臺灣地區颱風降水估計校驗

王惠民[1]　吳石吉[2]　葉天降[3]

[1]中央氣象局氣象科技研究中心

[2]中央氣象局氣象資訊中心

[3]中央氣象局秘書室

摘　要

本文使用1998-2006年間，中央氣象局265個雨量自動觀測站和25個人工觀測站之時雨量資料，及美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center)6小時1次之颱風最佳路徑(best track)，針對颱風地面中心在東經118–126度、北緯19–28度範圍內的颱風降水個案，分5–6月、7–8月和9–10月3個期間，以及豪雨(平均時雨量大於5.4毫米)和非豪雨2類，發展3、6及12小時颱風雨量推估法，並以2007-2008年間自動觀測站和人工觀測站之時雨量資料作預報校驗。比較平均法、持續法及雨量推估法預報之平均絕對誤差在空間分布的情形，以及平均法和雨量推估法相對於持續法的預報改善率。

校驗結果顯示，在颱風雨量估計之平均絕對誤差方面：3小時預報平均絕對誤差，以雨量推估法最大預報誤差值在9至15毫米左右分布區域最小表現最佳；以平均法分布區域最大表現最差。3種方法共同的特徵是較大預報誤差均出現在蘇澳至花蓮一帶山區、雪山及大雪山山區和阿里山至高雄一帶山區。6小時預報平均絕對誤差，3種方法最大預報誤差值之空間分布特徵與3小時預報誤差相似，誤差值多在20至30毫米左右；以雨量推估法分布區域較小表現最好，持續法分布區域最大表現最差。12小時預報平均絕對誤差，3種方法最大預報誤差之空間分布特徵與6小時預報誤差相似，但持續法及雨量推估法範圍較6小時預報擴大，其中又以持續法預報平均絕對誤差在40至60毫米左右的區域最大表現最差；以平均法區域最小表現最好。相對於持續法之預報改善率方面：雨量推估法3小時及6小時預報改善率在0至20％的區域明顯大於平均法。但12小時預報改善率在20％至40％的區域，平均法明顯大於雨量推估法。因此，雨量推估法3及6小時預報改善率優於平均法，但平均法12小時預報優於雨量推估法。

關鍵詞：雨量推估法、最佳路徑。

一、前言

颱風豪雨對臺灣低窪地區及山區所造成的水患及土石流等問題是民生經濟上一大威脅。但另一方面，它所帶來的雨量亦是臺灣地區重要的水資源。因此，颱風定量降水的預報技術對防災、救災與水資源利用之規劃便顯得相當重要(陳，2001)。葉等(1999)從王等(1986)所發展之平均法，進一步利用統計方法發展預報誤差修正法(葉等，2007)及颱風雨量推估法(王等，2008)，對颱風降水量的客觀預報方法作改善，並獲得預期的效果。但是，上述方法所使用的測站僅止於中央氣象局25個地面觀測站，在防災的應用上略顯不足。葉等(2008)分析臺灣地區颱風降水之特徵發現，颱風移動路徑及降水方面，在季節上有其特性存在，而這些因素在葉等當初發展颱風雨量推估法時並未加以考慮。

為提高颱風雨量客觀預報方法的應用性，並提供颱風雨量預報觀念模式之參考。本文考慮颱風降水之季節性特徵，並利用中央氣象局自動雨量站及人工觀測站，重新發展颱風雨量推估法並作預報校驗。校驗的主要目的在比較平均法(詳見葉等，2007)、持續法及雨量推估法預報之平均絕對誤差在空間分布的情形，以及平均法和雨量推估法相對於持續法的預報改善率，用以判別兩種方法之預報技術在台灣各地分布的優劣性。

二、資料與方法

根據王(王，2004)統計1897至1996年間374個侵台颱風(王依侵台颱風風速放假條件所作之定義)，颱風地面中心在東經118–124度、北緯20–27度範圍內出現之次數占95.2%，且範圍離台灣本島200公里以內，極易作為發布颱風警報之參考區域。為提高颱風雨量客觀預報方法的應用性，本文將研究範圍擴大至東經118–126度、北緯18–28度，選取19982008年間，颱風地面中心在此區域內之個案配合中央氣象局265個雨量自動觀測站(目前，中央氣象局雨量自動觀測站有4百多站，但因東、西部設站時間之差異，造成資料一致性的落差相當大，本文為顧及資料在時間上之一致性，故作上述時間長度與測站數之選取)及25個人工觀測站(圖1)之時雨量資料作研究分析。

雨量自動觀測站資料缺漏與重複部分，除補齊和刪除外，另利用乞比雪夫定理(Chebyshev’s theorem)將異常資料(測站時雨量值大於當月平均值加十倍標準差以上)挑出，經人工判別後剔除。颱風路徑資料是根據美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center; JTWC)6小時1次颱風最佳路徑，用線性內插(interpolate)成每小時1次之颱風中心位置。

研究方法是將19982006年間資料作為颱風雨量推估法之發展資料，並區分成5–6月、7–8月和9–10月3個時期。除5–6月因颱風個案數較少無法作雨量分類預報發展外，將其餘7–8月和9–10月期間之颱風時雨量資料分為豪雨(平均時雨量大於5.4毫米)及非豪雨兩類。分別利用統計迴歸法計算兩類雨量分類中，各測站颱風雨量推估法(以預報前2小時之平均時雨量為推估

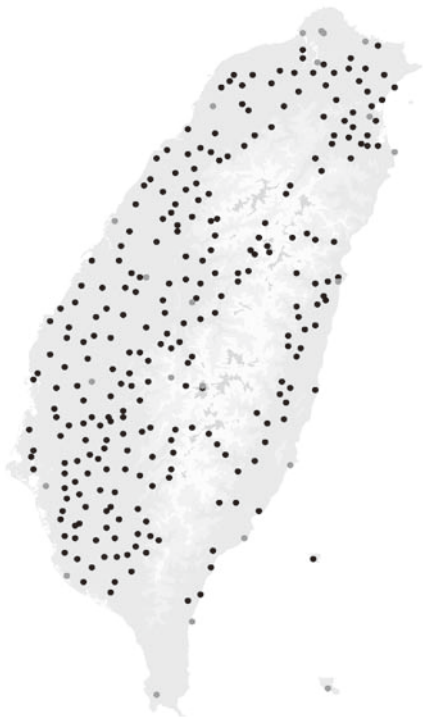

圖1. 265個雨量自動觀測站及25個人工觀測站位置分布。

Fig. 1. The distribution of locations of 265 autoraingage stations and the 25 surface observation stations.

因子)3、6及12小時平均時雨量之最佳推估係數(葉等，2008)，當預報前2小時之平均時雨量達到豪雨類之最低門檻值時，用豪雨類之推估係數預報雨量，否則用非豪雨類之推估係數預報雨量。在豪雨類資料部分找出各測站在未來3、6及12小時平均時雨量達到豪雨強度(平均時雨量大於5.4毫米)標準時，預報前2小時平均時雨量之最低門檻值，作為使用豪雨推估係數之依據。為使此值與豪雨強度發生有某種程度之代表性(即預報前2小時平均時雨量不宜過小，甚至為0)，主觀選取當3、6及12小時預報占全部豪雨類資料達80％、70％及60％時，預報前2小時平均時雨量值為計算豪雨推估之門檻值，並計算豪雨推估係數。颱風雨量推估法可用下列數學式來表示：

$$FCST_E\,(T+\tau) = E \times OBS\,(T-t)$$

$FCST_E$：雨量推估值

OBS：觀測平均時雨量

T：預報初始時間

τ：預報時段

t：預報前2小時

E：正值最佳推估係數

校驗資料為2007-2008年間每個測站3、6及12小時雨量預報資料，每小時預報1次，總個案數分別約為600、550及500，共有10個颱風個案。

校驗方法為計算預報與觀測值之平均絕對誤差(Mean Absolute Error；MAE)，平均絕對誤差的定義如下：

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} |\, OBS_i - FCST_i \,|$$

OBS_i：平均時雨量觀測值

$FCST_i$：平均時雨量預測值

n：個案總數

MAE越小，表示預報誤差越小，準確度越高。另外，計算相對於持續法(以預報時段前一報之實際觀測值為預報值)之預報改善率(improvement ratio) (王等，2008)，其定義如下：

$$改善率 = -\left(100 \times \frac{(MAE_1 - MAE_2)}{MAE_2}\right)$$

MAE_1: 方法一之地面觀測站颱風降水平均時雨量預測之平均絕對誤差

MAE_2: 持續法之地面觀測站颱風降水平均時雨量預測之平均絕對誤差

改善率為正值表示有預報技術，反之則否。

三、結果分析

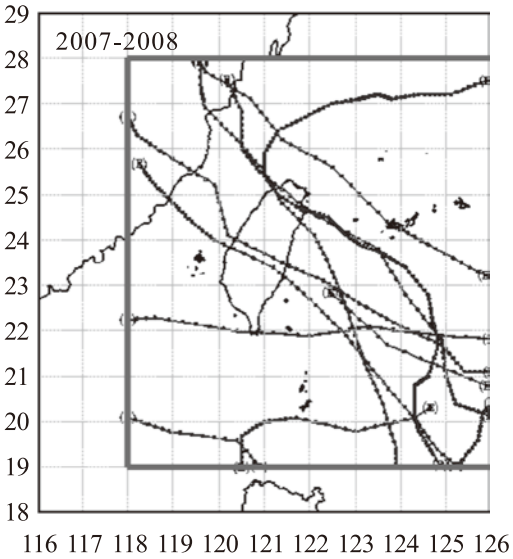

圖2. 2007-2008年間，颱風地面中心出現在東經118-126度、北緯19-28度範圍內之路徑。

Fig. 2. The paths of the surface centers of typhoons in the domain of 118-126 degree of longitude and 19-28 degree of latitude during the period of 2007 through 2008.

圖2為2007-2008年間，颱風地面中心出現在東經118–126度、北緯19–28度範圍內之個案，共有10個。若以颱風地面中心路徑在文中所選定的區域內，終點與起點的經度差線段作為東西向之向量分解(vector decomposition)與緯度差線段作為南北向之向量分解，當東西向分量(horizontal component)大於南北向分量(meridional component)者稱作東西向颱風，反之則稱為南北向颱風。從圖2可發現東西向颱風有7個，南北向颱風有3個，而東西向颱風中有6個是在7–8月出現，另1個在11月出現；南北向颱風中有2個在9–10月出現，另1個在7月出現，這結果與葉等(2008)分析臺灣地區颱風降水之特徵中，颱風移動路徑在季節上之特性一致(5–6月及9–10月颱風移動之路徑以南北向居多，而7–8月則以東西向颱風較多)。這間接說明了在發展颱風雨量推估法時，考慮颱風移動路徑及降水在季節上之差異是有其必要性。

(一)颱風雨量推估之平均絕對誤差

圖3(a)至(c)分別為各測站3小時雨量，持續法、雨量推估法及平均法預報之平均絕對誤差，陰影間隔為3毫米。從圖3(a)至(c)顯示，平均絕對誤差值最大地區，3種方法均出現在蘇澳至花蓮一帶山區、雪山及大雪山山區和阿里山至高雄一帶山區，其平均絕對誤差值在9-15毫米間，以圖3(b)雨量推估法之分布區域較小，以圖3(c)平均法分布區域最大表現最差。其餘地區預報平均絕對誤差值均在9毫米以下。因此，3小時雨量預報表現以雨量推估法較佳。圖3(a)至(c)的另一特徵是預報平均絕對誤差值有從平地往高山增大的趨勢。

圖4(a)至(c)分別為各測站6小時雨量，持續法、雨量推估法及平均法預報之平均絕對誤差，陰影間隔為5毫米。從圖4(a)至(c)顯示，平均絕對 誤差值最大的地區在空間分布特徵與3小時預報誤差相似，但誤差值較3小時預報大，誤差值多在20至30毫米左右，範圍也較廣。以圖4(b)雨量推估法分布區域較小表現最好，

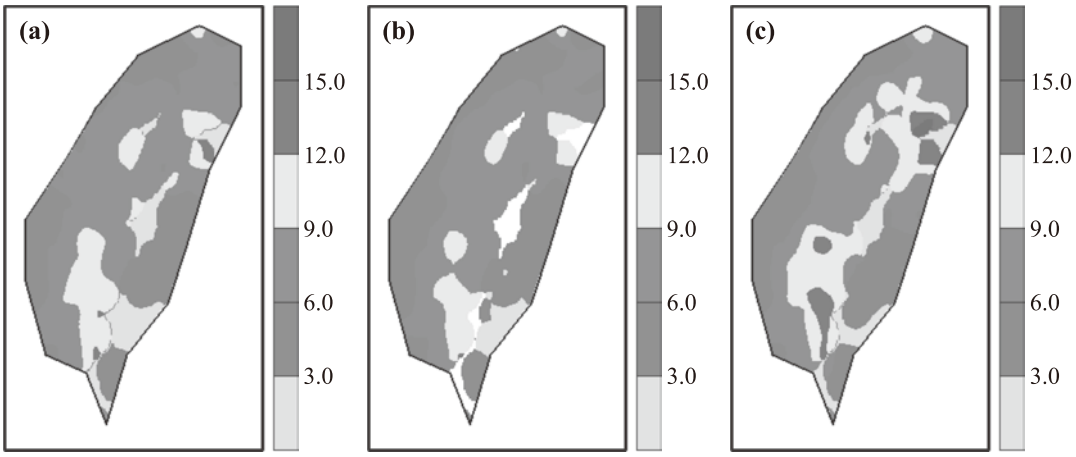

圖3. (a) 持續法3小時預報之平均絕對誤差，陰影間隔為3毫米。(b) 同圖3(a)，但為雨量推估法。(c) 同圖3(a)，但為平均法。

Fig. 3. (a) The mean absolute errors of the method of persistence for 3-h projection, the intervals of shading are 3 mm. (b) Same as Fig. 3(a), but for the method of rainfall amount estimation. (c) Same as Fig. 3(a), but for the method of climatological mean.

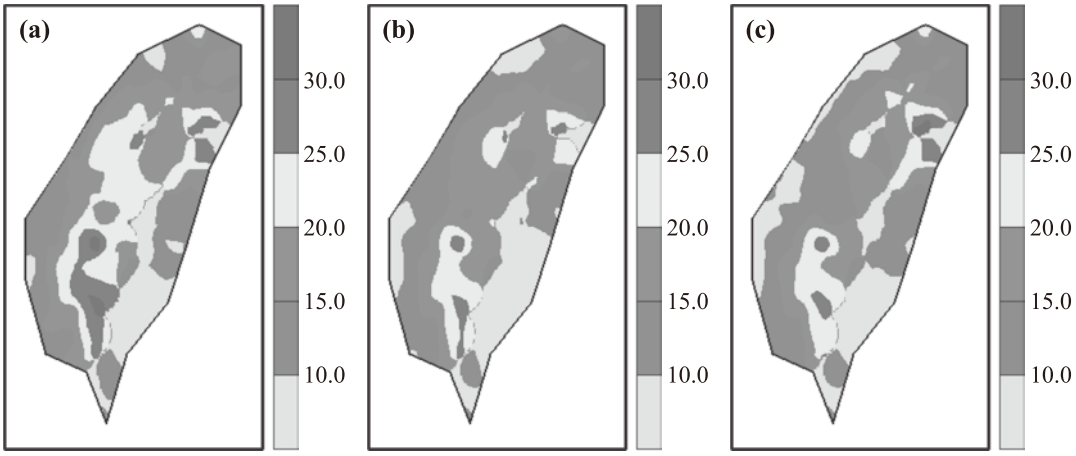

圖4. (a) 同圖3(a)，但為6小時預報，陰影間隔為5毫米。(b) 同圖4(a)，但為雨量推估法。(c) 同圖4(a)，但為平均法。

Fig. 4. (a) Same as Fig. 3(a), but for 6-h projection, and the intervals of shading are 5 mm. (b) Same as Fig. 4(a), but for the method of rainfall amount estimation. (c) Same as Fig. 4(a), but for the method of climatological mean.

圖4(a)持續法分布區域最大表現最差。其餘地區預報平均絕對誤差值均在20毫米以下。同時，預報平均絕對誤差值也有從平地往高山增大的趨勢。

圖5(a)至(c)分別為各測站12小時雨量，持續法、雨量推估法及平均法預報之平均絕對誤差，陰影間隔為10毫米。從圖5(a)至(c)顯示，平均絕對誤差值最大的地區在空間分布特徵與6小時預報誤差類似，但誤差值較6小時預報大，誤差值多在40至60毫米左右，範圍也較廣。但圖5(a)持續法之範圍較其他兩種方法大，表現最差，而圖5(c)平均法之範圍最小，表現最佳。同樣地，預報平均絕對誤差值也有從平地往高山增大的趨勢。

(二)相對於持續法之預報改善率

圖6(a)至(b)為雨量推估法及平均法3小時雨量預報之平均絕對誤差相對於持續法之平均絕對誤差的預報改善率百分比，陰影間隔為10％。圖6(a)顯示，雨量推估法除了在台北縣山區的下盆及桶後和桃園縣山區的復興，以及台東縣山區的紅葉山及紅石和花蓮縣山區的慈恩未改善外，其他地區改善率均大於零。西部平地從桃園、新竹一帶以南到台中至嘉義之間，其中包含日月潭地區，以及嘉義至高雄和恆春地區，預報改善率均在10％至20％之間。東北部平地宜蘭、蘇澳，東部平地花蓮及花蓮至成功間部分地區及台東地區，預報改善率也在10％至20％之間。而山區及北部和屏東平地預報改善率均在10％以下。圖6(b)顯示，平均法預報改善率在10％至20％之間的區域，僅在新竹至梧棲間以南至梧棲到嘉義間，包含日月潭地區，其中，苗栗至南投間預報改善率大於20％。而預報改善率均在10％以下的地

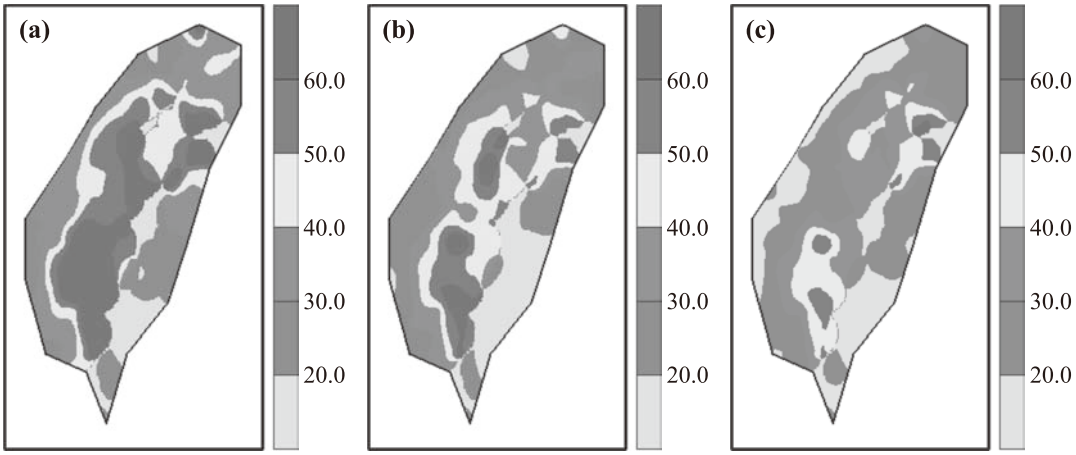

圖5. (a) 同圖4(a)，但為12小時預報。(b) 同圖5(a)，但為雨量推估法。(c) 同圖5(a)，但為平均法。

Fig. 5. (a) Same as Fig. 4(a), but for 12-h projection. (b) Same as Fig. 5(a), but for the method of rainfall amount estimation. (c) Same as Fig. 5(a), but for the method of climatological mean.

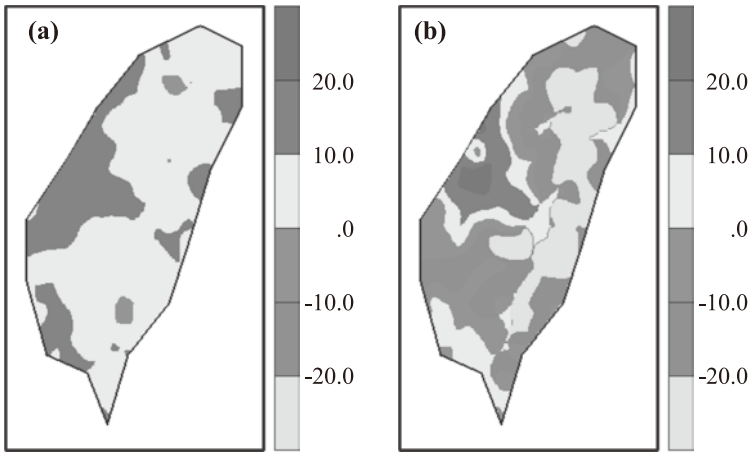

圖6. (a) 3小時預報雨量推估法相對於持續法之預報改善率百分比，陰影間隔為10%。(b) 同圖6(a)，但為平均法。

Fig. 6. (a) The improvement ratios of forecasting of the method of rainfall estimation with respect to the method of persistence for 3-h projection, intervals of shading are 10%. (b). Same as Fig. 6(a), but for the method of climatological mean.

區，則分別分布在嘉義至屏東間平地及宜蘭至花蓮間平地，以及新竹以南經日月潭至嘉義靠近山區一帶，其他地區均未見改善。因持續法僅是一種單純的時間外延法，無預報技術可言，故未見改善之區域即代表沒有預報技術之區域。整體而言，雨量推估法優於平均法。

圖7(a)至(b)為雨量推估法及平均法6小時之預報改善率百分比。圖7(a)顯示，除了桃園縣山區的復興、台中縣山區的梨山、屏東縣靠近山區的阿禮及龍泉和高雄縣的旗山預報未改善外，其他地區改善率均大於零。在西半部平地的新竹地區、嘉義地區及台南地區和東半部平地的花蓮地區、成功地區及台東地區預報改善率大於20%。其他地區預報改善率多在0%至20%之間，其中預報改善率在10%以下的地區多沿中央山脈呈東北-西南方向分布。圖7(b)顯示，預報改善率大於20%的地區，西半部從新竹以南一直往南延伸至嘉義，大部分是平地地區，包含靠近山區一小部分；東北部則在宜蘭平地地區。而從北部山區沿中央山脈一直到大武一帶，是沒有預報技術之區域。其餘地區預報改善率均在0%至20%之間。整體而言，雨量推估法優於平均法。

圖8(a)至(b)為雨量推估法及平均法12小時之預報改善率百分比。圖8(a)顯示，僅在南投縣山區大度城、清流及魚池一帶沒有預報技術，其他各地均有改善。其中以花蓮以南至成功間之平地及部分山區之預報改善率在30%-40%最顯著；有少部分分布在台南靠近山區地區及阿里山山區附近。預報改善率在20%-30%之間的區

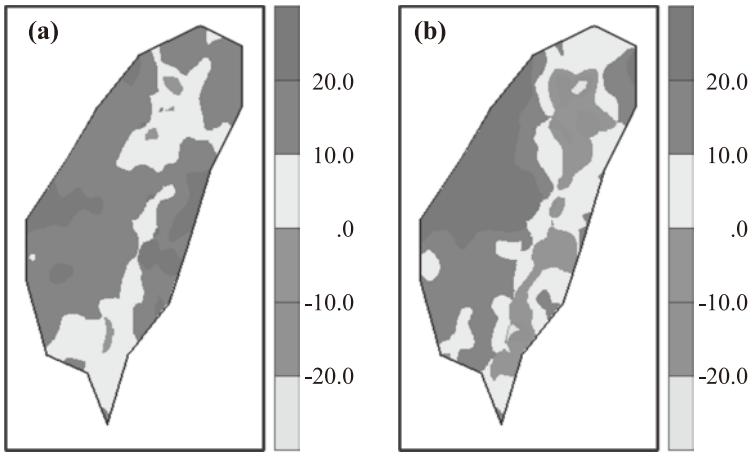

圖7. (a) 同圖6(a)，但為6小時預報。(b) 同圖6(b)，但為6小時預報。

Fig. 7. (a) Same as Fig. 6(a), but for 6-h projection. (b) Same as Fig. 6(b), but for 6-h projection.

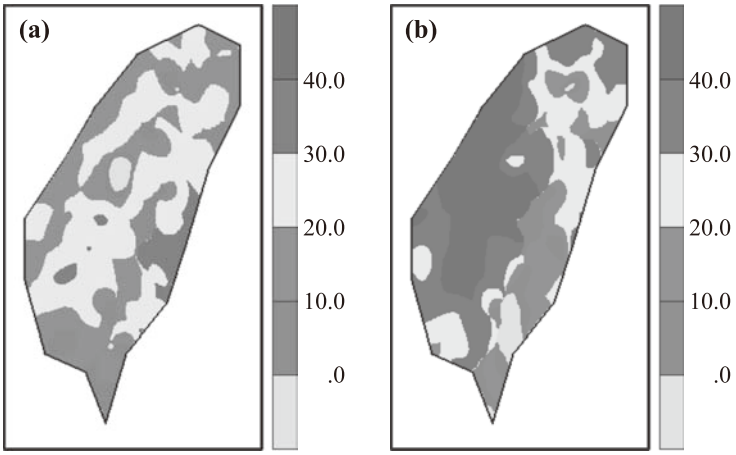

圖8. (a) 同圖6(a)，但為12小時預報。(b) 同圖6(b)，但為12小時預報。

Fig. 8. (a) Same as Fig. 6(a), but for 12-h projection. (b) Same as Fig. 6(b), but for 12-h projection.

域最大，多分布在山區，東北從蘇澳山區向西南延伸至高雄山區，平地地區較少，主要在台南、花蓮及成功至台東之間，其他地區預報改善率大都在10％-20％之間。圖8(b)顯示，僅在花蓮山區的舞鶴及台東山區的下馬、知本及紅葉山和恒春沒有預報技術，其他各地均有改善。西半部從新竹以南至屏東地區除了台南、高雄平地一帶預報改善率在20％-30％之間外，預報改善率在30％以上，其中以新竹以南至台南山區一帶，包括日月潭、阿里山山區及宜蘭平地預報改善率在40％以上最

顯著。北部從台北、淡水、基隆到宜蘭平地，預報改善率大都在30％-40％間，而北部山區往東南延伸到花蓮山區及平地，預報改善率也有20％-30％。整體而言，平均法均優於雨量推估法。

四、結論與討論

本文使用19982006年間，中央氣象局265個雨量自動觀測站和25個人工觀測站之時雨量資料，及美軍聯合颱風警報中心6小時1次之颱風最佳路徑，針對颱風地面中心在東經118–126度、北緯19–28度範圍內的颱風降水個案，分5–6月、7–8月和9–10月3個期間，以及豪雨(平均時雨量大於5.4毫米)和非豪雨兩類，發展3、6及12小時颱風雨量推估法，並以20072008年間自動觀測站和人工觀測站之時雨量資料作預報校驗。比較平均法、持續法及雨量推估法預報之平均絕對誤差在空間分布的情形，以及平均法和雨量推估法相對於持續法的預報改善率結果得到以下幾項結論：

(一) 在颱風雨量估計之平均絕對誤差方面：

(1)3小時預報平均絕對誤差，以雨量推估法較大預報誤差值在9至15毫米左右分布區域最小表現最佳；以平均法分布區域最大表現最差。3種方法共同的特徵是較大預報誤差均出現在蘇澳至花蓮一帶山區、雪山及大雪山山區和阿里山至高雄一帶山區。

(2)6小時預報平均絕對誤差，3種方法最大預報誤差值之空間分布特徵與3小時預報誤差相似，誤差值多在20至30毫米左右；以雨量推估法分布區域較小表現最好，持續法分布區域最大表現最差。

(3)12小時預報平均絕對誤差，3種方法最大預報誤差之空間分布特徵與6小時預報誤差相似，但持續法及雨量推估法最大預報誤差在蘇澳至花蓮一帶山區、雪山及大雪山山區和阿里山至高雄一帶山區範圍較6小時預報擴大，其中又以持續法預報平均絕對誤差在40至60毫米左右的區域最大表現最差；以平均法區域最小表現最好。

(二)相對於持續法之預報改善率方面：

(1)雨量推估法3小時及6小時預報改善率在0至20％間的區域明顯大於平均法。

(2)12小時預報改善率在20％至40％間的區域，平均法明顯大於雨量推估法。

(3)雨量推估法3及6小時預報改善率優於平均法，但平均法12小時預報優於雨量推估法。

從預報之平均絕對誤差及相對於持續法之預報改善率分析可看出，雨量推估法3及6小時預報表現較好，而平均法12小時預報表現較佳。這是因為雨量推估法是用預報前2小時的平均時雨量作為雨量推估的因子，其優點較能迅速反應個別颱風雨量短期的變化，但是，當遇到颱風行進速度較快、方向變化較大或是預報時間較長時，因預報前2小時平均時雨量的特性受到改變，導致預報誤差增加。對平均法而言，由於其特性是反應一段時間許多歷史

颱風雨量變化的平均狀態，較難迅速反應短期個別颱風雨量的變化。但對颱風行進速度較快、方向變化較大或是預報時間較長時，因其特性是反應許多歷史颱風雨量變化的平均狀態，反而對個別颱風雨量的變化預報誤差較小。

五、致謝

本文是在國科會計畫NSC 97-2625-M-052-002資助與中央氣象局支持下完成。

六、參考文獻

王惠民、葉天降與吳石吉，2008：颱風雨量推估法之發展與應用研究。氣象學報，47，第3期，1-19。

葉天降，2008：侵台颱風伴隨風雨預報技術之發展-子計畫：建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。NSC96-2625-Z-052-003

葉天降、王惠民與吳石吉，2007：颱風降水預報誤差修正法之發展與應用。氣象學報，46，第4期，9-25。

王時鼎，2004：台灣的颱風。財團法人中興工程科技研究發展基金會。

陳泰然，2001：防救災關鍵環節定量降水預報：新世紀最嚴峻的天氣預報挑戰。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，1–6，台北。

葉天降、吳石吉與謝信良，1999：簡單統計方法於臺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，27，395412。

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。

An Evaluation of Estimation of Typhoon Rainfall in the Region of Taiwan

Huei-Min Wang[1] Shih-Chi Wu[2] Tien-Chiang Yeh[3]
Central Weather Bureau

ABSTRACT

In this paper, the data of hourly rainfall amount of CWB 265 auto-raingauge stations and the 25 surface observation stations and the JTWC best tracks of typhoons in every 6 hours during the period of 1998 through 2006 were used to develop the method of 3-h, 6-h, and 12-h typhoon rainfall amount estimations by dividing all the cases of the surface centers of typhoon in the domain of 118-126 degree of longitude and 19-28 degree of latitude into two categories of extremely heavy rainfall (average hourly rainfall greater than 5.4 mm/hr) and non-extremely heavy rainfall and in three periods of May-June, and July-August, and September-October. The data of hourly rainfall amount of the auto-raingauge stations and surface observation stations during the period of 2007 through 2008 were used to verify the forecasting and compare the spacial distribution of mean absolute errors of forecasting among the method of climatological mean, the method of persistence, and the method of typhoon rainfall amount estimation. And the improvement ratios for the method of climatological mean and the method of typhoon rainfall amount estimation with respect to the method of persistence were also calculated.

The results of evaluation revealed, in the mean absolute errors of typhoon rainfall amount estimation, the performance of the method of typhoon rainfall amount estimation in 3-h projection was the best because that its regions of the greatest forecasting error in the range of 9 mm through 15 mm were the minimum, and the method of climatological mean was the worst. The characteristics in common for the three methods were the greater forecasting errors occurred in the regions of the mountain area from Su-ao to Hualien, Xueshan to Daxueshan, and Alishan to Kaohsiung. For the mean absolute errors of 6-h projection, the three methods had similar characteristics in spacial distribution with greatest forecasting errors of 3-h projection. The greatest mean absolute errors in 6-h projection for the three methods were between 20mm and 30mm and the performance of the method of typhoon rainfall amount estimation was the best, and the method of persistence was the worst. For the mean absolute errors of 12-h projection, the characteristics of special distribution of the greatest forecasting errors were similar as 6-h projection, but the regions for the methods of persistence and typhoon rainfall amount estimation were broader than in 6-h projections. The performance of the method of persistence

in 12-h projection was the worst for that its regions of the greatest forecasting error in the range of 40 mm through 60 mm were the maximum and the method of climatological mean was the best. For the improvement ratio over the method of persistence, the regions of the improvement ratio in the range of 0% through 20% of the method of typhoon rainfall amount estimation for 3-h and 6-h projections were broader than of the method of climatological mean. But the regions of the improvement ratio in the range of 20% through 40% of the method of climatological mean for 12-h projection were broader than of the method of typhoon rainfall amount estimation. Therefore, the improvement ratios for the method of typhoon rainfall amount estimation in 3-h and 6-h projections were superior to the method of climatological mean, but it was better for the method of climatological mean in 12-h projection.
Key words: method of typhoon rainfall amount estimation, best track