

交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

颱風降雨統計預報之研究及應用

計畫類別：國內 國外

計畫編號：MOTC-CWB-93-2M-06

執行期間：93年2月1日至93年12月31日

計畫主持人：樊采虹

執行單位：國立中央大學

中華民國 93 年 12 月

台南颱風降水之線性迴歸預測模式

樊采虹

中央大學統計研究所

摘要

本文沿用葉等(2001)就台北颱風降水預測發展之線性迴歸方法，對台南地區之颱風降水進行校驗。所採用之資料為 1961 至 1994 共 34 年之台南每小時觀測風速、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。迴歸模式依颱風之中心位置，在東經 118 至 123 度北緯 22 至 25 度間，每一經緯度區域內分別建立，自變數包括前述台南觀測資料、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臺南之距離等共八項。

由我們的分析顯示，臺南颱風降水量需要透過如方根之轉換才能較趨近於常態分佈，而依此所建立之迴歸預報模式，對延時為 1/3/6/12 小時之時降水預測均方誤差為 $42.6/48.5/54.3/44.8 \text{ mm}^2$ ，相關係數為 0.50/0.40/0.38/0.36；對 3/6/12 小時累積降水預測之均方誤差為 $246/818/1968 \text{ mm}^2$ ，相關係數為 0.58/0.56/0.62。以相同個案預測結果和平均法做比較，其均方誤差減低，而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。

The Linear Regression Models for Predicting Typhoon Rainfalls in Tainan

Tsai-Hung Fan

Graduate Institute of Statistics, National Central University

ABSTRACT

Following the linear regression models for predicting the typhoon rainfall over Taipei developed by Yeh, et. al. (2001), this paper aims at the justification on the typhoon rainfall regression models for Tainan. The models are constructed independently in each one degree by one degree sub-domain according to initial latitude and longitude positions of typhoons. The predictors are the surface wind speed, the pressure, and the rainfall at Tainan, the center maximum wind speed, the typhoon moving speed and direction, the distance between Tainan and the typhoon center, and the Julian day number function (Neumann 1992). The observational data employed to the model development include the hourly surface wind, pressure and rainfall at Tainan when a typhoon was inside 118°E to 123°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 are also considered.

A square root transformation on the rainfalls is made to ensure the normality assumption of the models. The resulting mean squared errors and the correlation coefficients between observations and predictions for the 1/3/6/12 hour(s) lagged hourly rainfall predictions are $42.6/48.5/54.3/44.8 \text{ mm}^2$ and $0.50/0.40/0.38/0.36$, respectively; and $246/818/1968 \text{ mm}^2$ and $0.58/0.56/0.62$, respectively for the 3/6/12 hours accumulated rainfall predictions. It concludes that the regression models, both in Taipei and in Tainan, yield smaller mean squared errors, but higher correlation coefficients, compared with those made by the climatologic average based on the same data. Such significant improvements show the potential of applying the proposed regression models to the operational typhoon rainfall predictions.

Keywords: Typhoon rainfall prediction, regression.

表圖說明

表1：東經118度至東經123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。

表2：當颱風中心在各網格區域(見表1)時，對台南各延時之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。

表3：以平均法與迴歸法預測台南之颱風時降水量結果之均方誤差(mm^2)與相關係數。

表4：如表2，唯為對台南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^2 值。

表5：台南之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^2)與相關係數。

圖 1：(a)A9 網格內之時降水量原始資料，與(b)根號轉換後之常態機率圖。

圖 2：(a)A9 網格內之累積雨量原始資料，與(b)根號轉換後之常態機率圖。

圖 3：迴歸模式對延時為(a)1、(b) 3、(c) 6 與(d)12 小時時降水量預測值(縱軸， mm)相對於觀測值(橫軸， mm)之散佈圖。

圖 4：迴歸模式對 (a) 3、(b) 6 與(c) 12 小時累積降水量預測值(縱軸， mm)相對於觀測值(橫軸， mm)之散佈圖。

一、前言

近年來，民眾聞颱色變，從 1996 年賀伯颱風、1997 年溫妮颱風、1998 年瑞伯颱風及 2000 年象神颱風，均帶來豐沛的雨量。颱風所夾帶的豪雨，經常造成土壤流失、人員傷亡、甚至經濟上的重大損失。關於颱風降雨量預報，葉等(1999)曾提及國外現今研究相當少，並沒有成熟方法可供應用。但是在台灣地區，自 1963 年葛樂禮颱風降下 1500 公厘豪雨後，相繼有許多學者發展有效的方法，提供對降雨量的預報。目前中央氣象局降雨預報作業主要是參考吳與謝(1990)的整理，依路徑分類之累積降雨量分佈(魏等 1971)，及王等(1986) 所發展的區域平均法與比值法，作為預報參考依據。因此，如何提升降雨量的預報，減少災害損失，為刻不容緩的課題。

葉等(2000)曾以完整的觀測資料，對台北地區應用所謂平均法做颱風時降水預測之校驗，在颱風移動預測誤差不考慮下，平均法預測颱風時降水量之均方根誤差並不大，不過對所有較大降水量之個案則有明顯低估的情況。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。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。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，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，尙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) 也先後應用颱風所在經緯位置、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。

葉等(2001)以颱風之中心最大風速、颱風與測站的距離、颱風移動方向角度、颱風移動速度與台北測站觀測的風速、地面氣壓、時(或累積)降水、日序等為因子發展台北地區颱風時(累積)降水迴歸預報模式。結果顯示，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，顯示此颱風降水迴歸預測模式有作業上使用之價值。

本文主要的目的即沿用葉等(2001)的方法，對臺南地區進行颱風降水之時(累積)降水預測，期能進一步了解颱風降水預測之誤差並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。於後第二章將對所用之資料與降水量預測方法做扼要介紹說明，第三章為結果分析與討論，最後是結論。

二、資料與預測方法

葉等(2001)以 1961 至 1994 共 34 年之颱風降水資料，應用迴歸預測方程進行台北地區颱風降水預測之校驗，相同的方法將被應用來檢驗臺南地區颱風降水情形。中央氣象局臺南測站對測站風速、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。針對颱風進入東經 118 度至東經 123 度，和北緯 22 度至北緯 25 度之間時進行臺南颱風降水迴歸預報測試。進行的作法是將此區域以經緯各一度區分為 15 個網格區域(見表 1)，被預測颱風之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 Δt 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 Δt 時間後之時(或累積)降水量。扼要的說，本文使用之自變數向量 X 包括下列各項：

X_1 ：為颱風當時中心最大風速，TV，單位為公尺/秒。

X_2 ：為颱風與測站的距離，DS。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，TD。設颱風在當時所在經緯度位置為 (X_1, Y_1) ，而其在 Δt 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 $X'_3 = \tan^{-1}\left(\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}\right) + \frac{\pi}{4}$ ，並將其值限制在 0 至 2π ，而移動的近似方向角度則為 $X_3' = \tan^{-1}\left(\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}\right) + \frac{\pi}{4}$ 。其中加 $\pi/4$ 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，TS。設颱風在當時所在經緯度位置為 (X_1, Y_1) ，而其在 Δt 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 ：為台南測站當時所觀測的風速，SW，單位為公尺/秒。

X_6 ：為台南測站當時所觀測的地面氣壓，SP，單位為 hpa。

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

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

X_8 ：為台南測站當時之時(或 Δt 小時累積)降水量，SR。

而反應變數 $Y_{\Delta t}$ 為 Δt 時以後之降雨量。

在建立迴歸模型前，先對資料 Y_{At} 做常態機率圖以判斷其是否具常態性。以 A9 網格為例(網格區域位置為東經 120 至 121 度和北緯 24 至 25 度)，圖 1(a)為在 A9 網格區域之時降水量的常態機率圖，因有些時降水量太大，有些又太小，故其分佈距常態分佈甚遠，因此考慮將降水量做根號之轉換。圖 1(b)為轉換後之常態機率圖，結果已大致分佈在一直線附近，較原資料改善許多。我們將每一網格區域之資料均做同樣的檢視，發現方根是恰當的常態轉換，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。

對累積降水量，由於累積降水量為時降水量之累積，整體而言比較沒有太極端的數值，以在相同之網格區域 A9 為例，圖 2(a)為颱風在 A9 網格區域之 3 小時累積降水量的原始資料常態機率圖，其分佈與常態分佈較接近，但仍有部份值過大或過小，對其他網格區域之累積降水量資料做同樣的檢視，發現 3 小時以上累積降水量大致均與圖 2(a)類似，然而為使其更近似常態分佈，累積雨量仍引用根號轉換，轉換結果如圖 2(b)。

本文只考慮自變數為 X 之一次線性迴歸模型，即

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_8 X_8 + \epsilon ,$$

而 Y 為雨量之平方根。並以逐步迴歸(stepwise regression)篩選重要之自變數因子，關於模型建立之詳細步驟與方法可參閱葉等(2001)及 Draper and Simth(1998)。表 2 和表 4 則分別列出時雨量和累積雨量在前述各網格中經逐步選出之自變數及其多重判定係數(Coefficient of Multiple Determination) R^2 值。

三、預測結果

1. 時降水量

表 2 為各網格區域中影響時降水量 Y_{At} 之顯著變數，及僅包含這些顯著自變數之線性迴歸模型的 R^2 值。為方便討論，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 分別表臺南當

時之風速、地面氣壓與當時之 $\sqrt{\text{時降水量}}$ (或 $\sqrt{\text{累積降水量}}$)，以 JD 表曰序函數值，並以 DS 表颱風中心與台南之距離。對延時為 1、3、6 與 12 小時後之颱風時降水，SR 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 增大為 12 小時，SR 達顯著影響的區域由 15、9、7 逐漸減少為 3，此種現象顯示在短延時內，台南颱風兩時降水量間之相關性相當大，但隨延時之增加，兩者相關性明顯減小。TS 對台南颱風時降水之影響有隨延時增加而增加的情形，對延時為 12 小時之降水，TS 在 6 個網格區域內達顯著性，顯示颱風移動速度和短時間內之颱風降水關係較弱，但和較長時間後之降水強度則關係較為密切。

對延時為 6 小時後之颱風時降水，TD 已在 6 個網格區域達顯著性，對延時為 12 小時之時降水，TD 在 7 個網格區域達顯著性，這表示颱風之移動方向角度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。同樣的，TV 也有相同現象。當颱風中心位於台灣附近時，SW 為一顯著影響的自變數，在 A11、A12 與 A14 等 3 區域在不同延時均達到顯著，顯示當颱風中心位於這些區域時，台南之風速影響颱風之降水。

由表 2 中 R^2 值之分佈可以發現，對延時為 1 小時之降水，除 A10、A13 及 A14 較小外，其餘各網格區域 R^2 值大多都在 0.5 以上。隨延時之增加，上述網格之 R^2 有逐漸增大的趨勢，這種變化顯示迴歸降水估計對颱風離台灣較遠時之降水估計有較大的不確定性，而對颱風接近台灣時之降水估計則較能確定。而颱風遠離時，一方面因各不同颱風可能受地形影響程度不同，而增加其複雜性，另一方面也可能會因颱風中心過後西南氣流之不同作用而影響其降水，因此使得此時颱風之時降水預測有較大的不確定性。

另外經檢視發現在 R^2 值較低之網格中，有很大一部份的資料其反應變數的觀測值為零（即未降水），事實上，在這些網格內，延時之時降水量為零的比例

都達 $1/3$ 以上，因此方根或任何轉換都無法改變資料聚集在某一點的現象，而此現象會影響迴歸模型之適合性。關於這部分的問題及修正方法，李(2001)有較完善的討論，不在本文考慮範圍內。

表 3 進一步比較以迴歸法與平均法進行台南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為小(大)。而圖 3 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佈情形。由圖可知，迴歸法已能分辨部分較大降水個案，且相關係數皆在 0.4 以上，顯示經過較完整之統計迴歸，確實能提高臺南颱風時降水之預測能力。然而，圖 3 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。值得注意的是降水量低估的原因乃與前述資料中相當比例的個案降水量為零有關，不論是平均法或迴歸法都會有低估的現象。

2. 累積降水

表 4 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與 R^2 值。由表可見， SR 為大部分網格區域皆達顯著性之自變數，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 3、6 增大為 12 小時，SR 達顯著影響的區域由 13、9 逐漸減少為 7，此種現象顯示在短延時內，臺南颱風兩累積降水量間之相關性相當大，但隨延時之增加，兩者相關性明顯減小。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 12 小時之累積降水，TD 與 JD 分別在 9 與 10 個區域達顯著性。TD 達顯著性之區域主要在北緯 22 度至 23 度間。而 JD 達顯著性之區域則主要在 A5、A7、A9 與 A11 網格，也就是在颱風靠近臺南四周時，日序為一顯著因子。對 12 小時累積降水，TD 也在東經 121 度以西 9 區域中之 5 個區域達顯著性，TV 在東經 120 度以西的 6 個區域均為顯著因子，所以當颱風位於台灣西邊時，颱風中心風速與颱風移動之方向對累積降水量有顯著之影響。

由累積降水 R^2 值之分佈可見，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 4 個區域 R^2 小於 0.6，但對 12 小時累積降水有 14 個區域之 R^2 值皆在 0.6 以上。區域中相互比較又以東經 120 至 123 度間對 12 小時累積降水之預測較佳，其 R^2 都在 0.8 以上（除 A10 與 A13 外）。A10 與 A13 區是 R^2 較小之區域，颱風中心於此區時，對 3、6 與 12 小時累積降水之 R^2 值皆較附近地區為小，可能仍與資料在零點聚集有關。

表 5 列出對所有台北颱風 3、6 與 12 小時累積降水量以平均法與迴歸法預測結果之均方誤差與相關係數，圖 4 則繪示以迴歸法預測累積降水量隨觀測降水量之散佈圖。由表 4 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 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、6 與 12 小時之累積降水預測相關係數皆在 0.5 以上。從圖 4 也可看出有更多之個案位於散佈圖之對角線附近，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更為明顯。對 6 小時累積降水迴歸法預測結果之相關係數值是 3、6 與 12 小時三項累積降水量預測中最小的，此點亦與台北之預測結果相同。

四、結論

降水預報是天氣預報作業中重要的工作項目之一，而颱風降水預報則是相當複雜的問題。葉等(2001)以 1961 至 1994 共 34 年之降水資料，透過多變數線性迴歸模式以預測台北颱風在 12 小時以內之時與累積降水之情形，本文主要延續葉等(2001)之研究，以相同時期之資料與相同之方法，校驗台南地區颱風 12 小時內之時與累積降水。

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 小時以內之臺南颱風降水預測，不論在時降水或累積降水皆較以平均法之預測結果有明顯改進。對延時為 1、3、6 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 0.29 以下分別提高為 0.56、0.54、0.43 與 0.45；對預測 3、6 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 0.33 以下分別提高為 0.63、0.59 與 0.65。

由自變數對降水影響之顯著性分析顯示，與臺南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)等，其中 TS 主要隨延時增加對降水達顯著性之區域較多，SR 主要對延時為 3 小時以內之降水達顯著性之區域較多。TD 主要對延時為 6 與 12 小時且颱風中心位於東經 121 至 123 度時之降水達顯著性之區域較多。SW 主要在 A11、A12、A14 與 A15 中達顯著性之區域，顯示當颱風位於臺南測站右上方時，台南所觀測到之風速會影響各延時的降水量。

與臺南颱風累積降水關係較顯著之自變數也包括 SR、SW、TD 與 JD 等項，其中 TD 與 JD 對累積降水之影響主要在颱風位於台灣西半部時(即東經 120 度以西)。而對 12 小時之累積降水，SW 達顯著的區域在 15 區域中佔 8 個區域，即 SW 在降水累積時段增加後其達顯著的區域也略增加。

從迴歸模式多重判定係數可見，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。

綜合而言，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。此結果與台北降水預測相同，顯示降水迴歸預測模式對不同測站具一致性。

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預報研究(三)。國家科學委員會防災科技研究報告 74-51，152pp。
- 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。
- 李昀寰，2001：颱風降雨量與風速之統計預測。國立中央大學統計研究所碩士論文，71 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。
- 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。
- 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、樊采虹與李昀寰，2001：台灣地區颱風降水之迴歸預(一)台北颱風降水線性迴歸預測模式。大氣科學，29，77-96。
- 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.
- DeMaria, M., and J. Kaplan, 1994: A Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS) for the Atlantic basin. Wea. Forecasting, 9, 209-220.
- Draper, N.R., and Smith, H., 1998: *Applied Regression Analysis*, John Wiley & Sons, Canada.
- 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.
- 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

表 1：東經 118 度至東經 123 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。

	118-119°E	119-120°E	120-121°E	121-122°E	122-123°E
24-25°N	A3	A6	A9	A12	A15
23-24°N	A2	A5	A8	A11	A14
22-23°N	A1	A4	A7	A10	A13

表 2：當颱風中心在各網格區域對台南各延時時降水量預測具顯著影響之自變數與迴歸模型之 R^2 值。

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	TS SW SR	TS SR	TV SR	TD SP SW	SW JD SR	TV SR	DS TD SW	JD SR	TV SP JD	JD SR	SP JD SR	SW SR	TD SR	DS TD SW	TV DS SP SW SR
	個案數	88	60	86	106	63	74	71	48	106	132	111	166	121	131	106
	R^2	0.68	0.65	0.66	0.78	0.77	0.70	0.72	0.74	0.85	0.34	0.62	0.81	0.34	0.46	0.75
三小時	顯著影響之自變數	TD SP SR	TS SR	TV SR	TD SP SW	JD	TV SR	TS SP JD SR	TD	DS JD	TS JD	SW SP	SW SR	TS SR	TV DS TD TS SW SP	SW
	個案數	86	58	85	106	63	74	71	46	105	131	110	166	121	131	106
	R^2	0.58	0.55	0.50	0.58	0.71	0.55	0.67	0.70	0.66	0.75	0.66	0.69	0.25	0.56	0.33
六小時	顯著影響之自變數	TD SP SR	TS SR	TD SR	TV TD	JD	TV	TV	TD TS SP SR	TV DS TS	TD SW	DS SW	SW SR	DS JD	DS TD SW	SW
	個案數	81	54	74	106	63	71	69	45	100	128	110	166	121	131	106
	R^2	0.70	0.59	0.44	0.54	0.73	0.42	0.60	0.85	0.58	0.51	0.76	0.61	0.28	0.57	0.40
十二小時	顯著影響之自變數	DS TD SP	TS	DS	TD SP JD	TS SW JD	TV TS	SP JD SR	TV SR	TD	TV	TD TS SW SP	TD TS SW	TV	TD TS SW JD	
	個案數	68	39	37	86	60	44	68	45	82	127	109	154	118	128	105
	R^2	0.63	0.42	0.33	0.55	0.72	0.50	0.57	0.59	0.31	0.49	0.71	0.53	0.48	0.65	0.52

表 3：以平均法與迴歸法預測臺南之颱風時降水量結果之均方誤差(mm^2)與相關係數。

延時		1小時 (1469個案)	3小時 (1459個案)	6小時 (1425個案)	12小時 (1270個案)
均方誤差	平均法	52.21	59.7	59.11	47.13
	迴歸法	42.64	48.53	54.37	44.80
相關係數	平均法	0.29	0.23	0.21	0.24
	迴歸法	0.50	0.40	0.38	0.36

表 4：台南各時段颱風累積降水預測具顯著影響之自變數與 R^2 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	TV TD SP SR	TS SR	TV SR	TD SP SW SR	JD	TV SR	DS TD SP JD SR	TD JD SR	DS JD SR	DS JD SR	TD SP JD SR	TD SW SR	JD SR	TV DS TD TS SW SR	SW SR
	個案數	86	58	85	106	63	74	71	46	105	131	110	166	121	131	106
	R^2	0.70	0.72	0.73	0.76	0.81	0.68	0.72	0.78	0.80	0.71	0.76	0.78	0.52	0.59	0.60
六小時	顯著影響之自變數	TV TD SP SR	TV DS TS SR	TV SR	TD SP SW	JD	TV SW SR	DS TD SP JD	TD	DS JD SR	TD SW SR	SW SP JD	SW SR	DS JD SR	TV DS TD TS SW SP JD SR	TD TS SW SP JD SR
	個案數	81	54	74	106	63	71	69	45	100	128	110	166	121	131	106
	R^2	0.83	0.85	0.69	0.80	0.89	0.75	0.76	0.89	0.78	0.66	0.81	0.76	0.42	0.70	0.73
十二小時	顯著影響之自變數	TV TD TS SP JD	TV TS SR	TV JD SR	TD SP SW JD	DS TS SW JD	TV TD SP JD	DS TD SP JD	TD SW SR	DS JD	TD SP JD	SW SP JD	TV TD SW SR	DS TD SW	TD TS SW SP JD SR	TD TS SW SP JD SR
	個案數	68	39	37	86	60	44	68	45	82	127	109	154	118	128	105
	R^2	0.87	0.93	0.92	0.91	0.94	0.87	0.85	0.98	0.82	0.66	0.86	0.81	0.60	0.80	0.82

表 5：台南之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^2)與相關係數。

		累積時段		3小時 (1459個案)	6小時 (1425個案)	12小時 (1270個案)
		均方誤差	平均法	324	1028	2746
			迴歸法	246	818	1968
相關係數		平均法	0.31	0.31	0.33	
			迴歸法	0.58	0.56	0.62

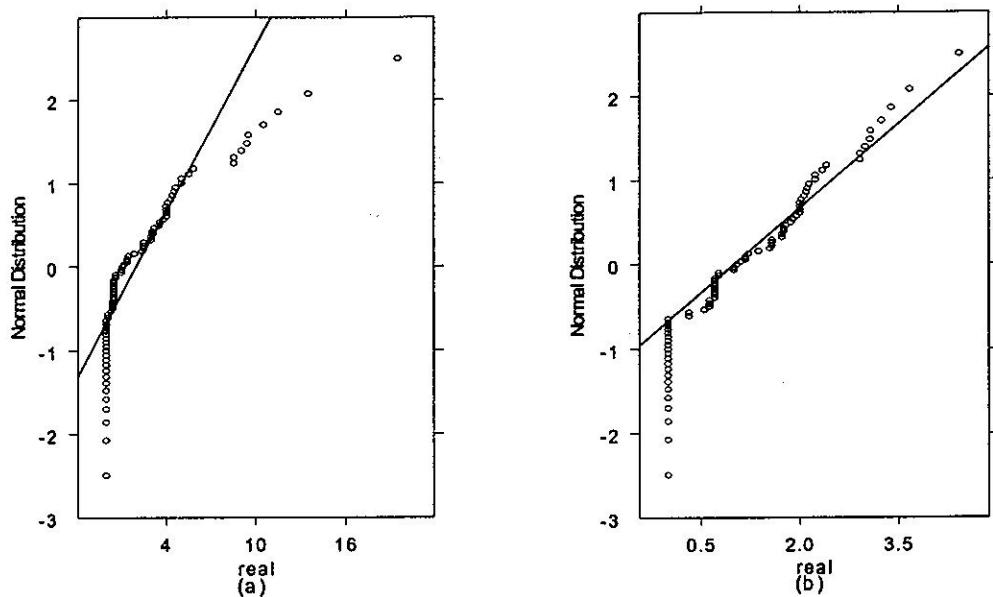


圖 1：(a)A9 網格內之時降水量原始資料，與(b)根號轉換後之常態機率圖。

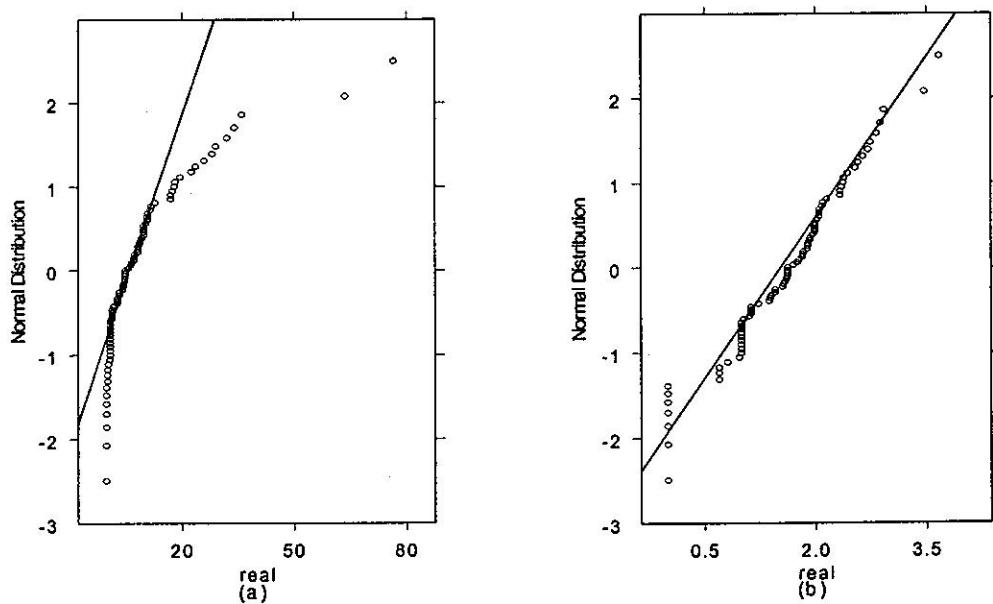


圖 2：(a)A9 網格內之累積雨量原始資料，與(b)根號轉換後之常態機率圖。

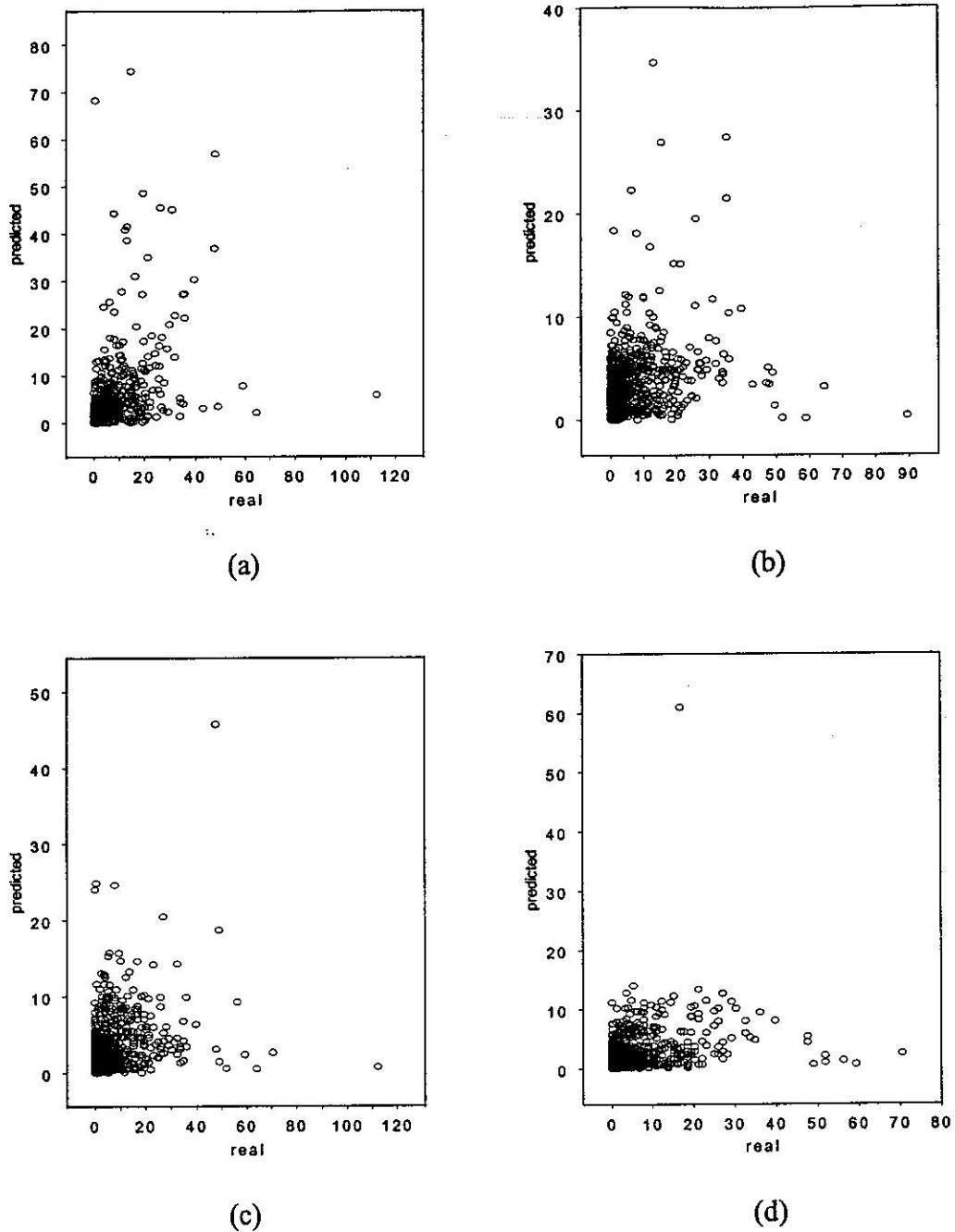


圖 3：迴歸模式對延時為(a)1、(b) 3、(c) 6 與(d)12 小時時降水預測值(縱軸, mm)
相對於觀測值(橫軸, mm)之散佈圖。

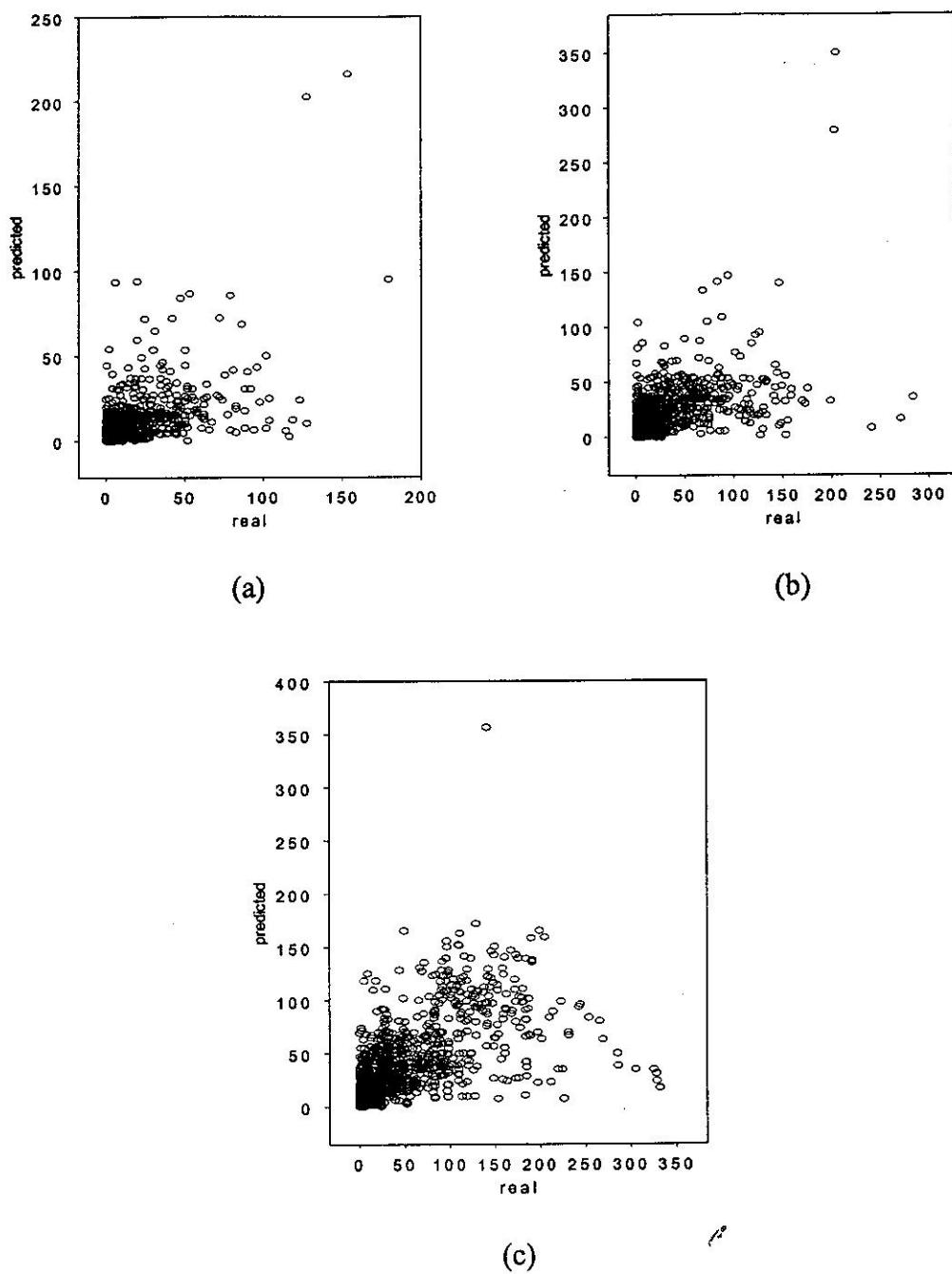


圖 4：迴歸模式對 (a) 3、(b) 6 與(c) 12 小時累積降水預測值(縱軸，mm)相對於觀測值(橫軸，mm)之散佈圖。