

# 衛星被動微波儀器應用於颱風觀測之初步研究

呂崇華 趙俊傑 潘大綱

空軍氣象中心

## 摘要

目前各作業單位在颱風資料運用，普遍使用 Dvorak 之方法來判定颱風結構與強度，近年衛星遙測技術的進步，被動微波儀器對於觀測降雨之特性，先後投諸許多研究，並在颱風作業驗證中得到令人滿意的成果。

本研究是利用 DMSP 衛星上之 SSM/I 儀器及 TRMM 衛星上 TMI 兩個被動微波輻射儀器所觀測颱風資料加以綜整研究，結果顯示，TMI 之儀器由於解析度較佳，所觀測到之颱風中心及颱風環流較為清楚，SSM/I 則能在時間解析度上提供較佳之支援。另外，就各頻道之比較結果，37GHz 對低層環流較為敏感，85GHz 則對於冰晶較為敏感，故 37GHz 較適合颱風中心及結構之觀測，85GHz 則可判斷出強降水與冰晶所在；在分析米勒颱風部份，颱風眼不明時，微波頻道所定中心與 JTWC 公佈資料相近，觀測降雨強度與分佈時，微波頻道亦與地面雷達回波資料有相似特徵。

關鍵語：衛星遙測、低層環流、微波頻道

(2003年11月5日收稿；2003年11月15日定稿)

## 一、前言：

由於在廣大的洋面上，觀測資料只限於部分小島地區，傳統觀測資料稀少，因此海洋上的颱風由於觀測資料並不足，往往無法正確判定颱風的強度與中心位置，然而隨著衛星遙測技術的迅速發展，觀測範圍廣且具有高空間與時間解析度的地球同步衛星揭露了颱風的神秘面紗，近年來衛星觀測儀器的日益精進，被動微波儀解析度的提高及其可透雲性，使得微波頻道被廣泛地運用於颱風觀測與研究上，所得的準確性及結果都有不錯的表現。

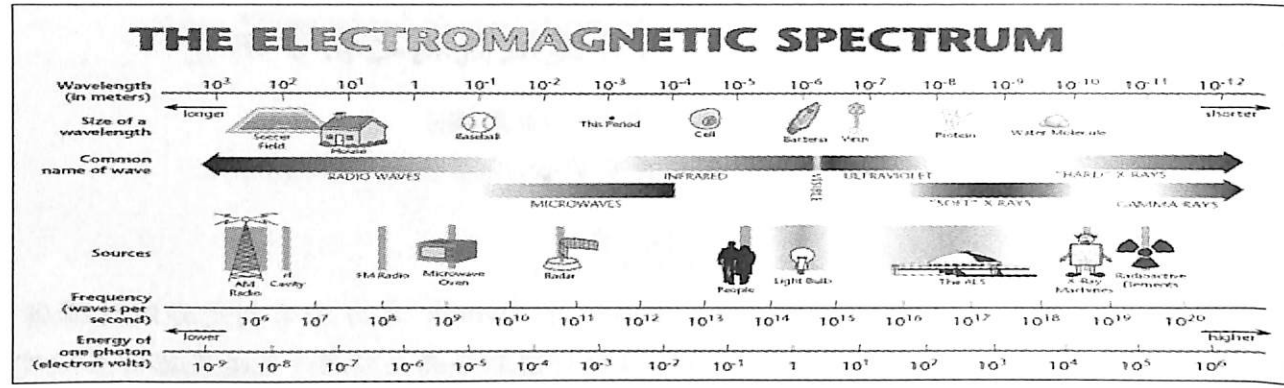
眾所皆知，在衛星遙測中，輻射傳遞過程包含了放射(Emission)、吸收(Absorption)與散射(Scattering)，衛星遙測到的微波輻射包含了地表(地表向上發射及其反射大氣向下輻射，再經地表反射)及大氣向上輻射等兩貢獻項，而衛星所接收的輻射總量即為經過

一連串輻射傳遞過程到達輻射天線的能量，再由天線溫度轉換為亮度溫度，其亮度溫度就代表能量。微波是指電磁波波長介於0.1cm到100cm(0.3GHz到300GHz)的波段，較長於紅外線及可見光頻道(圖一)。所以在微波傳送過程中，較小粒徑的雲粒子，對其影響較不明顯，反之對雲中存在較大粒徑的雨滴及冰晶，則由於放射、吸收與散射作用有較顯著的反應。本研究運用了微波頻道的原理，解決同步衛星中紅外線及可見光頻道因高層雲遮蔽颱風中心的困擾，進而分析洋面上颱風近地層的降水結構。

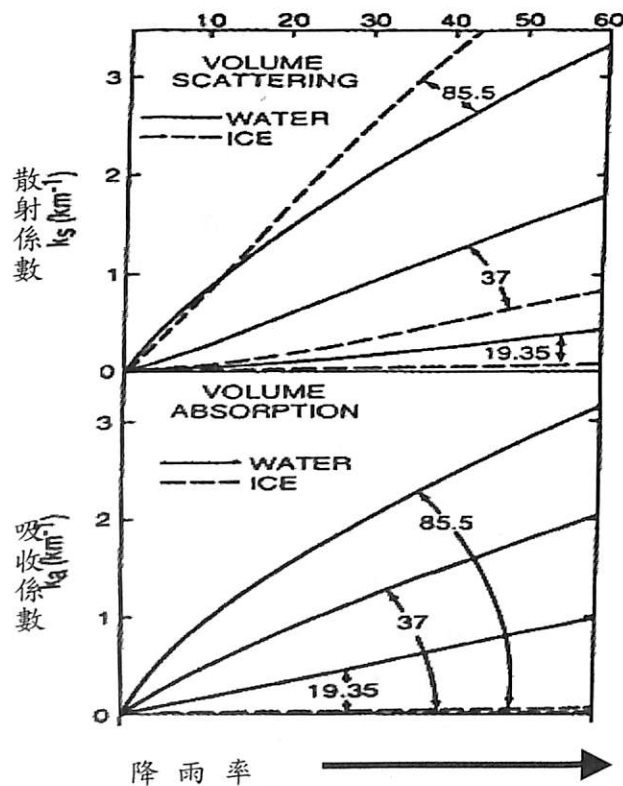
## 二、微波儀器簡介與資料來源

### 2.1 SSM/I微波輻射儀

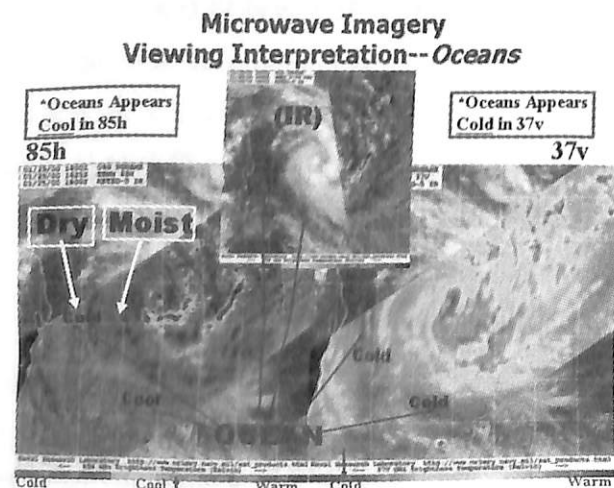
美國國防氣象衛星計畫(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)於1987年發射了第一顆裝載SSM/I(Special Sensor Microw



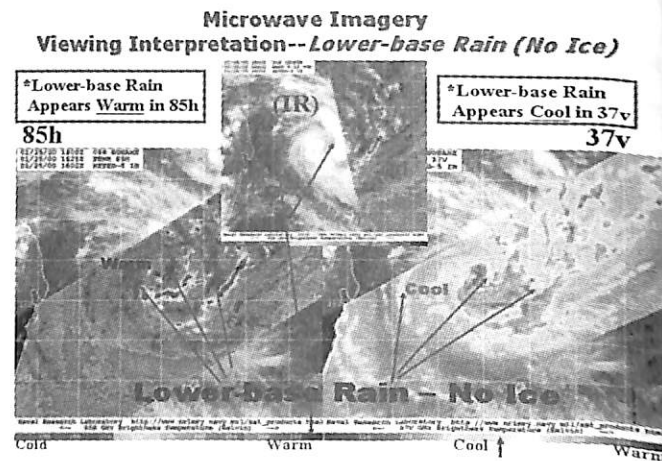
圖一：電磁波波譜分佈圖。



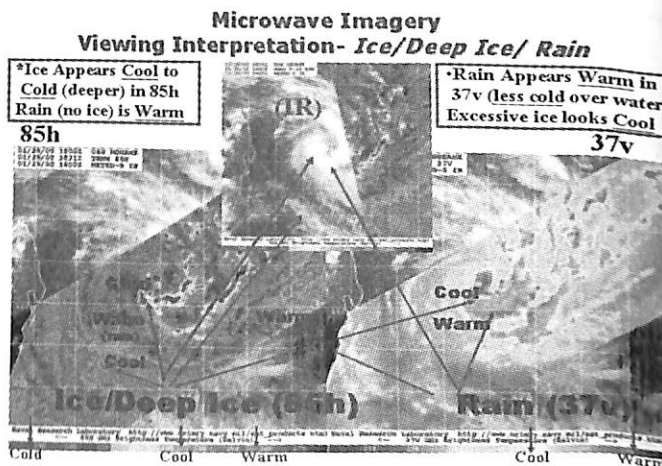
圖二：微波儀器在不同頻率下水及冰晶散射與吸收程度圖。



圖三：微波影像對海洋的亮度溫度表現。



圖四：微波影像對低層降雨的亮度溫度。



圖五：微波影像對高層冰晶與強降雨的亮度溫度表現。

圖三至圖五 (摘自 Roger T. Edson 2003)

wave/Imager) 微波輻射儀的 F-8 衛星 (Kummerow et al., 1996), 提升了在降雨量、液態水含量、海面風速反演上的空間解析度和多頻道資料的應用性 (Rodgers et al. 1994), SSM/I 亦是第一個作業用被動式

(passive)微波輻射儀, 其具有19.4GHz、22.2GHz、37.0GHz及85.5GHz四個頻率, 其中19.4GHz、37.0GHz和85.5GHz分別具有垂直極化(vertical polarization)及水平極化(horizontal polarization)頻道, 而22.2GHz只有垂直極化頻道。為求簡便, 以下將以19GHz、22GHz、37GHz及85GHz表示上述之頻率, 以(V)和(H)分別代表垂直極化和水平極化。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為25km。

### 2.2 TMI微波輻射儀

TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)衛星在1997年11月由美日合作發射, 其任務為對地球南北緯40度間熱帶區域作降雨觀測。軌道高度在2001年8月之後為延長其任務壽命, 衛星高度由原先之350km提高到402km。所搭載的TMI (TRMM Microwave Imager)亦屬被動式微波儀, 是以研究熱帶地區降雨為主要任務。其他觀測降雨的儀器還有全世界第一具衛星搭載的主動式降雨雷達(PR)、可見光與紅外線探測儀(VIRS)、輻射能量收支儀(CERES)、閃電觀測儀(LIS)等設備。TMI改良自SSM/I, 在氣象衛星微波輻射儀器中有最好的資料解析度, 就地面分辨率沿掃描方向之解析度而言, 高解析與低解析頻道可分別達到9.1km與4.6km, TMI並具有10.7GHz-VH、19.4GHz-VH、21.3GHz-V、37GHz-VH及85.5GHz-VH九個頻道的亮度溫度, 較SSM/I增加了10.7GHz-VH, 以及因應熱帶地區降雨特性將SSM/I之22.2GHz改為21.3GHz。

本文所運用微波之資料均下載於美國加州蒙特瑞市海軍研究室網站上所提供的資料。

[http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc\\_home](http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc_home)

### 三、微波頻道特性分析：

微波頻道以85GHz之空間解析最好, 配合微波具有較佳的透雲性, 確實能較準確地定出颱風眼中心的位置, 然而根據圖二 (Roger T. Edson 2003), 微波儀器在不同頻率下水與冰晶散射與吸收程度圖, 在降雨率逐漸提高下, 冰晶及水的散射及吸收係數亦逐漸升高, 而以85GHz的斜率最大, 顯然85GHz受雨滴和冰晶的散射及吸收程度較其他低頻道為大 (以冰晶散射的程度最大), 因此85GHz在大氣中存有冰晶及強降水時, 其亮度溫度的表現相對於海面是較冷的, 基於此應用了圖三至圖五 (Roger T. Edson 2003), 我們發現圖三中85GHz在洋面所表現的亮度溫度是冷的(圖示為cool)而37GHz所表現的亮度溫度是極冷的(圖示為cold);而圖四可看出低層降水(不含冰晶)在85GHz所表現的亮度溫度是暖的(圖示為warm)而37GHz所表現的亮度溫度是冷的;另外由圖五冰晶及強降水在85GHz所表現的亮度溫度是冷到極冷的而37GHz受冰晶散射影響較少, 所以仍是看降水的表現, 而降水強度愈強亮度溫度則愈暖。

以下即運用今(2003)年艾陶及尹布都颱風的微波影像, 以及配合約略同時刻之地球同步衛星紅外線及可見光頻道資料加以綜整研究, 嘗試比較各頻道之優缺點, 以期未來在執行颱風預報作業時, 能有效運用具參考價值的衛星資料。

#### 3.1 艾陶 (ETAU) 颱風分析

圖六為三種衛星資料於約略同時刻掃瞄到艾陶颱風中心之衛星影像。由圖六(a)中GOES-9紅外線雲圖可以發現中度颱風艾陶於8月6日0801Z中心受到高層雲遮蔽而不明的情況, 根據Sherwood and Wahrlich (1999)的研究指出: 中尺度對流系統從低雲

開始發展，經合併過程可垂直發展至對流層頂，甚至高過對流層頂，之後卷雲砧自此深對流中心向外延伸，最後消散。所以當眼牆之上升氣流達高對流層時，會有高層厚卷雲外流，造成近中心約300公里範圍內皆有雲層覆蓋而使得其颱風中心定位有較不客觀的判斷，造成誤差，然我們仍可運用圖六(b)中之可見光雲圖較高解析度(可見光頻道的解析度1~1.25公里)，以及對較厚的雲有較大反照率，即發展旺盛的雲看起來比較明亮，來解析出深對流的位置及螺旋雲帶的分布，大致判斷出幾何結構中心約略區域，但此頻道在夜晚就無法進行觀測，為一大限制。相對於可見光與紅外線而言，微波則不受此兩者限制，微波頻道具有較高的透雲性，可穿透雲層看到底層的實況，圖六(c)及(d)為SSM/I於8月6日0910Z及TMI於8月6日1034Z掃瞄到艾陶颱風中心的情況，兩衛星之85 GHz(H)頻率均能有效的判斷出颱風中心的存在，所以當紅外線衛星影像看不出有眼，而SSM/I可看出颱風眼存在時，表示此時颱風眼是被高層雲所遮蔽，此個案亦發現微波頻道確實能有效的解決同步衛星受限於密雲及夜晚的影響而分析出颱風眼實際的位置。

### 3.2 尹布都(IMBUDO) 颱風分析

圖七為SSM/I及TMI微波資料於約略同時刻掃瞄到尹布都颱風中心之衛星影像。比較圖七(a)~(d)可以證實TMI之微波影像有較SSM/I好的空間解析度(分別為5及12.5km)，所觀測到的颱風中心及颱風環流也較為清楚。由圖七(a)與(c)之85GHz及(b)與(d)之37GHz頻道，亦發現在颱風中心區域附近的螺旋雨帶部分，因85GHz受雨滴和冰晶的散射程度較37GHz頻道為大，所以強降水及高層冰晶在85GHz頻道亮度溫度的表現會有較海面還

冷的情形，可由亮度溫度極冷的部分判斷其強降水及高層冰晶的所在，但亦對低層降雨，其亮度溫度較暖的部分有干擾的現象，因而較難判斷其低層環流中心的位置；反觀37GHz頻道亮度溫度的表現，受降水及高層冰晶影響程度較小，亮度溫度的表現亦以降水為主，低層環流中心則易掌握。為了要避免由於強降水與高層冰晶所造成的誤判，所以我們可以使用37GHz頻道的特性，去偵測85GHz有時無法掌握低層環流中心。

## 四、颱風中心定位與個案分析

由於颱風路徑與強度對陸地的風力、降水影響息息相關，因此颱風中心定位重要性顯得相當重要，2001年桃芝颱風即為一慘痛個案。目前國內外作業單位颱風中心定位或強度估擬時，多採用Dvorak(1984)的方法，可是當颱風中心不明顯或颱風中心被高層卷雲所遮蔽、或無明顯的螺旋雨帶時，此方法便會產生較大的定位誤差，且容易在颱風眼形成的前後，造成中心位置判定出現不連續的情形。本章即運用衛星微波資料，嘗試改善此一困擾及前述定位法所帶來的誤差，進而改善颱風路徑預報的準確度。

### 4.1 本研究的定位方法

圖八為位於南半球不同頻道之颱風中心衛星影像，圖八(a)之可見光雲圖略可分辨出螺旋雲帶的位置，但仍難以分辨颱風眼位置，而由圖八(b)之紅外線雲圖則較易看到高層雲帶卻難以找出低層雲的位置；圖八(c)為微波37GHz頻道，冷的亮度溫度即白灰色部份為降雨帶，由圖尋找出螺旋狀降雨帶，以此判斷颱風眼之區域，由此區域亮度溫度較低值為其中心；另微波85GHz頻道圖八(d)，則以較暖亮度溫度即深

黑色部份來表示低層降雨帶，並同37GHz頻道，以低層降雨帶尋找出颱風眼附近區域亮度溫度較低值為其中心。

### 4.2 米勒颱風(MELOR, 2003)微波影像

米勒颱風是今年入秋後形成的颱風之一，由於受到秋季複雜的天氣系統，因此米勒的路徑較不如盛夏時來得穩定。圖九(a)及(b)為米勒颱風初生階段，黑色十字為本研究定位中心，由颱風眼及雨帶分佈的變化看來，中心強度有逐漸增強的情形，颱風眼及螺旋雨帶亦逐漸清楚，由螺旋雨帶分佈及低亮溫區能清楚判斷其颱風眼中心；圖九(c)為米勒颱風進入巴士海峽後緩慢由北北西轉北北東方移動，從圖九(c)在颱風眼北面有較暖的亮度溫度表現，可判斷出此區域為較強的降雨帶，比較圖十(a)中約略同時的地面雷達回波圖，強降水回波值亦分佈於此區域，兩圖均有強降水訊息的表現，除此之外，雷達資料的低回波區與TMI-37GHz的低亮溫區及眼牆的結構均同時出現了相似的訊息，顯然微波頻道影像在降水的表現能與雷達回波圖有相似的特徵；圖九(d)為SSM/I-85GHz影像，發現颱風環流可能受外在因素的破壞，其中心眼有逐漸增大現象，外圍雨帶亦變得較為鬆散，另由亮溫極冷區，亦判斷出颱風眼西南及南方有深對流降雨及高層冰晶的存在，此為高散射過程結果，而鵝鸞鼻南方至東南方有低層螺旋雲雨帶，並以此螺旋中心定颱風眼中心位置；圖九(e)及圖十(b)中降雨帶半徑已較為縮小，且台灣地區降雨回波亦有明顯消散之趨勢，本軍於此時解除了對本省西部及東南部之颱風警報；由表(二)與表(三)比較颱風中心定位，可以發現由微波頻道與JTWC所公佈之中心位置，平均相差距離在四十公里內，其中尚包括微波掃描時間與JTWC定位時間差距過大(116分鐘)所產生較大誤差的資料，另

一筆由SSM/I-85GHz所觀測的資料亦存在有較大距離差，可能原因是85GHz對高層冰晶與強降水的散射靈敏度較高而影響觀測有關，除此之外微波頻道的運用顯然能有效地去提高中心定位的準確度；另比較本中心與微波影像的表現，平均相差距離雖仍在六十公里內，但在米勒颱風初生及漸消散時期，中心眼較不清楚情況下，本中心與微波頻道及JTWC之定位差距均偏大，在未來針對中心眼較不易分辨之颱風，可配合微波頻道的運用，以提高本中心在中心定位的準確度。

## 五、未來發展

衛星儀器的發展，在監測海上天氣活動方面有非常大的幫助，若應用於颱風方面，則有助於提升本中心對颱風發展與行進方向的預測，及早提醒本軍各基地做好防颱措施，以減少颱風登陸時所造成的損失。本研究運用了三種不同的衛星資料，針對今(2003)年三個颱風個案進行初步的比較與分析。

同步衛星資料最大的優點在於其時間及空間解析度較佳，能夠涵蓋的面積亦較廣，因此能夠針對同一颱風進行一連串密集且全面性的觀測，然而紅外線及可見光頻道，受到雲的影響很大，所以在分析上，存在很多的不確定性。

微波可透雲性與近年來被動式微波輻射儀解析度的提高，使得衛星微波資料被廣泛地應用於颱風中心定位、降雨量反演、水汽含量反演以及海面風速的反演上，而且也都能得到很好的準確度，本研究即有效地運用SSM/I-85GHz及TMI-37GHz來分析颱風降雨的分佈、結構的變化以及對本中心與JTWC作中心定位的校驗，在無明顯颱風眼出現的情況下，微波頻道尚能找出低層環流中心(LLCC)，判斷



出較為精準的颱風眼中心。圖十為JTWC於2001年時，針對西北太平洋颱風中心位置不明時，與各衛星定位誤差距離之比較；顯然TRMM衛星在較多的中心眼位置不明時，誤差距離是最小的。

目前在微波頻道SSM/I及TMI資料的獲得，仍須仰賴美國海軍及NOAA的網站，台灣地區目前皆無法直接接收，在颱風即時預報上，時效性明顯不足，但NOAA系列氣象衛星上之AMSU被動微波儀器可以每日接收，所獲得的資料亦能反演各高空層的溫度表現，在運用方面具有更大的參考價值。面對颱風時效性高的預報作業，微波頻道的使用是未來急需持續研究與發展的目標。

六、參考文獻

郭家利，2001：應用衛星資料於熱帶氣旋之環境場分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。

李慶忠，2002：TRMM微波資料海面降雨反演及應用。國防大學中正理工學院國防科學研究所博士論文。

Raytheon Systems Company，1999：Special Sensor Microwave/Imager user's interpretation guide。

Thomas F. Lee,\* Francis J. Thomas F. Lee,\* Francis J. Turk, Jeffrey Hawkins, and Kim Richardson，2002：Earth Interactions Volume 6。

Dvorak, V. F., 1975：Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. Mon. Wea. Rev.。

Dvorak, V. F., 1984：Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Tech. Re- port NESDIS 11, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C.。

Kummerow, C., W. S. Olson, and J. Giglio, 1996：A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometer profiles from passive microwave sensors. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.。

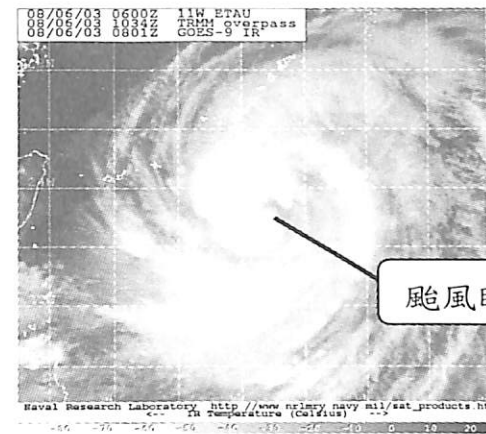
Rodgers, E. B., J.-J. Baik, and H. F. Pierce. 1994：A satellite observational and numerical study of precipitation characteristics in Western North Atlantic tropical cyclones. J. Appl. Meteor.。

Roger T. Edson，2003.3：Evaluation of Microwave Imagery Over Tropical Cyclones，University of Guam/WERI Shanghai Satellite Seminar。

Sherwood, S. C., and R. Wahrlich，1999：Observed evolution of tropical deep convective events and their environment. Mon. Wea. Rev.。

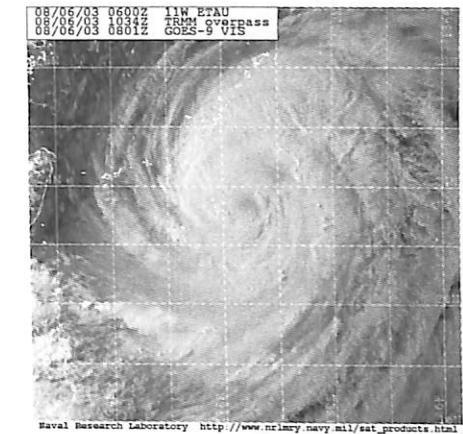
參考網站

- http://www.nrlmry.navy.mil
http://metoc.npmoc.navy.mil/jtwc.html
http://trmm.gsfc.nasa.gov
http://www.saa.noaa.gov
http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/typhoon/index\_e.htm

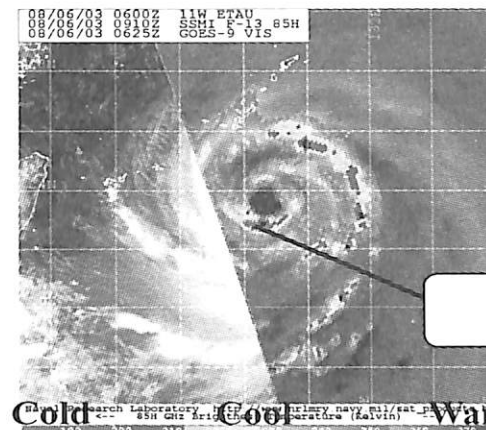


颱風眼不明

(a) 2003 年 8 月 6 日 0801Z GOES-9 IR



(b) 2003 年 8 月 6 日 0801Z GOES-9 VIS



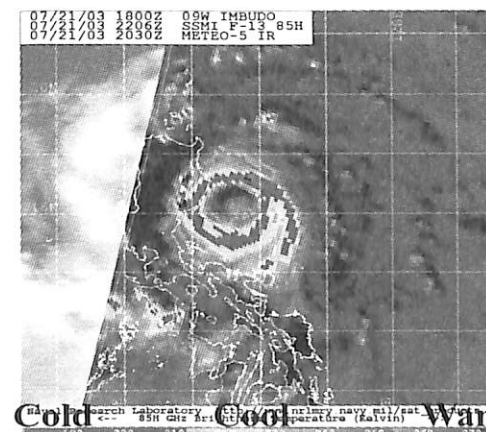
深對流區

(c) 2003 年 8 月 6 日 0910Z SSMI-85H

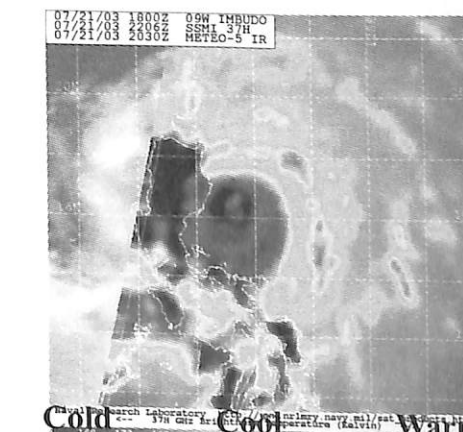


(d) 2003 年 8 月 6 日 1034Z TMI-85H

圖六：三種衛星資料於約略同時刻掃描到艾陶 (ETAU) 颱風中心之衛星影像。



(a) 2003 年 7 月 21 日 2206Z SSM/I-85H



(b) 2003 年 7 月 21 日 2206Z SSM/I-37H

圖七：二種微波資料於約略同時刻掃描到尹布都 (IMBUDO) 颱風中心之衛星影像。

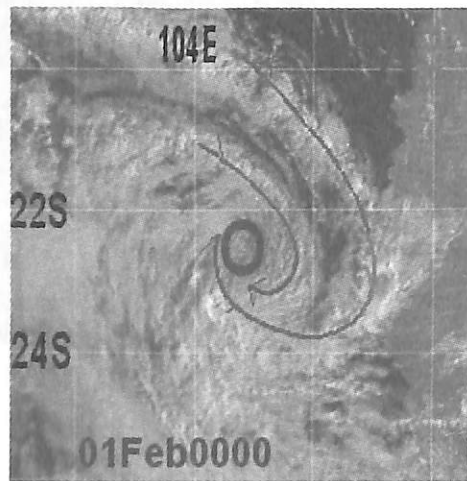


(c) 2003年7月21日2028Z TMI-85H

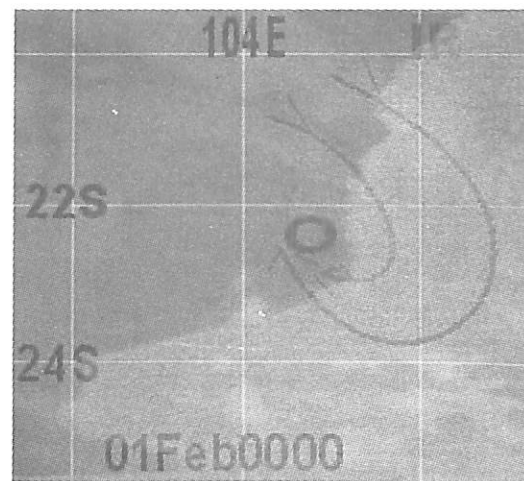


(d) 2003年7月21日2028Z TMI-37H

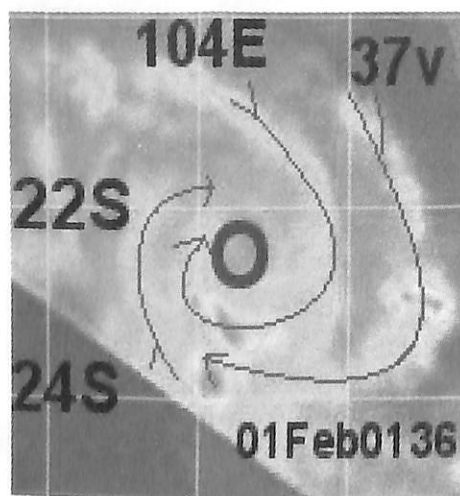
圖七：二種微波資料於約略同時刻掃描到尹布都 (IMBUDO) 颱風中心之衛星影像。



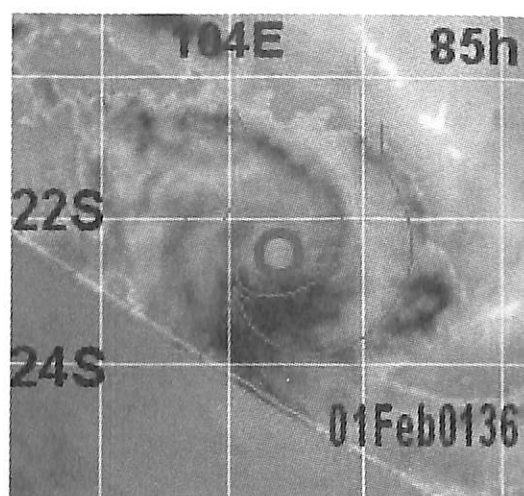
(a) 2000年2月1日0000Z VIS



(b) 2000年2月1日0000Z IR



(c) 2000年2月1日0136Z MI 37v

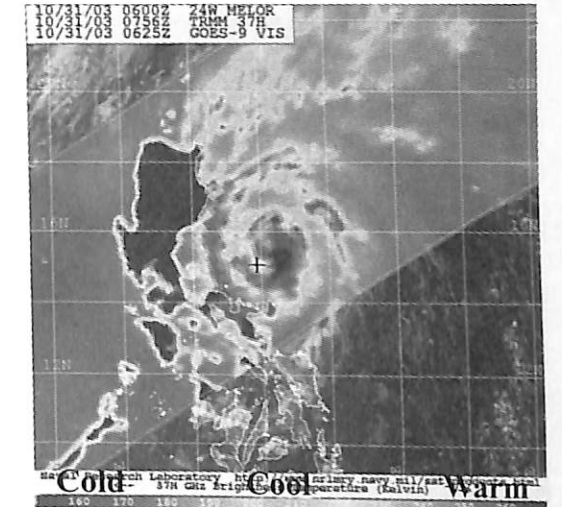


(d) 2000年2月1日0136Z MI 85h

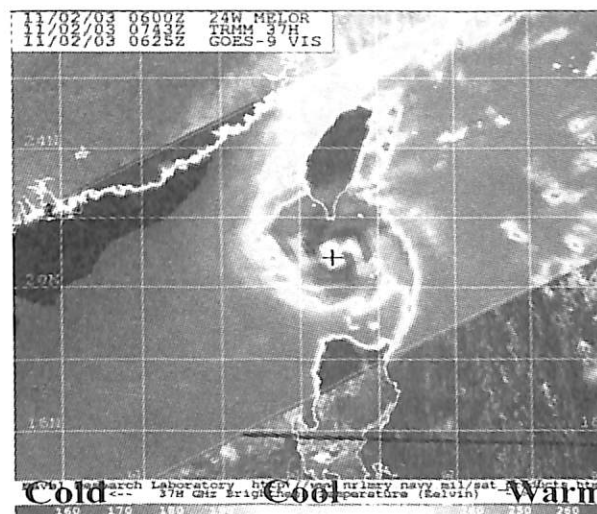
圖八：四種不同頻道約略同時刻掃描到KIRRILY(09S)颱風中心衛星影像之差異。



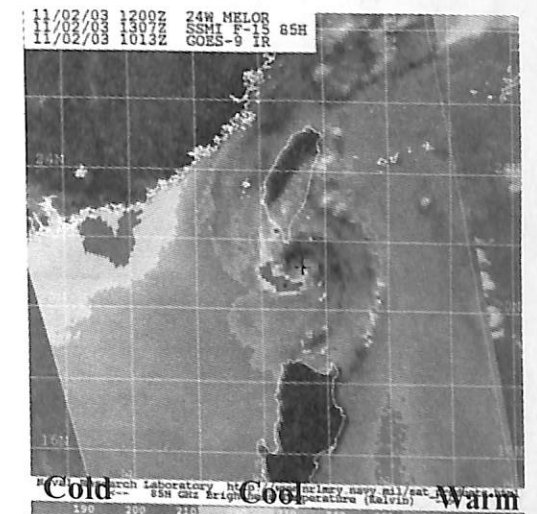
(a) 2003年10月30日1705z TMI-37H



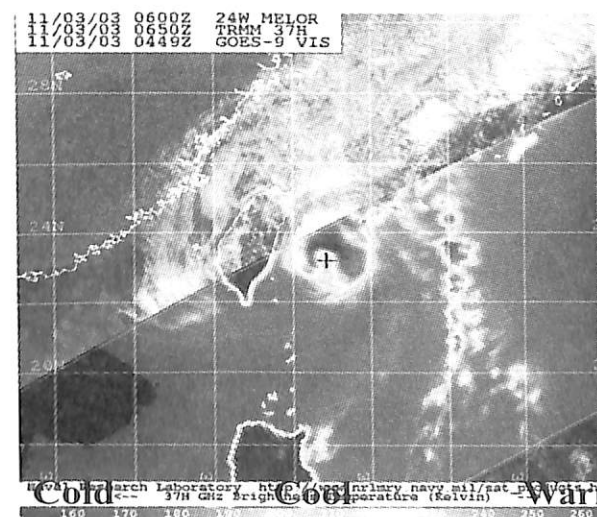
(b) 2003年10月31日0756z TMI-37H



(c) 2003年11月2日0743z TMI-37H



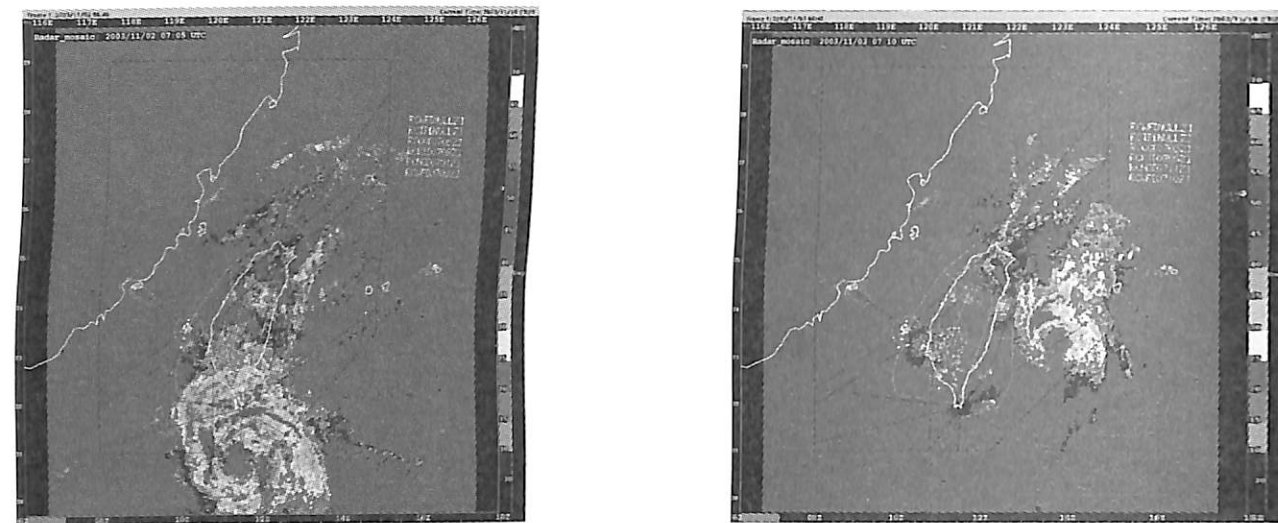
(d) 2003年11月2日1307z SSM/I-85H



(e) 2003年11月3日0650z TMI-37H

圖九：米勒颱風衛星微波影像及中心定位。

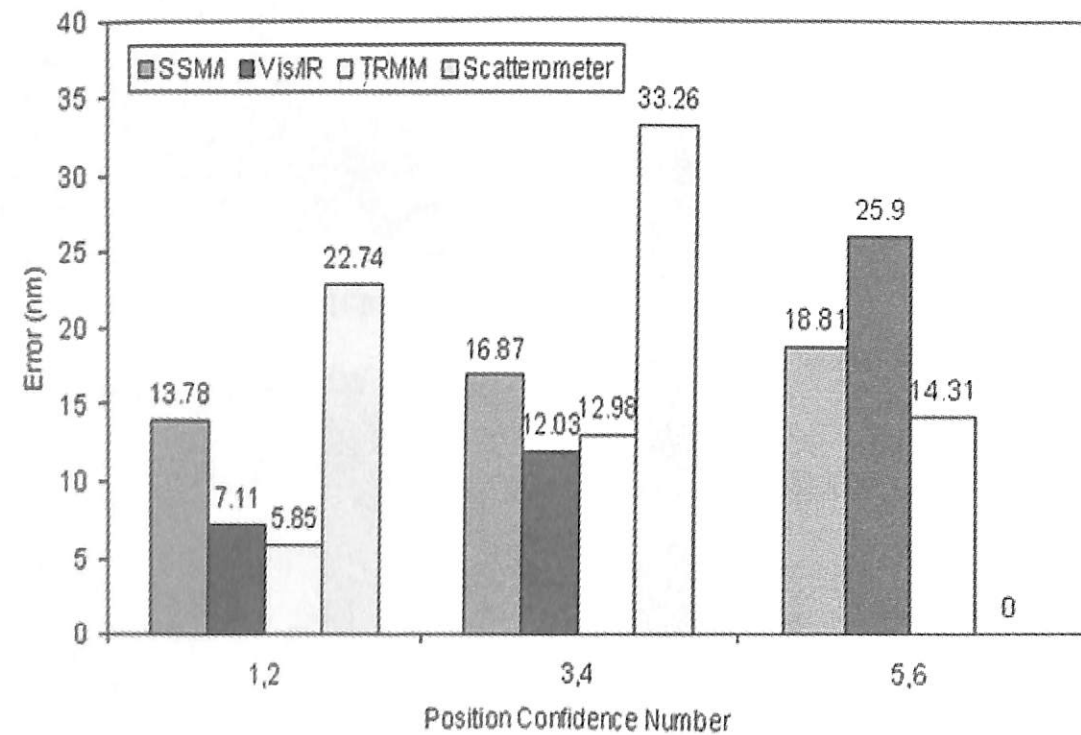




(a) 2003年11月2日0705z Radar (b) 2003年11月3日0710z Radar

圖十：中央氣象局地面雷達整合圖。

2001 Western Pacific Satellite Fix Errors



圖十一：2001年JTWC公佈西北太平洋颱風，中心定位誤差之統計。

表一：米勒颱風微波資料與時間相近之各預報單位中心位置表

微波資料	微波掃描時間 (Z)	各單位定位時間(Z)	微波資料中心位置	本中心之中心定位	JTWC中心定位
TMI-37H	10/30/1705	10/30/1800	14.0, 126.6	13.7, 127.2	14.0, 126.8
TMI-37H	10/31/0756	10/31/0600	15.3, 123.9	15.2, 124.7	15.3, 124.8
TMI-37H	11/02/0743	11/02/0600	20.8, 120.6	20.6, 120.3	20.7, 120.5
SSMI-85H	11/02/1307	11/02/1200	21.3, 121.1	21.1, 120.8	21.3, 120.6
TMI-37H	11/03/0650	11/03/0600	23.2, 123.0	23.2, 122.4	23.1, 122.9

表二：米勒颱風微波資料與各預報單位颱風中心位置之時間距離差

觀測時間差 (分)	微波頻道定位與本中心之差距 (公里)	微波頻道定位與JTWC之差距 (公里)	本中心定位與JTWC之差距(公里)
55	72.81	21.56	54.53
116	86.48	96.16	15.44
103	38.29	15.21	23.58
67	39.21	51.76	30.38
50	61.28	15.09	52.28
平均距離 (公里)	59.41	39.95	35.24

# A Preliminary Analysis on Tropical Storms Using Passive Microwave

## Instruments

Chung-Hua Lu Chun-Chieh Chao Peter Da-Gang Pan

*Weather Center Weather Wing, C.A.F. R.O.C.*

### Abstract

The Dvorak method has been commonly used to determine the structure and intensity of tropical storms. Lately, with the satellite remote sensing techniques advancement, the viability of using microwave sensors in observing rainfall has been demonstrated by many scholars. Satisfactory results has also been made via these techniques in studying tropical storms .

This study employs both the SSM/I and the TMI sensor to study tropical storms. As the TMI sensor provides a better resolution, results indicate the storm center and it's circulation can be discerned more clearly, while the SSM/I is able to perform more observations. In addition, comparisons of each respective channel reveals that the 37GHz channel is more sensitive to lower level circulation, while the 85GHz channel is sensitive to ice crystals. Therefore, the 37GHz channel is considered more suitable in observing typhoon center, whereas the 85GHz channel can be used to determine areas of heavy rainfall or the presence of ice crystals. In the case study of Typhoon Melor, the determination of the center using microwave channels was close to obtained of JTWC. As for rainfall intensity and distribution, data from the 37GHz channel proved to be quite consistent with ground radar data.

**Keywords:** satellite remote sensing , lower level circulation , microwave channel