

# 中央氣象局中尺度動力降尺度系統(MDDS)之地表風場效驗

王建勛 邱炳魁 鄧仁星  
中央氣象局氣象科技研究中心

## 摘 要

MDDS(Mesoscale Dynamic Downscaling System)為中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署(NOAA)下之GSD(Global system division)合作發展的複雜地形區的三維連續變分動力降尺度系統,有別於一般利用區域數值模式的動力降尺度方程,本系統是利用追隨地勢座標下之三維氣象物理方程為變分法的約束條件,並以連續變分求出高解析度氣象場資料。

MDDS利用NCEP/GFS 0.5度資料當作初始場,經5次降尺度至2公里解析度和測站資料作得分比較;測站使用中央氣象局的自動氣象站及人工觀測站,所有觀測資料在接收後須經過QC過程。校驗方法利用Root Mean Square Error(RMSE), Mean Absolute Error Mean(MAE), Vector Difference(MVD)三種統計方法,校驗時間為2018年。其結果顯示NCEP/GFS粗網格解析度風場所無法解析出地形複雜區域的風場可以經過MDDS降尺度後有效解析出來。

關鍵字：動力分析、MDAS

## 一、前言

降尺度為將解析度較粗糙的資料轉換成解析度較精細的資訊;小尺度天氣變數以大尺度天氣作為背景,並受局部下墊面特徵,例如地形、離海岸的距離、土地利用等影響,經降尺度過程以達到高解析度的目的(Grotch et al., 1991)。其最常利用在氣候上的議題,由全球尺度的一般環流模式(GCM)結果得到區域尺度的現象。

Xie et al. (2010)提出連續變分法進行資料同化分析,利用一個高度非線性的,多尺度解析函數,模擬經常與鋒面或強對流下沖氣流外流相關聯的複雜現象的理想化試驗數據進行連續變分法分析,並與傳統的客觀分析或現行的變分分析進行比較,且測試了遞歸濾波,小波,及多網格方式決定變分法中的誤差協方差矩陣,雖然不同的誤差協方差矩陣方式對連

續變分法分析的結果有些細微差異,但每個捕獲的風暴邊界的主要波長由大至小均優於現行變分分析或Barnes的客觀分析在相同條件下所得知結果(如圖一)。證實此方法在各種情況下均能提供良好的分析。在此我們也利用此方式進行降尺度的分析,在同一個分析範圍內,先在網格距較大的情況下解上述的價值函數最小值,得到此網距可解析的尺度現象,在以此為下一個較小網格距(其網格距比通常為1/2)求解的初始值,如此反覆得到最終的最小網距的分析資料。

中尺度動力降尺度系統(Mesoscale Dynamic Downscaling System, MDDS)為中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署(NOAA)下之GSD(Global system division)合作發展的新三維連續變分動力降尺度系統,試圖解出在靜態下因複雜地形產生的氣象場變化。

MDDS利用追隨地勢座標的純控制方程三維變分法，其包含較完整的中小尺度氣象物理方程式為約束條件，使其結果在不同氣象變數間有相當大程度滿足所使用的控制方程式。利用三維變分法的特性，MDDS可以快速解析出高解析度下受地形影響的氣象場特性，且消耗較少的計算資源。

## 二、模式設定

MDDS價值函數(J)可寫為：

$$J = \iiint \alpha_1 P_1^2 + \alpha_2 P_2^2 + \alpha_3 P_3^2 + \alpha_4 P_4^2 + \alpha_5 P_5^2 + \alpha_6 P_6^2 + \alpha_7 P_7^2 \, d\Omega \quad (1)$$

$P_n$ 為各項控制方程，包含三個方向的動量方程( $P_1$ 到 $P_3$ )、連續方程( $P_4$ )、熱力方程( $P_5$ )、水汽方程( $P_6$ )及所有氣象變數的平滑項( $P_7$ )。 $\alpha_n$ 為各控制方程項的權重，依序為 10、10、0.5、75、10、10、1。MDDS氣象初始猜測場使用美國國家環境預報中心(NCEP, National Centers for Environmental Prediction)全球預報系統(GFS, Global Forecast System)的原始分析場0.5度全球網格資料，地形及地表利用資料採用美國USGS全球30秒高解析度土地利用資料，在台灣地區則使用中央大學太空及遙測研究中心(CSRSR)提供之100公尺解析度地形高度資料及40公尺解析度地表利用資料取代USGS在該區的資料。模式高度32層，每隔500公尺一層，分別為250, 750, ..., 15750公尺，採用蘭伯特投影，邊界層使用MRF。效驗時間為2017/12~2018/11月共1年時間，採用NCEP/GFS 00Z及12Z之案例來做分析。測站採用氣象局局屬測站及自動氣象站，品質控制部分檢驗依據WMO對地面自動氣象站的重大誤差方法(I. Zahumensky, 2004)，包含了顯著錯誤檢查(gross error check)、合理性檢查(plausible value check)、內部一致性檢查(internal consistency check)。風場適用性參考劉(2014)臺灣地區自動氣象站地場勘之可行適用性評估，客觀列出全方位受遮密之測站名單，將其風場列入黑名單。通過QC之測站取用500公尺以下的測站來做校驗，總共台灣地區取用397測站。NCEP/GFS採用u10、v10來做校驗，MDDS將250公尺輸出風

場外插至100公尺高後powerlaw至10公尺高度做校驗， $\alpha = 0.17$ 。

為了評估降尺度的表現，採用3種統計驗證參數來計算模式值與觀測值之間的誤差量，評估分析場的準確度，其分別是：

平均向量誤差(Mean Vector Difference,

MVD):  $U_b$ 、 $V_b$ 模式水平風， $U_o$ 、 $V_o$ 觀測水平風， $N$ 樣本數。當MVD越小表示風場有越高的準確度。

$$MVD = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(U_b - U_o)^2 + (V_b - V_o)^2}}{N}$$

均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE):  $X_b$ 模式值、 $X_o$ 觀測值， $N$ 樣本數。RMSE越小表示其誤差越小，表示該變數有較高的準確度，其亦代表了資料的離散性。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_b - X_o)^2}{N}}$$

平均絕對誤差(Mean Absolute Error Mean):  $X_b$ 模式值、 $X_o$ 觀測值， $N$ 樣本數。MAE越小絕對誤差越小，有較高的準確度。

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_b - X_o|$$

## 三、校驗結果

利用一年NCEP/GFS資料(2017/12~2018/11)來和地面觀測做統計，圖1到圖3為全年度的RMSE、MAE及MVD平均結果，X軸為預報時間，y軸為RMSE值，實線為NCEP/GFS地面10公尺風場對觀測資料做校驗之結果，虛線為NCEP/GFS經MDDS降尺度後和觀測資料做效驗之結果；誤差隨著預報時間的增加而上升，這是隨著預報時間的增加而預報誤差也增加的緣故；由RMSE、MAE及MVD來看，經過MDDS降尺度後的結果，其較原始猜測場更符合觀測資料。表1及表2分別為NCEP/GFS及經過MDDS降尺度之統計平均結果，其平均為f00~f196之統計平均，經降尺度後RMSE從3.02降為2.35，MAE從2.48降為1.72，MVD從3.10降

為2.73。RMSE及MAE減少說明出降尺度後風速的誤差更小，MVD減少則說明U、V方向的風場也和觀測資料較接近，也說明風速的誤差減少是因為U、V更靠近觀測資料。分四季來看，圖4到圖6分別為RMSE、MAE及MVD之各季節統計，左上到右下分別為冬(DJF)春(MAM)夏(JJA)秋(SON)四季統計結果。圖4到圖6顯示MDDS降尺度結果在四個季節都能有效的減少誤差，不論從RMSE、MAE、MVD可以發現秋冬季的李CEP/GFS誤差較大，春夏兩季誤差較小，MDDS結果顯示四季均有改善，且在秋冬季改善較多，春夏季改善較少。

#### 四、結論

中央氣象局中尺度動力降尺度系統(MDDS)利用NCEP/GFS 0.5度當作初始資料猜測場，進行連續變分動力降尺度，以一年的模式資料及觀測資料來做統計校驗。以RMSE、MAE、MVD統計結果顯示，MDDS降尺度能解析出粗解析度下所無法看到的複雜地形區風場的效應。然而MDDS最底層的解析度仍然很粗糙，提高近地面解析度為之後可以持續改進方向。

#### 五、參考文獻

曾中一, 1997: 氣象資料同化, 初版, 渤海堂文化公司, 台北市.

劉清煌, 2015: 臺灣地區自動氣象站資料之品質分析與評估。

Grotch SL, MacCracken MC. 1991. The use of general circulation models to predict regional climatic change. *Journal of Climate* **4**:286–303.

Xie, Y., S. Koch, J. McGinley, S. Albers, P. E. Bieringer, M. Wolfson, and M. Chan, 2011: A space–time multiscale analysis system: A sequential variational analysis approach. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1224–1240.

Zahumensky, 2004: Guidelines on quality control procedures for data from automatic weather stations, World Meteorological Organization, Switzerland,

Geneva.

表 1 NCEP/GFS 0.5 度對觀測資料統計平均結果

NCEP/GFS	RMSE	MAE	MVD
ALL	3.02	2.48	3.10
DJF	3.72	3.24	3.73
MAM	2.82	2.36	2.99
JJA	2.42	1.90	2.65
SON	3.15	2.52	3.16

表 2 NCEP/GFS/MDDS 對觀測資料統計平均結果

MDDS	RMSE	MAE	MVD
ALL	2.35	1.72	2.73
DJF	2.83	2.14	3.18
MAM	2.37	1.76	2.84
JJA	1.97	1.43	2.42
SON	2.28	1.62	2.60

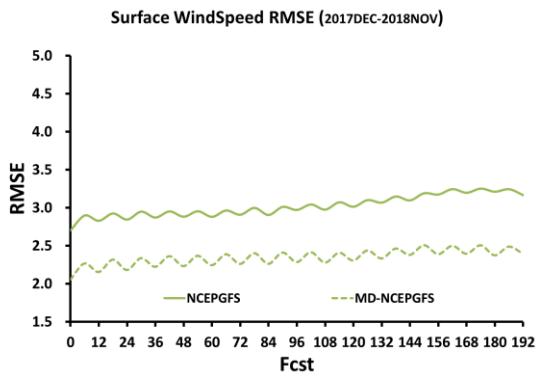


圖 1 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之 1 年 RMSE 統計結果。

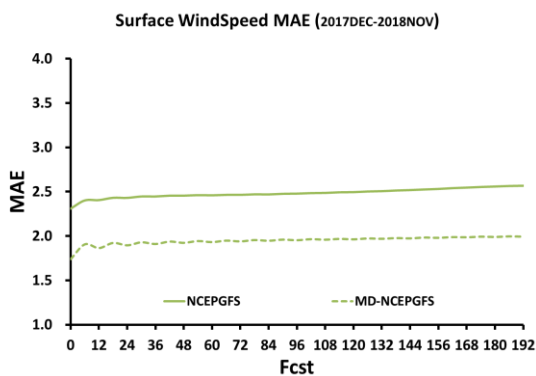


圖 2 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之 1 年 MAE 統計結果。

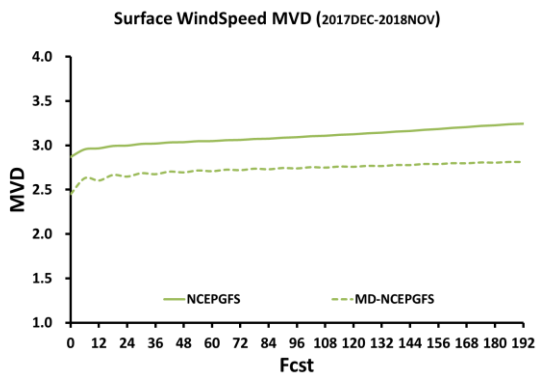


圖 3 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之 1 年 MVD 統計結果。

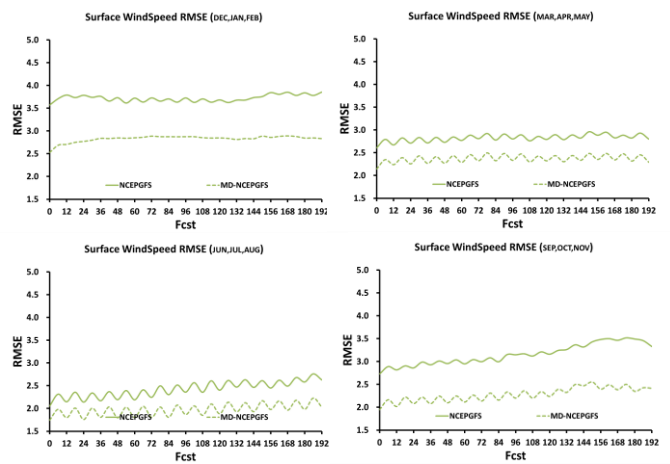


圖 4 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之各季節 RMSE 統計結果。左上：DJF、右上：MAM、左下：JJA、右下：SON。

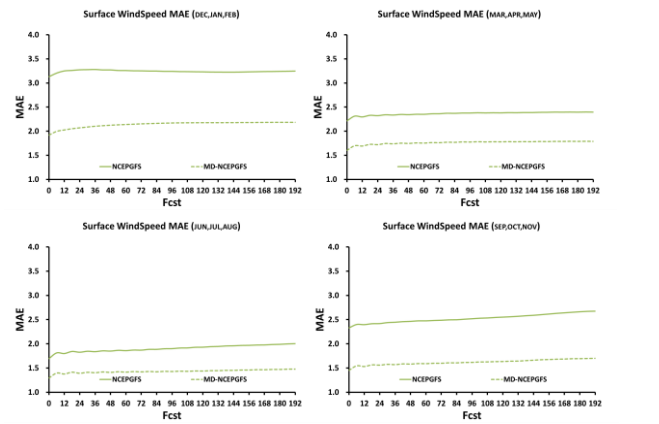


圖 5 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之各季節 MAE 統計結果。左上：DJF、右上：MAM、左下：JJA、右下：SON。

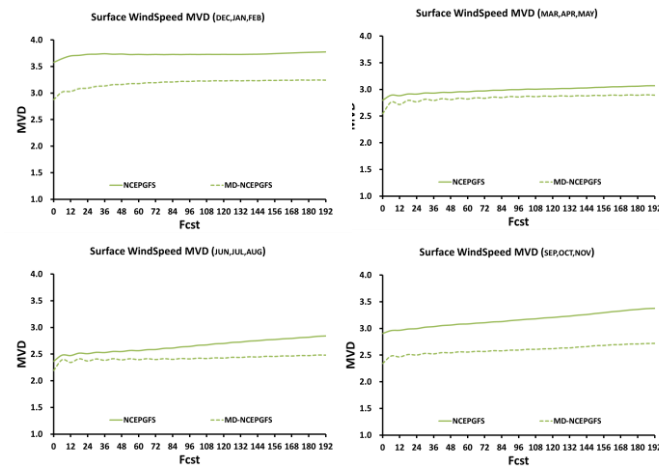


圖 6 NCEP/GFS 和 NCEP/GFS/MDDS 之各季節 MVD 統計結果。左上：DJF、右上：MAM、左下：JJA、右下：SON。