

SSM/I 衛星資料在估算侵台颱風降雨之初步研究

劉崇治¹ 林裕豐¹ 戴世忠¹ 趙俊傑¹ 劉振榮²

¹ 空軍氣象聯隊氣象中心

² 中央大學太空及遙測研究中心

(中華民國九十五年十月二十四日收稿；中華民國九十六年三月二十二日定稿)

摘 要

本文利用 1988 至 2004 年 SSM/I (Special Sensor Microwave/ Imager) 衛星資料，透過回歸統計建立颱風侵襲台灣地區期間，定量降水估算之客觀方法。研究選取 36 個侵台颱風個案，以個案衛星資料反演之可降水量及颱風滯留時間作為預報要素，透過樣本分佈的統計方法將上述要素分別轉換成無因次之預報因子 a 與 b，由 a 與 b 合成之預報指數 I_x ($I_x = a \times b$) 與台灣地區總累積降水量之間的相關係數達 0.76，顯示利用預報指數 I_x 來估算颱風侵台期間台灣地區的總累積降水量有相當程度的可靠性。另研究中分別針對颱風大小、強度及侵台路徑進行分類，並計算預報指數 I_x 與各類別中台灣地區實際總降雨之相關係數。研究結果發現，以 30kt 暴風半徑做為分類，將有助於提升預報指數與台灣地區總累積降水量之間的相關性，其中暴風半徑介於 101 km 至 200 km 的中型颱風相關性高達 0.96，小型颱風（暴風半徑為 100 km 及以下）及大型颱風（暴風半徑介於 201 km 至 300 km）的相關係數亦有超過 0.8 以上的表現，顯示透過颱風暴風半徑的分類，可以進一步提升估算台灣地區總降雨量的可信度。

關鍵詞：SSM/I、可降水量、預報指數

一、前言

颱風為自然界最具破壞力的天氣系統之一，平均每年約有 3 至 4 個颱風侵襲台灣地區。颱風侵襲期間強風及豪雨所帶來的災害，對於民生及社會經濟的影響甚鉅。由於颱風的形成及發展均位於廣闊的海面上，一般傳統觀測受限於解析的不足，無法提供我們對於颱風降雨時空分佈特徵的瞭解。然而，由於衛星遙測資料具有較佳的時空解析能力，正可以彌補傳統觀測不足。早期衛星遙測主要是利用紅外線及可見光頻道影像，分析雲頂溫度及垂直發展來決定降水及對流強度。近年來隨著衛星遙測技術的進步，衛星觀測資料不再僅止於系統強度、發展動態及影響範圍等定性上的主觀分析而已，微波頻道的發展更提供了定量上客觀資料的應用。

1987 年 6 月美國發射 DMSP F-8，上面裝載了第一個作業用的被動式微波輻射儀 SSM/I(Special Sensor Microwave/ Imager)，SSM/I 輻射計共包含 19.3GHz、22.2 GHz、37.0 GHz 及 85.5 GHz 等四個微波頻道(Hollinger et al., 1987；Huang et al., 1992)，它提供較高的解析度，對於大氣液態水含量、水氣、降水量等方面具有非常好的反演能力，也使得 SSM/I 資料適合應用於大氣降水的估算 (Rodgers et al., 1994；Rodgers and Pierce, 1995；Grody, 1991)。Hollinger (1987)、Chiu et al. (1990)、Adler et al. (1993)及 Ferraro (1997)等多位學者都曾經發展降雨反演式，這些反演式的使用大部分被限制在海洋上 (Wilheit et al., 1991；Janowiak et al., 1992)，因為估算陸地上的降雨必須先分辨其表面特性，如被雪覆蓋區、沙漠區或半乾燥區 (Grody, 1991；Ferraro et al., 1994a, 1996；Ferraro, 1997)；不過有些反演式則加入了陸上降雨估算 (Grody, 1991；Petty, 1995；

Barrett et al., 1994；Ferraro et al., 1996, 1997)。這些降雨反演的的方法各有不同，有些只使用單一頻道，如 Chiu et al. (1990) 的反演式只使用 19.3GHz 頻道；有些則是幾個頻道同時使用，如 Ferraro (1997) 之反演式則用了 19.3GHz、22.2GHz 和 85.5GHz 三個頻道的亮度溫度值；有些用實際觀測資料做回歸得到反演式；有些用模式模擬得到反演式。雖然反演方法從簡單到複雜的形式都有，但主要目的都是希望能得到亮度溫度和降雨間合理的關係。另外，SSM/I 衛星資料也被應用於分析探討熱帶氣旋的相關研究，包括 Alliss et al. (1992)、Rodgers et al. (1994a, 1995) 及 Bankert and Tag (2002)，這些研究對於熱帶氣旋降雨量估算、潛熱釋放量、強度估計等均有不錯的結果。

謝等(2000)曾經就台灣地形對颱風降水之影響、西行颱風過山之颱風降雨特性分析、颱風與季風共伴環流影響下台灣各地降雨特性及預報進行研究。王等(1986)藉由收集大量的颱風與台灣全島降雨測站資料加以分析，建立不同類型（強度與路徑）颱風的客觀降雨預報方法。這些研究都顯示地形對於颱風降水影響的重要性。另外在衛星資料的應用研究方面，陳等人(2006)曾使用 TRMM 衛星上的 TMI 微波資料及宮古島附近島嶼測站之地面觀測降雨量資料，建立多頻道線性迴歸方程式以估算海上颱風之定量降水。其研究結果顯示，在定量驗證方面，反演之降雨強度與島嶼測站降雨觀測值之間相關係數約為 0.74。本文則將利用 SSM/I 衛星資料來反演海面上颱風的可降水量。另外由於台灣地形效應作用，因此除了應用 SSM/I 資料估算降雨外，亦需考慮地形與颱風之間的相互作用，才能對颱風侵台期間台灣各地的降雨特性有所了解，進而有效掌握颱風侵台期間台灣地區的降雨分布，以提升對於颱風災

害的預警能力。不過由於每一個颱風的降雨和風力結構都有所不同，再者不同的颱風中心位置、強度以及暴風半徑等因素亦會影響颱風降雨之結果，故在本研究中，我們並非針對颱風降水之物理過程做分析探討，而是嘗試以統計方法建構出能夠客觀估算颱風降雨，且具高效率之方法。

二、研究資料與方法

本文採用 1988 年至 2004 年 SSM/I 19.3GHz、22.2GHz 及 37.0GHz 微波頻道的亮度溫度值反演大氣可降水量。雨量資料採用中央氣象局逐時地面雨量觀測資料；降雨區域則劃分為北部（台北、新竹、基隆及淡水）、中部（台中及嘉義）、南部（台南、高雄及恆春）、東北部（宜蘭及蘇澳）、東部（花蓮）及東南部（台東及成功）等地區。此目的在於區分颱風侵台期間各地區降雨之分佈情形。颱風個案之選取排除伴隨其他天氣系統（如鋒面系統、西南氣流或東北季風等天氣系統）的影響，僅考慮颱風本身環流所造成台灣地區的降雨，藉此使颱風可降水量估算與台灣地區實際降雨間的探討過程單純化。個案選取範圍包含 1988 年至 2004 年期間通過台灣附近區域（東經 118.5~123 度，北緯 21~26.5 度）之颱風。選取上述區域的原因主要是考慮颱風進入此區域時，颱風環流及其雲系將直接影響台灣地區的降雨分佈。此外，由於衛星軌道及其掃瞄範圍的限制，使得台灣地區在衛星掃描範圍內的時間點並不規則，故並非每個颱風均有足夠的資料可供分析。因此研究中首先運用衛星資料進行颱風可降水量的反演，進一步將每三小時內所涵蓋東經 105~135 度，北緯 12~30 度範圍的 SSM/I 影像資料做時間平均處理，例如將 06LST、07LST、08LST 三小時的資料平均值，作為 08LST 時該颱風的可降水

量。雖然我們使用了三小時的資料來進行處理，但在 1988 年至 2004 年的颱風個案中，仍然存在因資料量不足而造成計算結果無法代表颱風可降水量的情形，此類衛星影像資料不完整的個案亦不納入分析與探討。經上述篩選程序，在 1988 年至 2004 年間計取得 36 筆颱風個案（如表 1），其中 1997 年至 2004 年共計有 20 個颱風個案，當做建立颱風侵台期間各地降水估算客觀方法所需的資料樣本，另 1988 年至 1996 年共計有 16 個颱風個案，則當做測試此客觀方法所需的測試樣本。

此處颱風可降水量的計算是參考 Wentz (1986)、Alishouse (1990) 及 Filiberti (1994) 所發展之演算法求取颱風之可降水量：

$$W_{SSM/I} = 20.75 - 2.582 \log_e(280 - T_B^{19H}) - 0.3919 \log_e(280 - T_B^{19V}) - 3.610 \log_e(280 - T_B^{22V}) + 2.729 \log_e(280 - T_B^{37H}) - 0.5118 \log_e - T_B^{37V}$$

上式中 $W_{SSM/I}$ 為大氣的可降水量， T_B^X 是在不同頻率時的亮度溫度 (K)。

在 Lonfat et al.(2004) 的研究顯示，西北太平洋地區颱風較強的降雨多集中在颱風半徑 200 公里以內的範圍內，在半徑 200 公里以外的降雨強度值均明顯偏小，因此颱風可降水量的計算範圍是參考 Lonfat et al.(2004) 之研究結果，以選取 220 公里的半徑代表颱風可降水量計算區域。由於半徑取過大則可能將導致較大的可降水量值被平均化，若選取半徑過小則可能造成部份較大的可降水量值被忽略。因此在研究中颱風可降水量被定義為以颱風中心向外取半徑 120 海浬（約 220 公里）範圍內所有衛星資料反演可降水量的平均。圖 1 為個案桃芝(Toraji)颱風於 2001 年 7 月 28 日 2100UTC 時，依上述方法所計算出之可降水量分佈。

表 1 1988 至 2004 年選取之所有颱風個案一覽表

年份	颱風名稱
1988 年	蘇珊 (SUSAN)
1989 年	
1990 年	楊希 (YANCY)、瑪麗安 (MARIAN)
1991 年	耐特 (NAT)
1992 年	寶莉 (POLLY)、泰德 (TED)、歐馬 (OMAR)
1993 年	
1994 年	凱特琳 (CAITLIN)、葛拉絲 (GLADYS)、提姆 (TIM)、席斯 (SETH)
1995 年	肯特 (KENT)、賴恩 (RYAN)、荻安娜 (DEANNA)
1996 年	葛樂禮 (GLORIA)、賀伯 (HERB)
1997 年	安珀 (Amber)
1998 年	楊妮 (Yanni)、瑞伯(Zeb)、奧托(Otto)、妮寇兒(Nichole)
1999 年	瑪姬 (Maggie)、瑞琪兒(Rachel)
2000 年	碧利斯 (Billis)
2001 年	奇比 (Chebi)、西馬隆 (Cimaron)、潭美(Trami)、桃芝(Toraji)、利奇馬(Lekima)
2002 年	
2003 年	杜鵑(Dujuan)、莫拉克(Morakot)、柯吉拉(Kujira)、南卡(Nangka)
2004 年	康森(Conson)、康伯斯(Campasu)、艾利(Aere)

在估算台灣地區總降雨量過程，首先利用衛星資料計算颱風之可降水量及颱風侵台時的颱風滯留時間（即颱風滯留在東經 118.5~123 度，北緯 21~26.5 度範圍內的時間）作為預報台灣地區降雨量的參數。利用樣本分佈的統計方法，進行颱風可降水量、颱風滯留時間的直方圖分析，然後再利用高斯函數來進行該分佈的曲線擬合。由於擬合高斯函數之最大值的所在位置可視為該參數的平均值，而該函數標準差值的大小可以用來決定該函數由中央鋒值向左右兩側擴展的程度，一般來說幾乎所有的樣本都會落在以平均值為中心之正負三倍的標準差範圍內 ($\pm 3\sigma$) (Wilks, 1995)，所以本研究是以平均值加上 3 倍的標準差值做為最大值，以平均值減去 3 倍的標準差值做

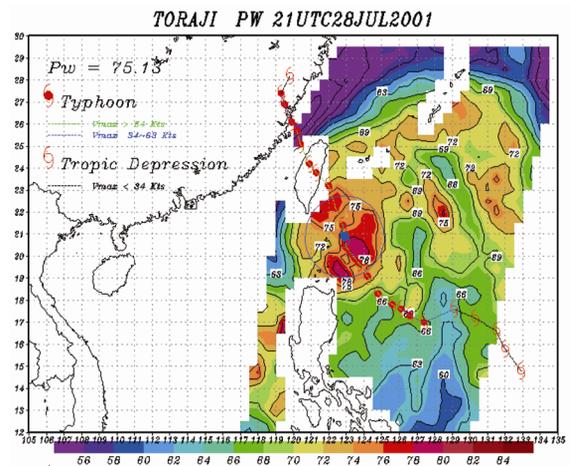


圖 1 2001 年 7 月 28 日 2100UTC 時桃芝颱風個案路徑及可降水量分佈情形（陰影為颱風可降水量，藍色圓為以颱風中心向外取半徑 120 海浬所包含之範圍，紅色線為颱風移動路徑）。

為最小值(Liu et al., 2002)。然後將可降水量及颱風滯留時間的最大及最小值分別映射至 1 與 0，而實際估算的可降水量及滯留時間則透過線性內插的方式內插至 1 與 0 之間，因此可以得到一個無因次的指數值。在此將可降水量的無因次指數表示為 a ，而颱風滯留時間的無因次指數表示為 b 。因此颱風侵台期間所帶來的總累積降雨量可由預報指數 I_x ($I_x = a \times b$) 估算獲得；當 $a \times b$ 值愈大時(即預報指數 I_x 愈高時)，則推估台灣地區總累積降雨量較高，反之則否。另可由預報指數 I_x 與實際降雨量之間的散佈關係，建立一線性迴歸關係式。藉由此一關係式，即可由個案的預報指數 I_x 估得颱風侵台期間，台灣地區總累積降雨量的客觀預報值。

由於過去許多研究均指出侵台颱風降雨和颱風移動路徑有明顯的相關(王等, 1985; 陳等, 1993; 謝等, 2000)，因此在本研究中亦將考慮路徑對累積降雨量分佈影響，在此將颱風路徑分為六類(如圖 2)。第 1 類為西行颱風通過台灣北部外海，颱風中心並未登陸；第 2 類為西行颱風但颱風中心在東部至東北部登陸(即北緯 23.5° 以北)；第 3 類為西行颱風但颱風中心在東部至東南部登陸(即北緯 23.5° 以南)；第 4 類為西行颱風通過台灣南部外海，颱風中心並未登陸；第 5 類為北行颱風，即在台灣東部外海(東經 121° 以東)向北或東北移動，颱風中心並未登陸；第 6 類為南海生成移入登陸型。

根據以上六類路徑，將 1988 年至 2004 年期間所選取之侵台颱風個案做路徑分類，針對每一路徑依降雨區域劃分，並統計該路徑颱風在台灣各地區降雨分布之百分比。圖 3 為颱風侵台期間路徑分類後各地所造成降雨量之百分比分佈情形，由圖中各類路徑降雨百分比顯示，第 1 類路

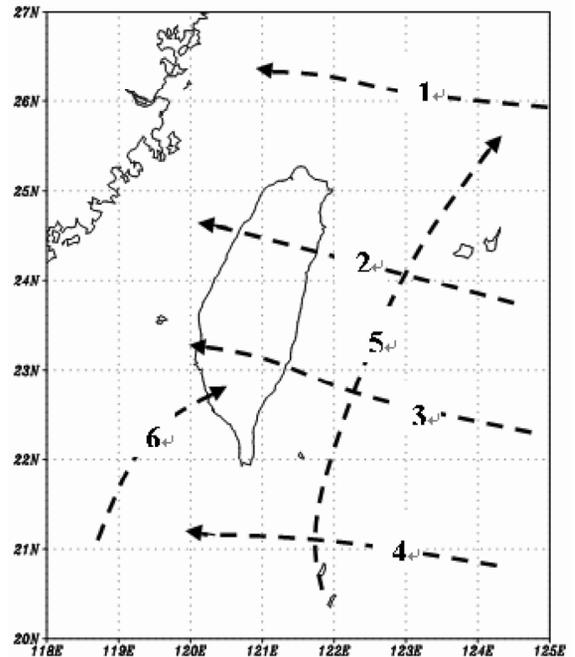


圖 2 侵台颱風路徑分類。

徑以北部及中部地區所佔的降雨比率最多，北部佔 39%、中部 40%；第 2 類路徑以東部、中部及東北部地區佔的比率較高，分別為 32%、22%及 16%；第 3 類路徑以東南部、東部及南部地區佔的比率較高，分別為 28%、26%及 19%；第 4 類路徑以東南部、南部及東部地區所佔的比率較高，分別為 36%、27%及 22%；第 5 類路徑以東北部、北部及東部所佔比率較高，分別為 27%、24%及 24%；第 6 類路徑以南部及中部所佔比率較高，分別為 41%及 25%。由路徑分類之降雨分布可以發現，不同路徑對台灣各地區的累積降雨量分佈有很大的差異，其主要原因除了受颱風本身環流雲系的影響外，台灣中尺度地形的作用，亦在其中扮演相當重要的角色。

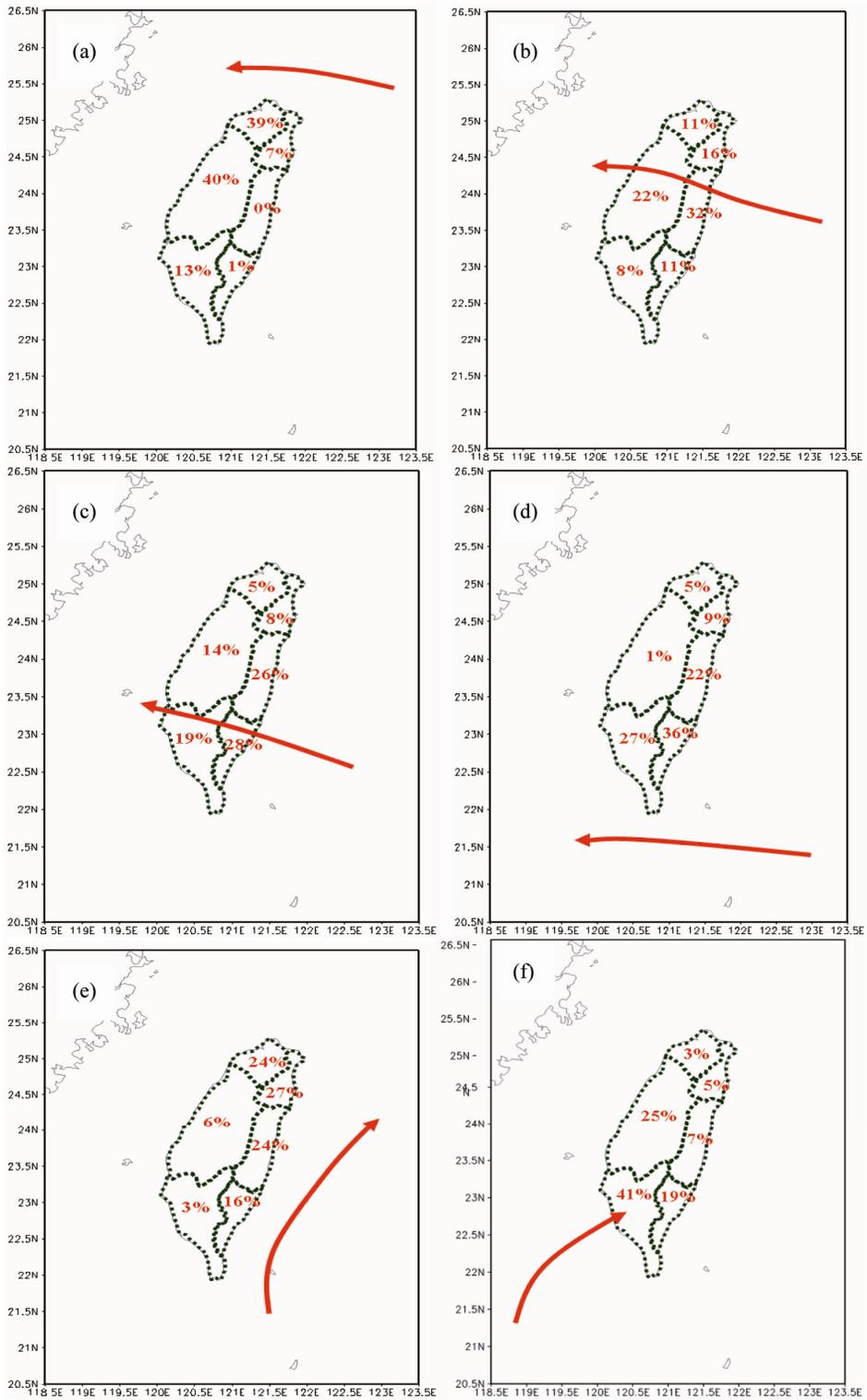


圖 3 (a)至(f)分別為路徑 1 至路徑 6 颱風侵台期間在各地所造成降雨量之百分比分佈情形。

三、分析結果

(一) 所有個案分析結果

圖 4a 為 1997 年至 2004 年共計 20 個颱風個案之颱風可降水量分佈情形，由圖中可以發現出現最多次數的颱風可降水量值約在 75 毫米左右，樣本平均值為 74.8 毫米，標準差為 4.93。圖 4b 為 1997 年至 2004 年共計 20 個颱風個案之颱風滯留時間分佈情形，多數的侵台颱風滯留時間約在 20 小時左右，樣本平均值為 20.6 小時，標準差為 11.4。

圖 5a 為 1997 年至 2004 年颱風可降水量與台灣地區的總降雨量的迴歸分析，其中兩者之間

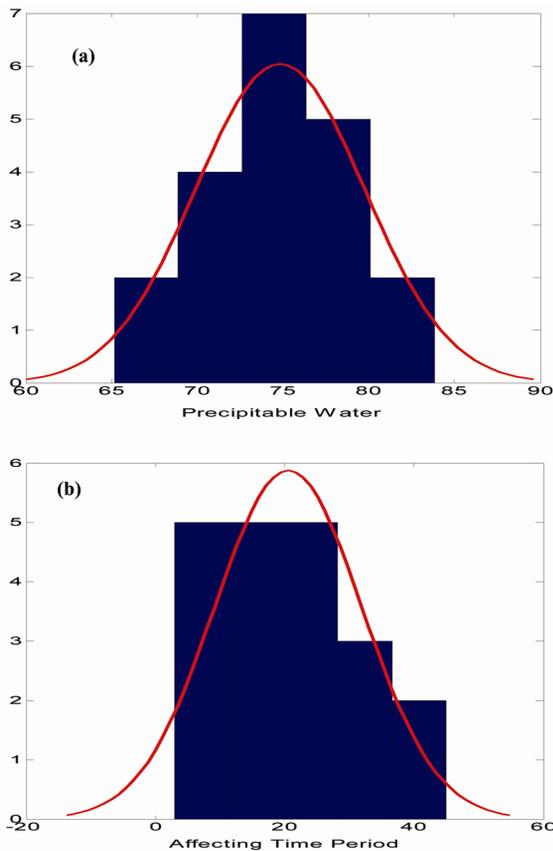


圖 4 1997 年至 2004 年共計 20 個颱風個案(a)可降水量(毫米)與(b)滯留時間(小時)之分佈情形。

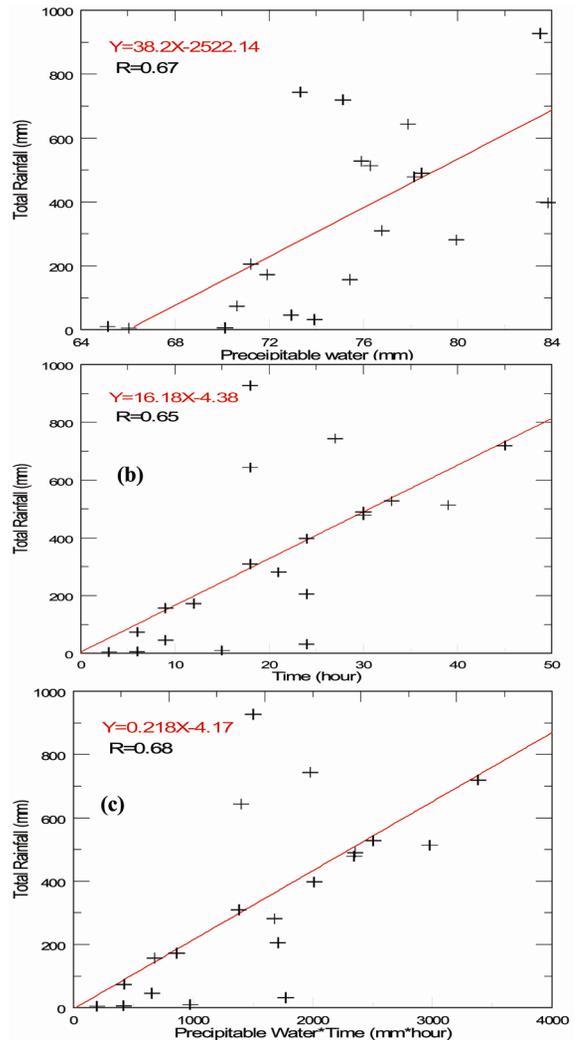


圖 5 1997 年至 2004 年颱風個案(a)颱風可降水量、(b) 颱風滯留時間及(c)可降水量與滯留時間乘積與實際累積降雨量分佈情形與其回歸方程式。

的相關係數高達 0.67。圖 5b 為 1997 年至 2004 年颱風滯留時間與台灣地區的總降雨量的迴歸分析，其中兩者相關係數為 0.65。圖 5c 為 1997 年至 2004 年颱風滯留時間及颱風可降水量兩者乘積與台灣地區的總降雨量間的迴歸分析，其中兩者相關係數為 0.68。若透過擬合高斯函數平均值加上 3 倍的標準差值做為最大值，以平均值減去

3 倍的標準差值做為最小值，並將可降水量及颱風滯留時間及其變化最大及最小值分別映射至 1 與 0 後；由無因次指數 a (即映射後之可降水量指數) 與台灣地區之總累積降雨量之間的相關係數仍為 0.67 (圖 6a)，而無因次指數 b (即映射後之颱風滯留時間指數) 與台灣地區之總累積降雨量之間的相關係數亦為 0.65 (圖 6b)，但更為重要的是由 a 與 b 合成之預報指數 ($I_x = a \times b$) 與台灣地區之總累積降雨量之間的相關係數高達 0.76 (圖 6c)，顯示透過無因次預報指數 I_x 的分析後確實提高了兩預報因子對台灣地區總降雨量的相關性。因此以預報指數 I_x 來估算颱風侵台期間台灣地區的總累積降雨量已具相當程度的可靠性。

由前述迴歸分析我們建立一預報台灣地區總累積降雨量的線性迴歸方程 $y=1657.01x-96.39$ ，並透過無因次之預報指數 I_x 代入線性迴歸方程，以求得台灣地區之總累積降雨量，再根據所分類路徑中統計之各地區所佔總降雨量的百分比 (圖 3)，即可求得台灣各地區之累積降雨量分佈情形。

為了校驗上述預報方法對侵台颱風在台灣地區降水之預報能力，本研究以 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風之樣本個案進行各路徑分類颱風個案降水估算之校驗。表 2 為 1988 年至 1996 年共計 16 個颱風個案各分類路徑之平均預估降水量、實際降雨量及雨量誤差一覽表。由表中得知，除第一類路徑因沒有符合的個案外，其餘各路徑平均誤差率為 22.55%。第二類、第三類及第六類路徑颱風的累積降水估算結果都相當不錯，其中第三類及第六類路徑颱風的累積降水估算誤差率甚至低於 10% 以下。第四類及第五類路徑颱風的累積降水估算誤差率結果比較不理想，其中第四類颱風個案只有耐特(1991)及肯特颱風

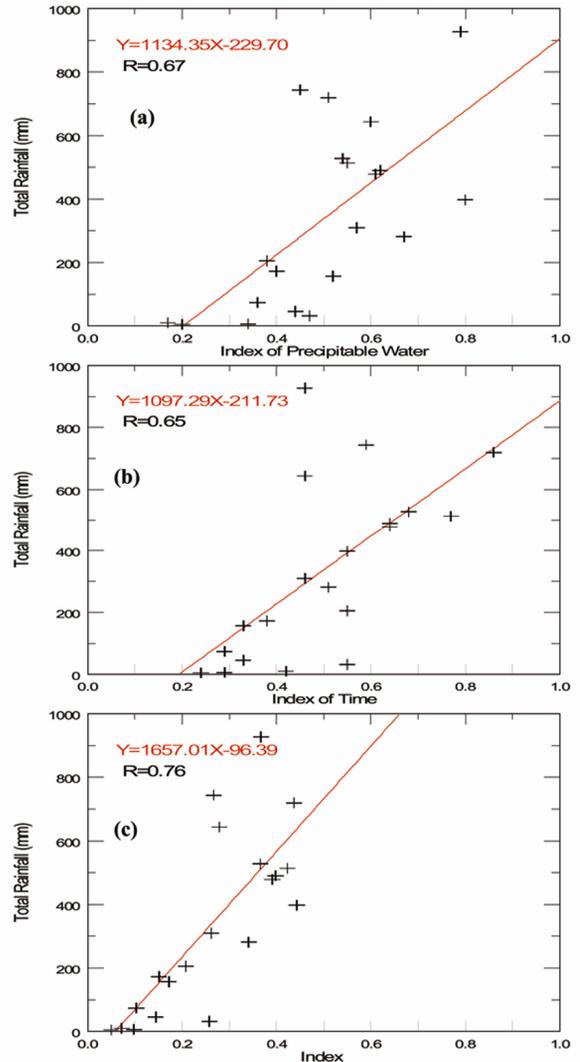


圖 6 1997 年至 2004 年經無因次指數分析後颱風個案(a)颱風可降水量、(b)颱風滯留時間及(c)可降水量與滯留時間乘積與實際累積降雨量分佈情形與其回歸方程式。

(1995)，前者有低估的情形發生且誤差率高達 51.56%，後者則相對較好，誤差率只有 20.44%。探究其原因，發現耐特(1991)的生命期自 1991 年 9 月 15 日開始一直到 10 月 2 日，其行徑路線也相當詭異而多變 (路徑圖略)，曾經兩度由巴士海峽通過，實際影響台灣地區降水的時間較長，因

表 2 1988 年至 1996 年共計 16 個颱風個案預估降雨量、實際降雨量及雨量誤差一覽表

路徑	預估總累積降雨量 (mm)	實際總累積降雨量 (mm)	雨量差	誤差率 (%)	颱風名稱及年份
1					缺
2	666.37	594.82	71.55	12.03	葛拉絲(1994)、寶莉(1992)、泰德(1992)、賀伯(1996)、楊希(1990)
3	561.31	617.26	-55.95	-9.06	提姆(1994)、凱特琳(1994)、葛樂禮(1996)、歐馬(1992)、蘇珊(1988)
4	202.54	329.35	-126.81	-38.50	肯特(1995)、耐特(1991)
5	149.25	277.20	-127.95	-46.16	賴恩(1995)、席斯(1994)
6	232.58	250.10	-17.52	-7.01	荻安娜(1995)、瑪麗安(1990)

此造成低估的現象。另外第五類颱風個案包含賴恩(1995)及席斯(1994)颱風，此兩颱風都屬於中度大型颱風，34kt 暴風半徑分別為 250km 及 300km，比本研究的計算標準(220km)範圍更大，因此造成本研究的低估現象。圖 7 則是 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風之樣本預估降雨量與實際降雨量的分布圖，其兩者的相關係數亦恰好為 0.76，平均誤差及標準差則分別為 0.7 及 251.04，若以衛星颱風降水估算與地面測站觀測的相關性而言，本研究的結果似乎還算不錯(陳等人，2006)。

上述之計算方式是將所有颱風未經分類(大小、半徑及強度等)加以統計分析，在此我們進一步將颱風個案依強度、登陸方式、30kt 及 50kt 暴風半徑、強度與大小、強度與登陸方式等特徵將颱風分類，並對各類別之群組實施統計迴歸分析，以了解分類處理對於估算結果之影響。

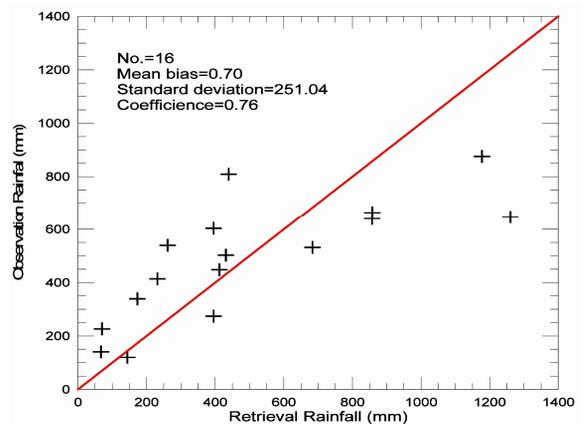


圖 7 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風之樣本預估降雨量與實際降雨量的分布圖

(二) 依颱風類型分類之分析結果

由於不同類型的侵台颱風對於台灣地區所帶來的降雨亦具有不同的結果，因此以下將 1997 年至 2004 年共計 20 颱風個案依颱風強度、登陸方式、30kt 及 50kt 暴風半徑、強度與大小、強度與登陸方式進行分類，以探討各類型颱風侵台期

間的降雨預報法則，其分析結果如下：

1. 依強度分類：

在本項分類過程中，僅有 2000 年的碧利斯颱風到達強烈颱風的程度，其餘個案均為中度或輕度颱風。因此我們將所有個案分為輕度颱風及中度以上颱風等兩類。分析結果顯示，輕度颱風之預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨相關係數達 0.88 (其線性迴歸方程式為 $y = 1408.9x - 125.02$)，相對於未分類前的統計結果，輕度颱風在預報指數與實際總累積降雨量之相關性的改善率上，可達 15.8% 的成效；而中度以上颱風的相關係數僅為 0.68。檢視中度以上颱風相關係數下降的原因，我們可經由中度以上颱風個案迴歸分析 (圖 8) 發現，除了瑞伯(Zeb)及安珀(Amber)颱風實際的降雨量明顯偏離迴歸線外，其餘颱風個案均接近迴歸線，此顯示瑞伯及安珀颱風個案是降低中度颱風相關係數的主要因素。然而由瑞伯及安珀颱風 IR 雲圖 (圖 9) 可以發現，瑞伯颱風雲系 (圖 9a) 發展的範圍較廣，當颱風中心位於菲律賓呂宋島時，其外圍雲系已影響台灣地區，因此在颱風可降水量 (以計算颱風半徑 120 海浬內之可降

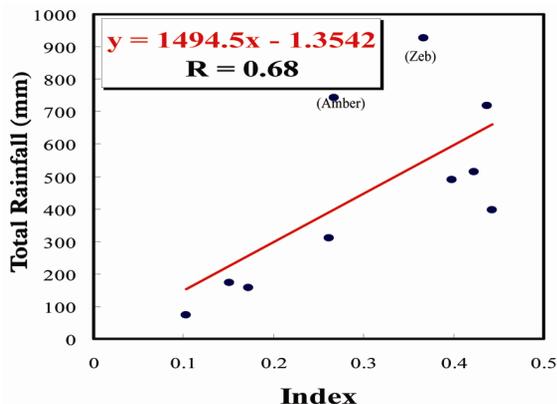


圖 8 1997 年至 2004 年中度以上颱風之迴歸分析結果。

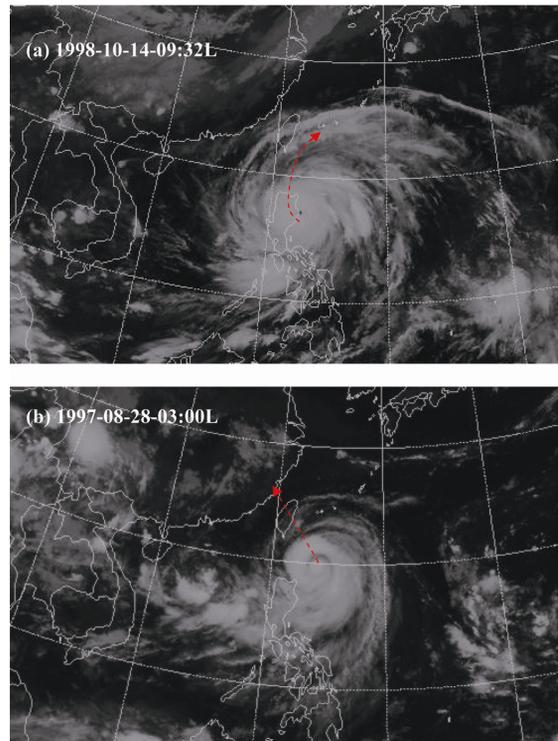


圖 9 (a)1998 年瑞伯(Zeb)及(b)1997 年安珀(Amber)颱風 IR 雲圖(圖中箭頭方向為颱風移動路徑示意)。

雨量代表)的估算上，可能造成相當程度的誤差；而安珀颱風雖雲系 (圖 9b) 發展較集中，但其移動路徑直接朝台灣東部地區登陸，颱風中心登陸後與台灣地形的作用將使得降雨量的估算更為複雜，因此地形作用亦可能是造成颱風可降水量估算上誤差的重要因素(登陸型颱風的相關性，將於下一小節中探討)。若不考慮瑞伯及安珀個案，則中度以上颱風的相關係數可達 0.91，顯示部份特殊個案具有相當重要影響。經由上述探討可以發現，不同颱風所具有的特徵(包括雲系發展分佈、結構、移動路徑及地形效應等)，均可能造成可降水量估算上的誤差，這些特徵未來仍需要更進一步做深入分析與探討，以修正誤差來源。

2. 依登陸方式分類：

考慮將颱風分為登陸颱風與未登陸颱風兩類。未登陸颱風之統計相關係數為 0.83（其線性迴歸方程式為 $y = 1689.6x - 111.28$ ），而登陸颱風的結果顯示預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨並無顯著相關（相關係數為 0.44）；對於這樣的結果我們推測是台灣地形效應所造成的影響，因為局部地形與颱風的交互作用將改變颱風降雨強度與特徵（謝等，2000），因此會對颱風降水量預估造成相當程度的誤差，故修正地形作用的影響因子，亦是將來研究必須加入考量的重要項目之一。

3. 依 30kt 暴風半徑分類：

將二十個颱風個案分為小型（30kt 暴風半徑為 100km 及以下）、中型（30kt 暴風半徑為 101km 至 200km）及大型（30kt 暴風半徑為 201km 至 300km）等三類。分析結果顯示（圖 10）中型颱風在預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨之相關係數達 0.96，為三種類型颱風的最佳結果。而在小型及大型颱風之相關係數值亦有超過 0.80 之表現，說明颱風尺寸之分類有效改善了未分類前之分析結果（相關係數 0.76）。透過前述的迴歸分析，我們可以建立對於台灣地區總累積降雨量的估算線性方程式：

(1) 小型颱風： $y = 1431.8x - 130.7$

(2) 中型颱風： $y = 1308.5x - 81.99$

(3) 大型颱風： $y = 2434.1x - 118.42$

由以上相關係數的數據中，顯見將颱風大小的分類程序納入預報流程，確實能夠增進估算颱風侵台期間台灣地區總累積降雨量的可靠度。

4. 依 50kt 暴風半徑分類：

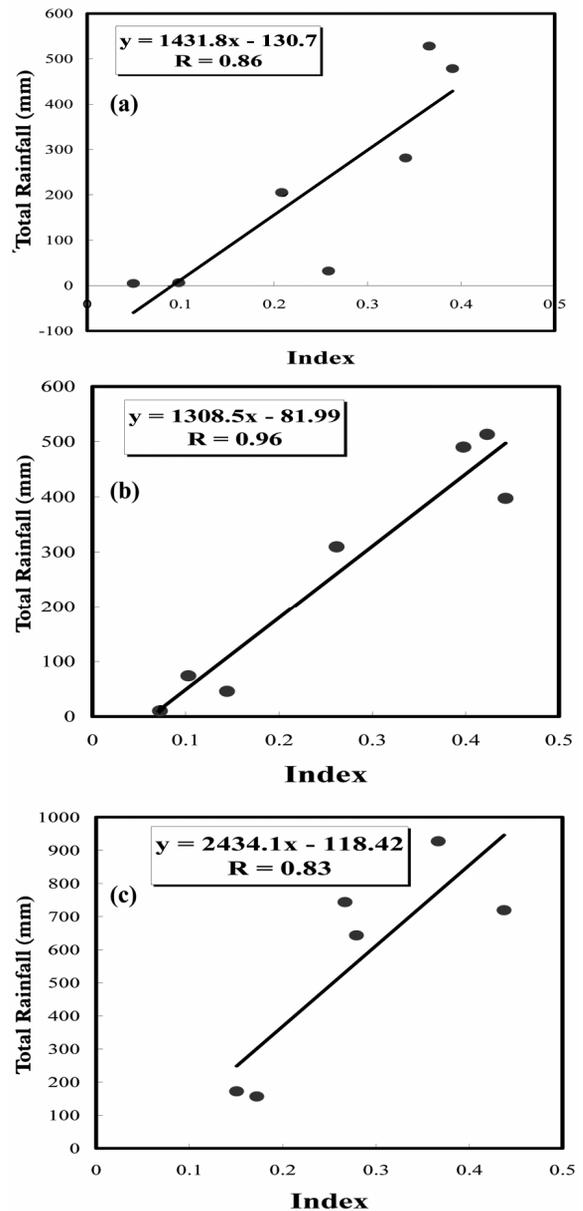


圖 10 1997 年至 2004 年(a)小型（半徑 100km 及以下）、(b)中型（半徑 101-200km）及(c)大型（半徑 201-300km）颱風之預報指數與實際降雨觀測之相關性及迴歸分析結果。

將颱風依 50kt 暴風半徑大小進行分級，各級之間相差 50km，亦即第一級為 50kt 暴風半徑達 1 至 50km、第二級為 50kt 暴風半徑達 51 至 100km

等以此類推。基於各類別須有足夠個案數的前提下，我們將所有個案分為具有 50kt 暴風半徑以及不具 50kt 暴風半徑等兩類。由迴歸統計分析顯示，當颱風無 50kt 之暴風半徑時，預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨之相關係數為 0.88，其線性迴歸方程式為： $y = 1389.4x - 116.59$ ；反之，相關係數僅達 0.70。說明在颱風無 50kt 暴風半徑的情形下的確改善了未分類前的預報可靠性，但颱風出現 50kt 暴風半徑時的預報指數與實際累積降雨的相關性則有下降的現象，其下降的原因可能類似第 1 部份依強度分類中所探討，中度以上颱風—「瑞伯及安珀」，在此亦被歸納為具有 50kt 暴風半徑一類，故造成相關係數的降低。在此分類中，若不考慮瑞伯及安珀個案的影響，則相關係數可達 0.80。

5. 依強度及大小分類：

由於樣本個案數並不夠多，因此在本項分類僅將所有個案分為小型輕度颱風、中型中度以上颱風以及大型中度以上颱風等三類。統計結果顯示，以中型中度以上的颱風在預報指數與實際累積降雨量間的相關性最佳，其相關係數達 0.93；小型輕度颱風及大型中度以上颱風的相關係數亦達 0.80 以上（小型輕度颱風為 0.86，大型中度以上颱風為 0.83）。故若對欲估算台灣地區總累積降雨的目標颱風進行上述的分類，吾等亦可求得相當可靠估算結果。台灣地區總累積降雨量的估算線性方程式：

$$(1) \text{ 小型輕度颱風：} y = 1431.8x - 130.7$$

$$(2) \text{ 中型中度以上颱風：} y = 1165.5x - 22.661$$

$$(3) \text{ 大型中度以上颱風：} y = 2434.1x - 118.42$$

6. 依強度及登陸方式分類：

同時考慮颱風的強度及登陸與否二種因素，

我們將所有颱風個案分為登陸輕度颱風、未登陸輕度颱風、登陸中度以上颱風與未登陸中度以上颱風等四類。由統計結果顯示：雖然未登陸之輕度颱風相關性分析說明此類颱風具有最佳預報潛勢（相關係數為 0.98），但此類個案均集中於總累積雨量較少的部份就統計上的意義而言，較不具代表性，所估算出來的結果也就比較不可靠。此外，登陸的中度以上颱風則無預報能量，其相關係數為 -0.46，由於強度較強的颱風與地形間的作用更為複雜（謝等，2000），因此，對於研究中關於登陸颱風的預報結果，仍需進步一的分析與探討。另一方面，登陸輕度颱風及未登陸中度以上颱風在預報指數和實際累積降雨的相關係數雖有超過 0.70 以上的表現，然而相對於未分類前的分析結果並不具改善成效。事實上，在這個分類中，可以發現颱風的個案數均明顯偏少，因此在統計上亦較不具代表性。

表 3 為 1997 年至 2004 年各項颱風分類中，預報指數 I_x 與實際累積降雨之相關係數。透過表中颱風分類，我們可以了解到：若依第 1、第 2、第 4 種分類方案（強度、登陸方式及 50kt 暴風半徑），其結果相對於未分類前而言僅能局部改善總累積雨量的預報潛勢。就第 6 種分類方案（包含強度及登陸方式分類）來說，個案數目相對較少，因此結果比較不具代表性，此外亦未產生更佳的預報能量。故前述的分類對於本研究颱風侵台期間台灣地區總降雨量的預報並無顯著的貢獻。然而，第 3 種（颱風空間尺度）和第 5 種（依強度及大小分類）分類方案均在分析結果上呈現出顯著的改善率，其中第 3 種的分類方式包含了所有的颱風個案，且有更佳的預報可靠度。因此，若將颱風大小分類的程序加入考量，則勢必能夠獲致更高的預報成效。圖 11 是 1988 年至 1996 年共

表 3 1997 年至 2004 年各項颱風分類中，預報指數 I_x 與實際累積降雨之相關係數，備考所列為納入分析之個案

分類		相關係數	備考
強度	輕度	0.88	Campasu、Morakot、Kujira、Nangka、Trami、Cimaron、Rachel、Yanni、Nichole
	中度	0.68	Conson、Aere、Dujan、Lekima、Toraji、Chebi、Maggie、Zeb、Otto、Amber
登陸方式	登陸	0.44	Morakot、Lekima、Toraji、Trami、Billis、Rachel、Otto、Nichole、Amber
	未登陸	0.83	Conson、Campasu、Aere、Dujan、Kujira、Nangka、Chebi、Cimaron、Maggie、Yanni、Zeb
30kt 暴風半徑	100 km 及以下	0.86	Campasu、Morakot、Nangka、Trami、Rachel、Yanni、Nichole
	101~200 km	0.96	Conson、Aere、Kujira、Lekima、Chebi、Cimaron、Otto
	201~300 km	0.83	Dujan、Toraji、Billis、Maggie、Zeb、Otto、Amber
50kt 暴風半徑	無	0.88	Campasu、Morakot、Kujira、Nangka、Trami、Rachel、Yanni、Nichole
	有	0.70	Conson、Aere、Dujan、Lekima、Toraji、Chebi、Cimaron、Billis、Maggie、Zeb、Otto、Amber
強度及大小	小型輕度	0.86	Campasu、Morakot、Nangka、Trami、Rachel、Yanni、Nichole
	中型中度以上	0.93	Conson、Aere、Lekima、Chebi、Otto
	大型中度以上	0.83	Dujan、Toraji、Billis、Maggie、Zeb、Otto、Amber
強度及登陸方式	登陸輕度	0.73	Nichole、Rachel、Trami、Morakot
	未登陸輕度	0.98	Campasu、Kujira、Nangka、Cimaron、Yanni
	登陸中度以上	-0.46	Amber、Otto、Billis、Toraji、Lekima
	未登陸中度以上	0.72	Zeb、Maggie、Chebi、Dujan、Conson、Aere

計 16 個獨立颱風經過第 3 種方式分類後，分類前後颱風個案降水校驗的誤差情形，由圖 11 中可以發現依照 34kt 半徑做分類之後颱風侵台的總累積降水量估算之準確率有明顯的改進，平均誤差率可降低 15.6%。

綜合以上個案分析，我們可以建立一颱風影響期間利用 SSM/I 資料建立台灣地區總雨量預報流程（如圖 12），並可依此流程做為台灣地區颱風侵襲期間的降雨量預報模式。由於目前藉由前述台灣地區總累積降雨量的預報流程所呈現出來的結果與實際統計值仍有少數個案出現較大的誤差，但大多數颱風個案的預報與實際總降雨量誤差在分類後，有明顯減小的情形，因此在做預報

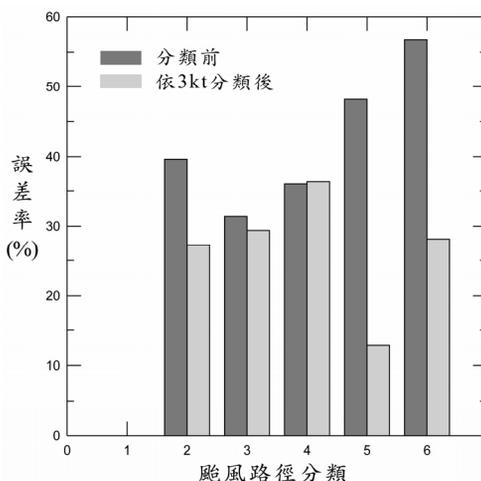


圖 11 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風，依 30kt 暴風半徑分類前後之雨量誤差。

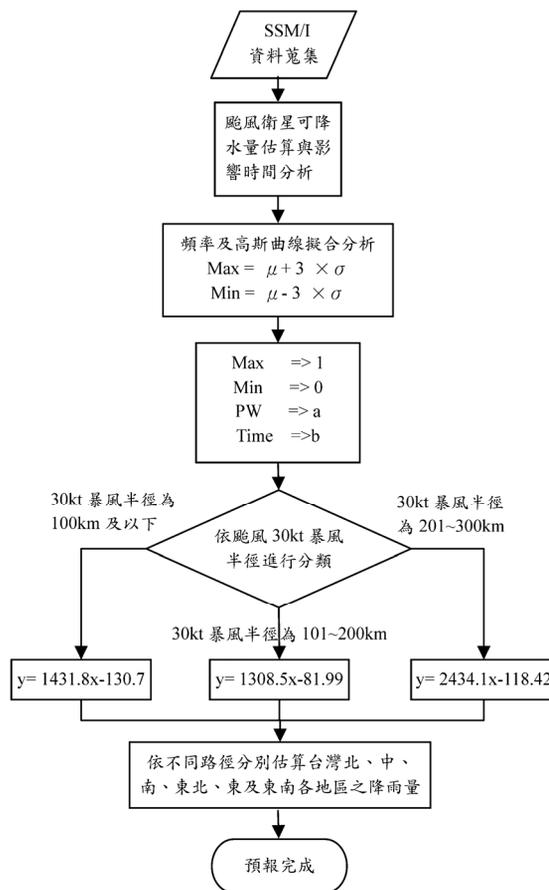


圖 12 颱風影響期間利用 SSM/I 資料建立台灣地區總雨量預報流程圖。

台灣地區總累積降雨量的研判上，將颱風做更詳細的分類，對於降水的預報實有其重要的參考價值。未來將持續針對可能造成誤差來源的因素加以克服，以增進預報台灣地區總降雨量的準確度。

四、討論與結論

本文選取 1988 年至 2004 年期間的 36 個颱風作為研究個案，其中 1997 年至 2004 年共計 20 個颱風個案用於颱風侵台期間降水預報指數的建立，並且利用這些個案依照颱風強度、登陸方式、30kt 及 50kt 暴風半徑、強度與大小、強度與登陸方式進行分類分析。另外為了校驗上述預報方法對侵台颱風在台灣地區降水之預報能力，本研究以 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風之樣本個案進行各路徑分類颱風個案降水估算之校驗。研究首先利用 SSM/I 19.3GHz、22.2GHz 及 37.0GHz 等衛星微波頻道資料反演之可降水量及颱風滯留時間作為預報要素，再將上述要素分別轉換成無因次之預報因子 a 與 b ，由 a 與 b 合成之預報指數 I_x ($I_x = a \times b$) 與台灣地區之總累積降水量兩者透過樣本分佈的統計方法進行相關性分析，藉此建立估算颱風侵襲期間台灣地區總累積降雨量之預報模式。此外透過進一步的分類，將選取個案依其大小、強度及侵台路徑進行分類，並分別計算預報指數 I_x 與各類別中台灣地區實際總降雨之相關係數，藉此了解不同分類群組的颱風在台灣所造成的降雨特性，並探討颱風分類結果對於預報台灣地區總降雨的影響。

研究結果顯示：以 1988 年至 1996 年共計 16 個獨立颱風之樣本個案進行各路徑分類颱風降水估算平均誤差率為 22.55%，預估降雨量與實際降雨量的相關係數為 0.76，平均誤差及標準差則分別為 0.7 及 251.04。另輕度颱風之預報指數與台

灣地區颱風實際累積降雨相關係數達 0.88，顯著高於中度以上颱風之結果。未登陸颱風之統計相關係數為 0.83，而登陸颱風的結果顯示預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨並無顯著相關，可見地形效應對於颱風降水量之預估有相當大的影響，地形效應的作用仍需做進一步的分析與探討，才能夠修正預報的誤差來源。中型颱風在預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨之相關係數達 0.96，而在小型及大型颱風之相關係數值亦有超過 0.80 之表現，顯示颱風尺寸之分類有效改善了未分類前之分析結果（相關係數 0.76）。當颱風無 50kt 之暴風半徑時，預報指數與台灣地區颱風實際累積降雨之相關係數為 0.88；反之，相關係數為 0.70。在颱風尺度及強度的分類中，統計分析的表現以中型中度以上之颱風相關性最佳，小型輕度颱風次之，再其次為大型中度以上颱風。未登陸之輕度颱風相關性分析說明此類颱風具有最佳預報潛勢（相關係數 0.98），登陸的中度以上颱風則無預報能量。由以上分析可知，經過進一步分類之颱風所得到的分析結果提升了颱風降雨的可預報度，且颱風大小的分類效應要大於強度上的分類。在本文預報與實際雨量的誤差顯示，從研究結果中可間接證實台灣的地形效應對於統計分析的結果有相當程度的影響，是形成台灣地區總降雨量估算的主要誤差來源。此外資料處理過程中經過平均後的颱風可降雨量，亦可能弱化了該個案的可降雨量值。

事實上本研究所建立的方法是可以應用在實際颱風作業上的，只要預報員決定了颱風未來的行徑方向，則一方面可以由颱風過去的移動速度推估颱風影響台灣附近區域（東經 118.5~123 度，北緯 21~26.5 度）的時間，另一方面透過衛星估算的颱風可降水量，便可以推估颱風侵台時期

台灣地區的總累積降水量。雖然目前的結果還沒有辦法證實，當預報員最後決定的路徑與模式輸出的預報路徑完全相同時，到底是本研究提出降雨量估算方法好，還是模式預報的降雨較接近事實，不過至少本研究的優點是：計算快速、簡單、而且透過不同的颱風路徑分類，事實上等於已經將台灣特殊的地形影響考慮進去了。另外未來我們將進一步引進「熱帶降雨潛勢技術 (The Tropical Rainfall Potential (TRaP) technique)」。此技術可直接計算颱風範圍內衛星反演的颱風降雨量，這樣的作法應該可以改進本研究中以颱風半徑 220km 的範圍作為颱風降雨計算所造成的誤差。另外亦減輕了衛星資料時間解析度上的限制，後續的研究應該是值得期待的。

致 謝：

本研究由國科會專題研究計畫「NSC95-2111-M-072-001-AP2」、「NSC94-2625-Z-072-003」及「NSC93-2625-Z072-004」資助下完成。

參考文獻：

王時鼎、陳泰然、謝信良，1985：台灣颱風降雨特性及其預報研究 (二)。行政院國家科學委員會，防災科技研究報告 73-47 號，1-100 頁。

陳泰然、李清勝、王時鼎、紀水上、周仲島，1993：豪雨預報技術改進之研究-颱風部份研究計畫。交通部中央氣象局 82 年度委託研究計畫報告，CWB82-2M-10。

謝信良、王時鼎、鄭明典與葉天降，2000：建立台灣地區颱風預報輔助系統建立之研究第三階段—侵台颱風降雨預報之應用研究 (二)。交通部中央氣象局專題研究報告 CWB88-1M-01，1-449。

陳萬金、胡仁基、劉振榮與張茂興，2006：利用 TMI 微波頻道反演海上颱風定量降水之研究，大氣科學，第 34 期，第 67-88 頁。

Alishouse, J. C., S. A. Snyder, J. Vongsathorn, and R. R. Ferraro, 1990: Determination of oceanic total precipitable water from the SSM/I. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 28, 811-816.

Alliss, R. J., S. Raman, and S.W. Chang, 1992: Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) observations of hurricane Hugo (1989). Mon. Wea. Rev., 120, 2723-2737.

Bankert, R. L., and P. M. Tag, 2002: An automated method to estimate tropical cyclone intensity using SSM/I imagery. J. Appl. Meteor., 41, 461-472.

Chiu, L. S., G. R. North, D. A. Short, and A. McConnell, 1990: Rain estimation from satellites: effect of finite field of view. J. Geophys. Res., 95, 2177-2185.

Ferraro, R. R., N. C. Grody, and G. F. Marks, 1994a: Effects of surface conditions on rain identification using the SSM/I. Remote Sens. Rev., 11, 195-209.

Ferraro, R. R., F. Weng, N. C. Grody, and A. Basist, 1996: An eight-year (1987-1994) time series of rainfall, clouds, water vapor, snow cover, and sea ice derived from SSM/I measurements. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 891-905.

Ferraro, R. R., 1997: SSM/I derived global rainfall estimates for climatological applications. J. Geophys. Res., 102, 16715-16735.

- Filiberti, M. A., and L. Eymard, 1994: Assimilation of satellite precipitable water in meteorological forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 486-506.
- Grody, N. C., 1991 : Classification of snow cover and precipitation using the Special Sensor Microwave Imager. *J. Geophys. Res.*, 96, 7423-7435.
- Hollinger, J., R. Lo, G. Poe, R. Savage, and J. Pierce, 1987 : Special Sensor Microwave Imager user's guide. Naval Research Laboratory Washington, D.C., 120 pp.
- Janowiak, J. E., 1992 : Tropical rainfall : a comparison of satellite-derived rainfall estimates with model precipitation forecasts, climatologies, and observations. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 448-462.
- Lonfat, M., F. D. Marks Jr., and S. S. Chen, 2004: Precipitation distribution in tropical cyclones using the Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) microwave Imager: A global perspective. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1645-1660.
- Petty, G. W., 1995 : The status of satellite-based rainfall estimation over land. *Remote Sens. Environ.*, 51, 125-137.
- Rodgers, E. B., and H. F. Pierce, 1994a : A satellite observational and numerical study of precipitation characteristics in western North Pacific tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, 33, 129-139.
- Wentz, F. J., L. A. Mattox, and S. Peteherych, 1986: New algorithms for microwave measurements of ocean winds: Applications to Seasat and the Special Sensor Microwave Imager. *J. Geophys. Res.*, 91, 2289-2307.
- Wilks, D. S., 1995: Statistical methods in the atmosphere science, Academic Press, New York, 467pp.
- Wilheit, T. T., A. T. C. Chang, and L. S. Chiu, 1991 : Retrieval of monthly rainfall indices from microwave radiometric measurements using probability distribution functions. *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, 8, 118-136.

The Preliminary Study of the Distribution of Typhoon Rainfall for Taiwan Areas using SSM/I Data

Chung-Chih Liu¹ Yu-Feng Lin¹ Shi-Zhong Dai¹ Jun-Jie Chao¹ Gin-Rong Liu²

¹ Weather Center, Weather Wing Air Force

² The Space and Remote Sensing Center, National Central University

(Manuscript received 24 October 2006; in final form 22 March 2007)

ABSTRACT

An algorithm to determine the distribution of rainfall of typhoons for affecting Taiwan was proposed by using SSM/I microwave and rain gauge data. There were totally thirty six typhoon cases in this study. At first, the distribution of the rainfall for each possible moving direction of typhoon (totally six different moving directions) was determined in advance by using rain gauge data. The precipitable water of typhoon and the affecting time were considered to play a role to determine the total accumulate rainfall of Taiwan. Therefore, once the precipitable water of typhoon and affecting time were determined, the prediction of rainfall can be determined. A non-dimensional factor of prediction (I_x) with meaning of total precipitable water and affecting time of typhoon was used to forecast the total accumulate rainfall of Taiwan. The results show that the coefficient of correlation between the non-dimensional factor of prediction and total accumulate rainfall of Taiwan was 0.76. Moreover, It will contribute to improve the accuracy of estimation of total accumulate rainfall of Taiwan by distinguishing the radius of 30kt wind of typhoon. The coefficient of correlation for medium-sized typhoon (101 km to 200 km) was up to 0.96. The small-sized typhoon (smaller than 100 km), and large-sized typhoon (201 km to 300 km) also exceed more than 0.8. That shows that it can improve and estimate the credibility of total rainfall of Taiwan further through the classification of the radius of storm wind of typhoon.

Key words: SSM/I, Precipitable water, A non-dimensional factor of prediction

