

WRF Numerical Diffusion 效能評估及個案模擬與分析

林宗翰、洪景山

中央氣象局氣象資訊中心

摘要

WRF 模式內已含有擴散作用，其作用為有效勻滑 $2\Delta x$ 波長之擾動。此作用大小與風速成正比。但若大氣環境接近中性或不穩定的邊界層成長過程條件下，風速小，擴散作用不明顯，便無法有效勻滑 2 到 $4\Delta x$ 波長的擾動。為解決此問題，可在 WRF 模式內加入六階擴散方法 (Xue 2000)處理模式的擴散效應，勻滑波長範圍介於 2 到 $6\Delta x$ 的擾動，保持 WRF 高效解析特性。

本研究在氣象局區域模式預報系統內使用上述之擴散方法，評估六階擴散方法不同參數設定對模式預報的影響。

一、前言

WRF 模式內平流方程式的數值方法採用隱式 odd-ordered 法，其內含的擴散作用可有效勻滑 $2\Delta x$ 波長的擾動，因此，其優勢是能充分最大程度發揮模式解析度的解析能力，但其缺點是，此擴散作用大小與風速成正比，在大氣環境接近中性或不穩定的邊界層成長過程時，風速小，擴散效果不明顯以致無法有效勻滑 2 到 $4\Delta x$ 大小的擾動，這些擾動可能持續發展，進而影響模式水平幅散與垂直速度。

為解決此問題，我們可以在 WRF 模式內另外加入一數值擴散方法 6th order numerical diffusion(Knieval 2007)來勻滑波長範圍介於 2 到 $6\Delta x$ 的擾動，希望藉此保持 WRF 高效解析特性。此 6th order numerical diffusion 大小與模式解析度相關，不受風速影響，故在弱綜觀條件下仍能有效勻滑模式能量。

本研究在氣象局區域模式預報系統 (CWB-WRF)中加入 6th order numerical diffusion，評估此選項對模式預報的影響。

二、6th order numerical diffusion

與 flux limiter 原理與參數設定

(一) 6th order numerical diffusion :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = S + \alpha \nabla_{\eta}^6 \Phi$$

上式為 diffusion 的表示方法， Φ 為氣象變數，6th order numerical diffusion 對所有氣象變數皆可發揮作用；S 為模式中其它已知項總合， α 為 6th order numerical diffusion 係數，為預報時間之函數；

$$\alpha = 2^{-6} p^{-1} \Delta t^{-1} \beta$$

β 為單一積分時間步長，受 6th order numerical diffusion 作用所減少的量，其大小介於 0~1 間，若 $\beta=0.25$ ，則在此積分時間步長內，6th order numerical diffusion 會削減 $2\Delta x$ 尺度 25% 波譜空間振幅能量，此參數為固定值與風速大小無關，wrf 模式內之動力擴散參數 Diff_6th_factor 即是 β 值。

(二) flux limiter :

為 6th order numerical diffusion 內一簡單的通量限制器 flux limiter (Xue 2000)，能確保在勻滑過程中使能量衰減保持順梯度 (downgradient)而非反梯度(upgradient)，並且不

產生其他極值；但加入 flux limiter 會減低 6th order numerical diffusion 的效果，為了避免 6th order numerical diffusion 在小尺度的效果減少，可以提高 beta 值來達到衰減能量的結果，卻會造成大尺度天氣結構過度受到 6th order numerical diffusion 所影響；在波長介於 $2\Delta x$ 至 $4\Delta x$ 尺度大小加入 flux limiter 則會造成 6th order numerical diffusion 效應不明顯的情形。在使用 flux limiter 的效果評估上，很難去確定他的好壞。

三、實驗設計

本實驗採用氣象局區域預報系統 (CWB-WRF)，巢狀網格三層，水平解析度分別為 45、15、5 公里，垂直分為 45 層，模式頂高度 30mb，使用版本為 WPS、WRF3.1.1。美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 所提供全球分析場作為模式預報之初始場。實驗共分六組，詳如表 3.1。實驗時間為 2008 年 12 月 1 日 00UTC，預報時間 72 小時，以不加入 6th order numerical diffusion 作為對照組，藉由此六組實驗與對照組之差異來探討 6th order numerical diffusion 對區域模式之影響。

四、實驗結果

加入 6th order numerical diffusion 與對照組的差異，12 小時預報場，45 公里解析度溫度場分布如圖 4.1，以熱帶海洋地區差異較明顯；15 公里解析度高度場以側邊界有明顯差異；5 公里解析度水氣場以台灣東部海域有較明顯的差異，如圖 4.2。將此區域作平均，從地面到模式頂 30mb 垂直共分 45 層，由區域平均垂直分佈圖可發現，45 公里解析度溫度場差異最大約為 0.3K，其差異量佔區域平均溫度的

0.1%，以第 11 層(約 1200 公尺)差異量最大，如圖 4.3。15、5 公里解析度差異量則是 0.15K 與 0.1K。水氣差異最大值集中在 10 到 15 層(約 1 至 2 公里)，邊界層區域間，如圖 4.4。由圖發現高層差異量大，疑似與上邊界有關。

72 小時預報，由圖 4.5 二維區域分布發現，45 公里解析度，6th order numerical diffusion 對海洋效果為偏冷，對陸地效果為偏暖。海陸交界地區也多為偏冷的影響。而在 15 公里解析度與 12 小時預報場不同的是，除了側邊界外，海陸交界也有明顯差異。圖 4.6 發現，45 公里解析度最大差異 0.6K，達 0.25%，15、5 公里解析度分別為 0.5K、0.6K，差異量為 12 小時預報的一倍以上，如圖 4.7。另外選取 $19^{\circ}\text{N}-42^{\circ}\text{N}$ ， $76^{\circ}\text{E}-111^{\circ}\text{E}$ ，定義為陸地； $2^{\circ}\text{N}-32^{\circ}\text{N}$ ， $124^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{E}$ ，定義為海洋，如圖 4.8。將此海陸區域作平均計算，來看 6th order numerical diffusion 對海陸的影響，由圖 4.9 溫度場可發現在陸地差異溫度可達 -0.7K，最明顯差異分布第 5-10 層(約 220 公尺至 1 公里)；而海洋則是在第 10 到 15 層(約 1-2 公里)，最大值為 0.7K。另外水氣則是以第 10-11(約 1 公里)層變動最大，陸地可達 0.25g/kg，而海洋可達 1g/kg，差異約 10%。圖 4.10 為 72 小時高度場預報結果差異，使用 flux limiter 在 15 公里解析度會有正負號相反的情形。在海陸交界有明顯的差異。72 小時累積降雨量隨著 beta 值增加而增加，如圖 4.11，但加入 flux limiter 後，並無此情形。

五、結論

由實驗結果可以發現，6th order numerical diffusion 對模式主要影響集中在熱帶海洋地區與海陸交界處，高度則是以邊界層高度影響最顯著，由圖 4.9，海洋最大差異在第 11 層(約 1200 公尺)，陸地第 6 層(約 351 公尺)，最大差

異值高度與邊界層高度(海洋約為 1200 公尺，陸地約為 400 公尺，圖 5.1)接近。另外在模式頂也有很大的差異量，估計是因為上邊界的關係。隨 beta 值變大，累積降雨增加，溫度場高

度場與對照組差異提高且有不穩定的情形，加入 flux limiter 在 domain 2 使高度場有正反異號的狀況，未來針對實驗 3、4、5、6，針對梅雨及颱風個案在進行分析。

參考文獻

Knievel, J. C., G. H. Bryan, and J. P. Hacker: Explicit numerical diffusion in the WRF Model. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3808-3824, 2007

Xue, M.: High-order monotonic numerical diffusion and smoothing. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2853–2864. , 2000

	Diff_6th_opt=0.5	Diff_6th_opt=0.25	Diff_6th_opt=0.125
Diff_6 th _option=1	實驗 1	實驗 3	實驗 5
Diff_6 th _option=2	實驗 2	實驗 4	實驗 6

表 3.1 實驗組別編號

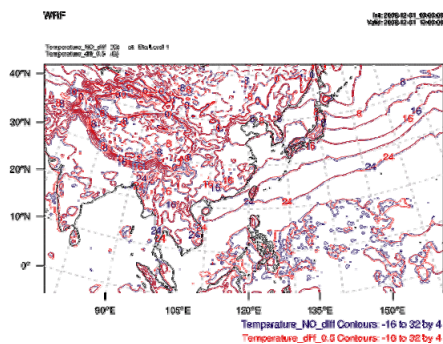


圖 4.1 實驗 2 與對照組在 2008 12/1 00UTC 12 小時預報場 15 公里解析度溫度分布，eta level=1，等溫線為 4 度。

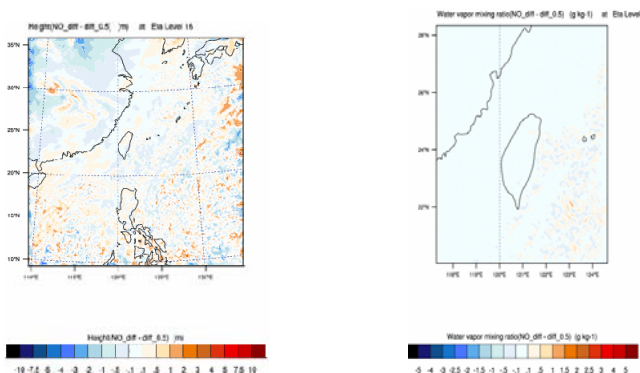


圖 4.2 實驗 1 與對照組在 2008 12/1 00UTC12 小時預報場相減的 15 公里解析度分布情形，左圖為高度場 eta level=16(約 2600 公尺)；右圖為水氣場 eta level=1。

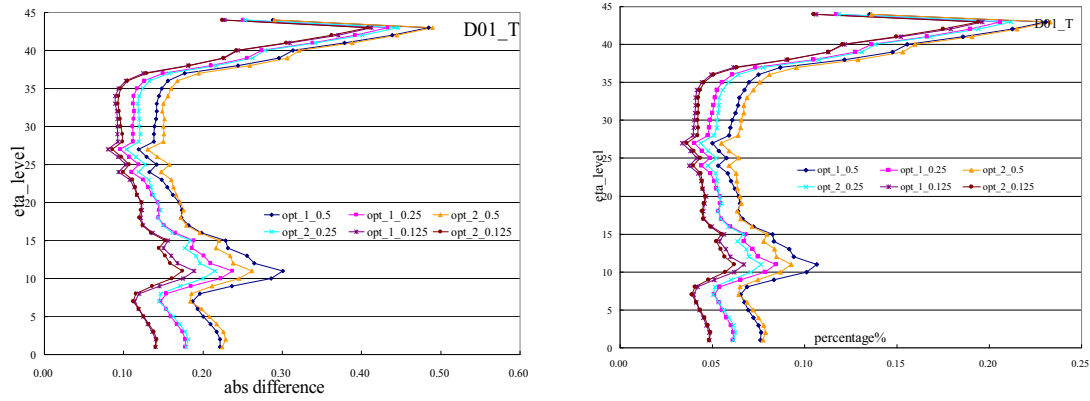


圖 4.3 實驗 1-6 與對照組間溫度差異，區域平均垂直分佈圖，左圖為溫度絕對值，右圖為差異值與對照組比較之百分比。

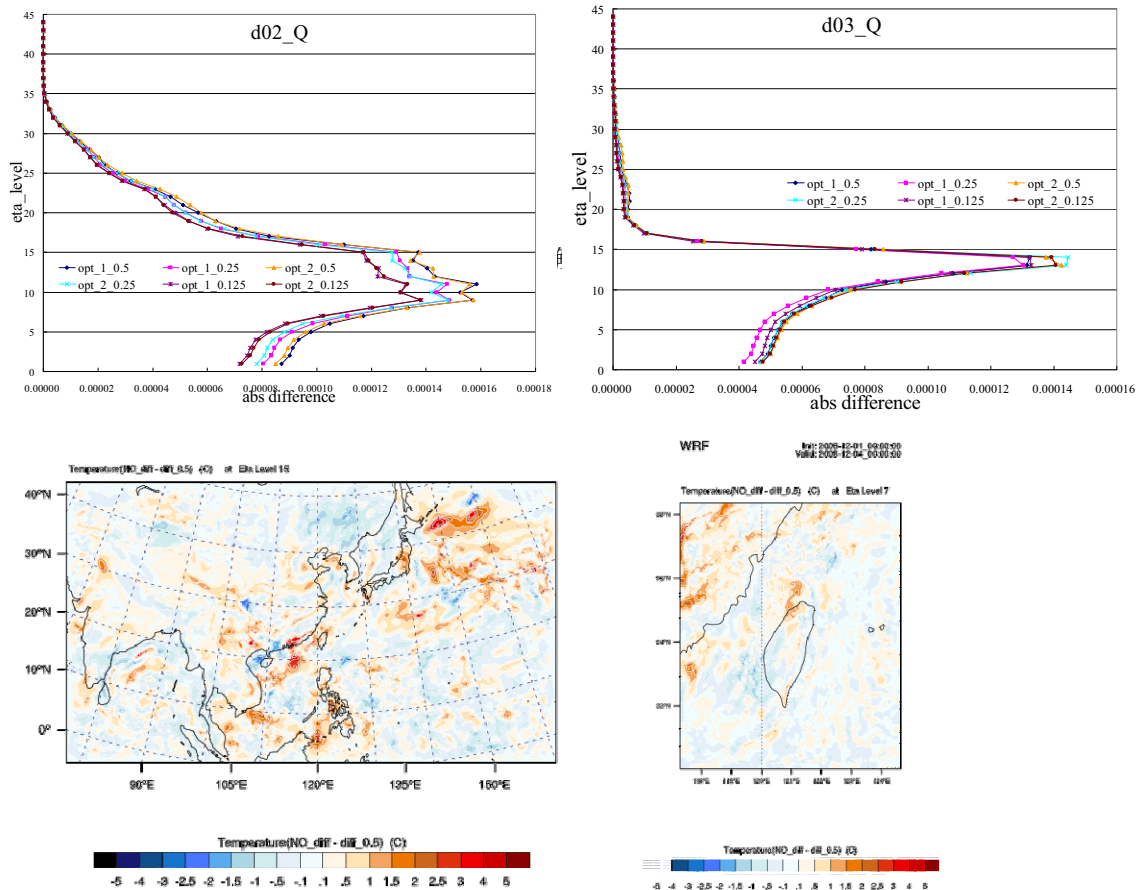


圖 4.5 如圖 4.2，但為 72 小時預報場，左圖為 45 公里解析度，eta level=15(約 2300 公尺)；右圖為 15 公里解析度，eta level=7(約 500 公尺)。

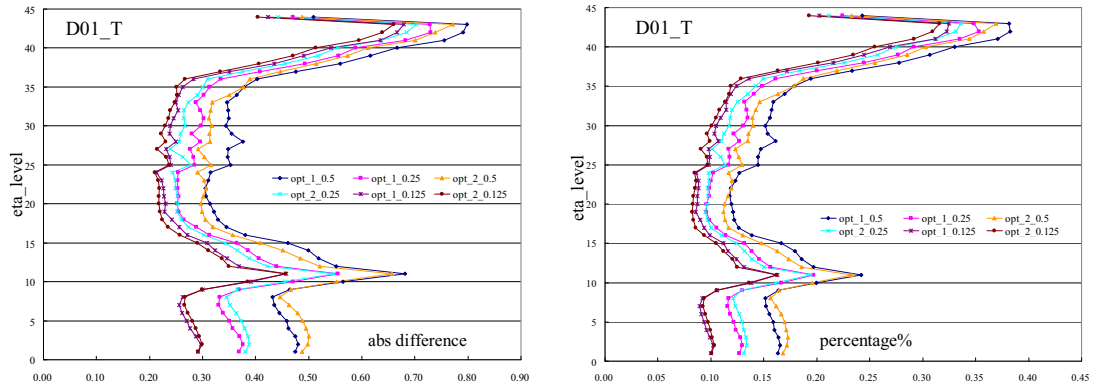


圖 4.6 如圖 4.3，但為 72 小時預報場。

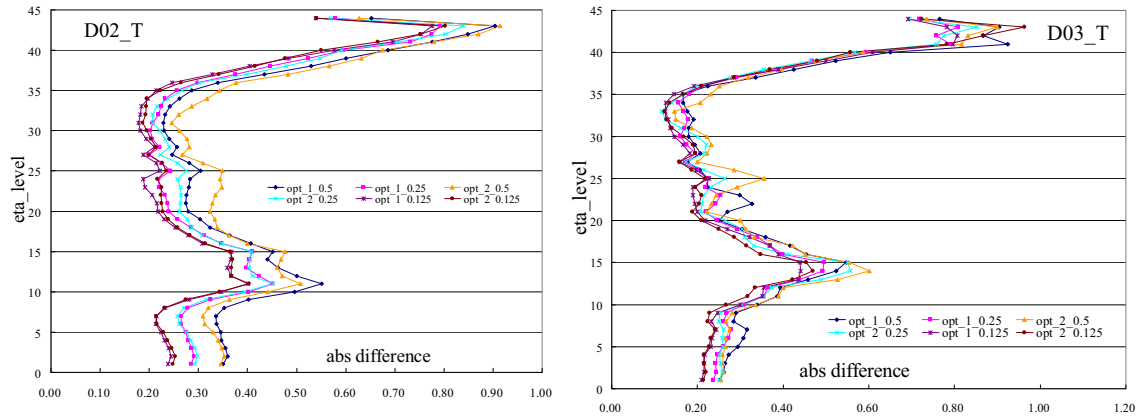


圖 4.7 如圖 4.6，但左圖為 15 公里解析度，右圖為 5 公里解析度。

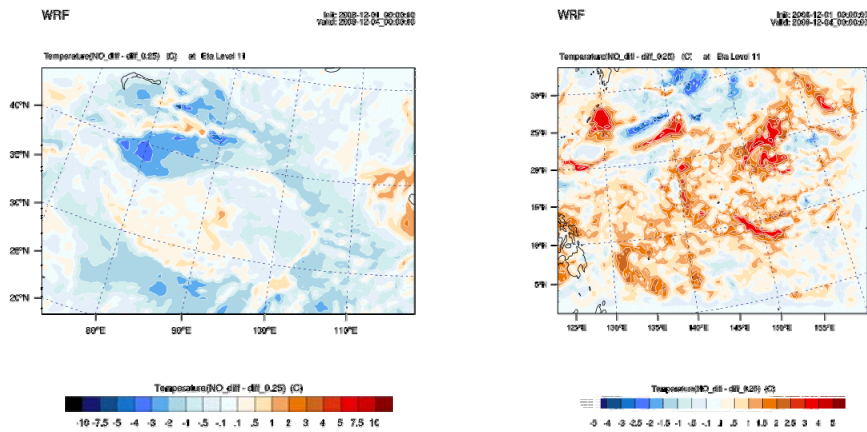


圖 4.8 如圖 3.2，但範圍為前文所提之區域，eta level=11，左圖為陸地，右圖為海洋。

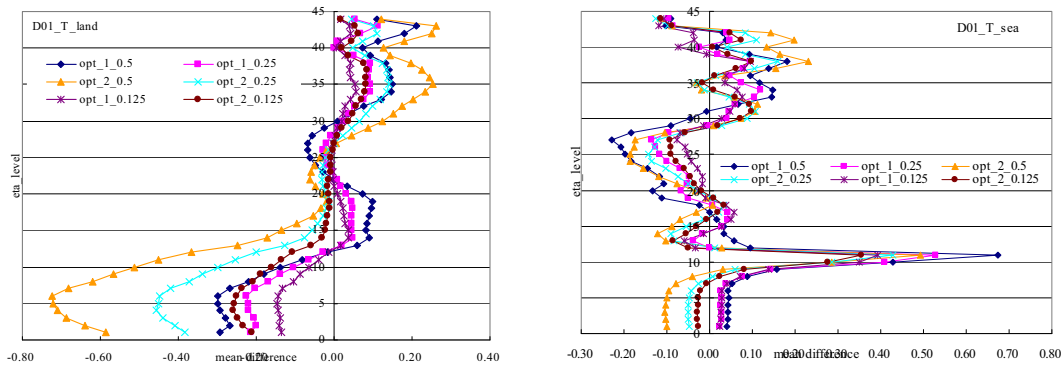


圖 4.9 如圖 4.6，但為平均差異，非絕對值差異，左圖為陸地，右圖為海洋。

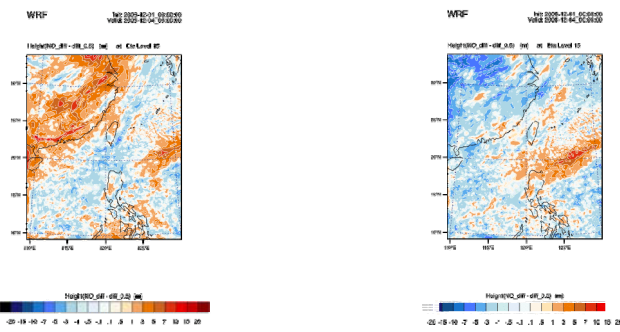


圖 4.10 如圖 4.2，左圖關閉 flux limiter，右圖為使用 flux limiter。

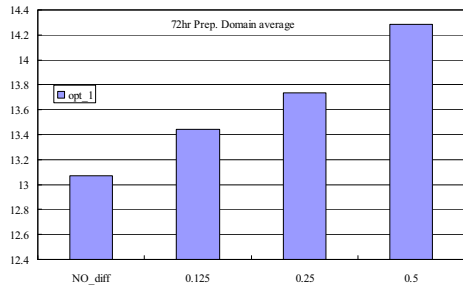


圖 4.11 2008 12/1 00UTC 72 小時預報累積降水之 domain 1 區域平均，對照組與實驗 2、4、6 之比較。

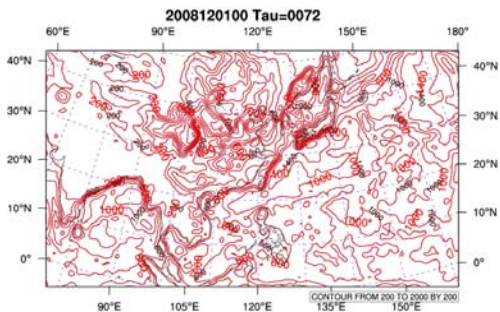


圖 5.1 2008 12/1 00UTC 72 小時預報，邊界層高度分布，等值線為 200 公尺。