

利用 WRF 及輻射傳送模式模擬 KROSA 颱風於不同參數法設定下的 TRMM 微波頻道亮度溫度值

林永慶¹ 陳萬金²

¹空軍氣象聯隊第六基地天氣中心

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本文利用 Weather Research and Forecasting Model 模式(WRF)模擬 2007 年柯羅莎 (KROSA)颱風之垂直水象粒子分佈，輸入三維微波輻射傳送模式，模擬 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)衛星 TRMM Microwave Imager (TMI)各頻道的亮度溫度，並與實際觀測的亮度溫度進行比較。

本研究目的在於了解 WRF 模式在不同積雲參數及微物理的設定下，所輸出之垂直水象分佈並輸入輻射傳送模式模擬所得之亮度溫度，和衛星實際觀測值做比較，以了解不同 WRF 模式設定下，對於模擬亮度溫度值的影響。主要結果顯示，高頻 85-Ghz 在模擬上在降雨區域之亮度溫度值有明顯偏低的情形，因此顯示 WRF 模式冰晶粒子模擬上，數量有偏多的情形。

關鍵詞：WRF、輻射傳送模式

一、前言

全球每年約有 79 個颱風生成，其中，以西北太平洋地區生成的颱風最多也最強。而台灣正位於此區域內，平均每年約受到三到四個颱風的侵襲。因此，若能得到颱風的降雨分佈與強度，在防災應用上，不但能減少財產損失，更能減少生命傷亡。所以，對於建立一個良好的颱風定量降雨方法乃為重要的防災議題。

就颱風降雨的研究而言，可藉由雨量筒、雷達與衛星的觀測來進行，其觀測特性如下。雨量筒的觀測為單點的降雨觀測且設置地點多位於陸地上，因此當降雨在空間中的分佈不均勻時，就無法直接用來代表大範圍的降水分佈，特別在強對流性降水觀測中，以單一地面雨量計的資訊代表某一範圍內的降雨資訊，有可能會高估

或低估甚至完全無法測量到降雨，故不適用於建立大範圍的降雨估算。而就地基雷達觀測而言，雖然可以得到整個系統三維的降雨估算，但因地基雷達僅能針對陸地及陸地附近海域的降雨系統進行觀測，無法觀測到颱風於海上之降雨變化，因此，本研究想藉由氣象衛星可針對海上颱風進行大範圍觀測之優點進行降雨估計的研究。

在選擇衛星資料建立降雨關係時，可利用可見光、紅外線與微波頻道進行降水反演，但不同的資料有以分別有其優缺點，首先可見光雲圖是觀測到雲的反照率，因此受限於白天才能應用，且隨著太陽角度的不同，所觀察到的反照率就會有不同變化；而紅外線雲圖則是提供雲頂的資訊，與實際的降雨並無直接關係，且紅

外線雲圖會受卷雲影響，錯估系統的發展，進而高估降雨量。因此，本研究選擇以微波頻道進行降雨估算，原因在於利用微波頻道進行降雨觀測時，藉由微波頻道對於雲有很強的穿透性，可直接顯示出雲下的降雨強度。

利用微波頻道進行降雨反演的研究，概可分統計法及物理法兩種。統計法利用統計的方式，收集衛星亮度溫度及降雨資料建立一組迴歸方程，以便在衛星通過時，可反演降雨值。統計法的優點是不需要輻射傳送模式，因此不受模式誤差的影響，當然藉由統計方式得出之反演式，其迴歸方程及相關係數，也就無法得到大氣中的水象粒子垂直分佈及其物理意義；Kidder et al. (1998)在研究中曾指出，統計法主要的缺點為：在低降雨率時表現較佳，而在強降雨的表現較差。因在缺少強降雨發生的情況下，統計法所反演的強降雨，和實際強降雨之間的關係是薄弱的。統計法的驗證資料和衛星資料的相關係數之所以不佳，大部份係因地理位置匹配錯誤所致，若能去除匹配錯誤的因素，則相關係數可達 0.7 至 0.8。

物理法的反演則具備了可明白解析大氣垂直水象結構的優點，因此可用來分析反演結果的優劣，並藉由模擬的結果來建立更好的降雨反演式。然而在 Mircea et al. (2006)研究指出，於不同的微物理參數化設定下，會有明顯的垂直水象分佈。此外在輻射傳送方程(radiative transfer equation)計算方面，Liu(2004)研究指出在不同的頻率下(85.5, 150, and 220-GHz)，用形狀或近似方程來的方式來估算粒徑分佈、粒子散射及放射的效應下，其亮度溫度的計算就會有 3K 的差異，顯示利用物理法的方式來建立降雨反演式時仍有不少的問題需要解決。

因此本研究主要是以 WRF 當作是雲模式來模擬 2007 年柯羅莎(KROSA)個案，並利用 Liu 的輻射傳送模式，來模擬衛星觀測的亮度溫度值並對於其差異作初步分析，以了解不同的參數設定下對於輻射傳送模式模擬後的差異。

二、模式介紹及設定

2.1 WRF 模式及設定

本研究將採用 WRF v2.2.1 版本來探討颱風垂直水象分佈。天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting Model, WRF)模式屬於差分模式，是由美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)等團隊共同研發，為最新一代中尺度數值天氣預報系統，適用空間尺度從數十公尺到數千公尺。本研究之初始場及邊界值是採用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的最終分析資料(Final Analysis, FNL)，其空間及時間解析度分別為 1 個經緯度及 6 小時，垂直層數為 31。

WRF 模式中微物理法(scheme)，計有 Lin et al.、WRF Single-Moment 3-class (WSM3)、WRF Single-Moment 5-class (WSM5)、WRF Single-Moment 6-class (WSM6)、Eta Grid-scale Cloud and Precipitation 及 Thompson et al.等六種方法。其中有 Lin et al.(1983)、Thompson et al.(2004)及 WSM6 三種方法，可以產生本研究所需之雨(rain)、雲水(cloud liquid water)、霰(graupel)、雲冰(cloud ice water)、雪(snow)等垂直水象。劉(2007)研究指出，將 WRF 模式模擬梅雨降雨系統之結果與同時間雷達觀測資料相比，在水象粒子混合比方面，Lin et al.法模擬冰及雪比雷達低估 5~10 倍以上；Thompson et al.法對冰的模擬則比雷達低估 10~1000 倍以上；WSM6

法模擬陸上對流胞個案的冰及雪比雷達低估約 5 倍。在此三種方法中，Lin et. al.法有產生較多的液態水的趨勢，WSM6 法有產生較多的冰和軟雹/冰雹的趨勢；Thompson et. al.法則有產生較少的冰和軟雹/冰雹的趨勢。

WRF 模式的邊界層參數法計有 Medium Range Forecast Model(MRF)、Yonsei University (YSU) 以及 Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)等 3 種。此外，在 WRF 模式當中還有 3 種積雲參數法的使用：Kain-Fritsch(KF)、Betts-Miller-Janjic (BMJ)、Grell-Devenyi Ensemble (GD)。根據簡等人(2006)研究台灣地區梅雨地區小雨模擬是以 YSU 邊界層參數法較好，在華南地區 KF 積雲參數法搭配 WSM5 微物理法，但是 WSM5 微物理法無法獲得霰的值，因此本研究之設定，在微物理參數法選用 WSM6 法及跟 Thompson 法，積雲參數法則選用 KF 及 GD，邊界層參數法選用 YSU，來測試不同組合下的垂直水象分佈對於亮度溫度下的模擬情形。

Jankov and Gallus (2005)研究 WRF 模式模擬暖季中小尺度降水系統對各種參數法的差異性，發現降雨對積雲參數法的敏感度最大，其次為邊界層參數法，最後為微物理參數法。

本研究以西行颱風柯羅莎(KROSA)為個案，為了與 TRMM 衛星的 TMI 實際觀測值作比對，空間解析度設定為 10km；模擬期間從 2007 年 10 月 3 日 00(UTC)至 2007 年 10 月 7 日 00(UTC)，TRMM 衛星共計 4 次觀測到本個案，其 10GHz 的垂直極化圖(如圖 1)。

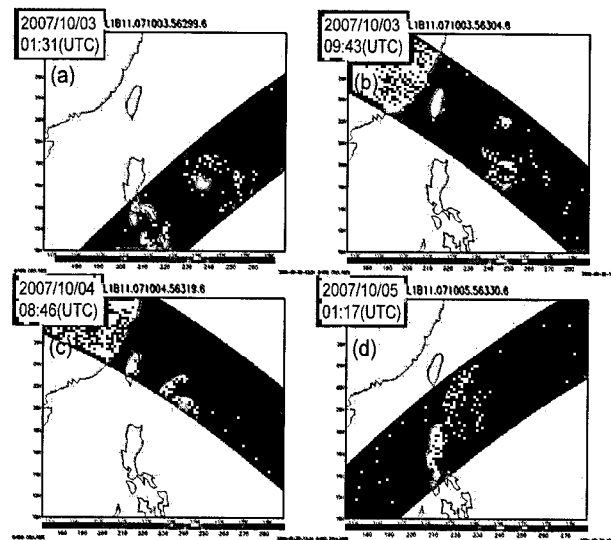


圖 1 TRMM 衛星觀測到 2007 年 KROSA 颱風之 10-GHz 垂直極化圖

2.2 Liu 的輻射傳送模式

本研究使用的輻射傳送模式 radiative transfer models, RTM) 是佛羅里達州立大學(Florida State University) Prof. Guosheng Liu 所發展的，以下稱 LRTM。模式的計算是以三維空間分佈的水象粒子之輻射傳送模式，計算輸出模擬之液態水總量、冰水總量、垂直及水平的亮度溫度值等，計算亮度溫度時需輸入垂直水象(包含雲水、雲冰、雪、雨、霰)及其他溫度、壓力、高度、相對濕度等物理量，模式計算大綱(如圖 2)。

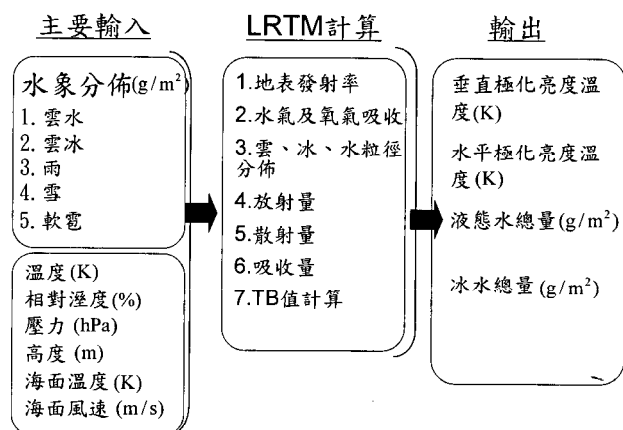


圖 2 LRTM 計算流程，包含主要輸入、LRTM 計算及輸出(根據 LRTM 程式整理)

本研究以模擬 TRMM 衛星的亮度溫度值為目標。因此，所設定的頻率分別為 10.65、19.4、21.3、37.0 與 85.5-GHz；地面設定為菲涅耳 (Fresnel) 平面；餘弦設定為 52.8 度 (天頂角約 52.8 度)。在不同的頻率設定下，分別得到各個頻率的垂直及水平之亮度溫度。

LRTM 是利用離散座標法 (Discrete Ordinate Method) 來求解 RTM 方程。輻射強度則透過蒲郎克函數 (Planck's function) 轉換為亮度溫度值；光學厚度: optical depth) 與單次散射反照率 (single scattering albedos) 乃依照標準米氏理論 (Mie theory) 計算。另外在 LRTM 中相位函數是依 Henyey-Greenstein 來近似，並以 Legendre 多項式的方式展開。非對稱因子 (asymmetric factor) 的也是依照米氏理論計算。

Liu 的輻射傳送模式，在計算大氣的放射及散射粒子的計算如以下公式(2.1)：

$$dI(z; \mu, \varphi) = -K_e I(z; \mu, \varphi) \frac{dz}{\mu} + K_a B\{T(z)\} \frac{dz}{\mu} + K_s \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 I(z; \mu', \varphi') P(\mu, \varphi; \mu', \varphi') d\mu' d\varphi' \frac{dz}{\mu} \quad \dots (2.1)$$

dI 是 I (輻射強度) 在方位 μ ($\mu = \cos\theta, \varphi$) 上的強度變化； K_e ($K_e = K_s + K_a$)、 K_a 、 K_s 分別為削弱、吸收、散射係數，因次為面積/質量； $B\{T(z)\}$ 為溫度 T 的黑體輻射， $P(\mu, \varphi; \mu', \varphi')$ 是表示散射相位函數；在 LRTM 的程式中，並不計算放射係數，而是在局地熱力平衡的假設下，計算吸收係數與散射係數。

若以光學厚度 τ ($d\tau = -K_e dz$) 及單次散射反照率 ω_0 ($\omega_0 = K_s / K_e$) 表示，則公式 (2.1) 可改寫為如公式(2.2)：

$$\mu \frac{dI(\tau; \mu, \varphi)}{d\tau} = I(\tau; \mu, \varphi) - (1 - \omega_0) B\{T(z)\} - \frac{\omega_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 I(\tau; \mu', \varphi') P(\mu, \varphi; \mu', \varphi') d\mu' d\varphi' \quad \dots (2.2)$$

在微波的波長區間 (波長大於 0.5

cm)，依 Rayleigh-Jeans 輻射定律，黑體輻射與溫度為線性關係 ($B \approx \frac{2K_B}{\lambda^2} T$)，可將公式 (2.2) 改寫如公式(2.3)：

$$\mu \frac{dT_b(\tau; \mu, \varphi)}{d\tau} = T_b(\tau; \mu, \varphi) - (1 - \omega_0) T - \frac{\omega_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 T_b(\tau; \mu', \varphi') P(\mu, \varphi; \mu', \varphi') d\mu' d\varphi' \quad (2.3)$$

三、實驗設計及 WRF 模擬結果

3.1 實驗設計

本次模擬空間解析度設定為 10Km，採單層網格，垂直層為 31 層，模擬時間從 2007 年 10 月 4 日 00UTC 開始模擬 72 小時，結束時間為 2007 年 10 月 7 日 00UTC，並在微物理參數法選用 WSM6 法及 Thompson 法，在模式設定選擇為 6 跟 8，積雲參數法則選用 KF 及 GD，在模式設定選擇為 1 跟 3，邊界層參數法選用 YSU，在模式設定選擇為 1，來測試不同組合下的垂直水象分佈對於亮度溫度下的模擬情形。

因此以 WSM6、YSU、KF 的設定以下簡稱 611 設定、WSM6、YSU、GD 的設定以下簡稱 613 設定、Thompson、YSU、KF 的設定以下簡稱 811 設定、Thompson、YSU、GD 的設定以下簡稱 813 設定，共四組設定。

3.2 WRF 不同設定對颱風路徑影響

比較不同設定下對柯羅莎颱風中心的模擬情形(如圖 3)，模擬上颱風中心定位方式為選取 700mPa 環流中心，並與聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, 以下簡稱 JTWC)比較，比對模擬跟 JTWC 的路徑差異(如圖 4)，平均誤差以 613 組的誤差值 57.0 Km 最小，以本次模擬來看，改變微物理 WSM6 設定或 Thompson 設定對於路徑的影響改變不大(兩者平均路徑差異小於 4km)，但將積雲參數法 KF 改由 GD 設定後，對於路徑影響差異比較明顯，平均誤差上有 15Km 以上的改進。

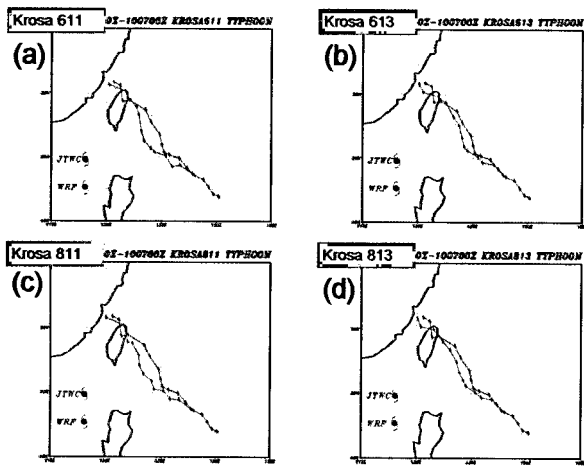


圖 3 不同 WRF 模式輸出最低氣壓值中心與 JTWC 發佈的定位資訊。每六個小時一筆，(a) 611 設定 (b) 613 設定 (c) 811 設定 (d) 813 設定。

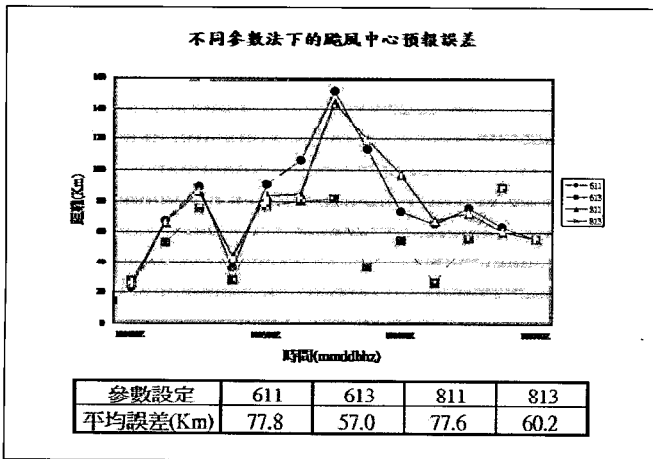


圖 4 不同 WRF 參數設定下的路徑模擬跟 JTWC 的模擬誤差。

3.3 不同設定下之 WRF 輸出

WRF 模式設定時，模擬範圍是以蘭伯特(Lambert)的方式計算，且實際觀測的 TMI 資料，是非固定網格點分佈，所以為了比對資料，統一將資料內插至 10km 解析度的直角網格上。

分析模擬 25hr 後不同設定下的降雨分佈(如圖 5)，不同設定下颱風降雨的範圍相近，但跟實際 TRMM 衛星觀測 PR 的地面降雨分佈(如圖 6)比較，颱風眼偏大，降雨強度偏弱；比較積雲參數法對降雨分佈的影響，KF 設定所模擬之降雨分佈較 GH 設定分佈連續，比較四組設定下之降雨強度，以 811 設定在降雨模擬上強度最大。

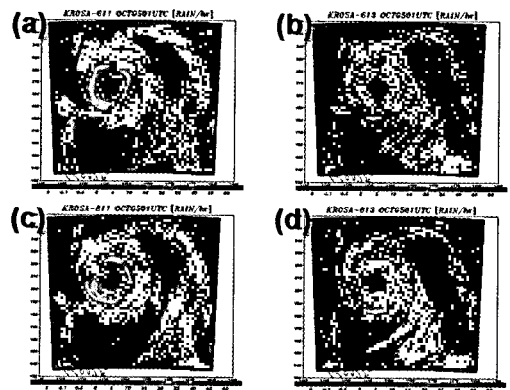


圖 5 不同 WRF 參數設定下模擬 25 小時(2007 年 10 月 05 日 01 UTC)的降雨分佈，(a) 611 設定，(b) 613 設定，(c) 811 設定，(d) 813 設定。

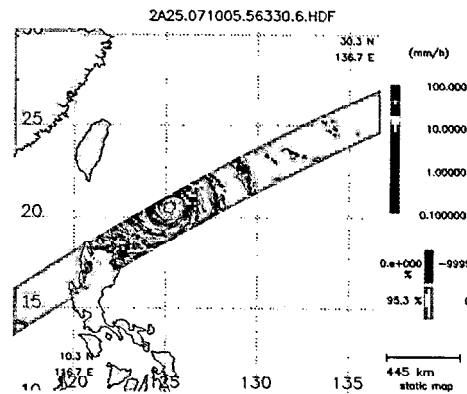


圖 6 2007 年 10 月 05 日 0118UTC，TRMM 衛星 PR 的近地面降雨分佈圖。

以降雨以分佈機率直方圖(如圖 7)分析降雨分佈，在相同積雲參數設定下，比較不同微物理參數法 WSM6 法及 Thompson 法，WSM6 在模擬小雨 (< 5mm/hr) 的發生頻率較高；在固定微物理參數法，由積雲參數法 KF 改用 GD 時，GD 設定下小雨發生頻率的增加，大雨發生頻率降低。

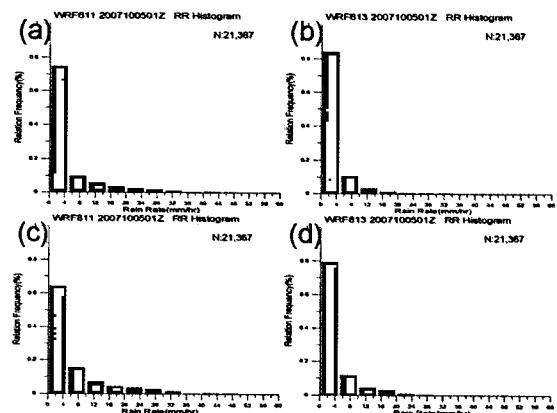


圖 7 不同 WRF 模式設定下之降雨分佈頻率(以 5 mm/hr 為間格)(a) 611 設定，(b) 613 設定，(c) 811 設定，(d) 813 設定。

分析不同的參數設定下，降雨跟 19GHz 垂直亮溫分佈關係(如圖 8)，以分佈的型態來看，各組設定下的飽和點，GD 設定較 KF 設定飽和點的亮度溫度較高(大於 280K)組且分佈較集中，並以 813 組的設定下較飽和點偏低。

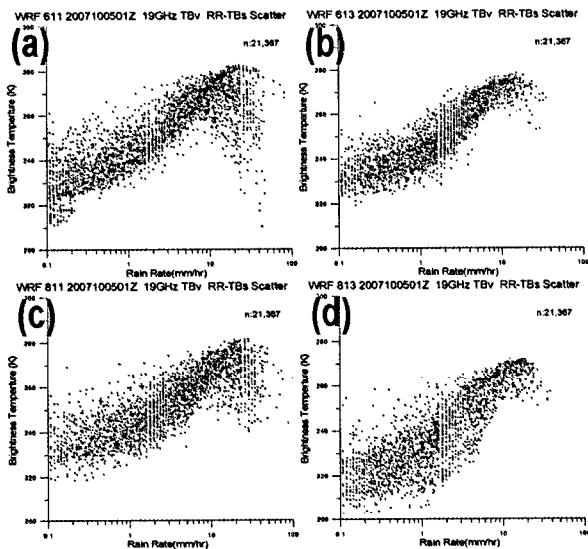


圖 8 不同 WRF 模式設定，降雨(大於 0.1mm/hr)跟模擬 19GHz 垂直亮溫的分佈關係，(a) 611 設定，(b) 613 設定，(c) 811 設定，(d) 813 設定。

四、不同參數下的亮溫模擬比較

TRMM 衛星的亮溫(如圖 9)2007 年 10 月 5 日 0118(UTC)，取 19GHz 垂直亮溫資料跟 WRF 模擬相近時間(2007 年 10 月 5 日 0100UTC)之模擬結果比較(如圖 10)，可以了解在模式未將渦漩植入的情況下，以模擬出來的亮度溫度上的分佈來看，即使在不同的參數設定下，在颱風的模擬上強度容易偏低，特別跟降雨分佈來分析(如圖 5、圖 6)，在颱風中心旁的環流結構，比對降雨跟亮溫的分佈關係，以 19GHz 垂直亮溫分佈來看，模擬上配置合理(有降雨點，亮溫增加)，以下用亮溫機率分佈來比較各頻率模擬之差異。

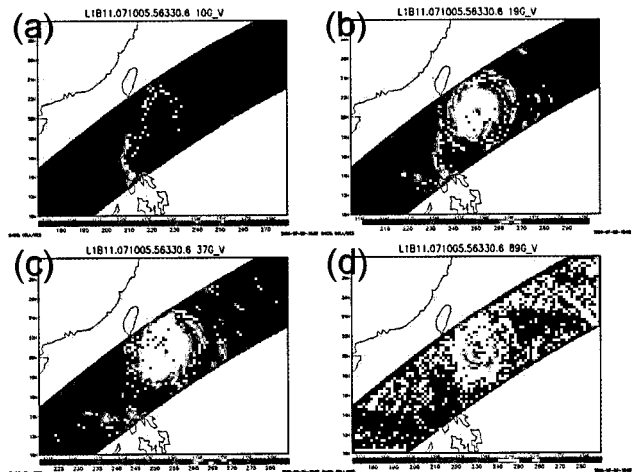


圖 9 TRMM 衛星 TMI 實際觀測資料，觀測時間 2007 年 10 月 05 日 0118(UTC)，(a)10GHz TBv 垂直亮溫，(b) 19GHz TBv 垂直亮溫，(c) 37GHz TBv 垂直亮溫，(d) 85GHz TBv 垂直亮溫。

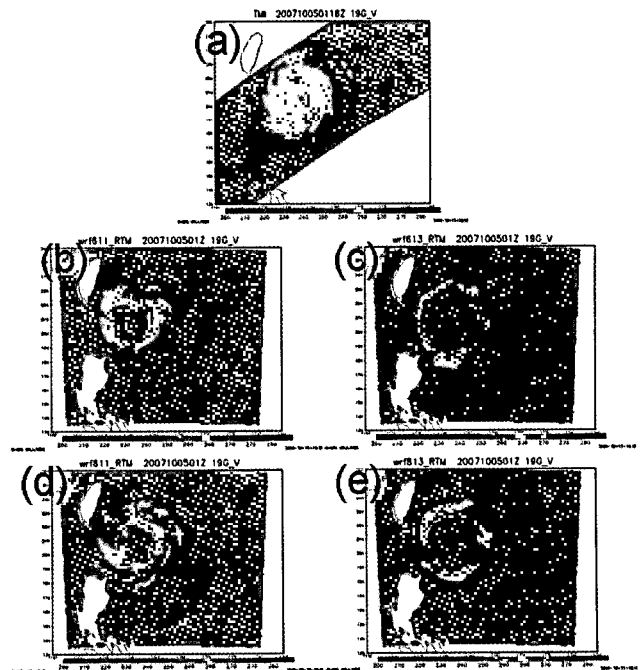


圖 10 比較實際跟模擬之 19GHz 垂直亮溫分佈 (TBv)，(a)TRMM 衛星觀測 TMI 亮溫分佈，(b) 611 設定，(c) 613 設定，(d) 811 設定，(e) 813 設定。

分析 10GHz(圖 11)垂直亮溫模擬跟實際的比對，頻率上較多的是在低亮溫的範圍，分佈並大約是 170~180 之間。

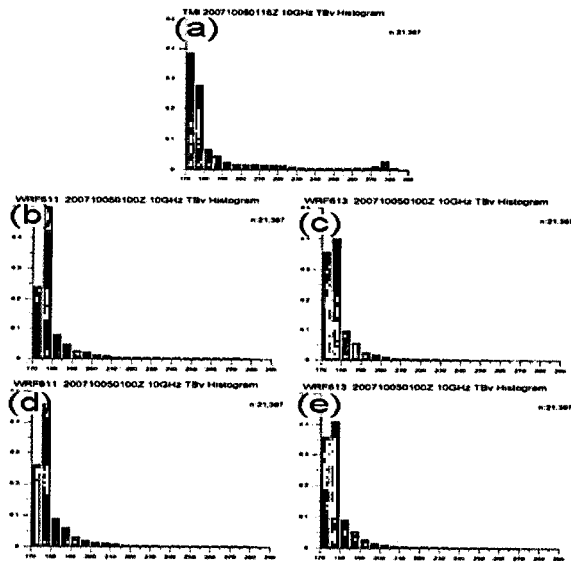


圖 11 10GHz 垂直亮溫分佈(TBv) 相對頻率直方圖，(a)TRMM TMI 亮溫，(b) 611 設定，(c) 613 設定，(d) 811 設定，(e) 813 設定。

在 21GHz 垂直亮溫(圖 12)模擬跟實際的比較可以知道，實際的分佈機率較廣，模擬的亮溫分頻率較集中，並主要集中分佈於 245~255K 之間，實際分佈較集中 240~255K 之間。

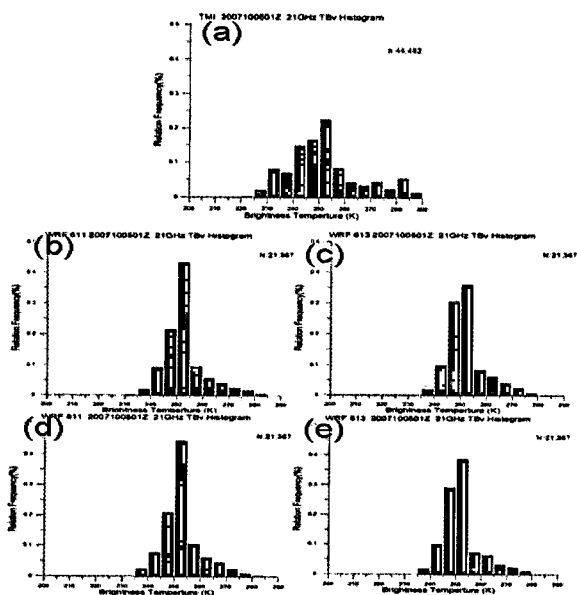


圖 12 21GHz 垂直亮溫分佈(TBv) 相對頻率直方圖，(a)TRMM TMI 亮溫，(b) 611 設定，(c) 613 設定，(d) 811 設定，(e) 813 設定。

在 85GHz 垂直亮溫(圖 13)模擬跟實際的比較下，四組設定下分佈的差異性相近，但跟實際分佈差異很大，模擬下的亮溫分佈主要集中在 225~235K，但實際的觀測資料是集中在 270~280k 之間，顯示可能在模擬高頻亮溫上，散射計算量過大，使亮度溫度偏低，顯示以本個案顯示，利用本研究模擬的亮度溫度值，在高頻上有較大的差異性。

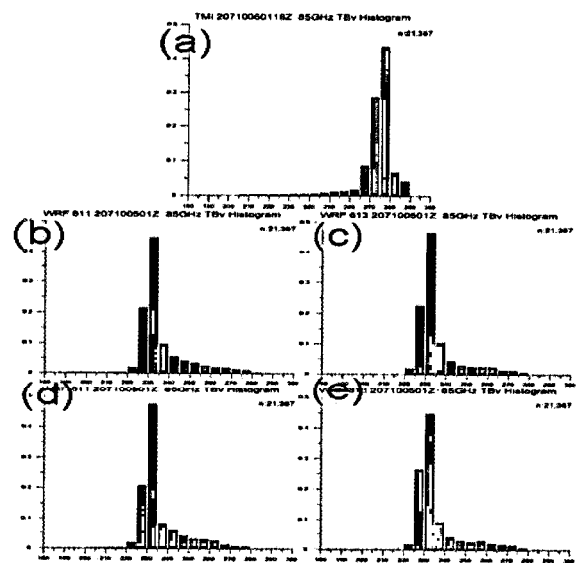


圖 13 85GHz 垂直亮溫分佈(TBv)相對頻率直方圖，(a)TRMM TMI 亮溫，(b) 611 設定，(c) 613 設定，(d) 811 設定，(e) 813 設定。

五、結論與未來展望

結果顯示在不同設定下，以本次為例 WRF 對於 KROSA 的模擬上，以路徑模擬而言，以 613 組的誤差值為 57.0 Km 為最小。但是對於降雨強度上，由於沒有進行渦漩植入，因此模擬結果顯示四組設定下，颱風於模擬上強度均偏低。

而在颱風的亮度溫度模擬上，以直方圖分析發現，在低頻下(10GHz、21GHz)模擬的結果相當，在高頻(85GHz)下差異性最大，發現在散射量有明顯高估的情形，因此顯示在 WRF 模擬冰晶數量時須修正其

模擬的數量，才會在模擬高頻亮度溫度上會有較好的結果。

未來將測試不同的粒徑分佈下，以降低在高頻上的模擬差異，最後希望建立颱風海上降雨跟 10GHz、19GHz、21GHz 極化差值的資料庫，以 Bayesian 的統計概念，求出於衛星觀測下的颱風海上降雨估計。

參考文獻

- 劉妍利，2007 “梅雨降水系統的雙偏極化雷達資料分析與 WRF 模式模擬研究”，碩士論文，國立中央大學，桃園，93 頁。
- 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎，2006 “WRF 模式之敏感度測試，第二部份：定量降水預報校驗”，大氣科學，第 34 期，第 3 號，第 261-276 頁。
- Jankov, I. and William A. Gallus JR. and others, 2005: The impact of different WRF model physical parameterizations and their inter- actions on warm season MCS rainfall. *Weather and Forecasting*, 20, 1048-1060.
- Kidd, C., Kniveton, D. R., and Barrett, E. C., 1998: The advantages and disadvantages of statistically derived-empirically calibrated passive microwave algorithms for rainfall estimation, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 55, Issue 9, pp. 1576-1582.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.
- Liu G., 2004., “Approximation of Single Scattering Properties of Ice and Snow Particles for High Microwave Frequencies,” *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 61, pp. 2441-2456.
- Mircea G., William S. O., “Bayesian Estimation of Precipitation from Satellite Passive Microwave Observations Using Combined Radar–Radiometer Retrievals”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 45, Issue 3, pp. 416–433 1600, 2006.
- Thompson, G., R.M. Rasmussen and K. Manning, 2004: Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 519-542.

Simulated TRMM microwave bright temperature of Typhoon Krosa by WRF and radioactive transfer model in different parameter method

¹ Yung-Ching Lin ² Wan-Jin Chen

¹ *The Sixth Weather Squadron of CAF, ROC*

² *Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University*

ABSTRACT

This article uses WRF model to simulate 2007 Typhoon Krosa vertical structure, and input the result of WRF simulation to 3-D radioactive transfer model for simulating microwave bright temperatures of Tropical Rainfall Measuring Mission. In order to evaluate the biases, we compare the simulated values with the observational bright temperatures.

This study aims to know the effects of the bright temperatures under different setting conditions when using WRF model in different cumulus and microphysics parameterization. The results showed that the bright temperature of 85-GHz in the rainy area is obviously lower than that of observation. Therefore, in this case, we understand that the WRF simulations were with much more ice crystal than we expected.

Key words: WRF 、 Radioactive Transfer Models