

應用 SSM/I 微波資料分析桃芝颱風之降雨及海氣參數的變化

項義華¹ 劉振榮^{1,2}

空軍氣象中心¹

國立中央大學太空及遙測研究中心²

(2003 年 3 月 20 日收稿；2003 年 5 月 6 日完稿)

摘要

由於颱風是誕生於熱帶海洋上的劇烈天氣，所以必須仰賴衛星來監測海洋上的熱帶氣旋。因此本研究利用 SSM/I 微波資料來分析颱風的降雨強度及其生成發展的海氣參數變化。

研究結果顯示：(1) 颱風降雨所釋出潛熱釋放量(LHR)的改變會影響隨後的中心最大風速發生變化。(2) 以桃芝颱風(6 個時間點)降雨的四個象限分析統計結果得知，有 5 個是屬於轉向正確的，而 1 個為不明確，即有 8 成以上的正確率可得知颱風下一個時間要向右(左)偏轉，其左(右)半圓的降雨量會多於右(左)半圓。(3) 由 GMS-5 IR1 頻道所得到的中心附近平均最低亮度溫度(T_{bmin})值與 SSM/I 所反演的各個海氣參數(如潛熱通量、可感熱通量...等)的時序變化之間有不錯的相關性，且兩者約略可看出颱風強度增強與減弱的變化。

一、前言

颱風生成發展都在廣大的洋面上，由於海面上傳統觀測(如船舶、浮標、島嶼測站...等)的資料非常稀少，再加上現在已沒有飛機實際觀測的資料，所以當我們想要對颱風結構、強度及走向有進一步地了解時，就必須仰賴衛星遙測技術來監測颱風的發展。

在颱風降雨強度方面，Alliss et al (1992) 運用 SSM/I (Special Sensor Microwave / Images) 來反演降雨量大小，表示颱風的降雨大小可代表颱風強度的變化。Rodgers et al.(1995)研究發現當對流環向中心移進內核區(~111 公里)，且降雨量增加時，則熱帶氣旋會隨之增強。而在潛熱釋放量(Latent Heat Release; LHR)方面，颱風內部的總潛熱釋放量(TLHR)也可

代表颱風強度的變化，Alliss et al (1992) 研究指出在颱風近中心 111 公里範圍內的潛熱釋放量 and 颱風強度變化是有相關的，也就是當颱風強度變強時，則降雨量就愈多；降雨量愈多，則代表潛熱釋放量就會愈大。Rodgers et al.(1995)中研究最低中心氣壓和 SSM/I 所反演的內核區平均潛熱釋放量(~111 公里)之關係，發現在颶風強度改變之前，其潛熱釋放量會先改變。此外，Alliss et al.(1992)也將降雨量(~75 公里)分為四個象限，發現颶風在行進過程中，前半圓的降雨量會多於後半圓。

而在很多的研究結果也顯示，海氣交互作用發生變化時，會造成空氣不穩定，發生對流。劉(1998)碩士論文中，也利用 SSM/I 資料估算海面的潛熱通量(Latent Heat Flux; LHF)，發現潛熱通量的增加，會引發對流系統生成，進而造成豪雨的產

生。而劉和劉(2000)利用 EC/TOGA 與 SSM/I 所反演各個海氣參數的資料來分析台灣及南海地區梅雨期間，發現海氣之間的交互作用與 MCS 的發展是有關係的，即海面與空氣之間能量的正向傳遞，有利 MCS 的發展。在而在 Stramma et al.(1986) 研究中發現若颶風的移動速度很慢，再加上又有往回走的現象，不斷地打轉，會使得沿著路徑上的湧升流會不斷與海水表面混合，造成較明顯海水表面冷卻(cooling) 的現象。

所以在本研究中，主要是利用 DMSP 衛星上 SSM/I 資料來分析颱風降雨所釋出潛熱釋放量的變化、雨帶分布是否與颱風轉向有關及其海氣間能量通量之變化。希望利用 SSM/I 資料能較完整的描述颱風強度發展。

二、衛星儀器簡介

在本研究中，主要是以 SSM/I 微波資料來分析颱風的降雨強度及其海氣間之交互作用，同時也配合 GMS-5 衛星的 IR1 頻道資料，作為輔助資料。因此我們對 GMS-5 衛星和 SSM/I 儀器分別作介紹，如下：

GMS-5 衛星是屬於地球同步衛星，位於東經 140 度赤道上空約 36000 公里處，每日提供逐時(另有四次每半小時的觀測)共有二十八次的觀測。此地球同步衛星的優點就是所能觀測的範圍較廣且時間和空間解析度較佳，能對颱風或劇烈天氣作密集性的觀測。GMS-5 衛星共擁有可見光頻道(VIS)、水氣頻道(WV, 6.5~7.0 μm)、紅外線第一頻道(IR1, 10.5~11.5 μm)及紅外線第二頻道(IR2, 11.5~12.5 μm)等四個頻道，其中可見光頻道的空間解析度為 1.25 公里，而其它頻道解析度則為 5 公里。

SSM / I (Special Sensor Microwave

/Imager)是第一個作業用被動式(Passive)的微波輻射計，為裝載於 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)衛星上的被動式微波輻射計。DMSP 衛星為太陽同步衛星，其軌道為近圓形且近南北極的軌道，以傾角 98.8 度運行，高度約為 833 公里，SSM/I 以 45 度角的圓錐形來掃描地球，其掃描寬度為 1400 公里，其繞行地球週期約為 102 分鐘，一天可繞地球約 14.1 圈，每天通過某一點附近上空兩次。SSM/I 被動式微波輻射計包含四種頻率，共七個頻道，分別為 19.35GHz, 37.0GHz, 85.5GHz 的垂直極化與水平極化頻道，及 22.235GHz 的垂直極化頻道(為行文方便，將分別以 19、22、37 及 85GHz 來表示上述頻道的頻率值，並以 V 表示垂直極化，以 H 表示水平極化)。不同頻道有不同的空間解析度，85GHz 有 12.5Km 的地面解析度，其他頻道的地面解析度是 25Km，是目前氣象衛星上解析度較佳的微波感測器。

三、資料來源與研究方法

本研究所使用的衛星資料來自包括國立中央大學太空及遙測研究中心氣象衛星實驗室所接收之 GMS-5 衛星全球(full-disk)的磁帶資料以及美國國家海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA)網站上所提供 SSM/I 微波輻射計觀測資料(<http://www.saa.noaa.gov>)。

在本研究中，所使用的降雨反演式是采用 Chiu(1990)降雨反演式，其式子如下：

$$R = 5.261 \log \left[\frac{102}{(274 - T_{b19GHz(H)})} \right], \quad T_{b19GHz(H)} < 274K$$

其中 R 為反演的降雨量 (mm/h)， $T_{b19GHz(H)}$ 為 19GHz 的亮度溫度。即是以

19GHz(H)單一頻率來反演颱風降雨量，而19GHz 頻率的亮度溫度值對於水汽和液態水均有不錯的正相關靈敏度，因此可應用於反演降水量。

分析颱風降雨的方法是：(1)以颱風中心為圓心，求取距中心111公里範圍內整個圓面積潛熱釋放量的平均值，來看其時序變化。並與JTWC所公佈颱風中心最大風速作比較，分析颱風強度變化與它們之間的關係。(2)將整個圓面積分為四個象限，以颱風行進方向為0度，依順時針方向取四個方位角，分別為0~90度、90~180度、180~270度、270~360度，來分析四個象限其降雨量的多寡，是否是影響颱風轉向的原因。

在海面溫度 T_s 和近海面空氣溼度 q_a 的反演方法方面，則是採用劉和劉(2000)方法，建立海面溫度及近海面空氣溼度的最佳迴歸方程式，如附表一。而近海面空氣溫度 T_a 的計算方式，則是先由反演出來的海面溫度(T_s)和近海面空氣溼度(Q_a)，代入利用 Bowen 比值所得出近海面空氣溫度的反演方程式，即可求出近海面空氣溫度(T_a)：

$$T_a = T_s - \left\{ 0.2 \times (q_s - q_a) \frac{q_s(T)}{q_a} \left[\frac{1/\partial q_s}{\partial T} \right]_{T=T_s} \right\}$$

其中， $q^*(T)$ 代表溫度為T時的飽和比濕， q_s 則代表海面溫度 T_s 時之飽和溼度。而在近海面風速線性迴歸反演方程式則詳表一。

關於潛熱通量(latent heat flux; LHF)和可感熱通量(sensible heat flux; SHF)的估算，劉和劉(2000)則使用總體參數法求得，則可寫為

$$SHF = -\rho c_p c_h (T_s - T_a) u$$

$$LHF = -l \rho c_e (q_s - q_a) u$$

其中， C_h 和 C_e 表示總體係數，下標 s 表示為海平面的量場值，下標 a 表示近海面10公尺參考層之量場值， u 則為近海面10公尺參考層之風速， T 表示溫度， q 為溼度， ρ 表示空氣的密度， l 表示蒸發潛熱， C_p 為定壓比熱。

在此主要分析也是以颱風中心為圓心，距中心500公里範圍內海氣間潛熱與可感熱通量圓面積的平均值，來看其時間序列變化。

四、研究結果

圖1代表潛熱釋放量和中心最大風速的時序變化之比較圖。在桃芝颱風的個案中，雖然此期間SSM/I微波資料的空間及時間解析度不佳，但還是可以從反演出的降雨量和潛熱釋放量的變化約略看出桃芝颱風強度的變化趨勢；也就是說當桃芝颱風潛熱釋放量增加(減少)，接著才會造成桃芝颱風中心最大風速增加(減少)。而兩者強度變化與中心最大風速值之間有時間延遲現象發生，至於延遲多少時間並不明顯，可能是因為桃芝颱風在行進過程中，有受到陸地(即菲律賓群島)的影響，使得反演出的降雨量和潛熱釋放量也會受到些微影響，再加上時間解析度不理想所導致的原因。

在我們分析桃芝颱風的個案中，在27日22:06UTC(圖2)的時間中，發現當SSM/I所反演的降雨量分布為左半圓多於右半圓時，且在經過3至6小時以後，此時路徑剛好也都有慢慢向右邊偏轉的情形發生，因此我們推測若當左半圓的降雨量多於右半圓時，颱風會有向右偏轉的情形發生，反之，則會向左偏。

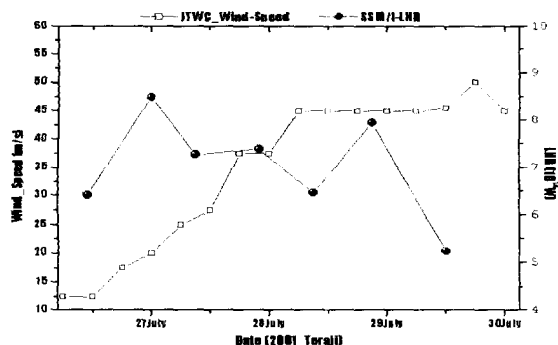


圖 1 桃芝(Toraji)颱風距颱風中心 111 公里範圍內的潛熱釋放量的時序變化，並與 JTWC 所公佈的最大風速值作比較，其中方框代表 JTWC 的中心最大風速，實心圓代表 SSM/I 估算出的潛熱釋放量。

研究結果顯示出從颱風行進方向的左右半圓的降雨量分布大小，有 8 成以上的正確率可以得知接下來的 3 及 6 小時後，颱風會向右轉還是向左偏轉，詳表二。因此，當左半圓(右半圓)的降雨量較多，大部分在下一個時間則會有向左(向右)偏轉的現象發生。

表 2 桃芝颱風左右半圓降雨量分布與颱風下一個時間轉向結果之統計表。

	6 個時間點	百分比
正確	5	83%
不明	1	17%
錯誤	0	0%

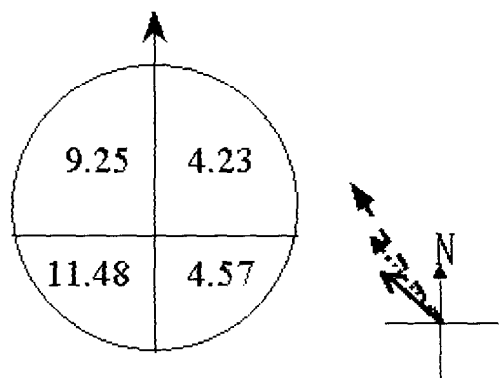


圖 2 桃芝(Toraji)颱風四個象限雨量分布圖。時間為 2001 年 7 月 27 日 22:06 UTC。實線箭頭代表此時颱風行進方向，點線箭頭代表三小時後的方向，虛線箭頭代表六小時後方向。

在颱風海氣參數方面，主要先討論 GMS-5 IR1 所求得近中心附近平均最低亮度溫度(T_{bmin})值與 JTWC 所公佈的中心最大風速(即颱風強度)兩者之間的關係(圖 3a)，再將海氣間潛熱(圖 3b)和可感熱(圖 3c)通量的變化與近中心附近的 T_{bmin} 值兩者的關係作討論。因此，桃芝颱風整個生命期的 T_{bmin} 值和 JTWC 所公佈的最大風速值之間有不錯的對應，即桃芝颱風在達到輕度颱風之前，其 T_{bmin} 值約略有持續下降的趨勢；接著達到中度颱風前， T_{bmin} 值則保持在 187~190K 之間；而當 T_{bmin} 值則會達到最低時，風速隨後也達到最強。而 T_{bmin} 值和海氣參數變化之間也有不錯的結果，即 T_{bmin} 值減少，代表對流雲帶發展較高，則海氣間潛熱(Latent Heat Flux; LHF)和可感熱(Sensible Heat Flux; SHF)通量的交互作用較劇烈；反之，則較弱。而海氣間能量通量的交互作用不但與海氣間溫溼度差異大小有關，也和近海面風速值的大小有關。

當颱風有依照降雨量分布的大小而轉向者，為”正確”；若不符合，則為”錯誤”；而若當颱風在 3 小時或 6 小時後，很難判斷是向左或向右轉或沒有明顯轉向時，則列為”不明”。在桃芝颱風的 6 個時間點中，其中 5 個是正確，1 個不明確，0 個錯誤；也就是說有 83% 的正確率，也就是由

五、結論與展望

在本研究中主要是利用 SSM/I 微波資料針對桃芝颱風個案，反演其降雨量、潛熱釋放量以及海氣間能量交互作用的變化。

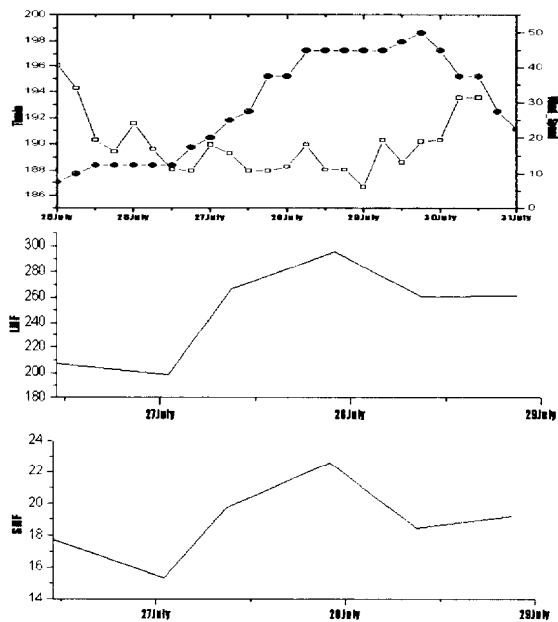


圖 3 桃芝(2001)颱風距中心 500 公里範圍內的時序變化。

(a) JTWC 的中心最大風速(實心圓)和 T_{bmin} 值(方框)之時間序列,單位分別為 m/s 和 K 。

(b) 海氣間潛熱通量(LHF),單位: w/m^2 。

(c) 海氣間可感熱通量(SHF),單位: w/m^2 。

在降雨方面的研究結果可以發現,潛熱釋放量的改變會間接影響整個颱風強度跟著改變;即潛熱釋放量會先開始增加(減少),接著才會造成最大風速值跟著增強(減弱)。

而由四個象限(~111 公里)雨量分布情形的研究結果發現,桃芝颱風(6 個分析時間點)中有 5 個是屬於轉向正確的,1 個則為不明確,即表示有 83% 的正確率,17% 為不明確的情況;也就是我們有 8 成以上的正確率可以得知接下來的 3 或 6 小時後,颱風會向右還是向左偏轉。所以,颱

風下一個時間的轉向跟左右半圓降雨量的多寡可能是有關係的,推測可能是因為颱風發生偏轉時,左右兩半圓的對流雲系會發展不對稱的情形。

在利用 GMS-5 IR1 頻道所求出的中心附近平均亮度溫度最低值(T_{bmin})的研究發現,颱風強度的變化和 T_{bmin} 值之間有不錯的相關性。而在 T_{bmin} 值和海氣參數變化之間的研究結果也發現,兩者也有很高的一致性,即 T_{bmin} 值的減少,則代表對流雲帶發展較高,也可表示為海氣間潛熱和可感熱通量之能量通量的交互作用更劇烈。而海氣間能量通量的交互作用不但與海氣間溫溼度差異大小有關,也和近海面風速值的大小有關。

因此,在未來研究方面,希望能再多挑選幾個個案來針對颱風四個象限的降雨分布來驗證我們初步分析的結果,是否還是符合 8 成以上的正確率?再者,颱風走向的改變除了和我們上述所研究的降雨量分布大小相關外,其實它也會和駛流場造成颱風移動速度快慢、副熱帶高壓的西進及東退...等多種因素有關,因此還需要更多的個案來驗證這個結果是否可行。

附表 1 SSM/I 微波頻道海面溫度(T_s)、近海面空氣溼度(q_a)及近海面風速(W_s)反演
迴歸方程式之係數。(劉和劉, 2000)

反演方程式	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
$T_s = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(19H) + a_3 T_b(37V) + a_4 T_b(37H) + a_5 T_b(85V) + a_6 T_b(85H)$	118.186	3.458	-1.799	-2.417	1.119	0.414	-0.136
$T_s = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(37V) + a_3 T_b(37H) + a_4 T_b(85V) + a_5 T_b(85H)$	-101.398	0.547	-0.677	0.078	0.765	-0.254	
$W_s = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(22V) + a_3 T_b(37V) + a_4 T_b(37H)$	96.015	0.162	-0.228	-0.701	0.527		

surface cooling by hurricane. *J. Geophys. Res.*, **91**, 5031-5035.

參考文獻：

- 劉崇治與劉振榮, 2000: 應用衛星資料在梅雨季海上中尺度對流系統生成前兆之初步探討。 *大氣科學*, 第二十八期, 第四號, 317-341 頁。
- 劉崇治, 2001: 衛星資料反演海氣參數及其在梅雨期海上中尺度對流系統生成發展之應用。國立中央大學大氣物理研究所博士論文, 162 頁。
- 劉大維, 1998: 應用 GMS5 與 SSM/I 資料反演海溫及其在梅雨期豪雨個案之初步分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 81 頁。
- Alliss, R. J., S. Raman, and S. W. Chan ge, 1992: Special Sensor Microwave /Imager (SSM/I) observation of hurricane Hugo (1989). *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 2723-2737.
- Chiu, L. S., 1990: Rain estimation from satellite: Effect of finite field of view. *J. Geophys. Res.*, **120**, 2723-2737.
- Rodgers, and H. F. Pierce, 1995: A satellite observational study of precipitation characteristics in Western North Pacific tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 2587-2599.
- Stramma, L., P. Cornillon, and J. F. Price, 1986: Satellite observations of sea

Applying SSM/I satellite data in analyzing the variations of the rainfall and air-sea parameters of Typhoon Toraji

Yi-Hua Shiang¹ Gin-Rong Liu^{1,2}

Institute of Atmospheric Physics, National Central University, Chungli Taiwan¹

Center for Space and Remote Sensing Research, Chungli, Taiwan²

Abstract

Due to the fact that typhoons are severe weather systems that form over tropical oceans, satellites are heavily relied on in monitoring these cyclones on a regular basis. Thus, this study employs microwave data from the SSM/I instrument in studying the precipitation intensity and cyclogenesis of Typhoon Toraji.

Analytical studies indicate three important results: (1) The latent heat release (LHR) from the typhoon's rainfall can strongly influence the internal maximum wind speeds. (2) According to the statistical analysis of Typhoon Toraji's rainfall distribution (~111 km) in six separate time periods, which was subsequently divided into four quadrants, a total of five accurate course changes was recorded with only one inconsistency. This indicates that the accuracy in determining whether the typhoon would turn right (left) in the next time period, where the amount of rainfall of the left (right) semicircle would exceed the right (left) semicircle was above 80%. (3) From the average brightness temperature values obtained from the GMS-5 IR1 channel near the vicinity of the typhoon's center, a nice correlation existed with the various sea-air parameters (latent heat flux, sensible heat flux...etc) derived from the SSM/I data. Through the two sets of data, the changes in the intensification and weakening of the typhoon. could roughly be observed.