

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布

葉天降 謝信良 吳石吉

中央氣象局

(中華民國八十九年三月十六日收稿；中華民國八十九年八月四日定稿)

摘 要

葉等(1999)曾以 1961 至 1996 共 36 年之降水資料，詳細校驗平均法(見王等 1986)、持續法、差異持續法與比差法在台北颱風降水預測之情形。本文主要在延續葉等(1999)之研究，以相同時期之資料與相同之方法，校驗這些統計方法在台灣其它地區颱風期間之時、6 小時累積與 12 小時累積降水預測情形。

從颱風降水資料分析顯示，台灣地區颱風降水和地形有相當密切的關係，各地較大降水發生時機是當颱風中心移到颱風之氣旋式環流可吹向地形，當地處於迎風面時發生。從平均法對降水量的預測也顯示，迎風面地區之颱風降水預測準確度較背風面地區之預測準確度為高，顯示地形強迫作用有助於在颱風來襲時產生系統性的降水。

對颱風降水進一步校驗之結果也顯示，平均而言北行颱風之降水較西行颱風降水少，且以上述統計方法做北行颱風降水預測之準確度較對西行颱風降水預測之準確度為低。對所檢驗各地區中，不論西或北行颱風皆以西南部高雄與台南地區之颱風降水預測誤差最大，北行颱風則也使西北部台中與新竹地區之颱風降水預測誤差相對擴大。所應用之降水平均場若依颱風路徑分為西行與北行兩類，並沒有增進颱風時降水量與 6 小時累積降水量預測之準確度，但對 12 小時累積降水之預測，則顯示應用依路徑分類之平均場，較應用不分類之平均場，所做預測為準確。此外，應用平均法進行颱風降水預測，因採用平均值，因此對較大降水都有低估的現象，引用差異持續法或比差法對許多地區能改進其部分缺失，因而提高颱風降水預測之準確度，其中又以對 6 小時累積降水預測之改善較為明顯。

關鍵詞：颱風、降水預測

一、前言

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，造成嚴重災情(廖 1960)。近年則相繼有賀伯(Herb 1996)、安珀(Amber 1997)與瑞伯(Zeb 1998)等颱風造成嚴重水患。Chen(1995)曾對颱風降水問題做綜合介紹，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。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，葉等(1999)曾簡略的對相關之文獻做一回顧，並以更完整之觀測資料，對台北地區應用所謂平均法(見王等 1986)做颱風時降水預測之校驗。他們發現，平均法預測颱風時降水量之均方根誤差值並不大，不過對所有較大降水量之個案則有明顯低估的情形。

葉等(1999)進一步討論台北颱風降水之持續性，以西進颱風為例，他們發現兩時降水量間，若時距超過 3 小時以上，則其相關係數都相當小，如時距為 6 小時之兩時降水量間之相關係數為 0.27，而時距大於 12 小時以上之相關係數則幾乎為零。時距為 3 小時之兩時降水量間相關係數則為 0.4，與使用平均法預測颱風時降水量與觀測降水量間之相關係數 0.42 接近。若用假設時降水量不變之持續法預測，其預測結果對分辨時降水量 10mm/h 之公正預兆指數(Equitable Treat Score 簡稱 ETS)為 0.13 已較平均法之 ETS 值 0.08 為高，能改進部分平均法明顯低估較大時降水量之缺點，不過持續法也相對的造成有較多時降水量高估的情形，使得預

測結果之均方根誤差較平均法預測結果之均方根誤差大。

在進一步結合持續性與平均法在颱風降水預測方面，葉等(1999)測試了所謂差異持續法與比差法。由他們的結果顯示，以平均法為基礎，考慮降水與平均值之差異，能提高颱風降水之預測能力，以對西行颱風於台北是否有大於 10mm/h 時降水量之分辨能力而言，對 24 小時以內時降水量預測之 ETS 值已較以平均法之預測結果為佳。不過，以預測之實用性而言，超過 3 小時後之時降水量預測準確率仍不是很高，如對分辨 10mm/h 降水量之 ETS 值仍小於 0.2，顯示對定時定量之準確預測仍不易由這些簡單之統計方法做到。

葉等(1999)之分析顯示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。以西行颱風在台北降水為例，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相關係數值為 0.51/0.56/0.59/0.55/0.49，持續法預測值與觀測值間的相關係數值為 0.60/0.50/0.32/0.29/0.32，差異持續法預測結果與觀測值間的相關係數值則為 0.61/0.61/0.62/0.54/0.45，而對 3/6/12/18/24 小時累積降水達到 25/75/150/200/200 mm 之較大降水情形，由差異持續法預測之 ETS 值可達 0.22/0.23/0.25/0.22/0.04，顯示差異持續法能改善平均法部分缺失而提高預測準確度，而對 18 小時以內的累積降水量預測結果已有作業使用參考價值。

本文之主要目地在延續葉等(1999)之研究，針對颱風期間台灣各地區降水量之統計預測做校驗與比較，使對颱風降水預測隨區域之分

佈情形有進一步了解。於後第二章將對所用之資料與降水量預測方法做扼要說明，第三章是結果分析與討論，最後是結論。

二、資料與預測方法

葉等(1999)以 1961 至 1996 共 36 年之颱風降水資料，應用平均法(簡寫為 CLMN)、持續法(簡寫為 PERS)、差異持續法(簡寫為 DEPR)、與比差法(簡寫為 DEST)進行台北地區颱風降水預測之校驗，相同的資料(嘉義降水資料由 1969 年開始)和方法將被應用來檢驗新竹、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之颱風降水預測情形。扼要的說，如一颱風在某地於 t 時之時降水量為 $p(t, a=1)$ 可簡寫為 $p(t)$ ，則 n 小時之累積降水量 $p(t, a=n)$ 為 $p(t)$ 、 $p(t-1)$ 、...、及 $p(t-n)$ 之總和。以平均法在 t 時做 n 小時後之時 ($a=1$) 或 n 小時累積 ($a=n$) 降水預測值 $CLMN(t+n, a)$ 可表示為：

$$CLMN(t+n, a) = M(L(t), a); \quad a=1 \text{ 為時降水, } a=n \text{ 為 } n \text{ 小時累積降水}$$

其中 $L(t)$ 表颱風中心在 t 時之位置， M 則為歷史颱風之降水平均場隨颱風中心位置之分布，亦即區域平均值：

$$M(L(t), a) = \text{MEAN}(p_i(x, a))$$

式中 $\text{MEAN}(p_i(x, a))$ 為颱風中心位置 x 位於以 $L(t)$ 為中心經緯度各加減 0.5 度範圍內所有個案之時 ($a=1$) 或 n 小時累積 ($a=n$) 降水 (p_i) 之平均值。

持續法之預測值 $PERS(t+n, a)$ 則為 $PERS(t+n, a) = p(t, a)$ 。差異持續法是假設降水量與平均值之差異維持不變，因此差異持續法預測值 $DEPR(t+n, a)$ 與平均值 $M(L(t), a)$ 之關係可列

為：

$$DEPR(t+n, a) - M(L(t), a) = p(t, a) - M(L(t-n), a)$$

或

$$DEPR(t+n, a) = p(t, a) + M(L(t), a) - M(L(t-n), a)$$

比差法和差異持續法相近，是假設降水量與平均值之差異相對於平均場之標準偏差的比例維持不變，因此差異持續法預測值 $DEST(t+n, a)$ 與平均值 $M(L(t), a)$ 之關係為：

$$\begin{aligned} (DEST(t+n, a) - M(L(t), a)) / (S(L(t), a) + \epsilon) = \\ (p(t, a) - M(L(t-n), a)) / (S(L(t-n), a) + \epsilon) \end{aligned}$$

或

$$DEST(t+n, a) = p(t, a) / F + M(L(t), a) - M(L(t-n), a) / F$$

其中 $F = (S(L(t-n), a) + \epsilon) / (S(L(t), a) + \epsilon)$ ， $S(L(t), a)$ 與 $S(L(t-n), a)$ 則分別為時(當 $a=1$) 或 n 小時累積(當 $a=n$) 降水於 $L(t)$ 與 $L(t-n)$ 之標準偏差，因此 F 主要是兩平均降水標準偏差之比例，而加入 $\epsilon=1$ ，主要在避免除數為零或太小。

三、結果與討論

1. 平均場之分布

對台北地區之颱風降水，葉等(1999)顯示，若是將颱風移動路徑分為西行與北行兩大類時，雖兩類颱風降水量其隨颱風中心分布之平均場有所不同，但大致之分布情形類似，皆是當颱風之中心位於宜蘭外海時之降水最明顯。如圖 1，將兩類合併時台北地區之平均颱風時降水量大於 7mm/h 的發生時機是當颱風中心位於宜蘭外海約 1° ，在半徑約 1° 的近似圓形區域內，而 7mm/h 之選擇是考慮部分地區最大平均時降水小於 8mm/h ，且平均時降水 7mm/h 等值線

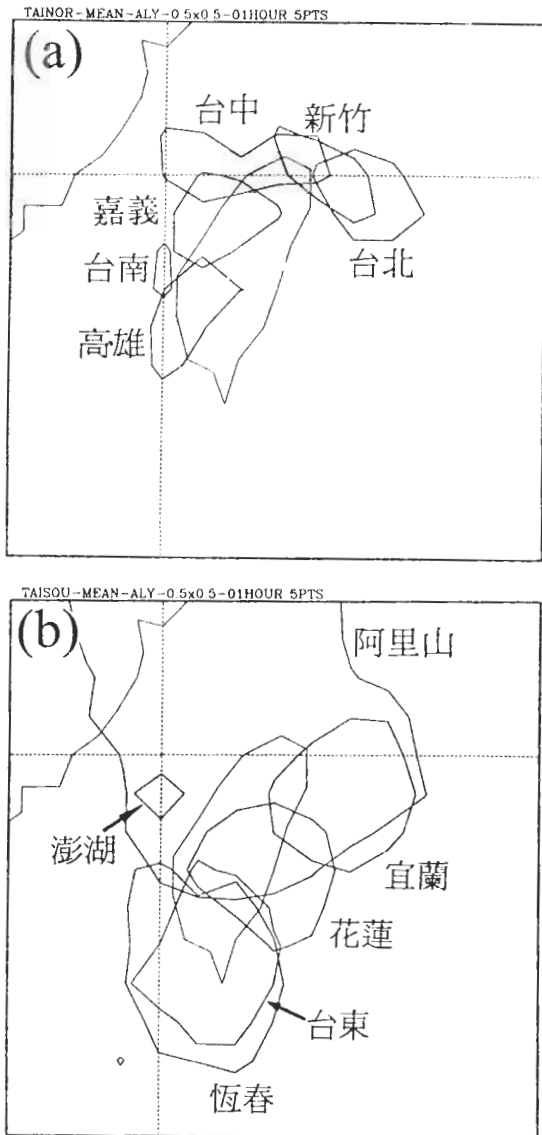


圖 1 在(a)台北、新竹、台中、嘉義、台南與高雄，(b)恆春、台東、花蓮、宜蘭、阿里山與澎湖等地區，颱風平均時降水量等於 7mm/h 發生時機隨颱風中心位置之分布。

並可界定颱風進入這些區域後，約可在 6 小時內累積降水量達 50mm 大雨。對新竹、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，此平均場之分布隨地區有相當規律的變化。

如圖 1a，應用葉等(1999)相同之颱風個案資料(見其圖 1)得到對台灣西北部地區，由台北、新竹往南到台中，颱風發生大於 7mm/h 降水之區域是颱風中心逐漸由東移向西，如新竹地區發生大於 7mm/h 降水之時機主要是颱風中心位於台灣北部與其沿海，而台中地區發生大於 7mm/h 降水之時機則是當颱風中心位於台灣西北地區與西北沿海。由恆春(圖 1b)往北到台中，颱風發生大於 7mm/h 降水之時機則是颱風中心逐漸由南移向北，如恆春地區發生大於 7mm/h 降水之時機，是颱風中心位於南台灣與巴士海峽一帶，高雄地區發生大於 7mm/h 降水之時機，是颱風中心位於高雄、台南與其附近沿海，嘉義地區發生大於 7mm/h 降水之時機，是颱風中心位於彰化到桃園地區與其沿海。對台南地區，其颱風降水平均場之最大值 7.25mm/h 是所有 12 地區中最小者，因此大於 7mm/h 之區域只侷限在嘉義外海，介於前述高雄與嘉義地區大於 7mm/h 範圍之間。

在台灣東部地區，由恆春、台東、花蓮到宜蘭，颱風發生大於 7mm/h 降水之時機也是颱風中心逐漸由南移向北(圖 1b)。如台東地區發生大於 7mm/h 降水之時機較恆春地區發生大於 7mm/h 降水之區稍為北移，宜蘭地區發生大於 7mm/h 降水之時機，則是颱風中心位於台灣東北部地區及東北部外海，而花蓮地區發生大於 7mm/h 降水之時機則是颱風中心位於中部山區、花蓮與台東地區及其沿海，介於前述台東與宜蘭地區大於 7mm/h 降水範圍之間。

從各地區颱風發生主要時降水之時機顯示，台灣地區颱風降水和地形有相當密切的關係，東南部之恆春、台東、花蓮地區，颱風產生較明顯降水是當颱風移近，以及颱風中心位於

該地區南方，而使颱風氣旋式氣流和地形形成迎風面有上坡運動時。西部地區之台北、新竹、台中以至高雄地區颱風較明顯降水也和東南部地區相似，是當颱風氣旋式氣流和地形形成迎風面有上坡運動時發生，但颱風中心移到該地區時，降水量卻逐漸減少，這或許是因為西北部地區是位於一般西行颱風來襲時山的另一側，經地形的破壞作用而使颱風強度減弱、降水變少。對北行颱風，當中心在西部各區域之南方時，颱風氣旋式氣流一般將使這些地區位於背風區，因此降水少，只有當颱風更往北移至各地之東或北方時，氣旋氣流才能造成較有利之上坡運動而造成較明顯降水。

圖 1b 另外可見，澎湖地區是在嘉義西方，其 7mm/h 降水發生之時機也是颱風中心在嘉義發生 7mm/h 降水時颱風中心所在區域之西方。另外，位於台灣中部山區之阿里山地區，則是所有 12 地區中颱風降水最顯著的地區，其 7mm/h 降水發生之時機最多，除了南台灣外，當其它地區發生 7mm/h 以上降水時，阿里山也會有大於 7mm/h 以上降水，其平均之最大值約為 22.2mm/h 是颱風中心位於苗栗地區，此時一方面因中心接近，另一方面是颱風氣旋式氣流最可能和地形形成迎風面上坡運動。

除阿里山外，降水平均場最大值之分布依序是東部地區、北部地區與中南部地區。東部之恆春、花蓮、台東與宜蘭四地區降水平均場最大值分別是 13.52、13.56、11.56 與 9.86 mm/h，北部之台北與新竹之降水平均場最大值則為 8.83 與 8.77 mm/h，中南部之降水平均場最大值除嘉義為 9.01mm/h 較北部之台北與新竹兩者為大外，其它如高雄、台中、澎湖與台南地區分別為 8.72、8.68、8.36 與 7.25 mm/h 都較北部地

區者為小，其中尤以澎湖和台南地區者最小，這可能是此兩地區較遠離山區，同時多處於颱風氣旋式氣流和地形之背風面，因此降水最少，東部地區則因處於山脈迎風面的機會較多，中心接近時颱風遭受地形之破壞作用影響較晚與較少，因此降水較多。

2. 平均法時降水預測校驗

葉等(1999)對台北颱風時降水預測校驗之結果顯示，平均法對 5,077 個西行颱風時降水個案之預測值與觀測值的相關係數(R_{xy})值為 0.42，均方根誤差(R_{ms})值為 3.75mm/h。以相同時期之颱風降水資料，校驗台灣其它地區降水預測結果之 R_{xy} 與 R_{ms} 值如圖 2。由圖顯示，以平均法進行颱風時降水量預測之 R_{xy} 值中以阿里山之 R_{xy} 值最大，為 0.56。接近阿里山之台中與嘉義次之，分別為 0.48 與 0.45。北部之宜蘭、台北與新竹三地區之 R_{xy} 值相近分別為 0.42、0.42 與 0.40，東部之恆春、台東與花蓮三地區之 R_{xy} 值也相近，在 0.37 至 0.39 之間。西南

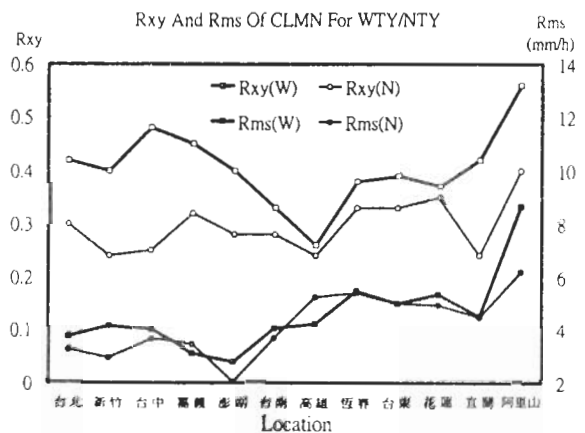


圖 2 各地區(橫軸)以平均法預測西行(W, 方形點粗線)與北行(N, 圓形點細線)兩類颱風時降水量之 R_{xy} (上二曲線, 左軸)與 R_{ms} (下二曲線, 右軸)值。

部地區，則由澎湖($R_{xy}=0.40$)往南逐漸減少，台南與高雄分別為 0.33 與 0.26 是各地區時降水預測 R_{xy} 值中最小者。

各地區颱風平均法時降水預測校驗之 R_{ms} 值中，澎湖之 R_{ms} 值 2.88 mm/h 則為各地區中最小時，其次是嘉義、台北與台中，分別為 3.12、3.75 與 3.98 mm/h，新竹與西南部之高雄與台南則皆略大於 4mm/h。 R_{ms} 值較大者以阿里山之 8.66mm/h 最大，東部之恆春、花蓮、台東與宜蘭次之分別為 5.47、5.34、5.0 與 4.51 mm/h，這些地區和上一節所示平均降水較大的區域一致，同時這些區域也大致是正處於或接近山區，可能是地形之影響使降水個案間之變異大。

從以上以平均法預測各地颱風時降水之 R_{xy} 與 R_{ms} 值分布可見，對西行颱風而言，高雄與台南所在之西南部地區的 R_{xy} 值最小，而 R_{ms} 值又較西部其它地區為大，因此是以平均法預測颱風時降水量誤差最大的區域。另外，東南部地區之時降水量預測誤差，整體而言也較北部與中西部地區之預測誤差為大。這似乎顯示，引用平均法對颱風時降水量之預測，處於颱風氣旋式風場與地形迎風面區域之預測誤差較處於氣旋式風場與地形背風面區域之預測誤差為小，地形強迫作用有助於產生系統性之降水。

對北行颱風(個案數 3,704)，圖 2 顯示，平均法對各地時降水預測之 R_{xy} 值皆較對西行颱風所得 R_{xy} 值為小。因此各地和台北相似，皆對北行颱風之時降水預測困難度較高，其中尤以北部與中西部地區對西行與北行兩類颱風降水預測 R_{xy} 值之差最明顯，這些地區正是處

於西行颱風氣旋式風場與地形之迎風面，而在北行颱風時，則處於氣旋式風場與地形之背風面。

對各北行颱風與西行颱風 R_{ms} 值之比較上，也顯示除高雄與嘉義外，各地對北行颱風時降水預測之 R_{ms} 值，與台北地區之情形相似，皆較對西行颱風之 R_{ms} 值為小。在 R_{xy} 值未提高，而 R_{ms} 值能變小的主要原因是時降水量變小。因此，平均而言，北行颱風之時降水較小，但降水預測之困難度卻較西行颱風困難。

在引用平均法預測台北時降水之研究裡，葉等(1999)也曾討論將颱風分為西行與北行兩大類對預測誤差之影響。他們發現，分為兩類並沒有明顯提昇台北颱風時降水預測之準確度，相反的，以不分類之平均場做預測，反而得到較高之 R_{xy} 值。對其它地區，圖 3 也顯示對大部分地區也有相同之情形，對北行颱風，以不分類之平均場做預測，使所有地區之 R_{xy} 值變大，而 R_{ms} 值則非常接近，僅在台北(增加

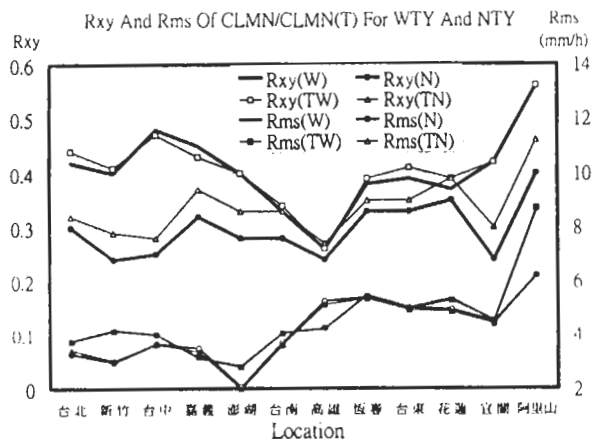


圖 3 各地區以分類或不分類(TW 或 TN，細線)之平均場，預測西行(無或方形點線)與北行(圓或三角形點線)兩類颱風時降水量之 R_{xy} (上四曲線，左軸)與 R_{ms} 值(下四曲線，部分重合，右軸)。

0.13mm/h)、新竹(增加 0.04 mm/h)、阿里山(增加 0.03 mm/h)稍微增加外, 其它地區之 Rms 值也變小。對西行颱風, 以不分類之平均場做預測, 也僅在嘉義與台中二地之 Rxy 值減少 0.02 與 0.01, 並使阿里山、嘉義、高雄三地之 Rms 值些微增加 0.04、0.02 與 0.02 mm/h, 其它大部分地區之 Rxy 值則變大而 Rms 些微變小, 因此分類並沒有增進颱風時降水預測準確度, 這主要是因為西行與北行兩類颱風降水平均場相似, 在標準差也不小的情況下不足以分辨其差異。

對分辨 15mm/h 降水之公正預兆指數 (Equitable Treat Score, 簡稱 ETS), 不論對颱風路徑分類與否皆為零(圖略), 顯示平均法無法有效預測較大時降水之發生。事實上, 除阿里山以外, 各地區時降水預測之 Rxy 值都小於 0.5, 因此以平均法預測各地颱風時降水量之準確度並不理想, 其中尤以對西南部之高雄與台南兩地區之預測準確度最低。引用持續法、差異持續法或比差法之預測結果(圖略)也顯示, 除了對阿里山地區之降水預測外, 並不能有效提高對 6 小時後之時降水預測。

3. 累積降水預測校驗

葉等(1999)顯示颱風在台北地區之降水, 因為有相當明顯短時距之振盪變動, 因此時降水量預測之準確度不高, 累積降水量有平均之效果, 可濾除短時距振盪變動之影響, 而提高降水預測之準確度。相同之情形也適用在其它的地區, 如圖 4 顯示各地區對 6 小時累積降水以平均法預測校驗結果之 Rxy 值, 皆較對時降水量預測之 Rxy 值為大, 而 Rms 則減少。以西行颱風為例, 對 4720 個案(嘉義為 3330 個案)之

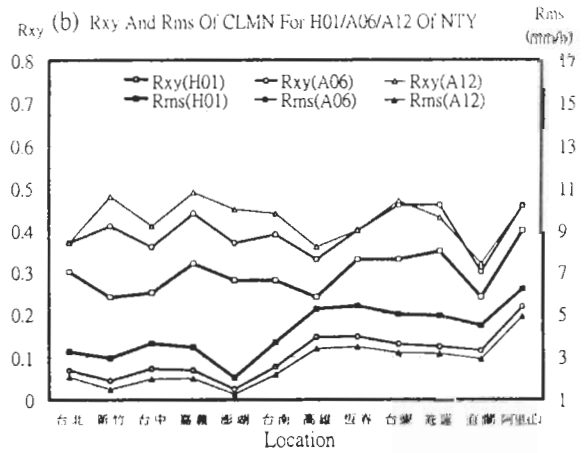
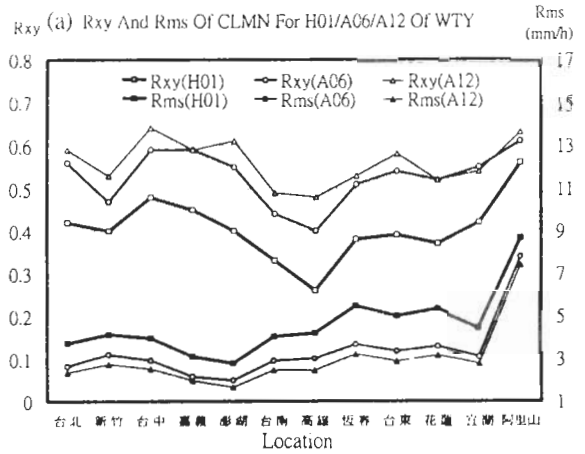


圖 4 (a)西行與(b)北行颱風在各地區之時(H01, 粗線)、6 小時累積(A06)與 12 小時累積(A12, 細線)降水預測校驗結果之 Rxy(上三曲線, 左軸)與 Rms(下三曲線, 右軸)值。

校驗結果顯示, 除新竹、台南與高雄三地 6 小時累積降水預測結果之 Rxy 值小於 0.5 以外, 其它各地預測結果之 Rxy 值都大於 0.5, 其中仍以阿里山之值 0.61 為最高, 而台北(0.56)、台中(0.59)、嘉義(0.59)、澎湖(0.55)等西部地區之 Rxy 值也和時降水預測結果相似, 較恆春(0.51)、台東(0.54)、花蓮(0.52)與宜蘭(0.55)等東部地區之 Rxy 值稍高。對北行颱風(圖 4b)在各地 6 小時

累積降水以平均法預測結果之 R_{xy} 值也都較時降水以平均法預測結果之 R_{xy} 值為大，不過對北行颱風 6 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值仍都小於 0.5，較西行颱風 6 小時累積降水預測結果誤差大。其中以西部地區之台中、嘉義與澎湖，及東北部宜蘭地區兩項 R_{xy} 值間差異最明顯，以宜蘭地區為例，西行颱風 6 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值為 0.55，但對北行颱風 6 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值則僅為 0.30，是所有地區中對北行颱風 6 小時累積降水預測結果 R_{xy} 值中最小的。

以平均法做 12 小時累積降水預測之結果和 6 小時累積降水預測之結果相似，都較時降水預測結果之 R_{xy} 值為大。為簡化，我們將引用葉等 (1999) 之代碼表示方法，如 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 表示以平均法做 12 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值，而 $R_{ms}(DEPR,A06)$ 表示以差異持續法做 6 小時累積降水預測結果之 R_{ms} 值。對西行颱風(圖 4a)，除宜蘭、花蓮和嘉義地區之 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 和 $R_{xy}(CLMN,A06)$ 相似外，其它地區之 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 都較 $R_{xy}(CLMN,A06)$ 為大，其中以高雄增加 0.08 為最多，台南也增加 0.05，使各地 12 小時累積降水預測之 R_{xy} 值都大於或接近 0.5，台中(0.64)、阿里山(0.63)、澎湖(0.61)、嘉義(0.59)和台北(0.59)則超過或接近 0.6。另外，12 小時累積降水預測之 R_{ms} 值則較 6 小時累積降水預測之 R_{ms} 值更小，顯示平均法對西行颱風 12 小時累積降水量之預測已有相當之參考價值。對北行颱風(圖 4b)，以平均法對各地 12 小時累積降水預測結果除花蓮減少 0.03 外其它之 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 也與 $R_{xy}(CLMN,A06)$ 相似或增大，不過增加較多之區域以澎湖(增加 0.08)

與新竹(增加 0.07)等西部地區較明顯，東部之恆春、台東與花蓮則維持或減少，因此使得在宜蘭(0.32)、台北(0.37)與高雄(0.36)三地對北行颱風 12 小時累積降水之 R_{xy} 值仍然低於 0.4，而 R_{xy} 最大值在嘉義(0.49)也仍小於 0.50，顯示不論是時降水量、6 小時累積降水量或 12 小時累積降水量之預測，皆以北行類颱風較西行類颱風更難預測。

在累積降水之預測上，路徑分類所造成之影響可由圖 5 顯示。有如時降水之預測情形(圖 3)，對颱風路徑分為西行與北行兩大類，並沒有明顯提高各地 6 小時累積降水預測準確度。如圖 5a，不論是對西行或北行颱風降水個案，引用分類之平均場與不分類之平均場所做平均法預測結果之 R_{ms} 值都非常相似，而 R_{xy} 值則在西行颱風時兩者接近，但對北行颱風卻除台東稍小外，其他各地以不分類之平均場所做預測之 R_{xy} 較大。因此，以平均法做 6 小時累積降水預測時，其平均場依西行或北行分類，並沒有提高整體之預測準確度。

對 12 小時累積降水之預測，圖 5b 則顯示將颱風依路徑分為西行與北行兩類，能較以不分類之平均場做預測，稍微提高預測準確度。如西行颱風個案中，以分類平均場所做預測之 R_{ms} 值都和以不分類平均場所做預測之 R_{ms} 值相近，但 R_{xy} 值中僅在高雄地區較以不分類平均場所做 R_{xy} 值小，其他地區皆較大。對北行颱風個案，以分類平均場所做預測之 R_{ms} 值也和以不分類平均場所做預測之 R_{ms} 值相近，但 R_{xy} 值中則除北部之台北與宜蘭，及西南部之台南與高雄等四地區外，在新竹、台中、嘉義、阿里山、澎湖、台東、花蓮等地區都較以不分類平均場所做預測之 R_{xy} 值小，顯示對 12 小時累

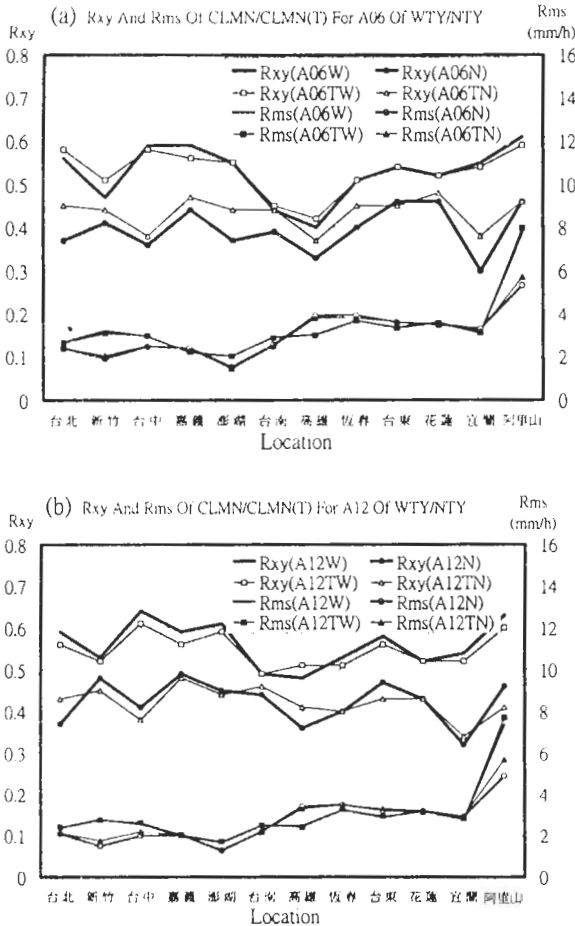


圖 5 依據分類或不分類(TW 或 TN, 細線)平均場做西行(W, 無或方形點線)與北行(N, 圓或三角形點線)颱風在各地(a)6 小時與(b)12 小時累積降水預測校驗結果 Rxy(上四曲線, 左軸)與 Rms(下四曲線, 部分重合, 右軸)之比較。

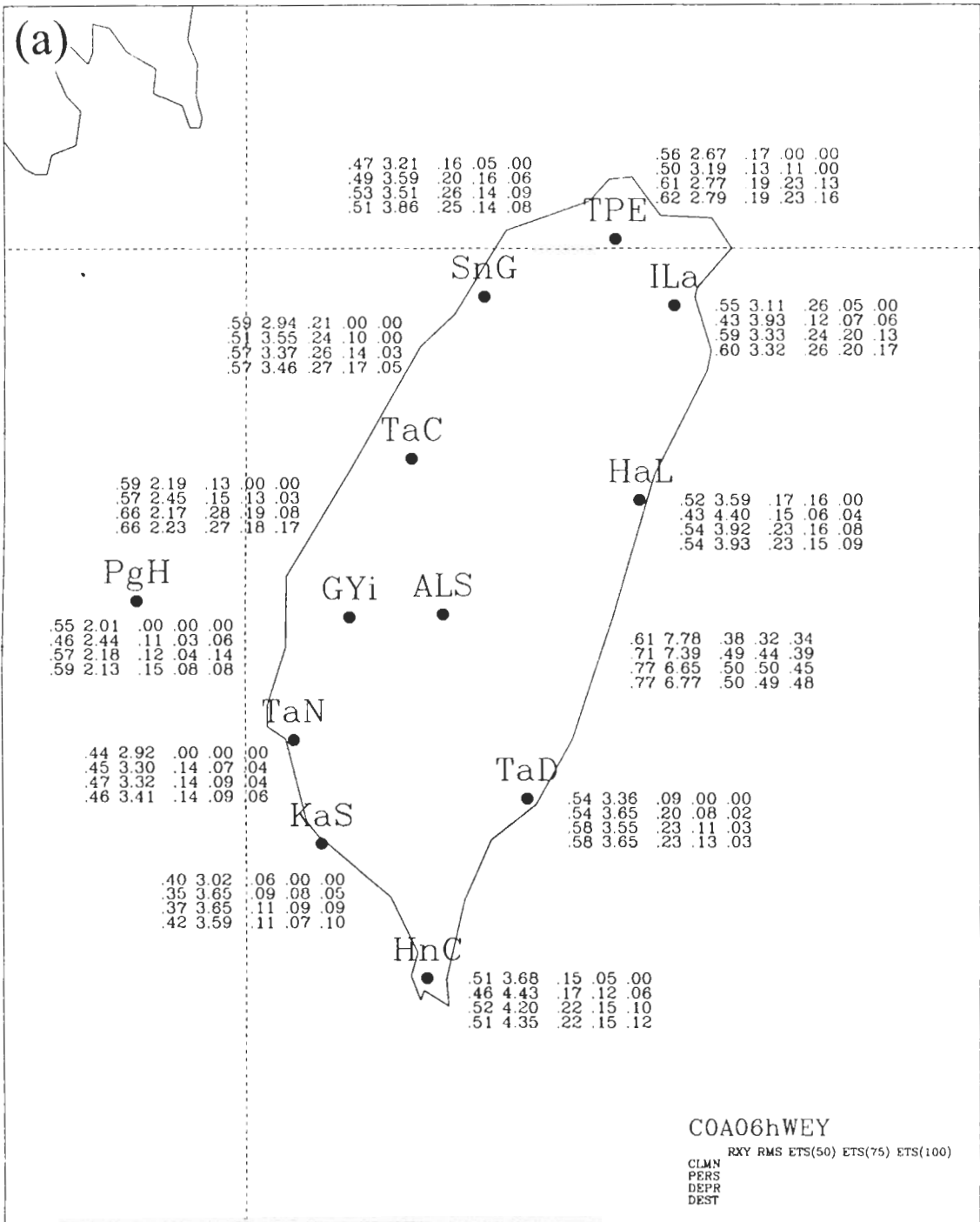
續降水之預測，將颱風依路徑分為西行與北行兩類，能較以不分類之平均場做預測，稍微提高預測準確度。

4. 差異持續法與比差法之預測校驗

葉等(1999)顯示差異持續法與比差法能改進平均法低估較大降水之部分缺失，而提高颱風降水預測準確度。圖 6 與圖 7 分別繪示以平

均法、持續法、差異持續法及比差法對各地 6 小時與 12 小時累積降水預測校驗結果之 Rxy、Rms 與分辨累積降水量在 6 小時達 50、75 與 100mm 與 12 小時達 75、150 與 200mm 之 ETS 值。對西行颱風 6 小時累積降水之預測(圖 6a)：應用持續法在大部分地區預測校驗之 Rxy 值皆較平均法之 Rxy 值小，而 Rms 值皆較平均法之 Rms 值大，只在阿里山(大 0.1)、新竹(大 0.02)與台南(大 0.01)三地區以持續法預測校驗之 Rxy 值較平均法預測之 Rxy 值大。其中 Rxy(CLMN,A06)較 Rxy(PERS,A06)大最多的是在宜蘭(大 0.12)，而各地 Rxy(PERS,A06)中最小的則是在高雄(0.35)。應用差異持法，則在大部分地區預測校驗結果之 Rxy 值較平均法之 Rxy 值大，只在台中(小 0.02)與高雄(小 0.03)兩地之 Rxy(PERS,A06)較 Rxy(CLMN,A06)為小，其中各地 Rxy(DEPR,A06)與 Rxy(CLMN,A06)之差異中，以阿里山(增加 0.16)、嘉義(增加 0.07)與北部地區(新竹增加 0.06、台北增加 0.05、宜蘭增加 0.04)增加最多，使得在宜蘭、台北、台中、嘉義、澎湖、台東等地對西行颱風 6 小時累積降水預測之 Rxy 值皆大於 0.55，阿里山對西行颱風 6 小時累積降水預測之 Rxy 值則高達 0.77。應用比差法預測校驗之結果大致和差異持續法相近，除高雄地區 Rxy(DEST,A06)與 Rxy(DEPR,A06)差 0.05 外，其各地 Rxy(DEST,A06)與 Rxy(DEPR,A06)的差值都在正負 0.02 間。

對北行颱風 6 小時累積降水之預測(圖 6b)，應用持續法則除在新竹(小 0.05)外，在大部分地區之 Rxy(PERS,A06)都較 Rxy(CLMN,A06)為大，此和對西行颱風 6 小時累積降水預測之情形相反。詳細比較持續法對西行與北行兩類風



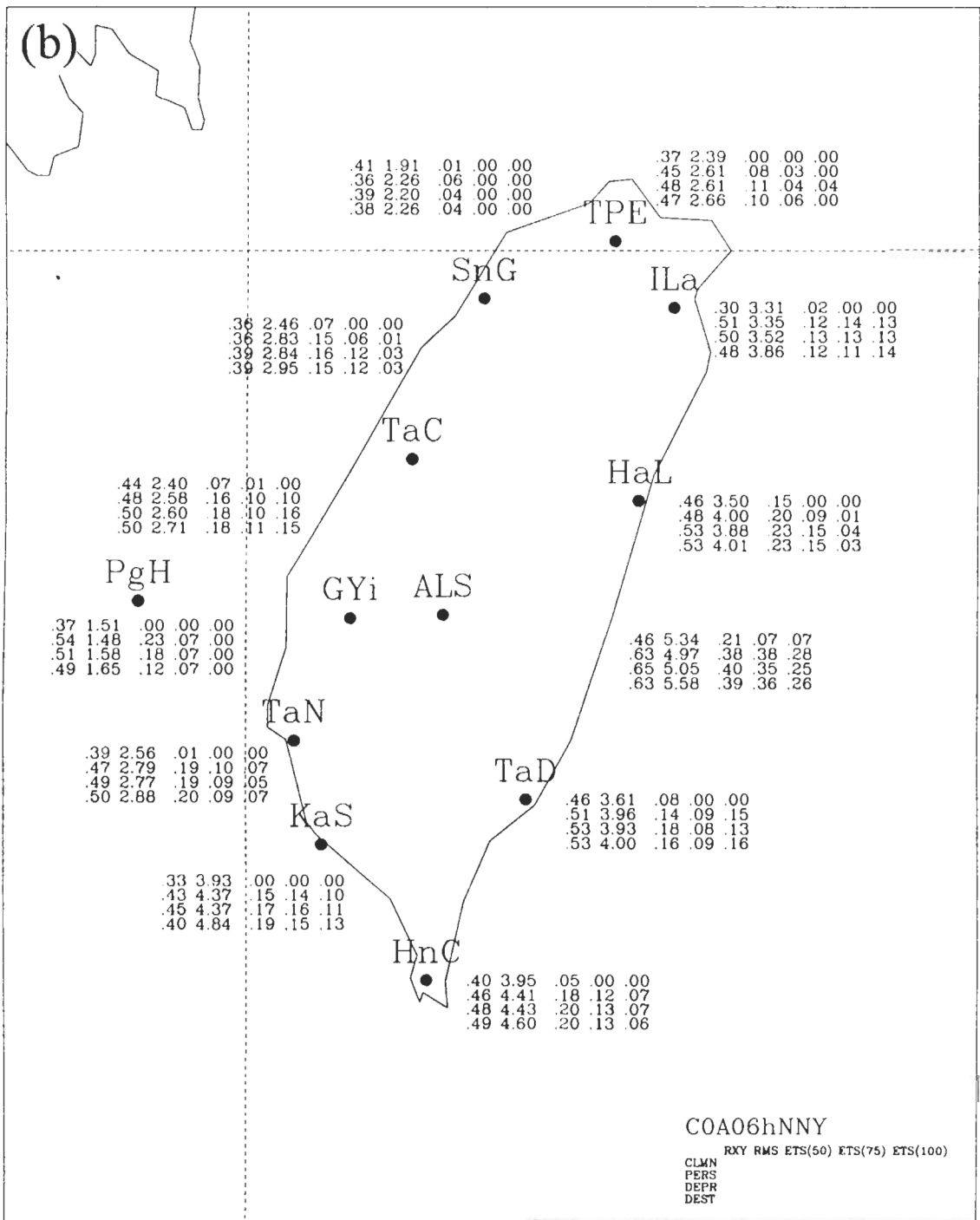
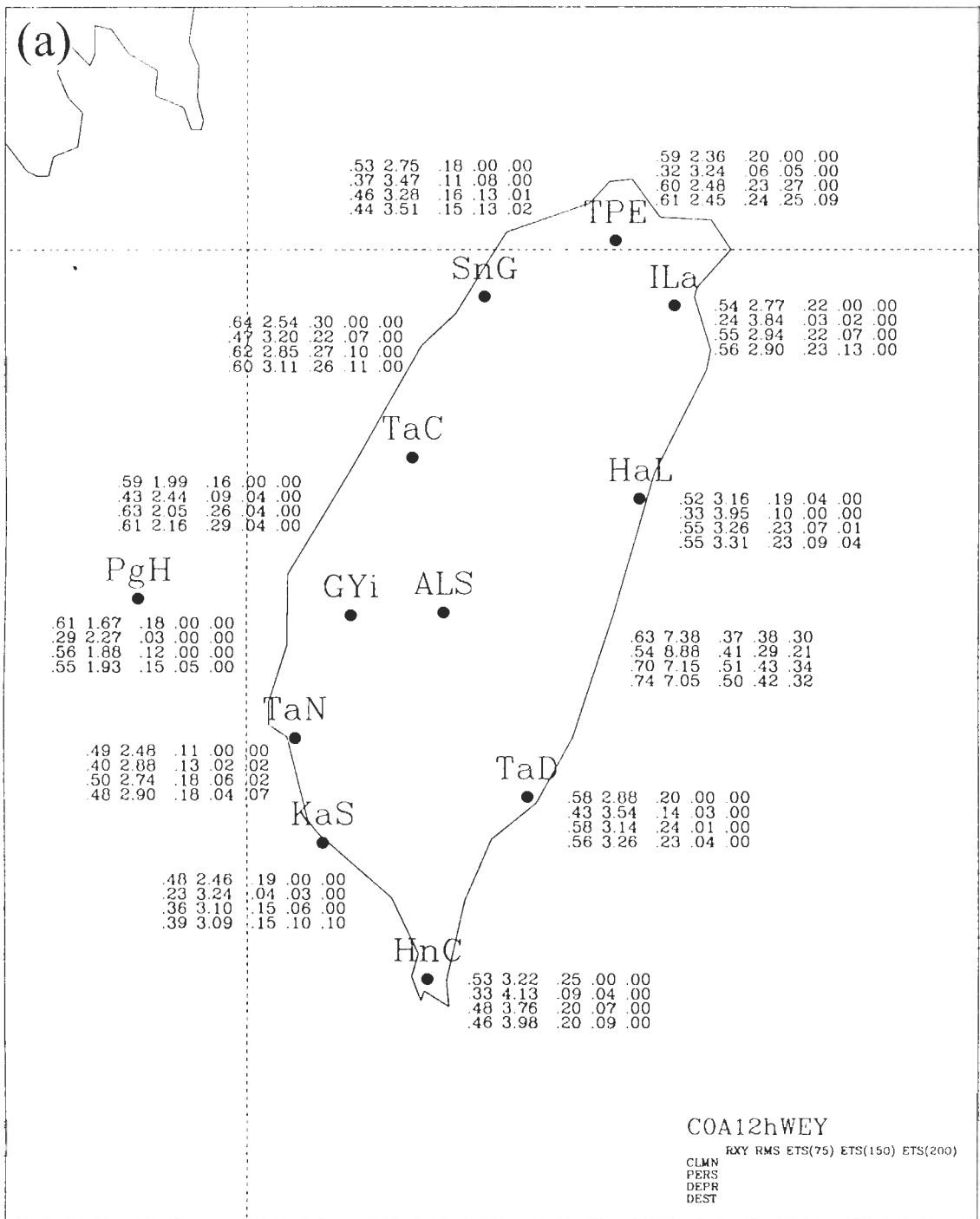


圖 6 以平均法、持續法、差異持續法及比差法(由上而下)對(a)西行與(b)北行颱風在各地 6 小時累積降水預測校驗結果之 Rxy、Rms 與分辨累積降水量在 6 小時達 50、75 與 100mm 之 ETS 值(由左而右)。



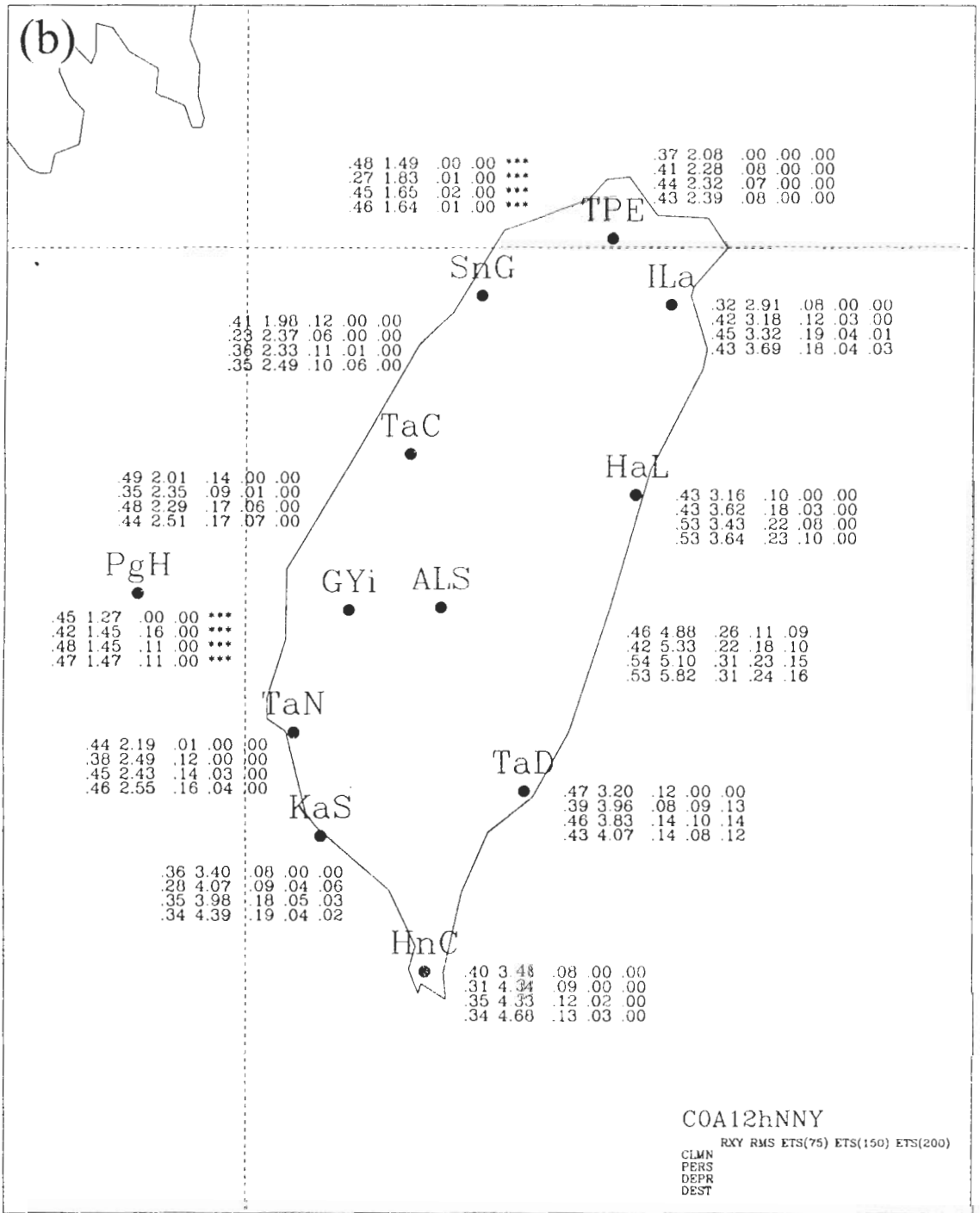


圖 7 如圖 6，唯為以平均法、持續法、差異持續法及比差法對(a)西行與(b)北行颱風在各地 12 小時累積降水預測校驗結果之 Rxy、Rms 與分辨累積降水量 12 小時達 75、150 與 200mm 之 ETS 值。***表無此降水個案。

風在各地 6 小時累積降水預測之 R_{xy} 值，可見對南部與東部地區(台東除外，小 0.03)之澎湖、台南、高雄、恆春、花蓮與宜蘭等地區，皆以北行颱風之 6 小時累積降水較西行颱風降水更具持續性。引用差異持續法預測北行颱風 6 小時累積降水校驗之結果，則顯示其 R_{xy} 值除在宜蘭(小 0.01)與澎湖(小 0.03)外，其它各地區都較引用持續法預測結果之 R_{xy} 值大，使得除西北部之新竹(0.39)與台中(0.39)兩地之 R_{xy} 值仍較小外，其它在西南部之嘉義(0.50)、台南(0.49)、高雄(0.45)與恆春(0.48)，及北部之台北(0.48)與宜蘭(0.50)都接近 0.5，而東部之花蓮(0.53)與台東(0.53)，及中部之澎湖(0.51)與阿里山(0.65)，則已超過 0.5。

應用比差法對北行颱風 6 小時累積降水預測校驗結果與差異持續法預測校驗結果之比較和對西行颱風 6 小時累積降水預測校驗之比較相似，除在高雄差異較多外，其它地區比差法與差異持續法兩預測校驗結果 R_{xy} 值之差異皆在正負 0.02 間。

對西行颱風 12 小時累積降水之預測(圖 7a)，應用平均法已在所有地區預測校驗之 R_{xy} 值，都超過 0.48(在高雄)，應用持續法預測西行颱風 12 小時累積降水預測之 R_{xy} 都較應用平均法預測西行颱風 12 小時累積降水之 R_{xy} 小，而 $R_{ms}(PERS,A12)$ 則較 $R_{ms}(CLMN,A12)$ 為大。應用差異持續法與比差法兩者預測結果之 R_{xy} 值則相近，兩者之差異除在阿里山(差 0.04)與高雄(差 0.03)外，都在正負 0.02 間。而差異持續法對西行颱風 12 小時累積降水預測之 R_{xy} 值，則在北與東北部之台北(增加 0.01)、宜蘭(增加 0.01)、花蓮(增加 0.03)與台東(相等)，及中部之嘉義(增加 0.04)、台南(增加 0.01)與阿里山(增加

0.07)較以平均法預測之 R_{xy} 值增加，其它在西北部之新竹(減少 0.07)與台中(減少 0.02)，及南部之澎湖(減少 0.05)、高雄(減少 0.12)與恆春(減少 0.05)則較以平均法預測之 R_{xy} 值減少。因此對 12 小時累積降水預測，差異持續法並沒有在所有地區都較平均法之預測都有改善。這些沒改善地區都是在中央山脈西側，可能因山脈影響，使這些地區颱風降水持續時間較短，以致差異持續法並沒有改善 12 小時累積降水預測，確實之原因值得進一步探討。

對北行颱風 12 小時累積降水之預測(圖 7b)，應用平均法之預測結果仍較對西行颱風 12 小時累積降水之預測結果誤差大， $R_{xy}(CLMN,A12)$ 值都小於 0.49(在嘉義)，宜蘭之 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 則僅是 0.32，不過 $R_{xy}(CLMN,A12)$ 除在台東(小 0.01)與花蓮(小 0.03)兩地外，皆較 $R_{xy}(CLMN,A06)$ 為大或相等。

應用持續法預測北行颱風 12 小時累積降水結果之 R_{xy} 值，則皆較應用持續法預測北行颱風 6 小時累積降水之 R_{xy} 值小， $R_{xy}(PERS,A12)$ 值在 0.23(台中)至 0.43(花蓮)間，其中尤以西部之新竹(0.27)、台中(0.23)與嘉義(0.35)，及南部之高雄(0.28)、恆春(0.31)與台東(0.39)等區域為最小。對這些地區，也和前述西行颱風一樣，應用差異持續法(或比差法，兩者相近)並沒有進一步較平均法提高北行颱風 12 小時累積降水之預測。

針對較大累積降水之預測，除阿里山外，平均法在大部分地區，對分辨 6 小時累積降水大於 75mm 之 ETS 值都相當小，持續法能稍微提高此 ETS 值，差異持續法(或比差法)對分辨 6 小時累積降水等於 75mm 之 ETS 值能較持續法者為更高，在台北與宜蘭地區，對分辨西行颱風

風 6 小時累積降水等於 75mm 之 ETS 值已超過或等於 0.2，其它地區如在花蓮、台東、恆春、嘉義、台中及新竹此 ETS 值也都超過 0.1。對北行颱風，此 ETS 值較西行颱風者小，但也都較以平均法之預測結果為大。對 12 小時累積降水之預測，也有相似之改善。如，平均法對分辨 12 小時累積降水達 150mm 之 ETS 值除在花蓮(0.04)外皆為零，應用持續法或差異持續法則有所提高，不過提高之幅度較 6 小時累積降水預測之幅度為少。

四、結 論

颱風降水是相當複雜的問題，但卻是台灣地區颱風預報作業所最關心的問題。葉等(1999)曾以 1961 至 1996 共 36 年之降水資料，詳細校驗平均法(見王等 1986)、持續法、差異持續法與比差法在台北颱風降水預測之情形。本文主要在延續葉等(1999)之研究，以相同時期之資料與相同之方法，校驗這些簡單統計方法在台灣其它地區颱風期間之時、6 小時累積與 12 小時累積降水預測情形。

從台北、新竹、台中、嘉義、澎湖、台南、高雄、恆春、台東、花蓮、宜蘭與阿里山等地颱風降水之情形，可見台灣地區颱風降水和地形有相當密切之關係，各地較大降水發生時機是當颱風中心移到其氣旋式環流可吹向地形，當地處於迎風面時發生，而在各地區中，也以山區之阿里山颱風降水最明顯。從平均法對時降水量預測結果之 Rxy 值(預測值與觀測值之相關係數)也顯示，迎風面地區之預測準確度較高而背風面地區之預測準確度較低，如西行颱風以平均法做時降水預測 Rxy 值中，處於迎風

面之宜蘭、台北、新竹、台中、嘉義、澎湖等地之 Rxy 值較處於背風面之花蓮、台東、恆春、高雄與台南等地之 Rxy 值為大。對北行颱風，東部地區成為主要之迎風面，因此這地區之 Rxy 值也較大，顯示地形強迫作用有助於產生系統性之降水。另外，東部地區當颱風接近時所受地形破壞較少，當中心抵達時通常仍處於較大降水，其它地區，較大降水發生之時機通常是颱風中心並不正在附近，如台北平均最大降水發生之時機是中心在宜蘭外海，而高雄平均最大降水發生之時機是中心在嘉義一帶。

對颱風降水進一步校驗之結果也得到以下幾項結論：

- (1) 平均而言北行颱風之降水較西行颱風之降水少，且以簡單統計方法做北行颱風降水預測之準確度較對西行颱風降水預測之準確度為低。
- (2) 對所檢驗各地區中，以西南部高雄與台南地區之颱風降水預測誤差最大。對北行颱風、西北部台中與新竹地區之颱風降水預測誤差也相對擴大。
- (3) 平均場依西行與北行兩路徑分類並沒有增進颱風時與 6 小時累積降水預測之準確度，但對 12 小時之累積降水預測，則顯示應用依路徑分類之平均場，較應用不分類之平均場，所做預測為準確。
- (4) 除阿里山地區外，各地和台北之情形(見葉等 1999)相似，對颱風定時定量降水預測之準確度皆不高，累積降水量對短時距降水震盪變化有平均之效果，而提高對其預測之準確度。如對西行颱風，平均法 6 小時累積降水預測，有許多地區之 Rxy 值已大

於 0.5，對 12 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值，又大多較 6 小時累積降水預測結果之 R_{xy} 值大。

- (5) 和對台北地區降水預測之情形相似，應用平均法進行颱風降水預測，因採用平均值，因此對較大降水都有低估的現象，引用差異持續法或比差法對許多地區能改進其部分缺失，因而提高颱風降水預測之準確度，其中又以對 6 小時累積降水預測之改善較為明顯。
- (6) 平均法忽略個別颱風間之降水差異，差異持續法與比差法則能綜合考慮各別颱風因其移速、強弱、或含水量等因素所造成降水和平均值間之差異，因此能在持續性假設仍適用之情形下，提高颱風降水預測之能力。

最後，我們認為如圖 1 所示之各地颱風平均較大降水發生之時機，可做為颱風降水預報作業和災害防護之最基本參考資料，颱風來襲時，可由此圖配合颱風之位置，大致得知各地可能之降水情形。差異持續法或比差法則可以在作業上應用以提供另一客觀之降水預測指引，而對各方法完整之誤差校驗結果，則可供使用者參考以對各預測結果可能產生的誤差有所了解而採取適宜之防範。對 12 小時累積降水之預測，引用差異持續法或比差法之預測準確度較引用平均法之預測準確度，僅有小幅度之改善，甚或沒有改善，其原因一方面為平均法之預測結果準確度已較高，另一方面是應用 12 小時之持續性對有些地區已不太適合，因此值得進一步嘗試以應用 6 小時或 3 小時之持續性進行 12 小時累積降水預測之可行性。另外，針對

個案較多之區域，也值得嘗試以更完整之迴歸方程來檢試其預測能力。而針對高雄與台南，及北行颱風時之台中與新竹等地區，則值得進一步詳細分析其颱風降水之特性，以了解這些地區為何其颱風降水預測較不適用平均法。

致 謝

本文是在國科會 NSC88-2625-Z-052-003 與 NSC89-2625-Z-052-002 資助及中央氣象局支持下完成，兩位審查委員提供之建議則使本文更完整。

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（三）。國家科學委員會防災科技研究報告 74-51，152pp。
- 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。
- 廖學鎰，1960：台灣之氣象災害。氣象學報，6，期 1-29。
- 謝信良，1986：台灣地區氣象災害之探討。大氣科學，13，89-108。
- Chen, L., 1995: Tropical cyclone heavy rainfall and damaging winds. Chapter 6, *Global Perspectives On Tropical Cyclones*, WMO Report No. TCP-38, 260-289.

A Study of Typhoon Rainfall Statistics Forecast over Taiwan Area Part II: Spatial Distribution of the Forecasts

Tien-Chiang Yeh Shinn-Liang Shieh Shih-Chi Wu

Central Weather Bureau

(Manuscript received 16 March 2000 ; in final form 04 August 2000)

ABSTRACT

Based on a 36-year typhoon rainfall data set from 1961 to 1996, Yeh et al. (1999) evaluated the Taipei typhoon rainfall forecasts of some statistical methods. The methods used include the Climatology Average, the Persistence, the Deviation Persistence method and the Deviation Standardized method. This study uses the same data set and applies the same approach to evaluate the typhoon rainfall forecast over the other areas of Taiwan.

The observations show that the typhoon rainfalls over Taiwan area are significantly affected by the Taiwan orography. Heavy rainfalls usually observed over the up-slope area of the typhoon cyclonic circulation impeding the mountains. The higher correlation between the forecasts and the observed rainfalls are also in the up-slope area. The orographic forcing has an effect to induce the systematic rainfalls.

The forecast evaluations show that the averaged rainfall is smaller, and the correlation between the forecasts and the observed rainfalls is also smaller, for the northward moving typhoons than for the westward moving typhoons. Among the areas examined, the largest forecasting errors are found at Kaohsiung and Tainan over Southwestern Taiwan. For northward moving typhoons, the forecasting errors at Hsing-chu and Taichung over Northwestern Taiwan are also large. The evaluations also show that separating the rainfall mean field into westward and northward categories based on the typhoon moving direction does not improve the hourly rainfall forecasts. Similar conclusions are applicable to the 6-hour accumulated rainfall forecast. However, for the 12-hour accumulated rainfall forecast, the forecasting errors are smaller when two categories of mean fields were applied. Under-estimations of the heavy rainfalls are also found from the forecasts of the Climatology Average method. Both the Deviation Persistence method and the Deviation Standardized method are able to reduce such kind of bias and to improve the forecast, especially for the 6-hour accumulation rainfall forecast.

Key words: Typhoon, Rainfall forecast.