

高解析土壤資料同化系統之效能評估

洪于瑄¹ 洪景山¹ 蔡佳伶¹
Michael Barlage² Fei Chen²

¹中央氣象局

²National Center for Atmospheric Research

(中華民國一〇二年八月二十三日收稿；中華民國一〇三年五月十四日定稿)

摘 要

本研究引進美國國家大氣研究中心所發展之高解析土壤資料同化系統 (High Resolution Land Data Assimilation System, HRLDAS)，嘗試使用觀測之降水及地面的大氣溫度、濕度、風場和輻射通量等，藉著 Noah 土壤模式將地面觀測資訊透過土壤物理過程逐步影響到深層土壤，進而取得和大氣強迫作用平衡的土壤溫度和土壤濕度，此即為 HRLDAS 之土壤分析場，亦可作為氣象模式之土壤初始場。

本研究旨在評估 HRLDAS 土壤溫度和土壤濕度分析場之效能，定性分析顯示 HRLDAS 須經 3 個月以上之模式起轉才可與近地面的大氣驅動資料 (Forcing data) 達能量平衡，而其在土壤溫度和土壤濕度之分析場對降水的反應相當合理。在定量分析上，使用 2010 至 2011 年 HRLDAS 每日逐時土壤溫度分析場，並與台灣地區之土壤溫度觀測值比較，發現 HRLDAS 的土壤溫度分析場和觀測相當接近，相較之下，作業模式之土壤溫度分析場則有較顯著的暖偏差。此一結論有助於進一步結合 HRLDAS 土壤分析場和大氣預報模式，以評估其在模式預報中扮演的角色。

關鍵字：土壤溫度、土壤濕度、高解析土壤資料同化系統

一、前言

地表過程與大氣之交互作用是短期天氣預報及區域氣候變遷的重要因素之一 (Chen et al. 2001)。地氣交互作用過程複雜, 例如, 藉由地表之可感熱、潛熱通量或植物蒸散作用等過程, 土壤溫度和土壤濕度可與大氣交換能量及水氣, 進而影響大氣邊界層以及局部環流的發展; 而大氣透過太陽輻射、降水和地面大氣強迫作用, 例如近地面溫度、濕度、風等, 可藉由土壤擴散過程影響土壤溫度及土壤濕度。因此, 適當的土壤模式資料同化技術可以改進土壤溫度及土壤濕度之分析場, 並進而改善模式大氣邊界層內溫度與水氣的結構。Betts et al. (1997) 的研究指出, 地表特性及土壤分析場對模式短期預報之邊界層發展、雲、降水等之表現息息相關。

早期觀測發現, 暖季時都市的下風處降水會增加 (Changnon 1968; Landsberg 1970), 且都市的存在會改變雲的微物理過程, 使得降水總量減少 (Rosenfield 1999; Ramanathan et al. 2001)。Bornstein and Lin (2000) 發現都市熱島效應 (Urban Heat Island, UHI) 可能與風暴的形成及轉向有關。從數值模擬的角度來看, 也有許多研究討論過地表特性的重要性。Taha (1996), Pielke and Uliasz (1998) 及 Seaman (2000) 指出都市充足綠化的地區會影響近地表的溫度及空氣品質, 並進一步影響大氣邊界層的垂直結構。許多研究亦指出都市型態之地表類型會藉由都市熱島效應改變局部之天氣型態 (Hjelmfelt 1982; Kalnay and Cai 2003; Atkinson 1971; Balling and Brazel 1987; Jauregui and Romales 1996)。這些都說明了地表地貌及土地利用型態皆會透過地表過程影響大氣, 造成大氣邊界層的變化, 進而影響大氣環流。綜合上述研究結果, 正確地描述模式中的

地表參數, 可改善模式之地氣交互作用過程, 進而改善模式的預報。

影響模式地表過程至少有三個重要因子: 一、使用正確的地表參數, 包括土地利用型態、土壤種類及植被覆蓋率等, 二、合適的地表參數化過程, 三、提供土壤模式正確的初始資料。現行中央氣象局作業模式於冷起始時使用之土壤分析場來自美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 之全球模式 (Global Forecast System, GFS), 其解析度較區域模式的網格系統為低, 當內插至中尺度模式網格系統時易產生較大的誤差。為了得到高解析度之模式土壤初始場, 本研究引進美國國家大氣研究中心所發展之高解析土壤資料同化系統 (High Resolution Land Data Assimilation System, HRLDAS, Chen et al. 2007), 以期得到較好的土壤溫度和土壤濕度分析場, 並作為 WRF 模式之土壤初始場。本研究旨在評估 HRLDAS 土壤溫度和土壤濕度分析場之效能, 第二節將會介紹 HRLDAS 及其使用之資料; 第三節為 HRLDAS 土壤溫度及土壤濕度分析場之定性分析和敏感度測試; 第四節則把 HRLDAS 土壤溫度分析場與台灣地區土壤觀測值進行定量的校驗; 最後則是結論。

二、高解析土壤資料同化系統

1. 模式介紹

HRLDAS 是一個以 Noah (四個字首分別代表 N: National Centers for Environmental Prediction, O: Oregon State University, A: Air Force, H: Hydrologic Research Lab - NWS) 土壤模式為核心的土壤資料同化系統。Noah 土壤模式

將土壤分為四層，分別位於地下 5 cm、25 cm、70 cm 和 150 cm 之處，將以 Layer 1、Layer 2、Layer 3 及 Layer 4 代表各層，且以下所有實驗的 Noah 設定都一致。除了土壤溫度及濕度的物理擴散過程外，Noah 土壤模式還包含植被的模式，可處理植物的蒸散作用、植物葉面攔截水等過程。Noah 土壤模式的預報變數包括地表溫度、每一層的土壤溫度和土壤濕度、冠層含水率（Canopy Water Content）、雪深和雪量等。相關文獻請參閱 Pan and Mahrt (1987)；Chen et al. (1996)；Chen and Dudhia (2001)；Ek et al. (2003) 和 Mitchell et al. (2004) 等。

2. 使用資料介紹

HRLDAS 所需之近地面大氣驅動資料，包括近地面之溫度、水氣、風、壓力、輻射通量和降水等資料，本研究中，這些資料的來源包含：

(1) 區域模式大氣資料

使用中央氣象局作業之 WRF 模式每一個預報之 7-12 小時的預報輸出，包括地面氣壓、近地面溫度、近地面相對濕度、近地面風、地面長波輻射通量和短波輻射通量作為土壤資料同化系統之進地面大氣驅動資料 (forcing data)。此一驅動資料為逐時輸出，且和 HRLDAS 有一致的解析度，而無須進行網格內插。

(2) 降水觀測資料

本研究於東亞地區使用全球衛星反演降水資料 (Climate Prediction Center Morphing Method, CMORPH, Joyce et al. 2004)，資料的解析度 (約 25 公里) 較粗，同時衛星反演也有相當程度的誤差，因此在台灣本島及其周圍鄰近網格區域 (以下將簡稱為台灣地區) 使用 QPESUMS (Quantitative Precipitation Estimation and

Segregation Using Multiple Sensor) 的雷達估計降水產品取代 CMORPH 資料。QPESUMS 的雷達估計降水產品使用之雷達資料為接近地面且不受地形及地面影響之仰角觀測的最低仰角合成回波 (Mosaic Hybrid Scan Reflectivity, Hybrid)，再利用 $Z = 32.5R^{1.65}$ (R 為回波強度) 取得降雨估計量，此估計量再經過雨量站觀測校正後，即可產生降雨估計整合產品。QPESUMS 的雷達估計降水為每小時一筆、解析度為 0.033° ，在台灣地區有完整的覆蓋與高時、空間解析度。

圖 1A 是 2008 年 6 月 5 日 14 時之 CMORPH 觀測資料與圖 1B 使用 QPESUMS 的雷達估計降水取代 CMORPH 後的降水分布，圖中顯示，QPESUMS 降水強度較 CMORPH 強、解析度高。由此顯示在台灣地區使用 QPESUMS 雷達估計降水在降水量和水平解析度方面都具有較高之優勢。

3. 土壤資料同化系統之架構

土壤模式於水平空間之中具有高度的不連續性，即相鄰的格點，其土地利用型態、地表覆蓋物及土質等情況皆不相同；而每一種土地利用型態、地表覆蓋物及土質都會影響土壤之間的物理過程及地氣交互作用過程。此外，由於目前土壤觀測有限，因此直接同化觀測資料實屬不易。然而土壤模式的上邊界就是大氣模式的下邊界，因此在無法取得足夠的觀測資料進行土壤資料同化的情況下，HRLDAS 利用近地面的大氣驅動資料，包括溫度、水氣、風、壓力、輻射、降水等資料，透過土壤模式之物理過程，將上邊界的大氣觀測資訊經長時間的積分，把資料逐步影響至深層土壤，進而調整土壤溫度與濕度，經由長時間的模式起轉後，即可取得和大氣強迫作用平衡

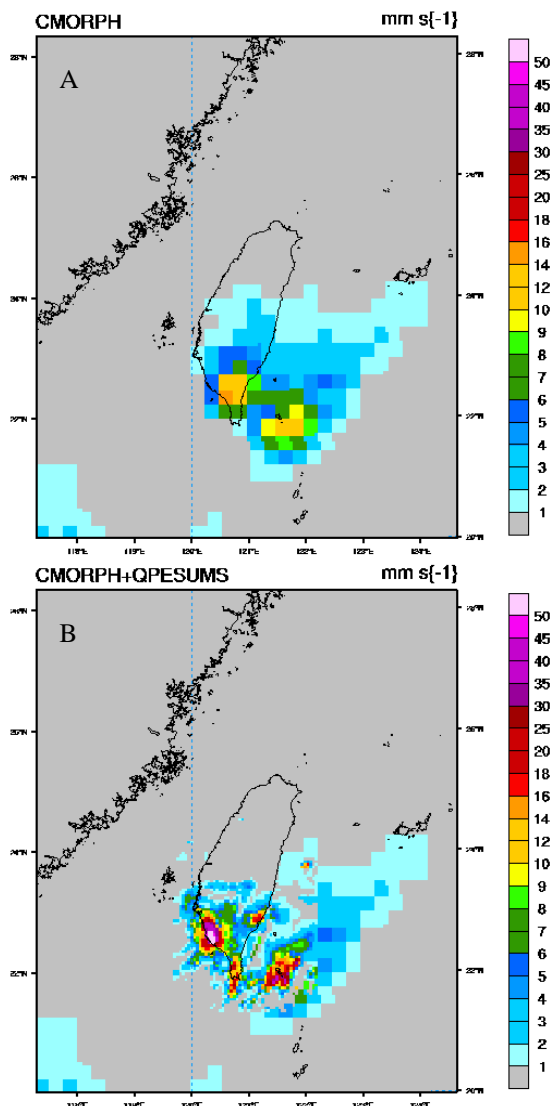


圖 1 2008 年 6 月 5 日 14 時之 1 小時累積降水，(A) CMORPH 觀測，(B)台灣地區及鄰近海域之 QPESUMS 雷達估計降水。

的土壤溫度和土壤濕度，此即為 HRLDAS 之土壤分析場，亦可作為模式積分之初始場。

HRLDAS 使用與現行中央氣象局作業模式 (WRF) 相同的土壤模式、網格設定 (網格設定如圖 2)、土地利用資訊、土質資料、植被覆蓋率及反照率……等，因此 HRLDAS 的土壤分析場具

有和預報模式一致的解析度和土壤模式，這個優勢是使用全球模式內插取得中尺度模式之土壤分析場所無法取代的。

圖 3 為目前本研究執行 HRLDAS 之流程。執行 HRLDAS 除了需要輸入 WRF 模式所提供之植被資訊及初始的土壤狀態 (如綠色方框所示) 之外，還需近地面之大氣驅動資料 (如藍色方框所示)，包括降水、雪以及區域模式大氣資料 (包含：模式 2 公尺高的溫度 (T2m) 和濕度 (Q2m)、10 公尺高的風場 (U10m、V10m)、地面氣壓 (PSFC)、短波輻射 (SWDOWN) 和長波輻射 (LWDOWN)) 等。其中降水資料及區域模式大氣資料需每小時輸入；雪和植被資料則為每日 0000 UTC 進行更新；土壤初始資料則只有在 HRLDAS 啟動時的第一個時間需要使用到。這些資料經過整合及處理後，就可以產生 HRLDAS 的輸入場 (LDASIN)，再經過 Noah 土壤模式進行預報，即可得到下一個小時的土壤預報場 (LDASOUT)，此也同時為 HRLDAS 的土壤分析場。

三、高解析土壤資料同化系統之效能分析

1. 土壤濕度分析場的定性分析

本研究使用區域模式大氣資料及 CMORPH 衛星反演雨量資料，讓 HRLDAS 自 2008 年 1 月 1 日起同化積分 3 個月，並取 HRLDAS 在臺灣西南位於 22.88°N, 120.45°E 之陸點 (以下稱點 SW) Layer 1 逐時土壤濕度分析場來評估其效能，該點之土地利用型態為混合林，土壤種類為黏壤土。HRLDAS 的比較對象取美國 NCEP GFS 之土壤濕度分析場，為每 6 小時一筆的資料。

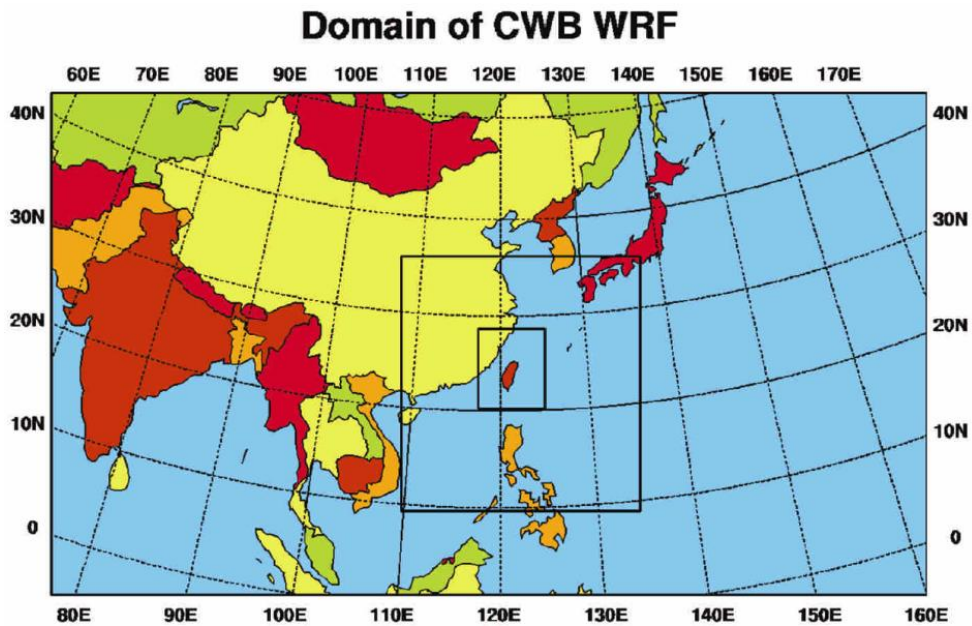


圖 2 CWB WRF 之 3 層巢狀網格範圍，水平解析度分別為 45、15 和 5 km。

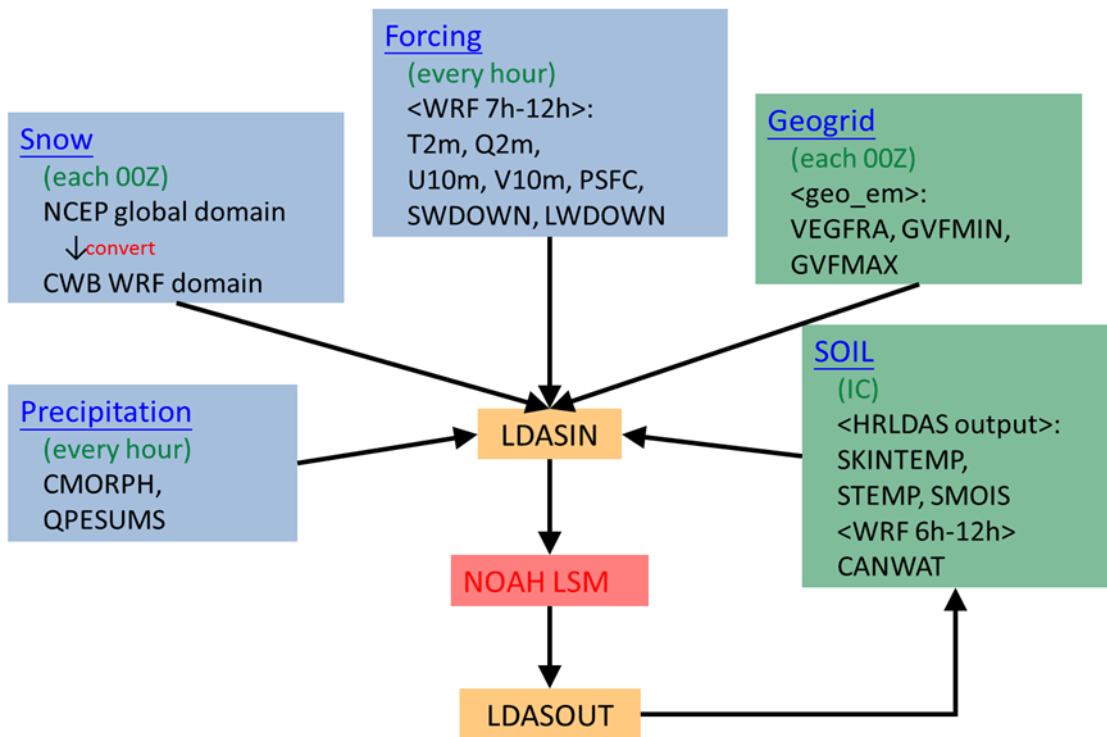


圖 3 本研究之 HRLDAS 執行流程圖。

圖 4 是該點之 QPESUMS 降水(紅點)、HRLDAS 土壤濕度分析(細黑線)及美國 NCEP GFS 之土壤濕度分析(黑點)。圖中顯示 NCEP GFS 的土壤濕度分析場趨近於飽和,且和降水之關連性較低,而因為 NCEP GFS 的土壤濕度分析場為每 6 小時一筆,因此無法突顯出日夜變化;HRLDAS 的土壤濕度分析場(逐時輸出)較 NCEP GFS 乾,有顯著的日夜變化,且和降水有高相關性:當長時間沒有降水時(如圖中的區間 I 和 II),土壤濕度持續下降,但在下雨之後,土壤濕度則反應降水而急速增加,這顯示 HRLDAS 的分析結果可反應降水的強迫作用。由於 NCEP GFS 土壤濕度分析場遠高於 HRLDAS 的分析場,而且幾近於飽和,因此比較使用 NCEP GFS 和 HRLDAS 的土壤濕度分析場介接 WRF 模式時,可預期前者可產生更多的潛熱通量,進而導致不同的模式局部環流和降水,但其對預報的影響則有待更進一步的研究。

2. 土壤模式起轉 (Spin up) 問題

為探討土壤模式起轉問題,在使用相同大氣資料的條件下,設計兩組實驗:(1) HRLDAS 自 2008 年 1 月 1 日起進行資料同化(以下稱 SP08), (2) HRLDAS 自 2009 年 1 月 1 日起進行資料同化(以下稱 SP09),再取兩實驗 2009 整年之四層土壤溫度分析場做比較。兩組實驗皆使用區域模式大氣資料,降水資料則使用 CMORPH 衛星反演雨量結合 QPESUMS 雷達估計降水。

圖 5 為 2009 年 HRLDAS 在點 SW 當地時間下午兩點 4 層土壤溫度分析場。圖中顯示,由於 SP09 的初始猜測場來自 NCEP GFS,因此土壤溫度比經過 1 年起轉的 SP08 冷,此差異隨著模式土壤深度增加而增加。SP08 與 SP09 兩條線重合

時間,大約是:Layer 1 於 1 月中、Layer 2 於 2 月底、Layer 3 於 3 月中、Layer 4 於 3 月底,這顯示土壤模式之土壤分析場為一長時間積分後之結果,故模式需要一段時間才可與近地面之大氣驅動資料達到能量平衡。而相位延遲的情況與模式的物理過程有關:近地面之大氣驅動資料經模式長期積分將資訊由土壤表層傳往底層,因此表層會先與近地面之大氣驅動資料達平衡,再逐步往下層達平衡。

Chen et al. (2007) 指出, HRLDAS 與近地面之大氣驅動資料達平衡的時間長短與土壤種類有關,且至少需要經過 6 個月以上的模式起轉,本實驗之結果約需經過 3 個月後才達平衡,此和 Chen et al. (2007)之結論相去不遠。本文後續之分析,將使用經過三年模式起轉後之 HRLDAS 土壤分析場進行定量校驗。

3. 近地面大氣驅動資料之敏感性測試

本研究設計數個資料同化實驗,以評估不同區域模式大氣資料及雨量資料對土壤模式的影響,並評估其在作業上運用的可行性。

HRLDAS 系統需要輸入每小時地面觀測之壓力、風場和溫度等,但這些觀測資料時、空分布不均,且有顯著的觀測品質問題。若使用 WRF 模式的地面預報作為 HRLDAS 的輸入,其優點是不需進行額外的地面分析,且變數之間具有一致性,而缺點則是可能存在模式預報誤差。模式的預報誤差表現在兩方面,首先是模式在預報前 6 小時往往有模式起轉的問題 (Huang and Lynch 1993),再者,模式的預報誤差會隨著預報時間增加而增加,因此本研究主觀採用每 6 小時更新一次的 WRF 7-12 小時預報,做為 HRLDAS 的區域模式大氣資料。為進一步瞭解模式預報誤差對

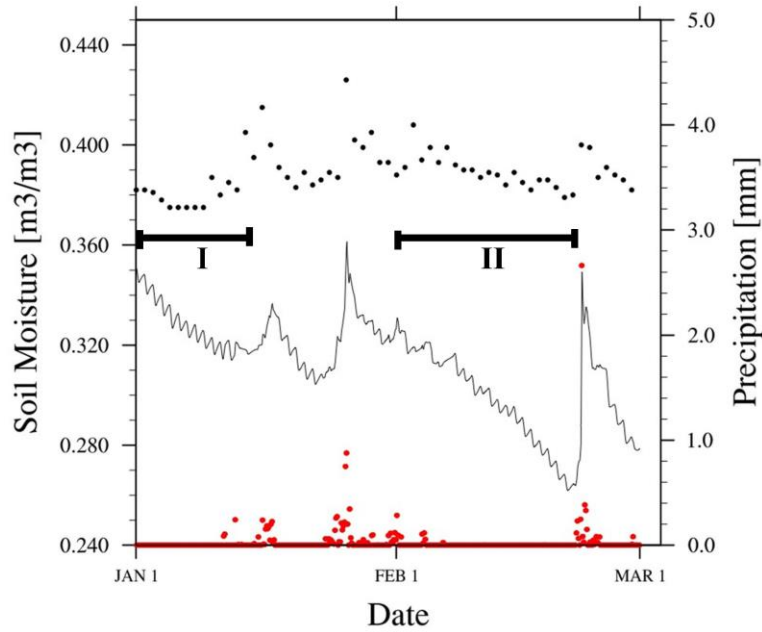


圖 4 2008 年 1 月至 3 月點 SW 逐時輸出之 QPESUMS 降水（紅點）、HRLDAS Layer 1 土壤濕度分析（細黑線）以及每 6 小時輸出之美國 NCEP GFS 的土壤濕度分析場（黑點）。

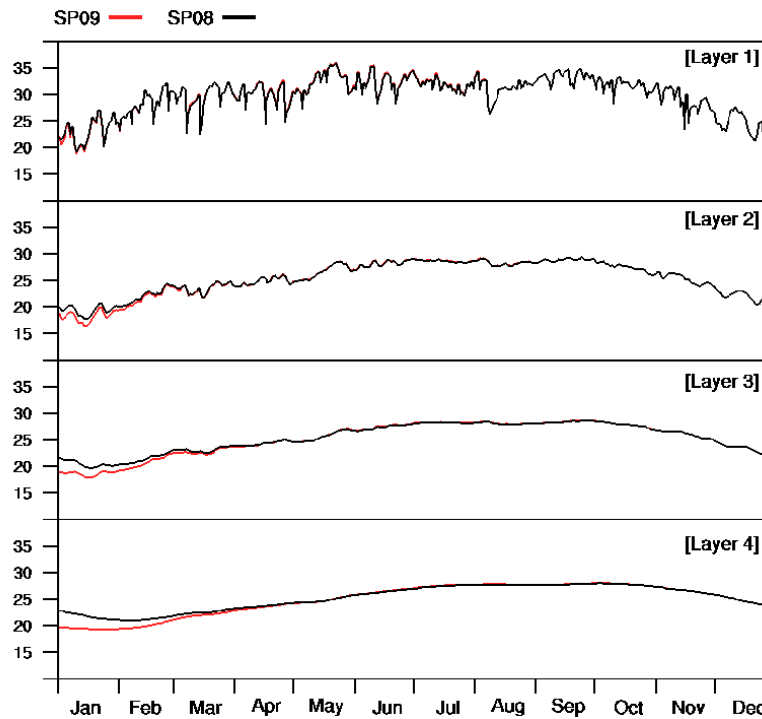


圖 5 點 SW 於 2009 年每日當地時間下午 2 時之土壤溫度隨時間序列圖。紅線為 HRLDAS 自 2008 年開始模式起轉，黑線為 2009 年開始起轉，layer 1~4 分別為 Noah 土壤模式的 4 個分層。

HRLDAS 分析的影響，在此使用 2008 年 1-6 月 WRF 7-12、13-18、19-24 小時預報作為 HRLDAS 的大氣驅動資料，並使用 HRLDAS 進行 6 個月積分。圖 6 是實驗中點 SW 的土壤濕度分析結果，顯示不同預報時的 WRF 地面預報（如：近地面溫度、濕度、風和壓力等）對土壤濕度的影響不顯著，這表示 HRLDAS 的分析結果並不會受區域模式大氣資料在不同預報長度的些微差異而有顯著的影響，是故本研究統一使用 WRF 7-12 小時的預報做為 HRLDAS 的大氣驅動資料。

圖 7 為點 SW 於 Layer 1 和 Layer 3 之土壤溫度分析場，由 Layer 3 可看出，使用 QPESUMS

作為雨量資料輸入，其土壤溫度分析場較使用 CMORPH 觀測資料為低，因此不同的降水資料對 HRLDAS 土壤溫度分析場有較大的影響，相較之下不同的模式預報輸出則影響相對較小。因此，若能在土壤資料同化系統中輸入更精確的降水觀測資料，此將是影響土壤分析場品質的重要關鍵所在。這也就是本研究之所以使用 HRLDAS 之分析場（使用觀測之降水驅動資料）取代 OP 之土壤分析場的研究動機。

為進一步探討不同降水觀測對 HRLDAS 的影響，在此使用表一所示之實驗組來做評估。D1-C 及 D3-C 的區域模式大氣資料（包括 T2m、

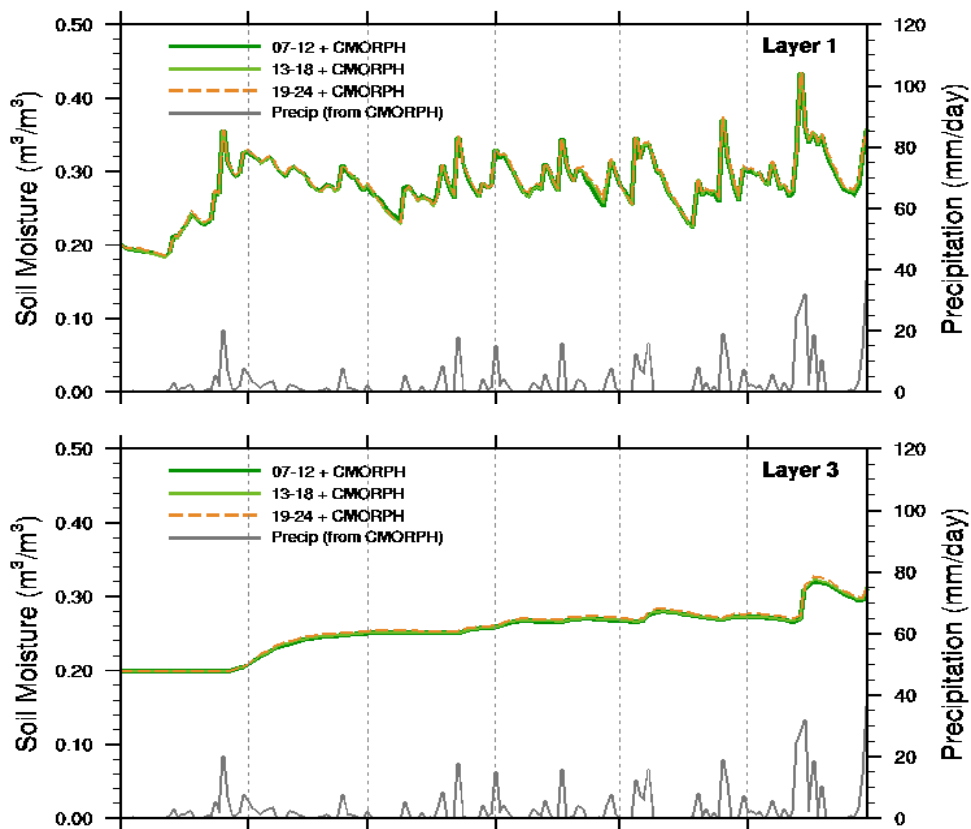


圖 6 2008 年 1 至 6 月在點 SW，不同預報時間之 WRF 預報場作為 HRLDAS 區域模式大氣資料，對 Layer 1 和 Layer 3 土壤濕度的分析結果。深綠色實線為 WRF 7-12 小時預報輸出、淺綠色實線為 WRF 13-18 小時預報輸出、橘色虛線為 WRF 19-24 小時預報輸出；灰色線為 CMORPH 降水資料。

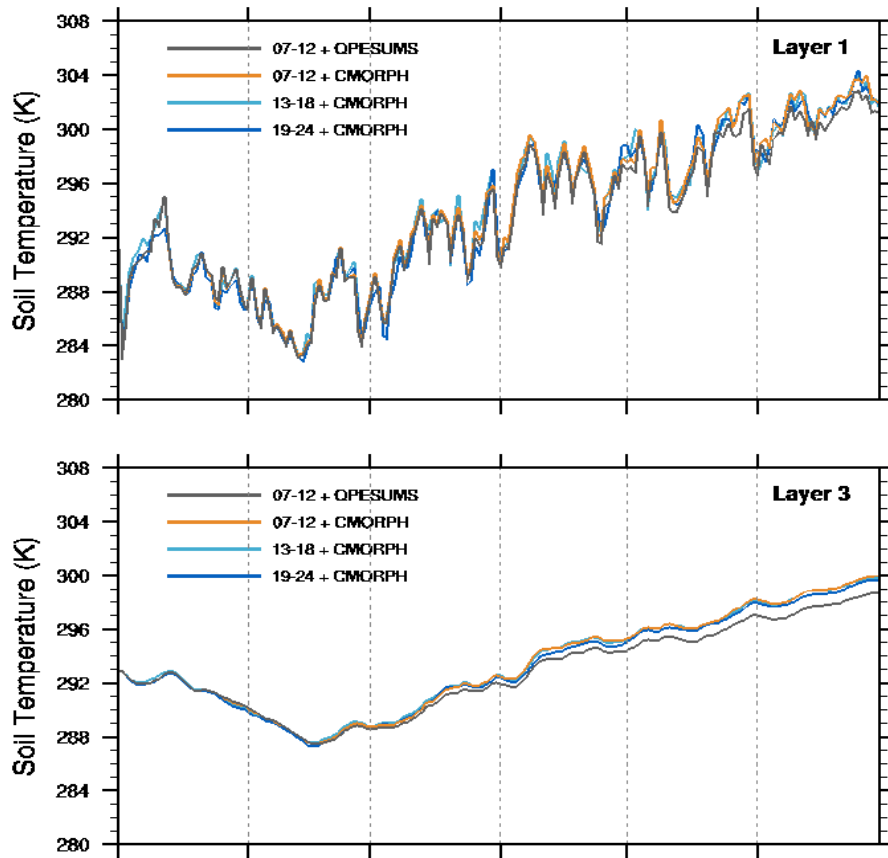


圖 7 同圖 6，但為土壤溫度的分析場。灰色線為 WRF 7-12 小時預報輸出及 QPESUMS 雷達估計降水資料、橘色線同樣為 WRF 7-12 小時預報輸出但使用 CMORPH 降水資料、淺藍色線使用 WRF 13-18 小時預報輸出及 CMORPH 降水資料、深藍色線使用 WRF 19-24 小時預報輸出及 CMORPH 降水資料。

表 1 HRLDAS 效能評估實驗規劃

實驗編號	解析度	模式範圍	大氣觀測資料來源	降水資料來源
D1-C	45-km	東亞	WRF 7-12 小時預報	CMORPH
D3-C	5-km	台灣	WRF 7-12 小時預報	CMORPH
D3-Q	5-km	台灣	WRF 7-12 小時預報	QPESUMS 雷達估計降水
OP	中央氣象局作業之 WRF 模式的土壤分析場，沒有經過土壤資料同化			

Q2m、10m Wind、地面氣壓、冠層含水率等)使用中央氣象局作業之 WRF 模式第 7 至 12 小時預報輸出,降水資料來源為 CMORPH,其中 D1-C 為 45 公里解析度, D3-C 則為 5 公里解析度的結果; D3-Q 的大氣觀測資料同樣使用 WRF 7-12 小時預報,但降水資料在台灣地區採用 QPESUMS 雷達估計降水產品取代 CMORPH 資料。以上實驗都是 HRLDAS 自 2008 年 1 月 1 日起進行同化積分 6 個月。實驗 OP 則為中央氣象局作業之 WRF 模式的土壤分析場,需注意, OP 之土壤分析場是 WRF 和 NOHA 模式耦合的結果,土壤分析場除了反應 WRF 模式的大氣驅動資料外,降水的驅動資料主要是來自 WRF 模式的預報降水。

圖 8 是實驗 D3-Q (左)、D3-C (中) 積分 6 個月後,於 6 月 30 日 0000 UTC HRLDAS 之地表溫度 (Skin Temperature) 分析場,並和 OP (右) 之地表溫度分析場進行比較。圖中顯示 OP 的地表溫度在台灣西部平原遠高於其他 2 個 HRLDAS 的分析結果, OP 於當地時間早上 8 時的地表溫度為 39°C,而 D3-Q 和 D3-C 地表溫度約 30°C~33°C,其中 D3-Q 又比 D3-C 略低。

圖 9 是實驗 D3-Q (左)、D3-C (中) 積分 6 個月後, HRLDAS 於 6 月 30 日 0000 UTC 在 Layer 1 和 Layer 2 的土壤濕度分析場。圖中顯示 D3-Q 和 D3-C 在華南一帶的結果完全一樣,由於 D3-Q 和 D3-C 只在雨量資料有差異,而 D3-Q 所使用之 QPESUMS 雨量只涵蓋台灣地區,因此兩實驗在華南一帶結果相同實屬合理。OP (右) 和 D3-C 在西部平原較乾,而 D3-Q 於南台灣則具有較高的土壤濕度,這結果和 2008 年 6 月梅雨季在南台灣的大量降水相呼應 (圖 10)。降水對 HRLDAS 土壤溫度及土壤濕度的影響很大,而觀測在南台灣的大量降水會導致土壤濕度上升、土壤溫度下降,因此使用 QPESUMS 提高南臺灣降水後,土壤濕度較高、地表溫度較低的情況都是合理反應; OP 則是因為模式預報對南部降水分布嚴重低估 (圖未示),導致土壤濕度減少、地表溫度上升。

上述實驗皆顯示降水資料對 HRLDAS 土壤溫度和土壤濕度分析的影響比其他驅動資料高,故在此降水資料使用觀測值。而 CMORPH 資料的解析度 (約 25 公里) 較粗,同時衛星反演也有相當程度的誤差,因此決定在台灣地區使用

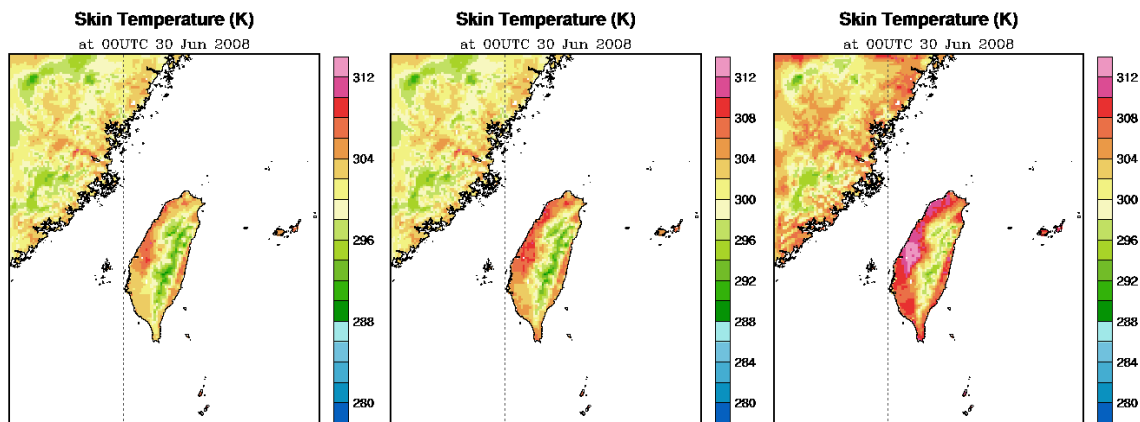


圖 8 實驗 D3-Q (左)、D3-C (中) 5 公里解析度,資料同化 6 個月後於 2008 年 6 月 30 日 0000 UTC, HRLDAS 及 OP (右) 之地表溫度分析場。

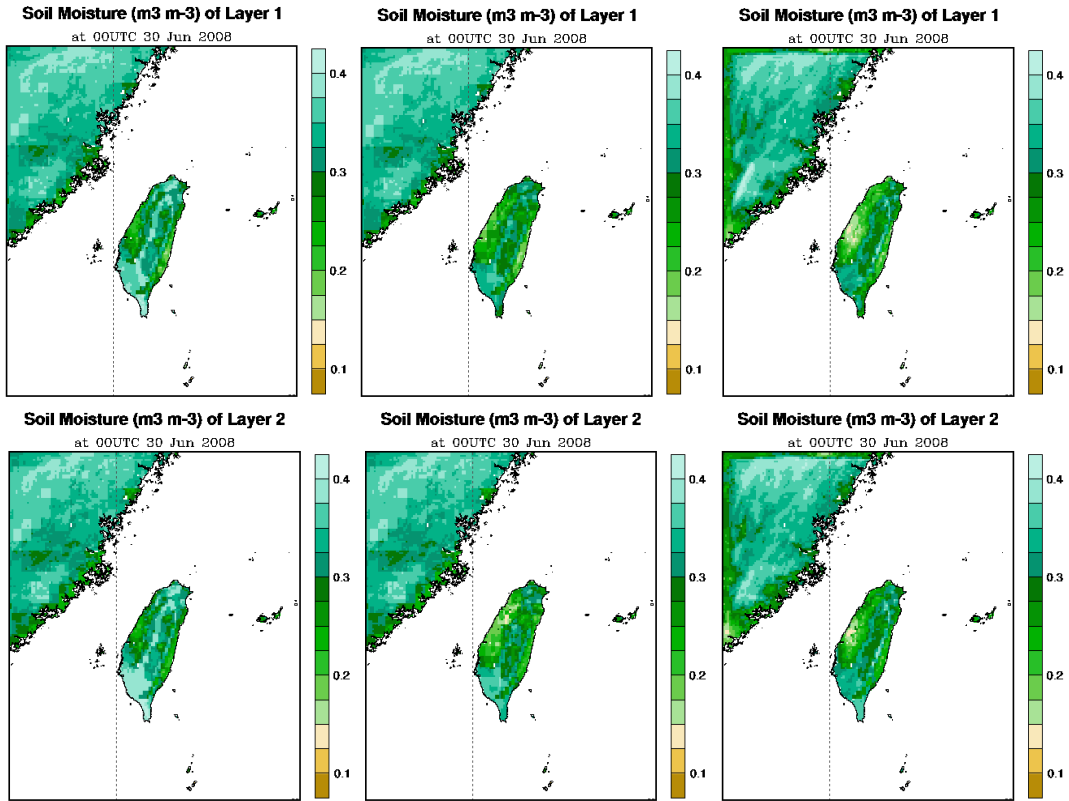


圖9 實驗 D3-Q (左)、D3-C (中) 5 公里解析度，資料同化 6 個月後於 2008 年 6 月 30 日 0000 UTC，HRLDAS 在 Layer 1 (上) 和 Layer 2 (下) 及 OP (右) 之土壤濕度分析場。

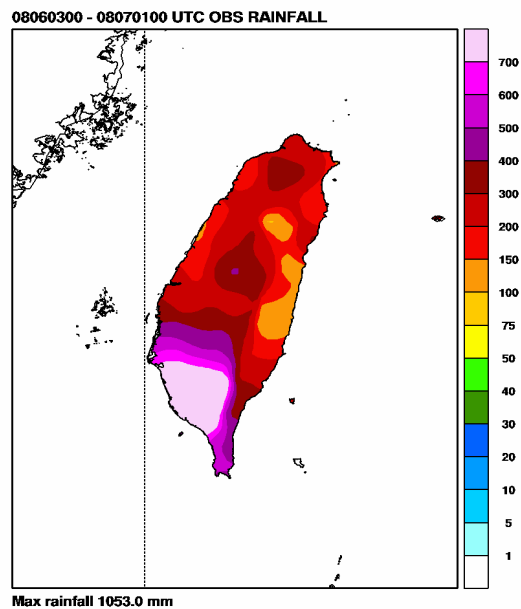


圖 10 台灣地區 2008 年 6 月一個月之觀測累積降水。

QPESUMS 的雷達估計降水產品取代 CMORPH 資料。

圖 11 是實驗 D1-C 與 OP 在 Layer 1 和 Layer 2 土壤濕度分析場的比較。圖中顯示，OP 在蒙古高原附近相當乾燥，但在華南和中南半島一帶則幾近飽和，這是和 D1-C 最大差異的地方。由於土壤濕度觀測較少且取得不易，目前仍未進行客觀定量的校驗，但定性而言，華南和中南半島一帶土壤幾近飽和實屬異常，因此可預期，當在模式中使用此一分析場時將導致過多的潛熱通量，進而影響模式的局部環流和降水過程。

四、高解析土壤資料同化系統土壤溫度分析場之校驗

前一部分定性分析的結果，顯示 HRLDAS 土壤分析場結果合理，為了進一步評估系統之效能，在此進行定量上之校驗與分析。

1. 實驗設計

本研究進行兩組實驗：(1)中央氣象局 WRF 作業模式之土壤溫度分析場(即前述之實驗 OP)，每 6 小時一筆資料。在此要強調，OP 之土壤分析場是反應 WRF 模式的預報降水場。(2) HRLDAS 土壤溫度分析場(以下簡稱 HRLDAS)，此為逐

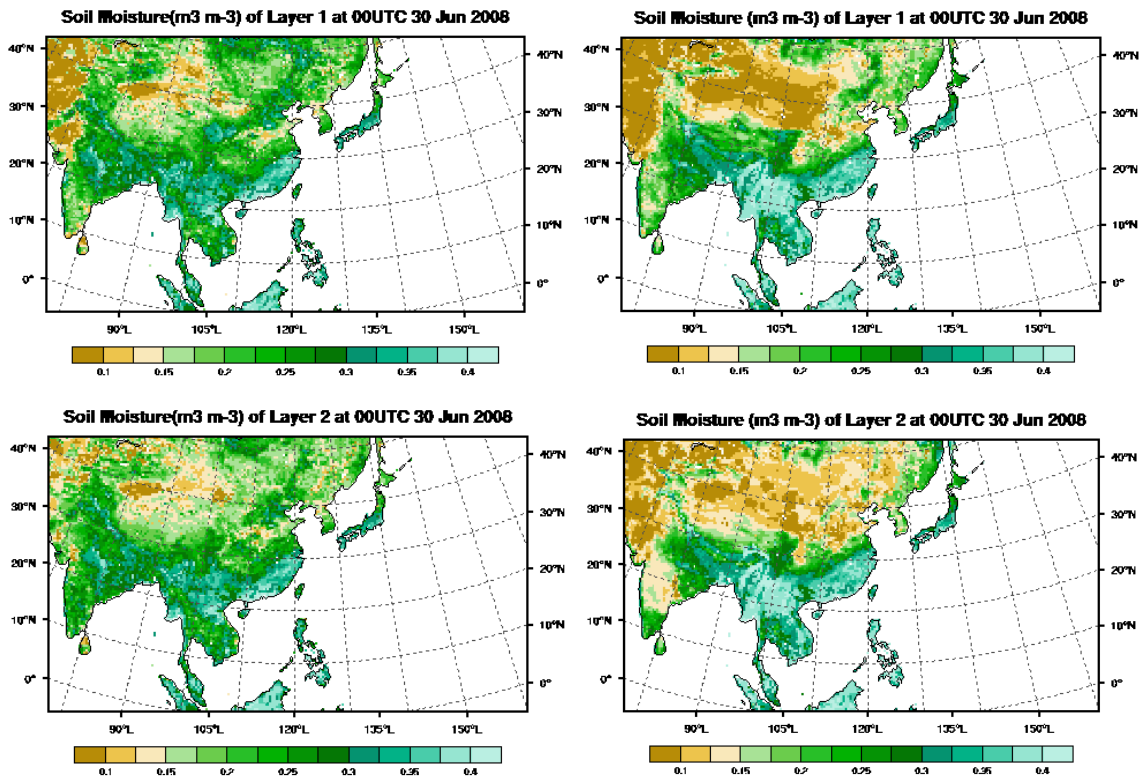


圖 11 實驗 D1-C (左) 連續 6 個月資料同化後於 2008 年 6 月 30 日 0000 UTC，與 OP (右) 在 Layer 1 (上) 和 Layer 2 (下) 的土壤濕度分析場。

時之分析場。在此，觀測點則選取模式中最接近臺中測站（24.08°N，120.40°E）之格點與台中站之觀測值進行校驗分析，該格點於模式中之土地利用型態為都市，土壤種類為黏壤土。

實驗所使用之 HRLDAS 自 2008 年 1 月 1 日起進行資料同化，經 2 年模式起轉，再取其逐時之土壤溫度分析場。本研究將著重在 5-km 解析度之結果，並評估實驗於 2010 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日土壤溫度分析場之效能。進行評估時所使用的觀測資料為台灣地區台中測站每日自動觀測之逐時土壤溫度，觀測深度包含：0、5、

10、20、30、50、100、200、300、500 公分，再將觀測值內插至模式四層土壤深度。

2. 土壤溫度分析場之校驗

圖 12 為台中站 2010 年至 2011 年四層土壤溫度隨時間序列圖。由觀測值（藍點）來看，土壤溫度具有年際變化及日變化，日變化的振幅隨土壤深度增加而減少，至 Layer 3、Layer 4 已不明顯；年變化則隨土壤深度有相位延遲的現象，這是由於土壤間能量及水氣傳遞的方式為擴散作用，其達平衡的時間尺度較大氣變化之尺度長，而淺層土壤因為靠近地表，容易與大氣產生地氣

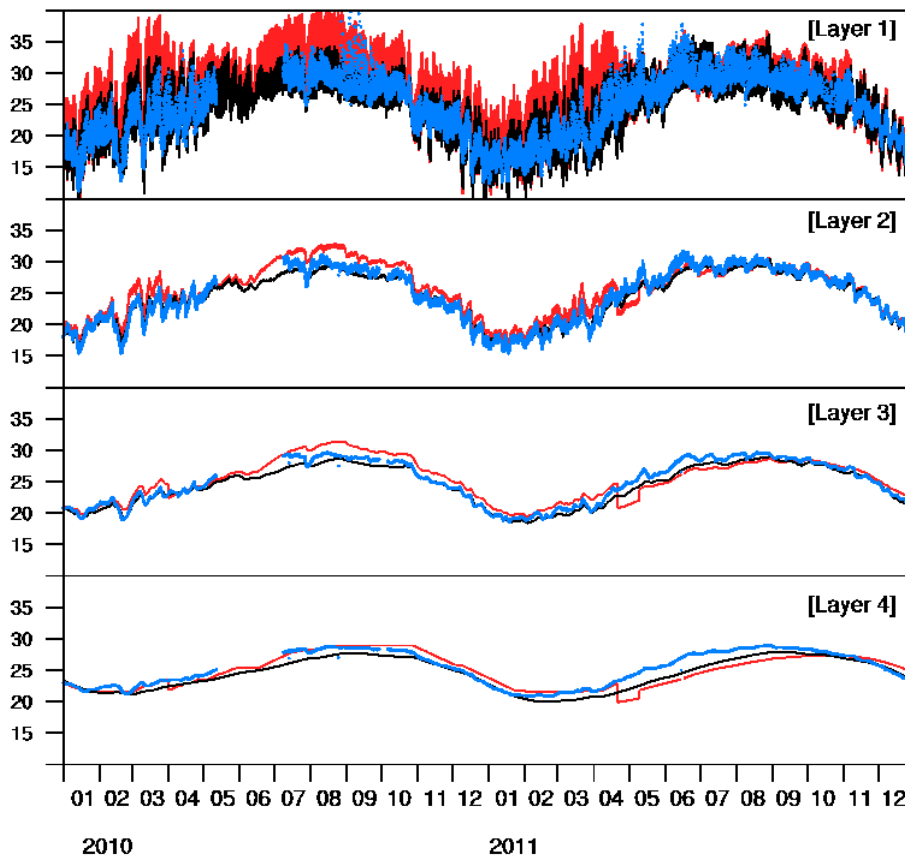


圖 12 2010 年至 2011 年台中站逐時土壤溫度隨時間序列圖。其中，黑線為 HRLDAS 土壤溫度分析場，紅線為 OP 土壤溫度分析場，藍點為觀測值。

之能量交互作用，因此其變化較明顯；深層土壤之變化則為一緩慢且穩定之過程。HRLDAS（黑線）土壤溫度變化趨勢皆與觀測一致，顯示其可良好的呈現土壤溫度之年際變化。另外，圖中顯示 OP（紅線）在 2011 年 4 月前、後有顯著的差異，其原因主要是 2011 年 4 月底後，WRF 模式由全循環更新（full cycle）改為部份循環更新（partial cycle）的資料同化策略。所謂部分循環更新，即是每一個模式於分析時間的初始場均來自 12 小時前由 NCEP GFS 的分析場冷啟動（cold start），然後每 6 小時進行一次 WRF 3DVAR 客觀分析，此時模式的初始猜測場來自 WRF 的 6 小時預報，也就是在這 12 小時之間進行兩次循環更新（full cycle）策略。在部份循環更新下，土壤

分析場每次均在冷啟動時由 NCEP GFS 的土壤分析場內插取得，而全循環更新則累積了長久以來 WRF 土壤模式的系統性偏差。因此，全循環更新和部份循環更新的差異導致土壤分析場在 2011 年 4 月有顯著的系統性差異，部份循環更新的土壤溫度較全循環更新下降約 3 度左右。就整體分析而言，OP 的土壤溫度分析場較觀測值高，而 HRLDAS 則較為貼近觀測值。

比較台中站於當地時間 2、8、14、20 時 Layer 1 之土壤溫度隨時間序列圖（如圖 13），發現 HRLDAS 分析場在四個當地時間皆與觀測值相當接近，而 OP 在 2011 年 4 月底前於 02 及 08 時有些微的冷偏差，而 14 及 20 時有明顯的暖偏差，尤其 14 時和觀測值差異最大，這顯示 OP 在下午

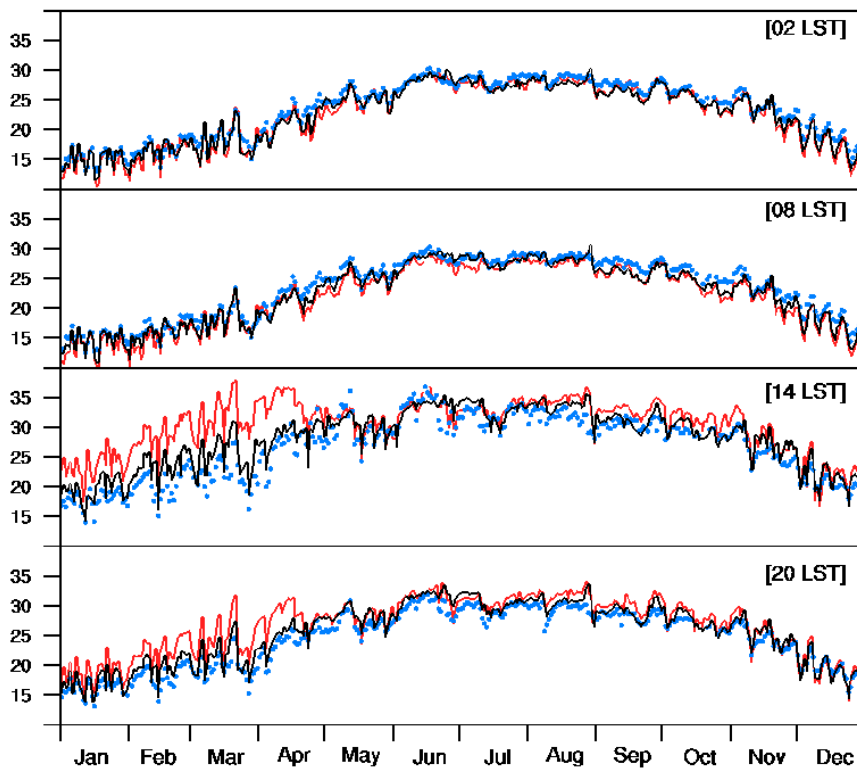


圖 13 2011 年台中站每日於不同當地時間之 Layer 1 土壤溫度隨時間序列圖。線條顏色如圖 12。

至傍晚期間其土壤溫度分析場有偏暖的情況，這將會導致地氣交互作用中可感熱通量的大小，此情況將有很大的機會進而影響到模式近地面溫度預報之結果。若每日只取當地時間 14 時來看（如圖 14），HRLDAS 之土壤溫度分析場依然與自動觀測值十分接近，而 OP 之土壤溫度分析場在 2011 年 4 月底前，土壤溫度分析場較自動觀測值暖，使用部分循環更新後，OP 土壤溫度分析場溫度下降，再次顯示改變同化策略的確使 OP 土壤分析場有所改善。觀察 Layer 4 發現 HRLDAS 與 OP 之土壤溫度發生最高值的時間與觀測值不同：觀測之最大值約發生在 8 月底，而 HRLDAS 及 OP 則發生在 9 月底，這個相位延遲的現象顯示 Noah 土壤模式於深層土壤溫度之分析仍有進

一步的改善空間。

為評估 HRLDAS 之效能，在此將 HRLDAS 與 WRF 土壤溫度分析場與觀測值做月平均絕對差值之計算，結果如圖 15 所示，HRLDAS 於 Layer 1、Layer 2 之表現較 WRF 土壤溫度分析場有顯著的改善，而 Layer 3、Layer 4 兩者的改善雖不如 Layer 1、Layer 2，但 HRLDAS 仍普遍較 OP 來得正確。

五、總結

本研究引進美國國家大氣研究中心所發展之高解析資料同化系統，期望藉由資料同化之方式能得到較佳的土壤分析場。

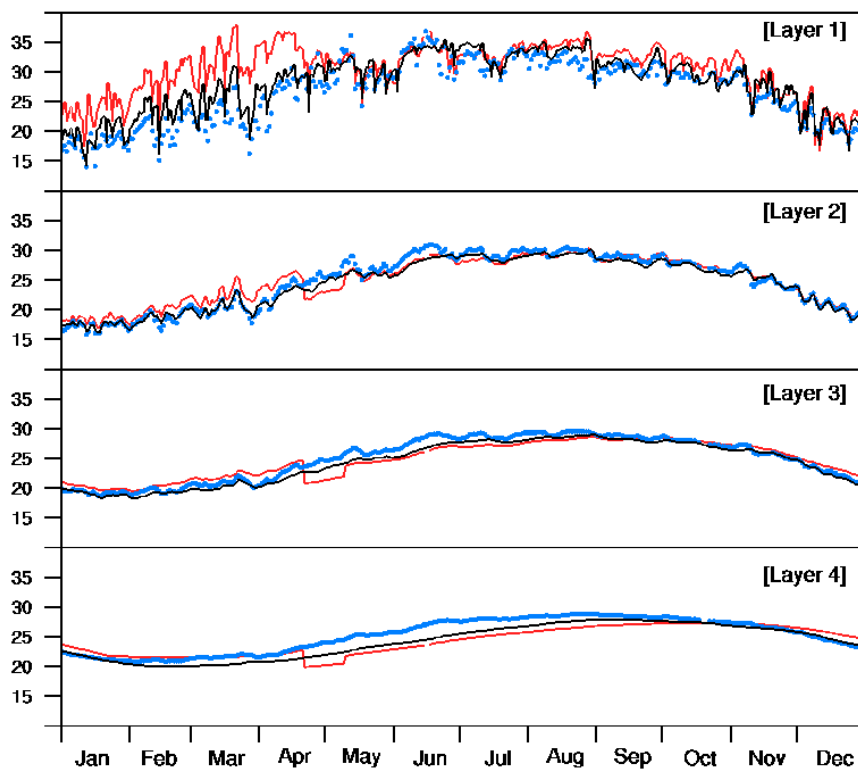


圖 14 2011 年台中站於當地時間 14 時之土壤溫度隨時間序列圖。線條顏色如圖 12。

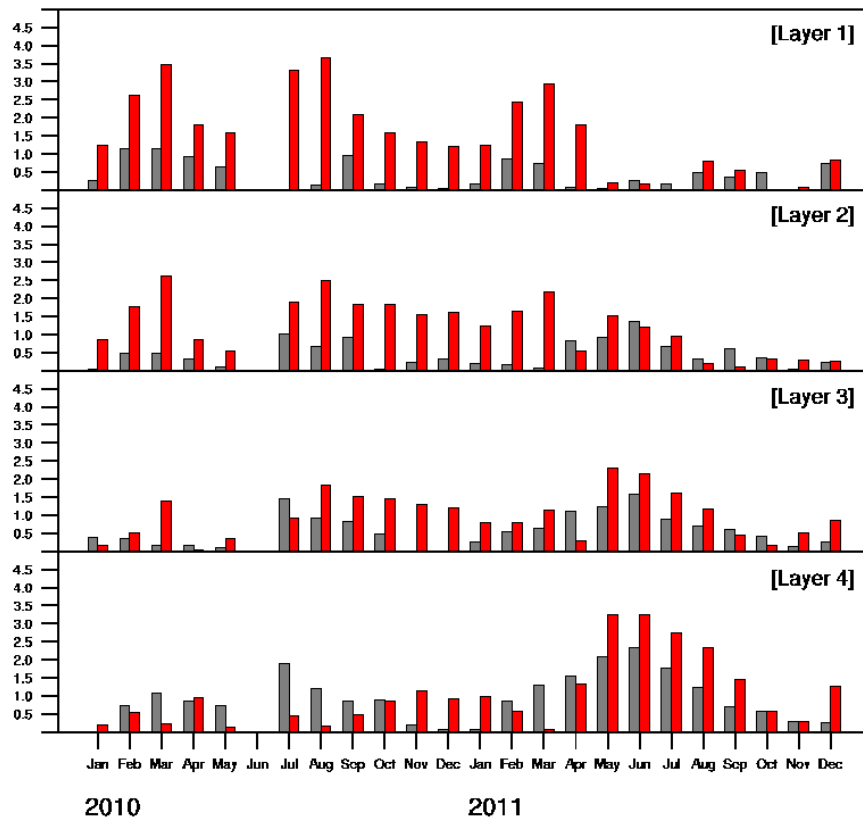


圖 15 2010 年至 2011 年台中站 HRLDAS 和 OP 之土壤溫度分析場與自動觀測值之絕對差值。其中，灰色長條為 HRLDAS，紅色長條為 OP。

HRLDAS 效能之定性分析顯示其土壤濕度分析場可合理反應降雨前後之土壤物理過程，而地表溫度分析場也比 OP 冷。實驗亦顯示土壤分析場為一長時間積分之結果，故模式須經過 3 個月以上的模式起轉，才可與近地面大氣驅動資料達能量平衡。為使 HRLDAS 具有即時作業之能力，研究中評估使用氣象局作業之 WRF 模式 7-12、13-18、19-24 小時近地面預報場對 HRLDAS 土壤分析場之影響，並於 5 公里解析度之台灣地區使用 QPESUMS 雷達估計降水資料取代 CMORPH 衛星觀測雨量資料，結果顯示使用 WRF 模式近地面預報場之預報誤差對 HRLDAS 之影響甚小，而使用 QPESUMS 資料則對土壤濕

度的分析產生顯著的影響，且在台灣地區，QPESUMS 的資料品質比 CMORPH 好，因此決定以 WRF 模式 7-12 小時近地面預報場，以及亞洲地區之 CMORPH 配合台灣地區之 QPESUMS 雨量資料作為 HRLDAS 之近地面大氣驅動資料。

在定量分析上，使用 HRLDAS 於 2010 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日台灣地區之土壤溫度分析場，並與台中站之土壤溫度觀測值做比較，結果顯示 HRLDAS 於 5 公里解析度之土壤溫度分析場可良好呈現土壤溫度之年際及日變化，且其分析結果與觀測值相當接近；OP 之土壤溫度分析場因中央氣象局作業模式版本更替而有不連續之

現象，並且模式於循環更新的同化策略下，土壤溫度分析場有暖偏差的情形，使用部分循環更新之同化策略則可改善此問題。

由於目前土壤溫度及土壤濕度之觀測有限，因此未來將進行 HRLDAS 與 WRF 區域模式之偶合測試，將 HRLDAS 之土壤分析場取代 WRF 模式之土壤初始場，希望藉由置換土壤資訊後能改善 WRF 模式預報之表現。

致謝

本研究在中央氣象局氣象資訊中心提供之計算支援以及國科會計畫 NSC 99-2625-M-052 -006 -MY3 支援下完成。

參考文獻

- Atkinson, B. W., 1971: The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 47-55.
- Balling, R. C., and S. W. Brazel, 1987: Recent changes in Phoenix, Arizona, summertime diurnal precipitation patterns. *Theor. Appl. Climatol.*, **38**, 50-54.
- Betts, A., F. Chen, K. Mitchell, and Z. Janjic, 1997: Assessment of the land surface and boundary layer models in two operational versions of the NCEP Eta Model using FIFE data. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2896-2915.
- Bornstein, R., and Q. Lin, 2000: Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three case studies. *Atmos. Environ.*, **34**, 50-54.
- Changnon, S. A., 1968: The La Porte weather anomaly — fact or fiction? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **49**, 4-11.
- Chen, F., K. Mitchell, J. Schaake, Y. Xue, H. Pan, V. Koren, Y. Duan, M. Ek, and A. Betts, 1996: Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations. *J. Geophys. Res.*, **101**, 7251-7268.
- Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface-Hydrology Model with the Penn Stat-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 569-585.
- Chen, F., R. Pielke, Sr., and K. Mitchell, 2001: Development and application of land-surface models for mesoscale atmospheric models: Problems and Promises. *Observation and Modeling of the Land Surface Hydrological Processes.*, V. Lakshmi, J. Alberston, and J. Schaake (Editors), American Geophysical Union, 107-135.
- Chen, F., K. W. Manning, M. A. LeMone, S. B. Trier, J. G. Alfieri, R. Roberts, M. Tewari, D. Niyogi, T. W. Horst, S. P. Oncley, J. B. Basara, and P. D. Blanken, 2007: Description and Evaluation of the Characteristics of the NCAR High-Resolution Land Data Assimilation System During IHOP-02. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **46**, 694-713.
- Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, J. D. Tarpely,

- 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.
- Hjelmfelt, M. R., 1982: Numerical Simulation of the Effects of St. Louis on Mesoscale Boundary-Layer Airflow and Vertical Air Motion: Simulations of Urban vs Non-Urban Effects. *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1239-1257.
- Huang, X.-Y. and P. Lynch, 1993: Diabatic digital filter initialization: Application to the HIRLAM model. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 589 - 603.
- Jauregui, E., and E. Romales, 1996: Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *Atmos. Environ.*, **30**, 3383-3389.
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, **5**, 487-503.
- Kalnay, E., and M. Cai, 2003: Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, **423**, 528-531.
- Landsberg, H. E., 1970: Climates and urban planning. *WMO tech. Note* No. 108.
- Mitchell, K. E., D. Lohmann, P. R. Houser, E. F. Wood, J. C. Schaake, A. Robock, B. A. Cosgrove, J. Sheffield, Q. Duan, L. Luo, R. W. Higgins, R. T. Pinker, J. D. Tarpley, D. P. Lettenmaier, C. H. Marshall, J. K. Entin, M. Pan, W. Shi, V. Koren, J. Meng, B. H. Ramsay, A. A. Bailey, 2004: The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): Utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modeling system. *J. Geophys. Res.*, **109**, D07S90, doi: 10.1029/2003JD003823
- Pan, H.-L. and L. Mahrt, 1987: Interaction between soil hydrology and boundary-layer development. *Bound.-Layer Meteorol.*, **38**, 185-202.
- Pielke, T. A., and M. Uliasz, 1998: Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models — Limitations and strengths. *Atmos. Environ.*, **32**, 1455-1466.
- Ramanathan, V., P. J. Crutzen, J. T. Kiehl, and D. Rosenfield, 2001: Aerosols, climate and the hydrological cycle. *Science*, **294**, 2119-2124.
- Rosenfield, D., 1999: TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3105-3108.
- Seaman, N. L., 2000: Meteorological modeling for air-quality assessments. *Atmos. Environ.*, **34**, 2231-2259.
- Taha, H., 1996: Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the south coast air basin. *Atmos. Environ.*, **30**, 3423-3430.

Evaluation of the High Resolution Land Data Assimilation System

Yu-Chun Hung¹ Jing-Shan Hong¹ Chia-Ling Tsay¹
Michael Barlage² Fei Chen²

¹Central Weather Bureau

²National Center for Atmospheric Research

(manuscript received 23 August 2013 ; in final form 14 May 2014)

ABSTRACT

The performance of the High Resolution Land Data Assimilation System (HRLDAS) was evaluated in this study. The HRLDAS assimilated the hourly precipitation, near-surface air temperature, moisture, wind, and radiation to drive the Noah land surface model from the upper boundary condition and then output the predicted soil temperature and moisture. The HRLDAS analyses including the soil temperature and moisture were then obtained through an extended assimilation cycle as the Noah land surface model reached an equilibrium state between the surface forcing and the soil state variables.

The performances of HRLDAS soil temperature and moisture analysis were examined in the study. Qualitatively, the soil moisture analysis of the HRLDAS has the reasonable response to the surface precipitation forcing, however, it required at least three months for spin-up to reach the equilibrium state. Quantitatively, the verification of the HRLDAS soil temperature analysis against the observations shows it outperforms the operational soil temperature, which was interpolated from the Global Forecast System of the National Center for Environment Prediction. The further study is undergoing to reveal the impact of the HRLDAS analysis on the atmospheric model prediction.

Key Words: Soil temperature, Soil moisture, High resolution land data assimilation system (HRLDAS)

