

TRMM 降雨雷達資料在颱風強度及結構之分析

鳳錦暉¹ 陳萬金¹ 李慶忠² 蔡明達¹

¹國防大學中正理工學院應用物理系

²國防大學中正理工學院基礎課程系

摘要

颱風為我國目前最嚴重天氣災害之一，其所夾帶大量的雨水及風力不僅對民生造成嚴重困擾，更在經濟、農業上的造成無法估計的損失。本文主要是利用 TRMM 實驗衛星上的降雨雷達 (Precipitation Radar) 資料對颱風的強度及結構做一定量的分析，希望對颱風的內部及垂直結構能有進一步的瞭解。在 TRMM 衛星上的 PR 儀器是第一個裝載於衛星上的雷達，其具有 (1) 可在陸地或海上進行降雨的估算不受背景的影響 (2) 雷達測量可提供垂直剖面的資料 (3) 雷達資料可用來修補微波資料不足的地方及其精度等優點，所以能提供 3D 的垂直結構及分布，有助於對颱風更進一步的瞭解。

一、前言

在熱帶海洋上最令人印象最深刻的就是颱風了，相信每個人都經歷過颱風，其夾帶狂風及豪雨所造成的損失更是無法估計，然而我們卻對颱風的了解很有限。尤其是在海洋上特別缺乏觀測的資料，導致我們對颱風的降水結構上一直無法更深入的探討。自 1960 年 TIROS1 第一顆氣象衛星發射之後，我們對海洋上的觀測才向前邁進一大步。隨著科技的進步，對於資料之獲得也趨於多元化。目前對颱風觀測的文獻中大多是利用衛星微波頻道對颱風內部的組成做分析以利反演降水量。然雷達對於颱風內部結構較才能有進一步的分析，但僅限於颱風接近陸地時才能獲得觀測資料。因此，才會有將雷達搬到太空上的構想。在 1970 年代中期開始有太空雷達的設計及規劃；在 1980 年代執行了一系列有關太空雷達的計畫，並提出了詳細的報告；到 1990 年代中期透過了 Shuttle-Imaging Radar C (SIR-C)、X-SAR 及 TOPEX 測高雷達進行有關降雨觀測，也因此確定了以太空雷達進行降觀測的可行性。TRMM 衛星自 1997 年十一月升空後，開始獲得大量的熱帶海洋資料。本研究就是利用 TRMM 衛星上所搭載的 PR (Precipitation Radar) 儀器所傳回的資料，對颱風做一分析，期望能對熱帶海洋上的颱風有所認識。

二、PR 介紹及資料來源

TRMM 衛星上搭載了 Precipitation Radar 簡稱 PR 的儀器。PR 是第一個利用太空載具由太空進行降雨量測的雷達。PR 是由 128 個單元的主動式相

位陣列雷達所組成，頻率為 13.8GHz，刈幅 (swath) 為 215 km，在最低點 (nadir) 的解析度為 4.3 km。並且提供了以下的優點：

- 1、可獲得降水的 3D 結構分布，尤其是垂直剖面的分布，每 250 公尺就有一筆資料。
- 2、對於定量降水量測方面，在陸上有著與海上相同的效果，不受背景的影響。
- 3、藉由主動的 PR 與被動 TMI 相結合，使降水的反演更為精確。

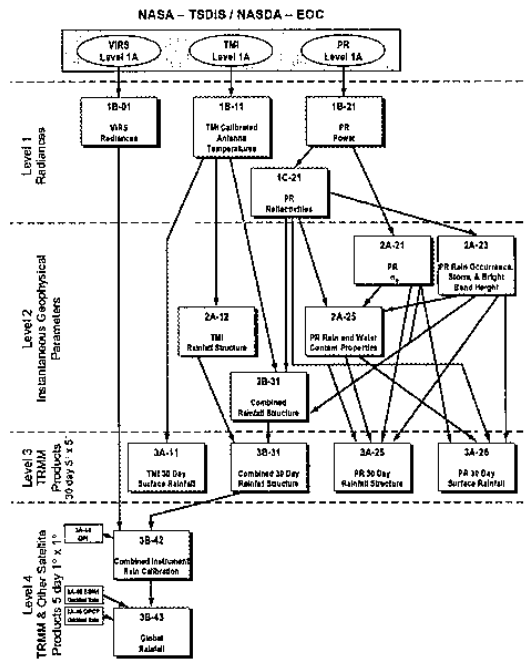
表一：PR 的主要參數

Item	Specification
Frequency	13.796, 13.802 GHz
Sensitivity	≤ -0.7 mm h ⁻¹ (S/N/pulse ≈ 0 dB)
Swath width	215 km
Observable range	Surface to 15-km altitude
Horizontal resolution	4.3 km (nadir)
Vertical resolution	0.25 km (nadir)
Antenna	
Type	128-element WG planar array
Beamwidth	$0.71^\circ \times 0.71^\circ$
Aperture	2.0 m \times 2.0 m
Scan angle	$\pm 1^\circ$ (Cross-track scan)
Transmitter/receiver	
Type	SSPA and LNA (128 channels)
Peak power	≥ 500 W (at antenna input)
Pulse width	1.6 μ s \times 2 ch. (transmitted pulse)
PRF	2776 Hz
Dynamic range	≥ 70 dB
Number of independent samples	64
Data rate	93.2 kbps

TRMM 衛星上的資料可以分為 Level 1、Level 2、Level 3 與 Level 4 這四層。Level 1 是最原始沒有經過處理的資料，而 Level 2 是經過校正後所得到的瞬間地球物理學的參數。Level 3 是將 Level 2 的資料以 30 天為一筆內插至 $5^\circ \times 5^\circ$ 的網格點資料，最後 Level 4 是將 Level 3 的資料在與其它衛星資

料相結合所做出以 5 天平均一筆內插至 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的網格點資料。

我們將利用 Level 2 中 2A25 這項產品資料用來分析颱風的降水結構。2A25 這項產品主要是垂直結構上降雨率的估算，利用雷達回波與降雨率的 Z-R 關係式反演出降雨率。它每 250 公尺就有一筆資料共有 80 層，從地面至空中總共 20 公里。這樣密集的資料有助於對颱風垂直結構的探討，並且能獲得良好的降雨估算，是一般目前衛星利用微波頻道反演降水所做不到的。

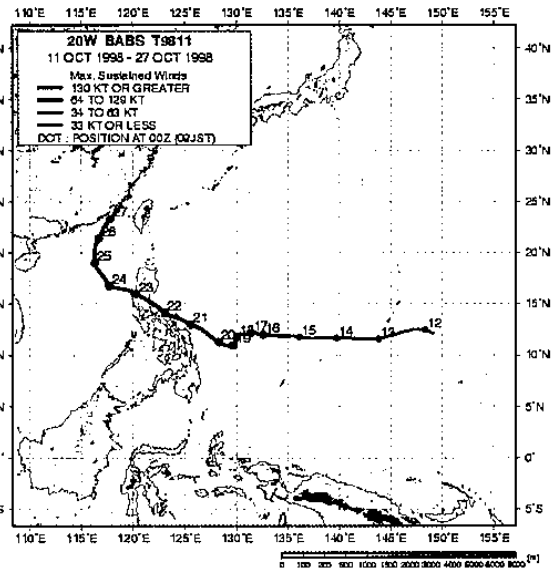


圖一，TRMM 資料產品流程。

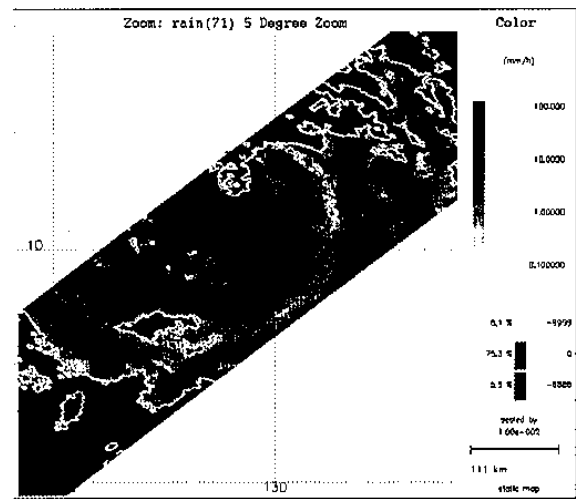
三、颱風各案析

(一) 颱風個案－1998 年 BABS 颱風

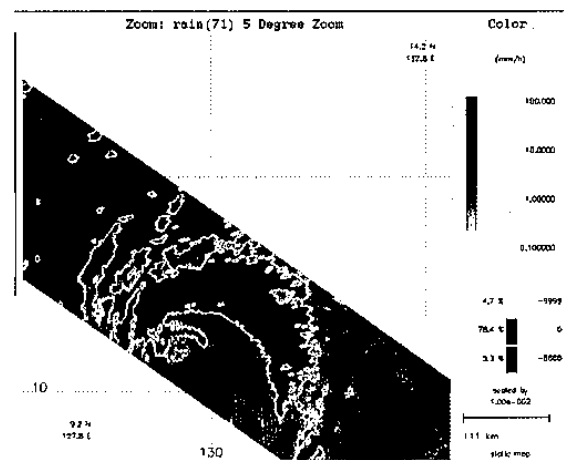
BABS 颱風於 1998 年 10 月 11 日生成，並往西移動於 23 日通過菲律賓之後往北行，於 27 日在台灣海峽一帶減弱成熱帶低壓，其行經路徑如圖二。在 BABS 颱風整個生命的過程中一共有四次被 TRMM 衛星上的 PR 所掃描到含有颱風眼及眼牆存在的資料，其軌道號碼分別為 10 月 18 日的 5121、10 月 19 日的 5127、10 月 21 日的 5158 及 10 月 25 日的 5235。在軌道號碼為 5121 和 5127 的資料中，BABS 發展成輕度颱風，其降水結構特徵在眼強部分，最強的降水集中在第三、四象限。在軌道 5121 中可以明顯看出以 $(10.7^{\circ}N, 129.5^{\circ}E)$ 為颱風中心，沒降雨的區域範圍約為半徑 25 公里（如圖三），而在軌道 5127 資料中，以 $(10.4^{\circ}N, 129.6^{\circ}E)$ 為颱風中心，較弱降水區的範圍約為半



圖二 BABS 颱風路徑軌跡圖。

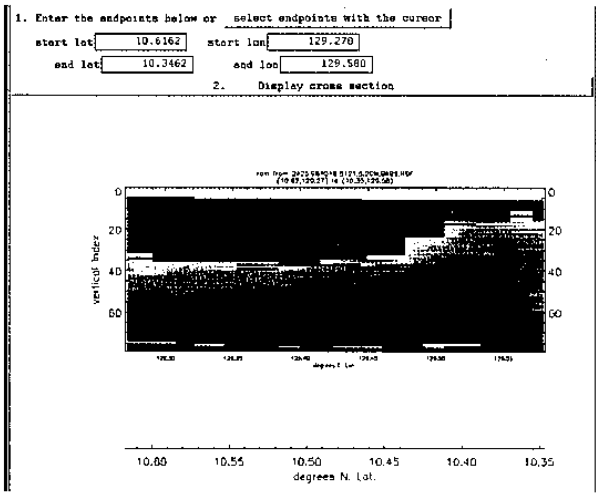


圖三 10 月 18 日 14:48 UTC，軌道號碼為 5121 的 BABS 颱風 2 公里高度之降雨率分布，圓圈的半徑 25 公里。



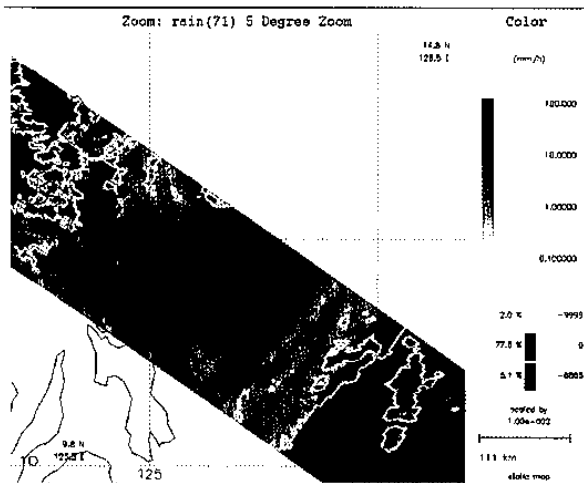
圖四 10 月 19 日 00:34 UTC，軌道號碼為 5127 的 BABS 颱風 2 公里高度之降雨率分布，圓圈的半徑 13 公里。

徑 13 公里（如圖四）。這與衛星雲圖中的可見光和紅外線頻道相比較之下，就有利於判別颱風中心的位置。從垂直的剖面中（圖五）可以發現在眼牆的強降雨率的地方，發展高度約在 4.5 公里，有著中尺度對流的型態，這也間接了解颱風內部的結構與颱風未來的增強可能有關。



圖五 10 月 18 日 14:48 UTC，軌道號碼為 5121 的 BABS 颱風眼牆垂直剖面的降雨率分布 (10.6~10.3°N、129.2~129.5°E)。

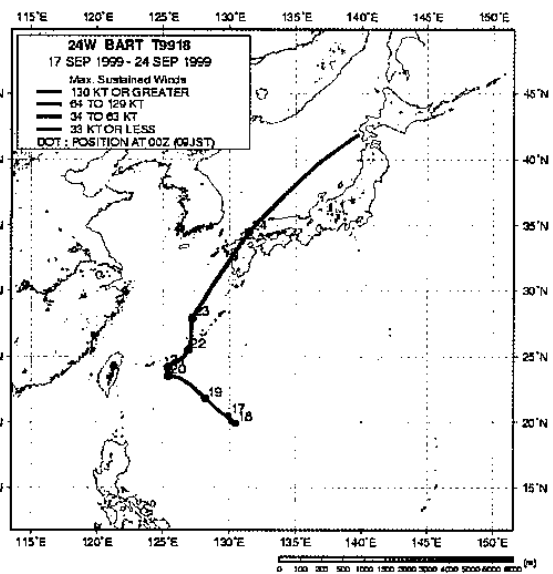
BABS 颱風在 10 月 20 日以後發展成爲中度颱風，在 21 日發展成爲強烈颱風（如圖二），其中心風速超過 130KTs 以上。這時從可見光雲圖上清楚看見颱風眼、眼牆及螺旋雲帶。從 PR 的資料分析發現颱風的降雨強度集中在第四象限爲最強、第三象限較弱，但這時的颱風擁有良好組織結構（如圖六）。



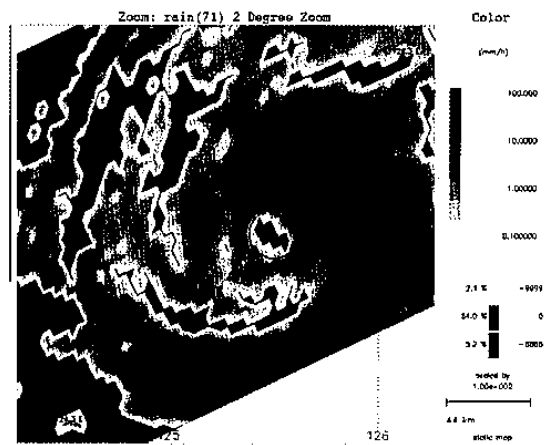
圖六 10 月 21 日 23:42 UTC，軌道號碼為 5158 的 BABS 颱風 2 公里高度之降雨率分布。

（二）颱風個案－1999 年 BART 颱風

BART 颱風於 1999 年 9 月 17 日於太平洋上生成，並往西北方向移動，於 21 日之後開始往北偏東方向行進，24 日之後併入中緯度西風帶，最後成爲溫帶氣旋。在 BART 颱風的生命期裡面共有三次較完整包含颱風眼及眼牆部份的 PR 資料，軌道號碼爲 9 月 20 日的 10432、10436 和 9 月 22 日的 10463。其中 9 月 20 日的這二筆資料時間相差約 6.5 小時，是相當少有；而在 9 月 22 日的這一筆資料是 BART 颱風結構上發展相當完整的時候，他的強度已經達到強烈颱風，這時的颱風眼及眼牆非常明顯。



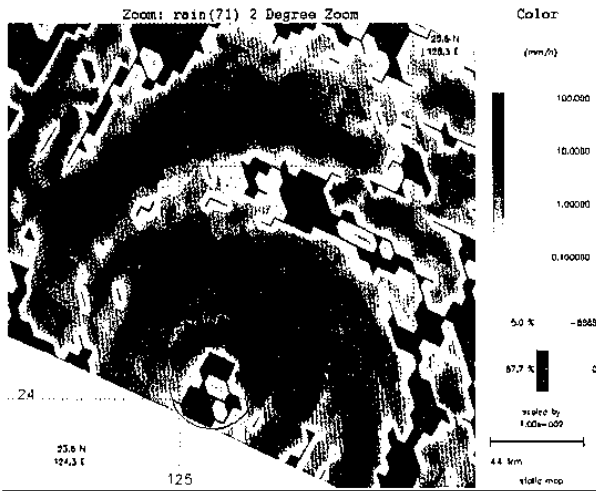
圖七 BART 颱風路徑軌跡圖。



圖八 9 月 20 日 10:05 UTC，軌道號碼為 10432 的 BART 颱風 2 公里高度的降雨率分布，圓圈的半徑爲 13 公里。

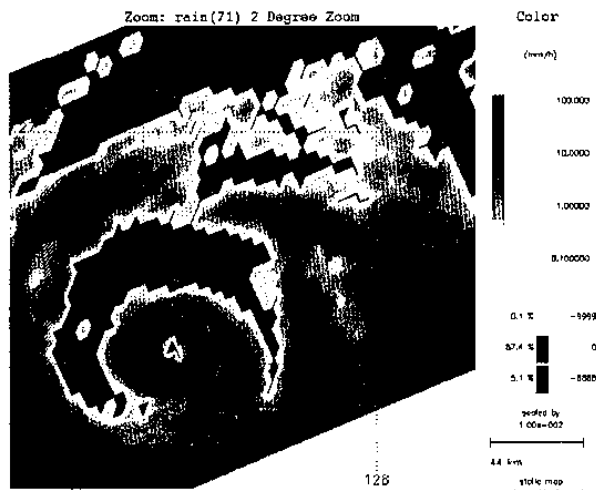
從 BART 颱風的生命期來看，9 月 20 日的 BART 颱風發展已經進入了中度颱風階段（如圖七），其降水強度集中在第一象限內（如圖八），假

設以 (24.0°N、125.5°E) 為中心降水較弱的區域和無雨的區域的範圍約為半徑 13 公里。與相隔約 6.5 小時的情形相比，強降水的區域無太大變化，但是以中心 (24.0°N、125.1°E) 弱降水區域的範圍半徑就擴大到 20 公里 (如圖九)。



圖九 9月20日16:32 UTC, 軌道號碼為10436的 BART 颱風 2 公里高度的降雨率分布, 圓圈的半徑為 20 公里。

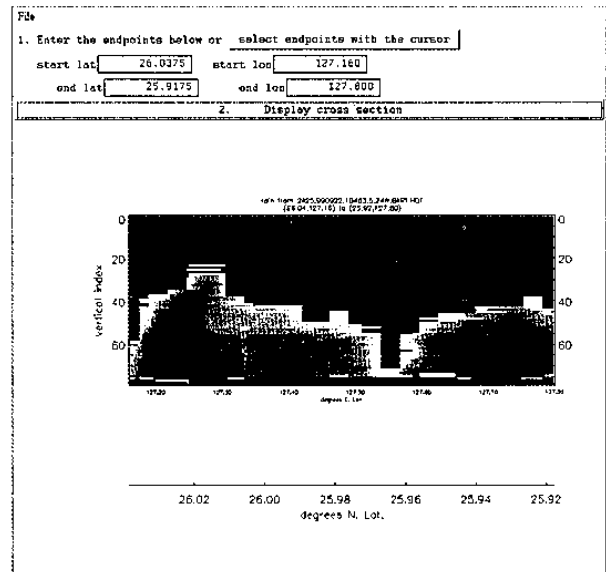
到了 9 月 22 日, BART 颱風發展成為強烈颱風, 在整個生命期當中達到巔峰, 隨即 23 日之後又減弱為中度颱風。在 22 日的 BART 颱風從圖十中可以看到有著相當明顯的雙眼牆結構, 內眼牆的降水強度集中在第一、三和四象限, 外眼牆的降水強度集中在第三、四象限。



圖十 9月22日09:17 UTC, 軌道號碼為10463的 BART 颱風 2 公里高度的降雨率分布, 圓圈的半徑為 7 公里。

從垂直的降雨率剖面分布來看 (如圖十一), 內眼牆的降水強度集中在從地面到高度 2 公里的地

方, 而外眼牆的降水強度則可從地面到高度 5 公里的地方, 明顯看出內眼牆的強度逐漸在減弱而外眼牆的強度則發展到最大, 是不是會有可能外眼牆逐漸取代內眼牆的過程, 因時間的解析度不夠, 就無法得知了。



圖十一 9月22日09:17 UTC, 軌道號碼為10463的 BART 颱風眼牆垂直剖面的降雨率分布 (26.0~25.9°N、127.1~127.8°E)。

四、結果與討論

從以上的個案中發現颱風在不同的階段有著不同的颱風中心範圍, 並非在強烈颱風才有明顯的眼。根據 Anthes (1982) 所提出的理論, 颱風的生命期有三個階段:

- 1、出生期: 在往東的氣流中, 隨著波的擾動是一群相對配置混亂的雲和飆線。
- 2、成熟期: 是一個由大的軸對稱強的旋轉環流所組成, 而其中中心是一低壓且雲係有良好的組織。
- 3、消散期: 環流減弱並向外擴大, 相對於中心也變的不對稱。

由於時間與空間的限制, 我們所觀測到的資料都僅限於在颱風的成熟階段。就颱風眼的形狀而言, 理論上應該是圓形, 然而就個案上所發現的就有橢圓形和不規則形狀, 這與張 (2002) 分析賀伯颱風時有相同的結果, 由陸地上的雷達可以針對所要觀測的目標進行連續性的觀測, 因也發現颱風眼的轉動, 但 PR 卻無法能有類似的資料。

但從降雨率的垂直剖面分布來分析, 我們發現在這兩個颱風個案中, 在發展至強烈颱風時, 最大的降雨率都集中在地面至高空 4.5 公里處, 這是蠻有趣的現象, 其背後的動力機制仍值得我們去探討。在 BART 颱風的個案中發現了雙眼強的結

構，這樣的個案是少有被發現的，究竟是何原因讓它能產生雙眼牆這樣的結構，尚需要其他的輔助工具。

五、結論

以上種種只是對颱風的一點分析，利用 PR 這樣的新工具可以幫助我們在颱風的定位上更加準確之外，也可以當作是對熱帶海洋上系統的前進觀測站，有助於對來自熱帶的天氣系統加以先前的分析，對於雨量的估算更是有莫大的幫助。每年颱風帶來的大量降雨，對於農業經濟、民生造成莫大的困擾，如果能對於先前的預估，再加上良好的預防措施，相信能將傷害減至最低。

雖然 PR 的掃描範圍很小，但是如果能與其他的微波儀器結合，兩者之間建立關係式，相信能對於雨量的估算有更進一步的幫助。

六、參考文獻

1. 張保亮、周仲島、李文兆，2002：賀伯颱風（1996）中尺度分析：第一部分：眼牆環流結構。大氣科學，30，201-216。
2. Anthes, R., 1982:Tropical Cyclones, Boston, American Meteorological Society.
3. Hiroshi Kuroshi, H. Kumagai, H. Nakatsuka, K. Oikawa, K. Nishikawa, K. Okamoto, M. Kojima, M. Kumura, T. Kozu, and T. Kawanishi, O2001:Development of Precipitation Radar Onboard the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) Satellite, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 39, No. 1, 102-116..
4. Kidder, Stanley Q. and Thomas H. Vonder Haar, 1995:Satellite Meteorological, Academic Press
5. Lim, Hyo-Suk, Gi-Hyuk Choi, and Han-Dol Kim, 2000:Characteristics of Typhoon Jelawat Observed by OSMI, TRMM/PR and QuikSCAT, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol. 16, No. 4, 293-303.
6. Tutorial for reading Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Data Products, 1998, NASA/GSFC.