

地表參數對 FV3GFS 區域系統預報的影響

- (II) 地表粗糙長度

汪鳳如¹ 蕭玲鳳¹ 陳延安¹ 陳建河²
中央氣象局科技中心¹ 中央氣象局資訊中心²

摘要

本研究利用氣象局下一階段全球數值預報系統 FV3GFS 內嵌的區域系統，進行台灣區域預報研究，探討地表粗糙長度對台灣區域近地 10 米風速的預報影響，作為改善近地面風速過度預報的參考。

為了考慮網格內的地物變化，FV3GFS 目前計算地面動量通量(surface stress)使用的格點粗糙長度，採用了以格點上主導地物(dominant land use)對應的粗糙長度及裸地(bare soil 粗糙長度(0.01m)估算出的有效粗糙長度(effective roughness length, z_{ef}) (Zeng and Dickinson 1998, ZD98)。本研究的敏感實驗設計三組測試，第一測試組(Z_e)便採用此 ZD98 方法計算格點有效粗糙長度，第二測試組(Z_0)則採用對照表，直接以格點上主導地物型態對應的粗糙長度作設定，第三測試組(Z_0_EC)同樣採用對照表的值做設定，但是對照表的粗糙長度值參考 ECMWF 的 Cy41r1 版本設定值作了部分調整。

個案測試以 2018 年 9 月 6 日 12Z 為初始時間進行 24 小時預報，地面校驗結果顯示，測試組(Z_e)的 10 米風預報明顯過強，白天又較夜間嚴重。測試組(Z_0)採用對照表設定的粗糙長度，其值於整個台灣區域均普遍增大，此變化使得地表因摩擦產生的動量通量增加，因此減緩 10 米風預報過強情形。測試組(Z_0_EC)結果與測試組(Z_0)類似，且風速過度預報的減緩趨勢更為顯著，因為在 Z_0_EC 的粗糙長度對照表中，地表粗糙長度於農作(從 0.13m 增至 0.5m)及城市(1m 增至 2m)二個土地利用型態均明顯增大，而農作及城市又是台灣北部及西部區域的主要土地利用型態。

此初步測試結果顯示，地面風速預報對地表粗糙長度有相當的敏感度，模式目前對於有效粗糙長度的計算應用於台灣區域時有明顯低估傾向，這應是造成近地風過度預報的重要原因，因此如何適當描述不均勻地表的格點有效粗糙長度，將是未來的工作方向。

關鍵字: 地表利用，地表粗糙長度，10 米風

一、前言

在地球大氣系統中，地表和低層大氣的能量交換對於大氣能量的多寡扮演著舉足輕重的角色。除了透過可感熱和潛熱的傳遞，地表將吸收自太陽的輻射能量傳遞給大氣；同時地面的摩擦效應使得大氣近地表動量不斷被消耗，因此風速靠近地面時逐漸趨 0。但風速的減小與表面粗糙程度相關，因此具不同地貌特徵的地區，風速垂直分布曲線也不同。地表粗糙程度除了直接影響近地風場，近地垂直風切對渦流的影響亦會間接影響熱量的傳送，模式中地表粗糙程度由參數-地表粗糙長度決定，此參數因此被視為影響地面過程

的一個重要參數，此參數在下邊界地物分布不均勻情況的描述方法，近年來亦逐漸被重視(Cheng et al. 2019; Lu et al. 2009).

本研究使用的氣象局下一代全球數值預報作業系統 FV3GFS，源自於 NCEP 於 2019 年 6 月上線作業的 FV3(Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core)-based GFSv15，此全球系統可內嵌一區域網格系統，此區域系統除了具有可彈性調整的涵蓋範圍及解析度，其餘動力架構與物理過程均與全球系統一致，等於提供了一個與上游全球系統環境一致的區域高解析度模擬工具。FV3GFS 現階段正在進行上線前的建置評估及調整，從 FV3GFS 內嵌區域系統與 WRF 區

域模式的台灣區域地面校驗比較顯示，FV3GFS 的 2 米溫度及 2 米濕度偏差均與 WRF 模式相當，但 10 米風的過強偏差較 WRF 模式顯著許多，平均偏差數值大了將近 1m/s，為了解模式模擬風速過強的原因，本研究因此設計敏感測試實驗，針對地表粗糙長度之設定對於近地風的影響作進一步了解。

論文第二節將針對 FV3GFS 目前計算地面動量通量(surface stress)使用的格點粗糙長度做說明，另外實驗設計對於三組測試的粗糙長度設定也會在此節說明。第三節為敏感測試結果及分析，第四節為結論。

二、地表粗糙長度設定

(一) FV3GFS 現行設定

FV3GFS 大氣模式中最靠近地面的第一層代表大氣邊界層中的地面層，此層風速除了受大氣邊界層渦流混合的影響，同時受下邊界摩擦的影響，地面摩擦產生的動量通量為 $-\overline{w'u'}$

$$\overline{w'u'} = \left[kU_a / \left(\ln z/z_e - \varphi_m(z/L) \right) \right]^2 \quad (1)$$

式中 k 為馮卡門常數(von karman constant, 0.4)， U_a 為高度 z 的風速，此動量耗損與地面粗糙度相關，小括弧內第一項分母的 z_e 是代表地面粗糙程度的參數-地表粗糙長度，第二項 φ_m 是代表近地層大氣熱力穩定度的函數。

其中地表粗糙長度的定義可從(1)式推知，即中性大氣環境($\varphi_m(z/L)$ 為0)下風速降至0的高度，此高度並非地物真實高度，約為真實高度的 1/5 至 1/10，當地物為不均勻分布時，數值模式中每一格點可能涵蓋不只一種地物，為了考慮一格點內不同地物的整體作用，較複雜模式會以有效粗糙長度(effective roughness length, z_e)取代單一地物的粗糙長度(Z_0)，本模式目前估算有效粗糙長度是參考 Zeng and Dickinson(1998, ZD98)的方法，以格點上主導地物(dominant land use)的粗糙長度 Z_0 及裸地(bare soil)粗糙長度 Z_g (0.01m)共同估算:

$$Z_e = \exp \left[(1 - shdmax)^2 \ln(Z_g) + (1 - (1 - shdmax)^2) \ln(Z_0) \right] \quad (2)$$

(2)式顯示二種粗糙長度的權重是以最大植物覆蓋率(shdmax)劃分，此式的意義相當於假設主導地物的分

佈比例為 shdmax，其餘面積則為裸地。此假設對於台灣西部主要分布-城市(urban and build-up)或是農作地(cropland)的格點有效粗糙長度估算，都有可能產生低估，因為台灣農村的農作地以外區域，可能是村莊而非裸地；城市情況又更為複雜，若以(2)式計算會形成以植物覆蓋率當作城市的覆蓋比例，因此變成有很大比例的裸地效應，但實際情況是較小植物覆蓋以外區域大部分是建築物，並非裸地，因此將估算出遠比實際小的有效粗糙長度。

(二) 敏感實驗設定

為進一步了解模式目前模擬的風速過強現象與地表粗糙長度的相關程度，因此規劃了一個粗糙長度的敏感實驗，實驗設計了三組測試，第一測試組(Z_e)便採用模式現行的 ZD98 方法計算格點有效粗糙長度，第二測試組(Z_0)則採用對照表(表一第一欄)，直接以格點上主導地物型態對應的粗糙長度作設定，第三測試組(Z_0_EC)同樣採用對照表的值做設定，但是對照表的粗糙長度值參考 ECMWF 的 Cy41r1 版本設定值作了部分調整(表一第二欄)。

表一 FV3GFS 使用之 IGBP20 種地物分類對應的地表粗糙長長度 (Z_0)，第一欄為作業版，第二欄為參考 EC 修改部分。

	igbp (20 category)	Z0 (fv3)	Z0 (ecmwf)
1	evergreen <u>needleleaf</u> forest	1.089	2.0
2	evergreen broadleaf forest	2.653	2.0
3	deciduous <u>needleleaf</u> forest	0.854	2.0
4	deciduous broadleaf forest	0.826	2.0
5	Mixed forest	0.800	2.0
6	Closed <u>shrublands</u>	0.050	0.25
7	open <u>shrublands</u>	0.030	0.1
8	Woody savannas	0.856	
9	savannas	0.856	
10	grasslands	0.15	0.45
11	Permanent wetlands	0.04	
12	croplands	0.13	0.5
13	Urban and built-up	1.0	2.0
14	Cropland/natural veg mosaic	0.25	0.5
15	Snow and ice	0.011	
16	Barren or sparsely veg	0.011	
17	water	0.001	
18	Woody tundra	0.076	
19	Mixed tundra	0.05	
20	Bare ground tundra	0.03	

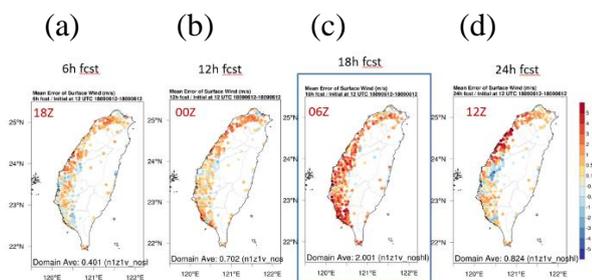


圖 1 測試組 Ze 的 10 米風速地面校驗，分別為 2018/9/6 012Z 之 (a)6 小時、(b)12 小時、(c)18 小時及(d)24 小時的 10 米風預報偏差，(m/s)。涵蓋全台灣 265 個測站。

三、測試結果與分析

本研究測試採用 FV3GFS 的 C384 版本，水平解析度約為 26 公里，內嵌區域網格系統之範圍以台灣為中心，含蓋 233x236 水平格點，網格間距約為 5 公里，垂直分層 65 層。模式動力採取 FV3 動力核心(Lin and Rood 1997; Lin 2004)，物理部分主要沿襲原 NCEP GFS 的物理模組，僅更新了 GFDL 發展的雲微物理參數法。(a)

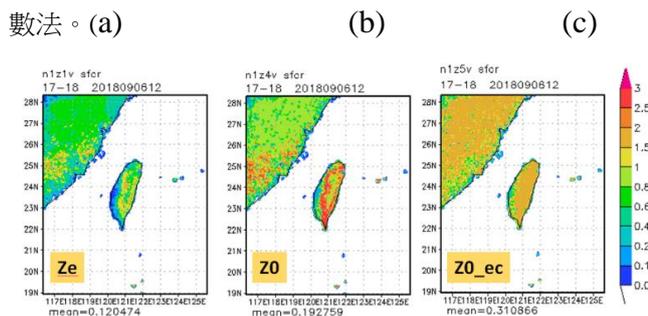


圖 2 三組測試實際使用之地面粗糙長度，(a)為測試組 Ze，(b)為測試組 Z0 及(c)為測試組 Z0_EC。單位為公尺。

(一) 10 米風速地面校驗

本研究採取個案測試方法進行，以 2018 年 9 月 6 日 12Z 為初始場進行 24 小時模擬測試，台灣區域於此模擬時段為弱綜觀天氣型態，較有利於局部風場的比較。以全台灣 265 個測站觀測為參考標準，測試組 Ze 的 10 米風速地面校驗示於圖 1，圖上分別顯示 6 小時，12 小時，18 小時及 24 小時的 10 米風預報偏差，4 個時間於大部分測站均顯示 10 米風預報過強，白天又較夜間嚴重。

若將關注點放在偏差最顯著的第 18 小時預報(圖 1c)，亦即當地下午 2 點的結果，圖 2b 顯示測試組 Z0 採用對照表設定的粗糙長度，其值於整個台灣區域均

普遍較測試組 Ze(圖 2a)增大，猜測此變化使得地表動量耗損增加，因此造成 10 米風在測試組 Ze 預報過強(圖 1c)情形減緩(圖 3a)。測試組 Z0_EC 結果(圖 3b)與測試組(Z0)類似，且風速過度預報的減緩趨勢更為顯著，因為在 Z0_EC 的粗糙長度對照表中，地表粗糙長度於農作(從 0.13m 增至 0.5m)及城市(1m 增至 2m)二個地物型態均明顯增大，而農作及城市又是台灣北部及西部區域的主要地物，因此從圖 2c 可以看到 Z0_EC 的粗糙長度分布於西岸從 Z0 組的藍綠色色變為淺綠色。

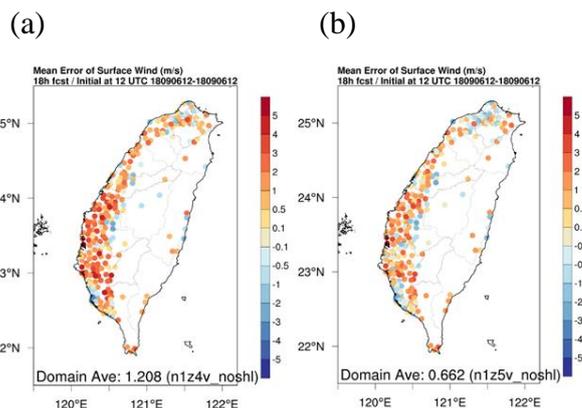


圖 3(a)測試組 Z0 及(b)測試組 Z0_EC 10 米風速地面校驗

，均為 2018/9/6 012Z 第 18 小時的 10 米風速預報偏差，(m/s)。

若將台灣 265 測站校驗結果做平均，每小時一筆資料做成的時間序列示於圖 4，上圖為 10 米風平均偏差(mean error)，下圖為 10 米風均方根誤差(root mean square error)，從圖上可清楚看到不論是平均偏差或是均方根誤差，在整個時間序列均顯示代表測試組 Ze 的紅線最大，代表測試組 Z0 的綠線次之，代表測試組 Z0_EC 的藍線最小。

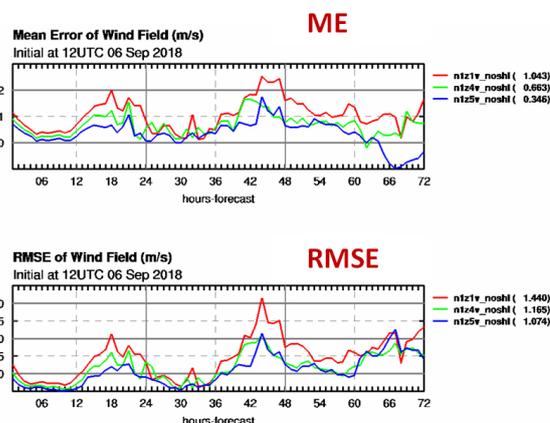


圖 4 測試組 Ze(紅線)，測試組 Z0(綠線)及測試組 Z0_EC(藍線) 10

米風速的 265 個測站平均地面校驗時序圖，時間為 1 至 72 小時，上圖為平均偏差，下圖為均方根誤差, m/s。

(二) 10 米風場及摩擦風速

前面提到粗糙長度增加使得地面過強風速減緩，猜測應與地表動量耗損率增加有關，因此檢視計算摩擦耗損率的摩擦速度之變化，圖 5a 為測試組 Z0_EC 與測試組 Ze 於 12 至 18 小時的差值(Z0_EC- Ze)平均，圖上顯示差值於陸面區域幾乎均為正值，而圖 5b 顯示的同段時間 10 米風差值，於陸面區域幾乎均為負值，台灣西部區域風速減小尤為顯著。

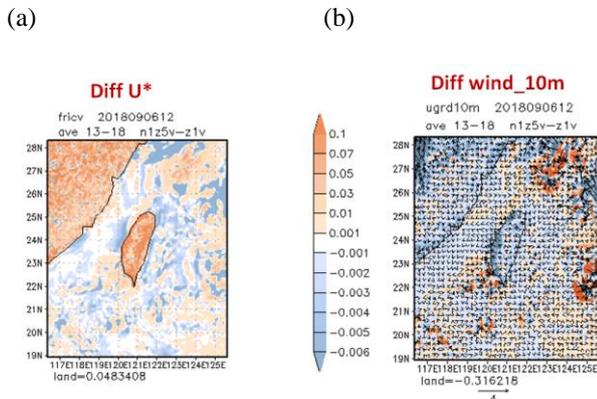


圖 5 測試組 Z0_EC 與測試組 Ze 於 12 至 18 小時預報的差值(Z0_EC- Ze)平均，(a)為摩擦風速，(b)為 10 米風，m/s。

(三) 2 米溫度場及地表可感熱通量

雖然此研究關注的重點是風場的變化，但是風場變化的同時，熱力場是否受到系統性影響也是我們所好奇的，圖 6a 為可感熱通量的變化，同樣是測試組 Z0_EC 與測試組 Ze 於 12 至 18 小時的差值(Z0_EC- Ze)平均，可從圖上看到陸面的可感熱通量在大部分地方都是增加，與此變化相對應的地面溫度(圖 6b)和 2 米溫度(圖 6c)變化剛好相反，地面溫度因為較多的可感熱從地表流失而減少，2 米溫度則因為近地大氣接收了較多的可感熱而增加。

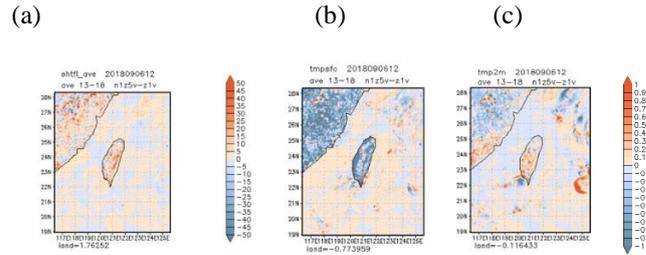


圖 6 測試組 Z0_EC 與測試組 Ze 於 12 至 18 小時預報差值(Z0_EC- Ze)的平均，(a)為可感熱通量(W/m²)，(b)為地表溫度(K)，(c)為大氣 2 米溫度(K)。

(四) 2 米濕度場及地表潛熱通量

圖 7a 是相同時段的潛熱通量變化，潛熱通量的變化與可感熱通量相同，於此時段亦是陸面上普遍增加，2 米溼度(圖 7b)則因為近地大氣接收了較多來自地面蒸發的水氣，陸面上 2 米溼度上大致都顯示增加。

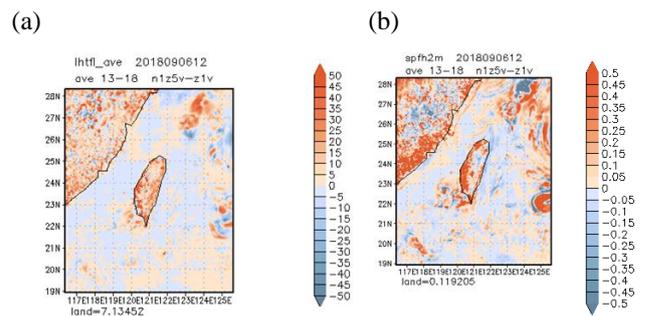


圖 7 測試組 Z0_EC 與測試組 Z0 於 12 至 18 小時預報差值(Z0_EC- Ze)的平均，(a)為潛熱通量(W/m²)，(b)為大氣 2 米濕度(g/kg)。

四、結論

此初步測試結果顯示，地面風速預報對地表粗糙長度有相當的敏感度，模式目前對於有效粗糙長度的計算應用於台灣區域時有明顯低估傾向，這應是造成近地風過度預報的重要原因。

地表粗糙度的增加不僅增強了地面動量通量的向下傳遞效率，因而降低了近地風速；在這同時也增強了地表熱量的傳遞效率，使得地表蒸發增強及白天上傳可感熱增加。熱量通量的變化對於近地層 2 米溫度及濕度的影響程度可能不像風場一般明顯，不過仍可從地面校驗分析看到，不論是 2 米溫度(圖 8a)在白天的過冷偏差

或是濕度場的過乾偏差(圖 8b)，均有正面改善。顯示將地表粗糙長度增大的方向，對於動量場及熱量場的模擬均有助益。因此如何適當描述不均勻地表的格點有效粗糙長度，改善目前普遍低估的狀態，將是未來的研究方向。

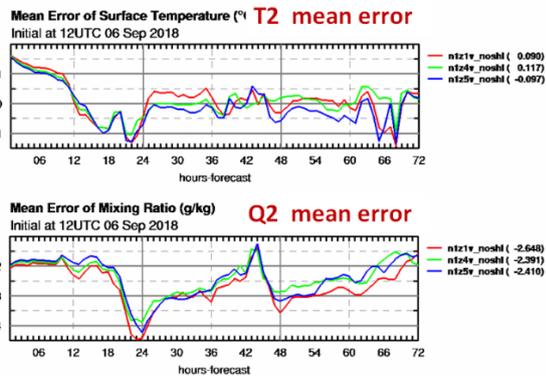


圖 8 測試組 Ze(紅線)，測試組 Z0(綠線)及測試組 Z0_EC(藍線)的全部測站平均的 24 小時地面校驗時序圖，上圖為 2 米溫度平均偏差 (K)，下圖為 2 米濕度平均偏差(g/kg)。

參考文獻

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 surface in Taiwan. *Atmosphere*, **10**, 805, doi:10.3390

Lin, S.J. and B.R. Richard, 1997: An explicit flux-form semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **123**, 2477-2498.

Lin, Shian-Jiann, 2004: A “vertically Lagrangian” finite-volume dynamical core for global models. *Mon. Wea. Rev.*, **132(10)**, 2293-2307.

Lu, L.; Liu, S.; Xu, Z.; Yang, K.; Cai, X.; Jia, L.; Wang, J., 2009: The characteristics and parameterization of aerodynamic roughness length over heterogeneous surfaces. *Adv. Atmos. Sci.*, **26**, 180-190.

Zeng, X. and R.E. Dicknson, 1998: Effect of surface sublayer on surface skin temperature and fluxes. *J. Climate*, **11**, 537-550

Impact of different static data on FV3GFS nested predictions

Part II: Surface roughness length

Feng-Ju Wang¹, Ling-Feng Shiao¹, Ting-An Chen¹, Jen-Her Chen²

Research and development center of CWB¹

Meteorological information center of CWB²

Abstract

Following with part I, another surface static data, roughness length, was tested in the nested domain of FV3GFS to study its impact on the prediction of 10m wind speed over Taiwan.

To account for the subgrid variations in the underlying roughness elements, the effective roughness length(z_{ef}) was adopted in FV3GFS to calculate surface stress. The method used to estimate the z_{ef} was based upon the roughness length (z₀) of dominant land use(LU) and the roughness length of bare ground (z_g) (Zeng and Dickinson 1998, ZD98). Three sensitivity tests were performed to study impact of roughness length, including (1) the z_{ef} derived from ZD98 formula (namely Z_e), (2) the z_{ef} replaced by dominant LU z₀ directly specified from lookup table (namely Z₀), and (3) same as test 2, the z_{ef} replaced by dominant LU table-based z₀ but lookup table partially modified referring to the table list in IFS Cy41r1 documentation of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts(ECMWF). (namely Z_{0_EC}).

The sensitivity tests initiated at 12Z of 6 Sep, 2018. During 24 hour simulation period, the Z_e simulation showed clear overestimation of 10m wind speed and more obvious during the day than during the night while compared to surface observations. The wind field overestimation was reduced in the Z₀ simulation, and more significant reduction of 10m wind speed appeared in Z_{0_EC} over most areas of western Taiwan because of higher z₀ for croplands(0.13 vs. 0.5) and urban(1.0 vs. 2.0) in Z_{0_EC} lookup table.

The preliminary result revealed the sensitivity of roughness length on near surface wind prediction. The current method for deriving effective roughness in FV3GFS tended to underestimate the roughness element effect and then induced overprediction of surface wind over Taiwan. Therefore, to find another way which can properly describe the effective roughness length for the heterogeneous surface as Taiwan is our next work.

Key words: FV3GFS, nested domain, land use, surface roughness length, 10m wind