

2011年臺灣北部區域環流特徵分析

廖杞昌 顧凱維

國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本研究利用WRF (Weather Research and Forecast model) 數值模式在高解析度模擬上的優勢，模擬2011年1~12月逐日臺灣中部以北的環流結構以及統計各項常用的氣象要素。了解WRF在臺灣北部地區複雜地形下的模擬表現，藉以探討在不同的天氣系統下，局部環流是如何受到地形的影響。初步結果顯示，WRF模式在使用了各項適合的物理參數設定後，可以在網格點解析度使用1公里的模擬中，獲得不錯的成效。大致而言，地面以及高空的各量場，WRF數值模式除了700hPa以及500hPa的重力位高度略為偏高之外，其餘的量場如天氣系統的配置、風場以及等溫線的分佈，結果都是可以信賴的。

關鍵字：WRF、局部環流

一、前言

臺灣地處亞熱帶地區，四面環海，中央山脈縱貫南北，地勢高峻陡峭，成為天然屏障，地形的分佈頗具特色，更增加了局部氣象變化的複雜性。因此隨著不同的季節變化，局部環流的特徵決定了當地的天氣型態。

洪景山等(1996)進行WRF模式之敏感度測試中，指出不同邊界層參數法對模式預報誤差影響最顯著、積雲參數法次之、微物理參數法更次之，並建議應用WRF模式於東亞地區進行數值天氣預報時，主要的物理參數以YSU+WSM5+KF為最佳的物理參數法組合。

在確認了WRF模式最適合的各種物理參數設定後，本研究進行了2011年1~12月逐日的模擬，一共365日，並由前一日18UTC開始模擬至當日23UTC，每日模擬30小時，並捨棄前6小時資料以做計算，這種一連串短時間的模擬擁有多數個初始場，其模擬的結果已經被證實會優於僅有一個初始場之長時間連

續模擬(Pan et al. 1999; Qian et al. 2003; Lo et al. 2008)，並且已逐漸被接受和應用(Conil and Hall 2006; Zagar et al. 2006)。而WRF數值模式在高解析度的模擬表現，近年已有多位學者進行小尺度單一個案的模擬或校驗(如A. J. Litta et al. 2010; Pedro A. Jimenez et al. 2009)，均說明了WRF模式在模擬小尺度天氣系統的能力。

本研究期望藉著WRF模式在高解析模擬方面的優勢，模擬出2011年1~12月最接近真實狀況的北部地區局部環流，以探討在不同天氣系統影響下，地形對於主環流的影響，以及所造成局部環流的空間分佈和各種局部環流特徵。

二、WRF模式設定

本研究使用WRF 3.1.2版，使用NCAR每6小時之NCEP Global Final Analysis (簡稱FNL)做為模式的初始場進行模擬，空間解析度為 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ；自2011年1月1日起至12月31

日止，進行逐日模擬，一共模擬365日，每日積分開始時間為前一日1800 UTC起，至當日2300 UTC止，每日模擬時間一共30小時。

網格設定是以 $121.7^{\circ}E$ 、 $24.7^{\circ}N$ 為中心的三層巢狀網格，Domain 1(D1)範圍包含 $110-135^{\circ}E$ 、 $15-35^{\circ}N$ ，網格解析度為25公里，網格數為 100×90 ；Domain 2(D2)範圍包含 $119-122.5^{\circ}E$ 、 $21.5-26^{\circ}N$ ，網格解析度為5公里，網格數為 101×101 ；Domain 3(D3)範圍包含 $120-122.25^{\circ}E$ 、 $24-25.5^{\circ}N$ ，網格解析度為1公里；降尺度比率設定為5(如圖1)。



圖1 WRF三層網格設定示意圖。

三、模擬結果校驗

將最高解析度 $1km \times 1km$ 之WRF模式輸出(D3)與中央氣象局北部地區三個局屬主要測站實際觀測資料比對，選取的測站為臺北(46692)、宜蘭(46708)以及新竹(46757)，所比對的氣象量場為海平面氣壓值、距地面2公尺高之溫度以及距地面10公尺高之風速等。

(1)海平面氣壓值(圖2)，以冬季(1~3月以及9~12月)的海平面氣壓值而言，3個測站中除了2月臺北、10月及11月宜蘭之外，WRF模式對於所有測站的模擬均較CWB觀測值略低，1~3月平均差值為 $-0.64hPa$ ，9~12月平均差值為 $-0.28hPa$ ，顯示WRF模式在冬季東北季風的天氣型態下，對於海平面氣壓值容易產生低估的現象；而在梅雨季及夏季(4~8

月)，除了4、7月新竹以及7月宜蘭之外，WRF模擬結果均略高於CWB觀測值，其中4~5月WRF平均高估 $0.33hPa$ ，6~8月則高估 $1hPa$ ，顯示WRF模式在梅雨季及夏季的天氣型態下，對於海平面氣壓值容易產生高估的現象。

(2)距地面2公尺高之溫度(圖3)：以冬季的距地面2公尺高之溫度而言，3個測站中除了2月臺北、1月及2月宜蘭之外，WRF模式對於所有測站的模擬均較CWB觀測值略高，平均差值約為 $0.4^{\circ}C$ ，顯示WRF模式在冬季東北季風的天氣型態下，對於距地面2公尺高之溫度容易產生高估的現象；而在梅雨季及夏季，除了4月臺北以及新竹之外，WRF模擬結果均略低於CWB觀測值，其中4~5月WRF平均差值為 $-0.13^{\circ}C$ ，6~9月平均差值提升為 $-0.825^{\circ}C$ ，顯示WRF模式在梅雨季及夏季的天氣型態下，對於距地面2公尺高之溫度容易產生低估的現象，其中又以夏季低估最多。(3)距地面10公尺高之風速(圖4)：距地面10公尺高之風速的結果與實際觀測資料比較，除了WRF模擬宜蘭地區的平均風速較接近實際觀測資料外，臺北及新竹地區差異均較大，冬季1~3月及9~12月時，WRF模擬臺北地區平均風速較實際觀測值高出 $3m/s$ ，新竹地區則是高出 $4\sim 6m/s$ ，夏季6~8月時，WRF模擬臺北地區平均風速較實際觀測值高出 $0.3\sim 0.5m/s$ ，新竹地區則是高出 $1\sim 2m/s$ ，關於WRF平均風速的模擬誤差，其原因除了與中央氣象局測站的地理位置及附近的環境有關之外，本研究使用的地形資料庫為USGS，對於地表複雜的地物、建築物及植被的解析較為平滑，無法完全反應出地物、建築物及植被對實際風速的觀測。

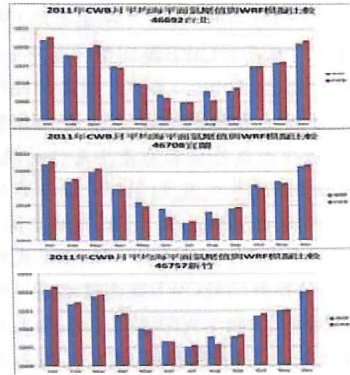


圖 2 2011 年中央氣象局月平均海平面氣壓值與 WRF 模擬比較。

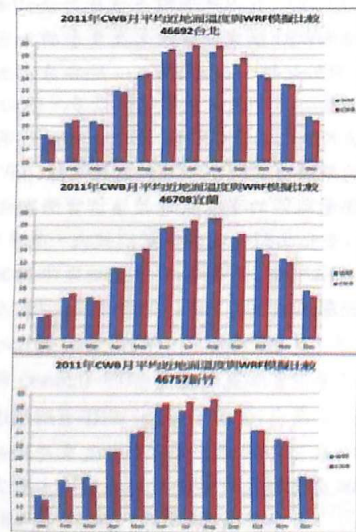


圖 3 2011 年中央氣象局月平均距地面 2 公尺高之溫度與 WRF 模擬比較。

圖 4 2011 年中央氣象局月平均地面 10 米平均風速與 WRF 模擬比較。

四、模擬結果分析

本研究在確認 WRF 模式在 1~12 月高解析模擬之結果為可信賴後，遂進行各項重要的氣象量場之計算，包括地面 10 米風場、海平面氣壓場、地面 2 米溫度場等，希望藉由 WRF 數值模式高解析度之優勢，找出不同月份的環流會為臺灣北部地區帶來甚麼樣的影響。

(一) 北部地區：

根據 WRF 模擬的結果，1~3 月(圖 5)以及 9~12 月(圖 8)臺灣北部地區都是典型的冬季天氣型態，雖然主要的天氣系統都是大陸冷高壓以及冷高壓所帶來的東北季風，但逐月之間的風場略有所不同，1~3 月的風向逐月偏東，9~12 月則是由 9 月的東北東風逐月偏向 12 月的東北風，平均風速於 12 月時達到最強；而冬季 925hPa 的風場分布與地面風場類似，相同時期的 925hPa 風向均較地面風

向略為偏東，但平均風速值則差異不大。海面上的平均風場顯示，冬季東部外海、北部外海以及海峽一帶的風場並不受地形影響，仍隨主環流而變化，但平均風速值以海峽一帶最高，北部外海次之，東部外海的平均風速最小。850hPa 的相對微弱風場顯示，此一高度為上下層不同天氣系統的轉變層，並沒有任何主宰性的天氣系統分布，所以風向的分布不具規律性，是屬於弱綜觀的環境，冬季的平均風速通常為 2m/s 以下。

4~5 月(圖 6)正處於季節交替的時期，冬季及夏季天氣系統交替出現，並勢均力敵，導致臺灣地區附近風向變化迅速，且 4~5 月平均風場均相當微弱；若只計算北向風天數，發現平均風場具有和 1~3 月冬季東北季風天氣型態相同的特性，而南向風天數的平均風場具有和 6~8 月夏季偏南氣流天氣型態時相同的特性。

6~8 月(圖 7)則是典型的夏季偏南氣流的天氣型態，臺灣東部外海均以南風為主，海峽一帶則是南南西風，925hPa 的風場特性與地面風場類似，且地面風與 925hPa 的平均風速並無差異。當臺灣地區附近地面風以及 925hPa 為南向風時，東部外海的平均風速較海峽一帶略高，此現象與冬季東北風時完全相反。

(二) 臺北地區：

臺北地區局部環流的特性與整個北部地區的環流不盡相同，當冬季東北季風接近臺北地區附近時(圖 9、圖 10 及圖 13)以及當 4~5 月轉變為東向氣流時(圖 11)，北部外海風向隨著主環流而變，並不受地形影響；大屯山區的氣流受地形影響較明顯，東北側迎風面氣流風速明顯減弱，且會沿著山區南側繞流通過大屯山區，並於背風面風速增強，除了繞流之外，氣流亦會沿著地形爬升，並於大屯山區正上空平均風速達到最大值；而臺北盆地的風向幾乎完全不受主環流影響，無論

主環流或是北部外海氣流如何轉變，臺北盆地幾乎完全維持東向風。當季節進入夏季(圖 12)，北部地區轉為偏南氣流時，臺北地區的氣流可以分成兩個部分討論，第一部分是沿著東部外海北上的氣流，此氣流北上之後幾乎不隨地形而有顯著變化，另一到氣流沿著西半部平原北上後，會受中央山脈影響，沿著地形繞流，並轉為西南向，與沿著東部外海北上的氣流匯合，兩道氣流會合的地點約在臺北盆地或是大屯山區。

(三) 宜蘭地區：

宜蘭地區附近的風場受地形影響的效應較明顯，冬季東北季風接近宜蘭地區附近時(圖 14、圖 17 及圖 18)，東部外海的氣流已經沿著地形轉變為北北東風，而另一道氣流沿著平原北側的雪山山脈進入蘭陽平原之後，風速明顯降低，並沿著蘭陽平原的地形轉為西向風，並與外海的氣流匯合，持續南下。進入 4~5 月(圖 15)，主環流逐漸轉變時，宜蘭東部外海的風向變化迅速，在計算平均風速時，是最容易發生風場向量互相抵消的區域。因此若只考慮北向及東北向氣流時，則宜蘭地區的氣流分布特性與 1~3 月冬季時大同小異，若只考慮南向及東南向氣流時，宜蘭地區的氣流分布特性則與 6~8 月相似。夏季(圖 16)宜蘭地區的氣流轉變為南向氣流，地面氣流可以分成兩部分討論，第一道氣流沿著地形從外海北上，其風向並不隨地形而有顯著的變化，另一道氣流繞進蘭陽平原之後，轉變為東向風，並且蘭陽平原一帶的平均風速相當微弱，平均僅 2m/s 以下。

(四) 新竹地區：

新竹地區是受到地形影響較不明顯的區域，在相同季節中的各月份風場並無顯著的差異，以冬季(圖 19、圖 22 及圖 23)及 4~5 月(圖 20)的天氣形態而言，大致上地面風場的風向是沿著西半部平原的地形逐漸南下，所以幾乎所有區域都是北北東風，平均風速則是呈

現北高南低的現象，隨著氣流的南下，平均風速略有減弱，且平均風速以海峽東部一帶為最高，平原次之，近中央山脈的山區風速最微弱。夏季(圖21)氣流仍是沿著西半部平原而北上，所以海峽一帶以及西半部平原的地面風向均為南南西風，逐月之間並無明顯的差異，另外地面風場在靠近中央山脈的附近，均會沿著地形而略有繞流的現象，導致風向略轉為西南風。

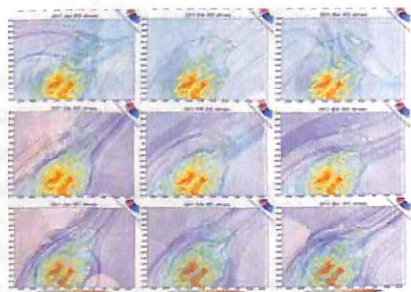


圖 5 2011 年 1~3 月(左至右)北部地區地面至 925hPa(下至上)風場分析。

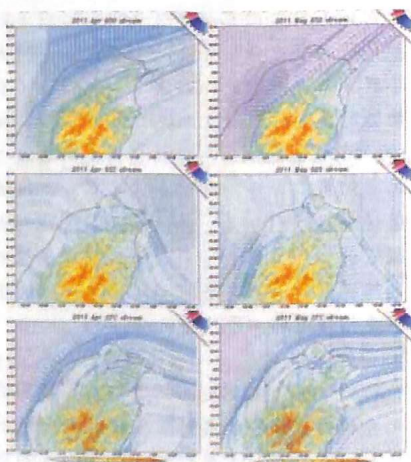


圖 6 2011 年 4~5 月(左至右)北部地區地面至 925hPa(下至上)風場分析。

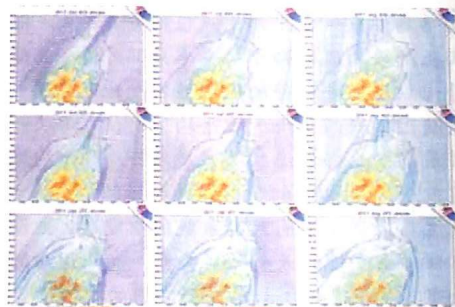


圖 7 2011 年 6~8 月(左至右)北部地區地面至 925hPa(下至上)風場分析。

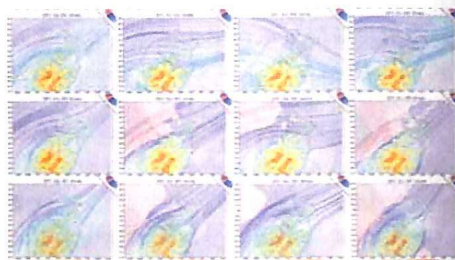


圖 8 2011 年 9~12 月(左至右)北部地區地面至 925hPa(下至上)風場分析。

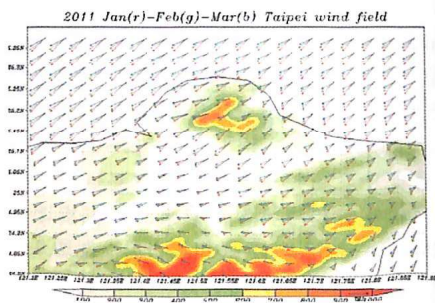


圖 9 2011 年 1~3 月臺北地區逐月平均風場，1 月(紅)、2 月(綠)、3 月(藍)。

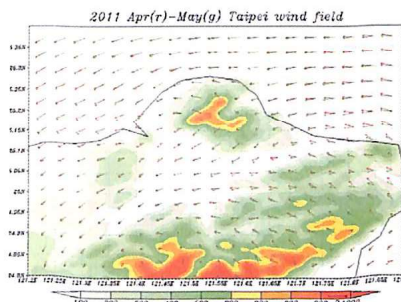


圖 10 2011 年 4~5 月臺北地區逐月平均風場，4 月(紅)、5 月(綠)。

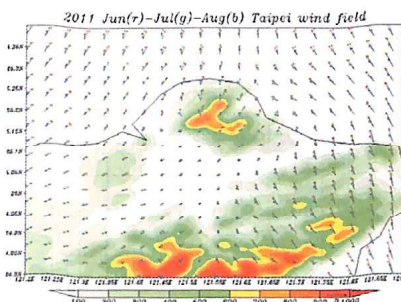


圖 11 2011 年 6~8 月臺北地區逐月平均風場，6 月(紅)、7 月(綠)、8 月(藍)。

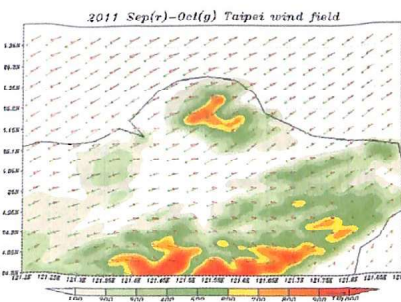


圖 12 2011 年 9~10 月臺北地區逐月平均風場，9 月(紅)、10 月(綠)。

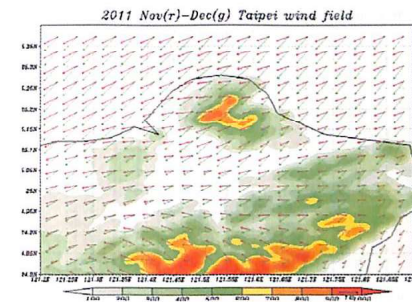


圖 13 2011 年 11~12 月臺北地區逐月平均風場，11 月(紅)、12 月(綠)。

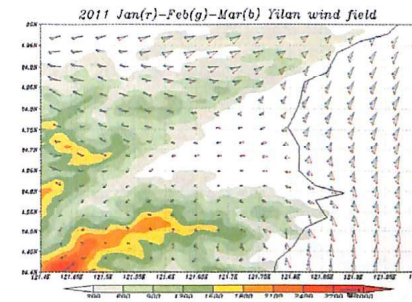


圖 14 2011 年 1~3 月宜蘭地區逐月平均風場，1 月(紅)、2 月(綠)、3 月(藍)。

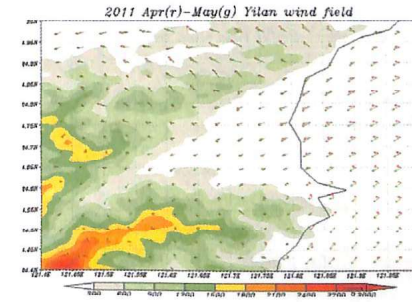


圖 15 2011 年 4~5 月宜蘭地區逐月平均風場，4 月(紅)、5 月(綠)。

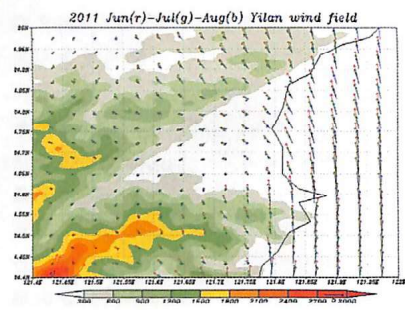


圖 16 2011年6-8月宜蘭地區逐月平均風場，6月(紅)、7月(綠)、8月(藍)。

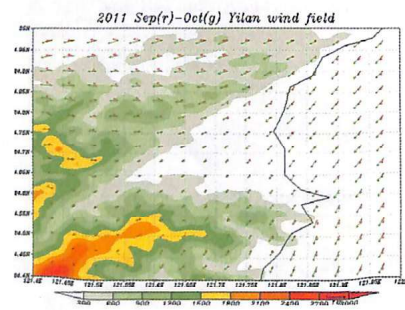


圖 17 2011年9~10月宜蘭地區逐月平均風場，9月(紅)、10月(綠)。

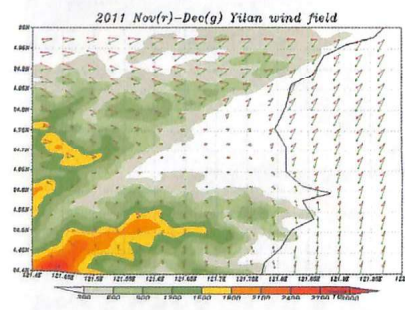


圖 18 2011年11~12月宜蘭地區逐月平均風場，11月(紅)、12月(綠)。

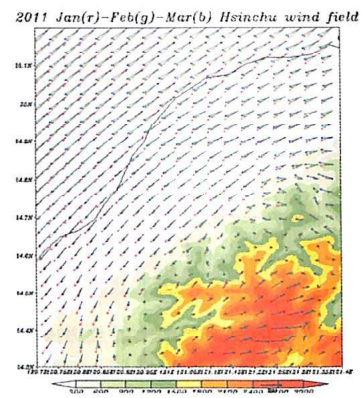


圖 19 2011年1~3月新竹地區逐月平均風場，1月(紅)、2月(綠)、3月(藍)。

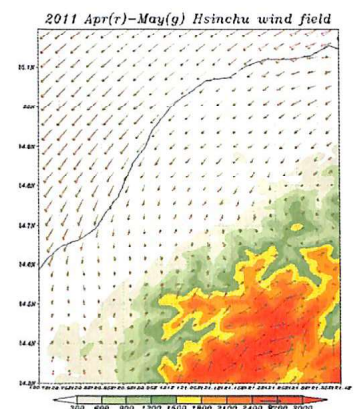


圖 20 2011年4~5月新竹地區逐月平均風場，4月(紅)、5月(綠)。

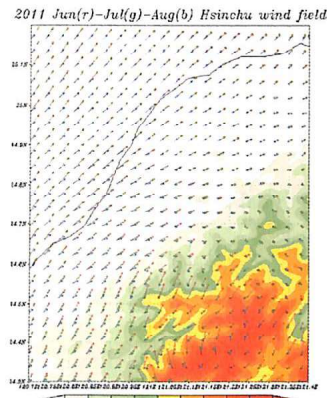


圖 21 2011年6~8月新竹地區逐月平均風場，6月(紅)、7月(綠)、8月(藍)。

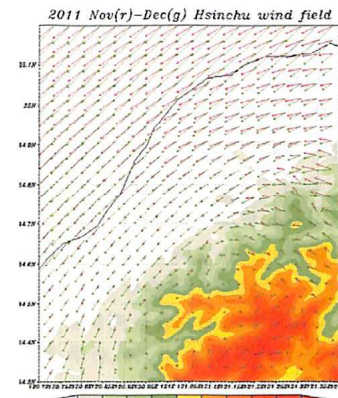


圖 23 2011年11~12月新竹地區逐月平均風場，11月(紅)、12月(綠)。

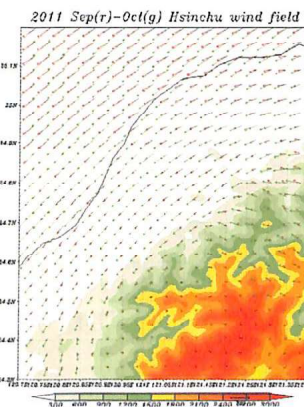


圖 22 2011年9~10月新竹地區逐月平均風場，9月(紅)、10月(綠)。

五、結論

本研究首先探討了WRF數值模式在冬季1~12月臺灣地區複雜地形的表現，發現在適當的物理參數設定下，WRF模式對於地面至500hPa的天氣系統的配置，模擬結果均良好。若以地面測站校驗模擬的結果，除了地面10米平均風速差異較大外，海平面氣壓值以及地面2米溫度結果均良好。

本研究模擬的結果顯示，臺灣北部外海的環流會隨著天氣系統而變化，但臺北盆地因受地形影響較為顯著，所以冬季及梅雨季(1~5月及9~12月)均為東風，並不隨主環流而變化；大屯山區東北部迎風面平均風速最弱，西南部迎風面平均風速最強。宜蘭地區受地形影響最顯著，冬季時無論天氣系統如何變化，蘭陽平原均為西風(270°~280°)，夏季時由於南向氣流受中央山脈地形影響而產生繞流，導致蘭陽平原轉變為東風至東北風。新竹地區冬季之逐月風向無顯著變化，風向均沿著西半部平原而南下，且平均風速隨著氣流南下而逐漸降低，夏季時西南氣流風向與西半部平原平行而北上，在靠近中央

山脈的山區發生繞流的現象越顯著。

六、參考文獻

洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中, 1996: "WRF 模式之敏感度測試第一部分: 探空測站上的校驗", 大氣科學, 第34期3號, 241-260。

簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎, 1996: "WRF 模式之敏感度測試第二部分: 定量降水預報校驗", 大氣科學, 第34期3號, 261-276。

A. J. Litta, U. C. Mohanty, and S. C. Bhan, 2010: "Numerical simulation of a tornado over Ludhiana (India) using WRF-NMM model". Meteorol. Appl. 17, 64-75.

Pedro A. Jimenez, J. Fidel Gonzalez-Rouco, Elena Garcia-Bustsmante, Jorge Navarro, Juan P. Montavez, Jordi Vila-Gueraud De Arellana, Jimy Dudhia, and Antonio Munoz-Roldan, 2009: "Surface Wind Regionalization over Complex Terrain: Evaluation and Analysis of a High-Resolution WRF Simulation". Journal of Applied Meteorology and Climatology. Vol. 49, 268-286.

Hiroyuki Kusaka, Andrew Crook, Jimy Dudhia, and Koji Wada, 2005: "Comparison of the WRF and MM5 Models for Simulation of Heavy Rainfall along the Baiu Front". SOLA 2005-051. Vol. 1, 197-200.

William Y. Y. Cheng and W. James Steenburgh, 2005: "Evaluation of Surface Sensible Weather Forecasts by the WRF and the Eta Models over the Western United States". WEATHER AND FORECASTING. Vol. 20, 812-821.

The Elementary Simulation on Circulation Characteristics in Northern Taiwan in 2011

Chi-Chang Liao AND Kai-Wei Gu

Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

ABSTRACT

This study uses WRF to simulate the circulations in northern Taiwan from 1 January to 31 December 2011. The results suggest that WRF model performs well with appropriate physical scheme options and 1 km x 1 km horizontal grid resolution. According the results, the geo-potential height simulated from WRF is higher at the level of 700 hPa and 500 hPa, however, the weather systems, wind field and temperature distributions are reliable.

Keywords: WRF, Regional Circulation.