

WRF 模式東亞地區土地利用資料庫之更新與個案研究

蔡佳伶 洪景山

中央氣象局

摘要

地表經由邊界層與自由大氣進行能量、質量與動量的交換，進而影響天氣與氣候，除了合適的地表參數化，使用正確的土地利用分布資訊是模式正確描述大氣與地表間交互作用物理過程的重要關鍵之一。本研究引進於今(2009)年4月9日隨著WRF V3.1一起被發表的MODIS土地利用資料庫，評估更新目前中央氣象局作業WRF模式所使用的USGS和CTCI東亞地區的土地利用資料。其中USGS是指美國地理測量土地利用系統(U.S. Geological Survey)所提供的全球土地利用分布，該組資料為1992-1993年之AVHRR遙測資料推導而得，資料觀測距今已久，無法反應出土地利用的改變；而CTCI則是臺灣地區高解析度土地利用資料，乃由中鼎工程顧問公司(CTCI Corporation)將2001年內政部所出版的經建版之1/25,000基本地形圖數位化，再經處理而得，該資料並沒有區分出臺灣不同類別的林地，且僅侷限於臺灣地區，亞洲其他陸地區域的土地利用資料仍使用USGS資料。本研究同時選取2008年SoWMEX期間弱綜觀天氣現象個案，針對USGS、MODIS和CTCI三種不同來源的土地利用資料庫，進行資料整合和預報實驗，並與地面觀測資料校驗，分析結果顯示，模式地面溫度受土地利用類別影響較其他地面參數顯著，更新之土地利用資料進一步改善了模式對地面溫度場的預報。

關鍵字：土地利用、USGS、MODIS、CTCI

一、前言

地表經由邊界層與自由大氣進行能量、質量與動量的交換，進而影響天氣與氣候，此大氣與地表間的交互作用物理過程，稱為地表過程。在模式中，不同的土地利用分布資訊包含了不同的地表參數，如植物光合作用輻射有效率(Fraction of Photosynthetically Active Radiation)、葉面積指數(Leaf Area Index)、放射率(Emissivity)、反照率(Albedo)和粗糙長度(Roughness Length)等，使用正確的土地利用分布資訊是模式正確描述地表過程的重要關鍵之一，同時可增進模式對中小尺度環流系統之預報能力。

目前中央氣象局作業 WRF 模式所使用的土地利用資料源自於 USGS 和 CTCI，USGS 是指美國地理測量土地利用系統(U.S. Geological Survey)所提供的全

球土地利用分布，該組資料為 1992-1993 年之 AVHRR 遙測資料推導而得；而 CTCI 則是臺灣地區高解析度土地利用資料，乃由中鼎工程顧問公司(CTCI Corporation)將 2001 年內政部所出版的經建版之 1/25,000 基本地形圖數位化，再經(戴等 2008)處理後供中央氣象局作業 WRF 模式使用。其中，USGS 資料觀測距今已久，無法反應出土地利用的改變，而 CTCI 資料並沒有區分出臺灣不同類別的林地，且僅侷限於臺灣地區，在亞洲其他陸地區域的土地利用資料仍使用 USGS 資料。在本研究中，我們將透過短期預報實驗，並將實驗結果和地面觀測資料相驗正，探討不同的土地利用資料對模式預報的影響。

二、資料處理與比較

本研究引進於今(2009)年4月9日隨著WRF V3.1

表 1：WRF 的土地利用分類表。

左和右欄分別為 USGS 之 24 類和 MODIS 之 20 類土地利用分類表；

中欄為 MODIS 轉換至 USGS 類別的對照表。

| class | USGS Land Use 24-Categories | Mapping | class | MODIS Land Use 20-Categories |
|-------|--|---------|-------|------------------------------------|
| 01 | Urban and Built-up Land | 14←01 | 01 | Evergreen Needle-leaf forest |
| 02 | Dryland Cropland and Pasture | 13←02 | 02 | Evergreen Broad-leaf forest |
| 03 | Irrigated Cropland and Pasture | 12←03 | 03 | Deciduous Needle-leaf forest |
| 04 | Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture | 11←04 | 04 | Deciduous Broad-leaf forest |
| 05 | Cropland/Grassland Mosaic | 15←05 | 05 | Mixed forest |
| 06 | Cropland/Woodland Mosaic | 08←06 | 06 | Closed shrublands |
| 07 | Grassland | 09←07 | 07 | Open shrublands |
| 08 | Shrubland | 08←08 | 08 | Woody savannas |
| 09 | Mixed Shrubland/Grassland | 10←09 | 09 | Savannas |
| 10 | Savanna | 07←10 | 10 | Grasslands |
| 11 | Deciduous Broadleaf Forest | 17←11 | 11 | Permanent wetlands |
| 12 | Deciduous Needleleaf Forest | 02←12 | 12 | Croplands |
| 13 | Evergreen Broadleaf | 01←13 | 13 | Urban and built-up |
| 14 | Evergreen Needleleaf | 05←14 | 14 | Cropland/Natural vegetation mosaic |
| 15 | Mixed Forest | 24←15 | 15 | Permanent snow and ice |
| 16 | Water | 19←16 | 16 | Barren or sparsely vegetated |
| 17 | Herbaceous Wetland | 16←17 | 17 | Water |
| 18 | Wooden Wetland | 21←18 | 18 | Wooded Tundra |
| 19 | Barren or Sparsely Vegetated | 22←19 | 19 | Mixed Tundra |
| 20 | Herbaceous Tundra | 23←20 | 20 | Barren Tundra |
| 21 | Wooded Tundra | | | |
| 22 | Mixed Tundra | | | |
| 23 | Bare Ground Tundra | | | |
| 24 | Snow or Ice | | | |

一起被發表的 MODIS Landuse Data，以改善東亞地區的土地利用類型資料庫。該組資料為全球 30 秒網格上的單一土地利用類型，源自於 2001 年 MODIS/Terra Land Cover Type Yearly L3 Global 1km SIN Grid V004 (MOD12Q1)，該產品實際上含括 5 種審慎評估後的地表型態分類方式，但 WRF MODIS Landuse Data 僅使用其中的 IGBP scheme，在辨識 17 種地表型態，包含 11 種自然植被類別、3 種人為類別，和 3 種非植物類別之外，再加入木本凍原、混和凍原和裸土凍原 3 個類別，形成共 20 種類別的土地利用分類方式。USGS 和 MODIS 二者土地利用分類表同列於表 1，表中左欄為「USGS 之 24 類土地利用分類表」，右欄為「MODIS 之 20 類土地利用分類表」。

雖然應用 WRF V3.1.1 的中央氣象局作業 2.1 版之 WRF 模式（以下簡稱 CWB WRF OP2.1），可直接讀取 MODIS Landuse Data，但為了整合 MODIS 與臺灣地區高解析度的 CTCI 土地利用資料，加上比較 USGS

和 MODIS 之土地利用各類別所對應的植物光合作用輻射有效率、葉面積指數、放射率和反照率，以及粗糙長度等地面參數設定之後，本研究以表 1 中欄對照表的方式，將「MODIS 之 20 類土地利用資料庫」對應到 USGS 之 24 類土地利用類別，產生了一組以 USGS 分類定義的 MODIS 土地利用資料庫。其中 MODIS 的 11 類 (Permanent wetlands) 參數實際上為 USGS 的 17 類 (Herbaceous Wetland) 和 18 類 (Wooden Wetland) 參數的平均值，此處僅將 MODIS 的 11 類直接對應至 USGS 的 17 類，為唯一特殊情況。這兩種土地利用分類方式皆是針對都市、農地、林地、草地、灌木和稀樹草原、貧地、溼地，以及水體（水、雪/冰）共八大類再去細分，差異最大的是農地類，可注意到 MODIS 並無水田一項。圖 1 為 CWB WRF 之 3 層嵌套網格範圍，USGS 和 MODIS Landuse Data 的溼地類皆僅在該範圍下的印度半島出現極少格點數，故推測可忽略因類別轉換而對實驗結果所產生的影響。

三、數值實驗設計

本研究使用四組土地利用分布資料進行模擬實驗，包含(1)目前 CWB WRF 模式所使用的 USGS 和 CTCI;(2)全面使用 MODIS;(3)將(2)中的臺灣地區 CTCI 混合林區域，以 MODIS 在臺灣地區的森林分類分布取代之，除了這三組資料，本研究考量到 MODIS 土地利用資料並無水田類別的存在，然而水田和旱田對氣候會產生不同的影響，故本研究以(3)為基礎，當 MODIS 為旱田，USGS 為水田時，則保留其為水田，產生第(4)組土地利用分布資料。以上四組資料分別簡稱為 USCT、MODI、MOCT 和 IOCT，其中臺灣地區土地利用分布情形如圖 2 所示，(a) 為 USCT、(b) 為 MODI、(c) 為 MOCT 和 IOCT 的臺灣土地利用分布，和 (d) 衛星空照圖。MODIS 為 2001 年的衛星遙測資料，CTCI 為同年的臺灣區域高解析度資料，但由圖 2 清楚可見，MODIS 的都市(1 類，紅色)和 CTCI 有

Domain of CWB WRF

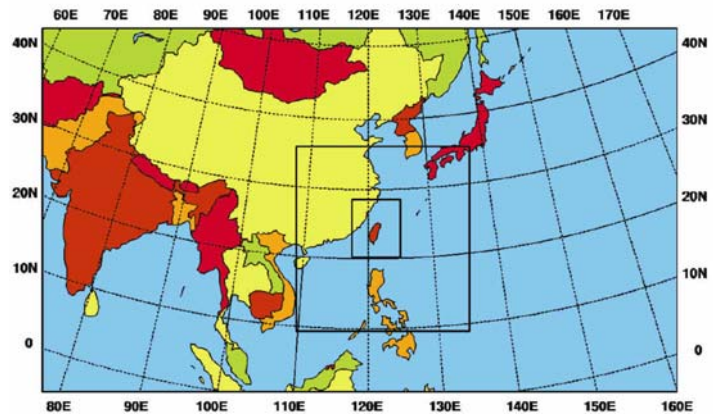


圖 1: CWB WRF 之 3 層嵌套網格範圍，解析度分別為 45、15 和 5 km。

非常顯著的差異，MODIS 的都市分布許多都在 CTCI 為旱田和水田(2 和 3 類)的格點上，若配合衛星空照圖來看，雖然 CTCI 的都市也許偏少，但可以合理懷疑臺灣地區 MODIS 的都市分布較實際來的多。圖 3 僅顯示 CWB WRF 之 3 層嵌套網格下 USCT 和 IOCT 的土地利用分布情形，比較發現在華中南一帶有農地和林地的大類別轉變，以及 IOCT 各地都市明顯聚集。

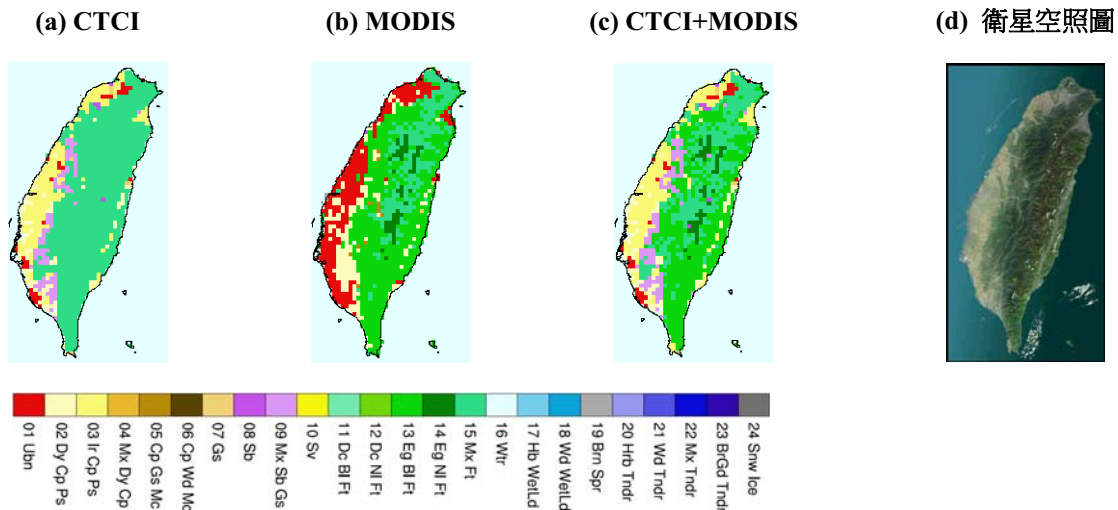


圖 2: 不同的臺灣地區土地利用分布情形，包含 (a) CTCI (戴等 2008)，(b) MODIS，(c) 以 MODIS 土地利用資料更新 CTCI 的林地分類分布，和 (d) 衛星空照圖。

本研究使用 CWB WRF OP2.1，針對上述 USCT (控制組)、MODI (實驗組 1)、MOCT (實驗組 2) 和 IOCT (實驗組 3) 四組土地利用資料，進行 2008

年 5 月 15-31 日 (SoWMEX 計畫期間) 為期半個月的敏感度測試，並評估不同之土地利用資料對模式預報的影響。在此測試期間內，臺灣地區天氣狀況大致分

為三個時段，15-20 日為晴朗天氣，21-23 日發生無顯著綜觀強迫作用的午後對流，25-31 日前期有午後對流，後期有鋒面影響；而大陸華南一帶正處梅雨季，常有鋒面系統產生。

除了使用不同的土地利用資料庫之外，四組實驗的其他設定皆相同。於測試期間每日 00、06、12 和 18 UTC 進行預報實驗，其中 00 和 12 UTC 為 72 小時預報實驗，且每 2 小時輸出一次預報結果，方便日後進一步分析土壤參數或邊界層之日夜變化。模式邊界條件來自 NCEP，分析場使用 WRF 3DVAR 進行客觀

分析，所使用的觀測資料涵蓋所有 GTS (Global Telecommunications System) 上的觀測資料，並以上一個實驗的 6 小時預報場為初始猜測場，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。模式共有 3 層嵌套網格 (見圖 1)，解析度分別為 45、15 和 5 公里，垂直共 45 層。模式物理參數化分別採用 GD 積雲參數法 (僅應用於 45 和 15 公里解析度，5 公里解析度不考慮積雲參數法)、Goddard 微物理參數法、NOAH 地表參數法和 YSU 界層參數法，以及 RRTM 長波與 Goddard 短波輻射參數法等。

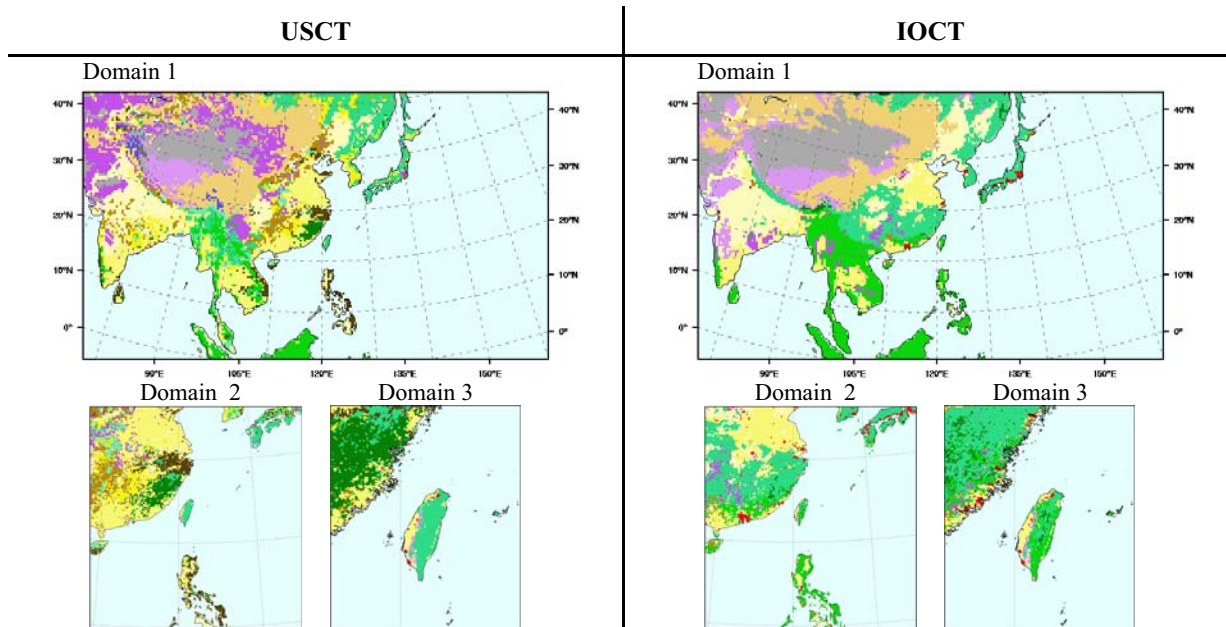


圖 3：在 CWB WRF 之 3 層嵌套網格下，USCT (左) 和 IOCT (右) 的土地利用分布情形，土地利用類別色階同圖 2。

四、實驗結果與校驗

考量到土地利用之改變對於大氣預報應在近地面處有最大的影響，故本研究將模式 10m 風場、2m 溫度場和濕度場、地面氣壓場轉換至測站點上，以便和地面綜觀報、臺灣自動氣象站資料相校驗，在 15 和 5 km 解析度網格的轉換方式是直接選取最接近測站點位置、地形高度差異最小之模式格點，在 45 km 解析度網格則取鄰近 4 個網格點之平均值來代表，除了計算測試期間的平均誤差 (Mean Error) 和均方根誤差 (RMSE) 之選取範圍下所有測站平均值，亦透過

Barnes 空間差分法以二維圖展示其水平分布。

圖 4 分別為初始時間同為 2008 年 5 月 15 日 00 UTC (Cold Start Run)，60 預報小時的 USCT、MODI 和 IOCT 三組實驗之模式 5 km 解析度在臺灣地區的地面溫度場，與測站觀測資料相減後，透過 Barnes 空間差分法所得到的二維誤差分布情形。清楚可見土地利用之改變將影響大氣預報結果，且 MODI (實驗組 1) 出現高達 2.5°C 的高溫溫差。故本研究更進一步選取在測試期間，00 UTC 為初始時間之模式在臺灣地區 (範圍同圖 4) 所預報的地面溫度場和溼度場，與測站觀測資料相驗正得到圖 5，圖中四種顏色分別表示

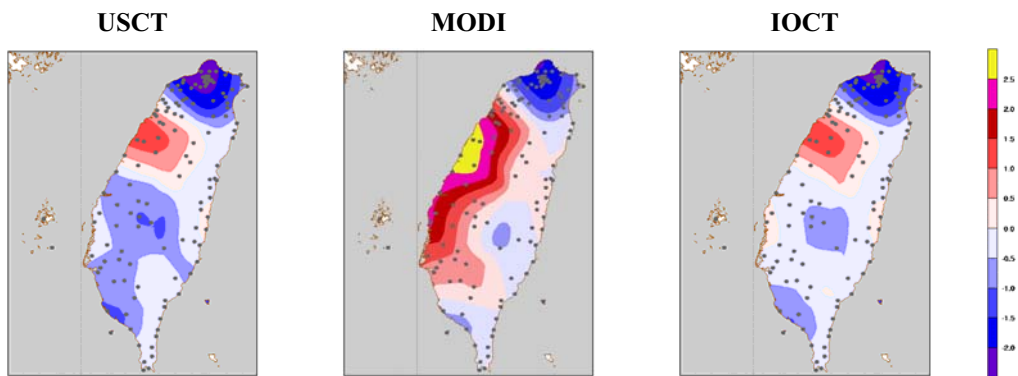


圖 4：初始時間為 2008 年 5 月 15 日 00UTC (Cold Start Run)，60 預報小時的 USCT、MODI 和 IOCT 三組實驗之模式 5 km 解析度在臺灣地區的地面溫度場與測站觀測資料之差異，透過 Barnes 空間差分法得到二維誤差分布圖。色階表示誤差值，圓點為納入計算之測站位置。

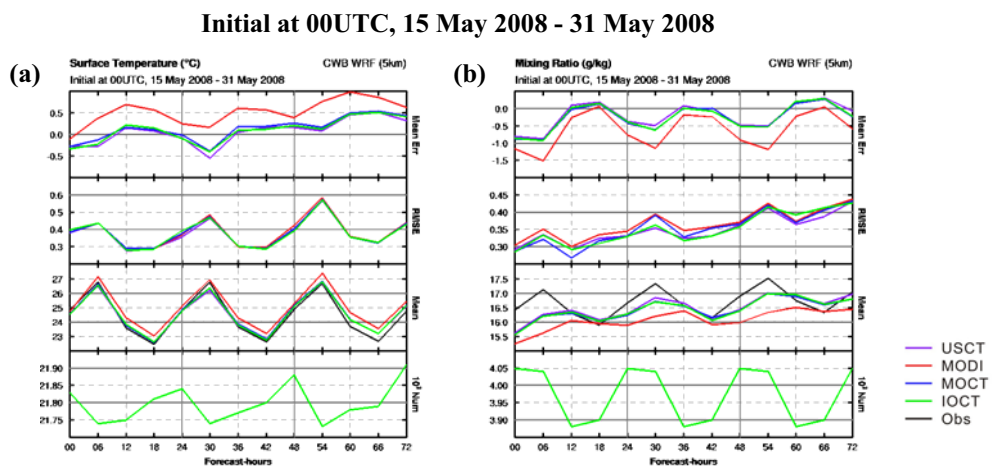


圖 5：(a) 和 (b) 分別為四組實驗在測試期間的臺灣地區（範圍如圖 4），00UTC 為初始時間之模式所預報的地面溫度場和溼度場，與測站觀測資料相驗正，隨著預報時間序列變化的模式臺灣地區所有測站平均之平均誤差 (Mean Error)、均方根誤差 (RMSE)、實驗結果與觀測平均值 (Mean) 和總使用資料筆數。四種彩色顏色分別代表四組實驗，黑色則為臺灣地區所有測站的觀測平均值。

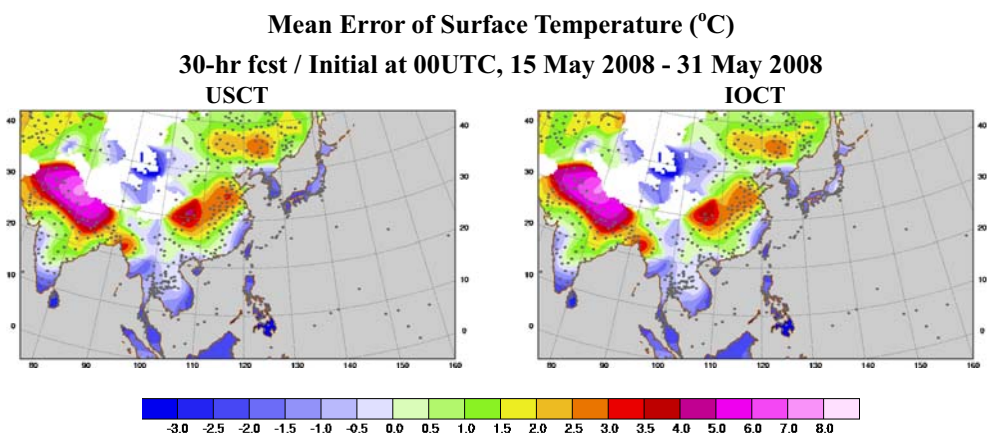


圖 6：測試期間，45 km 解析度網格下，00UTC 為初始時間之 USCT (控制組，左) 和 IOCT (實驗組 3，右) 二組模式在 30 預報小時的地面溫度平均誤差 (Mean Error) 二維分布圖。

四組實驗之模式地面溫度場和溼度場，隨著預報時間序列變化的臺灣地區所有測站平均之平均誤差 (Mean Error)、均方根誤差 (RMSE)、實驗結果與觀測平均值 (Mean) 和總使用資料筆數。由圖可知，四組實驗的地面溫度均方根誤差隨預報時間的變化十分相近且有日夜變化；MODI (紅色) 的地面溫度不論日夜皆明顯過暖，和其他組實驗結果相差約 0.5°C。四組實驗的地面溼度均方根誤差，隨預報時間的增加有增加的趨勢；從平均值來看，模式地面溼度似乎皆有相位誤差，而 MODI 地面溼度明顯偏乾。MODI (實驗組 1) 的地面溫度場和溼度場明顯偏暖和偏乾，推測原因為 MODIS 土地利用資料在臺灣地區過多的都市分布過度強化了模式的都市熱島效應。圖 6 則為測試期間，45 km 解析度網格下，00UTC 為初始時間之 USCT (控制組) 和 IOCT (實驗組 3) 二組模式在 30 預報小時的地面溫度平均誤差 (Mean Error) 二維分布圖，顯示半島沿岸地區和島國之地面溫度皆偏低，而大陸內地有偏高現象，但 IOCT 組實驗在日本和韓國改善了 1°C 之多，亦稍微減低了華中、華北一帶的高溫情形。

五、結論

本研究的重點，在於評估和更新中央氣象局作業 WRF 模式的土地利用資料庫，該資料分布的變化，透過影響地表和大氣的能量、質量和動量交換過程，對中小尺度天氣系統的發展造成不容忽視的改變。本研究整合 USGS、MODIS 和 CTCI 三種不同來源的土地利用資料庫，進行半個月的敏感度測試，並將預報實驗結果與地面觀測資料相校驗，結果顯示更新之 IOCT (實驗組 3) 土地利用資料分布，較目前所使用的 USCT (控制組)，對於模式預報地面溫度場可達 1°C 的改善，且隨著解析度提高影響越大，其他參數如地面氣壓場、溼度場和風場則影響較不顯著，未來可進一步探討土地利用的改變對模式降水的發生和分布的影響。

六、參考文獻

戴俐卉, 洪景山, 莊秉潔, 蔡徵霖和倪佩貞, 2008: “WRF 模式台灣地區土地利用類型之更新與個案研究”, 大氣科學, **36**, 43-62.