

Noah 地表模式於中央氣象局全球預報系統的 應用評估與調整

汪鳳如 馮欽賜

中央氣象局氣象科技研究中心

中央氣象局氣象資訊中心

摘 要

本研究針對氣象局全球預報系統引進之 Noah 地表模式進行評估及調整測試，第一階段初步評估測試顯示，Noah 地表模式對模式低層大氣有普遍增溫的影響，此影響雖然減緩了冬季原有的冷偏差，但對於夏季原本已過暖的低層大氣，則有增強暖偏差的負面影響。參考 EC-interim 重分析資料對模式地表能量收支進行之診斷，顯示於夏季地表至大氣的平均可感熱與潛熱比值偏大，此問題本已存在於作業模式，但 Noah 地表模式使得此問題更為明顯，因此本研究第二階段規劃了二個方向調整，試圖調降可感熱與潛熱比值，進而改善夏季低層大氣之暖偏差現象。另外，也測試了模式預報結果對土壤濕度初始場的敏感度，發現設定適當的土壤濕度場對 Noah 地表模式的表現有相當的提升效果。

關鍵字：地表模式，可感熱，地表能量收支

一、前言

在地球大氣系統中，地表與大氣的能量交換對維持整個系統的能量平衡扮演了重要角色。地球大氣系統的主要能量來至太陽，大約一半的太陽輻射進入此系統後可穿透大氣直接加熱地表，再經由可感熱和潛熱的傳遞，直接對低層大氣的溫度和濕度產生影響，對流過程能將低層影響擴及中高層大氣，最後透過大氣環流將能量在高低緯度間重新分配。因此正確的

估算地表可感熱與潛熱，不僅有助於低層大氣的溫度與濕度預報，同時能增進全球大氣模式對環流運行的掌握。

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 Exchanges Project) 為一個針對全球能量及水文循環的國際大型整合研究計畫，此計畫亦將地表模式之發展及應用納入，其中 Noah 地表模式 (Noah LSM) (Ek et al. 2003) 為此實驗計畫所支持的一個發展項

目，此模式在有關地表模式評估的研究計畫 GSWP(Global Soil Wetness Project)中，與眾模式評比下得到相當不錯的評價 (Dirmeyer et al 2006)。NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 全球預報系統 (GFS) 也於 2005 年將地表模式更新為 Noah 版本。

本局現行全球作業模式使用之 OSU 地表模式 (Mahrt and Pan 1984) 為 Noah 地表模式的前身，二者之理論架構極為相似，但 Noah 地表模式特別針對冰及雪的處理作了加強 (Koren et al 1999)，另外在蒸發項各分量的計算也進行了細部調整，所以本局全球預報系統嘗試將 Noah 版本引進，希望藉此增進模式對地表過程的掌握，進而改善大氣模式的預報能力。

針對 Noah 地表模式的引進，第一階段首先進行冬夏季節各一個月的評估測試，測試結果顯示，較完整的冰雪處理對亞洲大陸的冬季冷偏差有顯著的改進。但是蒸發量計算的調整，間接影響了可感熱；蒸發量普遍減弱使得可感熱顯著加強，強化了夏季半球陸面原有的暖偏差。為進一步瞭解 Noah 地表模式對可感熱與潛熱之影響為正向亦或負向，於是參考 EC-interim 重分析資料，對 2010 年七月之地表能量收支進行診斷，診斷發現北半球陸面的能量收支顯示出可感熱過強及潛熱過少的分配比例，此為更新 Noah 地表模式之後特別被凸顯的問題。除此之外，模式對地表太陽短波輻射淨吸收量的計算顯著偏大，此為氣象局全球模式於夏季

低層大氣偏暖的潛在因素。

因此第二階段針對 Noah 地表模式凸顯之可感熱過多及潛熱過少的分配問題，進行二個方向的調整測試。一個方向是熱力粗糙長度 (thermal roughness) 的導入，此調整直接影響可感熱的計算；另一個方向則是針對影響植物蒸散量的植物最小阻尼係數作調整，此調整直接影響總蒸發量，再透過地表能量收支平衡假設，對可感熱的傳送產生間接影響。

本論文第二節將介紹新舊版本的差異，第三節將說明第一階段初步評估結果，第四節則針對第二階段調整測試項目作進一步說明，包含引進的熱力粗糙長度 (thermal roughness) 計算方式及植物最小阻尼係數 (minimum stomatal resistance) 的新舊設定差異，並對測試結果作說明，最後針對土壤濕度初始場進行敏感測試及分析。

二、新舊版本差異

氣象局全球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 2 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。此為配合 Noah 版本中另外增加之凍土的考量（Koren et al 1999），模式中根據土壤溫度、總含水比例及土壤種類，計算出土壤含冰比例，總含水比例扣除含冰比例的剩餘量，便是土壤的液態水含水比例。

有關雪的處理，OSU 版本以簡化方式統一假設雪之密度（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，雪面反照率便一致定為 0.7。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，則帶入雪的覆蓋率，同時導入深雪最大反照率的影響（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 版本亦作了更新，OSU 版本使用之方法乃參考 McCumber and Pielke（1981），僅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，考慮較多的影響因子，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），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。另外，植物對土壤熱傳導的減緩作用（Peters-Lidard 1997），Noah 版本亦將其同時加入。

三、初步評估結果

（一）實驗設計

本研究測試採用 2011 年上線作業的中央氣象局全球預報模式，此版本解析度為 T319L40，為一典型波譜模式，垂直為 $\sigma (= (p - p_{top}) / (p_{sfc} - p_{top}))$ 座標，模式預報變數包含渦度場、輻散場、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 Arakawa Schubert 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 Liou1992;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）。

有關新版物理方案的評估，考量到物理過程在不同季節有其活躍差異性，因此

於對比明顯的冬夏季節，各選擇一個月進行測試，希望藉此提供較完整的評估。測試規劃於選取之冬季（2009 年 12 月）及夏季（2010 年 7 月）時段，分別進行 1 個月擬作業程序測試；亦即模擬作業程序，進行每天 4 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。在此測試架構下，每一次的 6 小時預報場，均提供為下一次（6 小時之後）觀測資料同化分析之猜測場，預報的影響因此可藉由 6 小時預測場帶入下一次分析，藉此可累積模式差異產生的影響，最後再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。

初步評估測試分 2 組進行，控制組採用作業版模式，測試組將地表模式更新為 Noah 版本（以 noah 為表示代碼），其餘則維持與作業版相同。

（二）實驗結果

1. 溫度場

以預報第 5 天的結果做為分析代表，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測試時段呈現一致性變化趨勢。圖 1 為北半球（20°N-80°N）第 5 天預報於 12 月（圖 1a）及 7 月（圖 1b）的溫度場偏差垂直分佈，實線代表控制組，虛線代表測試組，從圖上可看到，Noah 版本相較於作業版本，在北半球低層大氣有

明顯的增暖趨勢。

雖於冬夏季有相同的增暖變化趨勢，但是對於絕對誤差的影響卻回然不同。作業版於北半球冬季時段的第五天預報原本於 400 hPa 以下均為顯著的偏冷，地表模式更新後的增暖趨勢，使得低層偏冷誤差減小（圖 1a），以 1000 hPa 的溫度場為例，冷偏差從 0.8°C 減小為 0.32°C。反應在溫度場均方根絕對誤差（root mean squart error）（圖 2a）的垂直分佈上，則可以看到新版模式於 700 hPa 以下的絕對誤差顯著減小。

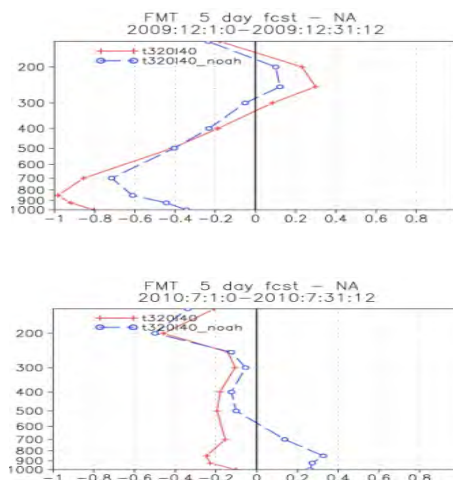


圖 1 (a) 2009 年 12 月及 (b) 2010 年 7 月的北半球（20°N-80°N）第 5 天預報溫度偏差月平均比較。實線為控制組。虛線為測試組。

Fig. 1. Comparison between the northern hemisphere averaged profile of control run (solid line) and test run (dash line) in temperature mean error on the 5th day forecast for (a) monthly mean of December 2009 and (b) monthly mean of July 2010.

至於北半球夏季時段，作業版的第 5 天預報溫度場偏差於 100 hPa 以下均為冷偏差（圖 1b），測試版增暖之趨勢導致更新後於 500 hPa 以下的冷偏差轉為暖偏差，1000 hPa 的溫度偏差從偏冷 0.1℃ 轉為偏暖 0.25℃，反應在溫度場均方根絕對誤差（圖 2b）的垂直分佈上，則看到 500 hPa 以下的絕對誤差增加。

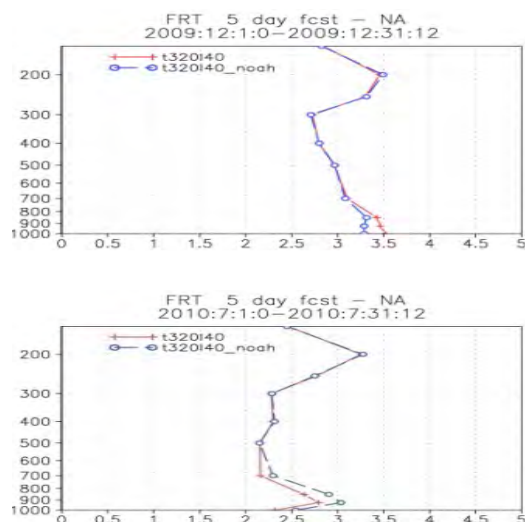


圖 2 (a) 2009 年 12 月及 (b) 2010 年 7 月的北半球(20°N-80°N)第5天預報，於溫度場均方根絕對誤差的月平均比較。實線為控制組。虛線為測試組。

Fig. 2. Comparison between the northern hemisphere (20°N-80°N) averaged profile of control run (solid line) and test run (dash line) in temperature root mean square error on the 5th day forecast for (a) monthly mean of December 2009 and (b) monthly mean of July 2010.

2. 地表可感熱通量

由於近地層空氣溫度最直接的影響是來自地表，因此首先針對地表可感熱通量進行差異分析（圖 3），以進一步瞭解 Noah 地表模式造成增暖的原因，從圖上可以看到，更新 Noah 地表模式後，大部分陸面的可感熱通量均為增加趨勢，其中夏半球又更為顯著。從定量來看，北半球冬季時（圖 3a），全球陸面上的平均可感熱通量自 13.8 W/m^2 增加為 21.8 W/m^2 。北半球夏季時（圖 3b），全球陸面上的平均可感熱通量自 45.6 W/m^2 增加為 58.5 W/m^2 。

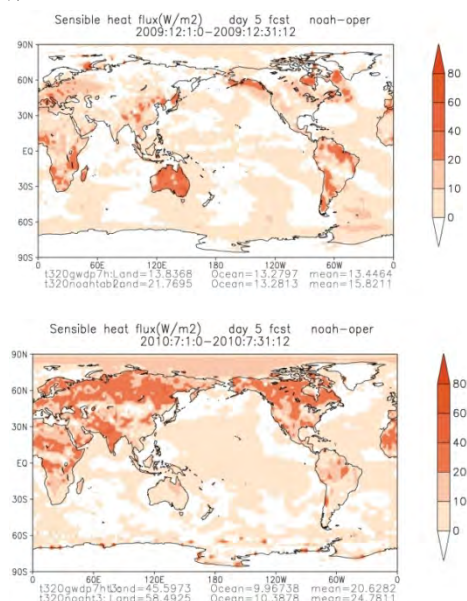


圖 3 (a) 2009 年 12 月及 (b) 2010 年 7 月第 5 天預報可感熱月平均於全球的差異（測試組-控制版）。單位為 W/m^2 。

Fig. 3. Global distribution of sensible heat flux difference (test run - control run) on the 5th day forecast for (a) monthly mean of December 2009 and (b) monthly mean of July 2010.

為客觀評估可感熱通量的變化，以歐洲預報中心(ECMWF)的 ERA-interim 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能量收支作估算，估算方式是先以每日 00Z 及 12Z 的 12 小時預報累積量相加計算日平均，再以 31 天平均計算得到月平均。估算出的陸面地表能量收支示於圖 4(ERA)，另外作業版(OPS)及測試版(NOAH)的地表能量收支亦同時列於圖 4。

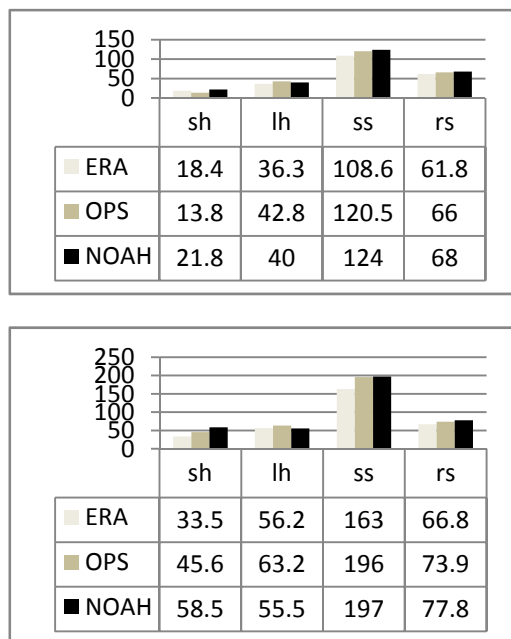


圖 4 (a) 2009 年 12 月及 (b) 2010 年 7 月之全球陸面能量收支比較，sh 為向上可感熱通量，lh 為向上潛熱通量，ss 為向下太陽短波淨輻射通量，rs 為向上地表長波輻射通量。單位為 W/m^2 。

Fig. 4. Comparison of surface energy budget including sensible heat flux(sh), latent heat flux(lh), short wave radiation flux(ss) and long wave radiation flux(rs) between ERA-interim reanalysis(ERA), control run(OPS) and test run(NOAH) for (a) monthly mean of December 2009 and (b) monthly mean of July 2010.

以上述方法估算出 ERA-interim 於 2009 年 12 月的全球陸面(圖 4a)平均可感熱為 $18.4 W/m^2$ ，若以此為標準則發現原作業版模式於此月份的上傳可感熱 ($13.8 W/m^2$) 顯著偏小。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-interim 稍高，但差距相對減小。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的改進，均具正面效益。

於夏季月份(2010 年 7 月)估算的 ERA-interim 全球陸面平均可感熱為 $33.5 W/m^2$ (圖 4b)，若以此為標準則發現作業版模式於夏季的上傳可感熱 ($45.6 W/m^2$) 已明顯偏高，新版地表模式則將此問題更為強化 ($58.5 W/m^2$)，此訊息與評估測試顯示之近地層空氣暖偏差加大及溫度絕對誤差增加相呼應。

四、調整及測試

初步測試結果發現 Noah 地表模式之地表可感熱增加，其中夏半球的陸面尤其明顯，此變化造成夏季低層大氣溫度的絕對偏差增加。和 ERA-interim 資料相比發現於夏季時段地表可感熱之值亦呈現顯著偏大，但是地表可感熱與潛熱是對地表所吸收之太陽輻射的反應，所以其絕對量值受模式吸收之太陽輻射量影響，在地表能量收支診斷中，發現氣象局全球模式的地表太陽短波輻射淨吸收量和 ERA-interim 相比亦呈現偏多的趨勢，為排除地表吸收之太陽輻射量本身偏差的

影響，單純對地表模式運作的合理性作判斷，因此引進參數 **Bowen ratio**（可感熱/潛熱），以地表可感熱通量及潛熱通量的比例為參考指標。以 2010 年 7 月之 ERA-interim 資料估算出陸面上的 **Bowen ratio**（=33.5/56.2）約為 0.6，作業版於同月分的 **Bowen ratio**（=45.6/63.2）約為 0.72，更新 Noah 地表模式之後，**Bowen ratio**（=58.5/55.5）變為 1.05，顯示更新版的可感熱所佔比例顯然偏高，潛熱所佔比例偏少。因此第二階段規劃了二項調整測試，調整主要是朝減少可感熱及增加潛熱的方向進行，二項調整的詳細說明如下。

（一）調整項目說明

1. 熱力粗糙長度（thermal roughness）

模式的地表可感熱計算式中，有一個重要的關鍵參數為粗糙長度，此粗糙長度決定了部分的傳送效率，粗糙長度值愈大其傳送效率愈高，在原模式中採用了下邊界計算動量傳遞（消散）所參考的粗糙物高度為其設定值。但是下邊界熱量及動量傳遞過程的核心機制大不相同（Wei and Zheng et al. 2010），下邊界的動量傳遞機制主要和風場遇粗糙物引起之壓力場擾動相關，而熱量傳送機制則主要決定於分子擴散運動，因此下邊界熱量與動量的通量估算不宜使用相同的粗糙長度。有研究指出於沙漠區之可感熱計算，若考慮與動量傳遞不同的熱力粗糙長度，甚可導致地表溫度增加 10℃ 的差異（Zeng and Dickinson 1998）。

因此在本階段的第一項調整測試中，採用了 Zeng and Dickinson（1998）提出適用於有部份植物覆蓋地上的有效粗糙長度（Zoe）概念：

$$\ln(\text{Zoe}) = (1 - \sigma_v)^2 \ln(\text{Zog}) + [(1 - (1 - \sigma_v)^2)] \ln(\text{Zof}) \quad (1)$$

先以此有效粗糙長度計算地表動量通量，(1) 式中 **Zog** 和 **Zof** 分別表示裸地和植物覆蓋地的粗糙長度， σ_v 為植物覆蓋率。之後再引用 Wei and Zheng et al.（2009）所提出的有效粗糙長度（Zoe）和熱力粗糙長度（Zot）關係式，

$$\ln\left(\frac{\text{Zoe}}{\text{Zot}}\right) = (1 - \sigma_v)^2 C_{zil} k \left(\frac{u_* \text{Zog}}{v}\right)^{0.5} \quad (2)$$

透過此關係式計算出熱力粗糙長度

（Zot），(2) 式中 u_* 為地表摩擦速度， k 為 Von Karman 常數（0.4）， v 為空氣運動黏滯係數（ $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ）， C_{zil} 係數為 0.8。

2. 植物最小阻尼（minimum stomatal resistance）

第二階段的第二項調整測試，是針對植物最小阻尼進行調整，此係數直接影響地表總蒸發量，透過地表能量收支平衡的假設，間接影響可感熱的傳送。

在 Noah 地表模式中，地表總蒸發（蒸發之水氣凝結後釋放之熱量即為潛熱）的計算包含了 3 個部分，分別是裸地上的直接蒸發、植物葉面承接之雨水的再蒸發，以及透過植物根部吸收土壤水分再經由植物莖部傳輸至葉面的蒸散（Et, transpiration）。在植物覆蓋率（ σ_v ）高的格點，蒸散所佔比例會相對提高，蒸散量

的計算也就更形重要，而蒸散過程的實際運作相當複雜，在 Noah 地表模式是以參數化方式來模擬蒸散：

$$Et = \sigma_v E_p B_c \left[1 - \left(\frac{W_c}{S} \right)^n \right] \quad (3)$$

其中主要概念是以飽和狀態的潛在蒸發量 (E_p) 為最大蒸散量，再考慮植物覆蓋率 (σ_v) 及阻尼效應 (B_c) 等因素產生的減緩作用，另外(3)式括弧內的(W_c/S)ⁿ是以葉面承接之雨水 (W_c) 與最大可承接容量 (S) 之比值來區劃出植物覆蓋區中葉面再蒸發與蒸散的權重。若葉面承接的水達最大容量 (S)，則植物覆蓋區的蒸發全部為葉面再蒸發，蒸散量則為零；相反的，如果葉面上無任何水，則植物覆蓋區的蒸發全由植物莖部傳輸至葉面的蒸散主導。

蒸散作用在蒸發總量的 3 個組成項目中，具有一個不同於其他 2 項的特性，在其蒸散計算中必須考慮阻尼效應 (B_c)，阻尼效應的減緩作用會使蒸散過程的時間尺度拉長。所以大雨過後，植物覆蓋區的土壤水分可以保持數個禮拜甚至更久，而不會像裸土在短時內即被蒸乾。Noah 地表模式的阻尼效應是參考 Ek and Mahrt (1991) 及 Jacquemin and Noilhan (1990) 的參數式，考慮了植物最小阻尼 (minimum stomatal resistance)、太陽輻射、空氣溫度、水氣壓力差及土壤含水量之飽和度等因子，其中植物最小阻尼在模式中是依植物種類而給定的參數值，此值的大小直接影響蒸散量及總蒸發，在植物覆蓋率高的區域尤為明顯。當植物最小阻尼的數值愈大，產生的阻尼效果愈強，最

後顯示阻尼效應 (B_c) 的值因此會愈小，計算得到之蒸散因而減小。但植物最小阻尼為一個表示物理特性的參數，其值大小潛藏很大的不確定性，也因此增加了此參數的調整空間。表一為土壤模式涵蓋之 13 種植物的最小阻尼係數調整前後對照，調整參考為 NCEP GFS 作業目前使用之設定。

表一 植物最小阻尼調整對照表

Table 1. comparison of minimum stomatal resistance between original value and adjusted value

植物種類 (vegetation type)		植物最小阻尼係數	
		調整前	調整後
1	Tropical forest	300	300
2	Broadleave-deciduous trees	175	175
3	Mixed forest	175	175
4	Needleleave-evergreen trees	300	300
5	Needleleave-deciduous trees	300	70
6	Broadleave trees with ground cover	70	70
7	Ground cover	45	20
8	Broadleave shrubs with perenial ground cover	225	70
9	Broadleave shrubs with bare soil	225	70
10	Dwarf trees and shrubs with ground cover	225	70
11	Bare soil	400	70
12	Cultivations	45	20
13	Glacial	150	70

(二)調整測試結果

1.實驗設計

調整測試亦是採用 2011 年上線作業的中央氣象局全球預報模式，此次調整測試目的是為改善夏季低層大氣之暖偏差，因此測試規劃選取了 2010 年 7 月，進行夏季時段的一個月擬作業程序測試。

測試的控制組 (noah) 為作業版模式加上 Noah 地表模式，調整測試分 2 部分進行，第一部分於控制組導入熱力粗糙長度 (noah_zt)，第二部分再加上植物最小阻尼的調整 (noah_ztrsm)，其餘則維持與控制組相同。

2.熱力粗糙長度測試

第一部分 (noah_zt) 的調整項目為導入熱力粗糙長度，此調整版本進行 1 個月的積分測試後，將第五天預報結果的月平均和控制組相減作比較，圖 (5a) 為地表可感熱的差異分佈，可以清楚看到美洲西岸的沙漠區，北非的撒哈拉沙漠區，阿拉伯半島以及沿著北緯 30 度南北二側，從東經 60 度一直延伸到 110 度的裸土區，可感熱均顯著減少，呈現 -10 W/m^2 至 -40 W/m^2 的差異，從陸面整體平均數值來看，可感熱從控制組 (noah) 的 58.49 W/m^2 降為 53.31 W/m^2 。850 hpa 溫度場差異分佈 (圖 5b) 則呈現可感熱減少對溫度場的影響，對應於可感熱減少區域，其 850 hPa 溫度場亦呈現明顯的減溫。

此部分測試結果顯示，熱力粗糙長度的引進顯然對裸土及沙漠區的可感熱計算有特別顯著調降作用，同時也對此區低層大氣產生一定的降溫作用。

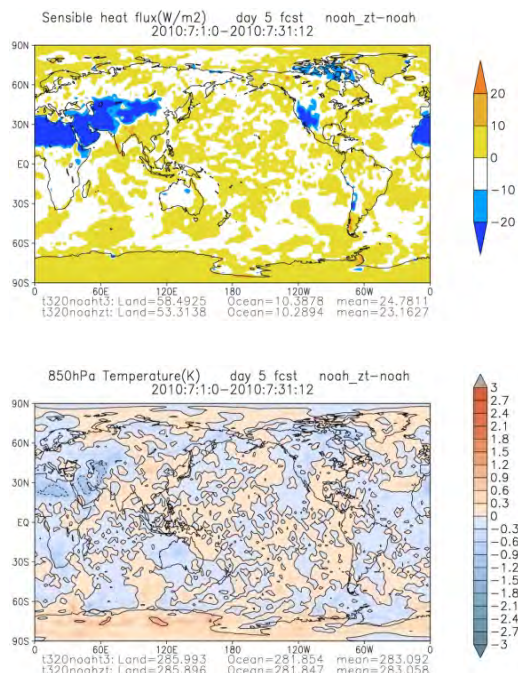


圖 5 熱力粗糙長度測試 (noah_zt) 與控制組於 2010 年 7 月的第 5 天預報平均差值，(a) 為地表可感熱 (W/m^2) (b) 為 850 hPa 溫度場 (K)。

Fig. 5. Difference(noah_zt - noah) distribution of (a)sensible heat flux and (b) 850hPa temperature on the 5th day forecast for monthly mean of July 2010.

3.植物最小阻尼測試

第二部分測試 (noah_ztrsm) 調整是架構於第一部分的測試 (noah_zt) 版本之上，因此將此部分調整之模式積分一個月的結果與第一部分調整測試結果作比較，其差異便可表示植物最小阻尼的影響。圖 (6a) 的可感熱差異分佈和第一部份測試完全不同，其主要差異分佈於亞洲大陸的北緯 60 度以北，此區域具備了 2 項重要特徵，其一為植物覆蓋率大於 0.6，其二為植物 (type=5) 最小阻尼減少

比例達 300/70。因為受阻尼影響的蒸散作用是發生於植物覆蓋區，所以必須有較大植物覆蓋率才能看到調整的效果，在其餘幾個阻尼係數調整比例相當的植物種類分佈區，即因為植物覆蓋率偏小，所以並未呈現明顯的反應。陸面整體平均數值來看，可感熱降為 50.83 W/m^2 。溫度場的反應顯示於圖 (6b)，配合可感熱的減少，於相同區域的 850hPa 溫度場亦呈現明顯的降溫。陸面上的 Bowen ratio ($= 50.83/56.8$) 同時降為為 0.89。

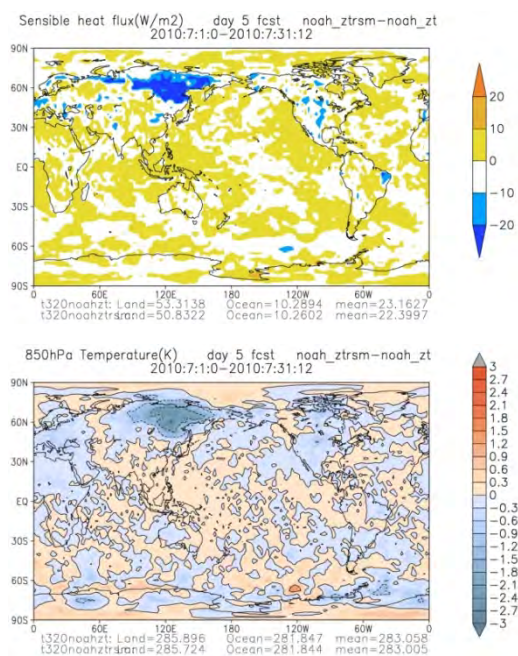


圖 6 植物最小阻尼測試 (noah_ztrsm) 與第一部份測試(noah_zt)於 2010 年 7 月的第 5 天預報平均差值，(a) 為地表可感熱 (W/m^2) (b) 為 850 hPa 溫度場 (K)。

Fig. 6. Global distribution of (a) sensible heat flux difference(noah_ztrsm - noah_zt) and (b) 850hPa temperature difference(noah_ztrsm - noah_zt) on the 5th day forecast for monthly mean of July 2010.

此部分測試顯示植物最小阻尼的調降，透過潛熱增加，間接有效地調降了地面至大氣的可感熱傳送，但其主要影響範圍在植物覆蓋率較高的區域。

接著進一步從預報得分 (score) 的結果進行比較評估，圖 (7) 為北半球 (20°N - 80°N) 第 5 天預報距平相關 (anomaly correlation)，以目前作業版本為參考標準 (實線)，則測試版 (空心圓虛線) 的預報得分和作業版不分軒輊，但低層稍微落後，而經過二項調整之後 (實心圓虛線)，表現較控制版顯著進步，低層也超越了作業版。

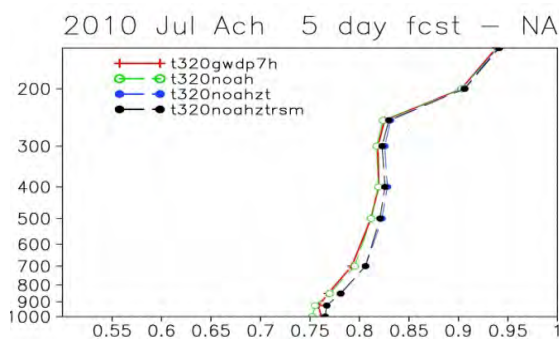


圖 7 北半球 (20°N - 80°N) 第 5 天預報距平相關。實線為作業版，空心圓虛線表測試版，實心圓虛線表調整版。

Fig. 7. Comparison between the northern hemisphere (20°N - 80°N) averaged profile of control run (solid line) test run(circle dash line) and noah_ztrsm run(full circle dash line) in anomaly correlation on the 5th day forecast for monthly mean of July 2010.

圖 (8a) 為溫度場平均偏差 (mean error)，作業版 (實線) 的溫度場平均偏差在北半球整體平均為冷偏差，雖然陸面上為暖偏差，但海面上為冷偏差，所以平

均之後在 850 hPa 有大約 0.25°C 的冷偏差，但是更新地表模式為 Noah 版本之後，此版本（空心圓虛線）的陸面增暖，使得北半球 700 hPa 以下轉為暖偏差，850 hPa 的暖偏差將近 0.35°C 。經過二階段的調整後（實心圓虛線），暖偏差明顯減少，最後溫度平均偏差減為 0.15°C 。

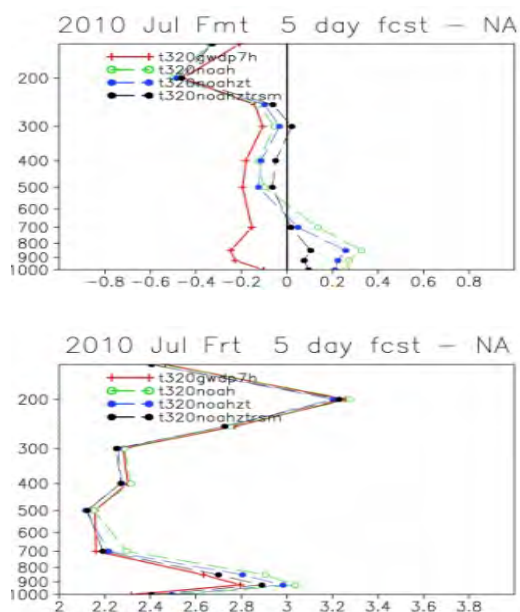


圖 8 北半球 (20°N - 80°N) 第 5 天預報 (a) 溫度場平均偏差 (b) 溫度場均方根誤差。實線為作業版，空心圓虛線為測試版，實心圓虛線為調整版。

Fig. 8. Comparison between the northern hemisphere (20°N - 80°N) averaged profile of control run, (solid line) test run(circle dash line) and noah_ztrsm run(full circle dash line) in (a) temperature mean error and (b)temperature root mean square error on the 5th day forecast for monthly mean of July 2010.

圖 (8b) 為溫度場均方根絕對誤差 (root mean square error)，可以看到測試組（空心圓虛線）更新 Noah 版本地表模式後，誤差較作業版（實線）顯著的增加，850hPa 的絕對誤差值從作業版的 2.65°C ，增加至 2.9°C 。但經過二階段調整後，850hPa 的絕對誤差降為 2.7°C ，趨近作業版，而中高層誤差亦同時減弱，其值甚至小於作業版。所以從整體預報得分來看，調整階段的二項調整對預報為正面影響，且調整之後整體預報得分和作業版模式相當。

五、土壤濕度敏感測試分析

地表模式之表現除了與參數化理論架構相關，土壤濕度場亦是一個重要關鍵（汪與馮，2005），目前全球模式尚未對土壤濕度作分析，僅能以前 6 小時的 6 小時預報作為初始場，所以土壤濕度尚存有相當的改進空間，因此本節以不同土壤濕度初始值的設定，測試 Noah 土壤模式對此因子的敏感度，瞭解 Noah 地表模式應用的潛在改進空間。

此部分測試選取 2012 年 7 月，進行一個月擬作業程序測試。測試使用作業版模式加上經過前面二部分調整的 Noah 地表模式，控制組(CWB)的初始土壤濕度場來自氣象局作業模式的 6 小時預報，由於作業模式只有 2 層土壤層，因此第 3 層及第 4 層的土壤濕度直接以第 2 層之值給定；測試組(NCEP)的土壤濕度則以 NCEP GFS 的 6 小時預報場給定。Noah 版土壤

模式較作業版多了一個預報變數，此變數為單位體積土壤液體含水比例，於 2 組測試中均設定其初始值與總含水比例相等，亦即假設土壤初始場含冰比例為 0。

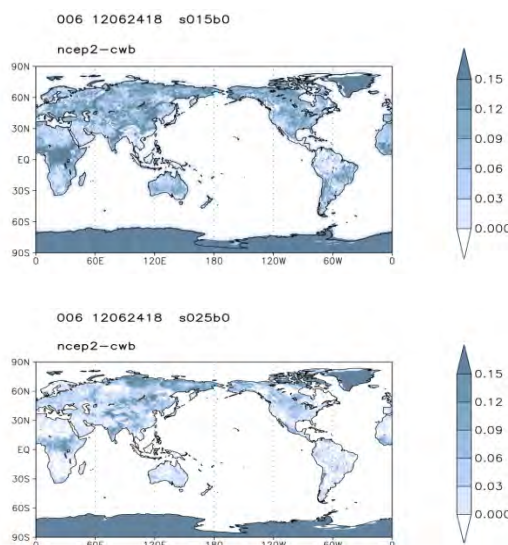


圖 9 二版本土壤濕度初始場差異 (NCEP-CWB)。(a)為第 1 層土壤，(b)為第 2 層土壤。

Fig.9. Difference distribution of volumetric soil moisture content (NCEP-CWB) at initial field in (a)the first soil layer and (b) the second soil layer .

從土壤濕度場的敏感測試結果可以得知，設定適當的土壤濕度場對 Noah 地表模式的應用有相當的提升效果，本測試雖僅改變預報第 1 天的土壤濕度初始場，但藉著土壤記憶的延續，整月的預報得分均受到影響。

二組測試於第 1 層及第 2 層的土壤濕度初始場差異 (NCEP-CWB) 示於圖 9，從二版本的差異可以清楚看到，來自 NCEP GFS 的土壤濕度場全面性的較為潮

濕。此差異對地表上傳能量的分配產生了直接影響，較濕的土壤其上傳可感熱明顯減小 (圖 10a)，此因較多蒸發使潛熱增加 (圖 10b) 因而抑制可感熱的傳遞。此變化對 2012 年 7 月第 5 天預報的影響示於圖 11，圖 11a 為北半球溫度場平均偏差的月平均，測試組 (NCEP) 低層的暖偏差顯著減小 (空心圓虛線)，導致溫度絕對偏差亦隨之減小 (圖 11b)，同時高度場的異常相關 (圖 11c) 於低層也呈現較高的得分。

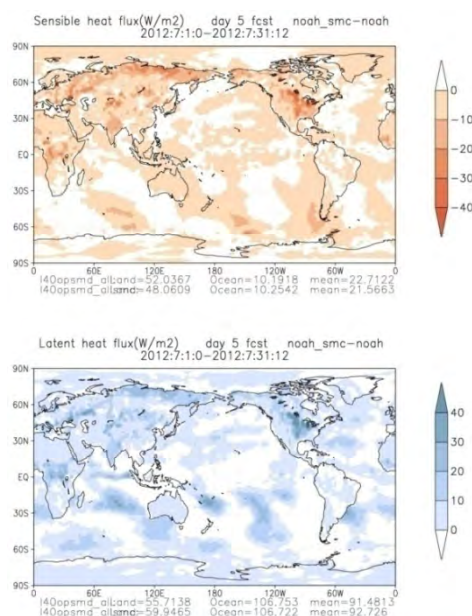


圖 10 土壤濕度初始場測試的第 5 天預報月平均，(a)為可感熱差異 (NCEP-CWB) (b)為潛熱差異。單位為 W/m2。

Fig.10. Difference(NCEP-CWB) distribution of (a) surface sensible heat flux and (b) surface latent heat flux on the 5th day forecast for monthly mean of July 2012. The unit is W/m2.

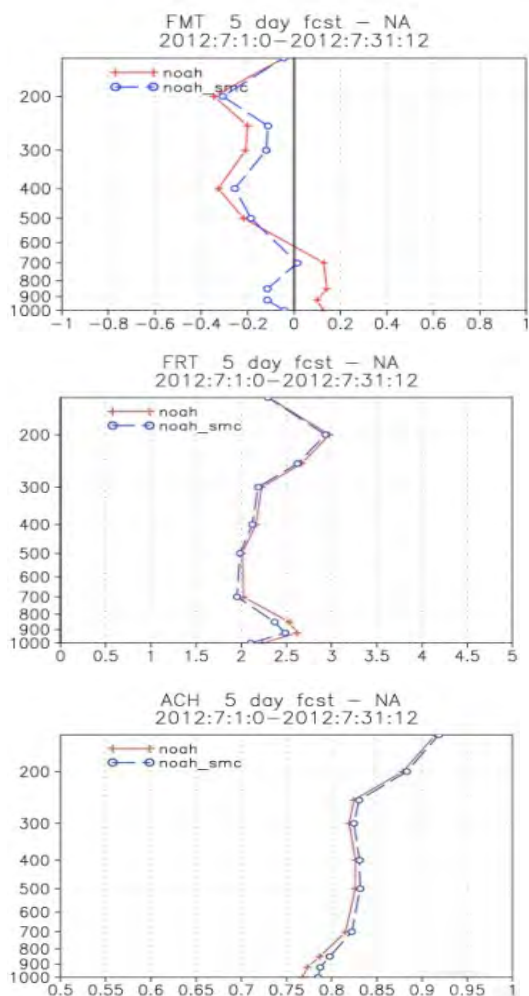


圖 11 土壤濕度初始場測試的第 5 天預報於北半球的月平均垂直分佈，(a) 為溫度場平均偏差 (K) (b) 為溫度場絕對誤差 (K) (c) 為高度場異常相關。實線為控制組 (CWB)，空心圓虛線為測試組 (NCEP)。

Fig. 11. Comparison between the northern hemisphere (20°N - 80°N) averaged profile of cwb run (solid line) and ncep run(dash line) for (a) temperature mean error (K) , (b) temperature root mean square error (K) and (c) anomaly correlation on the 5th day forecast for monthly mean of July 2012.

六、結論

經過第一階段評估測試，發現在相同土壤濕度條件下，Noah 地表模式模擬的 bowen ratio (地表可感熱與蒸發潛熱之比值) 較原作業模式增加，經過地表粗糙長度及植物最小阻尼二項調整之後，可感熱過大之偏差明顯改善。

另外，土壤濕度場的敏感測試讓我們更清楚瞭解，適當的描述土壤濕度初始場，對 Noah 地表模式的運作亦有相當程度的影響，因此在短期數值預報的領域內，如何改善土壤濕度初始場，將是增進地表模式模擬能力一重要議題。

參考文獻

- 汪鳳如、馮欽賜，2005：中央氣象局全球預報系統之地表過程的評估測試。氣象學報，45，11-32。
- 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 gratest 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. Meteor. Soc.*, **87**, 1381-1397.
- Ek, M., and L. Mahrt, 1991: OSU 1-D PBL model user's guide, Dep. Of Atmos. Sci., Oreg. State Univ., Corvallis, Oreg..
- 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 nonhomogeneous 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.
- Jacquemin, B., and J. Noilhan, 1990: Sensitivity study and validation of a land surface parameterization using the HAPEX-MOBILHY data set, *Boundary Layer Meteorol.*, **52**, 93-134.
- Johansen, O., 1975: Thermal conductivity 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**, 1-20.
- 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 processes. *J. Geophys. Res.*, **102**(D4), 4303-4324.
- Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteor.*, **37**, 129-148.
- Wei, H., W. Zheng, J. Meng, M. Ek, K. Mitchell, X. Zeng, and Z. Wang, 2009: Impact of a new thermal roughness length treatment in the NCEP Global Forecast System(GFS). *The 23rd Conference on Weather Analysis and Forecasting/19th Conference on Numerical Weather Prediction*(1-5 June 2009).
- 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.
- Zeng, X. and R.E. Dickinson, 1998: Effect of surface sublayer on surface skin temperature and fluxes. *J. Climate*, **11**, 537-550.
- Zhao, Qingyun and F. H. Carr, 1997: A Prognostic Cloud Scheme for Operational NWP Models. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931-1953.

Assessment and Adjustment of the Noah Land Surface Model Applied to the CWB Global Forecast System

Feng-Ju Wang¹, Chin-Tzu Fong²

Research and Development Center¹, Central Weather Bureau

Meteorological Information Center², Central Weather Bureau

ABSTRACT

In this study, tests for assessment and adjustment of the Noah land surface model which is introduced from NCEP GFS to CWB GFS are performed. Based on the preliminary results of the assessment, a warmer tendency extensively comes up over ground level and lower atmosphere both for summer and winter. Although which would reduce the existing cold bias for winters, it further intensifies the warm bias in summer as well. Through referring to diagnoses of surface energy budget with EC-interim reanalysis, it shows the overestimation problem of Bowen Ratio (sensible heat/latent heat) exists in summer and would deteriorate while Noah land surface model is applied. Thus two approaches are put into adjustment test intending to decrease Bowen Ratio and then the warm bias in lower layers of atmosphere. Sensitivity test of initial soil moisture is also implemented in this study.

Key words: land surface model, sensible heat flux, surface energy budget