

CWBGFS 地表模式的更新測試及診斷

汪鳳如 陳建河

中央氣象局科技中心 中央氣象局資訊中心

摘要

本研究針對中央氣象局全球作業預報系統(CWBGFS_T511L60)之 Noah LSM(Land Surface Model)進行更新測試，更新參考為 NCEP GFS 於 2018 年使用之 Noah LSM 版本，初步結果顯示，更新版造成作業模式 300hPa 以下中低層大氣顯著增溫，模式原有的暖偏差因而增加。為了解增溫原因，針對地表模式的主要更新作進一步敏感測試，測試項目包含地表放射率之導入，地物分布種類及土壤分布種類的更新。

測試一顯示，地表長波放射率(emissivity)導入地表模式取代原值均為 1 的假設後，長波放射率因普遍降低，對地表能量收支產生影響，較多能量留存地面造成地表溫度普遍升高，地面可感熱及潛熱通量亦隨之增加。測試二為地表地物分布由 13 種更新為 20 種(IGBP)，測試三則是土壤分布由 9 種更新為 16 種(Statsgo)，此二項更動均直接影響土壤蒸發的計算，結果顯示此二項測試的變化趨勢頗為相似，均造成地表潛熱通量增加，地表溫度因而降低，也間接造成地表可感熱通量的減少；其中土壤種類變動的影響又更為顯著。由此三項敏感測試結果得知，更新產生的中低層大氣增溫主要是受地表長波放射率導入的影響，此項更動雖造成模式預報暖偏差增大，但是更新方向的确是較符合實際狀態，因此猜測模式本身尚潛藏其他造成暖偏差的因素。

為客觀評斷更新產生之地表通量變化，參考 EC-interim 重分析資料，對模式地表能量收支進行診斷，發現原作業模式於地表的太陽短波輻射淨吸收量明顯過大，同時地表的平均可感熱通量偏大與潛熱通量偏小。從此診斷分析得之，減少地面短波輻射吸收，應是目前模式減少暖偏差的一個重要修正方向，也才可能在不增加模式偏差下將地表放射率導入，另外發現地表地物種類及土壤種類更新對模式目前可感熱偏大及潛熱偏小的偏差有相當正面的貢獻。

關鍵字： 地表模式，放射率，可感熱，潛熱，地表能量收支

一、前言

在地球大氣系統中，主要的能量雖來自太陽，但是短波輻射對大氣的直接加熱非常有限，僅占太陽入射能量的 19%，大部分的能量仍須藉由被短波輻射加熱的地表將能量傳遞給大氣。透過可感熱和潛熱的傳遞，地表和低層大氣持續進行能量交換；可感熱和潛熱通量的比例分配在大氣模式中是由地表模式決定。來自地表的熱通量直接影響低層大氣的溫度和濕度，再經由對流和平流過程將影響傳至整層大氣，同時透過大氣環流將能量作重新分配。因此地表模式是否正確的估算地表可感熱與潛熱通量，不僅影響低層大氣溫度與濕度的預報，同時對

全球大氣結構亦有一定程度的影響。

中央氣象局現行全球作業模式使用之地表模式為 2013 年自 NCEP 引進之 Noah LSM (Ek et al. 2003)，從過去 5 年的預報校驗發現，地表模式對可感熱及潛熱通量的估算一直存有可感熱比例偏大、潛熱比例偏小的系統性偏差。因此希望將此模式做一版本更新，將過去幾年 NCEPGFS 對 Noah LSM 的更新納入本局作業模式。本研究即是針對此次更新進行的初步測試及分析。

本論文第二節將針對此次更新項目做進一步說明，第三節為初步測試及敏感測試結果，第四節則參考 EC-interim 重分析資料，對地表能量收支作進一步診斷分析。

二、更新項目說明

此次更新版的變動可分成二部分，一部分是程式碼的更新，但大部分的更動均為程式優化處理，對結果影響不大，其中對果影響比較大的更動是將地表長波放射率傳入，現行作業版的地表模式並無傳入此變數，而是假設全球分布均為 1，圖 1 為更新版傳入的地表長波放射率全球分布。

另一部分的更新為增加一組新的全球土壤種類分布(STATSGO)及地表地物種類分布(IGBP)選項。原地表模式的全球土壤種類只分為 9 種(圖 2a)，但新增的資料有 16 種(圖 2b)。原模式的地表地物種類有 13 種(圖 3a)，新增的資料於全球分布增加為 20 種(圖 3b)。新舊版本之地物及土壤種類描述於附錄。

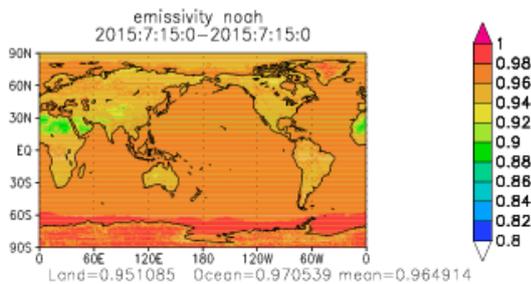


圖 1 全球地表長波放射率分布。

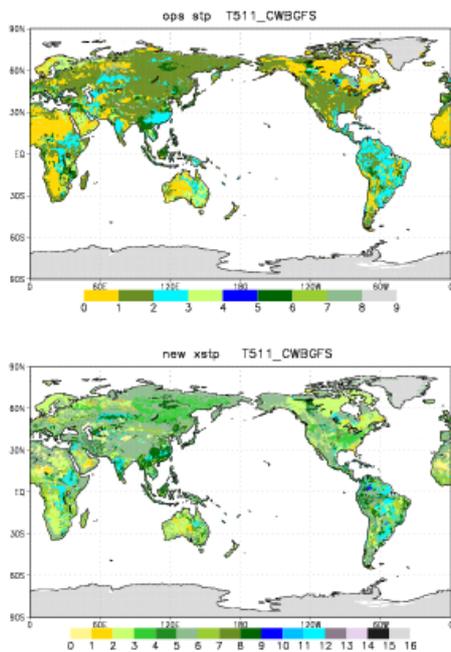


圖 2 全球土壤分布(a)為原模式資料，共有 9 種。(b)為新增資料，共 16 種。

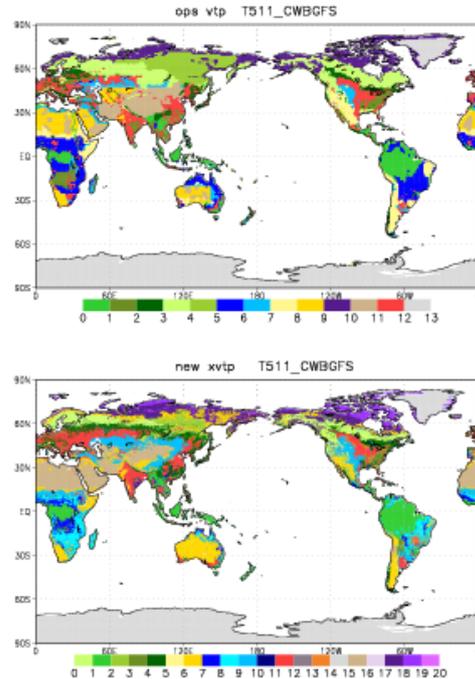


圖 3 全球地物分布(a)為原模式資料，共有 13 種。(b)為新增資料，共 20 種。

三、測試結果

本研究測試採用氣象局於 2016 年 10 月更新上線之全球預報模式(CWB-GFS)，此模式為一典型波譜模式，解析度為 T511L60，含蓋 1536x768 水平格點，網格間距約為 25 公里，垂直分層 60 層，垂直座標為 $\sigma(= (p - p_{top}) / (p_{sfc} - p_{top}))$ 及氣壓(p)混和座標。模式預報變數包含渦度場、輻散場、虛位溫、比濕、雲滴及地面氣壓。模式的物理參數化模組包含 NOAH-4 層土壤模式 (Ek et al. 2003)，MRF 邊界層參數法，已包含層積雲區輻射冷卻作用驅動之紊流擴散效應(Hong and Pan 1996， Han and Pan 2011)，淺積雲參數法 (Li 1994)，New_SAS 對流降水參數法 (Han and Pan 2011)，網格尺度降水參數法 (Zhao and Frederick 1997)，重力波拖曳參數法 (Palmer et al 1986) 及輻射參數法 (RRTMG; Rapid Radiative Transfer Model for GCM; Clough et al. (2005), Iacono et al. (2008))。模式之客觀分析採用 3 維變分方法，此方法源自 NCEP - GSI 版本(Wu et al. 2002)。

測試進行分為作業版(ops)及測試版(noah)，測試版僅更換 NOAH LSM 模組，以更新版取代。

(一) 初步測試

初步測試選取 2015/7/1 00Z 至 2015/7/15 12Z 進行 15 天擬作業程序測試，主要目的為評估 NOAH 更新版對整體預報得分的影響。圖 4 為二組測試於北半球第五天預報得分的 15 天平均，圖 4a 為高度場變異相關(ACH)，紅實線代表作業版，藍色圈虛線為測試版，從二條線的比較可看見更新版於 200hPa 以下的相關值較低；另外從圖 4b 溫度場平均偏差(mean error)的比較，可以看見 200hPa 以下模式大氣的暖偏差顯著增大，此增大的溫度偏差與高度場變異相關得分降低互相呼應。

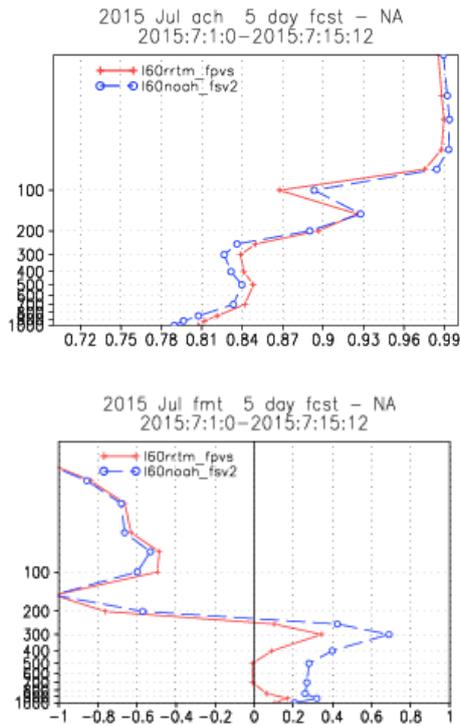


圖 4 為更新測試 15 天的北半球預報得分比較，(a)為高度場變異相關(ACH)的垂直分布，(b)為溫度場平均偏差(T mean error)。實線代表作業版，圈虛線代表測試版。

若進一步比較地表熱通量(圖 5)的變化，可以發現地表熱通量整體平均有增加的現象，其中可感熱通量全球平均增加 0.78w/m²(圖 5a)，潛熱通量增加

2.79w/m²(圖 5b)。從差異分布可發現增加的主要貢獻是來自於陸面，所以陸面平均增加值更加顯著，可感熱通量於陸面平均增加 2.88w/m²，潛熱通量於陸面平均增加達 10.88w/m²。由此可以推斷地表平均熱通量的增加，應是中低層大氣增暖的主要原因。

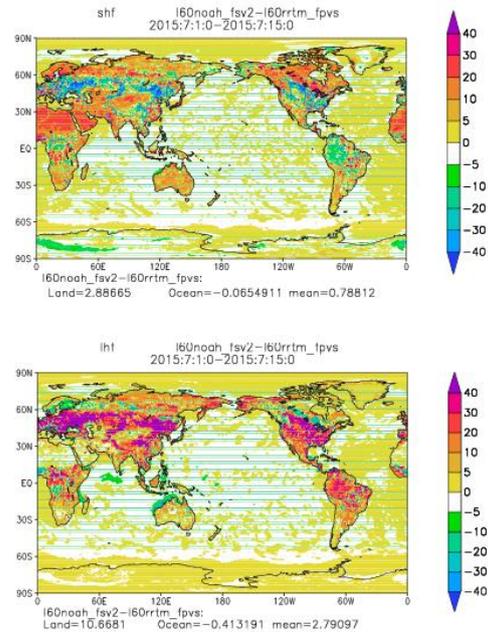


圖 5 為 NOAH LSM 更新版產生的地表熱通量變化(noah-ops)，(a)為可感熱通量的差異分布，(b)為潛熱通量的差異分布。單位為 W/m²。

(二) 敏感測試

為釐清地表熱通量增加的原因，進一步規劃以新版地表模式的主要更新項目，作分項敏感測試，測試是以個案測試方式，針對地表放射率之導入(ems)、地物分布種類更新(vtp)及土壤分布種類更新(stp)三個項目分別進行。選取 2015/7/15 12Z 為測試初始場，以 24 小時預報的相關物理變數作比較。

1、地表放射率導入測試(ems)

第一項測試，導入地表放射率對地表熱通量的影響示於圖 6，差異分布顯示陸面上的可感熱通量普遍增加(圖 6a)，陸面平均增加達 8.53w/m²，潛熱通量的變化(圖 6b)於陸面上也大都為正值，平均增加量為 3.13w/m²。若對應圖 1 所示新導入的地表發射率分布，可清楚看到相較於原地表模式中均為 1 的假

設值，大部分區域的放射率是介於 0.9 至 1.0，撒哈拉沙漠甚至低於 0.9，在計算地表溫度的地表能量收支平衡式中，當地表吸收的短波輻射不變時，長波放射率減低將使得留存於地面的能量增加，地表溫度因而升高，如圖 7 所示；而可感熱的大小主要受

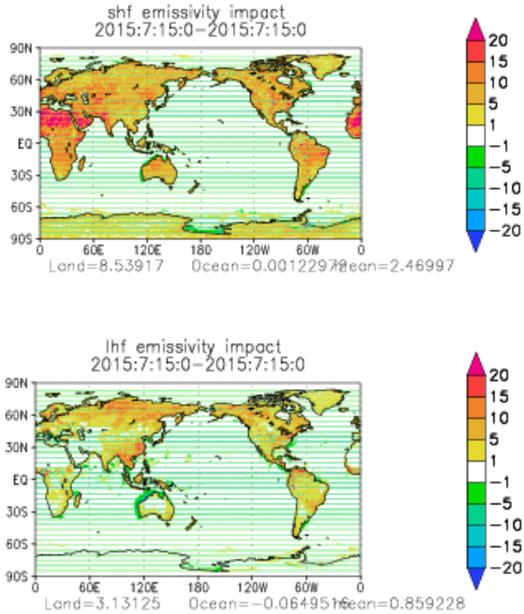


圖 6 為地表放射率導入造成的地表熱通量變化 (ems-ops)，(a)為可感熱通量的差異分布，(b)為潛熱通量的差異分布。單位為 W/m^2 。

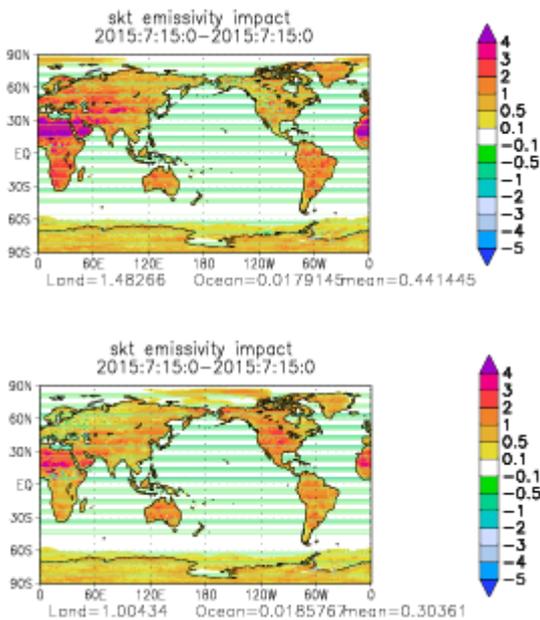


圖 7 為地表放射率導入造成的地表溫度變化 (ems-ops)，(a)為 00Z，(b)為 12Z。單位為 K。

地表與大氣溫度差影響，另外決定地表蒸發的蒸發潛勢也和地表溫度相關，因此在此項測試中，可感熱及潛熱均顯示出和地表溫度相同的增加趨勢。

2、新版地物分布測試(vtp)

第二個測試項目，更新版的地物分布由 13 種 (Sib) 擴增為 20 種 (IGBP)，此項更動直接影響和植物種類相關的參數，例如植物葉面指數 (LAI)，植物最小阻尼係數，這些參數會影響植物蒸發散 (evapotranspiration) 的計算，結果顯示陸面的地表總蒸發量增加 $1.18w/m^2$ (圖 8b)，經由地表能量收支平衡式診斷的地表溫度，受蒸發增加的影響呈現降低趨勢，此降低的地表溫度又間接造成地表可感熱通量的減少，所以可看到圖 8 顯示陸面可感熱變化與潛熱變化的趨勢大都呈現相反狀態，可感熱於陸面的整體平均減少 $0.89w/m^2$ (圖 8a)。

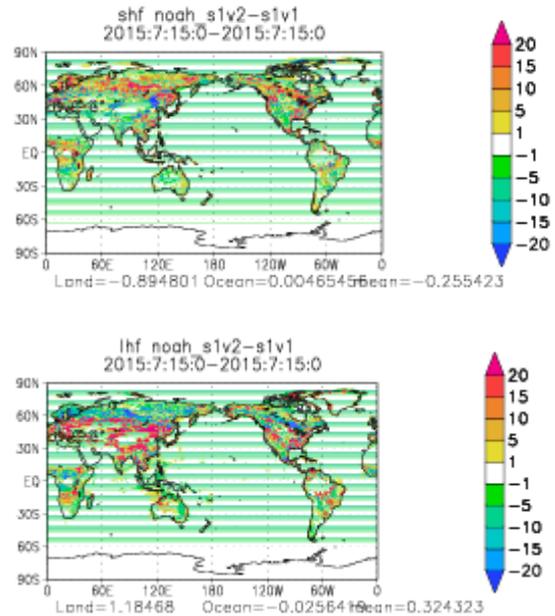


圖 8 為地表地物種類更新造成的地表熱通量變化 (vtp-ops)，(a)為可感熱通量的差異分布，(b)為潛熱通量的差異分布。單位為 W/m^2 。

3、新版土壤分布測試(stp)

第三個測試項目，更新版增加的土壤分布由 9 種 (Zobler) 增加為 16 種 (Statsgo)，此更動直接影響土

壤相關係數，包括土壤水頭傳導係數(hydraulic conductivity)、擴散係數(hydraulic diffusivity)及土壤枯萎點(wilting point)等參數，因此對蒸發計算產生直接影響，結果顯示地表潛熱通量顯著增加(圖 9b)，陸面平均增加達 9.94w/m²，較地物種類更新的影響更為顯著，地表溫度同樣因潛熱的增加而降低，並造成可感熱大幅下降(圖 9a)，陸面平均減少 6.47w/m²。

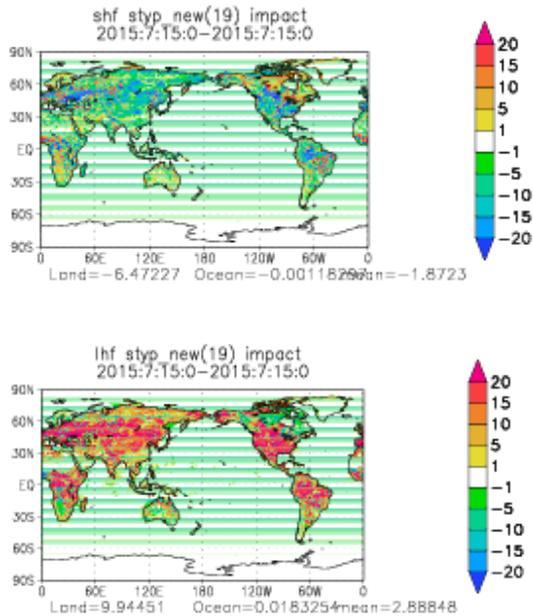


圖 9 為地表土壤種類更新造成的地表熱通量變化(stp-ops)，(a)為可感熱通量的變化分布，(b)為潛熱通量的變化。單位為 W/m²。

四、分析診斷

參考 EC-interim 重分析資料，對測試期間 2015 年 7 月 15 日模式地表能量收支進行診斷，發現原作業模式於地表的太陽短波輻射淨吸收量明顯過大(圖 10)，全球平均差異超過 16w/m²。同時顯示地表平均可感熱通量偏大(圖 11a)與潛熱通量偏小(圖 11b)的偏差趨勢，其中主要偏差區為亞馬遜流域、印度、中非及歐亞大陸中西區。

從此診斷分析得知，原模式已存在暖偏差的來源，使得較接近實際大氣的地表長波放射率導入時，模式的暖偏差更趨嚴重；因此減少地面短波輻射吸收，應是目前模式減少暖偏差的一個重要修正方向，之後才可能在不增加模式偏差的情況下，將

地表放射率導入。另外從圖 9 及圖 11 的比較可發現，土壤種類的更新對模式目前幾個主要可感熱偏大及潛熱偏小的區域，均有相當正面的貢獻。

綜合以上測試及分析，建議可將更新版的土壤及地物分布先做更新，至於地表放射率可待模式的暖偏差改善之後再導入，以維持模式的預報得分水平。

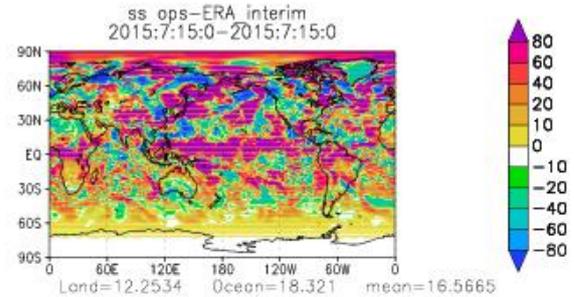


圖 10 為作業版與 Era-Interim 的地表短波輻射淨吸收量差異分布(ops-Era_Interim)。單位為 W/m²。

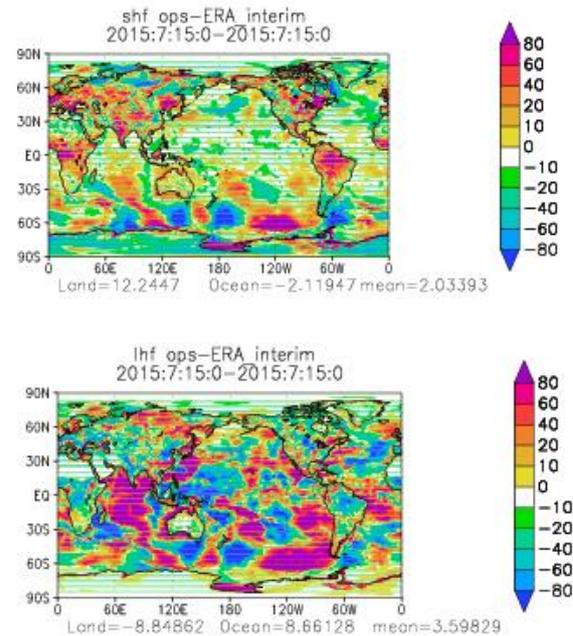


圖 11 為作業版地表熱通量與 Era-Interim 的比較(ops-Era_Interim)，(a)為可感熱通量差異分布，(b)為潛熱通量的差異分布。單位為 W/m²。

附錄 新舊版之土壤種類及地物種類

一、土壤種類

作業模式目前使用的 9 種土壤分布(Zobler1986)及新版增加的 16 種土壤分布(STATSGO)其詳細種

類如下表:

Soil type			
from Zobler(1986)		from STATSGO	
1	Loamy sand	1	sand
2	Silty clay	2	Loamy sand
3	Light clay	3	Sandy loam
4	Sandy loam	4	Silt loam
5	Sandy clay	5	silt
6	Clay loam	6	loam
7	Sandy clay loam	7	Sandy clay loam
8	loam	8	Silt clay loam
9	ice	9	Clay loam
		10	Sandy clay
		11	Sily clay
		12	clay
		13	Organic material
		14	water
		15	bedrock
		16	Other(land-ice)

二、地物種類

作業模式目前使用的 13 種地物分類(SIB)及更新版增加的 20 種地物分類(IGBP)其詳細種類如下:

Land use type			
from SIB		from IGBP	
1	Broadleaf evergreen trees	1	Evergreen needleleaf forest
2	Broadleaf deciduous trees	2	Evergreen broadleaf forest
3	Broadleaf and needleleaf trees	3	Deciduous needleleaf forest
4	needleleaf evergreen trees	4	Deciduous broadleaf forest
5	needleleaf deciduous trees	5	Mixed forest
6	Broadleaf trees with groundcover	6	Closed shrublands
7	Groundcover only	7	Open shrublands
8	Broadleaf shrubs with	8	Woody savannas

	perennial groundcover		
9	Broadleaf shrubs with bare soil	9	savannas
10	Dwarf trees and shrubs with groundcover	10	grasslands
11	Bare soil	11	Permanent wetlands
12	cultivations	12	croplands
13	Glacial-ice	13	Urban and built-up
		14	Cropland/nature veg
		15	Snow and ice
		16	Barren or sparsely vegetated
		17	water
		18	Wooded tundra
		19	Mixed tundra
		20	Bare ground tundra

參考文獻

- 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.
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System. *Wea. Forecasting*, **26**, 520-533.
- Li, J.-L., 1994: On shallow cumulus parameterization scheme for large-scale planetary boundary layers, Ph.D. thesis, University of Wisconsin-Madison, pp203.
- Mahrt, L., and H. -L. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Boundary Layer Meteorol.*, **29**, 1-20.
- Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 1001-1039.
- Pan, H.-L. and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux

convective parameterization package for the NMC Medium-Range Forecast model. NMC Office Note 409, 40pp.

Wu. W.-S., R. J. Purser, and D. F. Parrish, 2002: Three-dimension variational analysis with spatially in

homogeneous covariances. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2905-2916.

Zhao, Qingyun and F. H. Carr, 1997: A Prognostic Cloud Scheme for Operational NWP Models. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931-1953.