

利用 SSM/I 衛星資料預測颱風短時降水趨勢

劉振榮¹ 趙俊傑² 何姿儀³ 劉崇治⁴

中央大學太空暨遙測研究中心¹

空軍氣象聯隊氣象中心²

中央大學大氣物理研究所³

明新科技大學⁴

摘要

颱風經過陸地後經常會出現豪大雨後造成淹水及土石流，導致人員及財產之重大損失，因此颱風降水之定量預報為目前防災上最重要課題之一，本研究使用 2000 至 2004 年 SSM/I 氣象衛星資料估算颱風降雨，及利用颱風之移動路徑作為平移颱風位置之依據，並累積颱風降雨量。另一方面亦考慮颱風旋轉之事實，使用每一小時同步衛星紅外線資料計算颱風旋轉速度，求取較為真實之降雨估算。在經過與台灣附近小島累積降雨量之比較後，發現此方法可以很好的估算颱風累積降雨，而加入旋轉效應比沒有經過旋轉效應要接近實際觀測值，顯示此方法有相當不錯之結果。

一、前言

近年來，全球各地由颱風帶來的災害越來越嚴重，如台灣地區受納莉(2001)及敏督利(2004)等颱風影響造成巨大的損失，可見的對於颱風豪大雨所造成之淹水和土石流等天然災害之預測是相當殷切的，而使用氣象衛星資料於豪大雨預報上之應用是各國所積極發展的方向。最近 Kidder 等(2005)使用 SSM/I(Special Sensor Microwave/Imager)、TMI(TRMM Microwave Imager)及 AMSU(Advanced Microwave

Sounding Unit)等被動微波儀估算，參考美國官方之颱風最佳路徑，預測豪大雨之 24 小時潛勢預報，此技術(Tropical Rainfall Potential, TRaP)提供一個快速又實用的方法，應用此方法預測降雨量比中尺度數值預測模式更接近於實際觀測(Ferraro 等, 2005)，但此方法仍有許多改進的空間，如颱風是一個旋轉之物體及颱風有強弱變化等事實。

本研究使用被動微波儀器估算降水，微波的優點在於高透雲性，可將微波的特性用於海洋和大氣的研究上。在

降雨反演方面，早期使用間接的方式估算降雨量，Barrett(1970)找出不同種類的雲的降雨係數，並由此算出可能產生的降雨量。Wilheit 等(1977)真正使用衛星微波資料定量化估計降雨量，但是當時對於降雨的設定過於簡單，所以有些區域的結果不錯，有些區域的結果則差強人意。Lovejoy 和 Austin(1980)則認為用單一頻道很難分出雲水或雨水。Wilheit 等(1980)及 Spencer 等(1983)用 SMMR 以多頻道統計法估計降雨。Smith 等(1988) 則以二維雲模式模擬降雨對微波值的影響，發現對高頻或低頻的影響都很大，且散射影響會隨降雨強度而增加。

用 SSM/I 微波頻道估計降雨的方法有很多種，大致分為物理法及統計法兩種方法，物理法較統計法複雜，在物理法方面有 GPROF (the Goddard profiling algorithm) 等方法；在統計法方面，Wilheit 等(1994)和 Petty(1995)的文章中都有概略的介紹，PIP-1(the first WetNet Precipitation Intercomparison Project)、PIP-2 和 PIP-3 計畫將目前用於 SSM/I 的統計法降雨反演式做實際測試，發現偏差量(bias)普遍小於雷達，且都有不錯的反演能力(Barrett, 1994；Smith 等, 1998；Adler 等,2001)。Hollinger(1989),Chiu(1990), Kummerow 等(1993), Adler 等(1993)和 Ferriday 等(1994)等人都曾經發展降雨反演式。由 Ferraro(1997)的文中可知，反演式的使用多被限制在海洋上(Berg and Chase, 1992；Wilheit 等, 1991；Petty, 1997；Janowiak 等, 1995)；不過有些反演式則加入了陸上降雨估算(Grody, 1991；Xie

and Arkin, 1995；Barrett 等, 1994；Negri 等, 1994；Ferriday and Avery, 1994；Ferraro 等, 1996)。反演式多使用在海面上，是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 等, 1994a, 1996, 1997)。這些降雨反演式各有不同的特性，有些只使用單一頻道，如 Chiu(1990)的反演式只使用 19.35GHz 頻道；有些使用多頻道，如 Ferraro(1997)之反演式則用了 19.35GHz、22.2.3GHz 和 85.5GHz 三個頻道的亮度溫度值求出降雨量。有些用實際降雨觀測資料直接做回歸得到反演式；有些則用雲模式模擬降雨得到反演式。雖然反演式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。

熱帶氣旋的生成發展與降雨特性更是許多氣象學者關注的焦點。Alliss 等(1992), Rodgers 等(1994a, 1995), Bankert 和 Tag(2002), Tibbetts 和 Krishnamurti (2000), Amerault 和 Zou(2003)等人均曾進行熱帶氣旋降雨量估算、潛熱釋放量、強度估計等研究。從這些研究可以知道，應用 SSM/I 衛星資料監測熱帶氣旋的發展是可行的。在颱風強度方面，Alliss 等人(1992)發現當降雨量越大，中心最低氣壓值越低，降雨量和中心最低氣壓呈反比關係，降雨量大小與颱風強度有的變化有相關性。Rao 和 MacArthur (1994)利用 SSM/I 資料估算降雨量並研究其在預測氣旋強度變化的應用。當氣旋強度在未來 24 小時內逐漸加深，降雨率大部分會出現單峰極值；如果減弱則大多會出

現雙峰極值。Rodgers 等人(1994a,b)和 Rodgers and Pierce(1995)的研究也指出，當對流環向中心移進內核區，降雨量會增加，熱帶氣旋也隨之增強。Willoughby 等人(1982)和 Rodgers 等人(1998)的研究顯示，當颶風的螺旋雨帶向中心內縮，則靠近中心的雨量會增加，強度也跟著增強。因此未來應該可以考慮颶風強度變化與降雨隨之變化之情形。

二、資料來源

2.1 SSM/I 及同步氣象衛星資料

本研究使用裝載於美國國防氣象衛星計畫(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)上的 SSM/I 被動微波輻射儀。DMSP 衛星繞行地球每天 14.1 周及傾角 98.88 度，DMSP F-8 之後的衛星開始裝設 SSM/I，其儀器有 19.4、37.0 及 85.5GHz 雙偏振微波輻射頻道及 22.2GHz 垂直極化微波輻射頻道，SSM/I 以 45 度圓錐形掃描地表，刈幅寬約為 1400 公里，研究所使用的 SSM/I 衛星資料由 NOAA 網站下載(網址為 <http://www.saa.noaa.gov/nasa/products/welcome>)，總共有 DMSP F-13、F-14 和 F-15 三顆衛星的資料。

同步氣象衛星有 GMS-5(Geostationary Meteorological Satellite 5)及 GOES-9 (Geostationary Operational Environmental Satellite 9)資料，GMS-5 為日本發射的地球同步衛星，位於東經 140 度赤道上空 35800 公里高，於 1995 年 3 月升空，2005 年 5 月因壽命期已到而停止觀測，觀測任務轉移至 GOES-9，GO

ES-9 位於東經 155 度，為美國 GOES 系列衛星之一。

2.2 颱風及島嶼測站資料

本研究利用 JTWC 網站(<http://www.npmoc.navy.mil/jtwc.html>)所公布的颱風最佳路徑做颱風中心定位，以及推求颱風移動方向和移動速度，每六小時一筆資料。最佳路徑的資料來源是由小島測站資料、不定時的船舶觀測、雷達以及多種衛星觀測資料中估算出來的。

SSM/I 估算出的降雨值會用來和台灣的小島測站雨量資料做比較與分析。在台灣用了彭佳嶼、東吉嶼、蘭嶼和綠島 4 個測站，雨量資料由國立台灣大學大氣科學系的大氣研究資料庫網站 (<http://dbar.as.ntu.edu.tw/>) 所下載得到。使用的皆為逐時雨量資料。

估算降雨的範圍在東經 115~135 度、北緯 10~30 度，這個範圍包含了大部分會侵襲台灣的颱風。研究的時間為 2000~2004 年中央氣象局發布颱風警報的期間，總共有 34 個颱風。

2.3 降雨反演式介紹

前面章節已經提到現存有許多種 SSM/I 衛星降雨反演之方法，國外常使用的 Ferraro(1997)反演式，為目前一般作業單位所採用，但其反演式並不是針對颱風設計，而 Chiu(1990)之降雨反演式經研究發現對於颱風降雨估算有不錯的表現黃(2000)，因此本研究使用這兩種反演法作為降雨估算式，以下針對這兩種方法分別介紹。

(1) Chiu(1990)之降雨反演式：

Chiu(1990) 降雨反演式是以

19GHz(H)單一頻道反演降雨量，其式子如下：

$$RR=5.26*\log\left(\frac{102}{274-Tb_{19H}}\right)\text{ (mm/h)},$$

$$Tb_{19H}<274$$

其中 Tb 為亮度溫度，下標為使用頻道，單位為 K。當 Tb_{19H} 小於 274K 且降雨不在陸地時才會估算降雨量。降雨估計值被限制於 20mm/h 以下，當實際降雨大於 20mm/h，則衛星估計值會低估。

這個反演式是用 Wilheit 等(1977)的模式模擬降雨做為比較對象而得到的對數形式的回歸函數，使用放射機制。

蔡(1996)曾將此反演式反演出來的降雨量與彭佳嶼、馬公、東吉嶼和蘭嶼四個測站量測到的 11 筆雨量資料做比較，發現兩者的相關係數為 0.986，且標準差為 0.734mm/h，在降雨反演方面有不錯的精確度；另外，在黃(2000)的論文中，將 Chiu(1990)的反演式與其他學者發展的式子，對賀伯颱風及瑪姬颱風的雨量分布相比，發現只有 Chiu(1990)反演式的結果與 Rodger and Pierce(1995)的統計結果較相近。

(2) Ferraro(1997)之降雨反演式：

Ferraro(1997)降雨反演式使用 19GHz(V)、22GHz(V)和 85GHz(V)三個頻道反演降雨量，其式子如下：

陸地：

$$SI_L=\{451.9-0.44*Tb_{19V}-1.775*Tb_{22V}$$

$$+0.00575*Tb_{22V}^2\}-Tb_{85V}$$

$$RR=0.00513SI_L^{1.9468}$$

海洋：

$$SI_W=\{-174.4+0.72*Tb_{19V}+2.439*Tb_{22V}$$

$$-0.00504*Tb_{22V}^2\}-Tb_{85V}$$

$$RR=0.00188SI_W^{2.0343}$$

其中 SI(Scattering Index)為散射指數，下標 L 代表陸地、W 代表海洋，RR 表示降雨率(mm/hr)。陸地和海洋各有一組降雨反演式。此組反演式利用 85GHz(V)頻道接收降雨層內以及對流雲頂會造成降雨的冰粒向上散射的輻射量，得到亮度溫度值，並由 RR 和 SI 之間的關係式求出降雨量。過去的研究顯示，10K 為判斷是否有降雨比較好的閾值，SI 大於 10K 表示有降雨(Grody, 1991)。當取樣的範圍內涵蓋陸地(Land)或海岸(Coast)則使用陸地的 SI 和 RR。降雨估計值上限為 35mm/h，當降雨大於 35mm/h，則設為 35mm/h。會有這項限制是由於 85GHz 頻道的特性，即在 13 公里*15 公里的視場(field of view)中能容納的最大降雨量。在陸地和海洋可反演的最小值則分別為 0.45mm/h 和 0.20mm/h。值得一提的是，此反演式可以將海冰、雪、沙漠和半乾燥土壤造成的錯誤降水資訊移除。

三、颱風旋轉速度之計算方法

颱風為繞著颱風中心逆時針旋轉的大尺度天氣現象，從紅外線衛星雲圖的呈現為逆時針旋轉的雲體，從雷達回波圖上的呈現則為近颱風中心的颱風眼牆及颱風眼牆外部的螺旋雨帶(Senn 和 Hiser, 1959)，颱風眼牆相對於颱風

中心為近似滯留，螺旋雨帶則由颱風中心向外以順時鐘方向旋轉，其小尺度降雨回波則以近切線風方向移動，如圖1

所示，Gall等(1998)計算 Andraw(1992) 颶風的降雨帶向外移動速度約為 10m/s(如圖2)。因此颶風的螺旋雨帶並

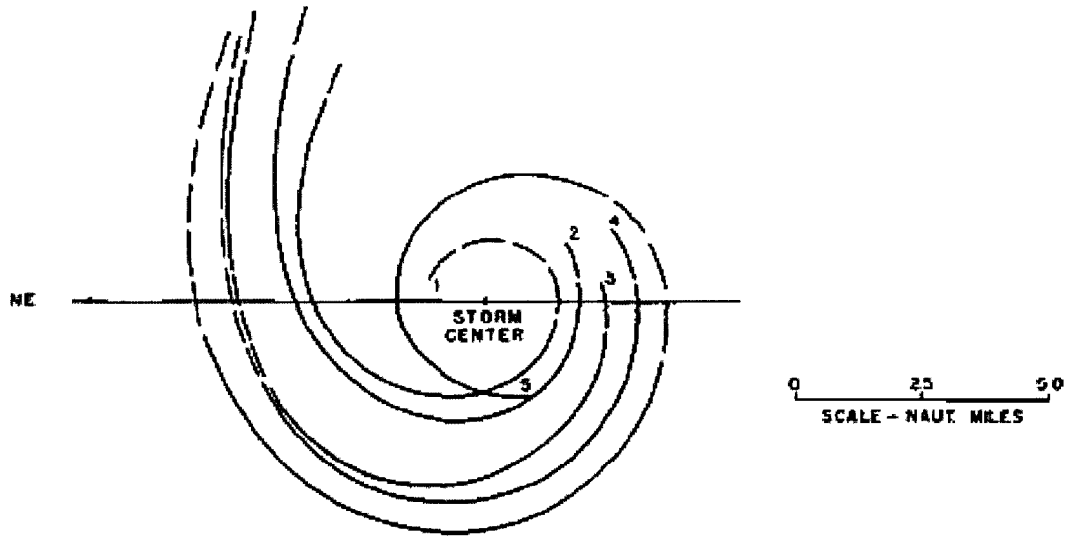


圖1: 1955年颶風 Connie 螺旋雨帶相對於颱風中心之示意圖(取自 Senn 和 Hiser, 1959)。

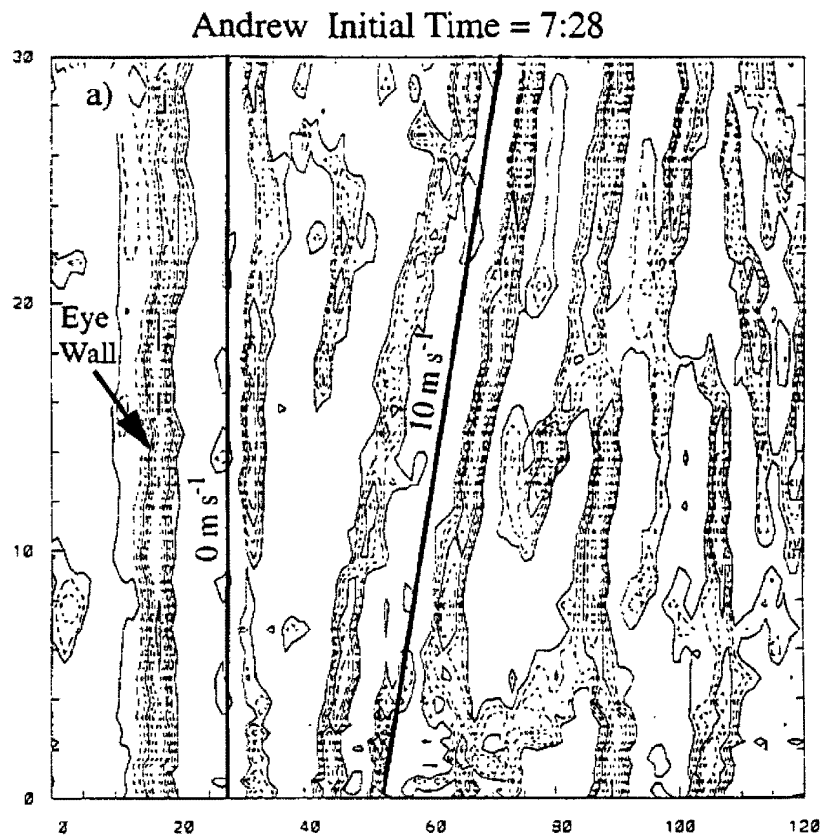


圖2: 1992年颶風 Andrew 雷達回波隨時間變化之橫切面時序圖(取自 Gall 等, 1998), 縱軸為時間(分), 橫軸為離颱風中心距離(公里)。

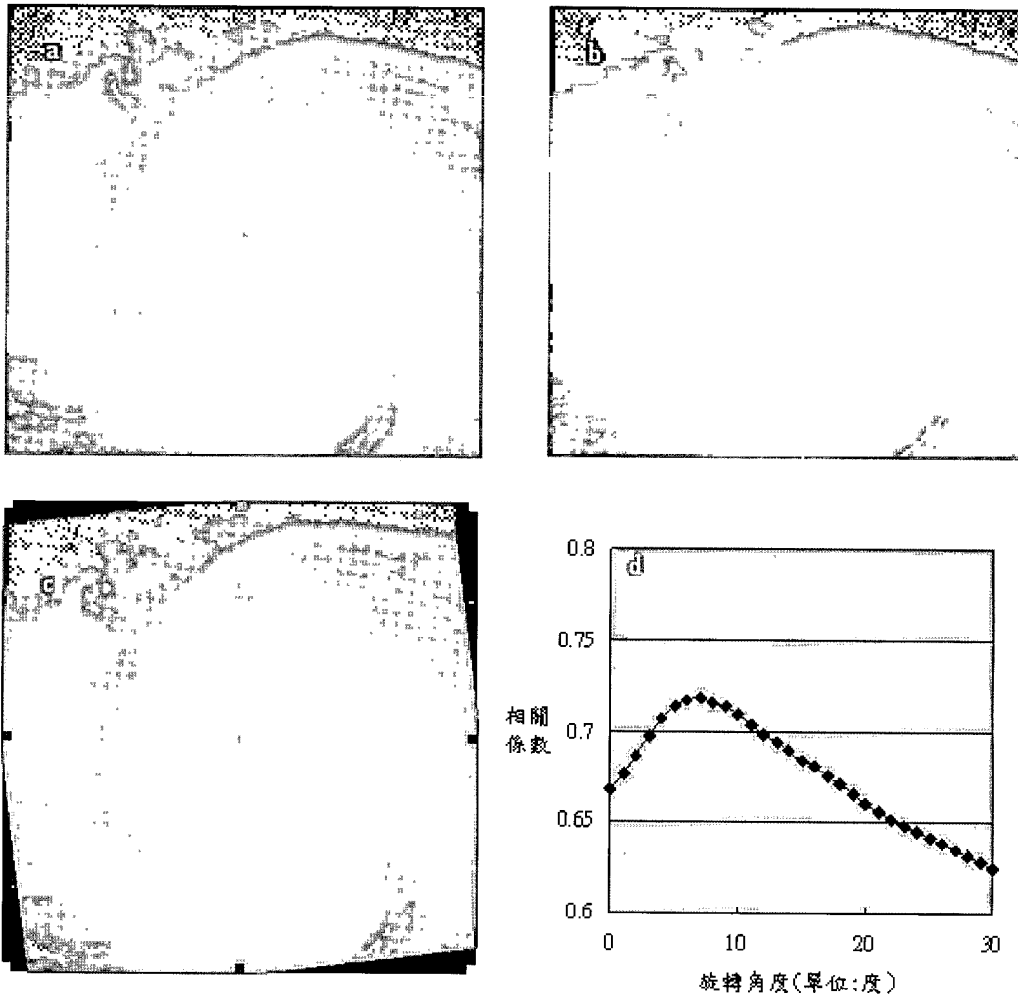


圖 3: a 為 2003 年 9 月 1 日 0001UTC 時, b 為 2003 年 9 月 1 日 0101UTC 時紅外線雲圖。
c 為旋轉 7 度後之雲圖, d 為每個旋轉角度之相關係數。

非近似滯留，會隨不同颱風及不同時期有不同之移動或旋轉速度，為了計算方便，本研究將假設颱風之螺旋雨帶旋轉速度不變及螺旋雨帶沿著颱風中心之同心圓方向移動。

由於 SSM/I 為繞極軌道衛星，故每次掃描時間皆不固定，同一地點兩個連續掃描，近則相鄰不到半小時，遠則三小時以上，對於決定颱風之旋轉速度較為困難。因此本研究利用同步衛星紅外線資料，用半小時或一小時之雲圖估算雲之旋轉速度，作為當時 SSM/I 之旋轉

速度。其方法為(1)將雲圖以颱風為中心，切割約 750 公里(150 像素)半徑之圓，(2)以每次一度的間隔計算與下一個時間的相關係數，(3)找出相關係數最大之旋轉速度視為此颱風之旋轉速度。此方法將颱風視為剛體旋轉，故每一個點的角速度接相同。以 2003 年杜鵑颱風為例，如圖 3 所示，其每個旋轉角度與下一張雲圖相關係數以 7 度為最大，即表示 7 度與下張雲圖最相像，因此當時之旋轉角度設定為 7 度/小時。

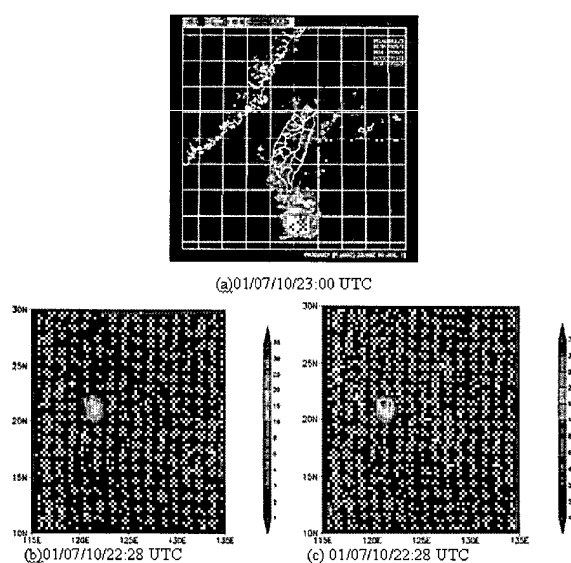


圖 4：潭美颱風的(a)雷達回波圖，(b) Chiu(1990)反演式反演之降雨分布圖，(c) Ferraro(1997)反演式反演之降雨分布圖。

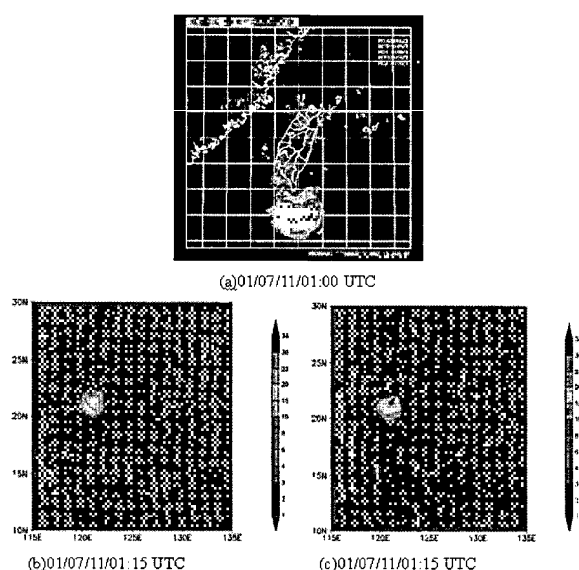


圖 5：同圖 4，但為 01/07/11/01:15 UTC。

四、結果分析與討論

本研究使用 2001 年的潭美颱風、桃芝颱風和納莉颱風來做討論。

(1)潭美颱風(2001 年)：

由圖 4 發現潭美颱風影響台灣附近海域期間，兩個反演式所估算出的降雨區域皆和雷達回波圖之降雨範圍相當一致，另外，從圖 4(a)可以看到在台灣東南方(即颱風降雨區域的北方)有兩個降雨極值，圖 4(c)也反演出這樣的降雨分布，但是圖 4(b)則沒有反演出降雨極值區。而 7 月 11 日 01:15 UTC 時反演出的降雨區也和雷達回波反演之降雨分布非常吻合(圖 5)，其中圖 5(a)和圖 5(c)在台灣南方(即降雨範圍之北方)反演出一類似 V 字型之降雨極值區，但是圖 5(b)則沒有明顯的降雨極值區域。

(2)桃芝颱風(2001 年)：

從圖 6 發現(a)圖和(c)圖之降雨區域比較一致，且在降雨中心也都可以清楚看到一螺旋雨帶極值；而(b)圖由於反

演式之限制，無法得到陸地之降雨分布，在海洋上之降雨範圍和(a)圖以及(c)圖類似，但在右下方(即台灣東南方海面上)反演的降雨範圍則比較大，而且沒有反演出螺旋雨帶降雨極值區。

(3)納莉颱風(2001 年)：

從圖 7 可以知道，(a)、(c)圖也都有顯示一致的降雨範圍，並且完整反演出螺旋雨帶與降雨極值的位置。而(b)圖反演的降雨範圍都比較大，且降雨極值區域不明顯。

(4)僅考慮颱風移動方向與移動速度之結果：

為了方便討論，在這個部分先假設在颱風六小時的行進過程中，颱風強度不會增強或減弱，降雨的範圍與強度也不會改變。首先，將估算出來的六小時累積降雨值和四個測站的六小時累積降雨資料進行比較。從圖 8(a)知道，共有 229 筆資料，相關性為 0.64，偏差量

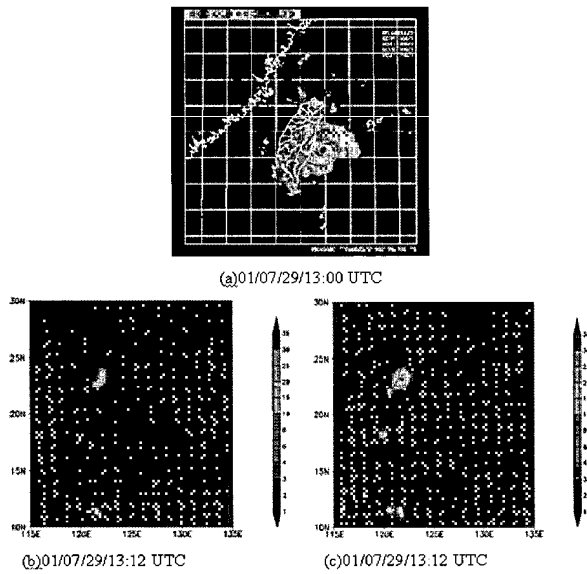


圖 6：桃芝颱風的(a)雷達回波圖，(b) Chiu(1990)反演式反演之降雨分布圖，(c)Ferraro(1997)反演式反演之降雨分布圖。

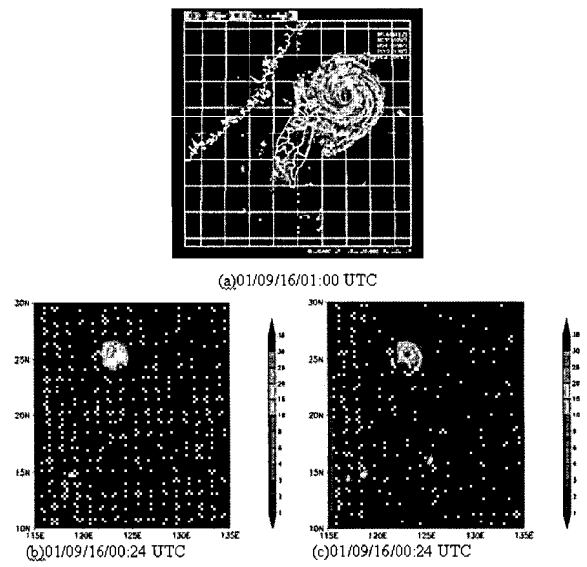


圖 7：納莉颱風的(a)雷達回波圖，(b) Chiu(1990)反演式反演之降雨分布圖，(c)Ferraro(1997)反演式反演之降雨分布圖。

為 3.80mm/6h，均方根誤差為 24.20mm/6h。接著分別和四個測站做比較(圖 8(b)~(e))。彭佳嶼的相關性有 0.79，偏差量為-12.97mm/6h，均方根誤差為 34.05mm/6h；東吉嶼的相關性高達 0.90，偏差量為 1.36mm/6h，均方根誤差為 14.34mm/6h；蘭嶼的相關性只有 0.51，偏差量為-1.26mm/6h，均方根誤差為 21.44mm/6h；綠島的相關性則為 0.56，偏差量為-4.25mm/6h，均方根誤差為 24.74mm/6h。只考慮颱風移動路徑這項因素時，各個測站的相關性都有 0.50 以上，但是均方根誤差則有比較大的現象，這可能是因為當颱風在移動時，受到自身旋轉效應的影響，也伴隨著雨帶旋轉的情況發生，但是在這一節並沒有考慮這項因素。

(5)加入雨帶旋轉之結果

在這個部分，除了讓颱風朝著 JTWC 公布的路徑前進，並且讓雨帶同時進行旋轉的動作。首先，求出各個颱

風個案每小時有固定的旋轉角度，並且進行分析。從圖 9(a)可知，衛星估計的降雨和本文使用的四個測站得到的降雨間的相關性為 0.44，偏差量為 1.08mm/6h，rmse 為 30.20mm/6h。如果分別和四個測站做比較(圖 9(b)~(e))，彭佳嶼的相關性為 0.57，偏差量為 -8.73mm/6h，均方根誤差為 38.43mm/6h；東吉嶼的相關性為 0.42，偏差量為 6.03mm/6h，均方根誤差為 30.04mm/6h；蘭嶼的相關性只有 0.25，偏差量為 2.80mm/6h，均方根誤差為 28.61mm/6h；綠島的相關性則為 0.52，偏差量為 1.88mm/6h，均方根誤差為 26.83mm/6h。相關性大幅降低，均方根誤差則有明顯的增加。檢視本研究所收集的颱風個案，發現不同颱風在這六小時內的旋轉角度有快有慢，甚至有可能出現雨帶靜止不動的情形。

五、結論與展望

本研究利用 SSM/I 衛星觀測資料對2000~2003年台灣及周圍海域的颱風進行即時降雨的估算，用來預測未來6小時內可能帶來的累積降雨量，並且和台灣的4個島嶼測站所觀測得到的雨量資料做比較與分析。得到的結果如下：

(1) 在降雨反演式的使用上，發現 Ferraro(1997)發展的降雨反演式比 Chiu(1990)的降雨反演式有更好的反演能力。在定性方面，反演出來有降雨的區域以及降雨極值區發生的位置都比較準確，而且不管在陸地和海面上都可以進行降雨估算；在定量方面，可以反演的降雨值範圍比較大(35mm/h)，當遇到颱風帶來豐沛的降雨量時，可以估算出較接近實際的降雨值。

(2) 雖然本研究使用 Ferraro 降雨反演式進行降雨估算，但是也發現其反演出有降雨的區域仍然有些許不合理的地方，如何改善這項缺點是未來可以研究的方向。

(3) 當只考慮颱風移動路徑對降雨分布以及降雨多寡的影響時，發現雖然整體上有不錯的相關性，但是遇到雨帶旋轉變化較大的颱風(如碧利斯颱風)時，則會出現很大的降雨量誤差值。

(4) 同時考慮颱風移動路徑以及雨帶旋轉變化時，和測站實測降雨間的相關性會提高，且降雨量的誤差值會減小，顯示在進行降雨估算時，除了要考虑颱風路徑外，雨帶旋轉的變化也必須納入考量之中。

(5) 雖然利用 SSM/I 估算降雨的

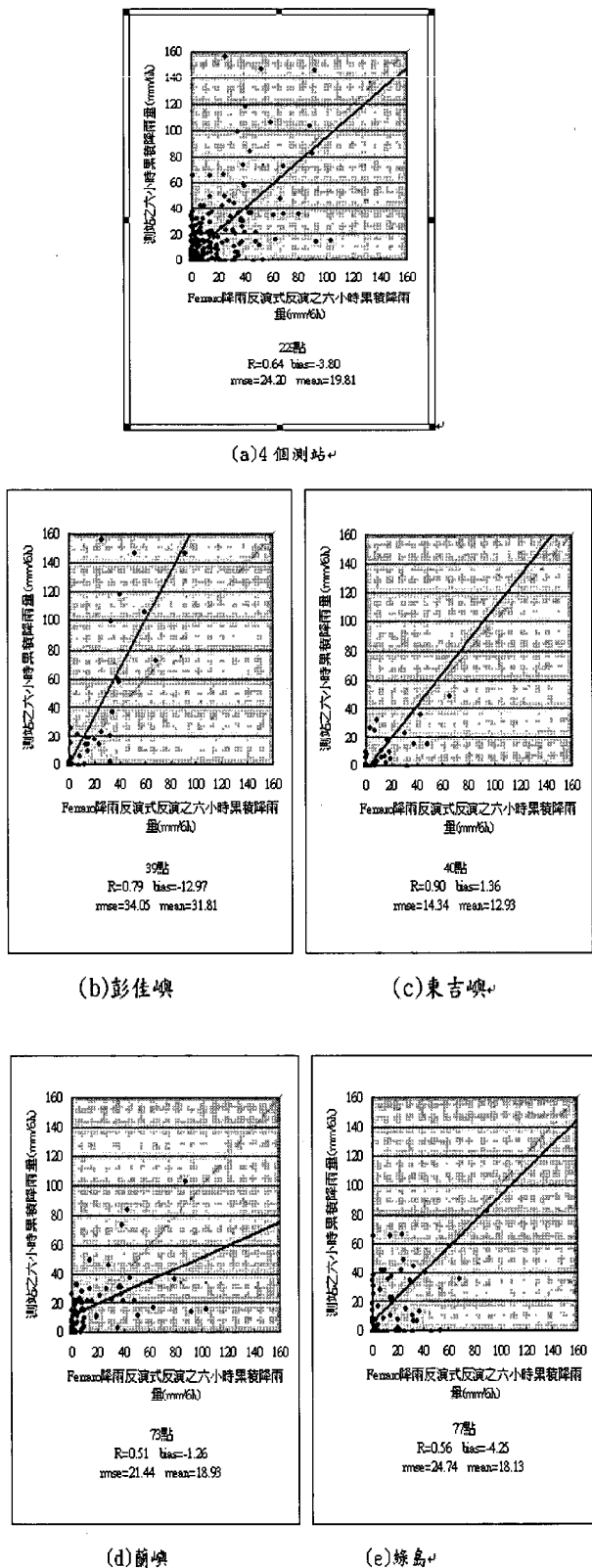
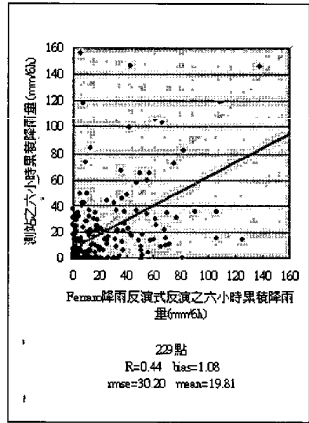
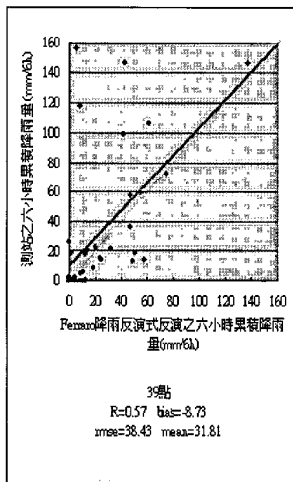


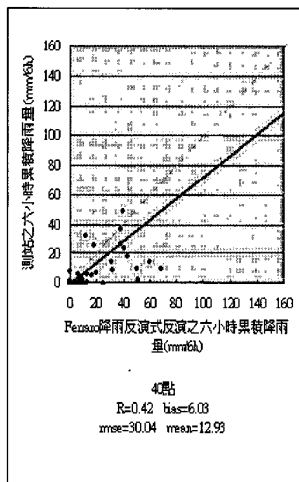
圖 8：只考慮沿 JTWC 颱風路徑移動所得到的降雨相關性，(a)為4個測站總合，(b)-(c)為各別測站。



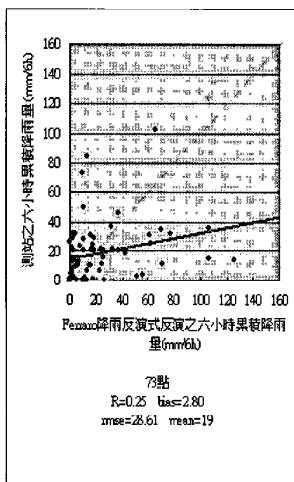
(a) 4 個測站



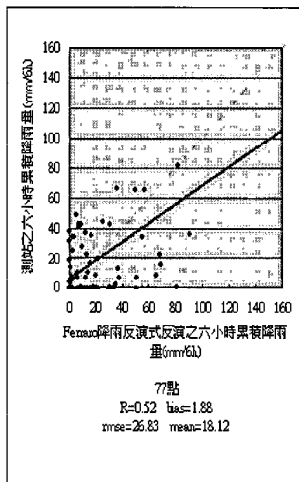
(b) 彭佳嶼



(c) 東吉嶼



(d) 蘭嶼



(e) 綠島

圖 9：考慮沿 JTWC 颱風路徑移動和雨帶旋轉所得到的降雨相關性，(a) 為 4 個測站總合，(b)~(e) 為各別測站。旋轉角度固定為 5 度。

結果不錯，但解析度較差，若未來有更好解析度的微波資料，相信能提供更有力的資訊於預測颱風定量降雨。

(6) 本研究只能使用島嶼測站資料進行降雨驗證，因此並不能很精確地瞭解颱風在海面上的降雨行為，如果能夠增加驗證資料，對於改善降雨估算的準確度會有很大的幫助。

本研究結果顯示應用 SSM/I 微波資料估算颱風定量降水確實能提供一些有用的資訊，對於災害預警有相當程度的幫助。但是本研究尚處於初步階段，還有許多影響颱風的因素需要考慮，如雨帶強弱變化、地形效應、周圍環境場等，都是之後可以繼續加入研究的重點。另外，隨著微波頻道解析度的提昇，未來利用微波頻道所提供的資料進行颱風定量降雨研究，是必然的趨勢。

參考文獻

曾忠一, 1988: 大氣衛星遙測學。渤海堂出版社, 630 頁。

蔡文元, 1996: SSM/I 資料於颱風強度估算和降雨強度特性分析上之應用。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 69 頁。

黃曉薇, 2000: 應用 SSM/I 衛星資料於西太平洋颱風特性之分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 95 頁。

Adler, R. F., A. J. Negri, and I. M. Hakkarinen, 1991a: Rain estimation from combining geosynchronous IR and low-orbit microwave data. *Paleoeco. Paleoclim. Paleoeco. (Global Planet. Change Sec.)*, **90**, 87-92.

Adler, R. F., A. J. Negri, P. R. Kechn, and I. M. Hakkarinen, 1993: Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl.*

- Meteor.*, **32**, 335-356.
- Adler R. F., C. Kidd, G. Petty, M. Morissey, and H. M. Goodman, 2001 : Intercomparison of global precipitation products : The third precipitation intercomparison project (PIP-3). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 1377-1396.
- 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.
- Barrett, E. C., 1970: The Estimation of Monthly Rainfall from Satellite Data. *Mon. Wea. Rev.*, **98**, 322-327.
- Barrett, E. C., 1994 : The first WetNet precipitation intercomparison project (PIP-1) : Interpretation of results. *Remote Sens. Rev.*, **11**, 303-373.
- Bosart, L. F., C. S. Velden, W. E. Bracken, J. Molinari, and P. G. Black, 2000 : Environmental influences on the rapid intensification of Hurricane Opal (1995) over the Gulf of Mexico. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 322-352.
- 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.
- Chiu, L. S., A. T. C. Chang, and J. Janowiak, 1993 : Comparison of monthly rain rates derived from GPI and SSM/I using probability distribution functions. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 323-334.
- Conner M. D., and G. W. Petty, 1998 : Validation and intercomparison of SSM/I rain-rate retrieval methods over the Continental United States. *J. Appl. Meteor.*, **37**, 679-700.
- Davis T., 1999: Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) user's interpretation guide. Raytheon Systems Company, 108 pp.
- 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., and G. F. Marks, 1995 : The development of SSM/I rain rate retrieval algorithms using ground based radar measurements. *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, **12**, 755-770.
- 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.
- Ferraro, R. R. P. Pellegrino, M. Turk, W. Chen, S. Qiu, R. Kuligowski, S. Kusselson, A. Irving, S. Kidder and J. Knaff. 2005: The Tropical Rainfall Potential (TRaP) Technique. Part II: Validation. *Weather and Forecasting*, **20**, 465-475.
- Gall R., J. Tuttle and P. Hildebrand, 1998: Small-Scale Spiral Bands Observed in Hurricanes Andrew, Hugo, and Erin. *Monthly Weather Review*, **126**, 1749-1766.
- Grody, N. C., 1991 : Classification of snow cover and precipitation using the Special Sensor Microwave Imager. *J. Geophys. Res.*, **96**, 7423-7435.
- Hanley, D. E., 2002 : The evolution of a hurricane-trough interaction from a satellite perspective. *Wea. Forecasting*, **17**, 916-926.
- 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.
- Hong, Y., T. T. Wilheit, and W. R. Russell, 1997 : Estimation of monthly rainfall over oceanic from Truncated rain-rate samples : application to SSM/I data. *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, **14**, 1012-1022.
- 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.
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P.

- Xie, 2004 : CMORPH : a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrom.*, **5**, 487-503.
- Kedem, B., L. S. Chiu, and G. R. North, 1990 : Estimation of mean rain rate : application to satellite observations. *J. Geophys. Res.*, **95**, 1965-1972.
- Kidder, S. Q., S. J. Kusselson, J. A. Knaff, R. R. Ferraro, R. J. Kuligowski and M. Turk. 2005: The Tropical Rainfall Potential (TRaP) Technique. Part I: Description and Examples. *Weather and Forecasting*, **20**, 456-464.
- Kim, M. J., J. A. Weinman, and R. A. Houze, 2004 : Validation of maritime rainfall retrievals from TRMM microwave radiometer. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 847-859.
- Kummerow, C., Y. Hong, W. S. Olson, S. Yang, R. F. Adler, J. McCollum, R. Ferraro, G. Petty, D. B. Shin, and T. T. Wilheit, 2001 : The evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1801-1820.
- Lovejoy, S., and G. L. Austin, 1980: The estimation of rain from satellite-borne microwave radiometer. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **106**, 255-276.
- Levizzani, V., R. Amorati, and F. Meneguzzo, 2002 : A review of Satellite-based rainfall estimation methods. *European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058)*, 66 pp.
- Liou, K. N., 2002 : An introduction to atmospheric radiation (second edition). USA, 583pp.
- Marks, F. D., and R. A. Houze, 1987 : Inner core structure of Hurricane Alicia from airborne doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1296-1317.
- Pasch, R. J., L. A. Avila, and J. G. Jiing, 1998 : Atlantic tropical systems of 1994 and 1995 : a comparison of a quiet season to a near-record breaking one. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1106-1123.
- Petty, G. W., 1995 : The status of satellite-based rainfall estimation over land. *Remote Sens. Environ.*, **51**, 125-137.
- Rao, G. V., and P. D. MacArthur, 1994 : The SSM/I estimated rainfall amounts of tropical cyclones and their potential in predicting the cyclone intensity changes. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 1568-1574.
- Rappaport, E. N., L. A. Avila, M. B. Lawrence, M. Mayfield, and R. J. Pasch, 1998 : Eastern North Pacific hurricane season of 1995. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1152-1162.
- Rodgers, E. B. and H. F. Pierce, 1994a : A satellite observational and numerical study of precipitation characteristics in western North Atlantic tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 129-139.
- Rodgers, E. B., J. J. Baik and H. F. Pierce, 1994b : The environmental influence on tropical cyclone precipitation. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 573-593.
- Rodgers, E. B. and H. F. Pierce, 1995 : A satellite observational study of precipitation characteristics in Western North Pacific tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 2587-2599.
- Rodgers, E. B., W. S. Olson, V. M. Karyampudi, and H. F. Pierce, 1998 : Satellite-derived latent heating distribution and environmental influences in Hurricane Opal (1995) . *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1229-1247.
- Rodgers, E. B. and R. F. Adler, and H. F. Pierce, 2000 : Contribution of tropical cyclones to the North Pacific climatological rainfall as observed from satellites. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 1658-1678.
- Rodgers, E. B. and R. F. Adler, and H. F. Pierce, 2001 : Contribution of tropical cyclones to the North Atlantic climatological rainfall as observed from satellites. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1785-1800.
- Senn H. V. and H. W. Hiser, 1959: On the origin of hurricane spiral rain bands. *J. Meteor.*, **16**, 419-426.
- Sharma, A. K., A. T. C. Chang, T. T. Wilheit, 1991 : Estimation of the diurnal cycle of oceanic precipitation from SSM/I data. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2168-2175.
- Smith, E. A., and A. Mugnai, 1988 : Radiative transfer to space through a precipitating cloud at multiple microwave frequencies.

- Part II : results and analysis. *J Appl. Meteor.*, **27**, 1074-1091.
- Smith, E. A., J. E. Lamm, R. Adler, J. Alishouse, K. Aonashi, E. Barrett, P. Bauer, W. Berg, A. Chang, R. Ferraro, J. Ferriday, S. Goodman, N. Grody, C. Kidd, D. Kniveton, C. Kummerow, G. Liu, F. Marzano, A. Mugnai, W. Olson, G. Petty, A. Shibata, R. Spencer, F. Wentz, T. Wilheit, and E. Zipser, 1998 : Results of WetNet PIP-2 project. *J. Atmos. Sci.*, **55**, 1483-1536.
- Spencer, R. W., W. S. Olson, R. Wu, D. W. Martin, J. A. Weinman, and D. A. Santek, 1983: Heavy thunderstorms observed by the Nimbus-7 multi-channel microwave radiometer. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1041-1046.
- Tibbetts R. T., and T. N. Krishnamurti, 2000 : An intercomparison of hurricane forecasts using SSM/I and TRMM rain rate algorithm(s) . *Meteorol. Atmos. Phys.*, **74**, 37-49.
- Wilheit, T. T., A. T. C. Chang, M. S. V. Rao, E. B. Rodgers, and J. S. Theon, 1977 ; A satellite technique for quantitatively mapping rainfall rates over the oceans. *J. Appl. Meteor.*, **16**, 551-560.
- Wilheit, T. T., and A. T. C. Chang, 1980 : An algorithm for retrieval of ocean surface and atmospheric parameters from the observations of the scanning multichannel microwave radiometer. *Radio. Sci.*, **15**, 525-544.
- 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.
- Wilheit, T. T., 1994 : Algorithm for the retrieval of rainfall from passive microwave measurements. *Remote Sens. Rev.*, **11**, 163-194.

Using SSM/I satellite data to predict short term typhoon rainfall potential

Gin-Rong Liu¹, Chun-Chieh Chao², Czu-Yi Ho³ and Chung-Chih Liu⁴

¹*Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University*

²*ROC Air Force, Weather Wing, Weather Central*

³*Institute of Atmospheric Physics, National Central University,*

⁴*Minshin University of Science and Technology*

Abstract

Heavy rainfalls brought by landing typhoons have cost human lives loss and financial damages in Taiwan every year. This is especially the case for slow-moving typhoons which could bring severe disasters such as floods and debris flows. Therefore, one of the most important topics in disaster prevention in Taiwan would be the prediction of precipitation.

The study utilizes SSM/I weather satellite data to retrieve rain rate, and predict typhoon potential by accumulating the typhoon rainfall moving data according to typhoon best track records among year 2000-2004. It is also considered the fact that typhoon is always rotating. Hourly geostationary satellite infrared images are used to calculate the typhoon rotational speed. By applying the rotational speed to the accumulation precipitation procedural, it would be more close to the scenarios of typhoon rotation. Small islands ground truth data are used to verify the predicted rainfall potential in the study, it is found that the utilization of rotational speed will improve the accuracy of typhoon rainfall potential.

Key Words: Typhoon, Rainfall Potential