

土地利用型態對地表能量收支與海陸風模擬的影響

許郁卿 鄭芳怡 林沛練

國立中央大學 大氣物理研究所

摘要

WRF模式中所使用的地表資料為USGS(U.S. Geological Survey)土地利用型態，此資料是由西元1992年至1993年之間AVHRR遙測資料所得，近幾十年來台灣的都市發展快速，土地利用型態已經和20年前大不相同，因此USGS資料是否能反映出真實台灣土地利用情形是值得討論的議題。WRF更新到3.1版後，地表資料選項多了MODIS土地利用型態；此外，中大太遙中心使用SPOT衛星資料將台灣的土地型態進行分類，此為NCU資料。由於不同的土地利用型態會影響地表和大氣間能量交換，進而影響氣象模式模擬結果。本研究將利用上述三種土地利用資料，找出能夠精確反應出台灣地區土地利用的資料，並討論土地利用資料的改變對局部環流產生的影響。

在綜觀影響較不顯著的天氣形態下，不同地表資料對氣象場模擬產生顯著影響。由於MODIS分類為都市的區域最廣，造成模擬溫度較高，有較多的能量是以可感熱通量呈現。在海溫變化不大的情況下，白天MODIS模擬的海陸溫差最大。夜間輻射冷卻，使地表溫度低於海洋溫度，MODIS模擬的地表溫度是三者最高，因此夜晚海陸溫差最小。USGS土地利用型態以灌溉地為主，模擬結果和MODIS相反，NCU則是介於兩者之間。灌溉地設定的粗糙長度短，使用USGS資料的風速模擬結果較強。MODIS和NCU都會區和森林分佈較多，粗糙長度設定較長，風速模擬較小。但在沿岸因為MODIS、NCU兩模擬白天的海陸溫差大，模擬的海風風速較大。和觀測資料相比，使用MODIS資料模擬溫度過高，NCU和USGS較接近觀測值。三種模擬風速都有高估的情況，使用USGS資料高估最多，使用NCU、MODIS資料的模擬結果和觀測最相近。此個案模擬結果顯示，使用NCU數據的模擬能改善MODIS高估溫度的缺點，以及USGS高估風速的問題，但這只是單一個案討論，未來必須進行更多個案統計比較，才能夠更進一步了解這三種台灣土地利用型態資料的特性以及對模擬結果的影響。

一、前言及研究動機

近年來都市發展快速，特別是台灣的西部平原，由早期的農業社會逐漸轉變為現今的工商業社會。不同的土地利用型態會影響地表和大氣間動量、熱量以及水氣的交換，當土地利用型態為灌溉地時，地表蒸發散作用強，能量主要以潛熱通量呈現；當土地利用型態為都市時，地表吸收的能量主要以可感熱通量呈現，造成都市溫度較高。這些土地利用型態的轉變會造成能量收支的差異，進而影響台灣局部地區氣象場分布。

過去有許多學者針對土地利用型態的更新進行研究，像是 Cheng et al. (2008a、2008b) 使用中尺度氣象模式 MM5 進行模擬，指出和實際地表較接近的德州土地利用資料庫(Texas Forest Service land use and land cover, FS-LULC) 能有效的改善 USGS-LULC 休士頓船道區大型排放源的邊界層高度、局部環流等氣象模擬結果，並藉著修正都市地區的 canopy water，改正了模式高估每日最高溫度和延

遲模擬風速極值等問題，進而使空氣品質模式更能掌握污染物的傳輸和濃度變化。

CTCI (China Technical Consultants Inc)是由中鼎公司利用內政部所出版的 2001 年地圖，經數位化後所得的土地利用資料。國內會有許多學者利用此筆資料進行模擬，發現新版地土地利用資料 CTCI 的確較 USGS 更能正確反應出台灣土地利用的現況，並且有較正確的模擬結果(曹 2007; 許 2008; 戴等人 2008)。此外，戴等人(2008)提出，模式中土地利用資料的改變會對局部環流有顯著的影響。台灣四面環海，在夏季白天常有海風的形成(Chen T.-C. et al. 2007; Chen and Chou 2006)，因此合理的土地利用資料是讓模式更正確模擬出海陸風環流的條件之一。但 WRF 模式中所使用的地表類型為 USGS 地表資料，此資料是由西元 1992 年至 1993 年之間的 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 遙測資料所得，土地利用型態以灌溉地為主。近年來台灣發展快速，USGS 資料可能已經無法及時反應出台灣土地利用地改變。

二、研究方法

(一) 土地利用資料

除了模式中舊有的土地利用型態 USGS 之外，WRF V3.1 版之後新增了一個土地利用型態資料：MODIS Land use Data，其資料使用 2001 年 MODIS/Terra 的資料分類而成，共分類成 20 種土地使用型態。雖然 MODIS Land use Data 是較新的資料，但是 MODIS 的都市分類過廣，幾乎西半部沿海地區都為都市所覆蓋，不符合台灣實際的土地利用型態，使用此資料可能會導致模式無法精準的反映出台灣近地層的大氣過程。第三種土地利用資料，是由中央大學太空遙測中心使用 2007 年 SPOT 影像資料所分類成，在此命名為 NCU。在 NCU 的分類中，將台灣分成 11 種不同的地表型態。但因為 NCU 資料只有台灣部分，因此必須將 NCU 和 USGS 的地表分類相連結，NCU 轉換成 USGS 的土地利用格式如表(1)。

三種土地利用型態有差異性很大 (圖 1)，USGS 對台灣地區的分類主要為灌溉地和混合林為主，灌溉地的範圍非常大，甚至包含山脈地區，約占台灣土地面積的 62%；森林大多集中於台灣東半部地區，約占台灣土地面積的 24.6%；都市類別分佈少，僅有零星在台北、高雄幾個地區，約占台灣土地面積的 0.2%。MODIS 對台灣地區的分類主要以常綠闊葉林和都市為主，森林(常綠闊葉林、常綠針葉林、落葉闊葉林、落葉針葉林、混合林)總面積約占全台的 66.2%，都市面積約占台灣 16.9%；農作地的分佈約是台灣面積的 12.9%，面積較 USGS 小，且 MODIS 並沒有將農作地細分成旱田和水田。NCU 對台灣地區的分類主要以混合林、灌溉地和都市為主，森林主要分布在台灣東半部以及中央山脈區域，約占台灣面積的 63.1%；西半部平原以灌溉地為主，約占台灣面積的 13.9%；都市分類約占台灣面積的 5.4%。三種土地利用型態當中，NCU 的土地利用型態資料是三種土地利用型態資料庫中較能反應出台灣地區都市、農作、山林的分佈現況。

(二) 個案選取

當太陽輻射加熱地表效應越強，海陸風環流會較明顯，因此本篇研究選取了夏季個案海陸風個案，討論土地利用型態對於局部氣象場的影響。選取的時間是 2007 年 5 月 7 日至 5 月 11 日，這段期間內台灣附近系統不強，環境風場較弱，特別在 5 月 9 日，系統遠離，局部環流的特性較容易顯現。這段期間台灣地

區因受高壓迴流影響，強烈下沉氣流導致污染物不易擴散，雖然這段期間台灣整體揮發性有機物和氮氧化物排放量未明顯增加，但因擴散條件不佳，造成空氣滯留，加上溫度高、日照強，導致臭氧值居高不下，是往年五月沒有的罕見狀況。

(三) 模式設定

本研究使用中尺度模式 WRF 進行模擬，模擬時間是 2007 年 5 月 6 日 00UTC 至 2007 年 5 月 12 日 00UTC，共六日。初始場和側邊界條件採用 NCEP FNL(NCEP Global Final Analyses) 全球分析場資料。共有四層槽狀網格，最小 DOMAIN 的範圍包含整個台灣，是主要的分析區域，水平解析度依序為 81、27、9、3 公里，垂直共為 35 層。模式中所使用的物理參數法設定方面，選用的雲微物理方法為 WSM 5-class scheme，長波輻射參數法採用 RRTM scheme，邊界層參數法採用 YSU PBL scheme，地表層選項則採用 Monin - Obukhov scheme，地表土壤過程參數化則採用 Noah Land Surface Model。

三、模擬結果分析

(一) 氣象模擬分布圖差異

本研究選取綜觀風最弱，地表效應最容易顯見的 5 月 9 日，評估改變土地利用資料後，模式對於局部環流的影響。首先先看溫度部分，5 月 9 日當地時間 12 點(圖 2a)時，太陽加熱效應強，此時三種土地利用型態所模擬的結果差異大，高溫出現在三者的都市區，MODIS 高溫範圍最廣。三者模擬出的海溫相當接近，三種土地利用型態模擬的海洋溫度都低於陸地，因此模擬出最高溫度的 MODIS 其海陸溫差最明顯。當夜間 24 點 (圖 2b) 時，受到太陽加熱效應減少的影響，三種土地利用型態資料有漸漸趨於一致的現象，整體而言 MODIS 溫度略高於其他兩者。夜間陸地溫度低於海上，因此模擬出最高溫度的 MODIS 其海陸溫差最小。由正中午和夜間兩公尺溫度模擬的差異，可見對地表溫度來說，使用不同的土地利用型態，受太陽加熱的影響很大，若失去加熱效應，三者模擬差異就會變得相當的小。

接著是風場部分，當地時間 12 點時(圖 3a)，三者模擬的風場，在沿海地區以海風為主，內陸風速略小於沿岸。岸邊 MODIS 模擬的風速大於 NCU，且有較明顯的向岸分量，這是因為 MODIS 海陸溫差較大，使得白天 MODIS 在岸邊有較強的海風發展。但

內陸的風速主要受粗糙長度影響，MODIS 和 NCU 地表雖略有不同，但兩者粗糙長度設定相似，因此在內陸，MODIS 和 NCU 的模擬結果相近。三個土地利用型態中，USGS 是白天海陸溫差模擬結果最小的，USGS 模擬的沿岸的風速最小，且和 NCU 相比有較明顯的離岸分量。但內陸的風速卻是 USGS 較大，這是因為 USGS 土地利用型態的分佈以灌溉地為主，地表粗糙度的設定較短；NCU 的土地利用型態主要是都市、森林，地表粗糙度的設定較長，所以在非沿海地區使用 USGS 資料所風速模擬較大。由當地時間 24 點的風場分佈圖可以看出圖 3b，三者風場模擬上沿海地區以陸風為主。而 MODIS 和 NCU 風場的差異主要在海岸，岸邊 MODIS 模擬的風速小於 NCU，且有較明顯的向岸分量，這是因為夜間 MODIS 海陸溫差較 NCU 小，使得 MODIS 在岸邊有較弱的陸風。USGS 和 MODIS 相反，USGS 是三者當中夜間海陸溫差最大的，因此使用 USGS 地表資料模擬的沿岸的風速最大且有較明顯的離岸分量，夜間 USGS 陸風發展較強。

接著利用 Bowen Ratio 來看地表的能量收支，Bowen Ratio 的定義是可感熱通量和潛熱通量的比值，如公式(1)所表示。

$$B = \frac{Q_h}{Q_e} \quad (1)$$

B：Bowen Ratio、 Q_h ：可感熱通量、 Q_e ：潛熱通量。

經由此值得之能量分配的比重。典型的 Bowen Ratio 的值約為 0.1 到 10 之間，Bowen Ratio 值越小代表該處越潮濕，反之越乾燥。由 5 月 9 日 12:00 LST Bowen Ratio 分佈圖圖(4)可以發現，Bowen Ratio 與土地利用型態分布的相關性高，都市區的 Bowen Ratio 偏高接近 10，可視為較乾燥的地區，整體而言，使用 USGS 土地利用型態的 Bowen Ratio 是三者當中最小的，顯示土壤的狀況較為潮濕。使用 MODIS 土地利用型態的 Bowen Ratio 是三者當中最大的，土壤的溼度較為乾燥。上述分佈圖可發現，地表使用型態對地表過程的影響很大，而地表過程是影響天氣變化的重要因素之一，可透過與大氣間的熱量動量交換來影響天氣。因此若能在模式中使用真實的地表型態分佈與範圍，對氣象的模擬是相當正面的幫助。

(二) 氣象場時序資料比較

圖 5a 為開始時間是 2007 年 5 月 6 日 00UTC 共模擬 145 小時都市地區溫度模擬的平均結果，三者在

都市地區的溫度模擬結果差異大。MODIS 都市區溫度最高，使用 MODIS 資料的模擬結果，在下午兩點左右溫度最高，並且夜間溫度下降最慢，因此下午兩點至隔天清晨 MODIS 和其他兩者溫度差異最大(2°C 左右)；在都市地區 USGS 是三者溫度最低的。圖 5b 為非都市地區溫度模擬的平均結果，三者在非都市區的溫度差異很小(小於 1°C)。圖 5c 是台灣都市地區風速模擬的平均，三者在都會區風速差異很大，因為灌溉地設定的粗糙長度短，所以 USGS 風速最大。風速的大小除受到周遭的土地利用型態影響，也和都市的分布位置相關，MODIS 都市區大多位於沿海地區，此區受海陸風影響大，因此綜觀條件不顯著情況下，MODIS 在白天平均風速大於 NCU，夜間兩者差異較小。圖 5d 為非都市地區風速模擬的平均結果，三者的風速在非都市區的差異很小。由此結果可知土地利用型態中的都市分布對氣象場的重要性。

(三)統計數據比對

選取中央氣象局的局屬測站和模擬結果進行比對，整體而言，使用土地利用型態 MODIS 資料所模擬的溫度高估觀測值，NCU、USGS 的溫度模擬結果為低估觀測值(表 2)，其中 NCU 低估值較小。MODIS 在西部分類以都市為主，但實際上西半部並非大部分都是都市，因此 MODIS 在西部各站模擬的溫度較高於觀測數據；USGS 在台灣的分類主要是以灌溉地為主，但是隨著經濟的發展，台灣早已經不是農業社會，有許多都會區逐漸發展成形，因此 USGS 模擬的溫度大多為低估觀測資料；NCU 的地表分類和實際地表最接近，因此模擬出的溫度和觀測最接近。

風速偏差方面(表 2)，從數據可以看出三者模擬得風速都為高估，其中 USGS 高估最多，這是因為以灌溉地為主的 USGS 粗糙長度設定較短，因此和觀測相比，USGS 模擬出的風速高估很多；MODIS 以都市和常綠闊葉林為主，粗糙長度設定較長，模擬出的風速是三者最小，在三者都高估風速的情況下，MODIS、NCU 風速模擬結果跟觀測較接近。

接著比對模擬結果與觀測的方均根誤差(RMSE，表 4)，其計算方式如公式(2)，

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

S_i ：模擬結果， O_i ：觀測結果。

RMSE 的值(表 3)越小表示模擬結果和觀測越接

近。若比較三者和觀測的方均根誤差可以發現 NCU 溫度的 RMSE 值最小;MODIS 溫度的 RMSE 值最大, MODIS 的溫度模擬結果最差。風速方面則是 MODIS 和 NCU 的 RMSE 值都偏小;USGS 風速 RMSE 值大。整體來說,和真實地表較為接近的 NCU 有較好的模擬結果。

四、結果與討論

整體上兩公尺溫度模擬以 MODIS 模擬的結果最高, USGS 最低, NCU 溫度模擬結果介於兩者之間, 因此白天 MODIS 海陸溫差最大。夜間輻射冷卻, 溫度低於海洋溫度, MODIS 模擬溫度是三者最高, 海陸溫差最小; USGS 海陸溫差最小。風速模擬方面, 陸地上因為 USGS 的粗糙長度設定較短, 因此風速最大; MODIS、NCU 粗糙長度設定較長, 風速模擬結果較小。但因為海陸溫差的不同, 白天沿岸 MODIS 的海風最強。夜間 USGS 的海陸溫差最大, 陸風模擬結果最強。

在都市地區, 三者的溫度模擬結果差異大, MODIS 都市地區的平均溫度最高, USGS 是三者平均溫度最低的, 下午兩點至隔天清晨是溫度差異最大的時段 (2oC 左右); 三者在非都市區的溫度差異小(小於 1oC)。三者在都會區風速差異很大, 因為灌溉地設定的粗糙長度短, USGS 風速最大; MODIS 的都市區最靠近沿岸受海陸風影響大, 在綜觀條件不顯著下 MODIS 在白天風速較大於 NCU (0.5m/s); 在非都市區三者的風速差異不大。

都市區因植被阻抗較高、葉面積指數小, 不利於蒸發散, 因此潛熱通量較小, 能量主要以可感熱通量呈現。MODIS 西半部都市分布廣, 潛熱通量小, 可感熱通量大; USGS 以灌溉地分佈為主, 都市範圍最少, 因此潛熱通量大, 可感熱通量小; NCU 介於兩者之間。整體而言, 使用 USGS 土地利用型態的 Bowen Ratio 是三者當中最小的, 顯示土壤的狀況較為潮濕。使用 MODIS 土地利用利用型態的 Bowen Ratio 是三者當中最大的, 土壤的溼度較為乾燥。

與觀測資料相比, 溫度方面, NCU、USGS 低估; MODIS 高估觀測溫度。風速方面, 三種模擬皆為高估觀測的情形。比對使用三種土地利用型態資料模擬的 RMSE 值, 可發現 NCU 在溫度上模擬較好, USGS 次之, MODIS 高估太多。風速模擬上, MODIS 和 NCU 結果都不差, USGS 最大。整體來說和真實地表較為接近的 NCU 有較好的模擬結果。

五、未來展望

本研究只針對單一海陸風環流個案進行分析, 由海陸風個案可以發現, 更新的土地利用資料, 使用 NCU 資料的模擬結果和觀測資料較接近, 未來將繼續進行午後熱對流等個案討論。

現行地表模式的植被覆蓋率是使用 AVHRR 1986 至 1991 年 5 年的月平均資料, 距今已經有 20 年, 近年來的都市化、工商業發展等人為活動, 都會讓台灣地區的植被覆蓋率和以往相比大幅減少, 而植被覆蓋率是大氣和地表熱量交換分配很重要的因子之一, 若使用二十年前的植被覆蓋率資料會對氣象模式的模擬結果有負面的影響。另外, 內政部國土利用調查成果對於台灣的土地利用分類相當仔細, 未來希望可以此資料進行模擬。

圖表說明

表 1、NCU 對應到 USGS 的土地利用型態的轉換表。

NCU 編號	NCU 分類	對應 USGS 分類
1、2、	無數據、無分類	依照 NCU 最近點
3、5、7	水、海水、溪床	水
4、6	建物、道路	都市
9	草地	草地
8	休耕地	旱田、灌溉、草地
10	農作地	旱田、灌溉、旱/灌
11	山地植物	混合林、灌/草、作/樹

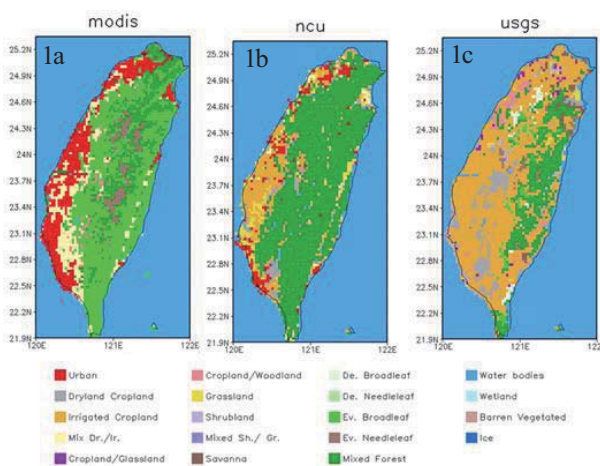


圖 1、(a)MODIS、(b)NCU、(c)USGS 土地利用型態。都市分布方面, USGS 過於稀疏; MODIS 太廣; NCU 和實際台灣地表較接近。

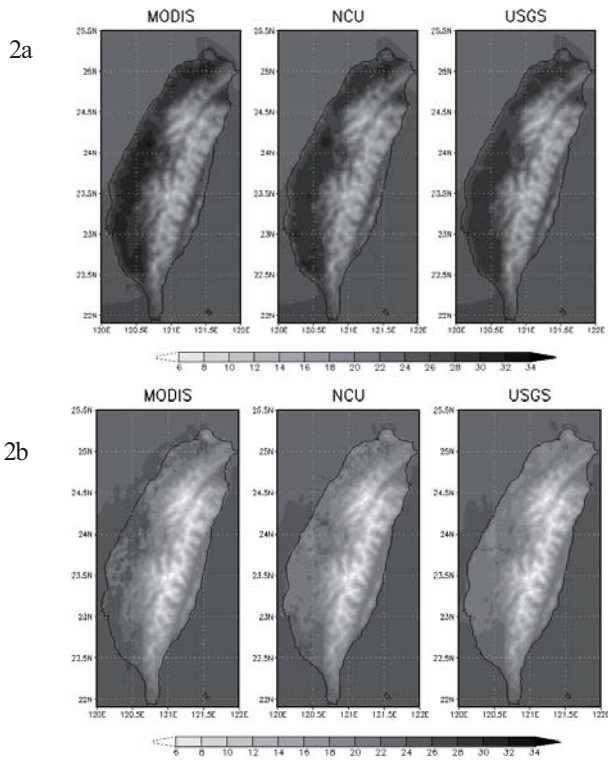


圖2、5月9日(a)12、(b)24 LST兩公尺溫度(°C)分佈圖，圖由左至右為MODIS、NCU、USGS。

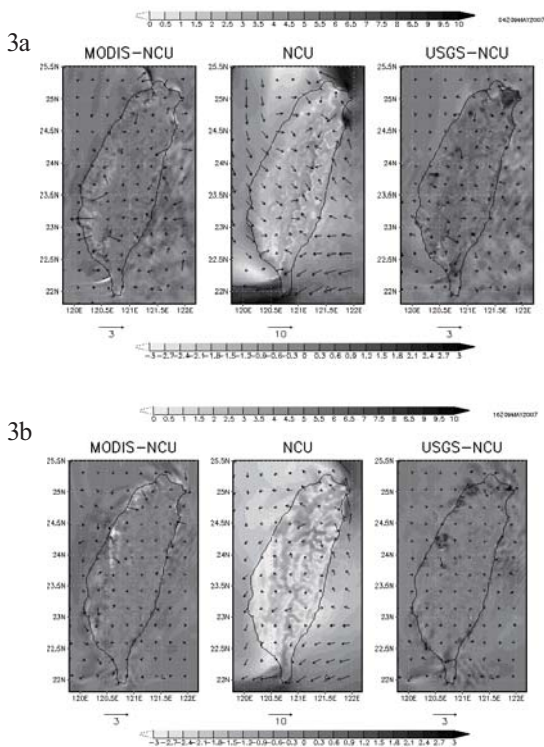


圖3、5月9日(a)12、(b)24 LST十公尺風場(m/s)。圖由左至右為MODIS 減 NCU、NCU、USGS減NCU。

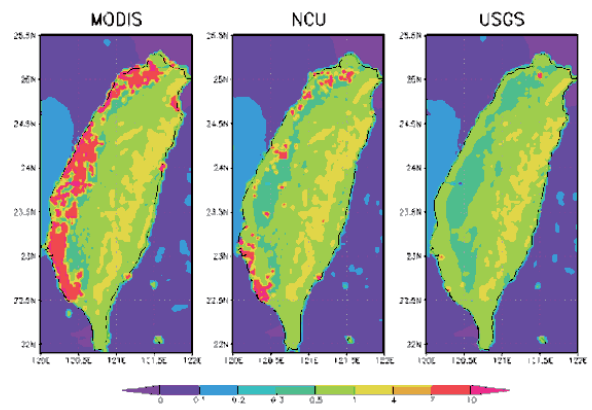


圖4、5月9日12 LST Bowen Ratio分佈圖。圖由左至右為MODIS、NCU、USGS。

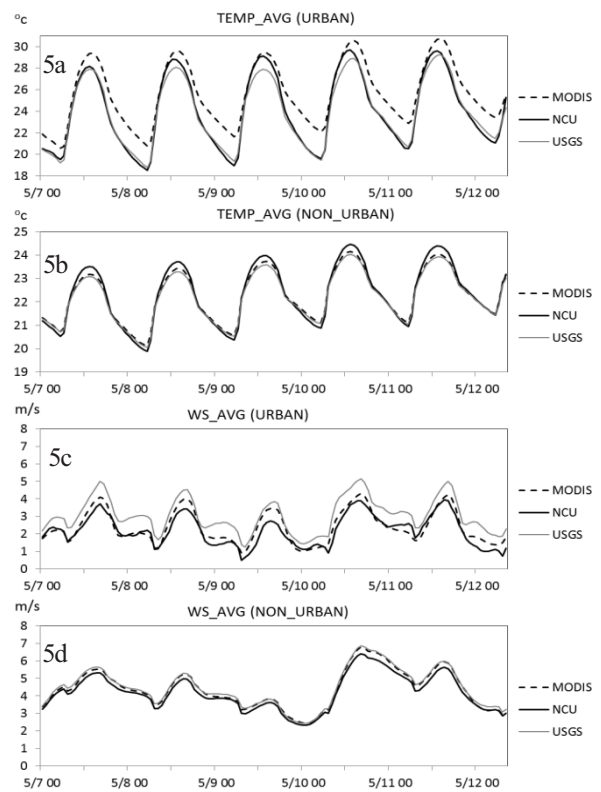


圖5、WRF 模式使用 MOIDS (虛線)、NCU (實線)、USGS (灰線)資料的模擬結果，模擬時間是2007年5月6日00 UTC，共145小時。(a)台灣都市溫度，(b)非都市溫度，(c)都市風速，(d)非都市地區風速模擬的平均。

表 2、模擬減觀測溫度與風速的偏差值，比對觀測，NCU、USG 低估溫度，MODIS 高估溫度，NCU 偏差值較小；三者都高估風速，MODIS、NCU 偏差值較小。

	MODIS		NCU		USGS	
	TB	WB	TB	WB	TB	WB
板橋站	1.03	0.71	0.7	0.68	-0.72	2.55
臺北	0.08	0.21	-0.1	0.16	-0.42	1.26
臺中	2.72	0.54	1.79	0.36	-0.58	0.9
新竹	2.32	1.18	1.48	1.42	-0.43	2.84
臺南	-1.26	-0.96	-1.37	-1.06	-1.91	-0.77
永康	0.22	-0.14	-0.47	-0.2	-1.9	0.17
花蓮	-0.61	-0.79	-1.83	-0.47	-1.67	0.05
臺東	-0.6	1.04	-0.51	1.17	-1.37	2.47
淡水	1.07	1.52	-0.3	2.49	-0.41	2.96
宜蘭	-0.17	0.08	-1.53	0.98	-1.59	0.95
嘉義	2.43	0.31	-0.43	0.58	-0.6	0.61
鞍部	0.71	3.12	0.63	3.12	0.34	4.43
阿里山	2.31	0.46	2.24	0.41	2.2	0.62
大武	-2.79	1.98	-2.83	2.27	-2.82	2.39
玉山	1.64	-1.26	1.68	-1.36	1.52	-1.13
恆春	-2.13	3.17	-2.25	2.58	-2.18	2.96
蘭嶼	1.62	-1.38	1.61	-0.53	1.62	-0.41
日月潭	1.54	-0.15	1.06	-0.16	1.1	-0.06
彭佳嶼	0.27	-0.02	0.24	-0.04	0.25	-0.01
東吉島	-0.43	-0.68	-0.55	-0.45	-0.56	-0.49
澎湖	-0.97	2.02	-1.06	1.81	-1.07	1.81
成功	-1.14	0.49	-1.13	0.05	-0.45	1.09
ALL	0.357	0.52	-0.133	0.628	-0.53	1.145

表3、模擬減觀測溫度的方均根誤差值當中，NCU的RMSE值最小，MODIS最大。風速模擬上，MODIS和NCU結果都不差，USGS最大。

	MODIS		NCU		USGS	
	T	WS	T	WS	T	WS
板橋	1.68	1.27	1.46	1.25	1.37	3.03
臺北	1.06	1.34	0.99	1.32	1.08	1.9
臺中	2.86	0.94	1.94	0.81	1.42	1.35
新竹	2.46	1.67	1.74	1.82	1.39	3.31
臺南	1.62	1.32	1.67	1.43	2.13	1.21
永康	1.02	1.01	0.92	0.99	2.25	1.18
臺東	1.41	1.34	1.53	1.49	1.88	2.77
花蓮	1.68	1.48	2.31	1.49	2.18	1.51
淡水	1.92	2.17	1.38	3.28	1.53	3.7
宜蘭	1.38	0.86	2.04	1.55	2.11	1.52
嘉義	2.63	0.97	1.14	1.18	1.25	1.29
鞍部	1.67	3.71	1.67	3.74	1.58	5.08
阿里山	2.68	1.34	2.6	1.27	2.54	1.53
大武	3.08	2.13	3.17	2.4	3.16	2.53
玉山	2.63	2.98	2.69	2.97	2.66	3.03
恆春	2.27	3.58	2.41	3.06	2.32	3.39
蘭嶼	1.72	2.03	1.76	1.6	1.77	1.62
日月潭	2.22	1.02	1.7	0.98	1.72	1.06
彭佳嶼	1.51	1.74	1.5	1.75	1.5	1.76
東吉島	1.79	2.1	1.88	1.86	1.88	1.85
澎湖	2.15	2.38	2.36	2.1	2.36	2.14
成功	1.87	1.3	1.97	1.13	2.25	1.98
ALL	1.969	1.758	1.856	1.7946	1.924	2.215

參考文獻

- 曹嘉宏，2007：台灣土地利用型態對MM5 模擬局部環流之影響。國立中央大學碩士論文
- 許志禎，2008：台灣土地利用型態對於局部環流與降雨模擬之影響。國立中央大學碩士論文。
- 戴俐卉，洪景山，莊秉潔，蔡徵霖，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。大氣科學第三十六期第一號，43-62
- Chen, G. T. -J., and H.-C. Chou, 2006: A summertime severe weather event occurring in the Taipei Basin. TAO, 17, 3–22.
- Chen, T.-C., S.-Y. Wang, and M.-C. Yen, 2007: Enhancement of afternoon thunderstorm activity by urbanization in a valley: Taipei. J. Appl. Meteor. Climate., 46, 1324–1340.
- Cheng, F. Y., and D. W. Byun, 2008 a: Application of high resolution land use and land cover data for atmospheric modeling in the Houston–Galveston metropolitan area, Part I: Meteorological simulation results. Atmospheric Environment., 42, 7795–7811.
- Cheng, F. Y., S.T. Kim and D.W. Byun, 2008 b: Application of High Resolution Land Use and Land Cover Data for Atmospheric Modeling in the Houston–Galveston Metropolitan Area: Part II, Air Quality Simulation Results, Atmospheric Environment 42, Issue 20, 4853–4869.