

Noah 地表模式於氣象局全球預報系統的測試評估

汪鳳如 馮欽賜
科技中心 資訊中心

摘要

本研究以自 NCEP 引進的 Noah 地表模式 (Ek et al. 2003) 於氣象局全球預報模式上進行測試，測試對照為作業版模式，作業模式目前使用的地表模式為 OSU 版本 (Mahrt and Pan 1984) 二層模式。此次引進之 Noah 模式為 OSU 版之升級，除了涵蓋原本於各土壤層的土壤溫度及單位體積土壤含水比例 (volumetric soil moisture content) 預報，同時增加了土壤含冰預報，另外對於雪的考慮亦較為詳實，加入積雪概念，以溫度變化反應雪之密度，同時將雪的密度變化帶入熱傳導的計算，另外雪的反照率亦考慮植物種類的影響，依照衛星資料設定深雪最大反照率。測試結果顯示，Noah 版地表模式使得低層大氣增溫，此變化使原本冬季的冷偏差減小，為正面影響。但對於夏季則有增大暖偏差的負面影響。

關鍵字： 地表模式，土壤溫度，單位體積土壤含水比例

一、前言

近一、二十年來，有關地表過程對大氣影響的相關議題，日漸受到重視，GEWEX (Global Energy and Water Experiment) 實驗計畫，亦將協助地表模式之發展、研究及應用規劃在內，Noah 地表模式 (Noah LSM) 即是此實驗計畫支持下的一個發展項目。

有關 Noah 地表模式於大氣預報系統的全球表現 (Dirmeyer et al 2006)，於地表模式評估的研究計畫 GSWP (Global Soil Wetness Project) 中，得到不錯的評價。NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的全球預報系統 (GFS) 也已於 2005 年將地表模式更新為 Noah 版本。Noah 版本的前身 OSU 地表模式 (Mahrt and Ek 1984)，為本局現行全球作業模式使用之版本。由於 Noah 地表模式建構於 OSU 版本之上，並針對冰及雪的處理作了加強，另外在細節部分也有微調，因此 Noah 版本的物理考量較 OSU 版本完整且詳細。基於以上考量，本局全球預報系統嘗試引進 Noah 版本以提升對地表過程的掌握能力。

本研究為更新前的評估測試，第二節將介紹新舊

版本的差異，第三節針對整體預報得分作評估，第四節為敏感測試分析，第五節為結論。

二、新舊版本差異

作業模式目前使用的地表模式為 OSU 版本 (Mahrt and Pan 1984)，此次引進之 Noah (Ek et al. 2003) 地表模式為 OSU 版之升級，二者主要差別歸納如下。

OSU 版本的土壤分層僅有二層 (10 釐米，190 釐米)，Noah 版本則增加為 4 層，分別為 10 釐米、30 釐米、60 釐米及 100 釐米。另外有關植物根部延伸範圍的設定，亦有較符合實際狀況的更新，OSU 版本原是設定所有植物根部伸展均為 200 釐米，Noah 版本則是依據不同植物種類分別設定。

有關土壤層的預報變數，除了各土壤層的土壤溫度及單位體積土壤總含水比例 (volumetric total soil moisture content) 預報，Noah 版本同時增加了土壤液態水含水比例 (volumetric liquid soil moisture content) 預報。由於在 Noah 版本中另外增加了凍土的考量 (Koren et al 1999)，因此根據土壤溫度、總含水量及

土壤種類，可計算出土壤含冰量，最後將總含水量扣除含冰量，便是土中的液態水含量。

有關雪的處理，OSU 版本較為簡單，直接假設雪之密度（雪換算為水之深度/實際雪深）為 0.1，當雪換算為水之深度達 1 毫米，便設定反照率為 0.7。於 Noah 版本則引進了較完整的積雪（snowpack）概念，將溫度變化對雪密度之影響加入，同時將雪的密度變化帶入熱傳導的計算。另外有關雪的反照率計算，則將雪的覆蓋率影響加入，同時導入深雪最大反照率（Robinson and Kukla 1985），此最大反照率的數值主要與植物種類相關，目前使用的全球資料是依據衛星觀測之推算。

土壤的熱傳導係數計算在 Noah 版本也作了更新，OSU 版本使用之方法乃參考 McCumber and Pielke (1981)，只考慮土壤含水量的影響，Collins and Avissar (1994) 的研究指出，此方式在土壤偏濕時顯著高估，土壤偏乾時又顯著低估。因此 Noah 版本參考 Johansen (1975) 所提出之方案，此方案考慮的因素較廣，包含土壤飽和度、土壤空隙度、石英含量、乾土壤密度及土壤含水狀態(冰或水)。同時在 Farouki (1986) 的回顧研究也指出，此方案之表現在大部分情況均優於其他方案。Noah 版本同時將植物減緩土壤熱傳導之考慮加入 (Peters-Lidard 1997)。

三、結果比較

3.1 實驗設計

本研究測試採用今年 2011 年即將上線的 CWB GFS 作業全球預報模式，此版本解析度為 T320L40，為一典型波譜模式，垂直為 sigma

$(= \frac{(p - p_{top})}{(p_{sf} - p_{top})})$ 座標，模式預報變數包含渦度場、幅散場、虛位溫、比濕、雲水及地面氣壓。模式的物理模組包含多層土壤模式 (Mahrt and Pan 1984)，相似理論地表通量參數法 (Businger 1971)，非局部邊界層參數法 (Troen and Mahrt 1986)，淺積雲參數法 (Li 1994)，Simplified AS 積雲參數法 (Pan and Wu 1995)，雲水預報決定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 (Fu 1997; Fu and Liou 1992, 1993)。

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)。

為評估新版物理方案的影響，同時考量物理過程在不同季節的活躍差異性，因此於對比明顯的冬夏季節，分別測試二個月，希望藉此提供較完整的評估。測試規劃乃於選取之冬季 (2009 年 12) 及夏季 (2010 年 7 月) 時段，分別進行一個月擬作業程序測試；亦即模擬作業程序，進行每天四次 (00 UTC, 06 UTC, 12 UTC, 18 UTC) 資料同化分析及預報，除了於 12 UTC 和 00 UTC 進行 120 小時預報，其餘二個分析時間 (06 UTC, 18 UTC) 則僅預報 6 小時，並以每一次 6 小時預報場，作為下一次 (6 小時之後) 觀測資料同化分析之猜測場。在此測試架構下，預報的影響可藉由 6 小時預測場帶入下一次分析，藉此累積模式差異產生的影響，最後以整個測試期的平均預報得分進行評比，其結果將較單一個案具代表性。

測試分二組進行，控制組採用作業版模式，對照組採用之新版模式，則是將地表模式更新為 Noah 版本，其餘則維持與作業版模式相同。

3.2 實驗結果

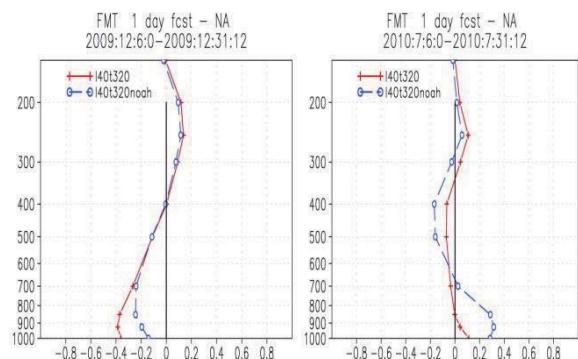


圖 1 (a) 2009 年十二月及 (b)) 2010 年七月的北半球 (20N-80N) 第一天預報溫度偏差月平均比較。實線為作業版。虛線為新版。

3.2.1 溫度場

以預報第五天的結果做為代表，可發現二版本於距平相關 (anomaly correlation) 的差異並不顯著，但從溫度場的平均偏差 (mean error)，則可看到在冬季及夏季呈現一致性變化。圖 1 為北半球 (20N-80N) 第一天預報於冬季 (圖 1a) 及夏季 (圖 1b) 的溫度場偏差垂直分佈，實線代表控制組，虛線代表對照組，

從圖上可清楚看到，Noah 版本相較於 OSU 版本，對北半球低層大氣有明顯的增暖趨勢。

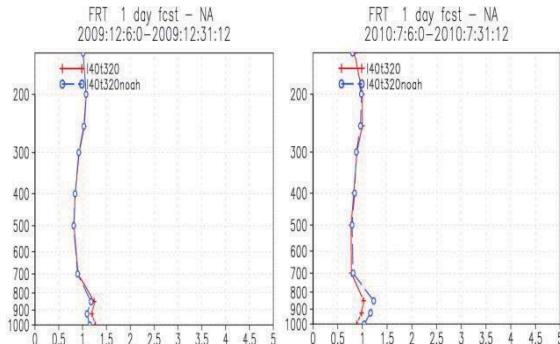


圖 2 (a) 2009 年十二月及 (b)) 2010 年七月的北半球 (20N-80N) 第一天預報，於溫度場均方根絕對誤差的月平均比較。實線為作業版。虛線為新版。

雖於冬夏季有相同的增暖變化趨勢，但是造成的影響卻迥然不同。作業版於北半球冬季的第一天預報原本於 400hPa 以下均為顯著的偏冷，地表模式更新後的偏暖趨勢，使得低層偏冷誤差減小（圖 1a），譬如 1000hPa 的溫度冷偏差從原 0.38 度減小為 0.18 度。反應在溫度場均方根絕對誤差（root mean square error）（圖 2a）的垂直分佈上，則可以看到新版模式於 850hPa 以下的絕對誤差顯著減小。

作業版於北半球夏季的第一天預報偏差表現，原於低層微暖，偏暖之趨勢導致更新後於 700hPa 以下更為偏暖（圖 1b），1000hPa 的溫度偏差則從偏暖 0.1 度轉為偏暖 0.25 度，因此反應在溫度場均方根絕對誤差（圖 2b）的垂直分佈上，則看到 700hPa 以下的絕對誤差增加。

3.2.2 地表可感熱通量

近地層空氣溫度最直接的影響即來自地表，透過可感熱傳導，地球吸收的太陽輻射轉而加熱大氣，為進一步瞭解新版模式增暖的原因，因此首先針對地表可感熱通量進行差異分析（圖 3），從圖上可以看到新版模式不論在北半球的夏季月份或是冬季月份，可感熱通量均增加許多，且主要貢獻是來自於陸面，冬季時全球陸面上的平均可感熱通量自 12.1 W/m^2 增加為 20.9 W/m^2 ，夏季時陸面上的平均可感熱通量自 46

W/m^2 增加為 62.3 W/m^2 。

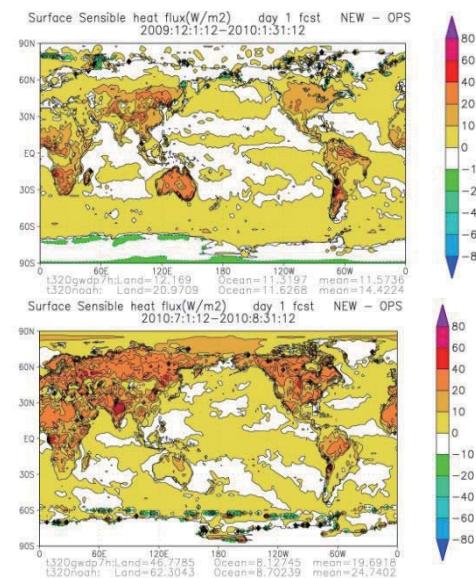


圖 3 (a) 2009 年十二月及 (b)) 2010 年七月第一天預報可感熱月平均，於全球的差異（新版-作業版）。單位為 W/m^2 。

為對可感熱通量的變化作一較客觀的評估，以歐洲預報中心（ECMWF）的 ERA-40 重分析計畫（Reanalysis project）所提供之 1.5 度資料為參考，針對與本實驗相同測試月份的地表可感熱作估算，估算方式是先以每日 00Z 及 12Z 的 12 小時預報累積量相加作平均得到日平均，再以 31 天平均計算得到月平均。

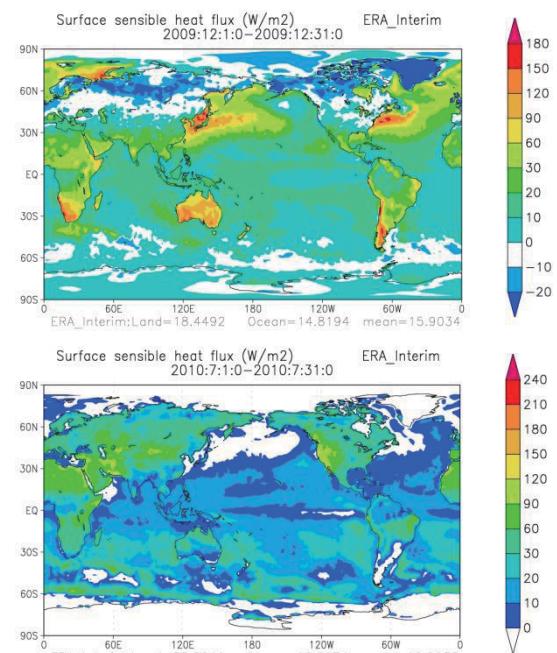


圖 4 ERA-40 資料於 (a) 2009 年十二月及 (b)) 2010 年七月之可感熱月平均，於全球的分佈。單位為 W/m^2 。

以此方式估算冬季月份(2009年12月)的全球陸面(圖4a)平均可感熱為 18.4W/m^2 ,以此為標準則發現原作業版模式於冬季月份的上傳可感熱(12.1)顯然偏小。相較之下,新版地表模式則有效的將可感熱往上提高,雖然新版模式之可感熱又較ERA-40稍高,但差距已顯著減小。因此對冬季而言,新版模式所加強的地表處理,包括土壤中冰的預報及積雪物理過程,應是一正確修正方向。

針對夏季月份以ERA-40資料估算2010年7月的全球陸面平均可感熱(圖4b)為 33.5W/m^2 ,以此為標準則發現原版模式於夏季的上傳可感熱已明顯偏高,新版地表模式則將此偏高更為加強,此訊息與近地層空氣溫度的暖偏差加大及絕對誤差增加相呼應。

四、敏感測試

有關地表可感熱通量增大的問題,因為在新版地表模式中,並未更新有關可感熱通量的計算方式,因此可從幾個間接方向來思考,其一是土壤熱通量是否減小,另一個則是潛熱通量是否減低。因此以下針對Noah版本與原地表模式相關差異處,以敏感測試方法,尋求進一步瞭解。

4.1 土壤熱傳導係數

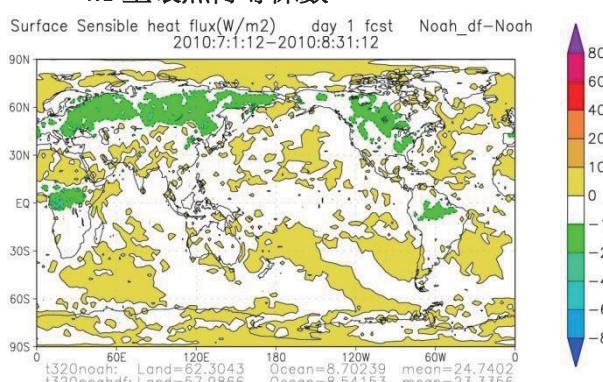


圖5 热傳導係數敏感測試於2010年七月與新版測試之可感熱月平均差異分佈。單位為 W/m^2 。

如第二節之描述,土壤熱傳導係數的估計在Noah版本完全更新,研究(Peters-Lidard 1998)指出此係數決定土壤熱通量,因此對於土壤溫度及地表能量收支分配都有相當程度的影響。為了解此係數之敏

感度,針對此係數進行敏感測試,測試組將土壤熱傳導係數有關植物覆蓋造成的減小控制關閉,以原實驗規劃方式進行一個月的夏季月份(2010年7月)預報。

測試結果(圖5)顯示,測試組的可感熱通量從 62.3W/m^2 減小為 57.9W/m^2 ,明顯的降低幅度表現出此因子的敏感度。從物理過程來看,植物覆蓋對土壤熱傳導的影響關閉後,使得熱傳導係數變大,亦即使得土壤將熱量往下傳導的效率提高,因此地表在白天的增溫會較為減緩,使得地表往空氣上傳的可感熱通量相對減小。

4.2 地表潛熱通量

在能量收支平衡的調整下,潛熱通量的改變將連帶影響可感熱的傳送,有一個參數Bowen ratio(可感熱/潛熱),用以表示可感熱與潛熱的配置比例,在其他能量數值不能確認的情況下,此參數值可以提供為判斷可感熱與潛熱估算方式是否合理的參考。

原版模式於北半球夏季時,陸面上的Bowen ratio為 $46/61(=0.75)$,Noah版則增加為 $62/53.9(=1.14)$,相較於ERA-40資料估算的Bowen ratio($=33.5/56.2$)為0.6,可以發現Noah版地表模式估算的可感熱與潛熱比值過高,表示此版地表模式於夏季配置之可感熱過高而潛熱過低。

Noah版從OSU版地表模式升級過程中,和潛熱估算相關之差異,除了前面第二節所提的植物根部延伸範圍差異,尚有一些較細微的調整,會直接影響地表潛熱通量的估算,包含了土壤直接蒸發算式、植物蒸散組尼係數計算式及阻尼相關參數設定。未來將繼續針對這幾項變因作敏感測試。

五、結論

此次的更新測試結果,顯示Noah地表模式於冬季有關冰雪處理的加強,帶給模式相當正面的影響,將原本冬季偏冷的預報誤差減小。

但對於夏季預報的影響,則使得模式變為明顯暖偏差,由分析得知,暖偏差與可感熱增加相關。由於可感熱為地表能量收支的一環,因此透過土壤熱通量及潛熱通量的改變均會對可感熱造成影響。

由敏感測試的分析,得知土壤熱傳導係數變小是

造成可感熱增加的一個因素。另外由 Bowen ratio 的分析得知，新版本的比例值偏高，表示此版於夏季的潛熱通量估算偏低，此部分應有改善的空間。因此有關地表熱通量的估算，將列為下一步探討的對象。

另外經由此次評估測試，與 ERA-40 資料相比較的結果，發現模式在更新前即已顯示，地表吸收之太陽短波輻射偏高，這可能為原作業模式於夏季可感熱通量即已偏大的原因。此部分亦列為下一步測試的對象。

參考文獻

- Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, 1971: Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-1894-701.
- Collins, D. C., and R. Avissar, 1994: An evaluateon with the Fourier amplitude sensitivity test(FAST) of which land-surface parameters are of greatest importante in atmospheric modeling. *J. Climate*, **7**, 681-703.
- Dirmeyer, P. A., X. Gao, m. Zhao, Z. Guo, T. Oki, and N. Hanasaki, 2006: GSWP-2: Multimodel analysis and implications for our perception of the land surface. *Bull. Amer. Eteor. Soc.*, **87**, 1381-1397.
- 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.
- Farouki, O. T., 1986: *Thermal properties of soils*. Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 11, Trans Tech, 136pp.
- Fu, Q., and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomogenous atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2139-2156.
- Fu, Q., and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2008-2025.
- Fu, Q., K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 2799-2812.
- Johansen, O., 1975: Thermal conductiveity of soils Ph.D. thesis, University of Trondheim, 236 pp.
- 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.
- 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**,
- McCumber, M. C., and R. A. Pielke, 1981: Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model. *J. Geophys. Res.*, **86**(C10), 9929-9938.
- 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.
- Peters-Lidard, C. D., M. S. Zion, and E. F. Wood, 1997: A soil-vegetation-atmosphere transfer scheme for modeling spatially variable water and energy balance processss. *J. Geophys. Res.*, **102**(D4), 4303-4324.
- Peters-Lidard, C. D., E. Blackburn,X. Liang, and E. F. Wood, 1998: The effect of soil thermal conductivity parameterization on surface energy fluxes and temperatures. *J. Atmos. Sci.*, **55**, 1209-1224.
- Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteorol.*, **37**, 129-148.
- 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