

高解析度動力降尺度預報系統(MSM)之地真資料與陸地模式更新

吳佳瑩¹ 汪鳳如² 陳映如¹ 陳建河¹ 張庭槐²
氣象資訊中心¹ 氣象科技中心²
中央氣象局

摘要

高解析度非靜力動力降尺度預報系統(MSM, non-hydrostatic Mesoscale Spectral Model)為串接於中央氣象局全球預報系統(CWBGFS, Central Weather Bureau – Global Forecast System)中之區域模式,其目的在於模擬以全球模式難以掌握的臺灣複雜地形下之小尺度的天氣現象。由於目前MSM為一公里解析度之區域模式,但使用之地真資料為解析度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,並不能反映真實臺灣地貌狀態,因此改採用高解析度地真資料作為模式背景場:植被種類解析度為約500公尺、植物覆蓋率與土壤種類為約800公尺。本研究於MSM模式中更新使用此高解析度地真資料,同時陸地模式由OSU LSM(Oregon State University Land Surface Model)改為NOAH LSM(NOAH Land Surface Model),並調整地表粗糙長度,使得近地面氣象場有更好的預報能力。

關鍵字:降尺度預報系統、地真資料、地表粗糙長度

一、前言

本研究使用的高解析度動力降尺度預報系統為一非靜力中尺度模式(non-hydrostatic Mesoscale Spectral Model, 後稱為MSM),由美國NCEP-RSM(National Centers for Environmental Prediction – Regional Spectral Model)靜力模式架構加上非靜力擾動發展出來的版本(Juang, 1992; Juang, 2000)。模式設定的空間解析度為一公里,目的在於掌握臺灣區域細部環流特性,以提供全球模式無法掌握的小尺度天氣現象預報。但原本在模式中所使用的地真資料解析度極為粗糙,包含植被種類、土壤種類與植物覆蓋率之解析度均為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,如此並不能反映出臺灣真實的地貌狀態,因此決定採用高解析度之地真資料作為模式的背景場。同時,由於地真資料的更新,修改了植被種類與土壤種類的定義與分類,模式中原始的陸地模式(OSU LSM, Oregon State University Land Surface Model (Mahrt and Ek 1984; Mahrt and Pan 1984; Pan and Mahrt 1987; Ek and Mahrt 1991))已無法處理新的地真資料定義,因此我們也將陸地模式更新為NOAH LSM (NOAH Land Surface Model (Koren et al. 1999; Ek et al. 2003)),以符合新的地真資料計算。另一方面,模式中近地面風速(地表10m風速)常有預報過強的現象,Cheng et al.(2019)使用Weather Research and Forecasting (WRF) Model針對臺灣以植

被種類對應之地表粗糙長度(z_0)及有效粗糙長度(Z_{0eff})進行測試,結果顯示 Z_{0eff} 的提高有助於改善近地面風速過強的問題。因此,我們也調整了模式中的 Z_{0eff} ,以改善近地面風速的預報誤差。詳細的資料更新、模式更新與調整請參照第二章、實驗設計與結果請參照第三章。

二、資料更新、模式更新與調整

(一) 更新地真資料

MSM目前所使用的地真資料(植被種類、土壤種類以及植物覆蓋率)解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。植被種類與土壤種類如圖(1),可以看到在粗糙的網格點中,僅有四至五個網格點覆蓋臺灣地區,植被種類七為多年生植被、種類11為裸土;土壤種類三為精細土壤、六為中等精細土壤。而將要更新的地真資料由CWB/WRF提供,來源解析度分別是:植被種類約500m,土壤種類約為800m,將資料內插至一公里解析度的MSM模式網格點後,其分布如圖(2)所示,植被種類除了常綠針葉林與冰雪地以外,其餘種類均有出現於臺灣地區,其中分布最廣泛為常綠闊葉林、混和林、作物、作物與自然植被,以及都市與建築等;土壤種類則沒有沙、淤泥、沙質黏土、有機質及苔原,在臺灣地區多數為壤土、粉質壤土及黏質壤土等。

更換植被種類資料的同時,也必需更換相對應

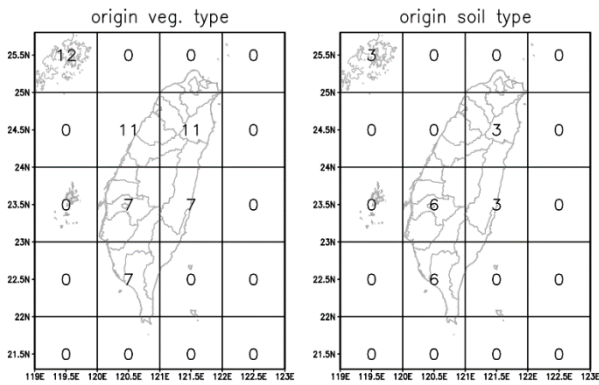


圖1 現行使用舊版植被種類與土壤種類。解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，其植被種類對應參照表1；土壤種類對應參照表2。顯示0值為沒有資料(海洋)。

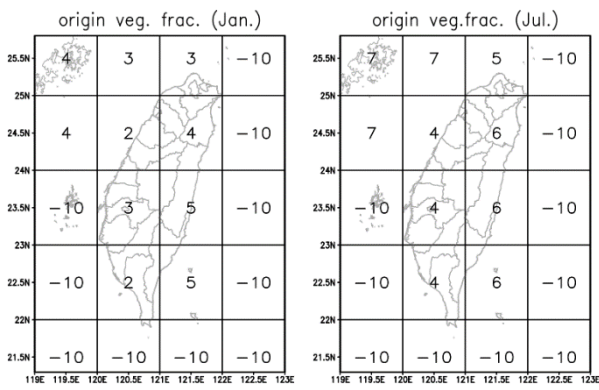


圖3 現行使用舊版植物覆蓋率。解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，表格中覆蓋率為十倍實際值，顯示-10值為沒有資料(海洋)。圖中顯示一月份與七月份之植物覆蓋率。

的植物覆蓋率，圖(3)為原先使用的植物覆蓋率資料，解析度亦為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，更新過後的植物覆蓋率在CWB/WRF提供的原始資料解析度為約800m，再內插至MSM一公里解析度網格點的分布如圖(4)，如此高解析度的資料可以很清楚地看出臺灣地區隨著地形與季節變化有不同的植物覆蓋率分布，亦能明確掌握主要河川及水庫的分布。

(二) 更新陸地模式

目前MSM所使用的陸地模式(OSU LSM)為在1980年代發展的陸地模式，模式中土壤層為兩層，土壤層中的水文由Richardson's equation導出。我們在更新地真資料的同時，發現土壤種類與植被類型的分類數量及定義均與現在使用的不同，在地表粗糙長度(z_0)的訂定方式也不同(詳見第三小節)，如此

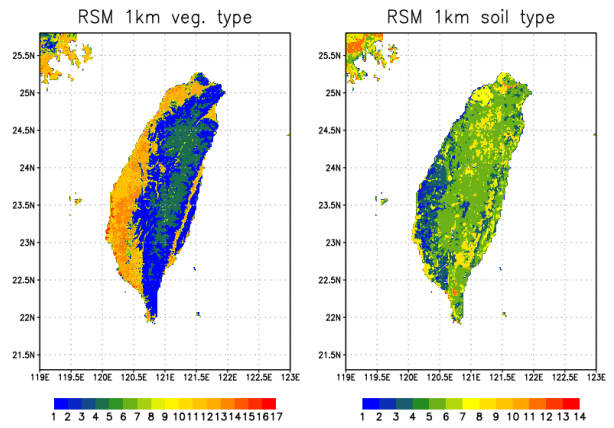


圖2 更新植被種類與土壤種類。原始資料植被種類解析度約500公尺，土壤種類約為800公尺，內插至一公里解析度的MSM網格點，其植被種類對應參照表1；土壤種類對應參照表2。

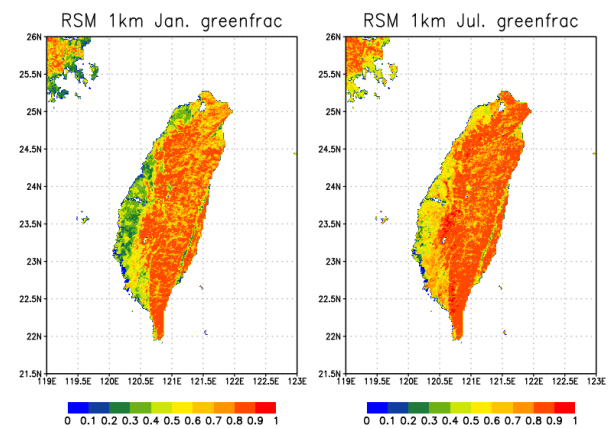


圖4 更新植物覆蓋率。原始資料解析度為約800公尺，內插至一公里解析度的MSM網格點。圖中顯示一月份與七月份之植物覆蓋率。

的資料更新在OSU LSM無法辨別，同時也因為此陸地模式為較早期開發的模式，因此我們決定同步更新MSM所使用的陸地模式。新引進的NOAH LSM為精進版本的OSU LSM，土壤層增加至四層，並且植物根系影響深度改由植被種類選擇(在OSU LSM中為固定值)、新增土壤冰含量預報、凍土對土壤熱傳送的影響、修改裸土蒸發率的計算等等，為較新的土壤模式。

(三) 調整地表粗糙長度(z_0)

對於模式的地表過程而言，地表的粗糙長度(z_0)會影響近地面的風速、溫度等，是具有極大影響力的參數。我們在過去的模式模擬中發現，臺灣陸地常有近地表風速過大的情況發生，為了修正此情況，我們修改了 z_0 參數。在OSU LSM中，會讀入

1°x1°的 z_0 氣候資料作為模式模擬當時的 z_0 ，而在NOAH LSM 中改為由根據植被種類給定，其對應值如表(1)，如此修改較能直接反映地表狀態，精確度更高。另外，模式中會計算相當地表粗糙長度(z_e)作為地表過程運作時實際使用的粗糙長度，由於我們發現，原始的計算公式 $z_e = \exp[(1 - \text{shd}_{\max})^2 \ln(0.01) + (1 - (1 - \text{shd}_{\max})^2) \ln(z_0)]$ 會因為最大植物覆蓋率(shd_{\max})的降低而減少 z_e ，因此會出現實際計算時 z_e 極低的情況，造成近地表風速過高，因此我們將封閉灌木叢與草原以外的植被種類地表粗糙度計算公式修改為 $z_e = z_0$ ，避免因 shd_{\max} 而降低 z_e 值。接著，將都市與建築的植被種類對應之地表粗糙長度由 1.0m 更改為 2.1m，這是由於我們發現針對都市而言，原始的 z_0 無法反映實際都市地貌複雜、降低風速的情況，因此參考Cheng et al. (2019)中對都市與建築 z_0 的設定，修改為2.1m。

三、實驗設計與結果

我們選定 2019 年 7 月 23 日 00 UTC 作為實驗初始時間，模擬時間長度 120 小時，模擬期間臺灣地區為穩定的天氣型態，近地面風速較小，較容易看出模式模擬風速是否過大。MSM 模式初始場與背景場資料均由 CWB/GFS-TCO639(水平解析度約 15 公里)透過 MPMD (Multi-Program Multiple-Data)架構提供，其方式為 CWB/GFS 在進行預報時，於特定要進行資料提供的時間，將 MSM 需要的大氣變數透過 MPI (Message Passing Interface)直接傳給 MSM 進行預報，使 MSM 與 CWB/GFS 能同步積分進行動力降尺度預報 (Chen et al., 2018)。

預報實驗分為三組。第一組為控制實驗(MSM-ori)，使用 OSU LSM 陸地模式及舊有的地真資料，並且不修改 z_0 與 z_e 的計算。第二組為更新地真資料後並使用NOAH LSM 陸地模式(MSM-noah)，評估在地真資料與陸地模式更新後對於近地面參數預報的影響。第三組實驗為在第二組的模式設定下，調整 z_0 與 z_e 的計算(MSM-noah-z0)，評估地表粗糙度對風速預報的影響。

圖(5)為以臺灣及離島地區測站觀測之氣溫與風速作為校驗標準，所繪製之三組模式預報 2m 氣溫與 10m 風速的區域平均 RMSE (Root Mean Square Error)。在五天的預報中，控制實驗在 2m 氣溫預報

植被種類	舊版	新版	新版植被種類對應粗糙長度
1	常綠闊葉林	常綠針葉林	1.089
2	落葉闊葉林	常綠闊葉林	2.653
3	混和林	落葉針葉林	0.854
4	常綠針葉林	落葉闊葉林	0.826
5	落葉針葉林	混和林	0.800
6	闊葉林與草原	封閉性灌木叢	0.050
7	多年生植被	開放性灌木叢	0.010
8	闊葉灌木與多年生植被	木質稀樹草原	0.856
9	闊葉灌木與裸土	稀樹草原	0.856
10	矮樹與地被灌木(苔原)	草地	0.150
11	裸土	永久濕地	0.040
12	耕地	作物	0.130
13	冰河	都市與建築	1.000
14		作物與自然植被	0.250
15		雪與冰	0.011
16		貧瘠或稀疏植被	0.010
17		水	0.001
18		多樹的苔原	0.076
19		混和苔原	0.050
20		裸露的苔原	0.030

表1 舊版與新版植被種類分類與新版本相對應之地表粗糙長度(單位:m)。新版中土壤種類為20種，但實際使用僅1~19種。

土壤種類	舊版	新版
1	粗質	砂土
2	中等	壤質砂土
3	精細	砂質壤土
4	粗質-中等	粉質壤土
5	粗質-精細	淤泥
6	中等-精細	壤土
7	粗質-中等-精細	砂質黏壤土
8	有機質	粉質黏壤土
9	冰川陸冰	黏質壤土
10		砂質黏土
11		粉質黏土
12		黏土
13		有機質
14		水
15		基岩
16		其他(陸冰)
17		海灘
18		岩漿
19		白沙

表2 舊版與新版土壤種類分類。新版中土壤種類為19種，但實際使用僅有1~16種。

RMSE五日平均達1.95°C，而10m風速則達到2.31m/s，並且從圖(6)中可以看到，預報時間第72小時的2m氣溫RMSE在中部以南最為明顯、10m風速則是臺灣西北地區較為明顯，這可能是由於過去在植被種類的劃分上，因資料解析度不足，臺灣植被種類只被分成南北兩種，因而造成特定區域的誤差偏高。在經過地真資料及陸地模式更新後(MSM-noah)，2m氣溫預報RMSE下降0.2°C左右，10m風速預報RMSE則下降約0.3m/s左右，這是在地真資料提升解析度及陸地模式更新後，地表的熱收支較為正確，在陸地過程中也考慮得較為完善，使得近地面氣象場誤差變小。從圖(6)中可以看到幾乎全臺灣的2m氣溫RMSE都有明顯下降，10m風速RMSE也有誤差變小的趨勢。而在我們將 z_0 與 z_e 的計算修改過後，讓實際在模式中計算的 z_e 增加，藉以減少近地面風速過大的現象。在圖(5)中的綠色線(MSM-noah-z0)即為修改過後的模擬區域平均RMSE，可以看到在2m氣溫中的平均RMSE與MSM-noah相近，亦即此修改並不會造成溫度上太大的影響。在10m風速上則有明顯的改善，平均的RMSE下降至1.43m/s，與MSM-ori相比有37%的修正幅度；若以水平空間分布來看(圖6)，以臺灣西半部地區修正幅度最大，是為都市與建築及作物等植被種類分布最多的地區。

四、結論

地真資料為大氣模式中極為重要的下邊界之一，而陸地模式同樣為處理其下邊界過程的重要模

式。在MSM高解析度非靜力動力降尺度預報系統中，過去使用了解析度極低的地真資料：1°x1°的植被種類、土壤種類及植被覆蓋率，其粗糙的地貌分布無法反映出臺灣真實狀態，進而影響近地面的氣象場預報，因此提升地真資料的解析度為一重要工

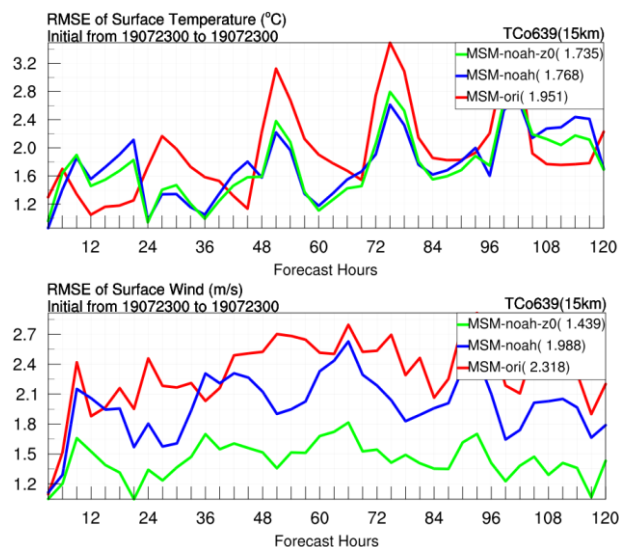


圖5 模式模擬預報2m氣溫(上)與10m風速(下)的區域平均RMSE。以臺灣及離島地區之測站觀測作為校驗標準。圖中紅色線為控制實驗(MSM-ori)；藍色線為使用新地真資料與NOAH LSM設定的實驗(MSM-noah)；綠色線為使用新地真資料與NOAH LSM設定及調整 z_0 與 z_e 的實驗(MSM-noah-z0)

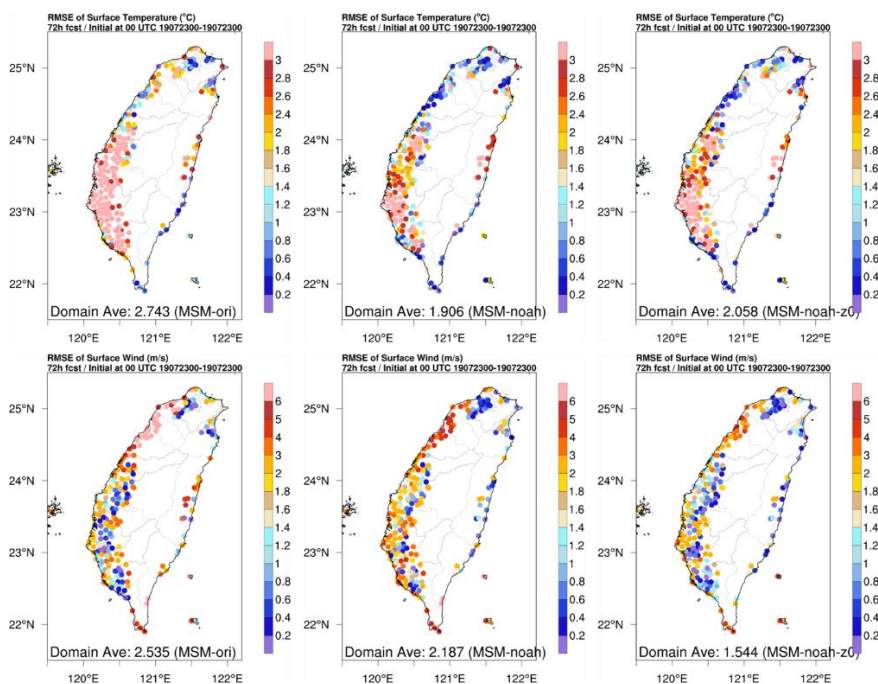


圖6 模式模擬預報第72小時2m氣溫(上)與10m風速(下)的RMSE。以臺灣及離島地區之測站觀測作為校驗標準。圖中左排為控制實驗(MSM-ori)；中排為使用新地真資料與NOAH LSM設定的實驗(MSM-noah)；右排為使用新地真資料與NOAH LSM設定及調整 z_0 與 z_e 的實驗(MSM-noah-z0)

作。這裡我們選用CWB/WRF所提供的高解析度地真資料(植被種類水平解析度約500m、土壤種類與植物覆蓋率水平解析度約800m)內插至MSM一公里解析度網格點，以得到高解析的地表狀態。另一方面，原始MSM所使用的陸地模式(OSU LSM)為1980年代較早期開發的陸地模式，土壤層中所考慮的過程均較為簡單，亦無法辨別新的地真資料種類，因此更新陸地模式為NOAH LSM，同時調整 z_0 與 z_e ，使近地面的風速誤差減小。根據實驗顯示，在更新地真資料與陸地模式後，2m氣溫的預報平均RMSE下降約0.2°C左右；而再進一步調整 z_0 與 z_e 後，10m風速的預報平均RMSE與原始模式預報相比，有37%的下降幅度，由此可知這樣的調整方向是對模式預報有相當程度的正貢獻。

四、參考文獻

- Chen, Y.-J., H.-M. H. Juang, and J.-H. Chen, 2018: “High Resolution Weather Forecast of CWB-GFS Nested with NCEP-RSM”, 25th Conf. on Numerical Weather Prediction, Denver, CO, Amer. Meteor. Soc., JP2.52,
- Cheng, F. Y., Lin, C. F., Wang, Y. T., Tsai, J. L., Tsuang, B. J., and Lin, C. H., 2019: “Impact of Effective Roughness Length on Mesoscale Meteorological Simulations over Heterogeneous Land Surfaces in Taiwan” Atmosphere, 10 (12), 805 (SCI)
- Ek, M., and L. Mahrt, 1991: A formulation for boundary-layer cloud cover. Ann. Geophys., 9, 716–724.
- Ek, M., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, and J. D. Tarpley, 2003: Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. J. Geophys. Res., 108, 8851, doi:10.1029/2002JD003296.
- Juang, H.-M. H., 1992: A spectral fully compressible nonhydrostatic mesoscale model in hydrostatic sigma coordinates: Formulation and preliminary results. Meteor. Atmos. Phys., 50, 75-88.
- Juang, H.-M. H., 2000: The NCEP Mesoscale Spectral Model: A revised version of the nonhydrostatic regional spectral model. Mon. Wea. Rev., 128, 2329–2362.
- Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q.-Y. Duan, F. Chen, and J. M. Baker, 1999: A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. J. Geophys. Res., 104, 19 569–19 585.
- Mahrt, L., and M. Ek, 1984: The influence of atmospheric stability on potential evaporation. J. Climate Appl. Meteor., 23, 222– 234.
- Mahrt, L., and H. L. Pan, 1984: A two layer model for soil hydrology. Bound.-Layer Meteor., 29, 1–20.
- Pan, H.-L., and L. Mahrt, 1987: Interaction between soil hydrology and boundary layer developments. Bound.-Layer Meteor., 38, 185–202.