

# WRF 模式台灣地區土地利用類型之更新 與個案研究

戴俐卉<sup>1</sup> 洪景山<sup>1</sup> 莊秉潔<sup>2</sup> 蔡徵霖<sup>2</sup> 倪佩貞<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 中央氣象局

<sup>2</sup> 國立中興大學 環境工程學系

<sup>3</sup> 中鼎工程公司

(中華民國九十六年九月五日收稿；中華民國九十七年三月四日定稿)

## 摘 要

本研究主要是使用台灣地區高解析度(簡稱 CTCI 資料)的土地利用資料,用以取代 WRF 模式中原始的 USGS (The U.S. Geological Survey)資料。此高解析度土地利用資料是由中鼎工程顧問公司數位化內政部所出版的 1/25,000 地形圖所得。更新後的土地利用資料主要為修正台灣地區都市、水田、混和林與旱田的分佈;和台灣地區空照圖相比,新的資料較 USGS 資料更精確反應出台灣地區土地利用的現況。本研究預期可提供 WRF 模式在一個合理的土地利用背景資料下進行更正確的預報與模擬。

本研究同時也針對兩組土地利用資料進行個案模擬,模擬結果顯示模式對更新後的土地利用資料均能產生合理的反應,並具體表現在地表能量通量的計算結果。此外,土地利用資料修正後也反應在模式對降水與溫度場的預報,特別是地面風場的差異隨著預報時間由沿海往內陸發展,並在午後達到最大,顯示模式中土地利用資料的改變會對局部環流產生顯著的影響。

本研究進一步針對 CTCI 土地利用類型資料進行連續一個月的預報實驗,結果顯示平均預報誤差改善 0.12 °C,改善幅度達 11.5%。選取 CTCI 組中為 urban 土地利用類型的測站進行統計,則新的土地利用資料的預報誤差平均減少 0.22 °C,改善幅度達 24.5%,顯見在模式中改善 urban 土地利用類型可以獲得更大的預報改善。

關鍵詞：土地利用類型、USGS 土地利用資料、CTCI 土地利用資料

## 一、前言

地表與大氣之間的能量交換是影響天氣系統乃至氣候變遷的重要因素之一。地表經由邊界層與自由大氣進行熱量、動量以及水氣的交換，進而影響天氣與氣候。在數值模式中，有關地表放射率、熱容、粗糙度、及可用含水量等物理過程，通常使用給定的土地利用類型(landuse type)資料，並據以參數化之(Chen and Dudhia 2001; Chen et al. 2004)，進而使模式大氣和地表產生關聯。在此，將上述參數化所對應的物理過程概括稱之為地表過程，在模式和大气中，此一地表過程是影響地表與大氣能量交換最重要的環節之一。

土地利用類型的分布及變化對於大氣局部環流、降水、溫度或溼度變化上所扮演的角色，無論是在觀測或者是模式的模擬上都有諸多的討論。舉例來說，在觀測上都市化效應對局部環流的影響是一個被廣泛討論的議題，例如 Changno (1968)及 Landsberg (1970)研究發現暖季都市的下風處降水會有增加的情形。Rosenfield (1999)與 Ramanathan et al. (2001)指出因為都市的存在而改變了雲內的微物理過程，從而減少當地的降水總量。此外，Bornstein and Lin (2000)在個案研究中發現，美國喬治亞州亞特蘭大城市內，某些風暴的形成以及轉向可能與此區的都市熱島效應有關。這些研究都提到了都市熱島效應，確實會對當地的天氣與氣候帶來變化。而除了都市之外，也有針對地表作物的差異及改變所做的探討。Mahrt et al. (1994)曾觀察到內陸風會形成在廣大作物與非作物的交界區，Rabin et al. (1990)發現在奧克拉荷馬州冬季為期一星期的冬麥收割期間，地表型態的變化竟能使白天溫度上升 3 K，顯示除了都市熱島效應外，大範圍土地利用的異質性

亦會造成大氣邊界層的變化，進而影響大氣環流及溫度變化。

在數值模擬方面，當模式解析度持續增加時，觀測站的網聯常無法解析到中小尺度的環流結構，而模式中的中尺度環流系統往往是模式大氣經由地表過程之強迫作用所調適的結果，而欲正確掌握此一地表過程，首先則有賴於在模式中精確描述土地利用的相關資訊(Chen and Dudhia 2001)。Taha (1996)討論土地利用分布在大气中尺度模式中的敏感度，並指出都市有充足綠化的地區，會為近地表的溫度及空氣品質帶來顯著的影響，並且進一步影響大氣邊界層的垂直結構(Pielke and Uliasz 1998; Seaman 2000)。此外，也有模擬研究指出，在模式中修正都市型態之地表類型後，將會強化模式的都市熱島效應，並進而改變局部的天氣型態，甚而對風暴的生成、加強及移動造成影響(Hjelmfelt 1982; Kalnay and Cai 2003; Atkinson 1971; Balling and Brazel 1987; Jauregui and Romales 1996)。Bougeault et al. (1991)在實驗模擬中發現森林和稻作交界區的中尺度環流是此區雲形成的主因。再者，Baik and Kim (2001)及 Craig and Bornstein (2002)也都曾分別以模式探討都市熱島效應對於輻合及對流之加強效應。除了土地利用類型的分布外，舉凡都市化的發展或耕地農作的變更所導致之土地利用的改變也會對局部天氣產生影響，例如 Crossman-Clarke S. et al. (2005)研究指出，都市化迅速的亞利桑那州鳳凰城之土地利用資料經過更新後，可以明顯的改善 MM5 模式對於該地白天的溫度預測。而 Lo et al. (2007)則指出珠江三角洲近 20 年來快速都市化的結果，導致 MM5 模式中的土地利用資料與現實產生巨大的差異，在更新了模式中的土地利用資料後，模式對珠江三角洲局部海陸風環

流的預報獲得顯著的改善。Gero and Pitman (2006) 的個案研究也指出，模式中的降水系統容易在稠密的都市地帶（雪梨港）形成與發展，而如果將模式中該地的土地利用類型改為非都市類型時，其降水系統的發展會受到阻礙。這些研究都一再指出土地利用類型的分布及變化都會對天氣造成不容忽視的改變，因而正確描述模式中的土地利用類型，是幫助模式改進地表過程的一個重要環節。

在模式中地表過程要能正確地被描述，取決於兩項重要的因子，一為合適的地表參數化，另一則是使用正確的土地利用資料。近年來，中尺度模式中的近地表參數化過程已有長足的進展 (Chen et al. 2004)，而模式中使用的土地利用資料則相形老舊。WRF 模式是美國近年來集合學術界與作業單位人力所發展的新一代中尺度模式系統。在本研究中，我們以一組台灣地區的土地利

用資料取代 WRF 模式中原始的土地利用資料，相對於原始資料而言，該資料不僅較新，而且在空間上有較高的解析度。本研究的重點，除了分析此二組資料的差異外，我們也針對個案進行數值模擬實驗，以比較不同土地利用資料對個案預報的影響。

## 二、資料處理與比較

### (一) 資料說明

WRF 模式中原始的土地利用類型資料(以下簡稱為 USGS 資料)為美國地理測量(U.S. Geological Survey)土地利用系統(land use/ land cover system)所提供之 24 類(如表一)全球土地利用分布。該資料主要是利用 1992 年至 1993 年之 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)遙測資料所推導而得，資料解析度為 30 秒。由於該資

表一 USGS 之 24 類土地利用分類。

| 編號  | USGS 土地利用分類                                   | 編號  | USGS 土地利用分類               |
|-----|---|-----|---------------------------|
| 1.  | Urban and Built-Up Land                       | 13. | Evergreen Broadleaf Frst  |
| 2.  | Dryland Cropland and Pasture                  | 14. | Evergreen Needleleaf Frst |
| 3.  | Irrigated Cropland and Pasture                | 15. | Mixed Forest              |
| 4.  | Mixed Dryland/ Irrigated Cropland and Pasture | 16. | Water Bodies              |
| 5.  | Cropland/Grassland Mosaic                     | 17. | Herbaceous Wetland        |
| 6.  | Cropland/Woodland Mosaic                      | 18. | Wooded Wetland            |
| 7.  | Grassland                                     | 19. | Barren or Sparsely Vgtd.  |
| 8.  | Shrubland                                     | 20. | Herbaceous Tundra         |
| 9.  | Mixed Shrubland/Grassland                     | 21. | Wooded Tundra             |
| 10. | Savanna                                       | 22. | Mixed Tundra              |
| 11. | Deciduous Broadleaf Frst                      | 23. | Bare Ground Tundra        |
| 12. | Deciduous Needleleaf Frst                     | 24. | Snow or Ice               |

料是利用衛星遙測資料推導求得，因此資料的正確性始終是被廣泛討論的議題之一，外加資料觀測距今已久，無法及時反應出土地利用的改變(Lo et al. 2007)。在本研究中以一組台灣地區的土地利用資料取代 WRF 模式中原始的土地利用資料，此資料（以下簡稱為 CTCI 資料）為中鼎工程顧問公司利用內政部所出版的 2001 年經建版之 1/25,000 基本地形圖數位化後所得。經建版之基本地形圖全國共計有 261 張圖幅資料，中鼎公司將此資料之紙圖及數值檔案經過土地分類整理、圖形修正、草圖檢核及地類面積計算等繁複的處理過程後得到 1/25,000 之台灣地區數位化地類圖。資料網格則是採用世界橫麥卡脫投影（Universal Transverse Mercator Projection Grid System，簡稱 UTM）座標系統，網格解析度為 1 公里。有別於 USGS 資料對土地利用類型的 24 項分類，CTCI 資料總共區分為 16 項分類（如表二），圖 1 為 1/25,000 的台灣基本地形圖之紙圖範例，圖中每一格代表約 1 公里見方之土地，在每一平方公里區域上計算此十六項分類之面積大小（如圖 2），換言之，由此可以求得每一個 CTCI 格點上 16 種土地利用類型分別所佔



圖 1 經建版 1/25,000 地圖範例，圖中每一方格代表 1 公里見方。

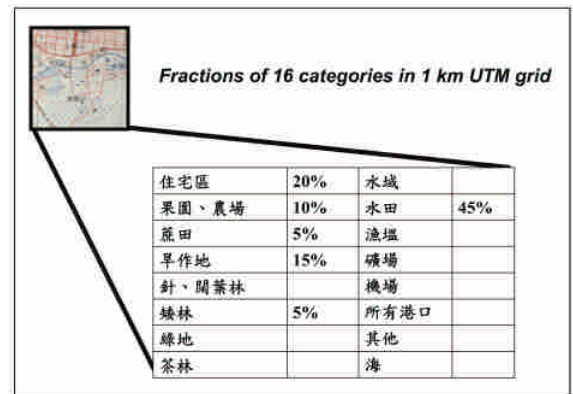


圖 2 1 公里網格中 16 種土地利用分類的比例範例。

的比例。因此相較於 WRF 模式原來所使用的 USGS 資料，CTCI 的資料建立時間較新，網格解析度也較好（USGS 為 30 秒網格上的單一土地利用類型，CTCI 則為 1 公里網格上 16 類土地利用類型之佔地面積）。在本研究中，我們嘗試將 CTCI 的數位化資料轉成與 USGS 相同格式的資料，用以取代 WRF 模式中在台灣地區的土地利用分布。

## (二) 資料處理

由於本研究未更動 WRF 模式之土壤過程，而僅只是使用 CTCI 資料替換原始之 USGS 資料，因此替換的過程中，首先必須建立兩份資料之不同土地利用類型對照，如表二所示。此一對照表主要是將 CTCI 相近的土地分類整併，並對應到 USGS 現有的土地利用類型分類。表中除「其他」這一項暫時先保有原來類型外，另外的十五項分類被對照到 USGS 中的八項類別。完成兩組資料之土地利用分類對照表後，接著再進行網格資料的計算及內插工作，完整的資料處理步驟如下：

表二 CTCI 之 16 類土地利用分類，以及本研究中對應到 USGS 之土地利用類型。

| 編號  | CTCI 土地利用類型 | 對應之 USGS 土地利用分類                |
|-----|-------------|--------------------------------|
| 1.  | 宅區、建築區      | Urban and Built-Up Land        |
| 2.  | 果園、農場       | Mixed Shrubland/ Grassland     |
| 3.  | 蔗田          | Dryland Cropland and Pasture   |
| 4.  | 旱作地         | Dryland Cropland and Pasture   |
| 5.  | 針、闊葉林       | Mixed Forest                   |
| 6.  | 矮林          | Shrubland                      |
| 7.  | 綠地          | Grassland                      |
| 8.  | 茶林          | Shrubland                      |
| 9.  | 水域          | Water Bodies                   |
| 10. | 水田          | Irrigated Cropland and Pasture |
| 11. | 魚池、漁塭       | Water Bodies                   |
| 12. | 機場          | Urban and Built-Up Land        |
| 13. | 礦場          | Urban and Built-Up Land        |
| 14. | 港口          | Urban and Built-Up Land        |
| 15. | 海           | Water Bodies                   |
| 16. | 其他          |                                |

1. 參考表二，將 16 種 CTCI 之土地利用類型的比例轉換成 8 種 USGS 的分類，得到在 CTCI 格點上 8 種 USGS 分類所佔的比例。
2. 將 CTCI 格點上之 UTM 座標換算成經緯網格座標後，再將 CTCI 網格系統轉換成 USGS 的網格系統。轉換的方法是以每一個 USGS 格點為中心，選取上下左右 15 秒距之方塊，將此方塊中所有 CTCI 格點之土地利用類型比例合併，如此可以將 CTCI 資料由 UTM 網格轉換至 USGS 經緯網格，並得到每一 USGS 網格上各個土地利用類型所佔的百分比。
3. 選取格點上所佔最大百分比的土地利用類型指定為該 USGS 格點上之土地利用類型。但有一例外，即如果第二大百分比的土地利用類型為都市型態，且所佔比例超

過 30%，則該點改以都市型態作為代表，以突顯都市效應。

4. 最後是關於「其他」之分類處理，它是在原來經建版的基本地形圖中屬於空白無法判斷類別的部分。在第 3 步驟中如果該格點上的土地利用類型為「其他」類（統計總資料筆數為 37331 筆，其中「其他」類別佔了 1001 筆）時，則先檢視該網格中佔有分類比例第二位的土地利用類型，若此類之比例大於 30% 時，則以此土地利用類型作為該點的土地利用類型代表，若否，則最後以原來 USGS 資料之分類作為此點之土地利用類型代表。因此，在 1001 個點之中，有 603 個點採第二大比例之分類代表之，而有 398 個點則是用原始之 USGS 分類代表之。

### (三) 資料分析比較

在經由上述過程處理後，會得到一組以內政部經建版地類圖更新的土地利用資料，可用來取代原來在 WRF 模式中的土地利用資料。圖 3a 為 USGS 土地利用類型圖，而圖 3b 則是 CTCI 之土地利用類型圖，兩者相比可以看出早期 USGS 經由 AVHRR 觀測資料所推導之土地利用類型與 CTCI 由經建版地類圖數位化所得到之土地利用類型的差異性很大。而 CTCI 的土地利用資料分布，則與台灣地區航照圖（圖 4）較為吻合。更進一步分析各項分類差異，選其較顯著者示於圖 5。圖 5a 顯示 USGS 資料在台灣地區僅有台北、嘉義、台南、高雄及屏東等地零星 72 個點為都市類型。CTCI 資料（圖 5b）則具體反應出桃園、新竹、台中、苗栗、雲林、嘉義、台南、高雄等台灣西半部地區以及宜蘭花蓮等東部地區的都市

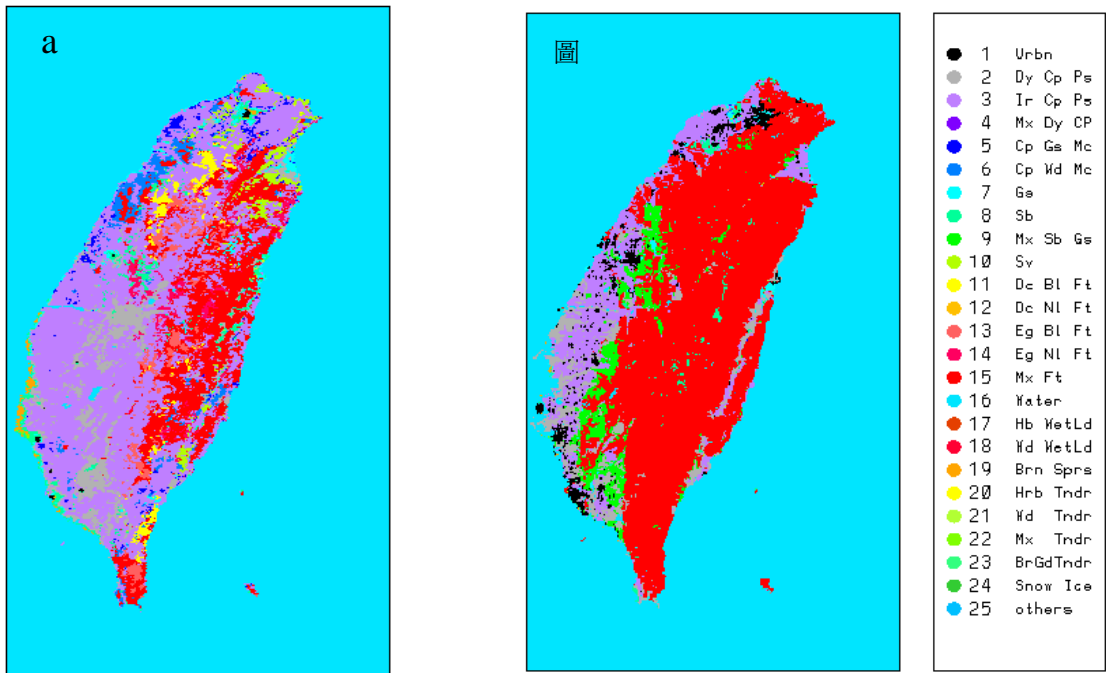


圖 3 a：WRF 模式中台灣地區土地利用類型分佈，a：USGS 資料，b：CTCI 資料。



圖 4 台灣地區空照圖。

分布，總計 1814 個點，是原來的 25 倍之多。圖 5c 顯示 USGS 的旱田分布主要集中在宜蘭（A 區）以及南投、高雄及屏東等偏山區的西南半部地域（B 區），此外北部、西南部沿海及花東縱谷也有零星散布，與 USGS 不同的是，CTCI（圖 5d）則主要分布在西南部沿海（C 區）以及花東縱谷一帶（D 區），而北部及中北部還有部分山區、南投地區則為零星散佈的旱作地。至於在水田的分布方面，USGS（圖 5e）的分類中水田占有將近三分之二的面積，近乎全省都為水田所覆蓋，甚至包括中央山脈區域，但是在 CTCI 的分類（圖 5f）中，水田則較集中在台灣西半部沿海地區、嘉南平原一帶（E 區）。注意在蘭陽平原一帶於 USGS 的劃分為旱田（圖 5c 之 A 區），而 CTCI 的資料則呈現為水田（圖 5f 之 F 區），稍後在個案模擬中，將針對此區的模式預報結果進行比

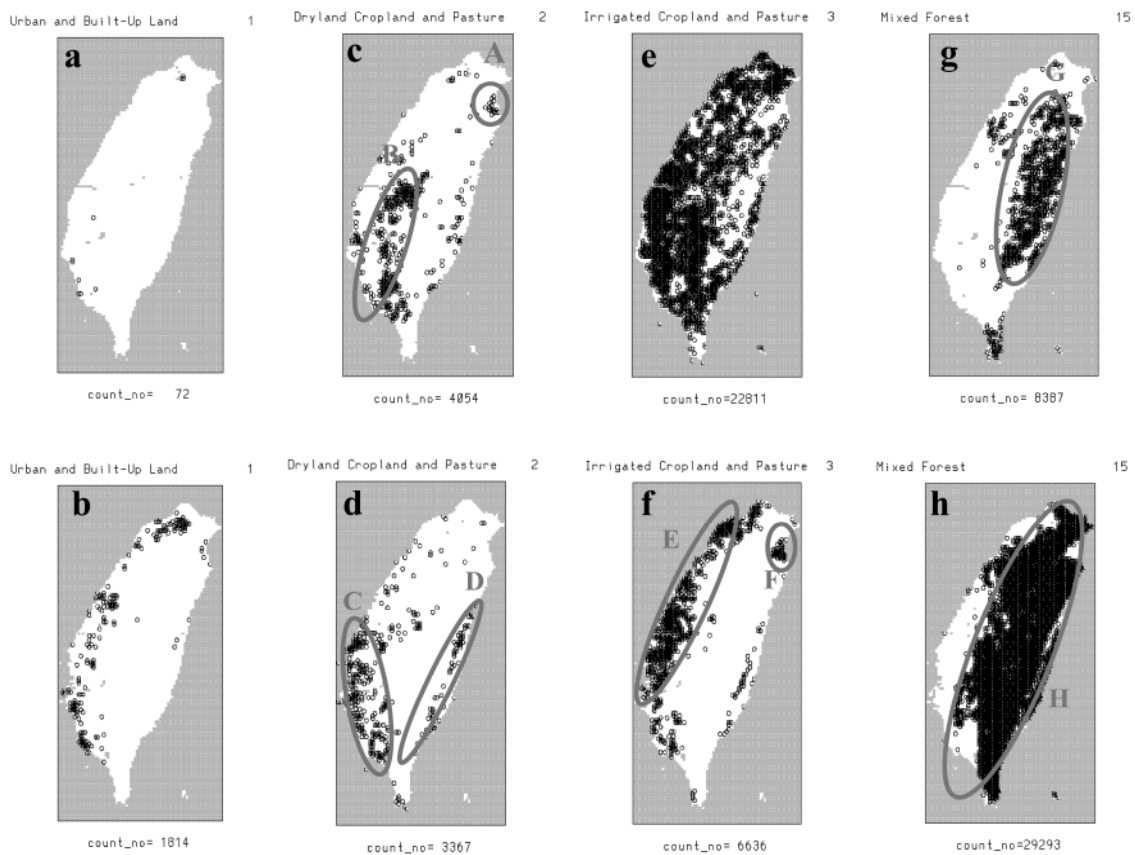


圖5 USGS 資料 (a、c、e、g) 與 CTCI 資料 (b、d、f、h) 之土地利用類型比較，其中 a、b 為都市，c、d 為旱田，e、f 為水田，g、h 為混合林。圖下方之數字為各土地利用類型的格點數目。

較。矮樹、灌木的分布 (圖未示) 在 USGS 以及 CTCI 中面積都不大，但兩者分布區域也不盡相同。圖 5g 與 5h 為混合林的分布，由於 CTCI 的原始分類並未針對常綠針葉林、常綠闊葉林、落葉針葉林與落葉闊葉林做更細的劃分，因此僅一概以針闊葉混和林來代表，圖中 G 區為 USGS 的混合林分布，顯示混合林多集中在台灣東半部區域，而 CTCI 的混合林 (H 區)，分布面積幾乎是 USGS 的 3.5 倍，佔了全台灣三分之二以上的面積，主要沿著台灣地區的山脈地形分布，其與 USGS 差異甚大卻較為合理。總的來說，由上述比對得知，本研究所使用之 CTCI 的土地利用分

布較 USGS 資料更能精確反應出臺灣地區都市、農作與山林的現況。而這正是正確掌握模式地表過程中最基本的條件之一。

### 三、數值模擬實驗

本研究進一步以 WRF (Weather Research and Forecasting) 模式探討二組土地利用資料對模式預報的影響。在第一部份針對 1 公里解析度模式，就個案在定性上比較兩組資料對模式預報的影響，第二部分則就中央氣象局的作業模式進行連續一個月的預報實驗，並進行定量校驗，以評估其在實際預報上的影響。

### (一) 個案模擬

本研究選取沒有顯著綜觀強迫作用的午後對流個案，以評估因改變土地利用資料後，其對模式局部環流和降水預報的影響。在此分別針對原始 USGS（稱為控制組或 USGS 組）以及更新的 CTCI（稱為對照組或 CTCI 組）土地利用資料進行 48 小時預報。模式初始時間為 2007 年 7 月 1 日 1200 UTC，初始及側邊界分別採用 NCEP 全球模式的分析與預報場。模式的積分範圍如圖 6 所示，共有 4 層巢狀網格，解析度分別為 27、9、3 及 1 公里，垂直共有 46 層。模式物理參數化分

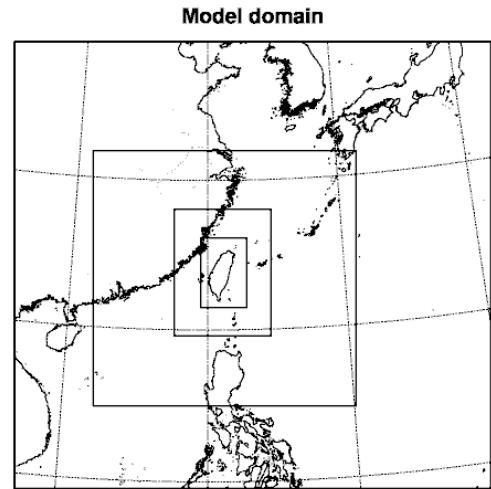


圖 6 模式的積分範圍。

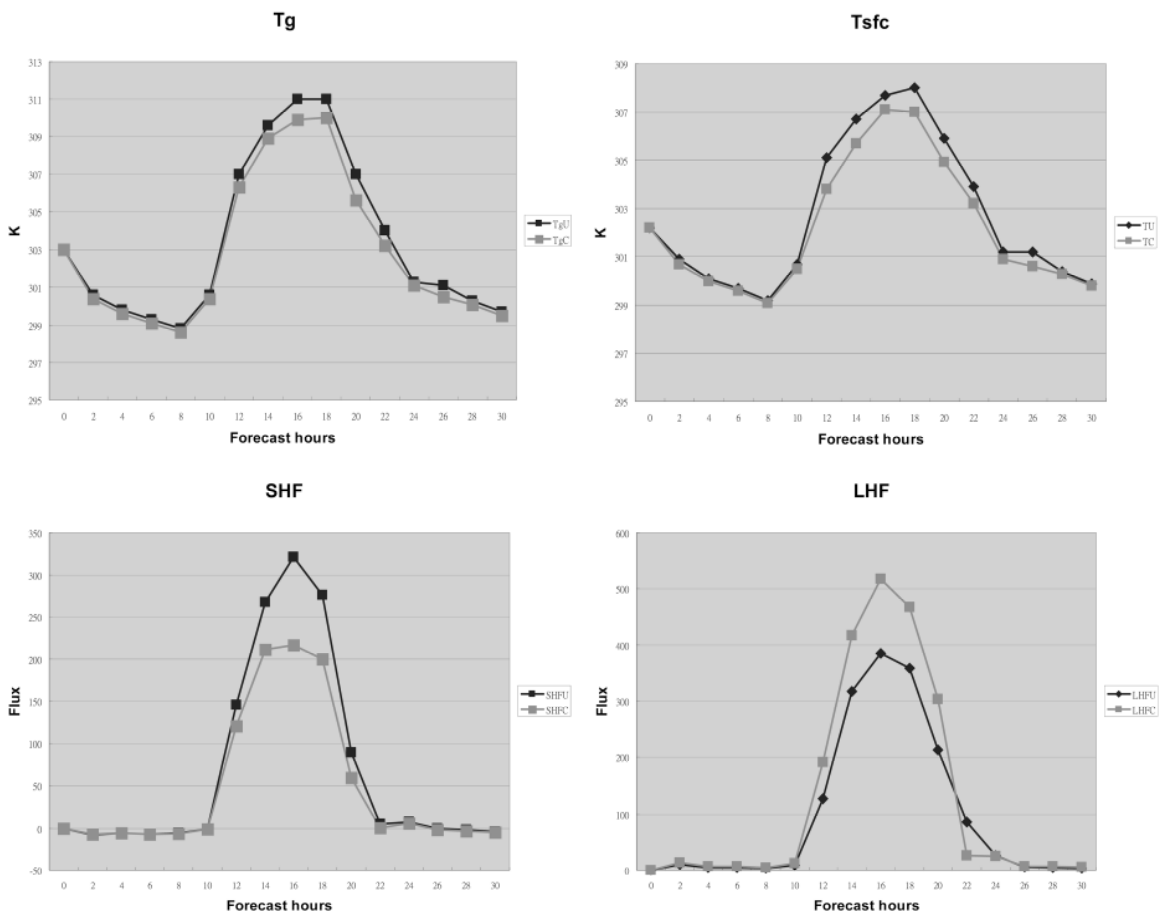


圖 7 控制組（藍色）和對照組（紅色）在蘭陽平原所選取之單一格點上之 a：土壤溫度，b：地表溫度，c：可感熱通量，d：潛熱通量預報之時間序列圖。橫軸為預報時間。



別採用 Betts-Miller-Janjic 積雲參數法 (27 及 9 公里解析度, 3 及 1 公里解析度不考慮積雲參數法)、WSM 5-class 微物理參數法、Thermal diffusion 地表參數法及 YSU 邊界層參數法、RRTM 長波與 Goddard 短波輻射參數法等。模擬結果的分析將特別著重在最內層的模式預報場, 以突顯出不同土地利用資料對高解析度模式預報的影響。

由於本研究中只修改台灣地區的土地利用類型資料, 因此在個案中綜觀天氣的模擬結果均非常接近。所以本研究著重在探討台灣地區因改變土地利用型態對高解析度 (1 公里) 模式預報結果的影響。圖 7 是本個案中挑選蘭陽平原一個格點之模式預報的能量通量分析。該格點在控制組中的土地利用類型為旱田, 在對照組中則為灌溉型農地。旱田的土壤可用含水量低於灌溉型農地, 因此在相同的天氣條件下, 預期在控制組中應會有較高的可感熱通量與較低的潛熱通量。圖中顯示, 白天時段在控制組中, 土壤溫度、地表溫度和可感熱通量均較對照組為高, 而潛熱通量則較低, 就定性而言, 此一結果和因為土地利用類型差異對模式所造成影響的預期是一致的。

為了進一步了解更新後的土地利用資料對台灣地區整體地表能量收支的影響, 我們將台灣地區所有陸地格點之潛熱、可感熱以及邊界層厚度的預報結果進行平均, 如圖 8 所示。兩個實驗組的差異主要是發生在白天時段, CTCI 組有較大的可感熱通量與較小的潛熱通量, 行星邊界層的高度則略高於 USGS 組。由於 USGS 資料在台灣地區主要的土地利用類型是以灌溉型農地為主, 而 CTCI 資料則是以混合林取代灌溉型農地而成為台灣地區土地利用的主要類型, 再加上 CTCI 組的城市面積也較原來 USGS 組大上好幾倍 (見圖

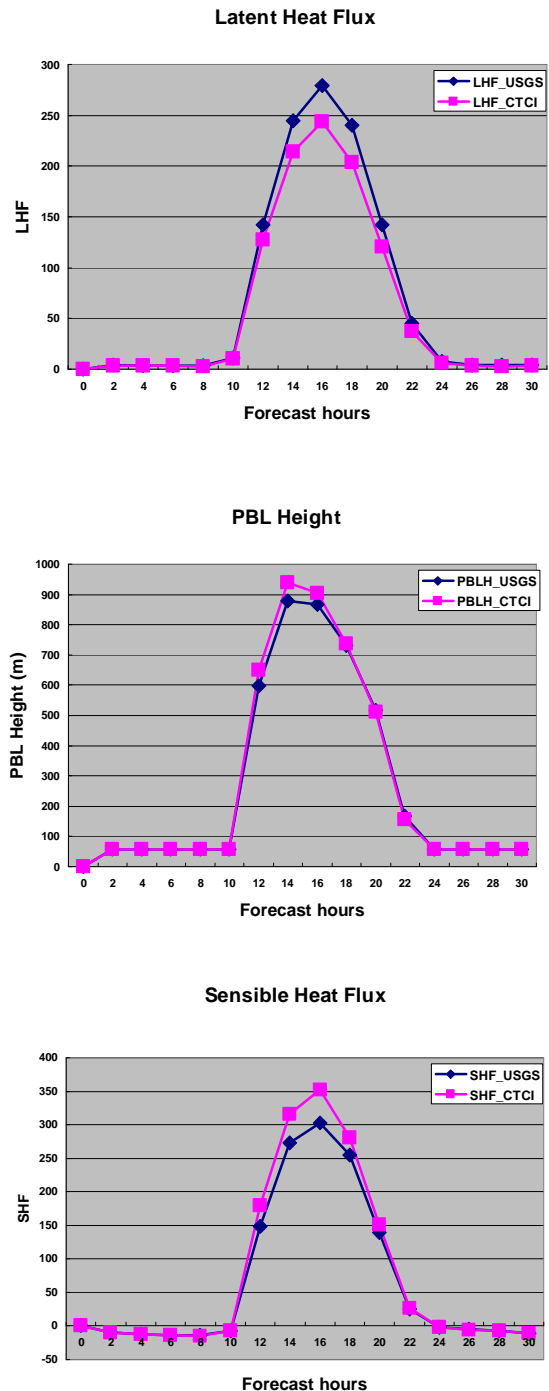


圖 8 控制組 (藍色) 和對照組 (紅色) 在台灣本島所有陸地格點平均之 a: 潛熱通量, b: 邊界層高度, 及 c: 可感熱通量的模式預報時間序列圖。橫軸為預報時間。

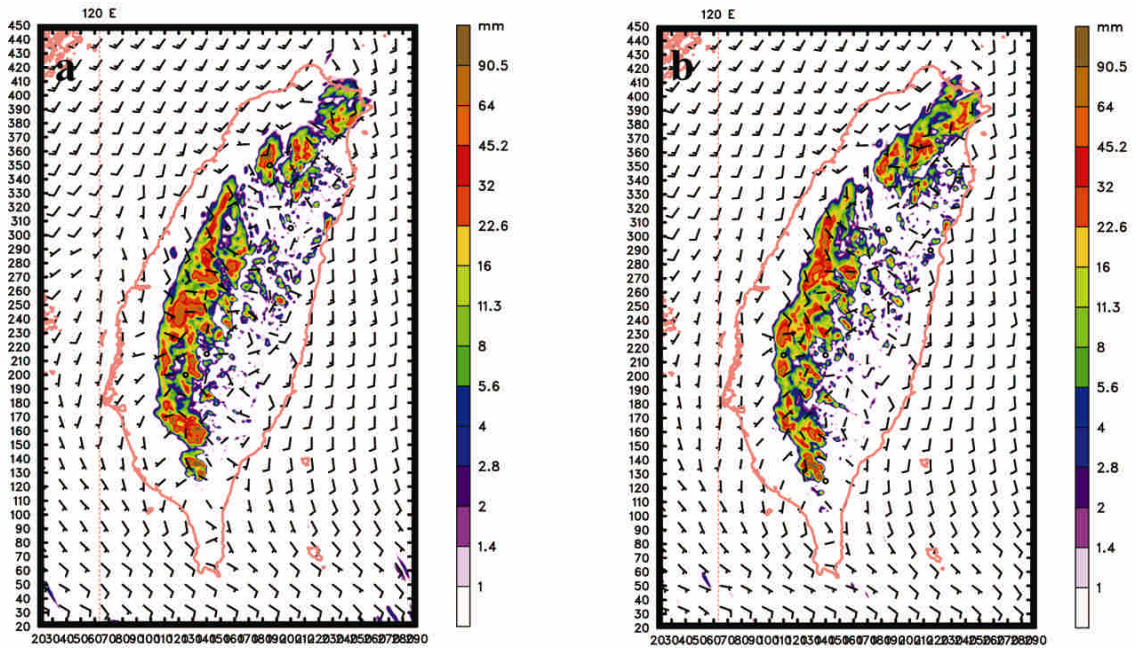


圖 9 USGS 組 (a) 與 CTCI 組 (b) 在 2006 年 6 月 25 日 0000~2000 LST 之累積降水量。

5 之 a 與 b)，因此定性來說，可以合理解釋模式在 CTCI 組中平均所反應之較大的可感熱通量，較小的潛熱通量以及較高的行星邊界層高度。

就本個案來說，控制組及對照組模擬對於實際發生於該時間的午後對流都有不錯的掌握。圖 9 為兩個實驗組在預報 4 至 24 小時的 20 小時累積降水，CTCI 組與 USGS 組的預報降水結果類似，也都與圖 10 之觀測降水分布很接近。然而 CTCI 組（圖 9b）在臺灣北部和中部降水的範圍比起 USGS 組（圖 9a）大，台灣南部則相對較小，顯示模式中土地利用類型的不同，確實會對模式降水分布造成影響。

圖 11 為模式預報第 18 小時（當地時間下午 2 點）以及第 28 小時（當地時間晚上 12 點）之 2 公尺高度溫度差。整體來說，兩組實驗在白天

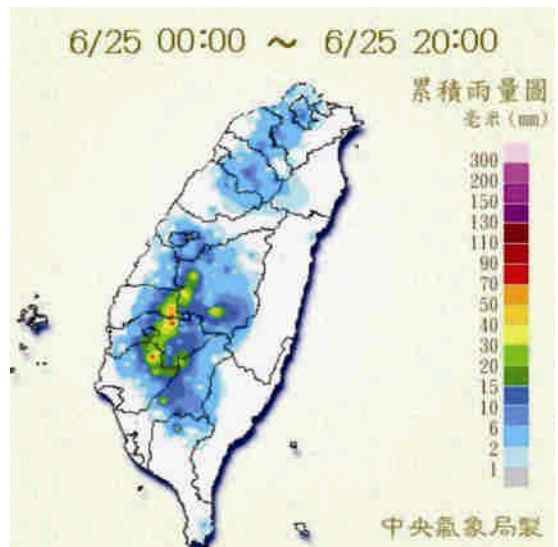


圖 10 2006 年 6 月 25 日 0000 LST~2000 LST 觀測之累積降水量。

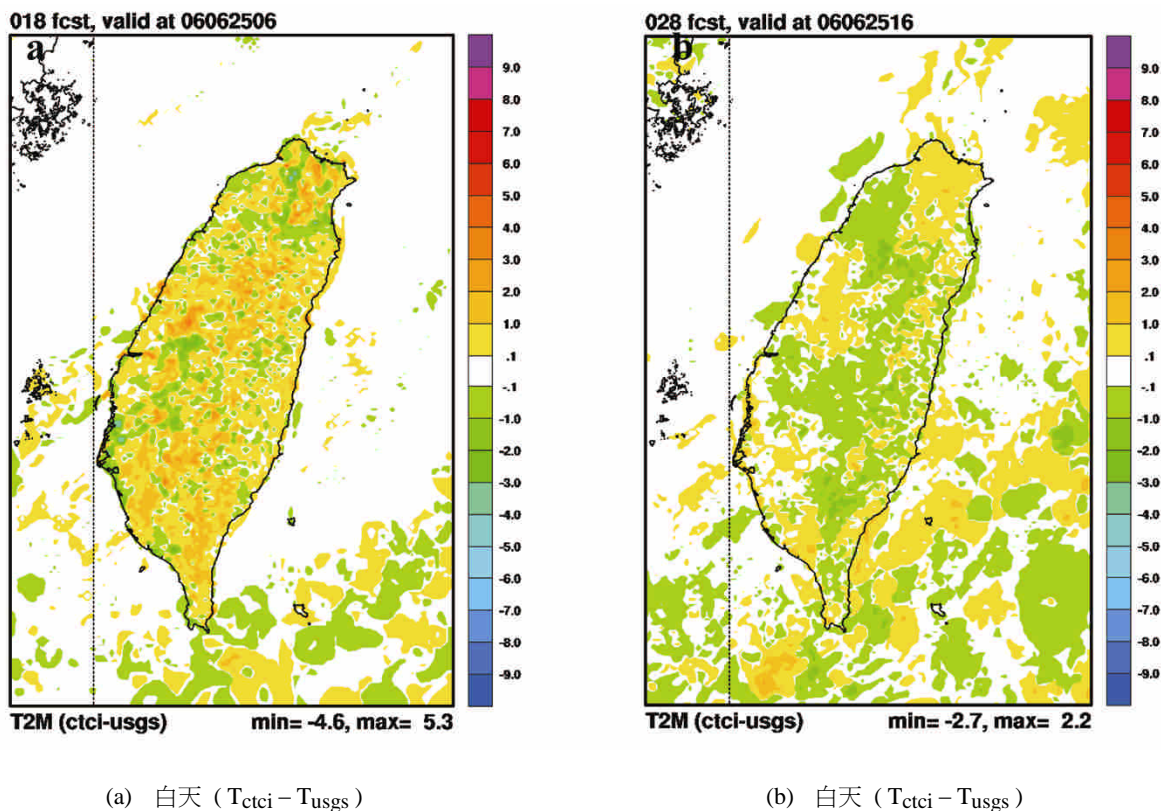


圖 11 CTCI 組與 USGS 組預報之 2 公尺高度溫度差, a: 第 18 小時預報, 預報時間為 2006 年 6 月 25 日 1400 LST, b: 第 28 小時預報, 預報時間為 2006 年 6 月 26 日 0000 LST。

的溫度差異明顯大於夜間, 此外, CTCI 組在中央山脈一帶白天的溫度多高於 USGS 組, 但是到了夜間則相反, CTCI 組溫度反而小於 USGS 組, 此區在 CTCI 組的土地利用類型主要為混合林, 而 USGS 組則大部分為水田分布, 因此此一大範圍土地利用類型的不同應是造成此區溫度差異的主要原因。另外, CTCI 組在北部、中部以及西南部平原一帶的溫度在白天普遍高於 USGS 組, 夜間差距雖然較為和緩, 但仍然比 USGS 組有較高的溫度 (見圖 11b), 這和對照組在該處有較多的都市分布, 導致可感熱通量較大的預期結果是一致的。

圖 12 為在本個案中兩個實驗組 10 公尺高度的風場差, 向量箭頭代表 CTCI 組風場減去 USGS 組風場的結果, 風速的差量則以顏色表示。圖中可以看到, 兩組風場的差異由沿海往內陸發展, 且隨著預報時間的增加而增加, 並在午後 (圖 12c) 達到最大, 顯示模式中土地利用的改變會對局部環流產生顯著的影響。整體來說, 在台灣西半部 CTCI 組比起 USGS 組有較強的向岸風分量 (見圖 12b,c), 這也和 CTCI 組在午後有較高之地面溫度互為一致。

圖 13 是選取竹子湖和梧棲測站上兩個實驗組之預報與觀測之時間序列, 此為模式對新、舊

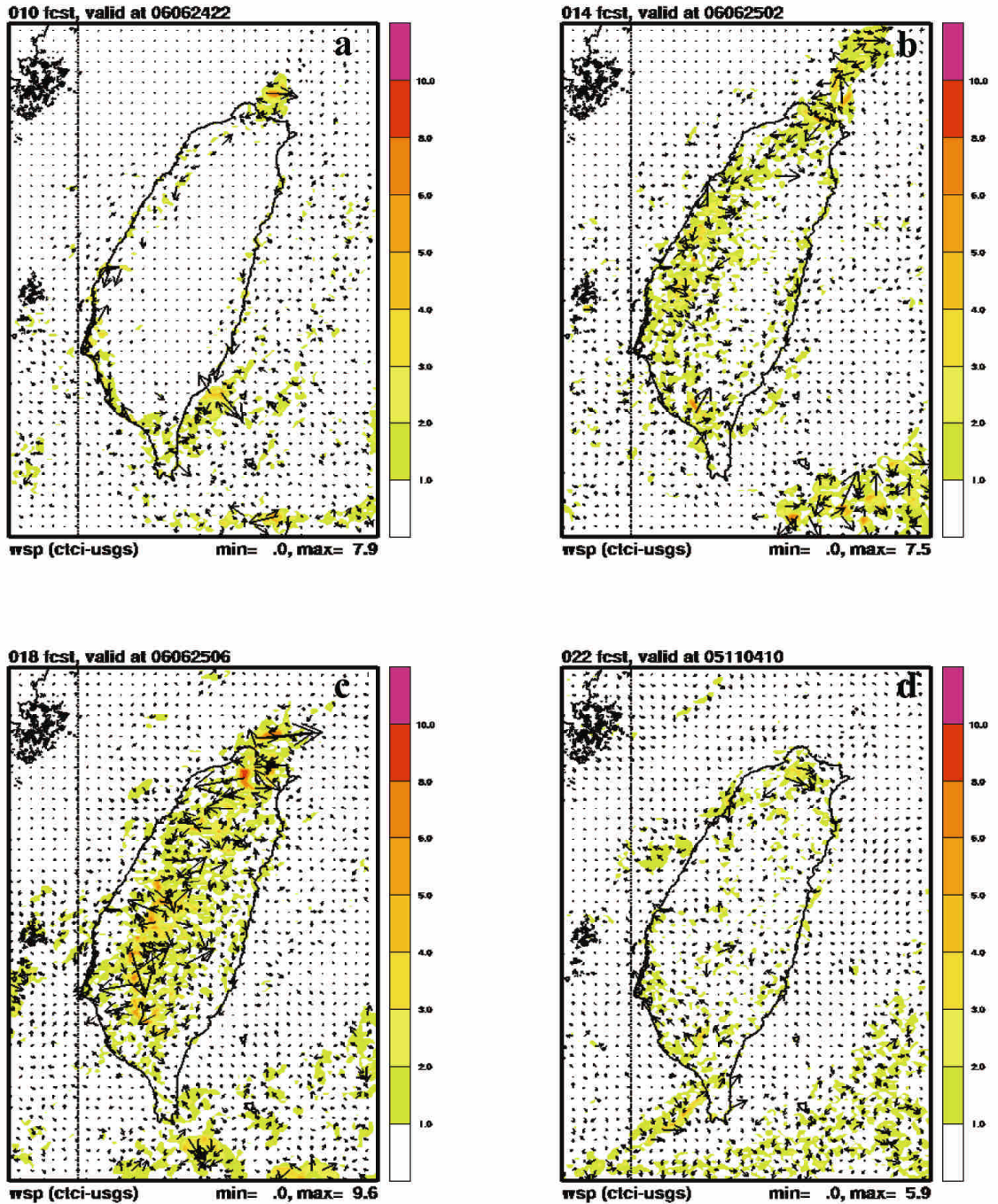


圖 12 CTCI 組與 USGS 組 10 公尺風場差，a：10 小時預報，b：14 小時預報，c：18 小時預報，d：22 小時預報，向量箭頭代表 CTCI 組和 USGS 組的風場向量差，陰影為風速。

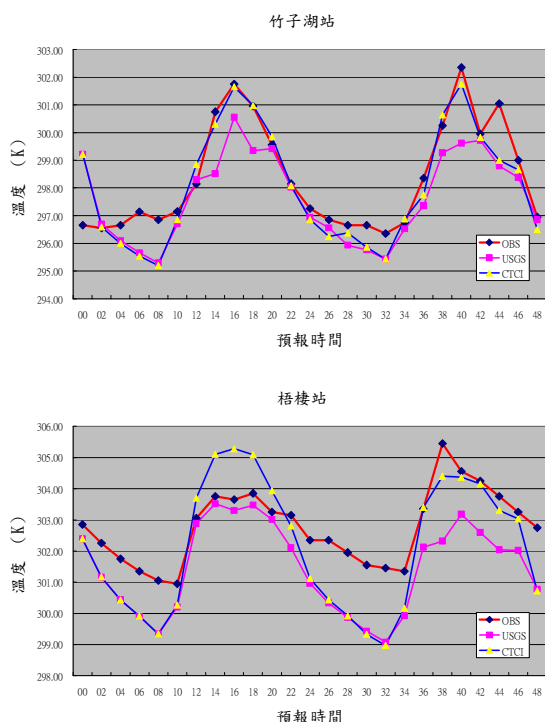


圖 13 竹子湖與梧棲測站之溫度時間續列圖，紅線為觀測值，粉紅線和藍線分別為 USGS 組和 CTCI 組之模擬結果。

土地利用類型資料預報差異較顯著之測站，用以凸顯土地利用類型資料改變後對模式預報的影響。圖中顯示竹子湖站 CTCI 組的預報和觀測相當吻合，而梧棲站第一天的預報 USGS 組較佳，但第二天 CTCI 組則有明顯的改善。當然，每個測站上兩個實驗組預報結果的差異不一而足，但皆有一個共同的現象，亦即兩個實驗組預報的差異主要都是反應在中午前後，如圖 13 即為明顯的範例。此顯示土地利用資料的差異對模式預報的影響有明顯的日夜變化，在中午時段由於太陽輻射導致地表和邊界層大氣之間活躍的能量交換，進而使得土地利用資料差異的效果被凸顯出來，而進一步的預報校驗將在下一小節中加以詳細評估。

## (二) 預報校驗

為評估更新後之土地利用資料對預報的影響，本研究利用中央氣象局作業之 WRF 模式 (1 版本為 V2.2.1)，自 2007 年 7 月 1 日至 2007 年 7 月 31 日止，每天進行 4 次、每次 48 小時之預報實驗。模式邊界條件來自氣象局之全球模式預報場，分析場使用 WRF 3DVAR 進行客觀分析，初始猜測場為 WRF 模式本身前一個預報的 6 小時預報場，此將有助於在資料同化過程中累積土地利用類型資料差異所造成的影響；資料同化使用的觀測資料則涵蓋所有 GTS (Global Telecommunications System) 上的觀測資料。模式積分範圍如圖 14 所示，共有 3 層巢狀網格，解析度分別為 45、15 及 5 公里，垂直共有 45 層。模式物理參數化分別採用 old Kain-Fritsch 積雲參數法 (45 及 15 公里解析度，5 公里解析度不考慮積雲參數法)、WSM 5-class 微物理參數法、NOAH 地表參數法及 YSU 邊界層參數法、RRTM 長波與 Goddard 短波輻射參數法等。模擬結果的分析將特別著重在 5 公里解析度的模式預報場，以突顯出不同土地利用資料對高解析度模式預報的影響。

本研究取每天 0000 UTC 與 1200 UTC 初始時間之預報結果，每 2 小時輸出一筆，針對模式在台灣地面測站上的預報進一步進行預報校驗分析。在此選取距離該測站最近的格點當作模式在測站上的預報，同時如果該格點的土地利用類型為「水域」，或者該格點模式地形高度與測站高度相差在 200 公尺以上，則該測站將不列入統計分析，以避免因為受限模式解析度無法精確表達實際地形地物所導致的不合理預報，而誤判預報校驗分析的結果。

## Domain of CWB WRF

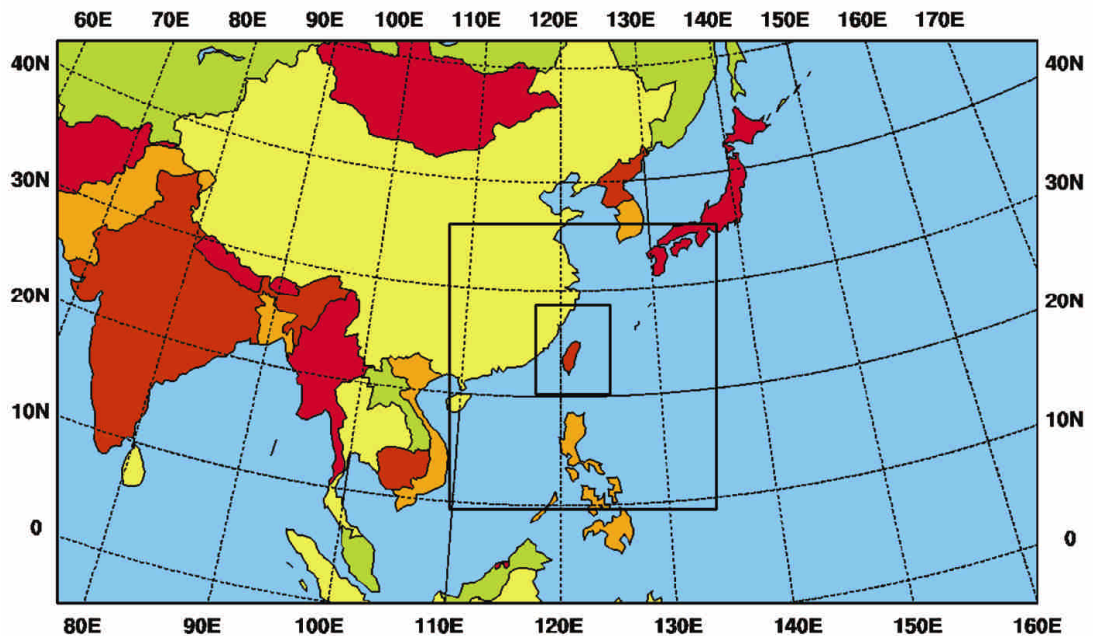


圖 14 模式的積分範圍。

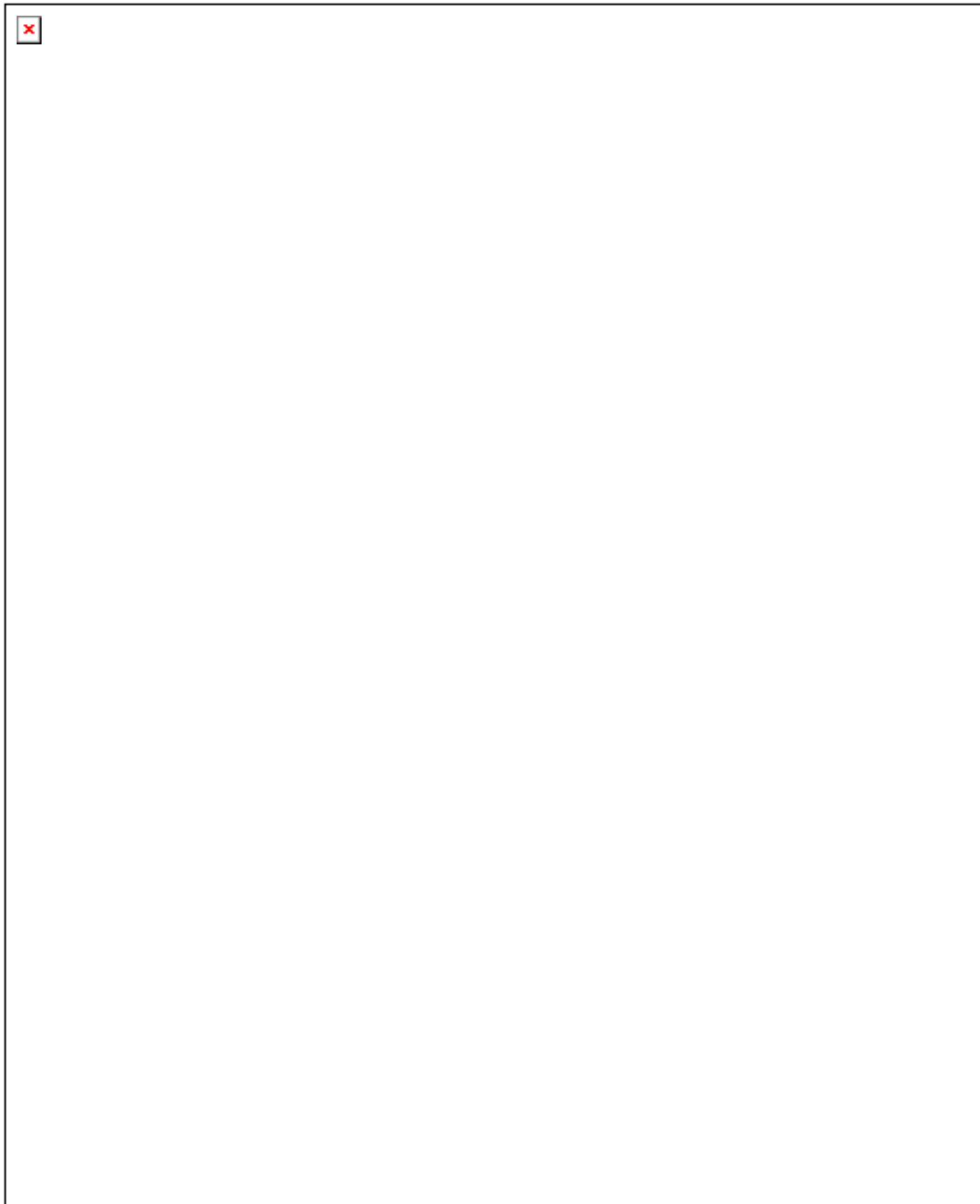
表三和表四為兩個實驗組 5 公里解析度預報場在台灣 25 個測站上 0~48 小時、每 2 小時輸出之地面溫度預報誤差的統計結果。就預報之平均誤差而言，統計結果顯示本實驗無論是 CTCI 組或 USGS 組，在台灣地區地面溫度的預報均偏冷，兩組實驗比較的結果顯示，除蘭嶼站外，CTCI 組的預報誤差相較於 USGS 均來得小。各測站平均結果，以 0000 UTC 和 1200 UTC 為初始場之統計顯示，CTCI 比 USGS 組分別改善  $0.11^{\circ}\text{C}$  與  $0.13^{\circ}\text{C}$ ，改善幅度達 11% 與 12%。在標準差方面，CTCI 組在 0000 UTC 的預報較 USGS 組改善  $0.02^{\circ}\text{C}$ ，在 0012 UTC 的預報兩者相同，顯示改善之土地利用類型資料較傾向於改善模式的平均預報誤差，但對標準差則影響不大。特別值得注意的是，如果針對 CTCI 組中為 urban 土地利用類型的測站進行統計，則在以 0000 UTC 和 1200 UTC 為初

始場的平均預報誤差中，CTCI 比 USGS 組分別減少  $0.2^{\circ}\text{C}$  與  $0.24^{\circ}\text{C}$ ，改善幅度達 23% 與 26%，標準差則相差在  $0.04^{\circ}\text{C}$  內，顯見在模式中改善 urban 土地利用類型對模式預報偏差可以獲得更大的改善，此將有助於高解析度模式對都市熱島效應的模擬能力，並提升模式預報資訊在空氣品質預報和局部環流預報的應用價值。

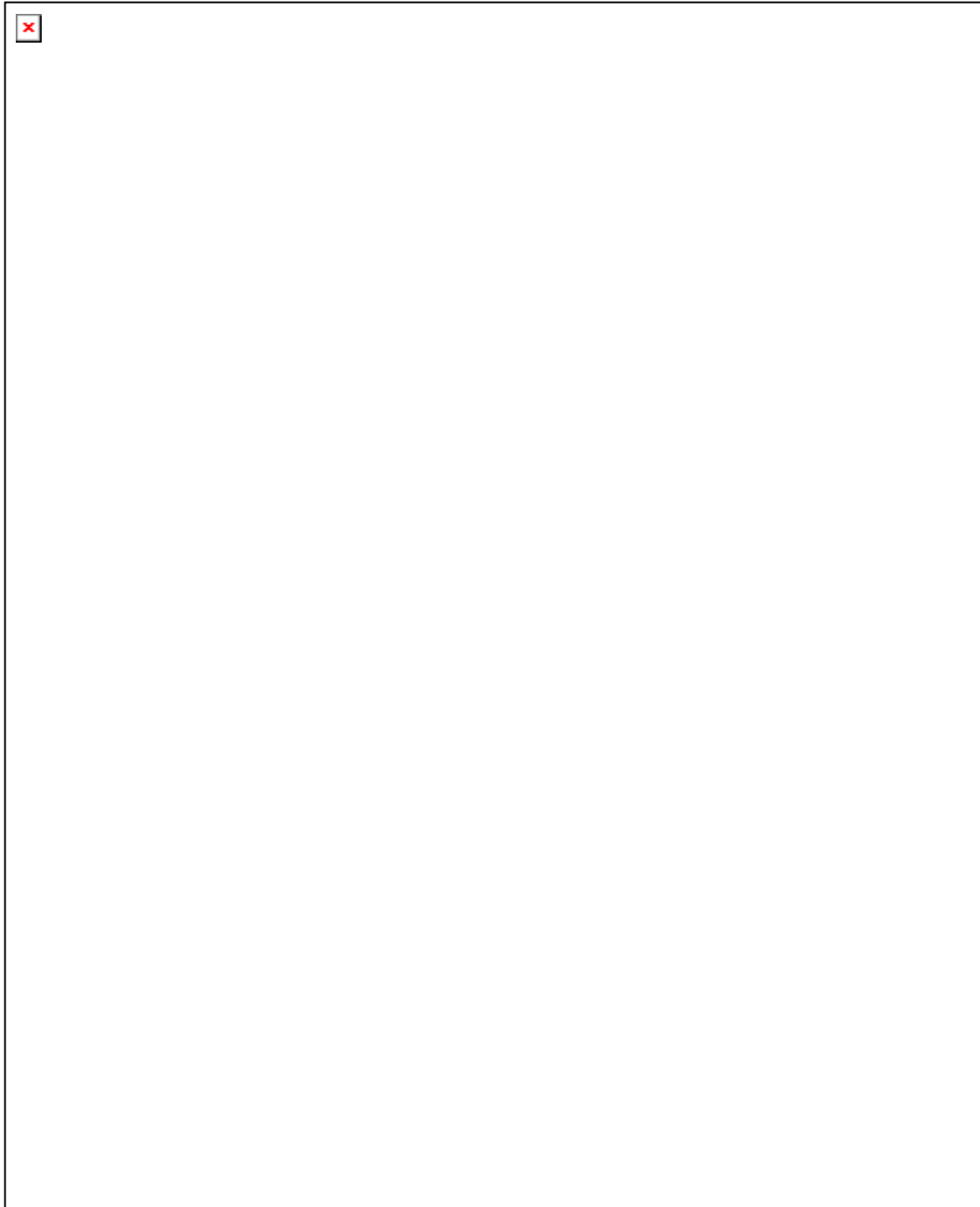
## 四、結 論

土地利用類型是數值預報模式中大氣和地表之間熱量、水氣和動量交換的重要參數。模式的地表參數化過程多參照模式中不同的土地利用類型，進而決定地表特性以及地表和大氣之間的物理過程，諸如植被、反照率、粗糙度、放射率等參數。因此正確地描述模式中的土地利用是改善模式中地表一大氣過程的重要環節。

表三 USGS 與 CTCI 實驗組 5 公里解析度，在測站上 0~48 小時每 2 小時輸出之平均的地面溫度預報誤差，負值表示預報偏冷。 $|CTCI|-|USGS|$ 為兩個實驗組之預報誤差取絕對值後的差值，總平均一欄則為各測站預報誤差取絕對值的平均。測站刮號內分別為模式代表該測站之格點於 CTCI 和 USGS 組的土地利用類型（數字意義參考表二），其中 CTCI 為 urban 之土地用型態的測站以陰影表之。



表四 同表三，但為標準差。



本研究主要是使用台灣地區高解析度的土地利用資料，用以取代 WRF 模式中原始的 USGS 資料。此高解析度土地利用資料是由中鼎工程顧

問公司數位化內政部所出版的 2001 年經建版之 1/25,000 地形圖所得（簡稱 CTCI 資料）。原始的 CTCI 土地利用資料有較高的解析度以及較精確



的土地利用描述，經過格式轉換與處理之後，CTCI 資料可以直接取代 WRF 模式中的 USGS 資料，提供給國內使用 WRF 模式進行相關研究之用。更新後的土地利用資料主要為修正台灣地區都市、水田、混和林與旱田的分佈，和台灣地區空照圖相比，新的資料的確較 USGS 資料更精確反應出台灣地區土地利用的現況。

本研究進一步利用 WRF 模式，針對一個顯著午後對流個案進行數值模擬實驗，用以初步探討更新後的土地利用資料對模式的影響。就定性而言，模式對於土地利用資料之異動，均能產生合理的反應。舉例來說，USGS 資料在台灣地區以灌溉型農地佔絕大部份面積，而 CTCI 資料則以混合林取代之，並成為台灣地區土地利用的主要類型，再加上 CTCI 組更多的城市分佈，因此平均而言，使用 CTCI 資料的預報結果較 USGS 組有較大的可感熱通量，較小的潛熱通量以及較大的行星邊界層高度。此外，土地利用資料修正後也反應在模式對降水與溫度場的預報，特別是地面風場的差異隨著預報時間由沿海往內陸發展，並在午後達到最大，顯示模式中土地利用資料的改變會對局部環流產生顯著的影響。就測站校驗而言，土地利用資料的差異對模式預報的影響有明顯的日夜變化，在中午時段由於太陽輻射導致地表和邊界層大氣之間活躍的能量交換，進而使得土地利用資料差異的效果被凸顯出來。

本研究也針對新版 CTCI 土地利用類型資料在實際預報作業的影響進行連續一個月的預報實驗，結果顯示平均預報誤差改善  $0.12^{\circ}\text{C}$ ，改善幅度達 11.5%。若是針對 CTCI 組中為 urban 土地利用類型的測站進行統計，則 CTCI 比 USGS 組平均減少  $0.22^{\circ}\text{C}$ ，改善幅度達 24.5%，顯見在模式中改善 urban 土地利用類型可以獲得更大的預報

改善，此將有助於高解析度模式對都市熱島效應的模擬能力，並提升模式預報資訊在空氣品質預報和局部環流預報的應用價值。

## 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 95-2111-M-052-001-API 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.
- Baik, J. J., and Y. H. Kim, 2001: Dry and moist convection forced by an urban heat island. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1462 - 1475.
- Balling, R. C., and S. W. Brazel, 1987: Recent changes in Phoenix, Arizona, summertime diurnal precipitation patterns. *Theor. Appl. Climatol.*, **38**, 50-54.
- Bornstein, R., and Q. Lin, 2000: Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three case studies. *Atmos. Environ.*, **34**, 50-54.
- Bougeault, P., B. Bret, P. Lacarrere, and J. Noilhan, 1991: An experiment with an advanced surface parameterization in a mesobeta-scale model. Part II: The 16 June 1986 simulation. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2374-2392.
- Changnon, S. A., 1968: The La Porte weather anomaly-- fact or fiction? *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **49**, 4-11.

- 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.
- , Y. Liu, H. Kusaka, M. Tawari, J. Bao, C. Lo and K. Lau, 2004: Recent progress in urban landuse modeling for the community MM5 and WRF Models. *Mesoscale and CFD Modeling for Military Appli.*, May 25-26, 2004. Jackson, MS.
- Craig, K. J., and R. D. Bornstein, 2002 : MM5 simulations of urban induced convective precipitation over Atlanta. *Preprints, Fourth Symp. on the Urban Environment*, Norfolk, VA, Amer. Meteor. Soc., 5-6
- Gero, A. F., and A. J. Pitman, 2006: The impact of land cover change on a simulated storm event in the Sydney Basin. *J. Appl. Meteor.*, **45**, 283-300.
- Grossman-Clarke, S., J. A. Zehnder, W. L. Stefanov, Y. Liu and M. A. Zoldak, 2005: Urban modifications in a mesoscale meteorological model and the effects on near-surface variables in an arid metropolitan region. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 1281-1297.
- Hjelmfelt, M. R., 1982: Numerical simulation of the effects of St. Louis on mesoscale boundary layer airflow and vertical air motion: Simulation of urban vs. non-urban effects. *J. Appl. Meteor.*, **21**, 1239-1257.
- Jauregui, E., and E. Romales, 1996: Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *Atmos. Environ.*, **30**, 3383-3389.
- 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.
- Lo, J. C. F., A. K. H. Lau, F. Chen, J. C. H. Fung, and K. K. M. Leung, 2007: Urban Modification in a Mesoscale Model and the Effects on the Local Circulation in the Pearl River Delta Region. *J. Appl. Meteor.*, **46**, 457-476.
- Mahrt, L., J. Sun, D. Vickers, J. I. MacPherson, J. R. Pederson, and R. L. Desjardins, 1994: Observations of fluxed and inland breezes over a heterogeneous surface. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2484-2499.
- Pielke, T. A., and M. Uliasz, 1998: Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models -- Limitaions and strengths. *Atmos. Environ.*, **32**, 1455 - 1466.
- Rabin, R. M., S. Stadler, P. J. Wetzel, D. J. Stensrud, M. Gregory, 1990: Observed effects of landscape variability on convective clouds. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 272-280.
- 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.

# Update of Taiwan landuse data in WRF model

Li-Hui Tai<sup>1</sup>    Jing-Shan Hong<sup>1</sup>  
Ben-Jei Tsuang<sup>2</sup>    Jeng-Lin Tsai<sup>2</sup>    P. J. Ni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Central Weather Bureau

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, National Chung-Hsing University

<sup>3</sup> CTCI Corporation

(Manuscript received 05 September 2007; in final form 04 March 2008)

## ABSTRACT

Landuse type is one of the most important parameters in the model to describe the exchange of the heat, moisture, and momentum in between land and atmosphere. In the WRF model, the vegetation fraction, albedo, roughness, and emissivity are parameterized according to the landuse type. Therefore, to well describe the landuse type in the model plays an important role to improve the interaction of land surface and planetary boundary layer.

This paper is to create a new landuse dataset and replace the original USGS (The U.S. Geological Survey) data used in the WRF model. The new dataset improves the description of urban, irrigated cropland and pasture, mixed forest, and dry land cropland and pasture over Taiwan Island.

A case study shows that the model has reasonable response to the improved landuse data set on the ground temperature, latent heat flux, and sensible heat flux. The different landuse data also contribute to the difference of the forecast precipitation, surface temperature, and wind field. The difference of the local circulation propagates from the coastline to the inland, and reaches to its maximum in the afternoon. It is shown that the improved landuse dataset could result in remarkable change of the local circulation.

A 1-month forecast experiment was conducted to further evaluate the impact of the CTCI landuse dataset on model forecast. The results shows that the new landuse dataset has improvement of 0.12°C on the surface temperature. In particular the stations denoted as urban catalog in CTCI dataset has the improvement up to 0.22°C. It is shown that the up-to-date landuse description improve the forecast apparently.

**Key words:** Landuse type, USGS landuse data, CTCI landuse data

