

邊界層與積雲參數化法對柯羅莎颱風(2007)降雨數值模擬之影響

陳泰吉¹ 汪建良² 何台華³

¹ 空軍氣象聯隊第一基地天氣中心

² 國防大學理工學院環境資訊及工程學系

³ 龍華科技大學

摘要

本研究針對 2007 年 10 月侵台柯羅莎颱風個案，使用 Weather and Research Forecast model(WRF)模式探討不同邊界層與積雲參數化法，對颱風降雨模擬的影響。希望藉由颱風模擬結果的診斷分析，協助國軍氣象人員能更準確的使用模式，以有效掌握颱風預警資訊，進而降低人員、裝備的損傷。

經分析後發現，不使用邊界層參數化法時，無法維持模式颱風的持續發展，顯示邊界層過程對於颱風發展有著關鍵性的影響。以本個案而言，在不同邊界層參數化法的表現上，使用 Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)參數化法，在柯羅莎颱風個案模擬中，就颱風路徑誤差，以及降雨事件公正預兆得分(Equitable Threshold Score, ETS)及偏離指數(Bias)模擬校驗上，表現均優於 Yonsi University (YSU)參數化法。在積雲參數化法方面，Kain-Fritsch (KF)積雲參數化法設定相較於 Grell-Devenyi (GD)，有較佳的颱風強度模擬結果，但兩者在颱風結構或強度上，都與實際有相當的差異，有必要加以改進。

關鍵字：WRF、颱風降雨模擬、邊界層參數化法、積雲參數化法

一、前言

台灣位在西北太平洋颱風的主要路徑要衝上，根據統計資料從 1897-2007 年颱風侵台次數共有 406 次，平均每年約 3~4 個颱風影響台灣。

2007 年 10 月柯羅莎颱風侵襲台灣，根據行政院農業委員會的統計，截至當年 10 月 16 日為止，台灣各地因柯羅莎颱風過境所造成的農林漁牧業損失總金額已超過新台幣 42 億元，國軍投入救災兵力總計 1060 人次。

一般而言，對颱風動態有效的掌握，對災害的預防有一定的功效。但颱風的強度、範圍大小、行進速度的快慢，行進路線的偏移等，均受綜觀環境場及台灣的地形地貌影響，常使得接近台灣的颱風的整體動態變得難以捉摸。如果在颱風將近時，能有較為準

確的預報能力，及適時的警報發佈，便可有效的將各方面的災損降至最低。林 (2007)即提到隨著預報技術的進步，對颱風的掌握及預警由 2001 年桃芝颱風的被動搶救，到 2005 年的海棠(Haitang)、泰利(Talim)、龍王(Longwang)的及時預警、疏散，能有效的降低人員及裝備的損傷。

二、文獻探討

近年許多運用 WRF 模式對於颱風的相關研究，已有當相不錯的成果。林 (2007)根據 Chien et al. (2005)之研究成果設定 WRF 模式參數化法來模擬颱風降雨，進行防災應用與校驗。其分析結果顯示，颱風移動路徑預報正確與否，將影響對降雨分佈的預報結

果；在模式參數化法比較上，GD 積雲參數化法表現在高降雨門檻時比 KF 表現要好，也顯示出 WRF 模式可掌握未來降雨趨勢及較大降雨發生時間點。簡等人 (2006) 利用 WRF 模式針對 2004 年 5 月 15 至 6 月 15 日，台灣地區梅雨系統，進行 12 組不同物理參數化法組合的敏感度測試，並使用 ETS 及 Bias 為校驗指標，校驗 WRF 模式的定量降水預報的能力。結果發現在台灣地區之降水模擬，以 KF 積雲參數化法、WSM 5-class 微物理參數化法及 YSU 邊界層參數化法的組合，在小雨 (15mm 以下) 有最佳的表現 (ETS 得分)；但此組合中的 KF 積雲參數化法，在大雨 (15 mm 以上) 部分的表現卻比 GD 參數化法差，並且有低估的現象。因此他們建議，針對梅雨系統之降雨而言，台灣地區大雨的模擬應以 GD 積雲參數化法為首選。

Yang and Tung (2003) 選用 Atmospheric Research Mesoscale Model (MM5) 模式，進行不同積雲參數化法 (Anthes-Kuo、Betts-Miller、Grell 及 Kain-Fritsch scheme) 組合的預報能力評估。結果發現，使用不同積雲參數化法在模擬強綜觀尺度與大尺度系統的降雨特性上，並無太大的差異，也就是說，在降雨事件上，強綜觀環境場及台灣地形為模式降雨預報的主要控制因素，不同積雲參數化法的方法，只輕微的修正模式的降雨預報；反之在弱綜觀環境下，不同積雲參數化法的表現，則有相當大的差異；單就不同積雲參數化法 (Cumulus Parameterization Scheme, CPS) 而言，並無單一 CPS 的表現永遠最好。一般而言，CPS 冷季的表現優於暖季、平地優於山區；Grell 組在梅雨鋒面及颱風的豪大雨事件中的預報技巧較高；KF 組在降雨區預報的技巧較高。本研究個案為劇烈降水系統，因此在積雲參數化法上，將以 GD 參數化法為主。

郭等人 (2004) 的研究說明，颱風的生命

史大部分均在開闊的暖洋面，海氣的交互作用為颱風發展與維持的主要能量來源，而邊界層 (Planetary Boundary Layer, PBL) 的渦流混合及頂端空氣的逸入，在海氣交互作用中為十分重要的因素。因此，有關邊界層參數化法對颱風結構的影響，亦是相當重要的議題。Davis et al. (2008) 研究 2005 年五個大西洋上的颶風發現，使用 WRF 高解析度 (12 及 4km) 的模擬，其表現偶爾優於部分的線上作業預報模式，但發生颱風在登陸前有過度強化、表面動量交換不足及無法獲得迅速的強度變化等問題。且經由 2005 年卡崔納 (Katrina) 颱風的敏感度測試得知，其核心結構及颱風眼的大小即對表面的動量交換很敏感，在結合海氣耦合模式後，則能排除大部分在登陸前的強化錯誤。Otkin and Greenwald (2008) 將不同微物理及邊界層參數化法組合的模擬結果和 Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 衛星觀測資料比對，結果發現低雲層的發展特性對不同邊界層參數化法的選用很敏感，高層雲的發展特性則和微物理參數化法及邊界層參數化法的選用均很敏感。

模式巢狀網格的運用，可使研究人員針對有興趣的中、小尺度系統，做更深入的探討。Moeng et al. (2007) 實驗證實，巢狀網格使用不同的邊界環境，而易在內網格邊界產生平均溫度、垂直速率及紊流動能 (Turbulent Kinetic Energy, TKE) 的誤差。此一問題可藉由運用 WRF 模式的雙向巢狀化 (two-way nesting) 的方式，讓內、外網格相互作用。在滿足內部網格水平範圍大於 5 倍邊界層高度的條件下，可減緩內、外網格的平均氣溫、垂直速率及 TKE 的差異，甚至小到可以忽略。因此，在真實大氣的水平異質的邊界層中，透過雙向巢狀化的模擬方式，外部網格提供內部網格邊界條件、小尺度亂流的作用回饋至中尺度系統預報，如此可明確的解決

小尺度亂流和中尺度運動間的影響。

由以上研究可知，就數值模式模擬颱風降水而言，選擇不同的邊界層參數化法，不管對低層雲、高層雲還是颱風結構都有相當程度的影響。至於積雲及微物理參數化法的選擇，在強綜觀系統下的影響則相對較小，且不同研究對於降雨預報表現何者較優，並無一致之結論。因此，本研究將探討不同邊界層及積雲過程對颱風降雨模擬的影響。

三、模式簡介及實驗設計

本研究為了解邊界層與積雲參數化法效應對劇烈天氣系統的影響，採用模式為 WRF，V2.1.2 版，針對柯羅莎颱風(2007)個案進行模擬，來探討颱風降雨受地形影響之特性。在實驗設計方面，以雙重巢狀網格(Nested Grid)架構，並以 two-way nesting 方式進行數值模擬，其二層水平網格解析度分別為 12 km (d01)、4 km (d02)。地形解析度為全球 30 秒(0.9 km)地形資料。垂直座標為 η 座標(共 31 層，0-3km 共分 15 層)。積分時間則針對柯羅莎颱風侵台時期 2007100500 UTC 至 2007100800 UTC，做 72 小時積分。

模擬實驗設計，以二種邊界層參數化法(MYJ、YSU)及不使用邊界層參數化法(NOPBL)設定，搭配兩種積雲參數化法(GD、KF)進行模擬；微物理參數化法則固定為 WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6)。模式之初始場及側邊界資料，為美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)，每六小時的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ FNL 全球分析場資料。

四、模擬結果

4.1 不同邊界層參數化法的比較

WRF 模擬颱風中心位置由 700 hPa 流場中心訂定。圖 1 為柯羅莎颱風的 CWB 官方資

料及三種不同邊界層參數化法設定(MYJ, YSU, NOPBL)所模擬的颱風路徑圖。圖中可明顯看出各模擬組在無颱風植入的情況下，初始颱風渦旋在經過網格平滑作用後，即已出現位置上的誤差。NOPBL 模擬組在路徑模擬上，模擬前 24 小時與 CWB 路徑趨勢相近，但 30 小時後在台灣東北角突然下墜，且橫越中央山脈直至台灣海峽中部一帶，其路徑偏離觀測個案甚多，表現不甚理想。

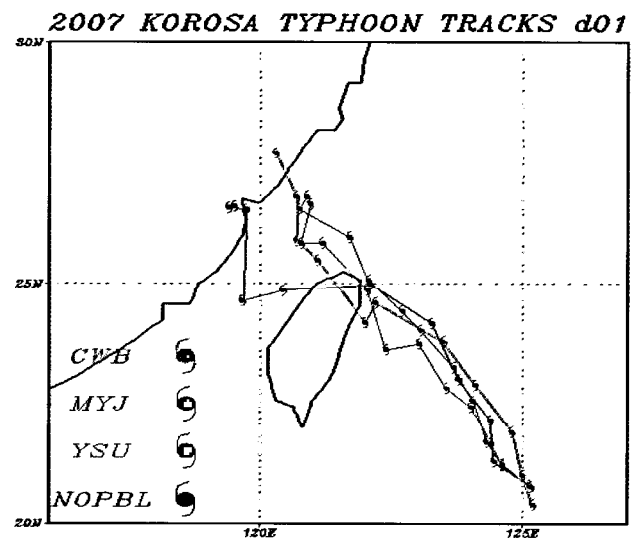


圖1 CWB 官方資料及三種不同邊界層參數化法設定(MYJ、YSU、NOPBL)的模擬颱風路徑圖。

MYJ 與 YSU 參數化法在路徑模擬上，與官方資料較為接近。MYJ 模擬組前 24 小時的路徑均比 CWB 路徑偏南，之後由於無法模擬出颱風在台灣東部地區打轉的精確路徑，因此在路徑上則較 CWB 路徑偏北。YSU 模擬組模擬路徑前 36 小時南偏情形較 MYJ 模擬組為大，之後較實際路徑北偏情況則與 MYJ 模擬組相同，但介於 CWB 路徑與 MYJ 模擬組路徑之間。兩組共同處為對於柯羅莎颱風在台灣東部地區的打轉現象，均未能有效掌握，且行進速度亦較實際颱風為慢。整體來看兩組模擬雖有誤差，但仍可看出其與實際路徑的行進方向具有一致性。

在強度模擬上(如圖 2)，就模擬組與實

際颱風比對而言，單純使用 FNL 全球分析場資料 ($1^\circ \times 1^\circ$ 解析度)，作為模式的初始場及邊界場條件，在網格平滑作用且無颱風植入的情況下，三組模擬颱風強度與中央氣象局發布資料相較，均有明顯偏高的現象，顯示模擬颱風強度不足。

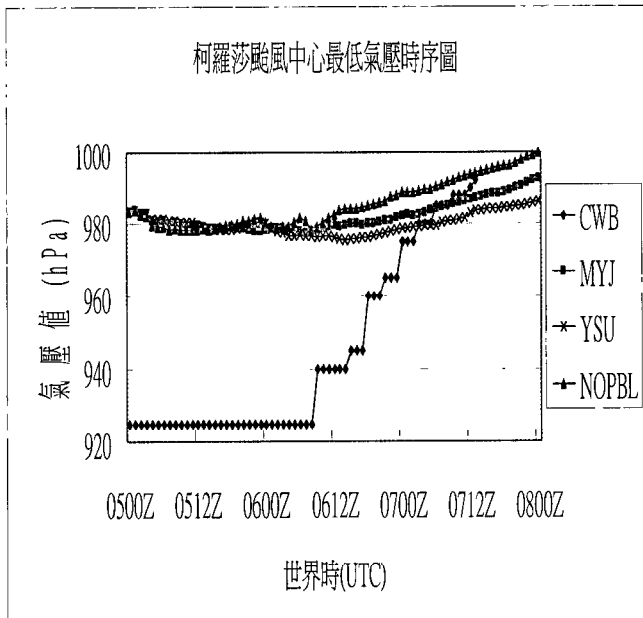


圖2 CWB 官方資料及三種邊界層參數化法的模擬颱風中心最低海平面氣壓時序圖。橫座標中 0512Z 表示 5 日 1200 UTC，以此類推。

圖 3(a-b) 分別為 2007 年 10 月 5 日 1200 UTC MYJ 及 YSU 模擬組模擬 12 小時，通過颱風中心之緯向垂直剖面圖及海平面水氣與可感熱通量。由溫度零值線的線型，可清楚看出兩組模擬颱風的暖心結構。旋轉風的分布亦頗為對稱，在眼牆西側的結構強度只稍強於東側。在水氣通量及熱通量的分布也可看出颱風眼牆西側較東側強的發展結構。另外颱風眼模擬範圍過大，強度偏弱，則是不足的部分。6 日 1200 UTC 時 (如圖 4)，兩模擬組因為颱風接近台灣陸地，其環流與台灣複雜地形的相互作用，造成颱風內部呈現強風區移轉至眼牆東側，強對流區則仍出現在眼牆西側的不對稱分布。

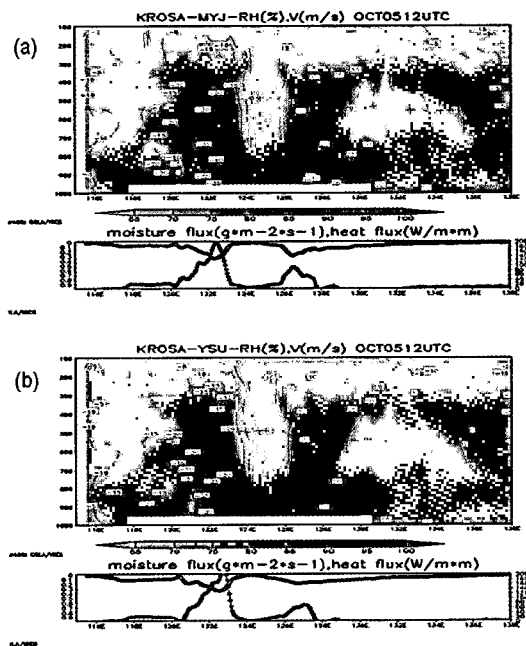


圖3 2007 年 10 月 5 日 1200 UTC 通過颱風中心之緯向垂直剖面圖及海平面水氣與可感熱通量。(a) 為 MYJ 模擬組。(b) 為 YSU 模擬組。垂直剖面圖中，色階部分為相對濕度場；等值線代表三維風場之經向分量，紅色實線為南風、藍色虛線為北風；紅色零值線代表溫度零值線。海平面水氣通量以黑色虛線表示，可感熱通量以綠色實線表示。

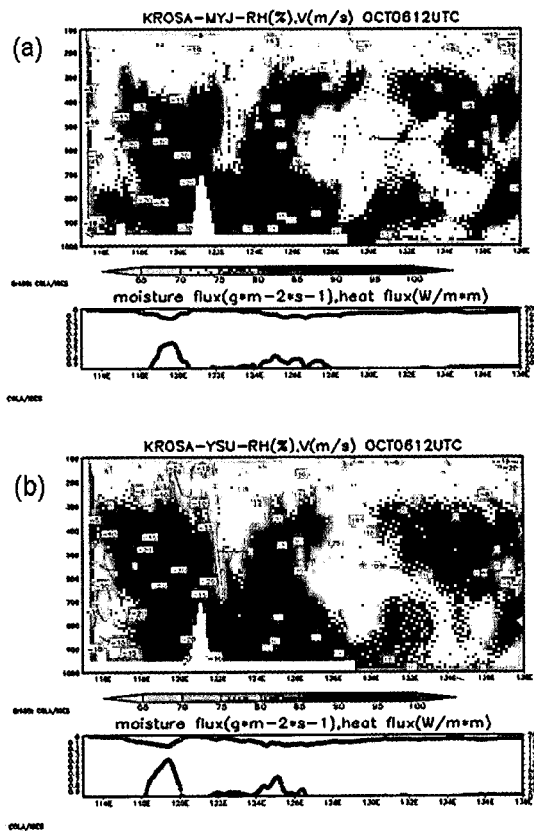


圖4 同圖 3，但為 2007 年 10 月 6 日 1200 UTC。

兩組模擬使用不同邊界層參數化法，由比較底層向上水氣通量(圖 5)及熱通量(圖 6)可發現，YSU 模擬組較 MYJ 模擬組產生極值稍弱但分布範圍較廣的海平面水氣通量，經過渦流混合後，大氣中水氣含量較多，對流結構範圍相對較廣大(參見圖 3及圖 4)。在海平面熱通量方面，YSU 模擬組模擬的數值比 MYJ 模擬組要高，涵蓋範圍同樣較為廣泛。這可用以說明在模式颱風強度的比較上，YSU 較 MYJ 為強的結果。

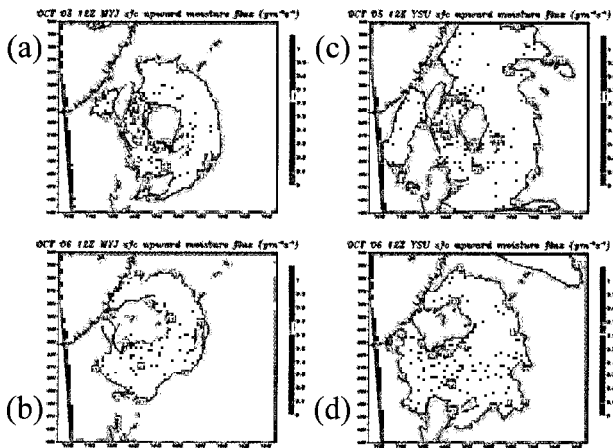


圖5 (a)·(b)分別為MYJ模擬組2007年10月5日1200 UTC及6日1200 UTC的表面向上水氣通量。(c)·(d)為YSU模擬組。單位為 $g\ m^{-2}\ s^{-1}$ 。

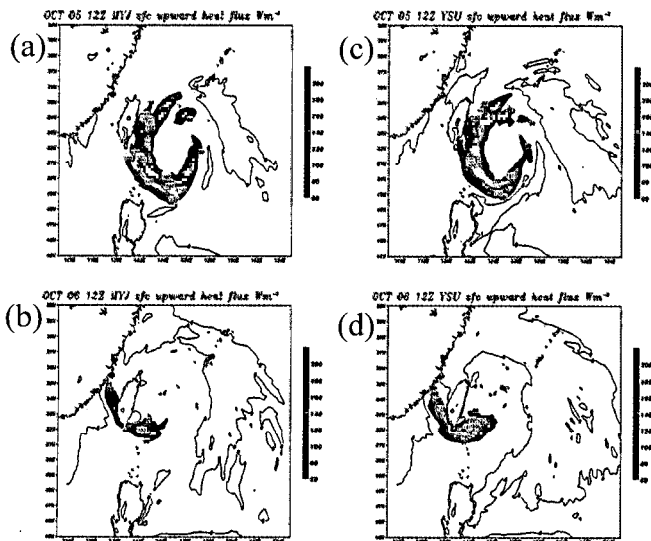


圖6 (a)·(b)分別為MYJ模擬組2007年10月5日1200 UTC及6日1200 UTC的表面向上熱通量圖。(c)·(d)則為YSU模擬組。單位為 $W\ m^{-2}$ 。

圖 7(a·b)分別為 NOPBL 模擬組模擬 12 小時及 36 小時的通過颱風中心之緯向垂直剖面圖及海平面水氣與可感熱通量。圖 7(a)中可發現 NOPBL 模擬組的風場結構尚稱完整，且有較上述兩模擬組更大的海平面水氣通量及熱通量，但由垂直水氣分布可看出，底層水氣及熱量無法有效向上傳送，形成相當不對稱的對流結構，對流高度也明顯偏低。由圖 7(b)模擬 36 小時後的結構可看出，風場迅速減弱；暖心的結構逐漸擴散、消失；水氣的分布範圍減小，對流的發展高度普遍在 500 hPa 以下。此時，已逐漸無法維持颱風應有之結構。由此可看出，邊界層參數化法對於維持模式颱風持續發展的重要性，這表示邊界層過程對於颱風發展有著關鍵性的影響。

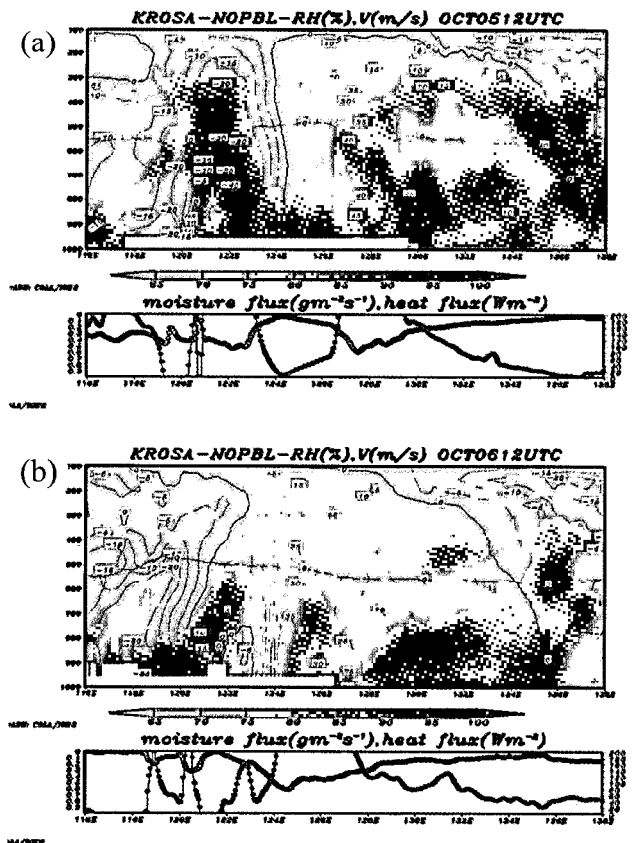


圖7 同圖 3，但為 NOPBL 模擬組。部分海平面熱通量數值已超過顯示範圍，用以表示其熱通量明顯地較 MYJ 及 YSU 模擬組為大。

圖 8 (a-d)分別為 CWB 官方資料及三組不同邊界層參數化法設定模擬組在 2007 年 10 月 5 日至 7 日的總累積雨量圖。圖 8(a)為 CWB 實測資料，三天的降雨分布，主要的集雨區出現在東北角、北部及南部山區。東南部及台灣南部尾端則因背風而少雨。NOPBL 模擬組的累積雨量（圖 8 d）與觀測資料相較，明顯過少，且集中於東北部地區。NOPBL 模擬組在海平面較其他兩組模擬產生較大的向上水氣及熱通量，但由於缺乏邊界層的渦流混合作用，使得底層能量無法有效向上傳送，導致所模擬的颱風結構，在 12 小時後，即有明顯減弱趨勢；模擬 24 小時後，颱風結構已潰不成形。也因此主要的降雨分布，只出現在模擬時間前 24 小時的東北角區域。之後的 48 小時，由於渦旋結構潰散，因此無明顯颱風結構及降雨出現。

MYJ 及 YSU 模擬組（圖 8 b、c），在 5 至 7 日 72 小時累積降雨分布的定性表現上，大致與實際觀測降雨分布有相近的特徵，包含東北角降雨的 Y 型分布、北部山區及中南部山區等三大集雨區，以及東南部背風面少雨的現象。

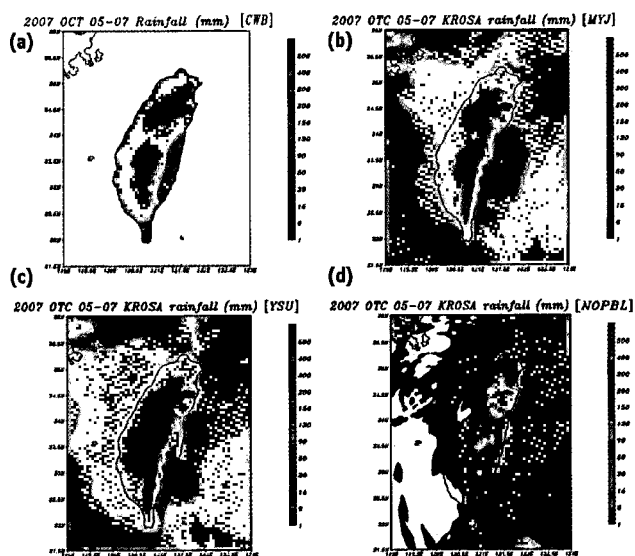


圖 8 2007 年 10 月 5 日至 7 日累積雨量圖，(a)-(d)分別為 CWB 官方資料、MYJ、YSU 及 NOPBL 模擬組。

另 YSU 模擬組在模擬的前 36 小時中，反應出較強的颱風強度，而且在路徑上較為偏南，也因此颱風雨帶分布也較為偏南，造成在中部地區的降雨強度及累積雨量上，有較為明顯高估的現象。

圖 9 (a)-(f)為 YSU 及 MYJ 模擬組的累積雨量與實測累積雨量（379 個測站）的散布圖。累積雨量時間分別為 5 日（24 小時）、5-6 日（48 小時）及 5-7 日（72 小時）。由圖 9 (a-d)可看出兩組模擬在前二天的降雨分布，低估地區遠高於高估地區，在較低降雨門檻時，有較佳的相關性；在較高降雨門檻則普遍有低估現象。三天累積雨量散布方面，如圖 9 (e、f)。YSU 模擬組在大部分測站均出現過量的降雨累積，MYJ 模擬組則呈現高估與低估測站數目相當之分布，且相關係數高達 0.78。由此可知，模式對掌握劇烈天氣系統在短時間的局部性大雨的能力仍稍嫌不足。但在模擬長時間的總降雨量及分布方面，則有一定的水準。

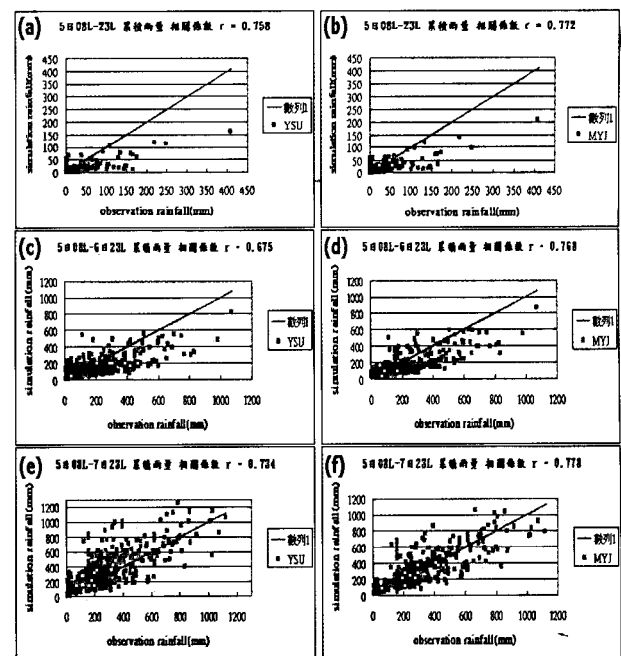


圖 9 (a)、(c)、(e)分別為 YSU 模擬組 5 日、5 至 6 日、以及 5 至 7 日的模擬累積雨量與觀測累積雨量之散布圖，單位為 mm，(b)、(d)、(f)為 MYJ 模擬組。

本研究採用模式模擬時間第 7 小時至第 49 小時之間，每一整點後 24 小時累積總雨量，與 CWB 相同時段 379 個自動雨量站的累積雨量做定量降雨校驗，共計有 16297 個樣本數。ETS 校驗部分如圖 10 (a)所示。在降雨門檻 50 mm 以上的得分，YSU 模擬組平均低於 MYJ 模擬組約 0.05，在 1 mm 到 500 mm 降雨門檻的得分散布約在 0.11 至 0.21 之間，均值為 0.16；MYJ 模擬組則散布在 0.16 至 0.25 之間，均值為 0.21，相較之下 MYJ 模擬組呈現較佳之穩定性及模擬技術。

Bias 校驗部分如圖 10(b)。MYJ 模擬組在降雨門檻 10 mm 以上，普遍高估降雨事件次數，Bias 約為 1.1 至 1.5；350mm 以上則有低估特徵，Bias 約為 0.8。YSU 模擬組在降雨門檻 10mm 以上的表現則始終為高估現象，且在 100 mm 至 350mm 之間，更是大幅度的高估降雨次數，另在 350mm 以上，則和 MYJ 模擬組有相同的下降走勢。大致上來說，兩組參數化法模擬在整個模擬過程中有一致的模擬特徵，但在降雨事件的估算上，MYJ 模擬組有較好的模擬技術，YSU 模擬組則相較地明顯高估。依據 ETS 及 Bias 評估結果顯示，MYJ 參數化法在此個案中的模擬中，呈現較為穩定的模擬技術，不論是在降雨分布或是定量的降雨評估方面，均有較 YSU 參數化法，更為接近實際觀測的數值模擬。

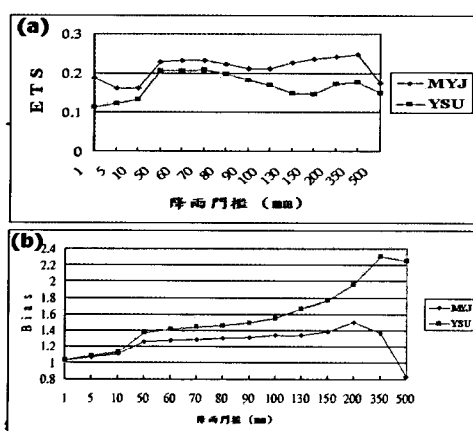


圖10 MYJ 及 YSU 模擬組在不同降雨門檻的(a)ETS。(b)Bias。

綜合上述颱風路徑、強度及降雨模擬的結果，邊界層參數化法的敏感度分析，就柯羅莎個案而言，MYJ 邊界層參數化法只在颱風強度的表現上，稍遜於 YSU 邊界層參數化法。其餘在颱風路徑及降雨模擬上，均有較 YSU 邊界層參數化法良好的表現。

4.2 不同積雲參數化法校驗

在模擬颱風強度不足部分，本研究另設計一組除了積雲參數化法使用 Kain-Fritsch scheme (KF)之外，其餘設定均與雙重巢網格 MYJ 模擬組所有參數設定一致的對照組 (MYJ-KF)，用以了解積雲參數化法對模擬颱風強度的影響。圖 11 為 MYJ 及 MYJ-KF 模擬路徑圖。在颱風路徑模擬表現上，MYJ-KF 的路徑明顯 CWB 路徑偏南、在颱風登陸前的移速偏快，但颱風登陸位置與 CWB 定位相近。

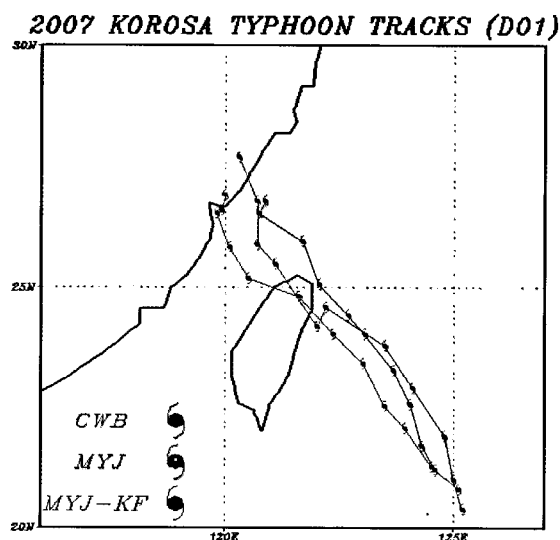


圖11 CWB 官方資料、MYJ 及 MYJ-KF 模擬組的模擬颱風路徑圖。

由颱風中心氣壓強度 (如圖 12) 變化則可發現，MYJ 因為模擬颱風並無登陸，因此在強度上較無明顯變化。MYJ-KF 與 MYJ 相較，在 6 日 0600 UTC 以前的海上颱風模擬，即產生較強的颱風強度；0600 UTC 以後，由

於颱風登陸台灣，結構受地形破壞，造成氣壓強度減弱；直到颱風出海之後，強度再度有較 MYJ 強的現象。

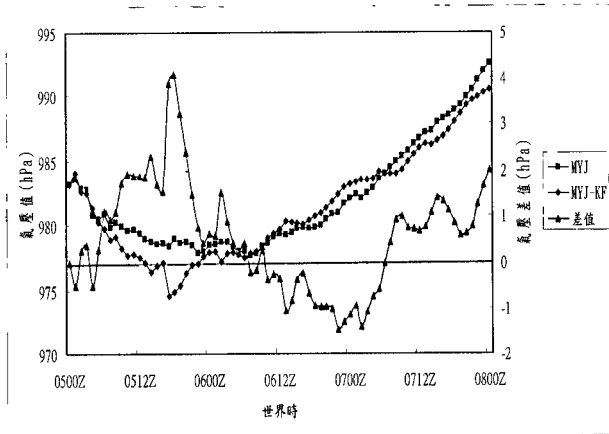


圖12 MYJ及MYJ-KF模擬組的模擬颱風中心最低海平面氣壓時序圖。

圖 13 為兩組模擬在颱風登陸前，10 月 5 日 0000 UTC 至 6 日 0600 UTC 的累積雨量圖。比較(a)、(b)兩圖的台灣東南海域的累積降雨分布，更可看出，MYJ-KF 在海面上及台灣陸上均有較強的降雨，也呼應了其氣壓強度的變化。由此可看出 KF 積雲參數化法，在颱風強度的模擬上，確實有較理想的表現，但與實際颱風強度仍有明顯的差距。就兩組模擬對劇烈天氣系統的陸上三日的總累積降雨量而言（如圖 14），相對於 MYJ-KF，MYJ 模擬組(使用 GD 積雲參數化法設定)則有較大的累積降雨總量模擬。

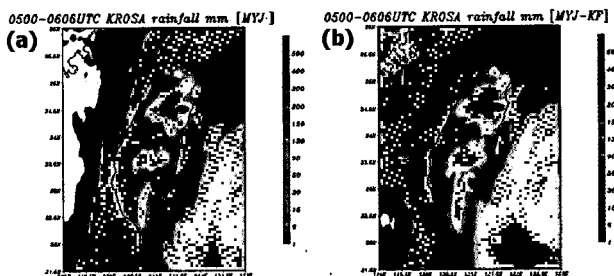


圖13 2007年10月5日0000UTC至6日0600UTC累積雨量圖。(a)為MYJ模擬組。(b)為MYJ-KF模擬組。

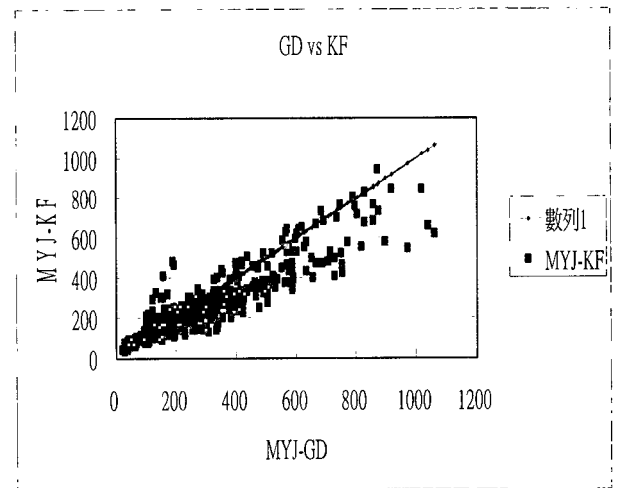


圖14 MYJ與MYJ-KF三日72小時的模擬累積雨量散布圖，單位為mm。

五、結論

由研究結果得知，本研究使用 WRF 模式，以美國國家環境預報中心，六小時間距的 FNL 全球分析場資料 ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 解析度) 為初始場資料，針對 2007 年 10 月柯羅莎颱風個案，進行雙重巢狀網格、不同邊界層參數化法及不同積雲參數化法的模擬。颱風初始中心位置在經過網格平滑作用後，有相當明顯的誤差，而且在各個不同參數化法所模擬的颱風強度上，均明顯較實際颱風為弱。雖然模式在颱風強度模擬上的表現不佳，但在模擬颱風移行路徑的整體趨勢掌握上，表現還算不錯。不足的是，柯羅莎颱風在台灣東部海面的打轉現象，在本研究的所有模擬組中均無法有效掌握，因此在氣象作業人員實際的預報作業中，針對使用模式預報颱風在台灣東方的行進路徑，仍須非常的小心。

在不同邊界層參數化法模擬表現上，由於使用不同的相似理論及擴散理論，渦流混合速率不同，產生不同的表面熱通量及水氣通量，進而影響模式整體模擬的結果。NOPBL 模擬組的表面能量通量過大且極度不對稱，但因缺乏有效將底層能量向上傳送的機制，致使底層能量無法有效往上傳送，

造成颱風對流結構凌亂無系統性發展，使得颱風結構難以長時間維持，而縮短其生命期。MYJ 模擬組與 YSU 模擬組相較，YSU 邊界層參數化法產生比 MYJ 參數化法強而且涵蓋範圍較大的熱通量；水氣通量的強度雖然稍弱於 MYJ 模擬組，但分布範圍則是有過之而無不及，再加上模擬路徑較為偏南的因素，整體反應在降雨量預報上的結果便是超估太多的降雨量。MYJ 模擬組的模擬則相對有不錯的表現。由此可看出，邊界層參數化法對於維持模式颱風持續發展的重要性，也表示邊界層過程對於颱風發展有著關鍵性的影響。就不同邊界層參數化法的優劣而言，未來將持續增加其他個案的研究分析，加以驗證成果

本研究顯示，模式在颱風強度模擬表現上明顯偏弱。在模擬長時間的總降雨量及分布方面，雖有不錯的表現。但對掌握劇烈天氣系統在短時間的局部性大雨的能力則稍嫌不足。未來將藉由渦漩植入方式以及同化觀測資料的過程，提高模式初始場精度，改善颱風強度模擬不足的問題，進而提升模式對瞬間降雨模擬的效能。另外，在積雲參數化法的測試中，了解到 KF scheme 對颱風強度的反應效果較 GD scheme 還要好，未來將進一步探討 KF scheme 影響颱風的物理過程。

參考文獻

林李耀，“颱風災害與應變”，科學發展，410 期，第 38-43 頁，2007。

林李耀、黃麗蓉、王安翔、鳳雷、陳永明、廖宇慶、周仲島，“WRF 颱風降雨模擬於防災之應用與校驗”，天氣分析與預報研討會論文彙編，台北，第 177-180 頁，2007。

郭鴻基，林李耀，陳怡良，“近期颱風研究之回顧”，大氣科學，第 32 期，第 3 卷，第 205-223 頁，2004。

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”，大氣科學，第 34 期，第 3 號，第 261-276 頁，2006。

Chien, F. C., Jou, B. J. D., Lin, P. L., and Hong, J. S., “A Real-time MM5/WRF Forecasting System in Taiwan,” 天氣分析與預報研討會論文彙編，台北，第 207-210 頁，2005。

Davis, C., Wang, W., Chen, S. S., Chen, Y., Corbosiero, K., Demaria, M., Dudhia, J., Holland, G., Klemp, J., Michalakes, J., Reeves, H., Rotunno, R., Snyder, C., and Xiao, Q., “Prediction of Landfalling Hurricanes with the Advanced Hurricane WRF Model,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 136, No. 6, pp. 1990-2005, 2008.

Moeng, C. H., Dudhia, J., Klemp, J., and Sullivan, P., “Examining Two-Way Grid Nesting for Large Eddy Simulation of the PBL Using the WRF Model,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 136, No. 6, pp. 2295 - 2311, 2007.

Otkin, J. A., and Greenwald, T. J., “Comparison of WRF Model-Simulated and MODIS-Derived Cloud Data,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 136, No. 6, pp. 1957-1970, 2008.

Yang, M. J., and Tung, Q. C., “Evaluation of Rainfall Forecasts over Taiwan by Four Cumulus Parameterization Schemes,” *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 81, No. 5, pp. 1163-1183, 2003.

Impact of Boundary Layer and Cumulus Schemes on the Numerical Rainfall Simulation of Typhoon Krosa (2007)

¹Tai-Ji Chen ²Jian-Liang Wang ³Tai-Hwa Hor

¹ *The First Weather Squadron of CAF, ROC*

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

³ *Longhwa University of Science and Technology*

ABSTRACT

The WRF (Weather and Research Forecast) model, has been used to simulate the evolution of rainbands associated with Typhoon Krosa (2007). It is to investigate the impacts on the structure of typhoon rainbands and precipitation under the influence of different Planetary Boundary Layer and Cumulus parameterization

Results indicate when not using the boundary layer parameterization scheme, is unable to maintain the pattern typhoon the sustained development, show that the boundary layer process has crucial influence regarding the typhoon development.

For Typhoon Krosa, using the MYJ (Mellor-Yamada-Janjic) parameterization scheme, the model perform better in terms of the typhoon track error and the rainfall event simulation validated with ETS (Equitable Threshold Score) and Bias than that one using the YSU (Yonsi University) scheme. Using the KF (Kain-Fritsch) cumulus parameterization scheme, the model typhoon has stronger intensity than that using the GD (Grell-Devenyi) scheme. However, both model typhoons cannot well simulate the structure and intensity of the real typhoon. Further improvement is needed.

Keywords : WRF model, simulation of typhoon precipitation, Planetary Boundary Layer, parameterization, Cumulus parameterization