

結合WRF模式及輻射傳送模式模擬KROSA颱風的 TRMM TMI微波頻道亮度溫度值

陳萬金 林永慶
國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本研究利用WRF模式(Weather Research and Forecasting Model)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(Guosheng Liu)，模擬TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)衛星TMI(TRMM Microwave Imager)各頻道的亮度溫度，並將模擬所得之亮度溫度和衛星實際觀測值做比較。此外，本研究嘗試以改變垂直水象變化分佈，測試Liu的輻射傳送模式對於各項水象分佈的敏感度。

關鍵字：輻射傳送模式，TMI，WRF

一、前言

西行颱風常造成台灣地區人力及物力上的損失，因此在防災上建立準確的颱風降雨估算更顯重要。當颱風位於海上，利用衛星資料求取海上降雨強度，將有助於估計颱風降雨的可能影響及損失。故利用模式建立降雨估算的資料庫及反演海上降雨，對於颱風研究，將有相當大的幫助。

海上降雨反演的研究，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；Kidd 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，但由於物理法是利用雲模式來模擬水象垂直結構，Mircea et al. (2006)研究指出，不同的微物理參數化設定，則會有不同的垂直水象分佈結果。但是雲模式的垂直水象分佈結果無法涵蓋所有大自然的垂直水象分佈情形，因此雲模式的輸出便會有一定程度的誤差存在。Liu(2006)針對不同的等質量球體長短軸設定的研究，經由輻射傳送方程(radiative transfer equation)計算，各種不同水象粒徑分佈、粒子散射及放射的假設，發現其亮度溫度的計算會有3K的差異。

本研究主要是以WRF當作是雲模式來模擬2007年柯羅莎(KROSA)的垂直水象分佈，並利用Liu(2006)輻射傳送模式，來計算亮度溫度值並對於分佈情形作初步分析。最後透過改變WRF輸出之垂直水象分佈數量，來了解Liu(2006)輻射傳送模式於計算亮度溫度時的敏感度測試，並將結果加以分析。

二、模式介紹及設定

(一)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；以下簡稱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)等團隊共同研發，為最新一代中尺度數值天氣預報系統，解析度可從數公尺到數千公尺。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)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(以下簡稱WSM3)、WRF Single-Moment 5-class(以下簡稱WSM5)、WRF Single-Moment 6-class(以下簡稱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。因此該研究指出，雲微物理參數法選用WSM6法在模擬水象粒子混合比上會有較佳結果。

WRF模式的邊界層參數法計有Medium Range Forecast Model(以下簡稱MRF)、Yonsei University(以下簡稱YSU)、Mellor-Yamada-Janjic(以下簡稱MYJ)等3種。此外，WRF模式中還有3種積雲參數法：Kain-Fritsch(以下簡稱KF)、Betts-Miller-Janjic(以下簡稱BMJ)、Grell-Devenyi Ensemble(以下簡稱GDE)。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，邊界層參數法選用YSU，積雲參數法則選用KF。

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)。

(二)Liu的輻射傳送模式

本研究使用的輻射傳送模式是佛羅里達州立大學(Florida State University) Prof. Guosheng Liu所發展的。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)。

Liu的輻射傳送模式，可以針對不同的地表(分為海洋、陸地、海岸)、不同的含鹽量及不同的冰的形狀做設定；在2006年5月21日所更新的版本中，該模式已可將雲片設定分為三種不同形狀(如圖3)。

三、資料分析

(一)WRF輸出

WRF模擬柯羅莎颱風的路徑圖(如圖4)，颱風中心定位方式，是用模式輸出之地表氣壓場，取最低氣

壓中心，與聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, 以下簡稱JTWC)比較。模擬開始時，WRF模擬的中心定位與JTWC中心定位差異較大，但之後差異便逐漸減小。比較有TRMM通過的4個時間點，則以2007年10月5日01(UTC)模擬的颱風中心與實際最相近。

分析模擬的時間2007年10月5日01(UTC)WRF模式輸出的垂直水象分佈(如圖5)及水象粒子各層垂直分佈的平均值(如

表1)，發現平均垂直溫度(temperature)0°C是介於18到19層之間(如圖5.(a))；在冰的平均垂直分佈的兩個極值，分別位於第16及21層(如圖5.(b))；霰的平均垂直分佈，主要還是在17層之上(如圖5.(c))；雪的平均垂直分佈極值位於第24層，且主要的範圍為18層之上(如圖5.(d))；雨的平均垂直分佈則在0°C之下(如圖5.(e))；雲水的平均垂直分佈，由低層向上增加，極值分佈在0°C之下附近(如圖5.(f))。

(二)模擬與實際觀測之亮溫分佈

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，也是以非固定網格點方式，所以為了比對資料，統一將資料內插至10km解析度的網格點上。

以2007年10月5日01(UTC)單一時間點，比較WRF模擬與TMI實際觀測資料，實際觀測的10GHz的垂直亮度溫度圖(如圖6.(a))，並無法解析出比較明顯颱風雨帶分佈，若以WRF模擬之亮度溫度分佈(如圖6.(b))跟模擬之近地面降雨(如圖6.(c))相比，則可以分辨出雨帶分佈之相關位置。分析亮度溫度值的數值分佈(如圖6.(d))，發現在模擬颱風降雨的地方，模擬之亮度溫度會大於觀測值。

比較其他頻道(21GHz、37GHz、89GHz)的WRF模擬結果與TMI實際觀測資料分析(如圖7)，TMI實際觀測資料在高頻(89GHz)時，才有較明顯的颱風中心及環流，以WRF模擬颱風中心的環狀半徑，明顯相較於TMI實際觀測的還要大；比較WRF模擬與實際觀測亮度溫度的差值發現，在低頻(21GHz、37GHz)時差值多為負數，亦即模擬之雨帶亮度溫度值會低於實際觀測值。

圖8為在緯度19°N~22°N及經度123°E~127°E的範圍中，TMI實際觀測資料跟WRF模擬所得之亮度溫度各頻道分佈圖，由圖中顯示TMI實際觀測之亮度溫度分佈範圍皆小於WRF模擬之分佈範圍，此外實際的亮度溫度值標準差皆小於模擬之亮度溫度值標準差(表2)。

四、輻射傳送模式敏感度測試

此外，本研究嘗試以改變垂直水象變化分佈，測試Liu的輻射傳送模式對於各項水象分佈的敏感度。起初先僅將霰的垂直分佈量增加一倍(如圖 9)，觀察低頻(10GHz、21GHz)的垂直亮度溫度分佈圖，其分佈型態無明顯改變；但是在高頻(89GHz)的分佈上，其亮度溫度低值分佈明顯增加，顯示增加霰的垂直分佈量，就會增加計算高頻的亮度溫度時的散射量，導致計算出的亮度溫度值會降低所致。

其次將包括霰之五項水象的垂直分佈量，分別增加一倍，測試其對於各頻道對亮度溫度的影響(如表 3)。

若以頻道來看，在10GHz增加一倍的雨分佈，對於亮度溫度值影響最大，其平均改變百分比為6.58%，因此可知增加雨的分佈會增加亮度溫度值；在21GHz對於雨、雲水、霰的平均改變百分比為1.72%、1.32%、-1.73%影響最為明顯，雨、雲水對於亮度溫度值是增加，而增加霰的量對於亮度溫度值為減少；在89GHz對於雪水、霰、雲水的影響最明顯，其改變百分比分別為-1.76%、-7.72%、1.27%。

若分別從5個水象垂直分佈量在10GHz、21GHz、89GHz不同頻道上，對亮度溫度的影響加以分析：增加一倍雪分佈量，頻道越高則亮度溫度值會減少得越明顯；增加一倍雨分佈量，在低頻(10GHz)時亮度溫度值會明顯增加，而在高頻(89GHz)時亮度溫度值的平均改變百分比為負值，表示亮度溫度值大多會降低；增加一倍冰分佈量，在各頻道的改變量較不明顯；增加一倍霰分佈量，頻道越高則亮度溫度值會減少得越明顯，改變的程度更勝於增加一倍雪分佈量的影響；增加一倍雲水分佈量，對各頻道的亮度溫度值增加都有影響，但差異不大。

五、結論

WRF模式模擬在水象上的分佈情形上，大致與溫度層的分佈相同，溫度低於0°C是以冰象粒子分佈為主，溫度高於0°C則多為水象粒子。

WRF模式在模擬颱風路徑上有一定的誤差，特別是在模擬颱風生成前後，對於颱風中心的定位，以WRF輸出之最低氣壓定出之颱風中心與JTWC實際觀測結果距離偏差過大，但隨著颱風強度逐漸增加，兩者之間的差距則逐漸變小。

對於亮度溫度的計算仍有許多模擬的誤差，係因是無法準確模擬各種垂直水象粒子的分佈及數量，再加上輻射傳送模式的實際計算本身就有其預定之各項水象大小分佈設定，因此在模擬亮度溫度時，就會產生明顯的差異。

將五項水象的垂直分佈量分別增加一倍，測試其對於各頻道對亮度溫度的影響對於各頻道的影響，發現在低頻(10GHz)亮度溫度值是最靈敏的是雨分佈的改變，高頻(89GHz)則是霰分佈的改變最靈敏的；冰在各頻道沒有太大的影響；而雲水則是在各頻道都有增加，但差異較不顯著；雪分佈量的增加，會在高頻時使得亮度溫度值降低。

未來將可以其他颱風作為模擬的對象，用以探討在WRF模式的各項水象粒子的分佈，是否有系統性的高估或低估的情形，以便修正其分佈情形，降低模擬亮度溫度的誤差。亦可以WRF模式模擬颱風個案，建立亮度溫度及降雨值的資料庫，反演海上降雨。對於Liu的輻射傳送模式，則需深入了解其計算架構，以便將其他研究顯示之各種不同水象分佈量及計算設定，代入其模式中，探討所得到不同的亮度溫度之差異性及其涵意。

六、參考文獻

- [1] Jankov, Isidora and William A. Gallus JR. and others, 2005: The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall. *Weather and Forecasting*, 20, 1048-1060.
- [2] Kidd, C., Kniveton, D., and Barrett, E. C., "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, 1998.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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, 25-27.
- [8] 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, "WRF 模式之敏感度測試，第二部分：定量降水預報校驗"，

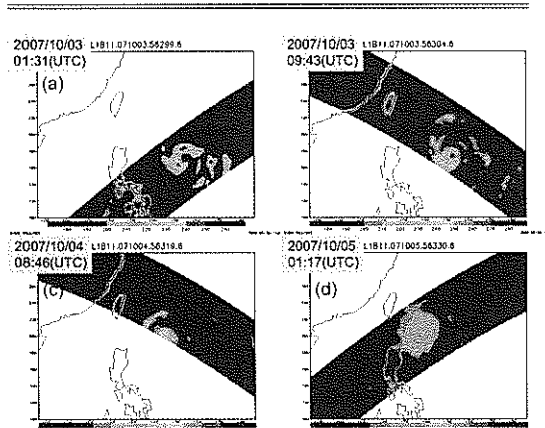


圖 1. TRMM 衛星觀測到 2007 年 KROSA 颱風之 10GHz 垂直極化圖

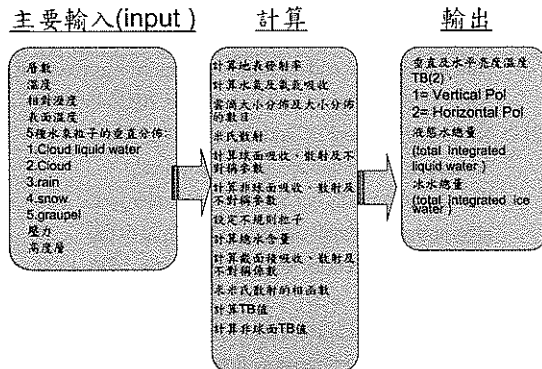


圖 2. Liu 輻射傳送模式，輸入、計算及輸出圖。

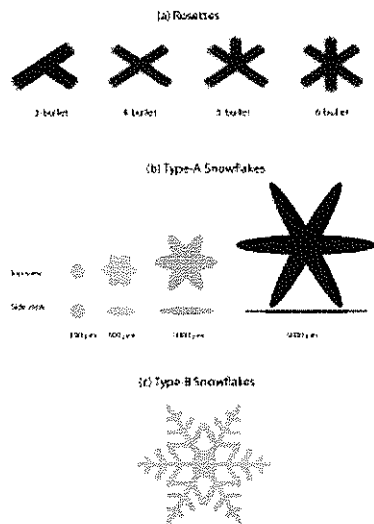


圖 3. Liu 輻射傳送模式的塵於雪片的設定 (a)玫瑰花、(b) type-A 雪片、(c) type-B 雪片

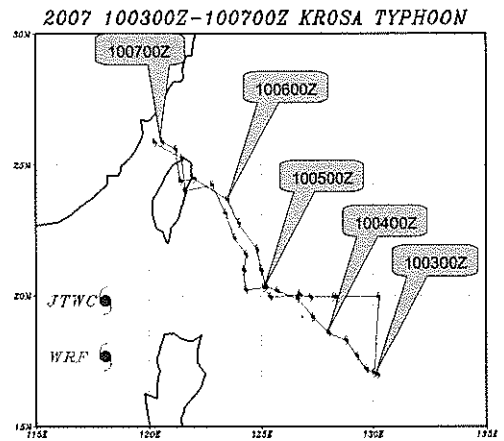


圖 4. WRF 模式輸出最低氣壓值中心跟 JTWC 發佈得定位資訊，每六個小時一筆。

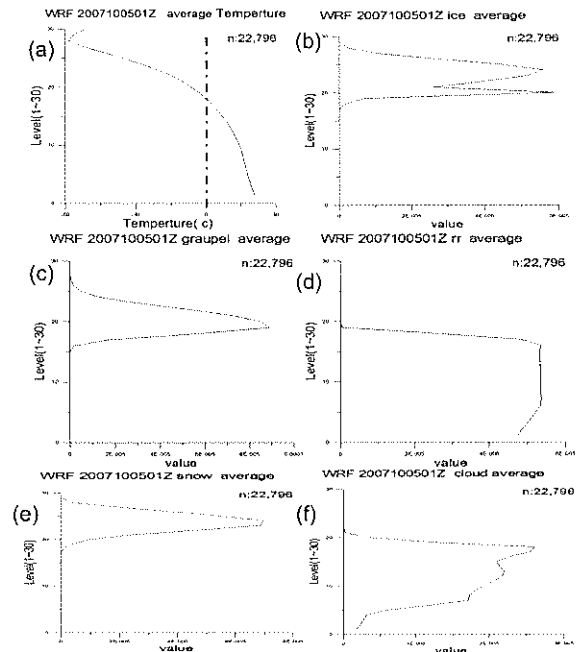


圖 5. WRF 模擬 2007 年 10 月 5 日 01(UTC) 的垂直水象平均分布。
 (a) 平均垂直溫度分布，點虛線為 0°C 位置，
 (b) 平均垂直冰分布，
 (c) 平均垂直霰分布，
 (d) 平均垂直雨分布，
 (e) 平均垂直雪分布，
 (f) 平均垂直雲分布。

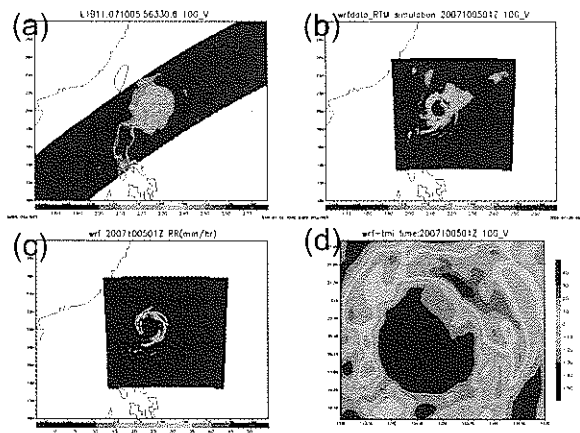


圖 6. 2007 年 10 月 5 日 10GHz 頻道 TMI 實際觀測及 WRF 模擬輸出之亮度溫度及地面降雨圖。
 (a) TMI 實際觀測 2007 年 10 月 5 日 0117 (UTC) 之 10 GHz 垂直極化亮度溫度圖；
 (b) WRF 模擬 2007 年 10 月 5 日 0100 (UTC) 10 GHz 頻道之垂直極化亮度溫度圖；
 (c) WRF 模擬 2007 年 10 月 5 日 0100 (UTC) 之地面降雨；
 (d) 2007 年 10 月 5 日 01 (UTC) WRF 與 TMI 實際觀測在緯度 19°N~22°N 及經度 123°E~127°E 範圍內的亮度溫度差值。

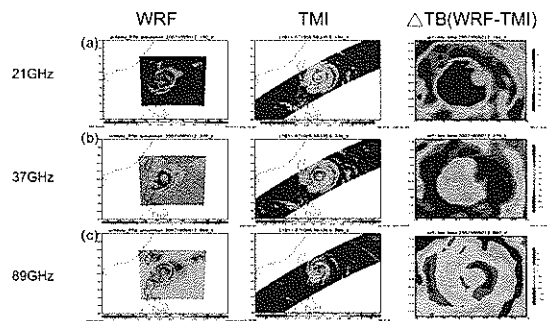


圖 7. WRF 模擬、TMI 觀測及其差值在 21GHz、37GHz、89GHz 頻道之亮度溫度圖。
 第 1 列為 WRF 模擬資料，
 第 2 列為 TMI 觀測資料，
 第 3 列為 WRF 與 TMI 的亮度溫度差值；
 (a) 行為 21GHz 頻道；
 (b) 行為 37GHz 頻道；
 (c) 行為 89GHz 頻道。

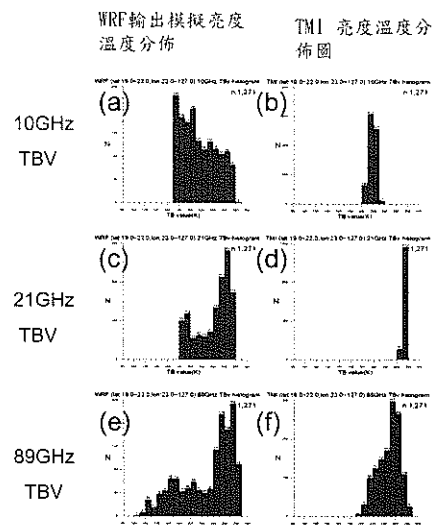


圖 8. WRF 模擬輸出及 TMI 實際觀測在緯度 19°N~22°N 及經度 123°E~127°E 範圍內 10GHz、21GHz、89GHz 頻道之分佈圖。
 (a) WRF 10GHz 垂直亮度溫度；
 (b) TMI 10GHz 垂直亮度溫度；
 (c) WRF 21GHz 垂直亮度溫度；
 (d) TMI 21GHz 垂直亮度溫度；
 (e) WRF 89GHz 垂直亮度溫度；
 (f) TMI 89GHz 垂直亮度溫度。

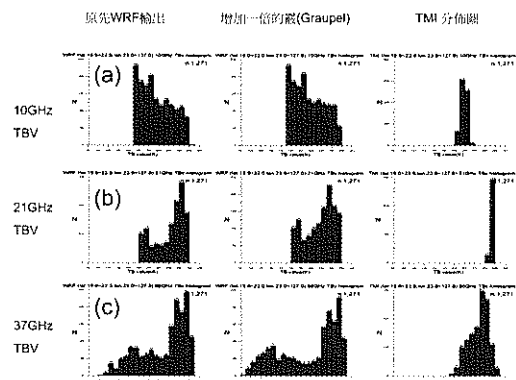


圖 9. 觀分佈量增加一倍前後及 TMI 觀測在 10GHz、21GHz、89GHz 頻道之垂直極化亮度溫度分佈圖。
 第 1 列為 WRF 原先亮度溫度值分佈，
 第 2 列為增加一倍觀後的亮度溫度值分佈，
 第 3 列 TMI 亮度溫度值分佈；
 (a) 行為 10GHz 頻道；
 (b) 行為 21GHz 頻道；
 (c) 行為 89GHz 頻道。

表 1. WRF 模擬 2007 年 10 月 5 日 01(UTC)各層的垂直分佈平均值(網底為溫度負值)

	grauple Mean	ice Mean	r Mean	snow Mean	cloud Mean	t-273.15_mean
1	4.81E-26	0	0.00004752	2.78E-16	0.00000174	27.77
2	7.11E-25	0	0.00004836	3.27E-15	0.00000231	26.94
3	1.58E-23	0	0.00004974	4.56E-14	0.00000273	25.89
4	2.12E-22	3.61E-48	0.00005101	4.06E-13	0.00000317	24.77
5	1.32E-21	6.67E-23	0.00005219	1.61E-12	0.00000573	23.71
6	7.1E-21	1.19E-15	0.00005342	1.93E-12	0.0000118	22.81
7	2.45E-19	1.35E-15	0.00005363	1.66E-12	0.0000171	21.99
8	8.78E-18	5.44E-16	0.00005348	1.17E-12	0.0000173	21.22
9	2.41E-16	1.18E-18	0.00005345	8.25E-13	0.000018	20.34
10	2.29E-15	5.03E-19	0.00005345	6.39E-13	0.0000192	19.19
11	3.57E-14	4.22E-19	0.00005344	5.34E-13	0.0000207	17.74
12	2.02E-13	3.53E-19	0.00005339	4.39E-13	0.0000218	16.02
13	2.27E-11	8.05E-18	0.00005328	3.28E-13	0.000022	14.11
14	7.83E-09	1.26E-16	0.00005318	3.86E-13	0.0000214	12.01
15	0.000000149	3.93E-16	0.00005319	1.09E-10	0.000021	9.62
16	0.00000202	1.4E-09	0.00005349	8.27E-09	0.0000226	6.89
17	0.000017	0.000000056	0.00004833	7.46E-08	0.0000255	3.76
18	0.0000577	0.00000137	0.00002546	0.000000918	0.0000261	0.23
19	0.0000891	0.00000704	0.000000434	0.00000405	0.000013	-3.66
20	0.0000849	0.0000592	0.000000007	0.00000966	0.00000354	-8.12
21	0.0000724	0.0000259	0	0.0000237	0.000000263	-13.30
22	0.0000535	0.0000391	0	0.0000464	7.77E-11	-18.46
23	0.0000309	0.0000515	0	0.0000685	5.05E-14	-27.33
24	0.0000134	0.0000558	0	0.0000697	5.26E-17	-36.64
25	0.00000506	0.0000449	0	0.0000564	3.51E-24	-47.13
26	0.00000182	0.0000274	0	0.0000381	1.58E-26	-58.47
27	0.000000567	0.0000111	0	0.0000198	5.79E-31	-69.98
28	7.51E-08	0.00000242	0	0.00000419	3.44E-40	-77.72
29	1.24E-10	2.19E-08	0	5.54E-09	0	-74.99
30	3.22E-14	9.06E-11	0	8.01E-14	0	-68.21

表 2. 選取緯度 19°N~22°N 及經度 123°E~127°E 範圍統計圖

	TMI	WRF	TMI	WRF	TMI	WRF
	10v	10v	21v	21v	89v	89v
Number of values	1271	1271	1271	1271	1271	1271
Minimum	201.6	171.4	262.3	183.3	192.1	108.9
Maximum	234.7	305.5	279.1	279.8	285.7	293.8
Mean	218.1	216.2	273.5	241.1	248.1	230.1
Standard deviation	6.24	30.92	2.36	29.33	19.13	46.16

表 3. 個別增加 2 倍量場對於 10GHz、21GHz、89GHz 的垂直極化值，改變百分比。

頻率(GHz)	WS*2		WR*2		WI*2		WG*2		WC*2	
	平均值	平均改變百分比	平均值	平均改變百分比	平均值	平均改變百分比	平均值	平均改變百分比	平均值	平均改變百分比
10V	216.115	-0.0244%	230.782	6.5842%	216.123	-0.0189%	215.590	-0.2278%	218.665	1.1696%
21V	240.744	-0.1546%	245.126	1.7163%	241.135	0.0002%	236.759	-1.7279%	244.350	1.3224%
89V	226.516	-1.7558%	228.419	-0.6642%	229.980	-0.0057%	215.909	-7.7176%	232.759	1.2670%