要對延時為9與12小時且颱風中心位於東經120至123度時之降水達顯著性之區域較多,SP主要對延時為12小時且颱風中心也是位於東經120至123度時之降水達顯著性之區域較多,TV則對各延時達顯著性之區域個數皆約相同,但在較短延時降水達顯著性之區域較集中於東經120至123度間,而在較長延時降水達顯著性之區域則較集中於東經122至125度間。

與台北颱風累積降水關係較顯著之自變數也包括SR、SW、TS、TD與TV等項,其中SR與SW對累積降水之影響不再只侷限於短時間內,對12小時累積降水SR達顯著的區域仍在15區域中佔9個區域,SW則在降水累積時段增加後其達顯著的區域也略增加。TS、TV與TD對颱風累積降水之影響也較其對時降水之影響更明顯,其中在6小時以上之累積降水,TS達顯著的區域個數和SR達顯著的區域個數相近或部分稍多,成為與SR並列為影響台北颱風6小時以上累積降水最明顯的二項自變數。TD則仍以對累積時段較長之9或12小時累積降水達顯著性之區域較多,尤其是颱風中心位於東經120至123度時更明顯。

從迴歸模式多重判定係數值(Coefficient of Multiple Determination,  $R^2$ )可見,在同一區域內累積降水 $R^2$ 值皆較時降水 $R^2$ 值大,顯示迴歸模式對累積降水預測結果較對時降水預測結果為佳。以不同時段間做比較,在時降水方面,延時增加時,大致上 $R^2$ 值減少,但在累積降水方面,降水累積時段增加, $R^2$ 值並未明顯減少,因此迴歸降水預測模式即使在延時較久時無法有效做到定時定量之降水預測,但對累積降水之預測,卻能在累積時段增加後也能維持一定



的預測能力。

以不同網格區域之 $R^2$ 值間做比較，則顯示基本上當颱風中心位於東經120至123度期間之 $R^2$ 值較颱風中心位於東經123度以東期間之 $R^2$ 值為小，這顯示迴歸降水預測模式，對颱風將趨近台北時對其降水預測之能力，較颱風將遠離時之預測能力為佳，這或許與颱風趨近時有較明顯之作用力，而颱風將遠離時，因其結構受地形影響與離開後將導入氣流之型態等複雜性較高，以致迴歸法對其時之降水預測能力較差。

綜合而言，由本研究之測試顯示，透過較完整統計所發展之颱風降水迴歸預測模式，其預測結果由相關係數與均方誤差研判都較平均法預測結果有明顯改善，同時也對部分較大降水個案能正確分辨，相同的作法對台南颱風降水預測也較平均法明顯改善(資料正整理中)，顯示此颱風降水迴歸預測模式有作業用之價值。不過，現今測試之颱風降水迴歸預測模式預測結果仍有不少較大降水個案被低估，如對6小時以上累積降水即有不少大於100mm降水個案被低估，值得進一步分析予以改進，其中引用更完整之函數以對降水與各自變數做轉換使其更趨近於常態分布、將颱風依移動方向做分類、加入其它之自變數、以及嘗試其它迴歸方法等都值得進一步測試。另外，在網格區域方面，也值得進一步擴大，以了解颱風中心位於其它地區時，相似降水迴歸預測模式之通用性。最後，從顯著性之分析可初步得知造成台北颱風降水的一些顯著因子，如了解台北當時降水量、台北當時風速、以及颱風移速等都和台北稱後之降水量有關，我們認為了解其間詳細之相關性，可由此為基礎做進一步分析，如此或許可以增進我們對台灣地區颱風降水物理機制之了解。

## 致 謝

感謝中央氣象局提供相關資料及中央大學副校長鄭光甫教授與大氣物理系陳台琦教授的鼓勵和建議，並感謝林建發先生對部分資料的整理、國家科學委員會計畫NSC89-2111-M008-028與NSC89-2625-Z052-002之資助、以及兩位審查者之建議使本文可以順利完成。

## 參考文獻

- 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(二)。國家科學委員會防災科技研究報告74-51，152頁。
- 吳宗堯與謝信良，1990：現有颱風預報成果作業化之研究(三)。國家科學委員會防災科技研究報告79-37，137頁。
- 林建發，2000：颱風降雨量之統計迴歸預測。國立中央大學統計研究所碩士論文，75頁。
- 陳泰然、李清勝、王時鼎、紀水上與周仲島，1993：豪雨預報技術改進之研究颱風部分研究計劃。第貳篇颱風降水氣候模式預報系統之發展和建制。中央氣象局82年度委託研究計畫CWB82-2M-10，113頁。
- 陳重功、羅存文、王惠民與賀介圭，2000：中央氣象局統計預報系統之發展。氣象學報，43，第二期，18-33。
- 葉天降、吳石吉與謝信良，1999：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。大氣科學，27，395-412。
- 葉天降、謝信良與吳石吉，2000：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究(二)預測結果隨區域之分佈。大氣科學，28，263-279。
- 謝信良，1986：台灣地區氣象災害之探討。大氣科學，13，89-108。
- 魏元恆、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，第三期，1-17。

- Carter, G. M., J. P. Dallavale, and H. R. Glahn, 1989: Statistical forecasts based on the National Meteorological Center's numerical weather prediction system. *Wea. Forecasting*, **4**, 401-412.
- Draper N.R. and H. Smith, 1998: Applied Regression Analysis. Third Edition. John Wiley & Sons, Canada.
- DeMaria, M., and J. Kaplan, 1994: A Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS) for the Atlantic basin. *Wea. Forecasting*, **9**, 209-220.
- Fitzpatrick, P. J., 1997: Understanding and forecasting tropical cyclone intensity change with the Tropical Intensity Prediction Scheme (TIPS), *Wea. Forecasting*, **12**, 826-846.
- Neumann, C. J., 1972: An alternate to the HURRAN tropical cyclone forecast system. NOAA Technical Memorandum NWS SR-62, 25pp.
- Neumann, C. J., 1992: A revised climatology and persistence model (WPCLPR) for the prediction of Western North Pacific tropical cyclone motion. SAIC/NORAL Contract Report N00014-90-C-6042 (PART 1), 40pp.
- Xu, Y., and C. J. Neumann, 1985: A statistical model for the prediction of Western North Pacific tropical cyclone motion (WPCLPR). NOAA Technical Memorandum NWS NHC 28, 30pp.

# Typhoon Rainfall Regression Predictions over Taiwan Area ( I ) The Linear Regression Model for Predicting Typhoon Rainfalls at Taipei

Tien-Chiang Yeh<sup>1</sup> Tsai-Hung Fan<sup>2</sup> Yun-Huan Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Central Weather Bureau

<sup>2</sup>Graduate Institute of Statistics, National Central University

( Manuscript received 12 October 2000 ; in final form 8 March 2001 )

## ABSTRACT

To understand and predict the rainfall associated with a typhoon is one of the most concerned issues in both the operational weather forecasting and the theoretical study. This paper aimed at the demonstration of developing a typhoon rainfall prediction model for Taipei based on linear regressions. The models were constructed independently in each one degree by one degree sub-domain according to initial latitude and longitude position of typhoons. The predictors were the surface wind speed, the pressure, and the rainfall at Taipei, the center maximum wind speed, the typhoon moving speed and direction, the distance between Taipei and the typhoon center, and the Julian day number function (Neumann 1992). The observational data employed to the model development including the hourly surface wind, pressure and rainfall at Taipei when a typhoon was inside 120°E to 125°E and 22°N to 25°N from 1961 to 1994. The hourly, through the linear interpolations from the 6-hourly best tracks data of Joint Typhoon Warning Center/USA, center position, the center maximum wind speed, and the time of the typhoon occurred were also considered.

We found that the distributions of the typhoon rainfalls at Taipei, especially those of the hourly rainfalls, do not resemble the normal distribution. Improvements therefore were made by taking a simple square root transformation on the rainfalls. Verifications of the regression rainfall prediction models showed that the mean squared error and the correlation coefficient between observations and predictions for the 1/3/6/9/12 hour(s) lagged hourly rainfall predictions are 18.5/24.5/23.0/22.2/23.0 mm<sup>2</sup> and 0.63/0.52/0.52/0.56/0.46, respectively; and 115/328/566/888 mm<sup>2</sup> and 0.71/0.59/0.71/0.71, respectively for the 3/6/9/12 hours accumulated rainfall predictions. It showed that the regression models resulted in smaller mean squared errors, but higher correlation coefficients, compared with those predictions by the climatology average based on the same data. Such significant improvements show the potential of applying the proposed regression models to the operational typhoon rainfall predictions.

**Key words:** Typhoon rainfall prediction, Regression.